



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN
CONTINUA Y A DISTANCIA

DIPLOMADO
CARACTERIZACIÓN Y REMEDIACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS CONTAMINADOS POR
HIDROCARBUROS

TEMA

CARACTERIZACIÓN DE SUELOS Y AGUAS
SUBTERRÁNEAS CONTAMINADOS
CA169

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|---|
| | | | | | Diplomado: En caracterización y remediación de suelos y acuíferos contaminados por hidrocarburos |
| MODULO 2. CARACTERIZACIÓN DE SUELOS Y AGUAS SUBTERRÁNEAS CONTAMINADOS | | | | | |
| | | | | | |

IA 169
Folios

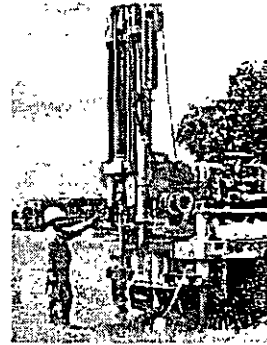
| | | | | | |
|---|--|--|--|--|---|
| | | | | | Diplomado: En caracterización y remediación de suelos y acuíferos contaminados por hidrocarburos |
| Tipo de Perforaciones | | | | | |
| Perforación: | | | | | |
| Avanzar un orificio en superficies con técnicas y equipos apropiados para un fin específico de: adquisición de conocimiento, de acondicionamiento o instalación de algún elemento y/o de utilidad. | | | | | |
| Perforaciones ambientales: | | | | | |
| Son perforaciones enfocadas para determinar las condiciones físicas y químicas de un sitio en particular, evitando el uso de productos o compuestos que modifiquen sensiblemente dichas condiciones | | | | | |



Técnicas de perforación

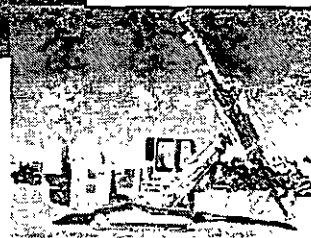
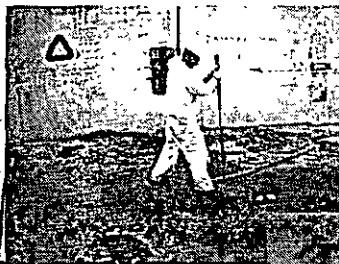
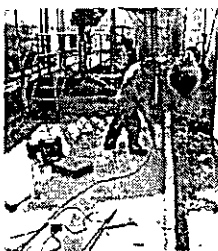
Rotatoria:

Aquellas que se realizan a través de un movimiento circular conjuntamente con una presión continua sobre el instrumento o equipo de avance



Percusión:

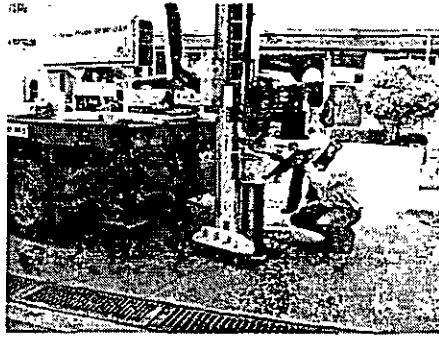
Aquellas que se realizan mediante la aplicación de una presión intermitente sobre el instrumento o equipo de avance.





Empuje directo

Aquellas que se realizan mediante la aplicación de una presión continua sobre el instrumento o equipo de avance.

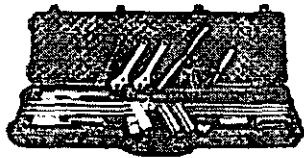




Ejemplos de perforaciones ambientales (equipos)

Barrenación Manual:

Se efectúa con instrumentos manuales (hand augers), generalmente conformados por barrenos con cuchillas de corte que se ensamblan en varillas de avance, las cuales se operan con un maneral perpendicular a las mismas y con el que se aplica un movimiento rotatorio y presión continua para introducir el barreno de corte en la superficie a perforar.



Ventajas:

- Facilidad en el manejo de equipo
- Accesibilidad a puntos de muestreo
- Rapidez en desplazamientos
- Mayor seguridad en el área de trabajo
- Facilidad en la limpieza del equipo

Desventajas:

- Ruptura previa de cubiertas consolidadas
- Alcances máximos de 3 a 4 m de profundidad
- Mayor esfuerzo en materiales semiconsolidados y/o de características heterogéneas



Barrenación Helicoidal:

Se efectúa con barrenos helicoidales que pueden ser huecos ó sólidos, estos se ensamblan a un eje que les transmite un movimiento rotatorio y una presión continua en el sentido de la perforación a partir de un equipo de motor, al barreno inicial se ensambla una broca de corte de tipo dentada o de cuchillas con la que se avanza en la perforación y extrayéndose el material de corte del orificio con los helicoides de los barrenos.



Ventajas:

- Mayores alcances de profundidad
- Rapidez en actividades de muestreo
- Precisión en controles estratigráficos
- Muestreo de materiales heterogéneos
- Instalación de pozos de monitoreo

Desventajas:

- Mayores requerimientos de seguridad
- Mayores espacios de trabajo
- Dificultades de acceso a los sitios de muestreo
- Mayores requerimientos de descontaminación del equipo
- Alto volumen de material de recorte



Empuje directo:

Se efectúa con tubería de perforación lisa y hueca a la cual, en su parte inicial se le ensambla generalmente un barril muestreador, ambas herramientas se incorporan al sitio de perforación mediante una presión continua y/o intermitente (percusión) proporcionada generalmente por un equipo de motor.

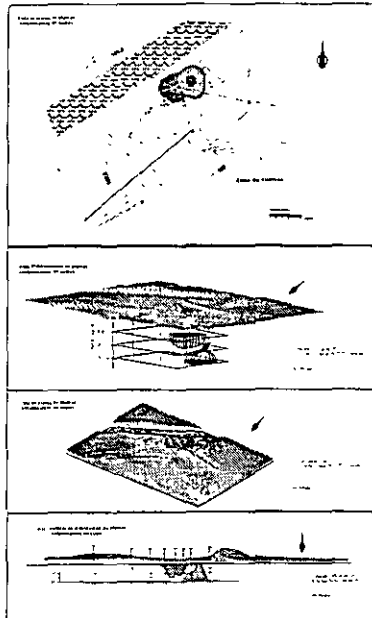


Ventajas.

- Mayores alcances de profundidad
- Rapidez en actividades de muestreo
- Precisión en controles estratigráficos
- Muestreo de materiales heterogéneos
- Instalación de pozos de monitoreo


Desventajas.

- Mayores requerimientos de seguridad
- Mayores espacios de trabajo
- Dificultades de acceso a los sitios de muestreo
- Mayores requerimientos de descontaminación del equipo
- Alto volumen de material de recorte



La importancia de las perforaciones radica en la posibilidad de obtención de evidencias directas acerca de las condiciones ambientales del sitio donde se realizan, además de la posibilidad de su acondicionamiento para el monitoreo periódico de dichas condiciones

Esto implica que cada perforación debe llevarse a cabo bajo procedimientos específicos que garanticen la representatividad cualitativa y cuantitativa de cada evidencia que se obtenga

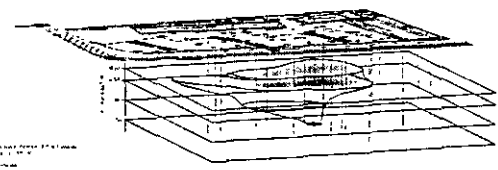

 Diplomado:
 En caracterización y remediación de suelos y acuíferos contaminados por hidrocarburos

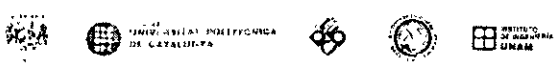
MODULO 2. CARACTERIZACIÓN DE SUELOS Y AGUAS SUBTERRÁNEAS CONTAMINADOS

Uso de programas especializados

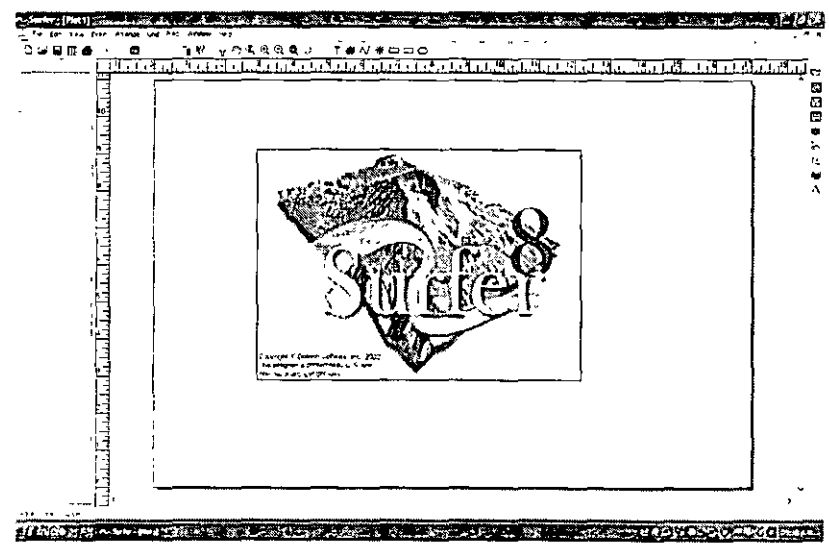
En general, los datos de campo y resultados de evaluación analítica permiten establecer las condiciones ambientales un sitio determinado; sin embargo la valoración o interpretación de dichas condiciones (principalmente en origen, magnitud, tendencias y predicciones de posible afectación) conlleva a la elaboración de modelos y diagramas que permitan complementar el entendimiento de las características del sitio.

En la creación de modelos y diagramas de interpretación se emplean programas o software especializado, dentro de los cuales se cuenta con el denominado : SURFER (Surface Mapping System), Golden Software Inc. (www.goldensoftware.com)




 Diplomados:
 En caracterización y remediación de suelos y acuíferos contaminados por hidrocarburos

Uso de programas especializados (SURFER)

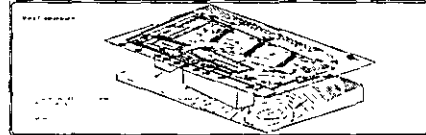
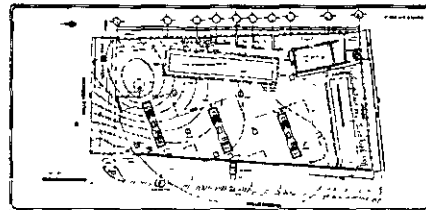
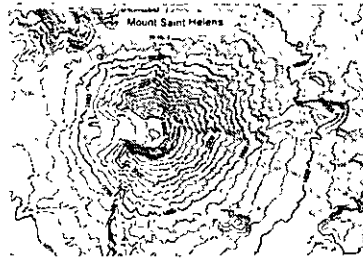




Aplicación:

El Surfer es un programa cuya aplicación más común es la creación de mapas o diagramas a partir de bases de datos con valores numéricos XYZ, con los que se genera un archivo de reticulado (malla) a través de la interpolación y/o extrapolación de dichos valores, siendo representados en formas bidimensionales o tridimensionales.

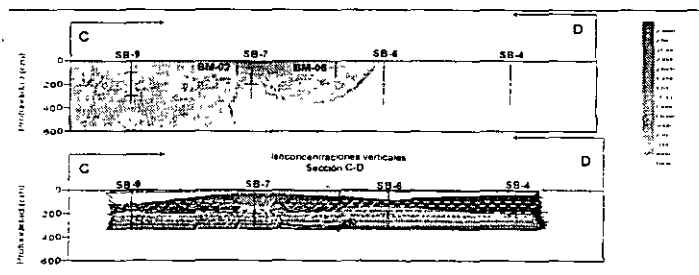
Estos mapas o diagramas son herramientas utilizables en la caracterización, evaluación e interpretación de las condiciones superficiales y del subsuelo de un sitio determinado, así como de condiciones específicas de alteración del mismo provocadas por el hombre o por fenómenos naturales.



Limitaciones y consideraciones.

Para una correcta utilización del SURFER, se deben tomar en cuenta diversos factores en la generación de diagramas o mapas, tales como:

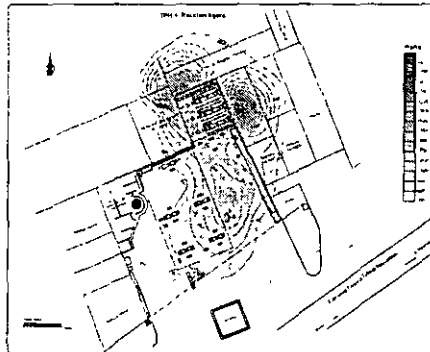
- El número, tipos y arreglos de datos
- Metodos de procesamiento o interpolación
- Interpretación y análisis de datos





Aplicaciones en caracterización de suelos y aguas subterráneas contaminados

- Diagramas de isoconcentraciones
- Definición de plumas contaminantes
- Direcciones de flujo de agua subterránea
- Volumen de suelos contaminados.
- Tendencias de dispersión de contaminantes



Caso práctico

- Gasolinera con derrame de combustibles en el subsuelo, detectándose producto libre en predios aledaños.
- Procedimientos de caracterización mediante perforaciones ambientales con obtención de muestras de suelo, instalación de pozos de monitoreo y toma de muestras de agua.
- Análisis de laboratorio de muestras colectadas.

Objetivo:

Determinar la fuente de contaminación, alcances de afectación en suelos y agua subterránea y establecer el volumen de suelos contaminados





UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y acuíferos contaminados por hidrocarburos

Planos o diagramas de isoconcentraciones.

Creación de plano de base (con el Surfer ó mediante la importación de programas con formatos compatibles)

Ejercicio 1

Creación de base de datos (digitalización de puntos de evaluación e incorporación de datos de campo)

Ejercicio 2

Procesamiento de datos

Ejercicio 3

Generación e interpretación de diagramas de isoconcentraciones (extensión y volumen de afectación)

Ejercicio 4



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

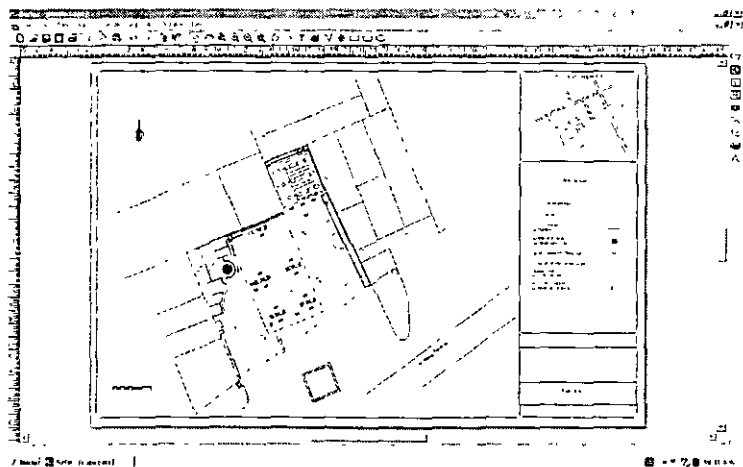







INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM






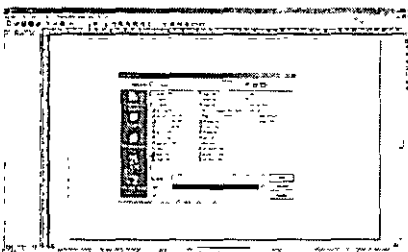
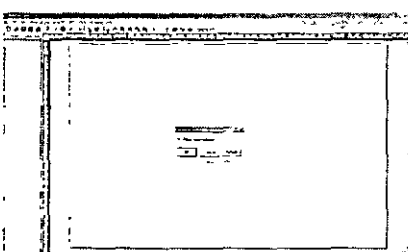
Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y acuíferos contaminados por hidrocarburos

Ejercicio 1.

Creación de plano de base (con el Surfer ó mediante la importación de programas con formatos compatibles)



| | | | | | |
|---|---|---|---|---|--|
|  |  |  |  |  | Diplomado: En caracterización y remediación de suelos y acuíferos contaminados por hidrocarburos |
| <p>Crear un plano de base con el empleo del Surfer.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Apertura de nueva hoja de trabajo (plot document) 2. Utilización de iconos de herramientas básicas de dibujo <p><i>Consideraciones:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> a) Cada herramienta o icono utilizado se considera como un elemento b) Cada elemento se selecciona de manera individual para la modificación de sus características mediante el panel de object manager (View/ Object Manager) y/o colocando el puntero sobre el elemento deseado y oprimiendo Ctrl+ click izquierdo. c) Los elementos serán ordenados en forma ascendente; sin embargo puede modificarse su orden en el panel de object manager (View/ Object Manager) o a través de la herramienta: Arrange/Order objects d) El plano debe contener una escala, preferentemente gráfica, y la orientación del sitio | | | | | |

| | | | | | |
|--|---|---|---|---|--|
|  |  |  |  |  | Diplomado: En caracterización y remediación de suelos y acuíferos contaminados por hidrocarburos |
| <p>Crear un plano de base mediante la importación de archivos predeterminados con formatos de programas compatibles.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Apertura de nueva hoja de trabajo (Plot document) 2. Utilización de herramienta File/import o Map/base map 3. Selección de archivo deseado <p><i>Consideraciones:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> a) Cada archivo importado se considera como un elemento, sólo algunos programas de formatos compatibles permiten la separación de elementos del archivo importado, por ejemplo (*.dxf de Autocad), aunque es factible la deformación de sus magnitudes. <p>Utilizar archivo: mapa base</p> | | | | | |
| <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> | | | | | |



Ejercicio 2

Creación de base de datos (digitalización de puntos de evaluación e incorporación de datos de campo)

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N |
|----|-------------|----------|--------|---------|--------|-------|---------|-------|------|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 1417.3088 | 553.2472 | 74.005 | 431.391 | 17.966 | 7.438 | 424.8 | 57.68 | 467 | | | | | |
| 3 | 1416.2341 | 549.3511 | 62.12 | 281.538 | 147.12 | 14.26 | 493.405 | 52.57 | 463 | | | | | |
| 4 | 1412.9574 | 549.9331 | 1.348 | 4.9 | 17.02 | 7.47 | 74.14 | 429.7 | 4667 | | | | | |
| 5 | 1413.0142 | 550.0469 | 3.118 | 0.118 | 0.113 | 2.8 | 29.34 | 148.4 | 4669 | | | | | |
| 6 | 1412.2137 | 549.8167 | 4.45 | 9.43 | 87 | 25.8 | 382.4 | 171.8 | 4709 | | | | | |
| 7 | 1414.0851 | 523.476 | 5.886 | 0.203 | 0.202 | 4.28 | 447.426 | 44.58 | 4693 | | | | | |
| 8 | 1412.3317 | 542.4203 | 0.124 | 0.271 | 9.456 | 6.52 | 4.64 | 2.4 | 464 | | | | | |
| 9 | 1412.8391 | 524.8217 | 0.649 | 0.274 | 3.827 | 4.2 | 7.46 | 42.2 | 4685 | | | | | |
| 10 | 1410.6650 | 416.921 | 41.658 | 0.239 | 0.237 | 2.8 | 4.1 | 131.2 | 4642 | | | | | |
| 11 | 1429.4651 | 466.1474 | 0.174 | 3.175 | 0.176 | 10 | 2.44 | 2 | 4643 | | | | | |
| 12 | 1418.6501 | 413.533 | 623 | 2.829 | 2.828 | 4.4 | 4 | 22.4 | 4644 | | | | | |
| 13 | 1419.0159 | 414.1 | 5.082 | 266.64 | 0.987 | 11.4 | 4.31 | 46.54 | 4642 | | | | | |
| 14 | 1456.8814 | 416.376 | 11.22 | 178 | 4.388 | 1.74 | 54.69 | 442.7 | 464 | | | | | |
| 15 | 1414.584346 | 466.3451 | 248 | 0.231 | 0.231 | 14.2 | 14.5 | 46.1 | 4628 | | | | | |
| 16 | 1414.910 | 456.046 | 2.51 | 0.791 | 7.204 | 1.16 | 4.44 | 27.8 | 4643 | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | | | | | | | | | | | | | | |
| 27 | | | | | | | | | | | | | | |
| 28 | | | | | | | | | | | | | | |
| 29 | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | | | | | | | | |
| 31 | | | | | | | | | | | | | | |
| 32 | | | | | | | | | | | | | | |
| 33 | | | | | | | | | | | | | | |
| 34 | | | | | | | | | | | | | | |



Base de datos

- Una base de datos es un archivo u hoja de trabajo (workshet) que debe contener al menos tres columnas con valores numéricos XYZ.
- Los primeros valores corresponden generalmente a coordenadas de ubicación de cada punto y pueden obtenerse mediante su digitalización (Map/Digitize) a partir del plano de base, mientras que los valores de Z corresponden a aquellos asignados de alguna condición específica obtenida de cada punto XY.
- Los valores X Y se asignan normalmente a la primera y segunda columnas de la hoja de trabajo, por lo que los valores Z se incluyen en la tercera columna.
- Los valores pueden incorporarse de manera discrecional con respecto a las columnas utilizadas, con lo que se generan "arreglos" específicos de los datos para lograr una visual determinada del diagrama que se genere.

Utilizar archivo: resultados de laboratorio

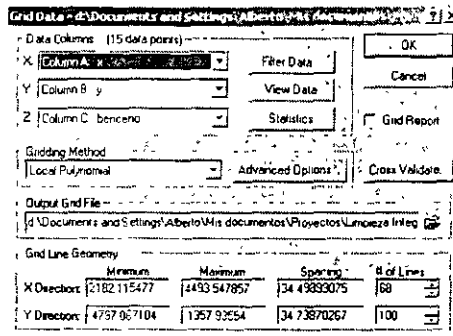


Ejercicio 3

Procesamiento de datos

El procesamiento de datos con el Surfer inicia con la generación de un archivo de reticulado (grid file). Estos archivos son necesarios para la creación de los diferentes tipos de mapas que se elaboran con el Surfer, tales como: contornos, imágenes, de relieve sombreado, vectores, superficies y bloques tridimensionales o "wireframe".

Para generar el archivo de reticulado a partir de una base de datos se utiliza el fichero Grid/Data en la hoja (plot) de trabajo, con lo cual el Surfer solicita la apertura o selección de la base de datos para su procesamiento. Al seleccionar la base de datos se proporciona el cuadro de control de parámetros del reticulado



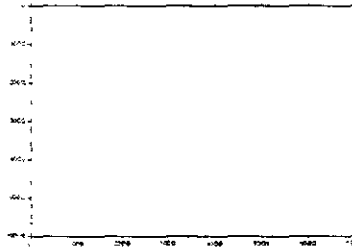
La ventana de parámetros contiene:

Grupo de datos de columnas (Data Colums) es usado para especificar las columnas con los datos XYZ que serán utilizados en la generación de la retícula.

| | A | B | C |
|---|----|----|----|
| 1 | 0 | 0 | 90 |
| 2 | 9 | 3 | 48 |
| 3 | 13 | 7 | 52 |
| 4 | 47 | 1 | 66 |
| 5 | 17 | 56 | 75 |
| 6 | 6 | 1 | 50 |
| 7 | 25 | 36 | 60 |

A sample XYZ data file. Notice that the X, Y and Z data are placed in Columns A, B and C respectively.

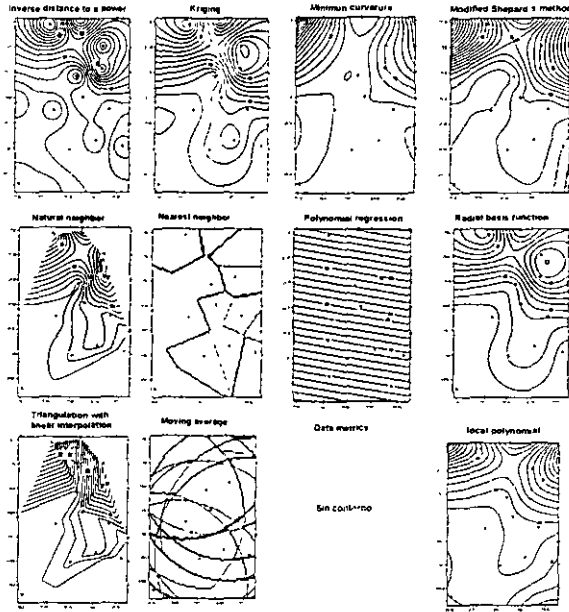
Geometría de la retícula (Grid Line Geometry) es utilizada para especificar los límites XY, espacios y el número de líneas (referidos como filas y columnas) de la retícula



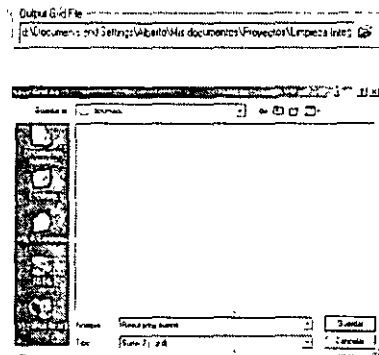


Método de reticulado (Gridding Method) es usado para especificar el método y opciones de interpolación.

Los distintos métodos proveen diferentes interpretaciones de los datos debido a que cada uno calcula los valores de nodos (intersecciones de retícula) utilizando diferentes algoritmos. Esto hace que algunos métodos sean más efectivos que otros, además de que dicha efectividad también tiene que ver con el número de datos a procesar.



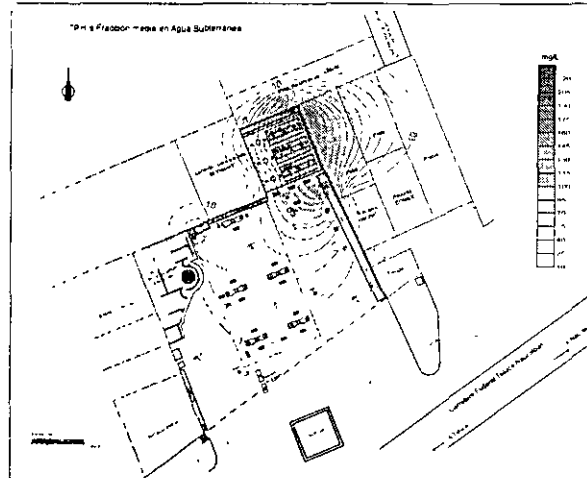
Archivo reticulado de salida (Output Grid File), se usa para especificar la ruta y el nombre del archivo de retícula



Reporte de retícula (Grid Report): Opción usada para especificar la creación de un reporte estadístico para los datos



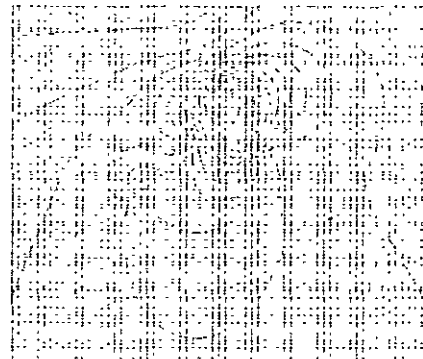
Ejercicio 4 Generación e interpretación de diagramas de isoconcentraciones (extensión y volumen de afectación)



La creación de mapas de contornos, imágenes, de relieve sombreado, vectores, superficies y bloques tridimensionales o "wireframe", como se ha mencionado se efectúa a partir de archivos de reticulado (Grid).

En particular, un mapa de contorno es una representación bidimensional de los datos XYZ. Las primeras dos dimensiones son las coordenadas XY y la tercera dimensión (Z) es representada por líneas de igual valor. El espaciado relativo de las líneas de contorno indican la pendiente relativa de la superficie.

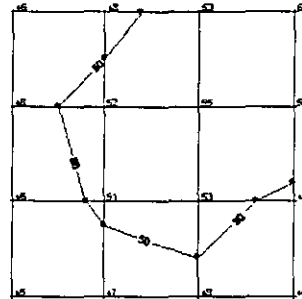
Cuando se crea un mapa de contornos, el archivo de reticulado (grid) es leído dentro la ventana de trazo (plot) como un arreglo interno de nodos de los valores XYZ; es decir, la intersección de una fila y columna es definida como nodo de retícula que señala la locación XY en toda la extensión del mapa y el valor interpolado de Z para cada intersección.






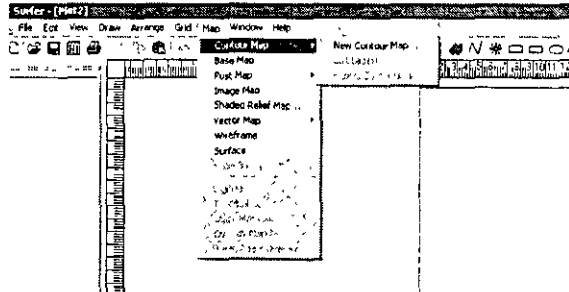
Las líneas de contorno son dibujadas como series de segmentos de tipo rectas entre líneas de retícula adyacentes. El punto donde una línea de contorno intersecta a líneas de retículas es determinado por la interpolación entre valores Z adyacentes a intersecciones de retícula.

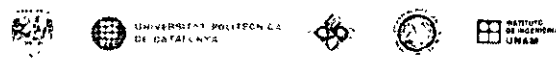
La ruta de una línea de contorno (Z = 50) a través de la retícula es definida por interpolación entre intersecciones. Este ejemplo muestra los segmentos de línea recta que define la línea de contorno. Los puntos son incorporados para mostrar el fin de cada segmento de línea



En materia ambiental un mapa de contornos puede significar (en función del arreglo de los valores XYZ) una representación en planta o en sección vertical de concentraciones de compuestos contaminantes que hayan sido evaluados en un sitio determinado; o en su caso, pueden representar las variaciones de niveles piezométricos de agua subterránea.

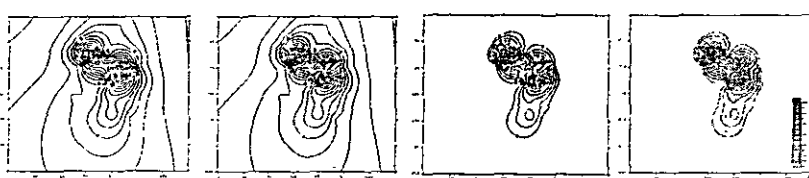
Para generar un mapa de contornos que indique patrones de concentración de contaminantes, por ejemplo; se utiliza la herramienta Map/Contour map → new contour o bien seleccionar el icono 

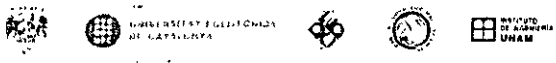



 Diplomado:
 En Caracterización y Remedación de Suelos y Acuíferos Contaminados por Hidrocarburos

Posteriormente, seleccionar el archivo de reticulado generado con la base de datos específica. En este caso es conveniente recordar que los valores de Z a interpolar corresponden a valores de concentración reportados para cada punto de muestreo localizado con los valores XY.

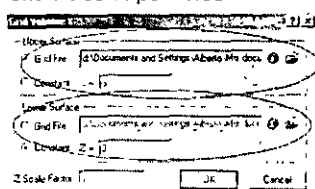
Una vez generado el mapa de contornos, el Surfer permite su modificación o adecuación a través de un cuadro de propiedades en función de la interpretación del conjunto de los datos y observaciones del sitio.




 Diplomado:
 En Caracterización y Remedación de Suelos y Acuíferos Contaminados por Hidrocarburos

Cálculo de áreas y volúmenes

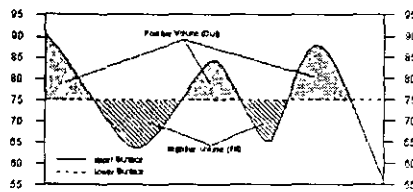
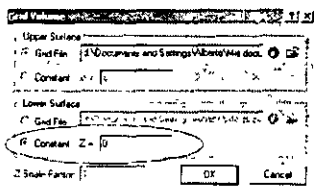
El cálculo de volúmenes y áreas se realiza con el Surfer a través del comando **Grid/Volume**, con el cual se selecciona el archivo de reticulado de interés. Una vez seleccionado se requiere la ruta de archivos grid de una superficie superior y de una superficie inferior, generalmente esto se realiza cuando se desea calcular volúmenes entre dos superficies



Lo anterior puede entenderse, por ejemplo, cuando se desea calcular el volumen de suelos contaminados localizados en intervalos de profundidad definidos por valores someros y valores profundos de evaluación bajo la superficie del sitio



Cuando sólo se cuenta con un plano, ya sea superior o inferior, se establece un valor constante de Z a manera de plano, con lo que se definen volúmenes "positivos" (cut) y volúmenes "negativos" (Fill)



Cross-section showing the relation between the upper and lower surfaces, and the cut and fill volumes. The lower surface is defined by Z = 75. The map is shown below

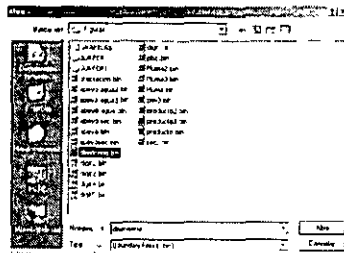
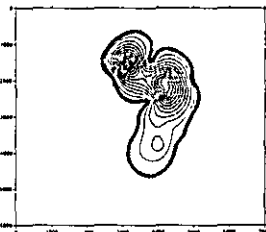
Lo anterior puede entenderse, por ejemplo, cuando se desea calcular el volumen de un estanque, en donde la constante Z es el valor de la superficie del estanque y la retícula del fondo del estanque representa la superficie inferior, de tal forma que el volumen del estanque corresponde al volumen negativo (fill).



Para el caso particular del cálculo a partir de un diagrama de concentraciones, la forma de obtener el volumen se realiza a través de la generación de un archivo de "blanqueo" (blank); es decir se eliminan áreas específicas del archivo de reticulado (se omite la interpolación de valores Z).

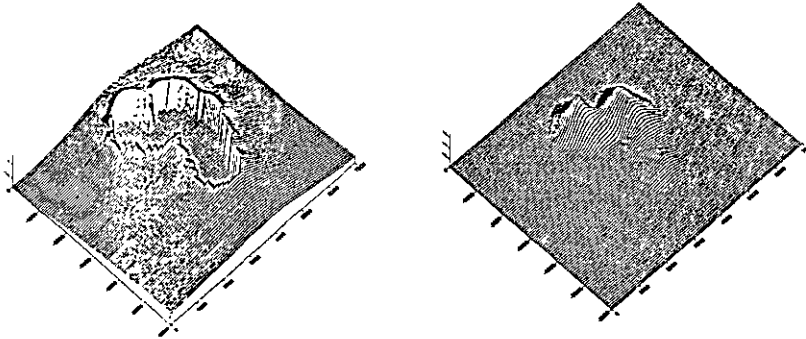
El procedimiento consiste primeramente en digitalizar el área o zona de interés, que en este caso corresponde a la extensión de la pluma contaminante representada en el plano de isoconcentraciones. Esta digitalización se guarda como una base de datos con extensión *.bin

Posteriormente se selecciona Grid/Blank y se abre el archivo de retícula del plano de isoconcentraciones digitalizado, siguiendo con la apertura del archivo bin realizado.





Como paso siguiente se nombra el archivo de salida "blanqueo". Es importante mencionar que en la creación de la base de datos generada con la digitalización, el dato de la primera fila y primera columna corresponde al número total de datos y el dato de la primera fila y segunda columna corresponde a un valor de 1 (uno) ó de 0 (cero) cuya diferencia marca el "blanqueo" negativo o positivo del área seleccionada.



Una vez realizado el "blanqueo" se procede al cálculo de volumen con la opción Grd/Volume, seleccionando el archivo de retícula de salida "blanqueo".

Finalmente se genera el reporte de cálculo, cuyos datos a tomar en cuenta, corresponde al resultado **Blanked Planar Area** en caso de utilizar el blanqueo negativo y **Positive Planar Area [Cut]**: en la utilización del blanqueo positivo.

Los valores presentados en el reporte representan unidades aleatorias asignadas por el programa y sólo para valores de área, por lo que el resultado considerado para el cálculo de volumen deberá ser transformado en unidades reales con base a la escala del diagrama generado y por el valor de los alcances de la posible afectación en sentido vertical.

| Surface - Report | |
|------------------------------|-----------------|
| File Edit | |
| Positive Volume [Vol] | 22548933 945312 |
| Negative Volume [Fill] | 240050154 18848 |
| Net Volume [Cut/Fill] | 22725236 38147 |
| Areas | |
| Planar Areas | |
| Positive Planar Area [Cut] | 4515960 3629737 |
| Negative Planar Area [Fill] | 36562119 563276 |
| Blanked Planar Area | 6921820 0257448 |
| Total Planar Area | 42000000 |
| Surface Areas | |
| Positive Surface Area [Cut] | 4516538 2249229 |
| Negative Surface Area [Fill] | 30562916 84597 |



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

GRACIAS POR SU ATENCIÓN





UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos.

NORMALIZACIÓN DE DATOS

Este punto es importante si recordamos que las escalas de vulnerabilidad no son las mismas en los diferentes métodos

$$IN = 100 * (IX - I_{min}) / (I_{max} - I_{min})$$

**Donde: IN es el índice normalizado
IX es el índice antes del proceso de normalización
I_{max} es el índice máximo observado dado por el método
I_{min} es el índice mínimo observado dado por el método.**

Los valores van del 0 a 100



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

CORRELACION ENTRE METODOLOGÍAS

- Comparación de diferentes métodos de vulnerabilidad.
- Una forma de comparar los diferentes métodos, consiste en normalizar los datos.
- Escala de 0 a 100 unidades. Con este tipo de escala se puede facilitar además el reconocimiento de una vulnerabilidad baja, media o alta.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

Las discrepancias entre los resultados obtenidos para un mismo sistema acuífero es debido al carácter cualitativo de las metodologías, donde se requiere la interpretación de datos y el cruce de propiedades espaciales del sistema acuífero



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

| AÑOS | CLASIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD |
|--------------|------------------------------------|
| < 10 | extremadamente alta |
| 10 – 100 | alta |
| 100 – 1000 | moderada |
| 1000 – 10000 | baja |
| > 10000 | extremadamente baja |

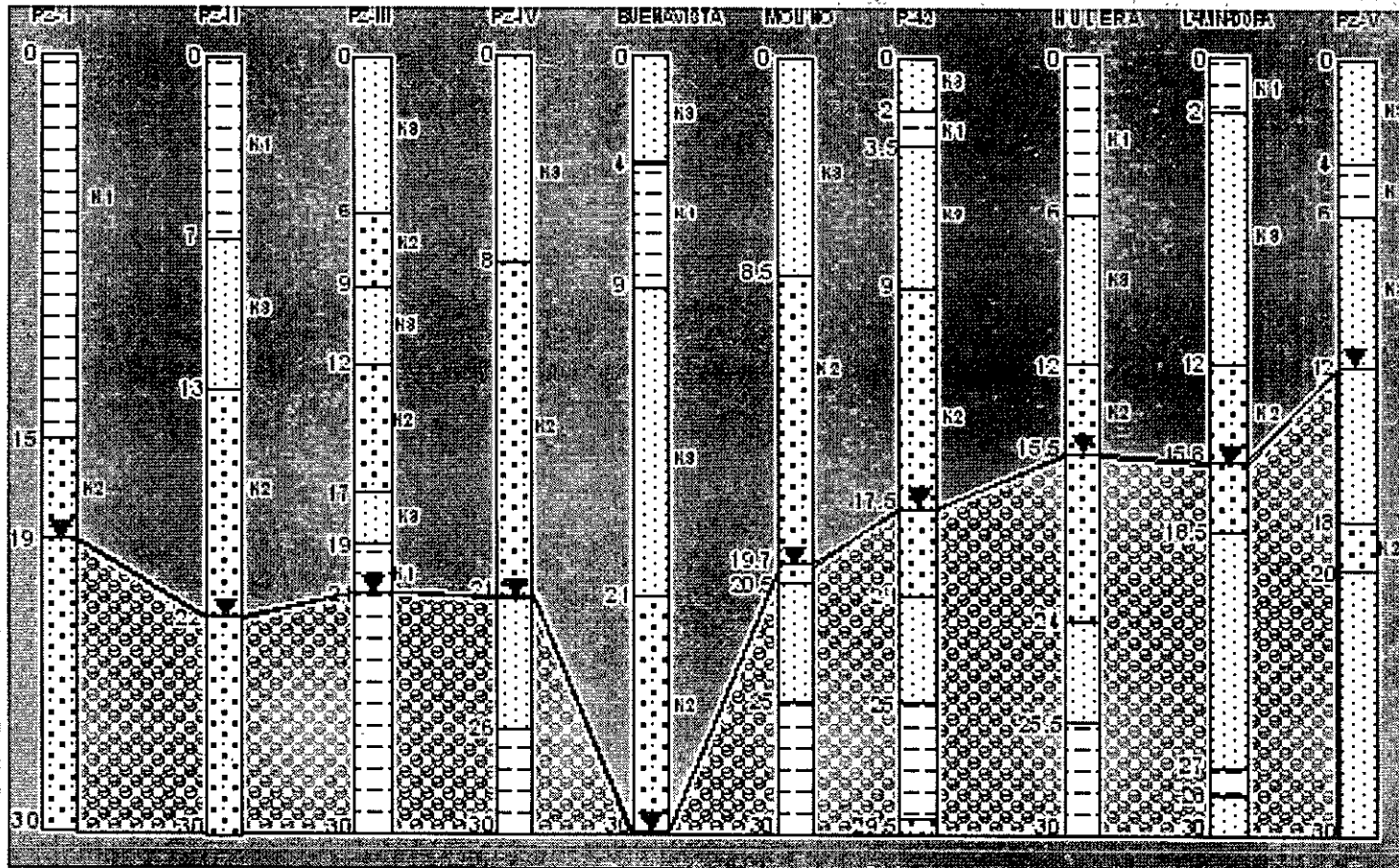


UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos





UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos

$$c_{PZII} = \sum \frac{b_i(m)}{K_i(m/d)} = \frac{b_1}{k_1} + \frac{b_2}{k_2} + \frac{b_3}{k_3} = \frac{7}{8.64 \times 10^{-5}} + \frac{6}{2.593 \times 10^{-2}} + \frac{9}{31.96}$$
$$= 81018.52 + 231.5 + 0.28 = 81250.28 \text{ días} = 222.6 \text{ años}$$
$$= \log c_{PZII} = 4.9$$



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

La resistencia hidráulica c se calcula por la expresión:

$$c = \sum b_i / K_i \text{ para las capas } 1, 2, 3, \dots, i$$

donde b_i es el espesor de cada capa sobre el acuífero, K_i es la conductividad hidráulica de cada capa y c es la resistencia hidráulica total (inverso de la conductividad hidráulica, tiene dimensiones de tiempo) mismo que indica el tiempo aproximado que el agua atraviesa la zona vadosa.

A mayor resistencia hidráulica c , menor es la vulnerabilidad. Debido a las altas variaciones en años de c que se pueden registrar en un área, se usa el $\log c$ para cada pozo. La interpolación de los valores de $\log c$, da como resultado un zoneamiento de la resistencia hidráulica, lo cual está directamente relacionado con la vulnerabilidad.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

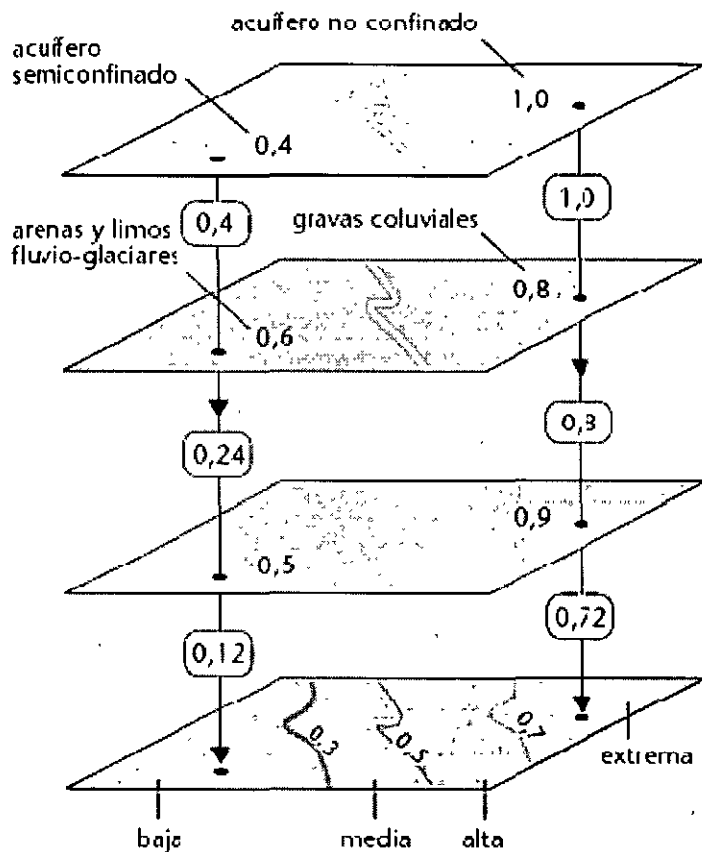
Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

AVI

(Van Stempvoort *et al*, 1995)

Es un índice c para cuantificar la vulnerabilidad de un acuífero, por medio de la resistencia al flujo vertical del agua cuando pasa por los diferentes materiales de la zona no saturada

Utiliza la conductividad hidráulica y el espesor de las capas de diferente material que se encuentran sobre el nivel del agua



GRADO DE CONFINAMIENTO

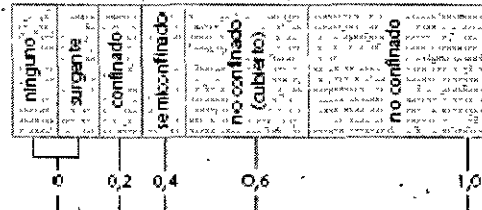
OCURRENCIA DEL SUSTRATO SUPRAYACENTE
(características litológicas y grado de consolidación)

DISTANCIA AL NIVEL DEL AGUA SUBTERRÁNEA
(no confinados)
O AL TECHO DEL ACUÍFERO (confinados)

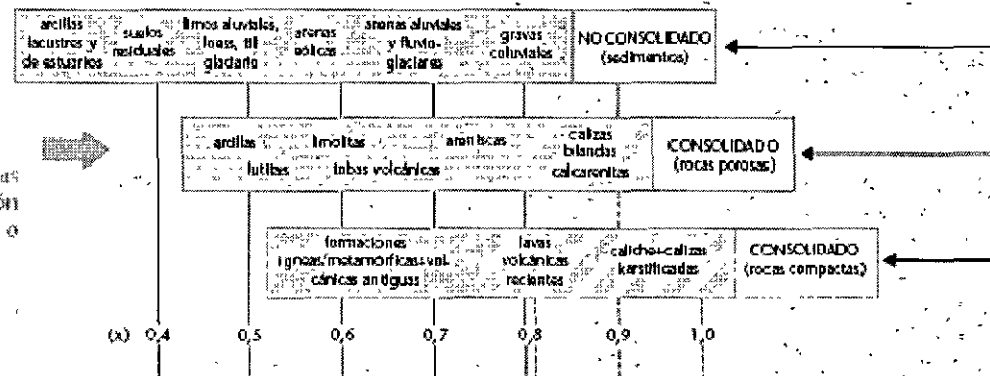
VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO



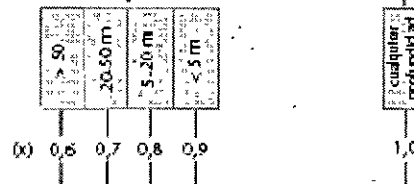
GRADO DE CONFINAMIENTO HIDRÁULICO



OCCURRENCIA DEL SUSTRATO SUPRAYACENTE (características litológicas y grado de consolidación de la zona no saturada o capas confinantes)



DISTANCIA AL NIVEL DEL AGUA SUBTERRÁNEA (no confinados) O AL TECHO DEL ACUÍFERO (confinados)



VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACION DEL ACUÍFERO



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

Foster, 1987

- » Grado de confinamiento hidráulico del acuífero
- » Ocurrencia del sustrato suprayacente (zona no saturada) en términos de características litológicas y grado de consolidación, que determinan su capacidad de atenuación de contaminantes
- » Distancia al agua determinada como: la profundidad al nivel del agua en acuíferos no confinados o la profundidad al techo de acuíferos confinados



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERIA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

GOD

Factores hidrogeológicos que controlan la vulnerabilidad a la
contaminación de acuíferos

| COMPONENTE DE LA VULNERABILIDAD | INFORMACIÓN HIDROGEOLÓGICA | |
|------------------------------------|---|---|
| | idealmente requerida | normalmente disponible |
| Inaccessibilidad hidráulica | <p>grado de confinamiento del acuífero</p> <p>profundidad al agua subterránea o al techo del acuífero</p> <p>contenido de humedad de la zona no saturada</p> <p>conductividad hidráulica vertical de los estratos de la zona no saturada o de las capas confinantes</p> | <p>tipo de acuífero</p> <p>profundidad al agua subterránea o al techo del acuífero confinado</p> |
| Capacidad de atenuación | <p>distribución del tamaño de granos y fisuras en la zona no saturada o en las capas confinantes</p> <p>mineralogía de los estratos de la zona no saturada o capas confinantes</p> | <p>grado de consolidación/fisuración de estos estratos</p> <p>características litológicas de estos estratos</p> |



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA

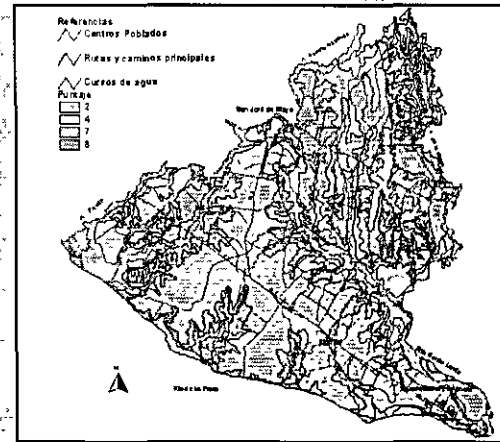


INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

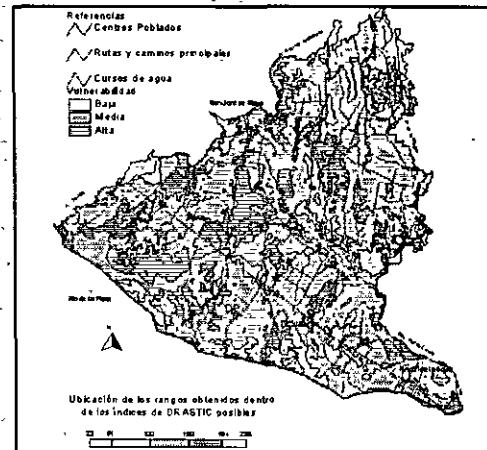
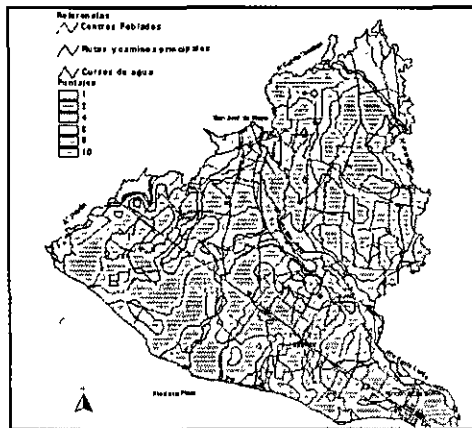


TOPOGRAFÍA



IMPACTO
A LA ZONA
VADOSA

CONDUCTIVIDAD
HIDRÁULICA



CARTA DE
VULNERABILIDAD
GENERAL DEL
ACUÍFERO RAIGÓN

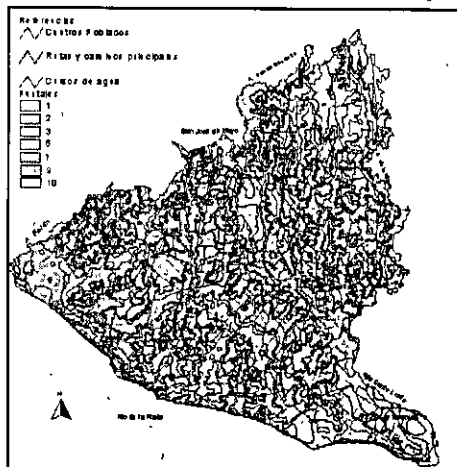


UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA

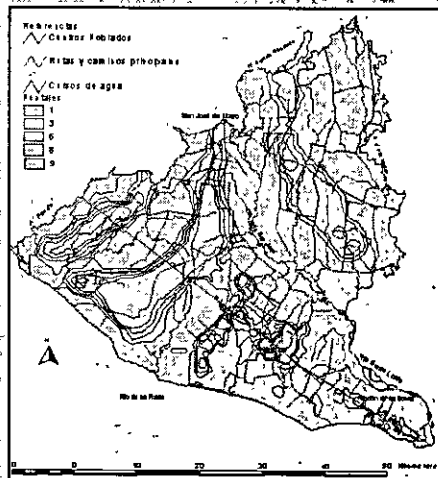


INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

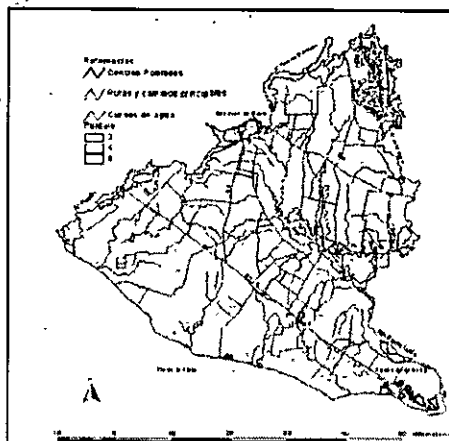
Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos



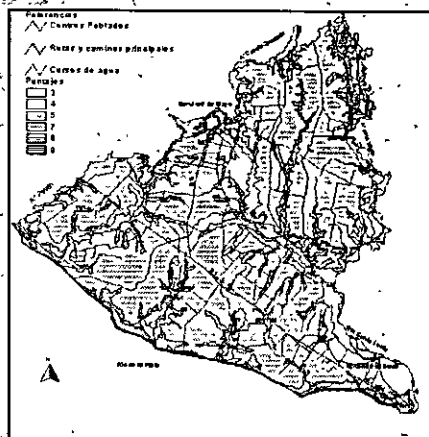
PROFUNDIDAD



RECARGA



ACUÍFERO



SUELO

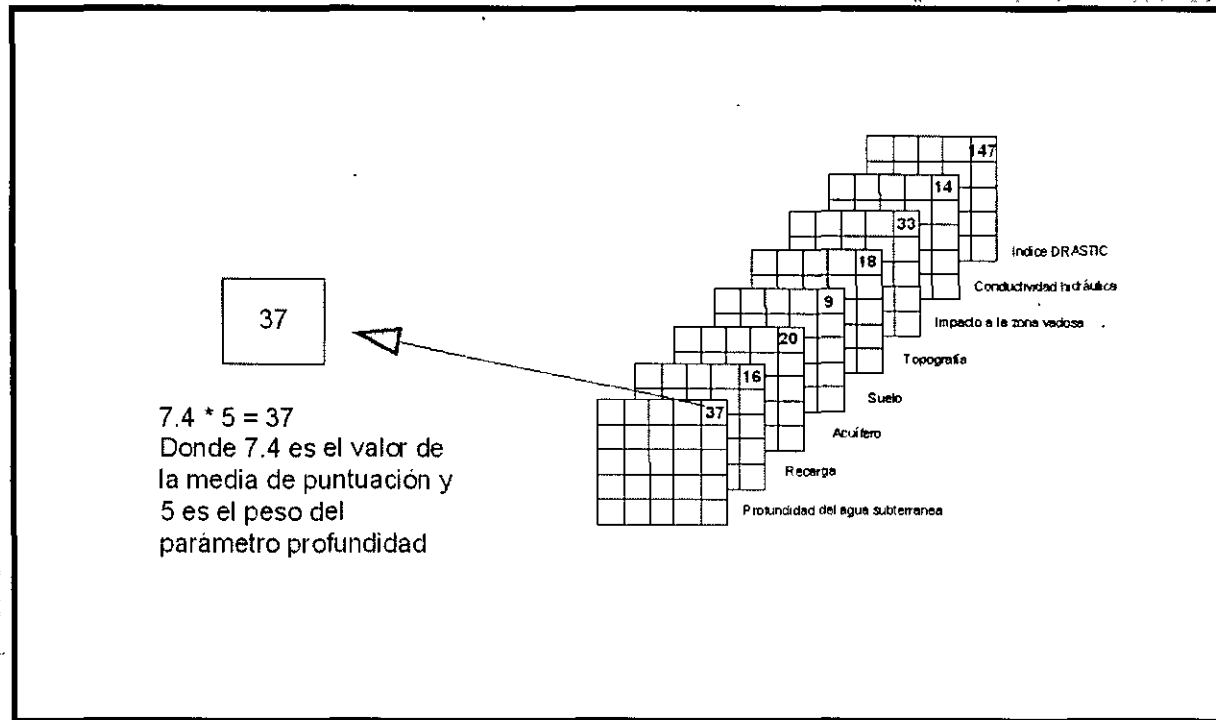


UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos





UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

$$D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w = \text{Indice DRASTIC}$$

| Valor del índice | Clasificación de la vulnerabilidad |
|------------------|------------------------------------|
| < 100 | Despreciable |
| 101 – 119 | Muy baja |
| 120 – 139 | Baja |
| 140 – 159 | Moderada |
| 160 – 179 | Alta |
| 180 – 199 | Muy alta |
| > 200 | Extrema |



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERIA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos.

La determinación del índice DRASTIC involucra multiplicar cada uno de los parámetros (r) por el peso (w) que se le asigna a cada parámetro y se suma el total.

$$DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + Irlw + CrCw = \text{Indice DRASTIC} \\ (\text{Contaminación potencial})$$



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos

| PARAMETRO | (m/d) | (m/s) | CLASE |
|---------------------------------------|-------------|---|-------|
| CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA Cw = 3 | 0.040-4.07 | $4.6 \times 10^{-7} - 4.7 \times 10^{-5}$ | 1 |
| | 4.07-12.22 | $4.7 \times 10^{-5} - 1.4 \times 10^{-4}$ | 2 |
| | 12.22-28.52 | $1.4 \times 10^{-4} - 3.4 \times 10^{-4}$ | 4 |
| | 28.52-40.74 | $3.4 \times 10^{-4} - 4.7 \times 10^{-4}$ | 6 |
| | 40.74-81.49 | $4.7 \times 10^{-4} - 9.5 \times 10^{-4}$ | 8 |
| | > 81.49 | $> 9.5 \times 10^{-4}$ | 10 |



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

| PARAMETRO | MATERIAL | CLASE |
|--|---|--------|
| IMPACTO A LA ZONA VADOSA Iw = 5 | Capa confinante | 1 |
| | Limo/arcilla | 2 - 6 |
| | Lutita | 2 - 5 |
| | Caliza | 2 - 7 |
| | Arenisca | 4 - 8 |
| | Caliza estratificada, arenisca, lutita | 4 - 8 |
| | Arena, grava con limo, arcilla | 4 - 8 |
| | Ígnea/metamórfica | 2 - 8 |
| | Arena y Grava | 6 - 9 |
| | Basalto | 2 - 10 |
| | Caliza karstica | 8 - 10 |



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERIA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos

| PARÁMETRO | INTERVALO (% Pendiente) | CLASE |
|-------------------------|----------------------------|-------|
| TOPOGRAFÍA $T_w = 1$ | 0 - 2 | 10 |
| | 2 - 6 | 9 |
| | 6 - 12 | 5 |
| | 12 - 18 | 3 |
| | > 18 | 1 |



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos.

| PARAMETRO | MATERIAL | CLASE |
|----------------------------|--|-------|
| TIPO DE SUELO Sw = 2 | Fino o ausente | 10 |
| | Grava | 10 |
| | Arena | 9 |
| | Agregado arcilloso o comprimido | 7 |
| | Arenisca margosa | 6 |
| | Marga | 5 |
| | Limo margoso | 4 |
| | Arcilla margosa | 3 |
| | Arcillas no agregadas y material no compacto | 1 |



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

| PARAMETRO | TIPO DE MATERIAL | CLASE |
|-----------------------------|--|--------|
| MEDIO ACUIFERO AW = 3 | Lutita masiva | 1 - 3 |
| | Ígnea/metamórfica | 2 - 5 |
| | Ígnea/metamórfica alterada | 3 - 5 |
| | Glacial | 4 - 6 |
| | Arenisca estratificada, caliza, lutitas | 5 - 9 |
| | Arenisca masiva | 4 - 9 |
| | Caliza masiva | 4 - 9 |
| | Arena y grava | 4 - 9 |
| | Basaltos | 2 - 10 |
| | Caliza kárstica | 9 - 10 |



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

| PARAMETRO | INTERVALO (in) | (mm) | CLASE |
|------------------------------|-------------------|-----------|-------|
| RECARGA NETA $R_w = 4$ | 0-2 | 0 - 50 | 1 |
| | 2-4 | 50 - 1026 | 3 |
| | 4-7 | 102 - 178 | 6 |
| | 7-10 | 178 - 254 | 8 |
| | > 10 | > 254 | 9 |



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERIA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

| PARAMETRO | INTERVALO (ft) | INTERVALO (Original) (m) | INTERVALO (Modificado) (m) | CLASE |
|-----------------------------------|-------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------|
| PROFUNDIDAD DEL AGUA DW = 5 | 0 - 5 | 0 - 1.5 | 0 - 7.5 | 10 |
| | 5 - 15 | 1.5 - 4.6 | 7.5 - 23 | 9 |
| | 15 - 30 | 4.6 - 9.1 | 23 - 45.5 | 7 |
| | 30 - 50 | 9.1 - 15.2 | 45.5 - 76 | 5 |
| | 50 - 75 | 15.2 - 22.9 | 76 - 114.5 | 3 |
| | 75 - 100 | 22.9 - 30.5 | 114.5 - 152.5 | 2 |
| | > 100 | > 30.5 | > 152.5 | 1 |



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERIA
UNAM

Diplomado:

En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos

PESOS GENERALES DE LOS PARÁMETROS DE DRASTIC

| | PARÁMETRO | PESO GENERAL <i>W_i</i> |
|---|--|-----------------------------------|
| D | Depth to water (Profundidad del agua) | 5 |
| R | Recharge (Recarga) | 4 |
| A | Aquifer media (Acuífero) | 3 |
| S | Soil media (Suelo) | 2 |
| T | Topography (Topografía) | 1 |
| I | Impact of the vadose zone media (Impacto a la zona vadosa) | 5 |
| C | Conductivity Hydraulic of the aquifer (Conductividad Hidráulica) | 3 |



DRASTIC

Las siglas de DRASTIC (Aller *et al*, 1985) se derivan de 7 factores:

- *D = profundidad al agua subterránea,*
- *R = recarga neta,*
- *A = medio acuífero,*
- *S = tipo de suelo,*
- *T = topografía (gradiente topográfico),*
- *I = impacto a la zona vadosa y*
- *C = conductividad hidráulica del acuífero*



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

» *DRASTIC*

» *GOD*

» *AVI*



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

Pozo no contaminado



Pozo contaminado



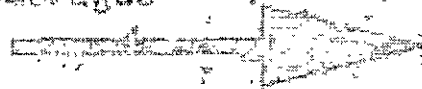
Foco de contaminación



METODOLOGÍAS

Alimentación

Dirección del agua





UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

Topografía. Hasta hace algunos años la obtención de este parámetro era difícil de obtener; sin embargo, el uso de modelos digitales del terreno y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha facilitado la obtención de este parámetro



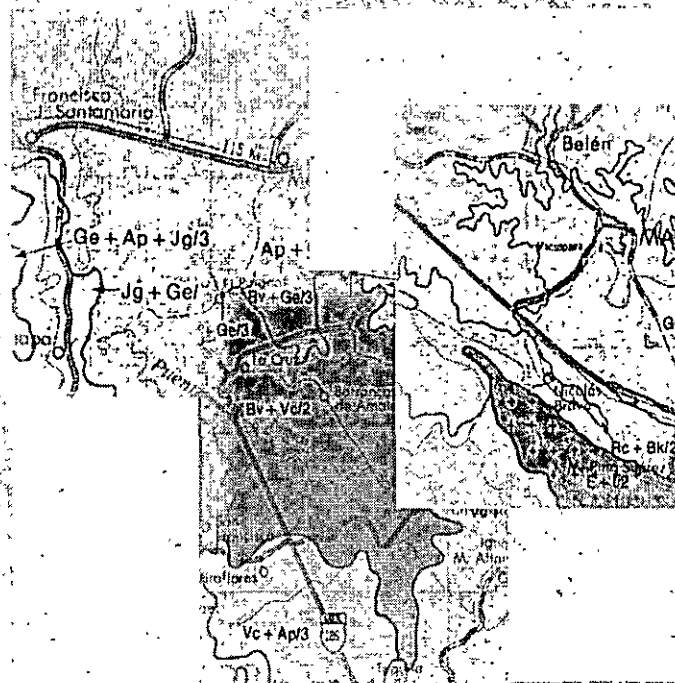
UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

Características de suelos. Este tipo de información se puede obtener de cartas edafológicas (INEGI, I. Geografía). Otro método alternativo indirecto es la percepción remota.





UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

Características del subsuelo (zona vadosa y acuífero). Esta información se obtiene los cortes litológicos, registros eléctricos de pozos, métodos geofísicos secciones geológicas. Esta información se puede obtener en algunos casos en los organismos operadores del agua potable, distritos de riego, CNA, compañías perforadoras y particulares.

| | | |
|--------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| Agua del Subsuelo | Zona No Saturada (Aireación) | Agua Vadosa |
| | | Agua Capilar |
| | <i>NIVEL FREÁTICO</i> | |
| | Zona Saturada | Agua Subterránea |
| | | Agua en poros no conectados entre sí |



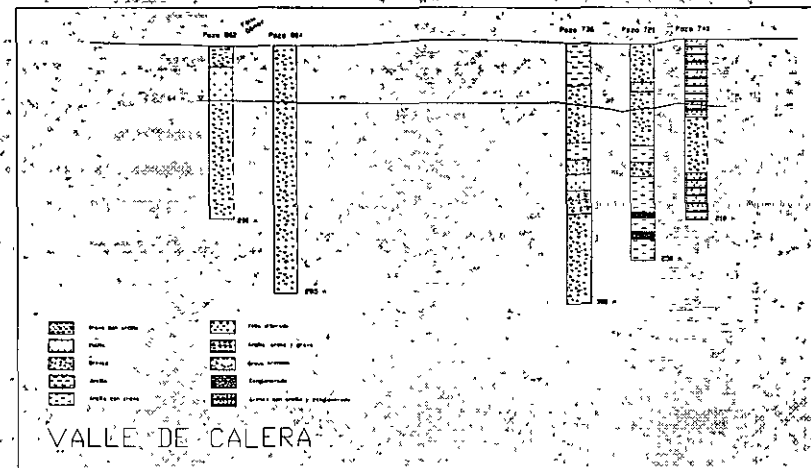
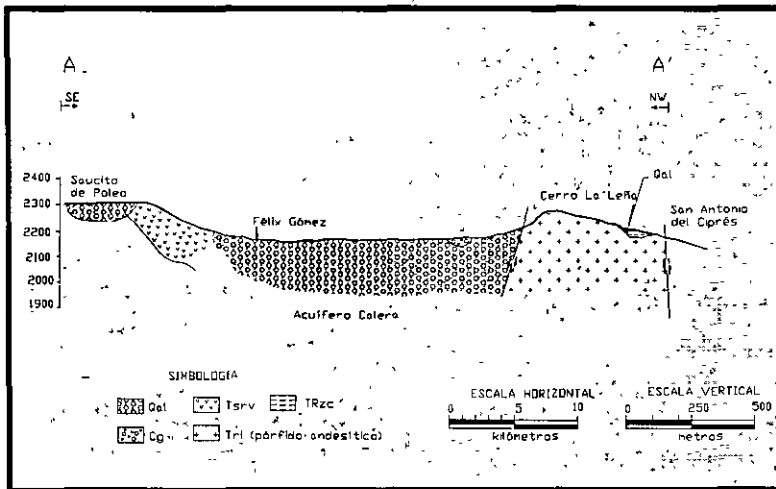
UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos

Profundidad del nivel estático.





RECARGA

- $RN = P - Er$ (mm/año)

$$Er = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P^2}{L^2}\right)}}$$

- Donde el parámetro L depende de la temperatura (T) y se evalúa mediante la siguiente ecuación:
- $L = 300 + 25 \cdot T_c + 0.05 \cdot T_c^3$
- La temperatura media anual se calculó con la siguiente expresión:

$$T_c = \frac{\sum P_m \cdot T_m}{\sum P_m}$$

- Donde P_m es la precipitación media mensual (mm), T_m , es la temperatura media mensual (°C)



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

FUENTES DE INFORMACIÓN Y COLECCIÓN DE DATOS

Recarga. Para evaluar la recarga es necesario contar con información climatológica, como: precipitación, temperatura y en algunos casos radiación solar, esta información se obtiene de las estaciones climatológicas, meteorológicas (Comisión Nacional del Agua, CNA), base de datos del ERIC-II (IMTA), atlas de agua (extinta Secretaria de Recursos Hidráulicos, SARH) y cartas climatológicas y de aguas superficiales (INEGI).



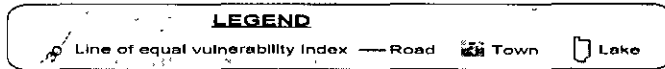
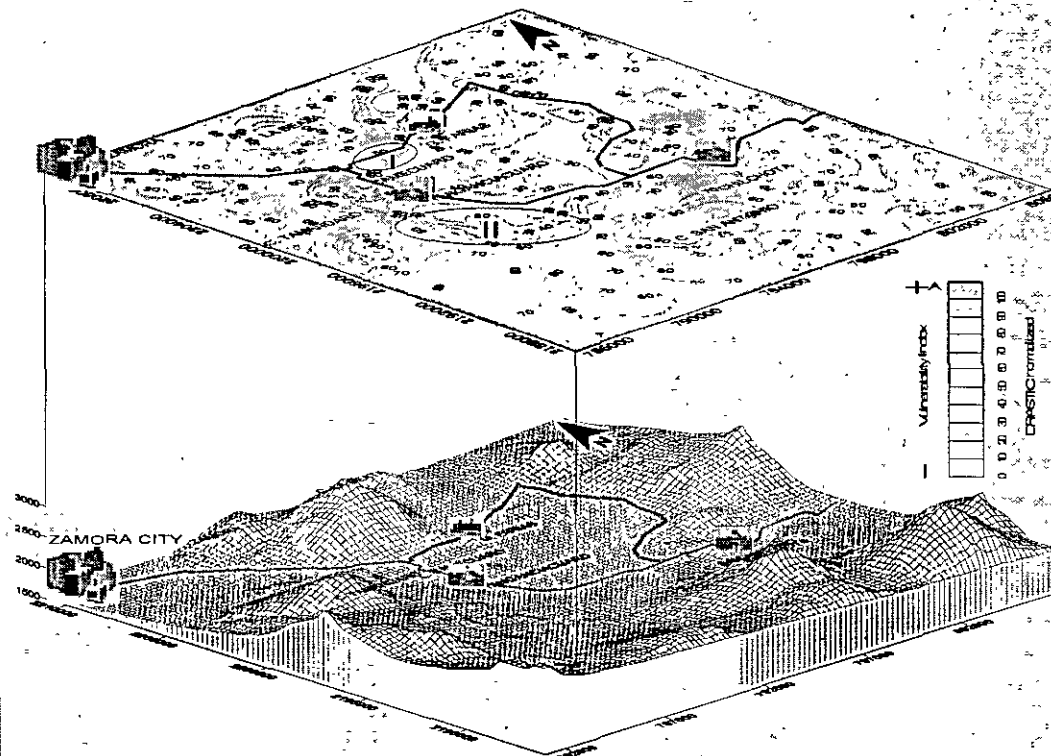
UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:

En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos



Ubicación de
basureros

Rellenos sanitarios

Zonas de recarga
artificial

Monitoreo de calidad
del Agua
Subterránea



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERIA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

¿POR QUÉ HACER UNA EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS?



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

- a) Vulnerabilidad intrínseca
- b) Vulnerabilidad específica



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

• En general, las técnicas pueden ser subdivididas en dos tipos:

- Sistemas que utilizan cálculos numéricos, tales como:
(DRASTIC) Depth Recharge Aquifer Soil Topography Impact to Vadose Zone Conductivity Hydraulic
- (AVI) Aquifer Vulnerability Index (AVI),
- (SINTACS) Soggiacenza Infiltrazione efficace Non saturo
Tipologia della copertura Acquifero Conducibilità hidráulica
dell'acuífero Superficie topográfica
- Sistemas no numéricos, los cuales pueden usar números para ordenar el incremento de vulnerabilidad o clasificar como altamente vulnerables o menos vulnerables.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS

Propiedad intrínseca que determina la susceptibilidad de un acuífero a ser adversamente afectado por una carga contaminante



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos

| REFERENCIA | TIPO | PARÁMETROS BÁSICOS | | | | | | | | | | | | |
|---|------|--|--|--|-----------------------------------|------------------|--|---|--------------|---|------------------------------------|------------------------------|------------------------|---|
| | | PRECIPITACIÓN Y COMPOSICIÓN QUÍMICA | VARIABILIDAD DE LAS FORMAS TOPOGRÁFICAS | DENSIDAD DE LA RED DE CORRIENTES DE FLUJO | CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS | | | CONDICIÓN DEL ACUIFERO CON EL AGUA SUPERFICIAL | RECARGA META | CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA NO SATURADA | PROFUNDIDAD AL AGUA SUBTERRÁNEA | CAMBIOS EN EL NIVEL PRÁCTICO | RISCOS HIDROGEOLOGICOS | CONDUCTIVIDAD IBERÁLICA DEL ACUIFERO |
| | | | | | ESPESES, TEXTURA Y MINERALOGÍA | HUMEDAD EFECTIVA | PERMEABILIDAD PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS | | | | | | | |
| Albinet y Margat (1970) | HCS | | | | | | | | | | | | | |
| BRGM (1976) | | | | | | | | | | | | | | |
| Vrana (1968) | HCS | | | | | | | | | | | | | |
| Oliver y Rezac (1974) | | | | | | | | | | | | | | |
| Fenge (1976) | RS | | | | | | | | | | | | | |
| Josopai y Schwerdtfeger (1979) | HCS | | | | | | | | | | | | | |
| Zampetti (1983) | AR | | | | | | | | | | | | | |
| Fried (1987) | | | | | | | | | | | | | | |
| Vilmsen et al (1983) | RS | | | | | | | | | | | | | |
| Haerthe (1983) | MS | | | | | | | | | | | | | |
| Vrana (1984b) | HCS | | | | | | | | | | | | | |
| Subirana Asturias y Casas Ponsati (1984) | HCS | | | | | | | | | | | | | |
| Engelen (1985) | MS | | | | | | | | | | | | | |
| Zaporozec (1985) | RS | | | | | | | | | | | | | |
| Breeuwisma et al (1986) | HCS | | | | | | | | | | | | | |
| Sotornikova y Vrba (1987) | RS | | | | | | | | | | | | | |
| Ostry et al (1987) | HCS | | | | | | | | | | | | | |
| Ministry Flemish Comm (1986) | MS | | | | | | | | | | | | | |
| Goossens y Van Damme (1987) | | | | | | | | | | | | | | |
| Carter et al (1987) | MS | | | | | | | | | | | | | |
| Palmer (1988) | | | | | | | | | | | | | | |
| Marcolongo y Pretto (1987) | RS | | | | | | | | | | | | | |
| Method 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| Marcolongo y Pretto (1987) | AR | | | | | | | | | | | | | |
| Method 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| GOO- Foster (1987) | RS | | | | | | | | | | | | | |
| Schmidt (1987) | RS | | | | | | | | | | | | | |
| Trojan y Perry (1988) | PCSM | | | | | | | | | | | | | |
| Civita in Benacchio et al (1988) | HCS | | | | | | | | | | | | | |
| DRASTIC - Ailer et al (1987) | PCSM | | | | | | | | | | | | | |
| SINTACS - Civita (1990a) | PCSM | | | | | | | | | | | | | |

Explicación: AR - relaciones análogas, HCS - marco complejo hidrogeológico, MS - sistema de matrices, PCSM - modelo de sistemas de conteo de puntos, RS - sistema de clasificación



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

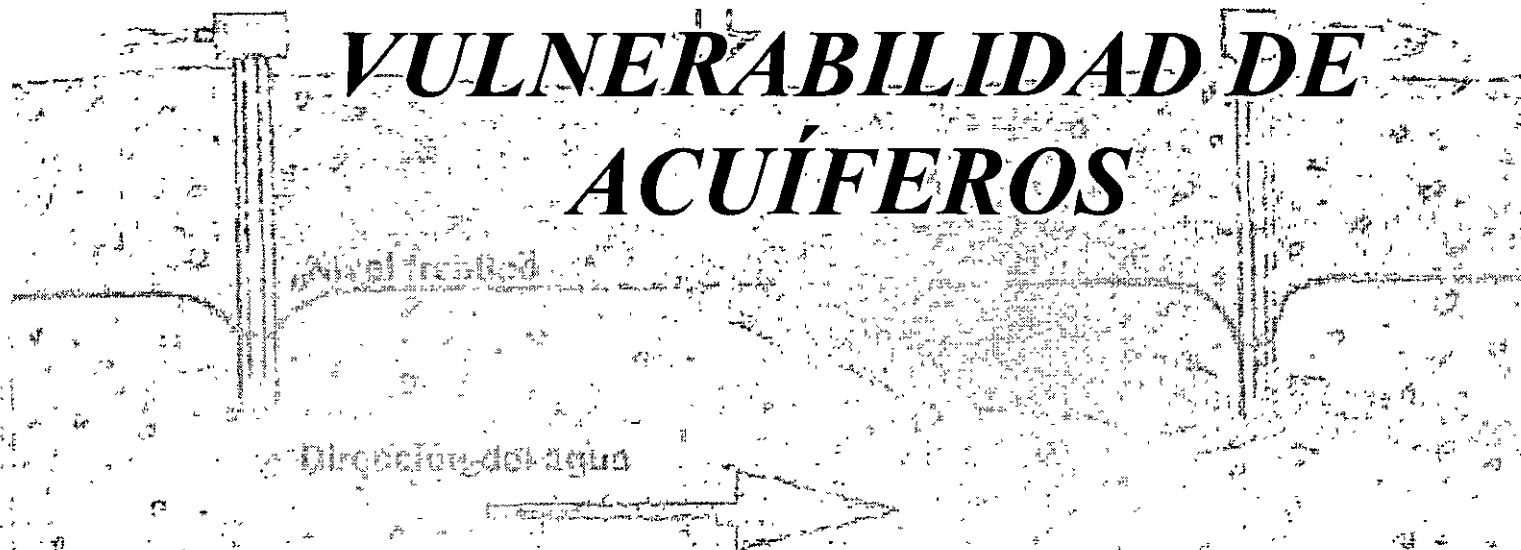
Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

Pozo no contaminado

Pozo contaminado



CONCEPTO DE VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS





UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERIA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

CONTENIDO

- » Concepto de vulnerabilidad
- » Análisis de parámetros de vulnerabilidad
- » Evaluación de la vulnerabilidad
- » Métodos y técnicas de evaluación de vulnerabilidad
- » Fuentes de información y colección de datos
- » Metodologías



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos.

VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS

Ana Alejandrina Castro Rodríguez
GRUPO DE SANEAMIENTO DE SUELOS Y ACUÍFEROS
INSTITUTO DE INGENIERÍA
COORDINACIÓN INGENIERÍA AMBIENTAL
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Octubre 2008



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos.

CARACTERIZACIÓN DE LNAPL's Y DNAPL's

Ana Alejandrina Castro Rodríguez
GRUPO DE SANEAMIENTO DE SUELOS Y ACUÍFEROS
INSTITUTO DE INGENIERÍA
COORDINACIÓN INGENIERÍA AMBIENTAL
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Octubre 2008

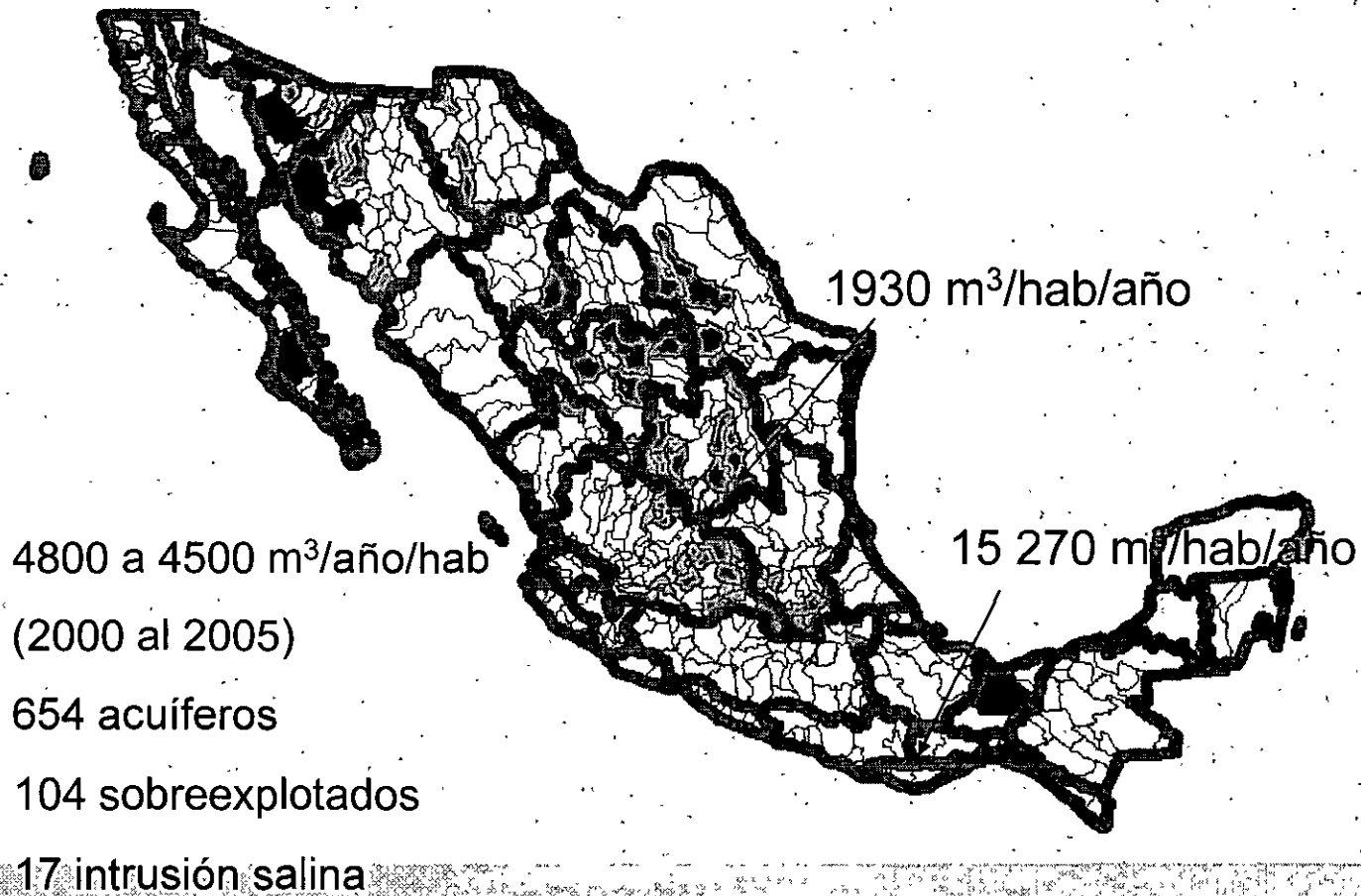


UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos





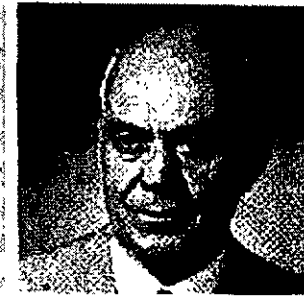
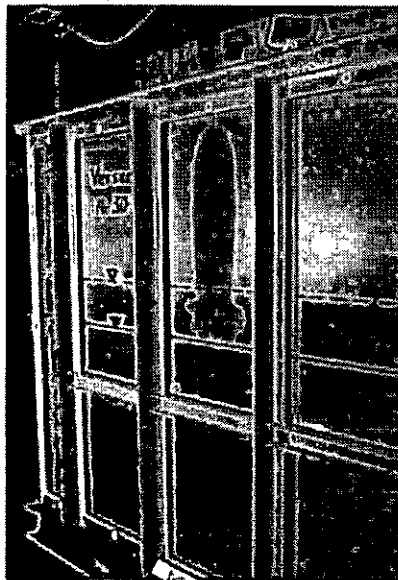
UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERIA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos

NAPLS "Non-Aqueous Phase Liquid"



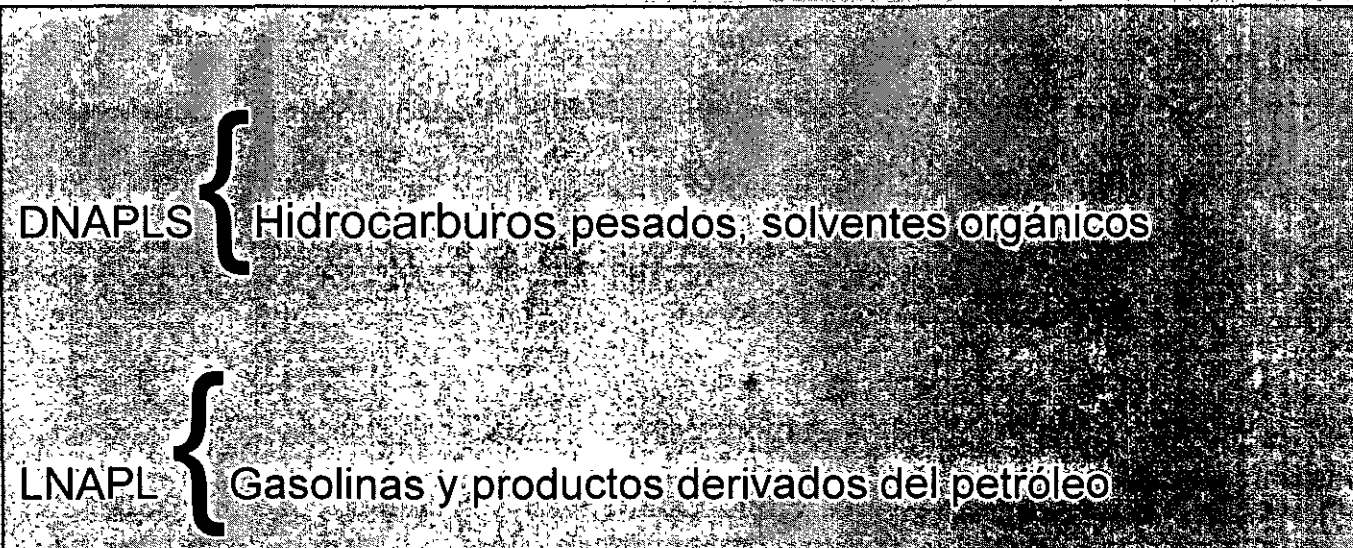


UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



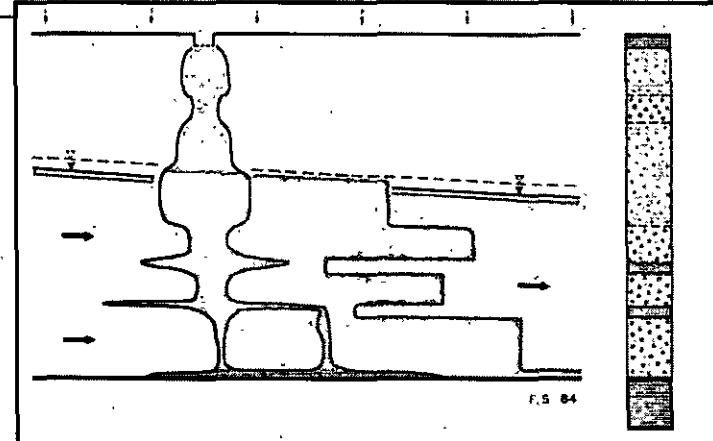
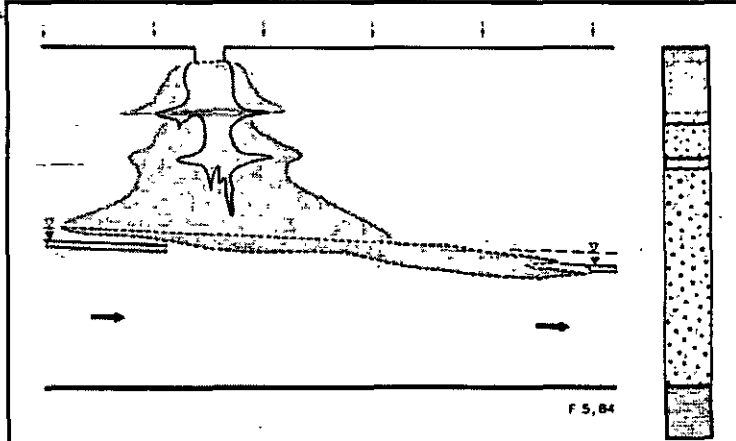
INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos





DNAPLs



FUENTE: SCHWILLE, 1988

- » Al ser más densos que el agua, penetran dentro de la zona saturada:
- » Al tener una viscosidad muy pequeña, penetran rápidamente dentro del acuífero
- » Al tener una tensión superficial agua/disolvente baja, entran muy fácilmente en pequeñas fracturas
- » Son poco solubles en agua de modo que el disolvente persistirá durante décadas y siglos en el acuífero, pero suficientemente solubles para generar un problema de contaminación
- » Los suelos tienen una capacidad de retención de disolventes clorados relativamente pequeña
- » Se degradan relativamente poco, teniendo tiempos de vida excesivamente largos



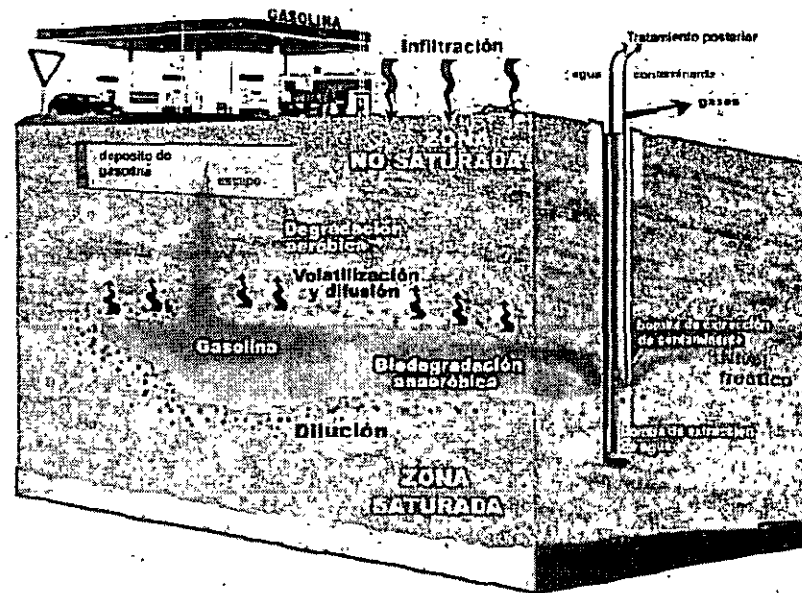
UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERIA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

LNAPL'S



- » Al ser menos densos que el agua, se quedan flotando encima de la zona saturada
- » Son poco solubles en el agua de forma que el disolvente persistirá durante décadas y siglos en el acuífero, pero suficientemente solubles para generar un problema de contaminación
- » Los suelos tienen una capacidad de retención de hidrocarburos orgánicos relativamente alta
- » Son degradables, teniendo tiempos de vida accesibles

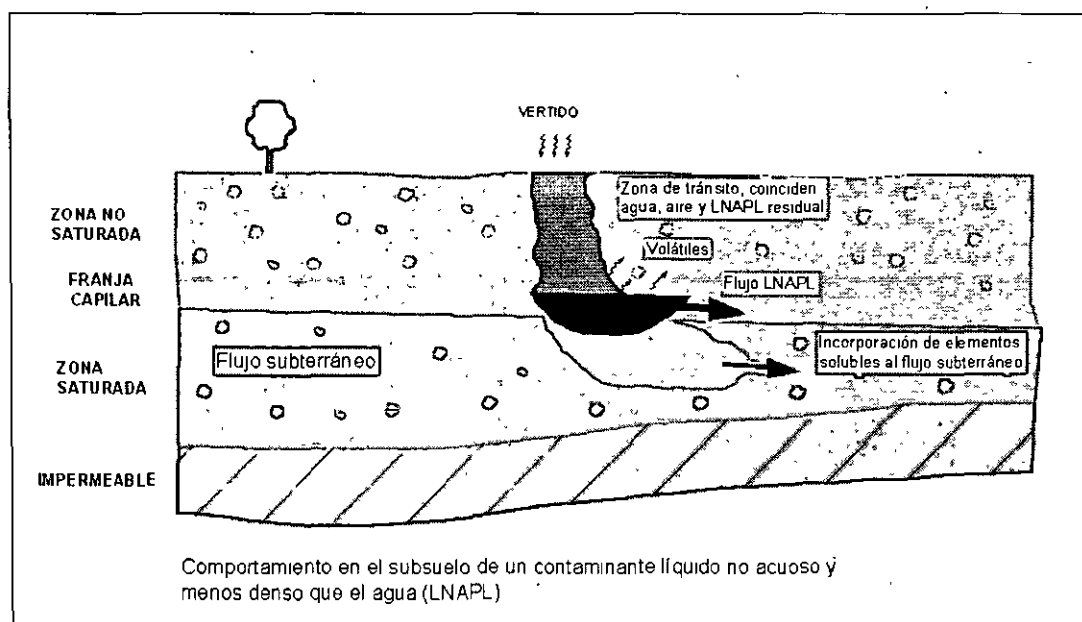


UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos



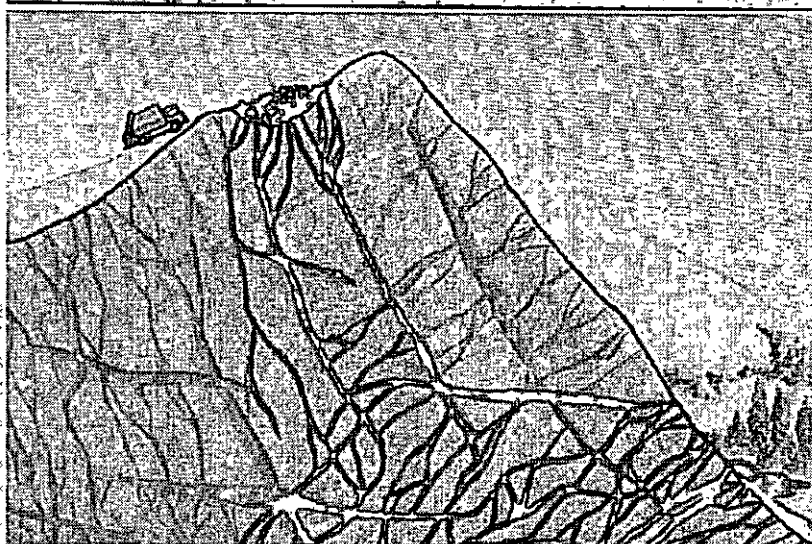
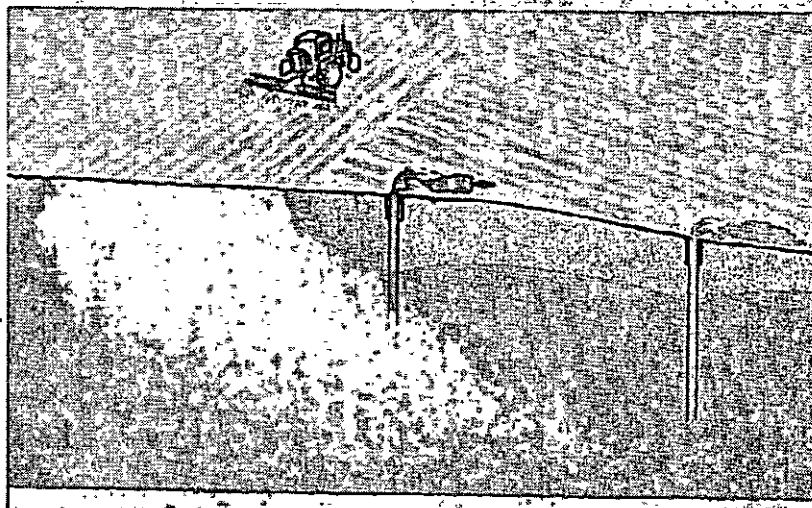


UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERIA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos.



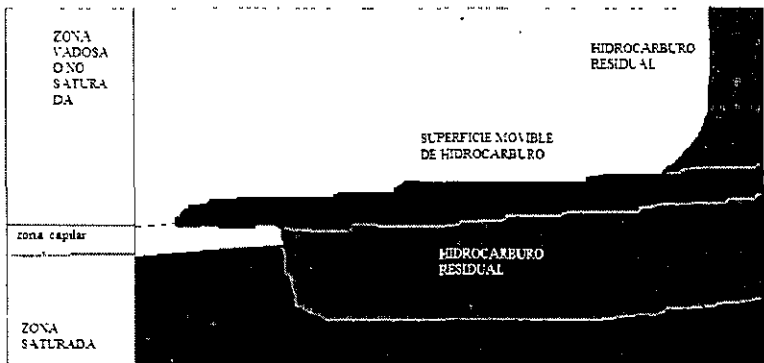
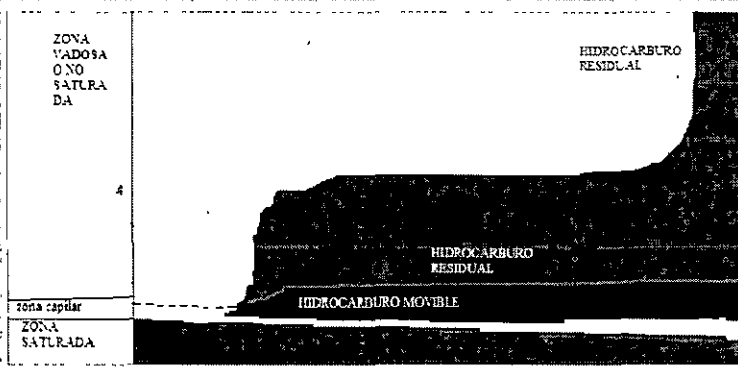
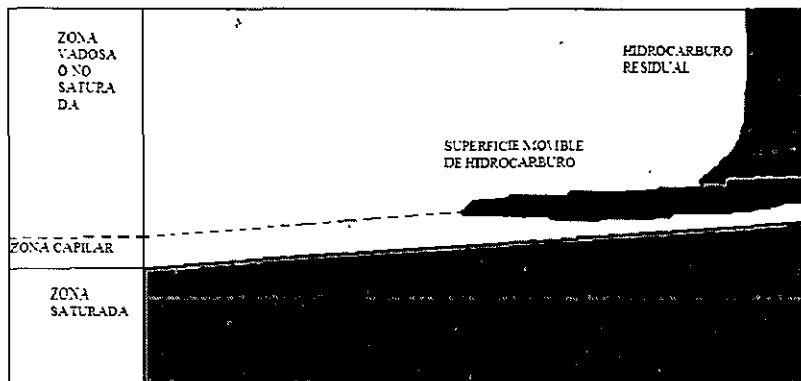


UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos





UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos

COMPARACIÓN DE LNAPLs Y DNAPLs

| COMPUESTO | SOLUBILIDAD EN AGUA (mg/l) | DENSIDAD A 4°C (g/cm ³) | VISCOSIDAD A 4°C (cP) | PRESIÓN DE VAPOR (mmHg) |
|-------------------------|----------------------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Benceno | 1780 | 0.88 | 0.65 | 95.2 |
| Tolueno | 490 | 0.86 | 0.58 | 22 |
| Etilbenceno | 152 | 0.86 | 0.62 | 10 |
| Tetracloroetileno (PCE) | 1.5 | 1.62 | 0.89 | 20 |
| Tetracloruro de carbono | 8 | 1.59 | 0.97 | 91.3 |
| Cloroformo | 82.2 | 1.48 | 0.58 | 159.6 |
| Tricloroetileno (TCE) | 11 | 1.46 | 0.58 | 72.26 |
| Diclorometano | 200 | 1.32 | 0.51 | 350 |

La viscosidad del agua a 25°C es 0.766 cP

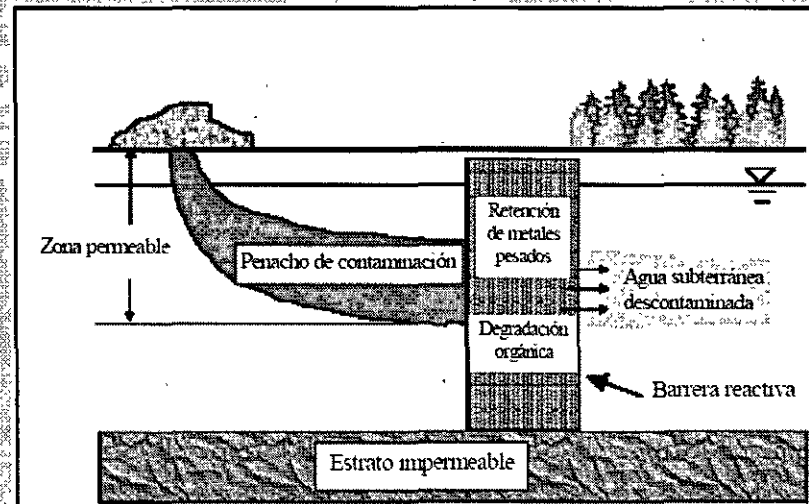


DESCONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Medidas muy costosas, lentas y complejas

Tres posibilidades:

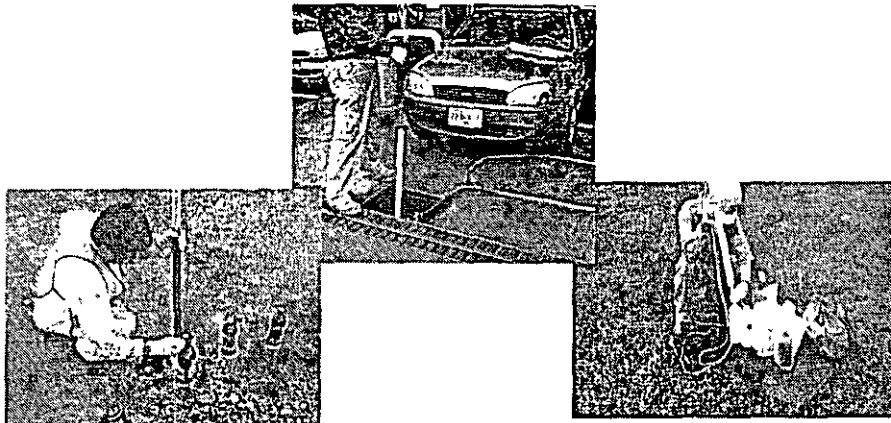
- » Medidas de contención y aislamiento del contaminante
- » Métodos de extracción del contaminante
- » Métodos de destrucción *in situ* del contaminante





MODULO 2. CARACTERIZACIÓN DE SUELOS Y AGUAS SUBTERRÁNEAS CONTAMINADOS

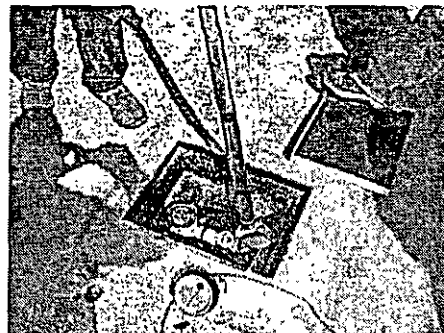
Monitoreo de aguas subterráneas



Monitoreo

Actividad consistente en efectuar observaciones, mediciones y evaluaciones de caracter sistemático en un sitio y periodo determinados, con el objeto de identificar los impactos y riesgos potenciales sobre el ambiente y la salud pública o para evaluar la efectividad de un sistema de control.

Evaluación sistemática cualitativa y cuantitativa de la calidad del agua





La evaluación de la calidad del agua subterránea generalmente se realiza a través de la colecta de muestras, lo cual en la mayoría de los casos se realiza mediante procedimientos desarrollados en función de:

- Técnicas específicas
- Instrumentos y elementos de evaluación
- Tipo de parámetros de investigación



Designation D 4448 - 01

Standard Guide for Sampling Ground-Water Monitoring Wells¹

This Standard is intended for use in conjunction with the Standard Guide for Sampling Ground-Water Monitoring Wells, 1999, and the Standard Guide for Sampling Ground-Water Monitoring Wells, 2001, and the Standard Guide for Sampling Ground-Water Monitoring Wells, 2003.



Designation D 6301 - 96¹

Standard Guide for Direct Push Water Sampling for Geoenvironmental Investigations¹

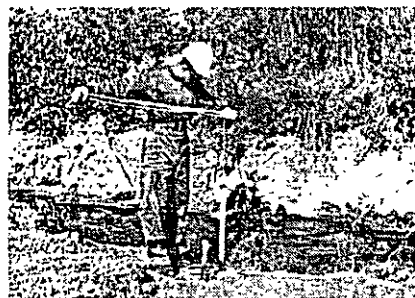
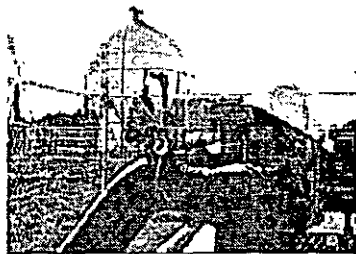
This Standard is intended for use in conjunction with the Standard Guide for Direct Push Water Sampling for Geoenvironmental Investigations, 1999, and the Standard Guide for Direct Push Water Sampling for Geoenvironmental Investigations, 2001, and the Standard Guide for Direct Push Water Sampling for Geoenvironmental Investigations, 2003.



Técnicas específicas.

Consiste de metodologías de trabajo que garanticen la representatividad de la colecta de muestras de un cuerpo de agua subterráneo.

- Muestreo directo y con principio básico de purgado previo (bailers, muestreadores discretos y bombeo)
- Muestreo de bajo Flujo

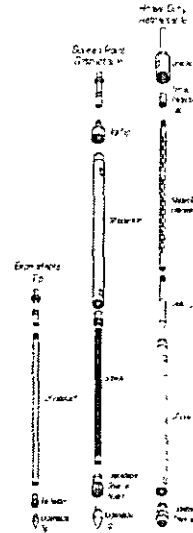
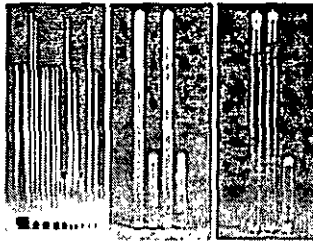




Muestreo directo: (bailers, muestreadores discretos, bombeo de alta velocidad)

Consiste en la utilización de elementos o instrumentos de colecta de agua subterránea en puntos acondicionados para su evaluación (pozos) y/o durante las labores de prospección (perforaciones)

En casos de puntos acondicionados para evaluación, generalmente se incluye el procedimiento de purgado.



Purgado:

Consiste en la remoción de una cantidad determinada de agua subterránea del sitio acondicionado para su evaluación, a fin de minimizar la tendencia de estancamiento, dado que este estancamiento no refleja con exactitud el ambiente químico del agua subterránea.

Métodos de purgado

•Volumen fijo x numero de veces el volumen de agua presente en el interior del sitio acondicionado para la evaluación.

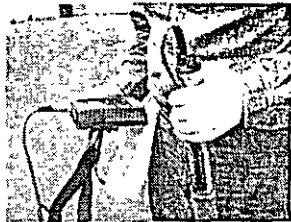
•Estabilización de parámetros indicadores: registro continuo de lecturas de parámetros fisicoquímicos seleccionados del agua subterránea hasta observar su estabilización, lo cual se considera cuando dichas lecturas se encuentran en rangos predefinidos. Estos rangos se sugieren cuando:

- A) No se presentan aumentos mayores al 10% en dos mediciones sucesivas realizadas cada tres minutos
- B) Se registran variaciones en rangos de ± 0.2 °C para temperatura, ± 0.1 unidades de pH; $\pm 3\%$ de conductividad, $\pm 10\%$ de oxígeno disuelto y ± 10 mV de potencial Redox



Métodos de purgado (continuación)

- **Estabilización de compuestos específicos:** se usan concentraciones de compuestos seleccionados o sus análogos químicos, en vez de parámetros indicadores. Los datos son producidos por el análisis secuencial del agua removida durante el purgado con el uso unidades de laboratorio móvil o equipos analíticos portátiles pequeños.
- **Combinación de volumen fijo y estabilización de parámetros.** Combinación de ambos métodos.
- **Agotamiento de pozo** Consiste en provocar el agotamiento (vaciado total) del sitio de evaluación (pozo) para incentivar su posterior recarga



Monitoreo directo con bailers

Los bailers son recipientes largados en forma de tubo, de diferentes materiales y dimensiones o capacidades variadas. Estos recipientes cuentan en uno de sus extremos con elemento de sujeción de donde son sostenidos para su introducción y extracción del sitio de monitoreo, mientras que en el otro extremo presentan un elemento de cierre y apertura que funciona por diferencias de densidad.

Ventajas:

- *Facilidad y rapidez en la colecta de muestras*
- *Accesibilidad a puntos de muestreo*
- *Mayor seguridad en el área de trabajo*
- *Facilidad en la limpieza del equipo.*
- *Util en muestreos de agua superficial y aplicable para colecta de productos o compuestos en fase libre sobre cuerpos de agua*



Desventajas:

- *Alteración de las condiciones hidrogeológicas del sitio de muestreo*
- *Factores adversos a la calidad de la colecta de muestras (turbidez, alteración en concentración de compuestos, alto contenido de sólidos en suspensión)*
- *Obtención de elemento o válvula de apertura y cierre.*

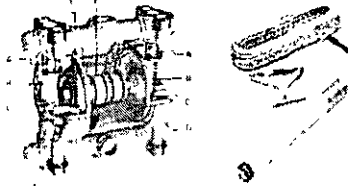


Monitoreo directo con bombeo:

Este tipo de monitoreo se efectúa por efectos de succión mediante instrumentos comúnmente conocidos como bombas y cuyo principio básico es la generación de un vacío a través movimientos de empuje (bombas neumáticas) y centrifugado (bombas eléctricas).

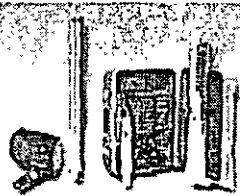
Ventajas:

- Facilidad y rapidez en la colecta de muestras
- Accesibilidad a puntos de muestreo profundos
- Útil en muestreos de agua superficial y aplicable para colecta de productos o compuestos en fase libre sobre cuerpos de agua



Desventajas:

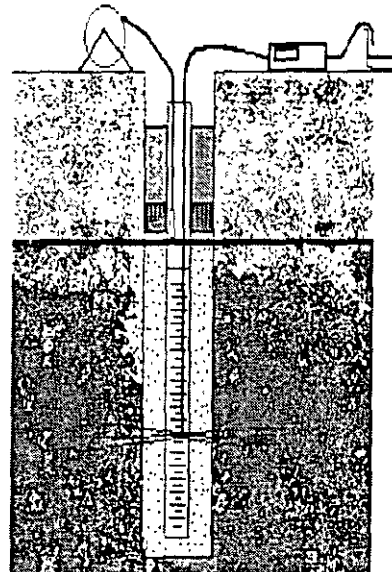
- Alta Alteración de las condiciones hidrogeológicas del sitio de muestreo
- Factores adversos a la calidad de la colecta de muestra (turbidez, alteración en concentración de compuestos, alto contenido de sólidos en suspensión)
- Obturación de elementos de extracción



Muestreo de bajo flujo

El bajo flujo se refiere a la velocidad con la que el agua subterránea es tomada por un sistema de bombeo y que es proporcionada directamente de los poros de la formación litológica en cuestión en los límites inmediatos del ademe ranurado (screen)

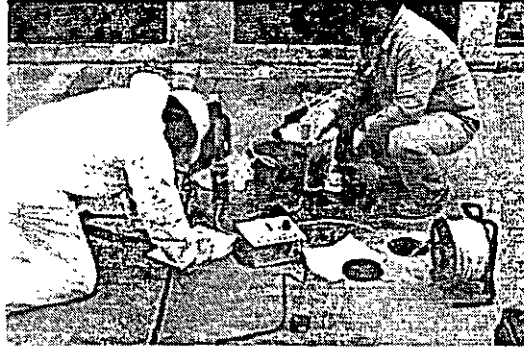
El objeto principal de esta técnica de muestreo es el evitar en lo mayor posible la alteración de las condiciones hidrogeológicas en el sitio de monitoreo, que pudiesen representar la no detección analítica de compuestos contaminantes, tales como partículas coloidales compuestos volátiles, partículas disueltas, entre otros.





Factores y controles técnicos:

- Instalación del sistema de bombeo
- Velocidad de flujo del bombeo
- Medición y registro de las variaciones de profundidad del nivel piezométrico
- Medición y registro de parámetros indicadores de la calidad del agua.

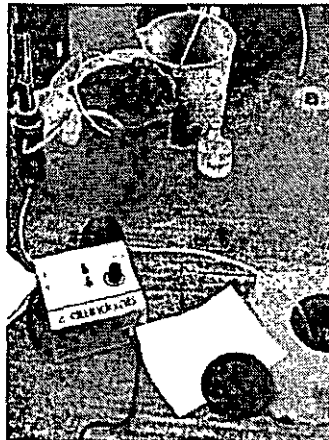


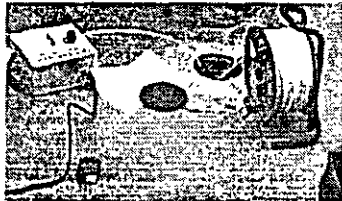
Instalación del sistema de bombeo:

- Instalación cuidadosa para la no alteración de las condiciones internas del sitio de monitoreo
- Introducción del sistema de extracción hasta el punto medio del intervalo ranurado (screen)

Velocidades de flujo del bombeo

- Rangos de flujo del orden de 0.1 a 0.5 l/min. Aunque en formaciones de granulometrias gruesas (arenas y gravas se alcanzan rangos de flujo de hasta 1 l/min





Medición y registro de variaciones de profundidad del nivel piezométrico.

Consiste en controlar las variaciones del nivel piezométrico hasta un máximo de 0.1 m durante la extracción del agua subterránea; esto se realiza con la calibración constante del flujo de bombeo



Medición y registro de parámetros fisicoquímicos indicadores de la calidad del agua.

Registro continuo de lecturas de parámetros fisicoquímicos cada 3 o 5 minutos, hasta su estabilización en al menos tres lecturas consecutivas con diferencias máximas de:
±0.2 °C para temperatura;
±0.1 unidades de pH;
±3% de conductividad;
±10% de oxígeno disuelto
±10mV de potencial Redox.



Ventajas y desventajas del muestreo de bajo flujo

Ventajas

- Las muestras son representativas de contaminantes "movibles" presentes en el agua subterránea (compuestos disueltos y coloides)
- Alteración mínima de las condiciones de sitio de monitoreo
- Variaciones bajas y alto control del operador.
- Baja mezcla de agua estancada con agua de la formación
- Poco volumen de purgado
- Mejor calidad de la muestra (reducción de factores de interferencia analítica)

Desventajas

- Alto costo inicial
- Alargado de tiempos de muestreo y estancia en el sitio de monitoreo
- Requerimientos de equipo complementario y su transporte
- No aplica en cualquier sitio de monitoreo, según las condiciones de posible afectación.

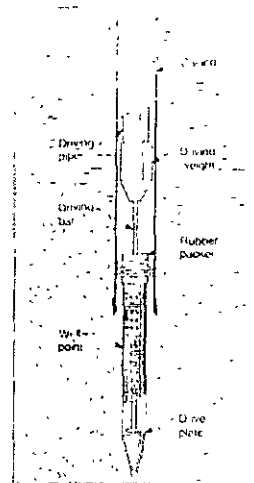


Procedimientos de monitoreo emergentes o específicos

Consisten de procedimientos de muestreo de agua subterránea enfocados a particularidades de evaluación, tales como relación agua/suelo, concentraciones de parámetros o compuestos específicos, entre otros.

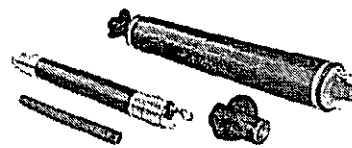
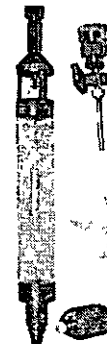
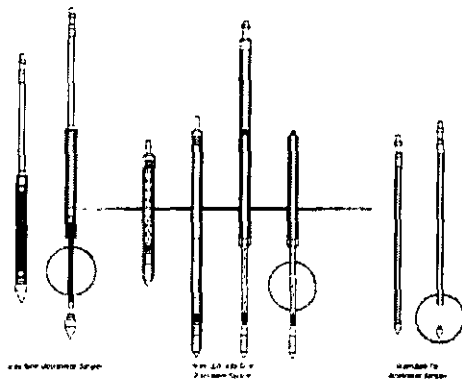
Particularmente, se pueden identificar como monitoreo o muestreo discreto, lo cual se usa primordialmente en la distribución detallada de contaminantes en un ambiente subterráneo, estos tipos de monitoreo frecuentemente son efectuados para la caracterización de sitios peligrosos y de desechos tóxicos.

Algunos de estos procedimientos de monitoreo se realizan en conjunto con actividades propias de prospección, los más comunes se conocen como: muestreo de agua con empuje directo. En otros casos el monitoreo discreto se efectúa en intervalos seleccionados de sitios acondicionados dentro del cuerpo de agua a evaluar.



De manera general, este tipo de monitoreo se efectúa en función de:

- Su objetivo,
- Plan de monitoreo
- Condiciones del sitio de monitoreo
- Herramientas o instrumentos de muestreo





UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

DIPLOMADO EN: “CARACTERIZACIÓN Y REMEDIACIÓN DE SUELOS Y ACUÍFEROS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS”

Módulo II: Caracterización de suelos y aguas subterráneas contaminadas

Tema 3: Caracterización ambiental de agua subterránea: “Diseño de programas de monitoreo en acuíferos contaminados”

ING. GEÓLOGO ANTONIO HERNÁNDEZ ESPRIU

**PROFESOR DE TIEMPO COMPLETO DEL ÁREA DE HIDROGEOLOGÍA Y GEOLOGÍA
AMBIENTAL.**

Departamento de Geología. División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. Facultad de
Ingeniería, UNAM.

ahespriu@dictfi.unam.mx; www.dict.unam.mx

CONTENIDO

- **Introducción y generalidades**
- **Elementos esenciales en un programa de monitoreo**
- **Aspectos técnicos a tomar en cuenta**
- **Frecuencia de muestreo**
- **Distribución espacial de la red de monitoreo**
- **Diseño de pozos de monitoreo y piezómetros**
- **Elección del muestreo y parámetros indicadores de contaminación**
- **Monitoreo automatizado de acuíferos**
- **Programas de optimización**

OBJETIVO DEL TEMA 3

- **Conocer y familiarizarse con los elementos y criterios geológicos, hidrogeológicos, estadísticos, analíticos y económicos para diseñar un programa de monitoreo en acuíferos contaminados**

“ The only member of the Remediation Team who can design a monitoring program is the Geologist/Hydrogeologist ”

Evan K. Nyer, 1988

INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES

- Los costos derivados del monitoreo de agua subterránea contaminada durante una remediación, representan un **porcentaje muy alto, persistente y creciente con respecto al monto total del proyecto.**
- Por lo tanto, el monitoreo forma parte del proyecto de remediación y **NO debe considerarse** como un proyecto independiente.
- La U.S. EPA (2004) define monitoreo como:

“... La colecta y análisis de datos (químicos, físicos y/o biológicos) por un determinado período y frecuencia, para determinar el estatus y/o la tendencia de parámetros ambientales y su directa relación para cumplir con los objetivos del proyecto en cuestión”.

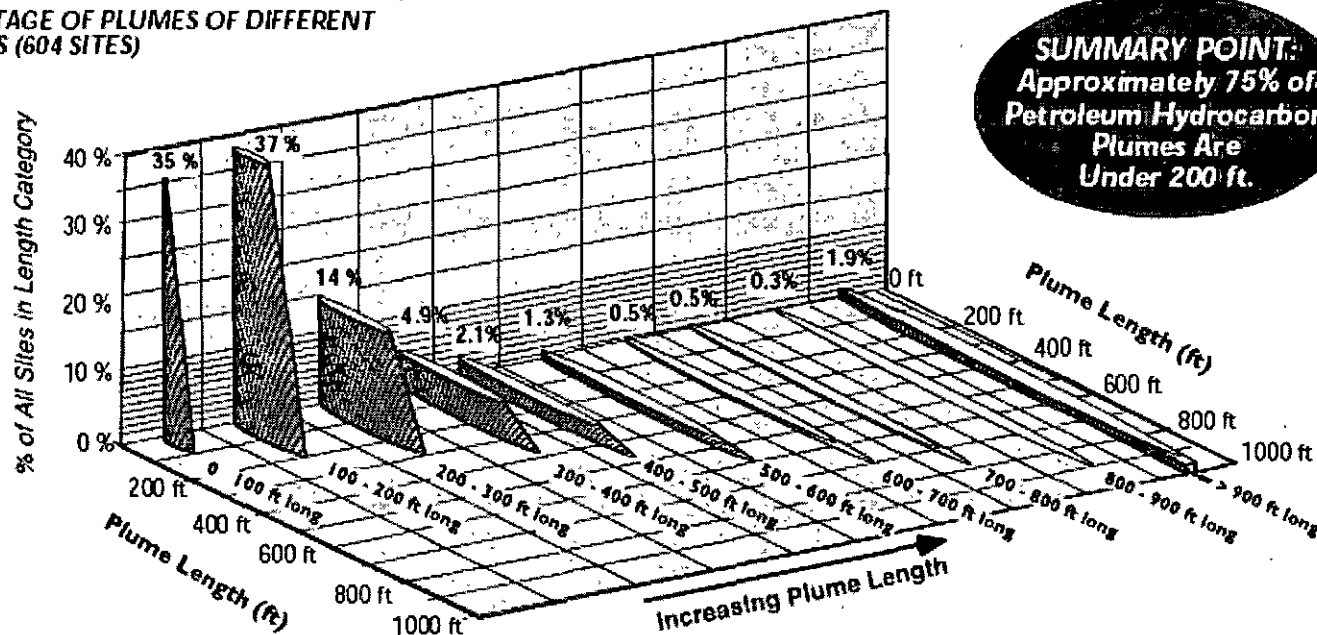
INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES

- Un programa de monitoreo se implementa para:
 - **Obtener muestras representativas de agua subterránea**
 - **Determinar la composición geoquímica de fondo**
 - **Determinar el tamaño de la pluma y su persistencia con respecto al tiempo**
 - **Determinar la potencial migración de la pluma**
 - **Establecer las condiciones de estabilidad de la pluma**
 - **Cuantificar el riesgo a la salud y al medio ambiente**
 - **Colectar datos para complementar el entendimiento del sitio (modelo conceptual)**
 - **Establecer los efectos del proyecto de remediación**
 - **Determinar los impactos al agua según usos consuntivos**

DATOS GENERADOS DE ESTUDIOS DE MONITOREO EN EUA







COMBINED RESULTS FROM FOUR STUDIES:
PERCENTAGE OF PLUMES OF DIFFERENT LENGTHS (604 SITES)



SUMMARY POINT:
Approximately 75% of Petroleum Hydrocarbon Plumes Are Under 200 ft.

DATOS GENERADOS DE ESTUDIOS DE MONITOREO EN EUA

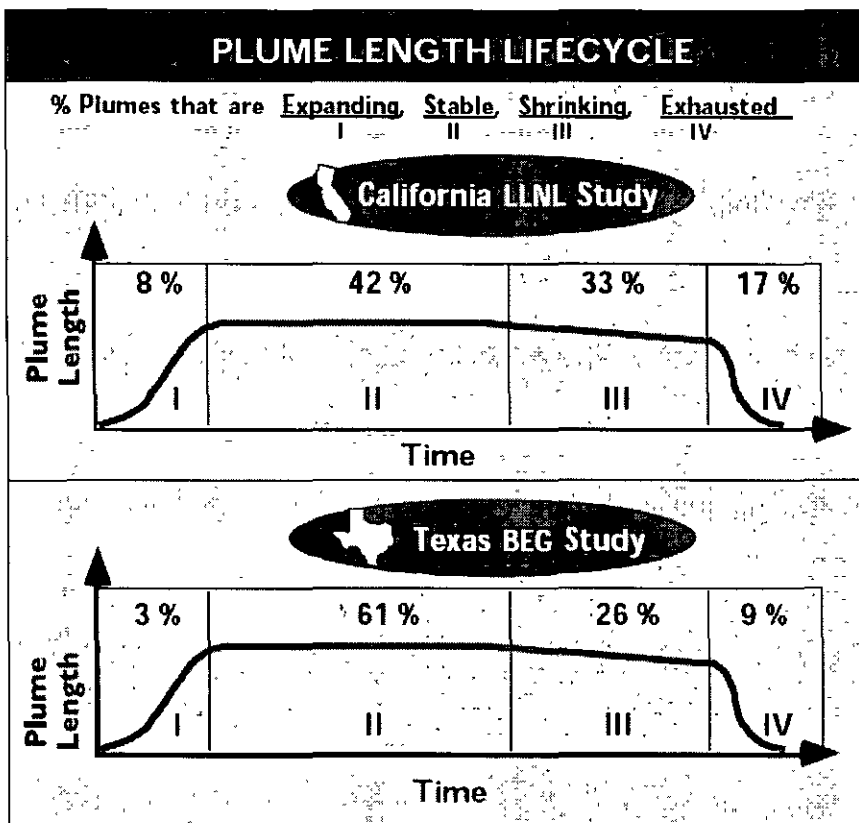
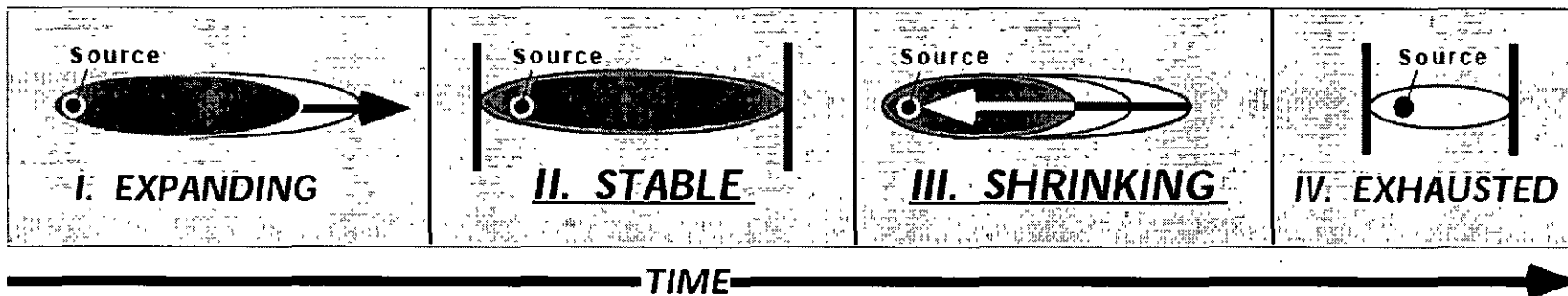
INDIVIDUAL STUDY RESULTS:

| ALL SITES | CALIFORNIA  271 Sites | TEXAS  217 Sites | FLORIDA  74 Sites | HGDB  42 Sites |
|---|--|---|--|---|
| SUMMARY- ALL SITES | Summary | Summary | Summary | Summary |
| Maximum Length: 3020 ft 90th Percentile: 319 ft 75th Percentile: 203 ft MEDIAN LENGTH: 132 ft 25th Percentile: 80 ft Minimum Length: 8 ft | Max 1713 ft 90th % 255 ft 75 % 146 ft MEDIAN 101 ft 25th % 66 ft Min 8 ft | Max 1619 ft 90th % 382 ft 75 % 250 ft MEDIAN 181 ft 25th % 137 ft Min 54 ft | Max 600 ft 90th % 211 ft 75 % 158 ft MEDIAN 90 ft 25th % 60 ft Min 12 ft | Max 3020 ft 90th % 945 ft 75 % 400 ft MEDIAN 213 ft 25th % 85 ft Min 15 ft |

| • LOCATION OF SITES: | CALIFORNIA | TEXAS | FLORIDA | ENTIRE U.S. |
|---|--|--|---|---|
| • Plume constituent(s): | Benzene | Benzene | Benzene, BTEX | Mostly benzene, BTEX constituents |
| • Plume Delineation Limit: | 10 ppb | 10 ppb | 1 - 50 ppb | Not reported; probably analytical detection limit. |
| • Types of Sites: | UST sites with affected groundwater. No fractured rock sites. | UST sites with affected groundwater. Includes limestone aquifers. | UST sites with affected groundwater. | UST sites at service stations located in various hydrogeologic settings. |
| • Method For Determining Plume Length: | <i>Modeled</i> Length extrapolated from 2-D transport models fit to site monitoring data. Reported results for exponential and error-function equations (summary stats above from error function). | <i>Modeled:</i> Length extrapolated from 2-D CW transport model fit to site monitoring data. Used exponential equation only. | <i>Measured:</i> Length derived from site plume maps. Data analyzed as part of this bulletin. | <i>Reported:</i> Plume lengths reported by site consultants in survey questionnaires. Data analyzed as part of this bulletin. |
| • Sites w/ Soil Vapor Extract. • Sites w/ GW Pump & Treat • Sites w/ GW Sparging | — Not reported — 53 of 208 sites (26 %) — Not reported | — 105 of 479 (22 %) — 92 of 479 sites (19 %) — 22 of 479 sites (5 %) | — Not reported — 32 of 74 sites (43 %) — 6 of 74 sites (8 %) | — Not reported — Not reported — Not reported |

(note different #s of sites reported)

DATOS GENERADOS DE ESTUDIOS DE MONITOREO EN EUA



| | % OF PLUMES THAT ARE: | | |
|----------------------------|-----------------------|-----------|---------|
| | Stable | Shrinking | Exhaus. |
| 67 Sites WITH Pump & Treat | 35% | 61% | 4% |
| 117 WITHOUT Pump & Treat | 38% | 52% | 10% |

INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES

- Es importante hacer una **diferenciación** entre: (1) un Programa de Monitoreo; (2) un Programa de Monitoreo a Largo Plazo (PMLP) y (3) un Programa Optimizado de Monitoreo a Largo Plazo (POMLP):

PMLP:

“Monitoreo que se aplica DESPUÉS de una acción de remediación (pasiva o activa) para determinar si se alcanzaron los objetivos planteados (remoción de contaminantes en agua subterránea, restauración de la calidad del agua subterránea, reactivación de la zona para usos específicos, etc.)”.

POMLP:

“Continua re-evaluación y eficientización de programas a largo plazo, que tiene como objetivo obtener la misma calidad de datos que en el PMLP con una reducción de costos de operación”

ELEMENTOS ESENCIALES EN UN PROGRAMA DE MONITOREO

- Un adecuado programa de monitoreo debe incluir, **al menos:**
 - **El tiempo aproximado del monitoreo**
 - **La distribución espacial de la red de monitoreo y puntos de muestreo**
 - **La frecuencia de muestreo**
 - **Los analitos y parámetros indicadores de contaminación**
 - **La construcción y diseño de pozos de monitoreo y piezómetros**
 - **Tipo de muestreo**
 - **Consideraciones económicas**

ASPECTOS TÉCNICOS NECESARIOS PARA EL DISEÑO DE UN PM

MODELO CONCEPTUAL

- Topografía regional y local
- Geología superficial
- Estratigrafía regional y local
- Zonas de recarga y descarga
- Hidroestratigrafía y espesor del acuífero (prospección geofísica)
- Variación espacial de los parámetros hidráulicos y de transporte
- Configuración potenciométrica en secas y lluvias (3D)
- Interconexión entre acuíferos
- Conexión aguas superficiales-subterráneas
- Tasas de velocidades advectivas
- Propiedades geoquímicas y biológicas del acuífero

FRECUENCIAS DE MUESTREO Y DISTRIBUCIÓN DE LA RED DE MONITOREO

- Parte fundamental en el diseño de un programa de monitoreo consiste en determinar la **distribución y ubicación de pozos de monitoreo, así como la frecuencia del muestreo.**
- La frecuencia y la distribución de la red de monitoreo, deberán permitir la colecta de datos, de manera que: **(1)** se determine el estado de la pluma (estable, inestable o en reducción); **(2)** se establezca la tendencia de las concentraciones vs tiempo, y **(3)** se estime la potencial migración de la pluma contaminante.
- Concretamente la frecuencia de muestreo es un aspecto importantísimo en el diseño de programas de monitoreo. Si las muestras no se colectan con suficiente frecuencia, se podría perder información temporal del agua subterránea, sin embargo demasiados eventos de muestreo, pueden generar información redundante a un costo excesivo.

FRECUENCIAS DE MUESTREO Y DISTRIBUCIÓN DE LA RED DE MONITOREO

- En general se aplican tres metodologías en para la correcta determinación de la frecuencia de muestreo y distribución de la red:
 - **Cualitativas y semicuantitativas**
 - **Analíticas**
 - **Estadísticas**
- Todas se basan en el movimiento del agua subterránea, las condiciones del contaminante y las propiedades biogeoquímicas del acuífero. En segundo término deben considerarse los aspectos económicos.
- Las técnicas cualitativas y semicuantitativas se basan en consideraciones empíricas derivadas de la experiencia del geólogo/hidrogeólogo. Algunas de las **consideraciones cualitativas se enlistan a continuación** (Nyer, 1988; Barcelona, 2000), **como criterios para obtener resultados representativos y reducir los costos derivados del monitoreo:**

CRITERIOS CUALITATIVOS

A. Reducir los eventos de muestreo

- Es lógico pensar que la frecuencia de muestreo deberá de diseñarse teniendo la **aprobación de la Autoridad Ambiental**.
- En México, es común utilizar un **evento mensual de muestreo** (muestreo, laboratorio y reporte), sin embargo en monitoreos a mediano y largo plazo, en función de ciertas condiciones hidrogeológicas, los eventos mensuales pueden generar información redundante. Además implican un costo de operación enorme.
- Si se tienen bases sólidas para afirmar que existen bajas velocidades advectivas (cm/día), alto contenido orgánico en suelo, compuestos biodegradables con altos retardos, **basará con aplicar eventos trimestrales, semianuales o incluso anuales**.

CRITERIOS CUALITATIVOS

B. Aplicar un “wind-down sampling program”

- La frecuencia de muestreo no tiene que ser constante durante el monitoreo. Es válido disminuirla a medida que el proyecto avanza.
- Por ejemplo, después de tres eventos trimestrales es posible cambiar la frecuencia a **eventos semianuales**.
- Supongamos que se han realizado eventos trimestrales durante dos años y las concentraciones aumentan un poco durante el evento de junio en ambos años; y durante los siguientes 6 meses las concentraciones se mantuvieron relativamente constante con ligeras disminuciones. **El Jefe del Proyecto puede considerar disminuir la frecuencia a dos eventos de muestreo al año, asegurándose de incluir el evento de junio.**

CRITERIOS CUALITATIVOS

C. Reducir el número de pozos muestreados

- Para sitios donde se ha determinado que la **pluma es estable**, se debe revisar la información que puede proporcionar **cada pozo** instalado en el sitio.
- Existen varias razones, para eliminar ciertos pozos para un evento actual de muestreo, o simplemente eliminarlo de todos los eventos a futuro:
 - **Pozos localizados notablemente fuera de la trayectoria principal del flujo subterráneo**
 - **Pozos localizados en proximidad con algunos otros y ranurados en el mismo intervalo**
 - **Pozos ranurados sobre un sistema multi-acuíferos**
 - **Pozos dañados durante la construcción**
- No hay razón para muestrear 20 pozos cada mes, solo porque existen 20 pozos en un sitio, y todos se muestrearon en el evento pasado.

CRITERIOS CUALITATIVOS

D. Reducir los analitos

- Una vez que se consideraron TODOS los CoCs (**C**hemicals of **C**oncern), éstos no tienen que muestrearse durante todo el programa de monitoreo.
- Cuando un CoC **repetidamente** se reporta por debajo del límite de comparación o incluso por debajo del límite de detección del método, se puede considerar eliminarlo para futuros eventos. Esto es muy útil cuando uno de los compuestos no es parte de la familia de los contaminantes.
- Supongamos que los principales contaminantes son todos **VOC's**, y se detectó un **sVOC**. Si repetidamente el sVOC de mayor riesgo o persistencia se detecta por debajo del límite de detección, es posible considerar eliminar todos los sVOC's del programa de muestreo (lo mismo podrá aplicarse para metales).

CRITERIOS CUALITATIVOS

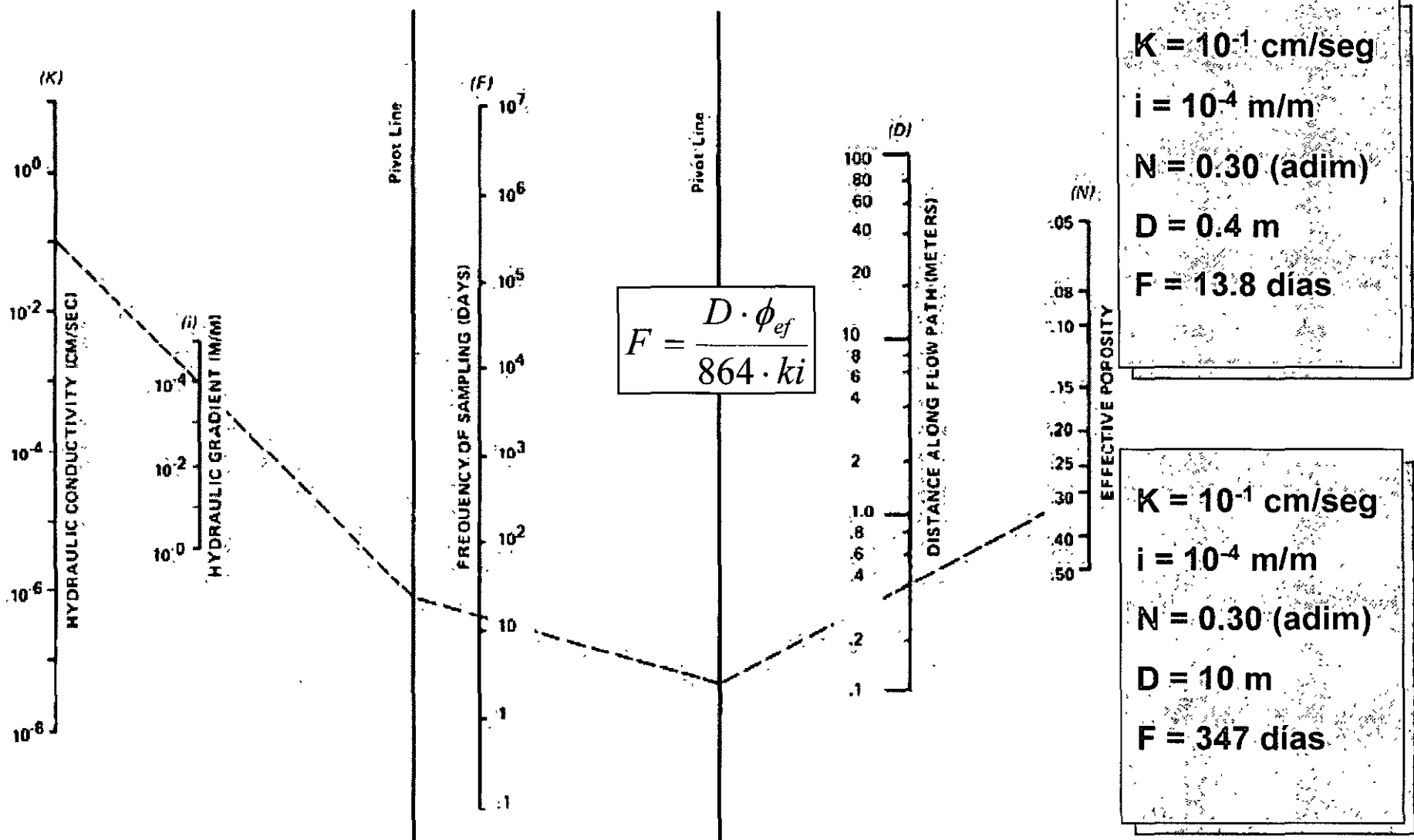
E. Utilizar parámetros indicadores de contaminación

- En ciertas circunstancias, conviene medir parámetros indicadores en campo con mayor frecuencia, que la determinación analítica. **Es más barato, rápido y otorga información en tiempo real.**
- Por ejemplo, si se quiere monitorear un sitio donde se está aplicando una remediación por **bioventeo o AirSparging**, es posible sustituir eventos de muestreo por la presencia o ausencia de oxígeno en la ZNS o en el acuífero (por ejemplo, midiendo incluso diario, el DO y REDOX).
- En este sentido deberán utilizarse parámetros indicadores en función de la situación específica:
 - **Zonas con drenaje ácido: pH**
 - **En acuíferos costeros: CE y TDS**
 - **En zonas agrícolas: nitratos y MO**

CRITERIOS CUALITATIVOS

| <i>Reasons for Retaining or Adding a Well in a Monitoring Network</i> | <i>Reasons for Removing a Well From a Monitoring Network</i> |
|--|--|
| Well is needed to further characterize the site or monitor changes in contaminant concentrations through time. | Well provides spatially redundant information with a neighboring well (e.g., same constituents, and/or short distance between wells). |
| Well is important for defining the lateral or vertical extent of contaminants. | Well has been dry for more than two years, and there is no expectation for the water levels to recover in the foreseeable future. |
| Well is needed to monitor water quality at a compliance point or receptor exposure point (e.g., sentinel well for municipal wells). | Contaminant concentrations are consistently below laboratory detection limits or cleanup goals. |
| Well is important for defining background water quality. | |
| | |
| <i>Reasons for Increasing Sampling Frequency</i> | <i>Reasons for Decreasing Sampling Frequency</i> |
| Groundwater velocity is high. | Groundwater velocity is low. |
| Change in concentration would significantly alter a decision or course of action. | Change in concentration would not significantly alter a decision or course of action. |
| Well is close to source area or operating remedy. | Well is far from source area or operating remedy. |
| Whether concentrations will change significantly over time cannot be predicted, or there is no ready explanation for recent irregular or contradictory data. | Concentrations are not expected to change significantly over time, or contaminant levels have been below cleanup objectives for some period of time. |

FRECUENCIAS DE MUESTREO: CRITERIOS SEMICUANTITATIVOS



DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA RED DE POZOS DE MONITOREO

- Las regulaciones de la U.S. EPA en torno al monitoreo de agua subterránea, concretamente las regulaciones de la RCRA (**Resource Conservation and Recovery Act -40 CFR 240**), establece que cuando menos:
 - Se debe localizar un pozo gradiente arriba de la zona de afectación, para determinar la composición de fondo del agua subterránea no afectada.
 - Se deben localizar tres pozos gradiente abajo, en el límite de la zona de afectación.
 - Los 4 pozos deben estar ranurados en la misma unidad hidroestratigráfica para asegurar la compatibilidad de datos.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA RED DE POZOS DE MONITOREO

- Talvez uno de los criterios más importantes para la ubicación de pozos es la determinación de un “blanco de monitoreo” o TMZ (Target Monitoring Zone) en concordancia con el ASTM 5092-90



Designation: D 5092 – 90 (Reapproved 1995)¹

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19428
Reprinted from the Annual Book of ASTM Standards. Copyright ASTM

Standard Practice for Design and Installation of Ground Water Monitoring Wells in Aquifers¹

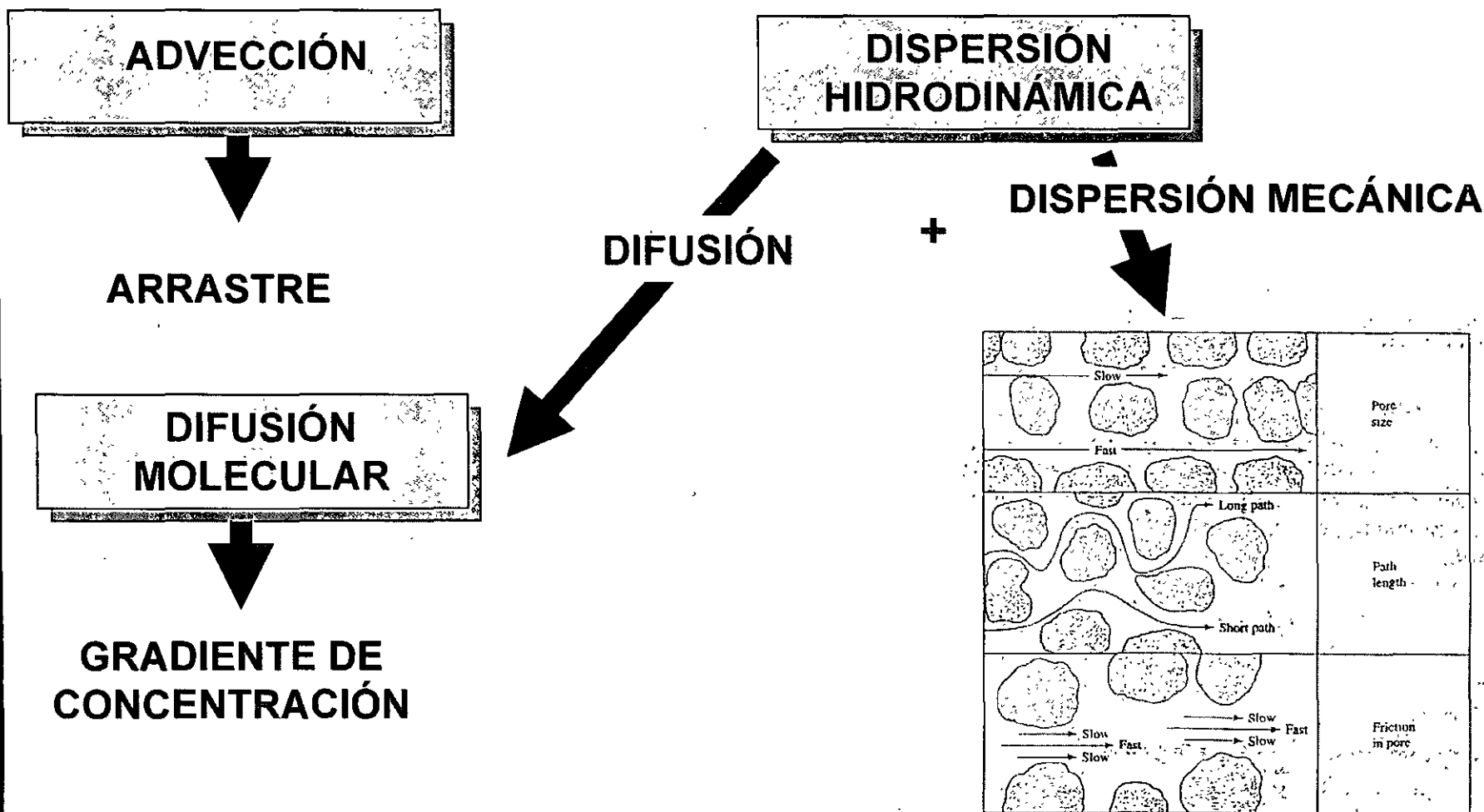
3.1.52 *target monitoring zone*—the ground water flow path from a particular area or facility in which monitoring wells will be screened. The target monitoring zone should be a stratum (strata) in which there is a reasonable expectation that a vertically placed well will intercept migrating contaminants.

DISTRIBUCIÓN DE LA RED: CRITERIOS ANALÍTICOS

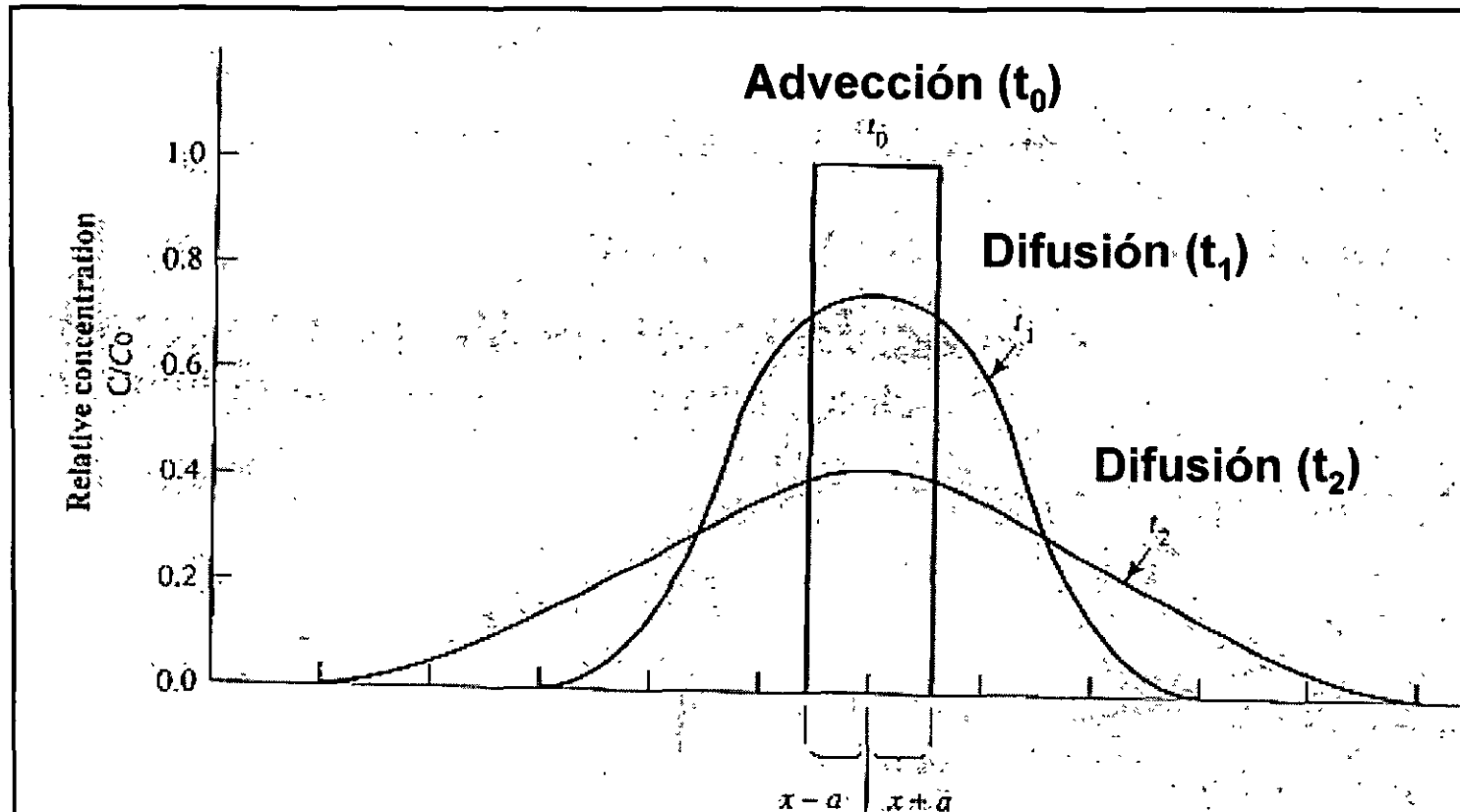
- Los criterios analíticos y numéricos, se basan en **simulación de la pluma** contaminante en fase disuelta, aplicando soluciones analíticas de la Ecuación General de Transporte.
- En este sentido es posible **construir un modelo numérico de flujo y transporte** y simular bajo diferentes escenarios la migración de la pluma contaminante con objeto de determinar los sitios que cumplan con las mejores características para colocar un pozo de monitoreo.
- Para fines estimativos se presenta una metodología que permite **dimensionar teóricamente el tamaño de la pluma contaminante**, suponiendo un soluto conservativo que se transporte a través de un medio poroso saturado.

RECORDATORIO DE LOS PROCESOS DE TRANSPORTE

- Un soluto se transporta en un medio poroso saturado por **advección**, **difusión molecular** y **dispersión hidrodinámica**.



RECORDATORIO DE LOS PROCESOS DE TRANSPORTE



- La difusión genera un “ensanchamiento” (*spreading*) del soluto, lejos de donde éste fue introducido al medio poroso saturado (el punto “x” en la gráfica).

RECORDATORIO DE LOS PROCESOS DE TRANSPORTE

ADVECCIÓN

$$V_x = \frac{k}{\phi_{ef}} \cdot \frac{dh}{dl}$$

DIFUSIÓN MOLECULAR

$$F = -D \frac{dC}{dx}$$

DISPERSIÓN HIDRODINÁMICA

Dispersión mecánica

Difusión molecular

$$D_L = \alpha_L V_x + D^*$$

$$D_T = \alpha_T V_x + D^* \approx \frac{1}{10} D_L$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_T \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - v_x \frac{\partial C}{\partial x}$$

RECORDATORIO DE LOS PROCESOS DE TRANSPORTE

- Generalmente, el coeficiente de difusión efectiva (*) se anula, por lo que:

$$D_i = \alpha_i v_i$$

- Sin embargo, si desea evaluarse si en la dispersión hidrodinámica, predomina la difusión o la dispersión mecánica, se utiliza el **Número de Peclet** (adimensional), donde L es la longitud evaluada:

$$Pe = \frac{v_x \cdot L}{D_L}$$

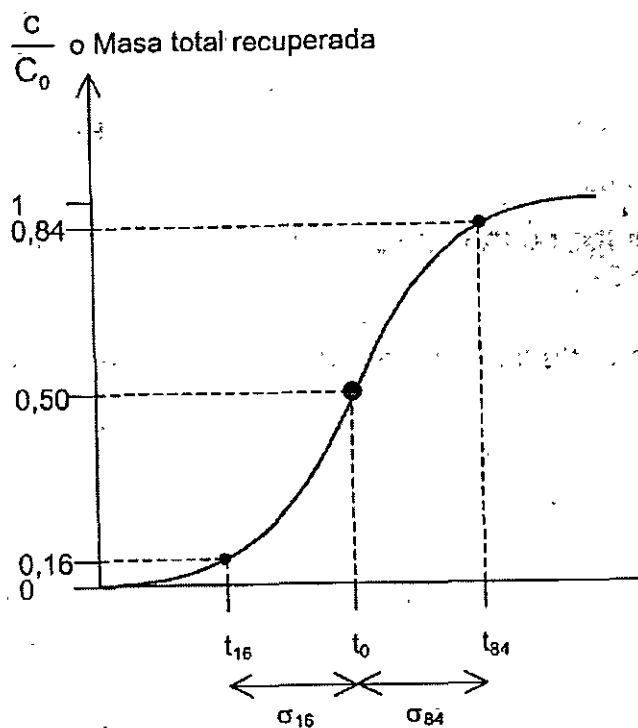
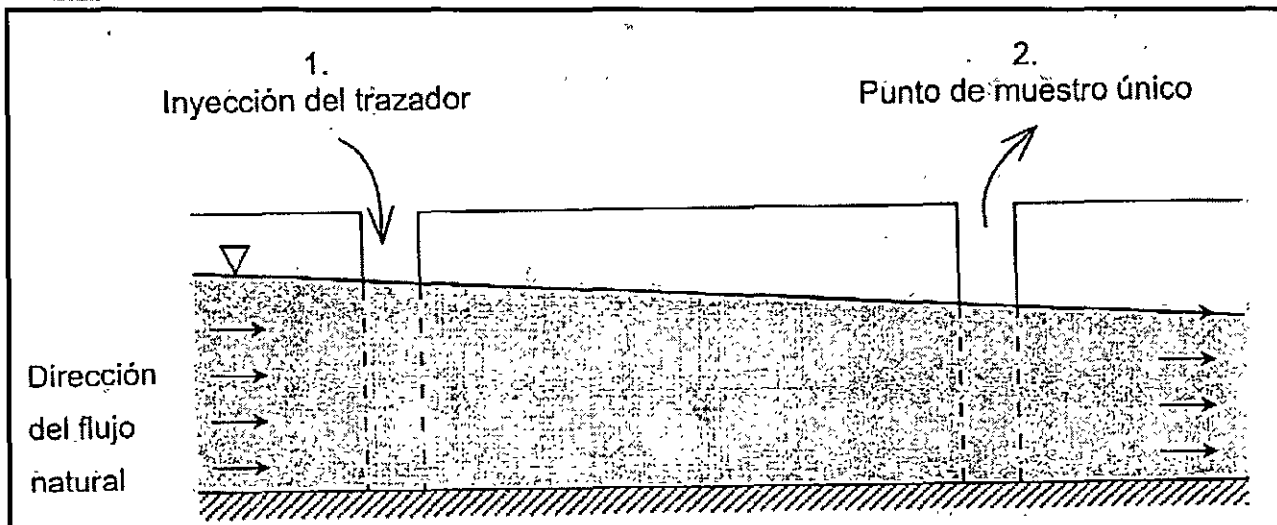
Si $Pe > 6$, predomina la dispersión mecánica

Si $Pe < 0.4$, predomina la difusión molecular

Valores intermedios indican que ambos procesos son relevantes

- El término “ α ” se denomina **dispersividad**, se mide en [metros] y depende de la escala de observación

PRUEBAS DE TRAZADORES PARA ESTIMAR LA DISPERSIVIDAD DEL MEDIO

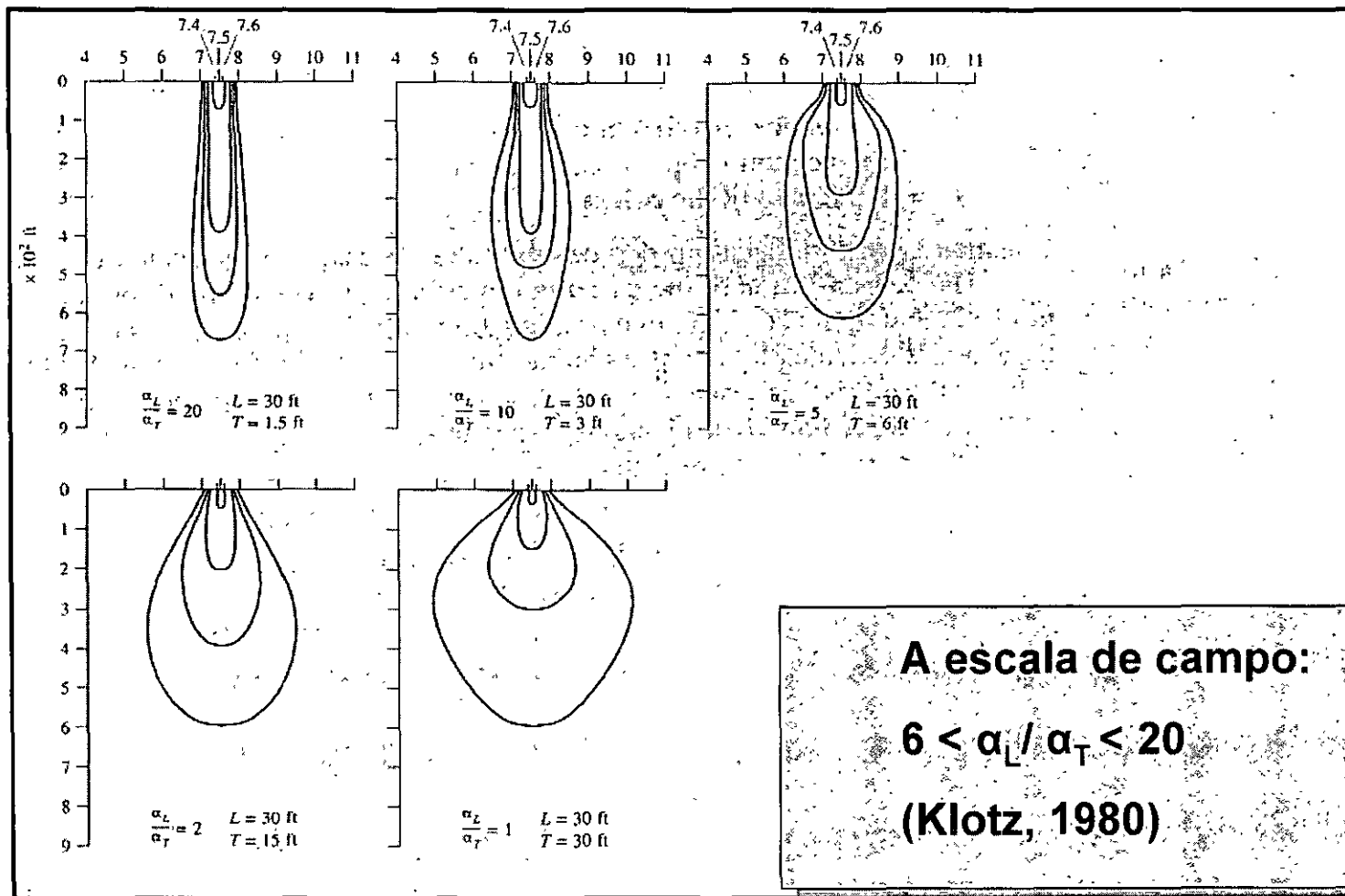


$$D = \frac{\sigma_t^2 \cdot v^2}{2t_0}$$

$$\alpha = \frac{D}{v} = \frac{\sigma_t^2 \cdot v}{2t_0}$$

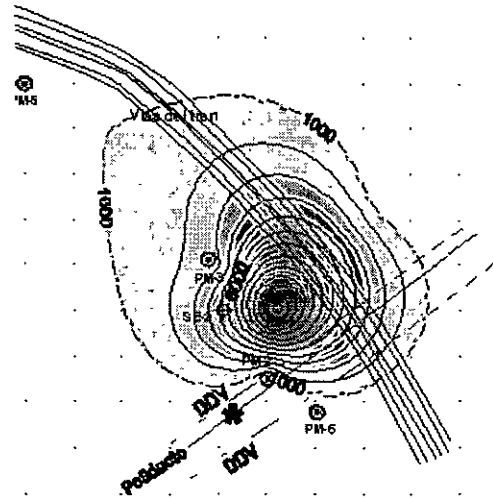
IMPORTANCIA DE LA DISPERSIVIDAD

- La relación α_L / α_T controla la forma de la pluma contaminante, en el transporte bidimensional.
- Mientras menor sea la relación α_L / α_T , mayor será el ensanchamiento de la pluma.



MÉTODOS EMPÍRICOS PARA ESTIMAR LA DISPERSIVIDAD

- Como aproximación, a escala de campo, la dispersividad longitudinal es del 3 al 5% de la longitud máxima de la pluma contaminante:



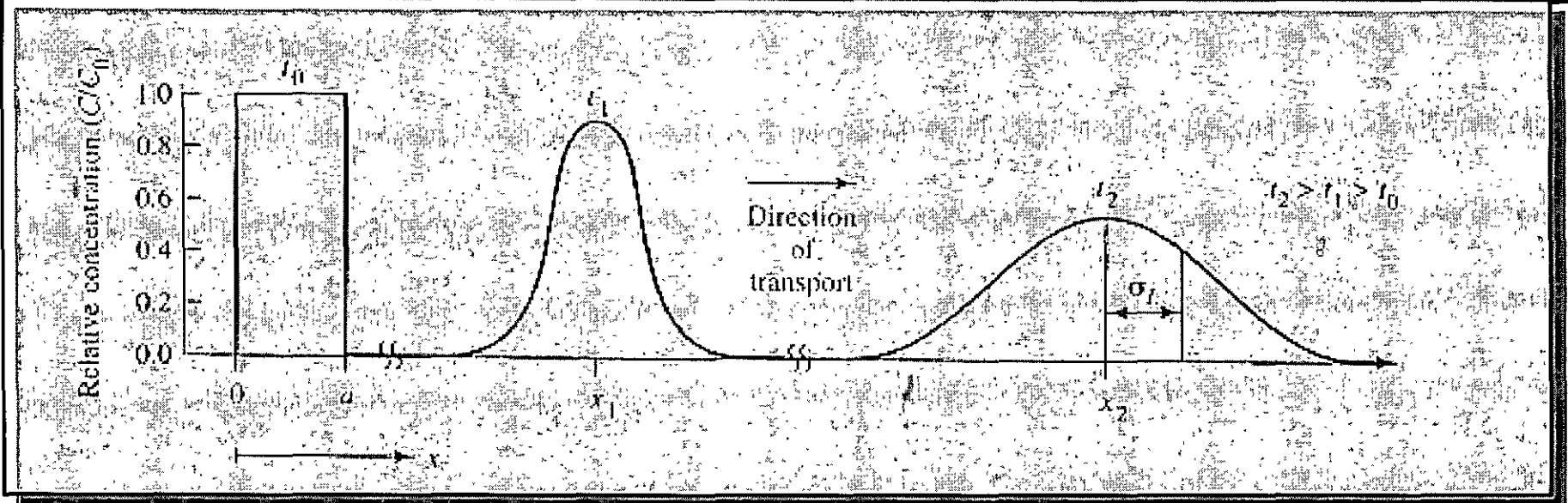
$$\alpha_L = (0.03 \text{ a } 0.05)L$$

$$\alpha_T \approx 1/10 \alpha_L$$

- Empíricamente, se involucra una expresión en función de la longitud evaluada:

$$\alpha_L = 0.83(\text{Log}L)^{2.414}$$

RECORDATORIO DE LOS PROCESOS DE TRANSPORTE



- El modelo difusional de la dispersión hidrodinámica predice que las curvas de concentración vs tiempo tienen una distribución Gaussiana descrita por su media y su varianza (o desviación estándar), de manera que:

$$D_L = \frac{\sigma^2_L}{2t}$$

$$D_T = \frac{\sigma^2_T}{2t}$$

σ = Desviación estándar = (varianza)^{1/2}

σ^2 = Varianza

σ_T^2 = Varianza del ensanchamiento transversal de la pluma

σ_L^2 = Varianza del ensanchamiento longitudinal de la pluma

t = tiempo

TAMAÑO TEÓRICO DE UNA PLUMA CONTAMINANTE

- Entonces la distribución de la contaminación en una pluma seguirá una **distribución normal o Gaussiana**, de manera que las desviaciones estándar estarán definidas por:

$$D_L = \frac{\sigma^2_L}{2t}$$



$$\sigma_x = \sqrt{2D_L t}$$

$$D_T = \frac{\sigma^2_T}{2t}$$



$$\sigma_y = \sqrt{2D_T t}$$

- Por definición, el **99.7%** de la masa de contaminación estará contenida en un área representada por:
 - El centro de masa de la pluma
 - 3 veces la desviación estándar a partir del centro de masa (en x)
 - 3 veces la desviación estándar a partir del centro de masa (en y)

TAMAÑO TEÓRICO DE UNA PLUMA CONTAMINANTE

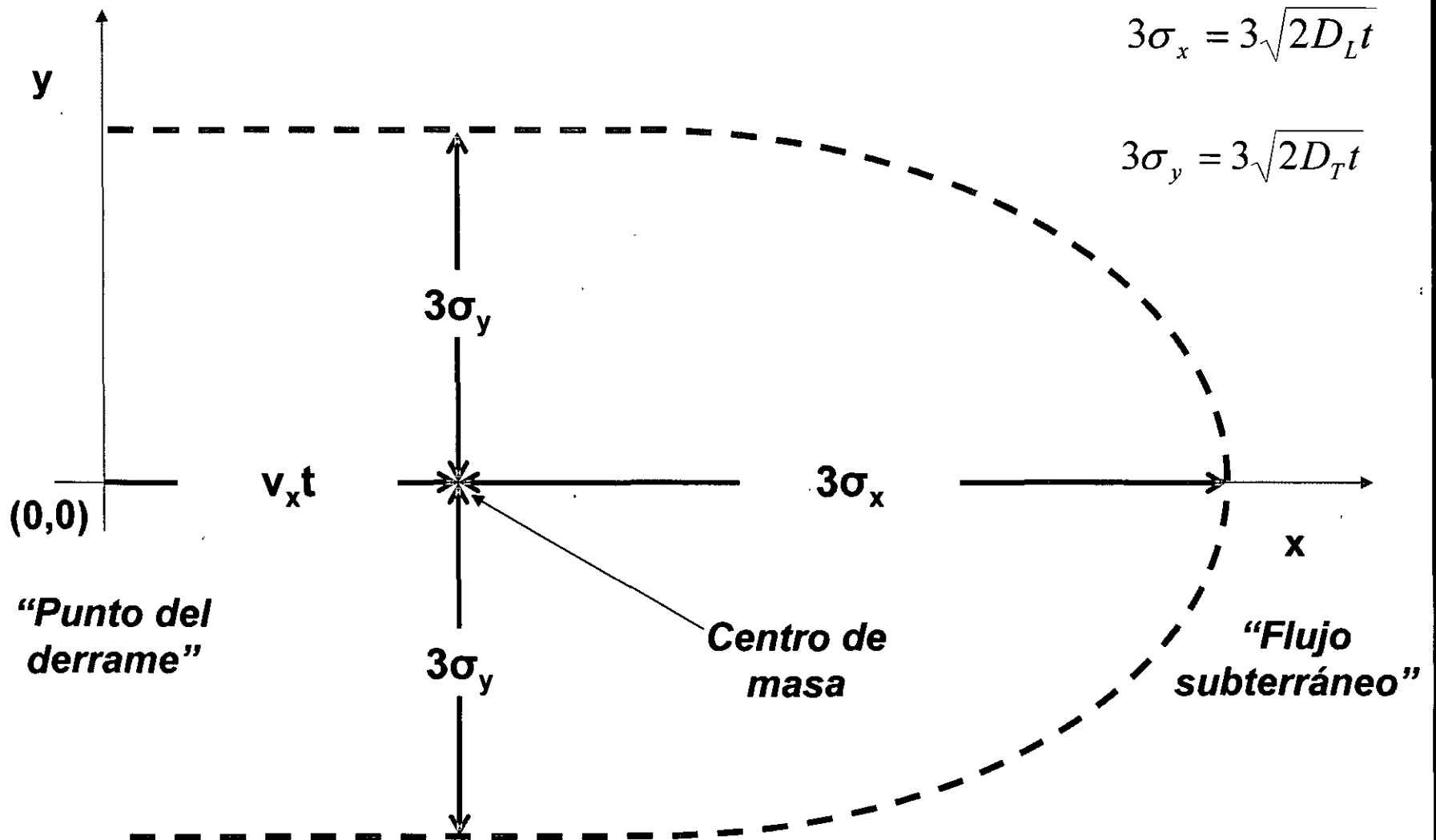
- El centro de masa de una pluma, o centroide, es el lugar geométrico de **máxima concentración.**
- Si el agua subterránea viaja en dirección “x”, y el sitio de un derrame se efectúa en el punto $x_0 = 0$; $y_0 = 0$, el centro de masa de un soluto conservativo (retardo = 1) se encontrará después de un tiempo “t” en:

$$x = v_x t$$

$y = 0$, donde v_x : velocidad advectiva

- Por lo tanto, el dimensionamiento teórico de la dispersión de un soluto conservativo, está dado por:
- **La posición del centro de masa en función del tiempo**
- $3\sigma_x$ a partir de la posición del centro de masa (en dirección x).
- $3\sigma_y$ a partir a cada lado del centro de masa (en dirección y).

TAMAÑO TEÓRICO DE UNA PLUMA CONTAMINANTE



TAMAÑO TEÓRICO DE UNA PLUMA CONTAMINANTE

- Además, es posible calcular la **máxima concentración de la pluma**, con la solución analítica de la Ecuación General de Transporte (DeJosselin y DeJong, 1958; Bear, 1961), válida para un contaminante inyectado en un acuífero bidimensional a una concentración C_0 , sobre un área superficial A en el punto (x_0, y_0) , cuando se quiere conocer la concentración final $C(x,y,t)$ en el punto (x,y) :

$$C(x, y, t) = \frac{C_0 A}{4\pi t (D_L D_T)^{1/2}} \exp \left[-\frac{((x - x_0) - v_x t)^2}{4D_L t} - \frac{(y - y_0)^2}{4D_T t} \right]$$

- Si el agua subterránea se desplaza en dirección "x" y el derrame se genera en el punto $x_0 = 0$; $y_0 = 0$, el centro de masa de un soluto conservativo estará en un tiempo "t" en $x = v_x t$; $y = 0$, de manera que:

$$C_{\text{Máxima}} = \frac{C_0 A}{4\pi t (D_L D_T)^{1/2}}$$

DISTRIBUCIÓN DE LA RED DE MONITOREO: OWL

- La estimación teórica de la dispersión de la pluma para un soluto conservativo, y la determinación de su concentración máxima tiene como principal aplicación determinar puntos estratégicos para la ubicación de pozos en un programa de monitoreo.
- En el mercado existen algunos programas para simular la dispersión de solutos (propriadamente son modelos numéricos sencillos) y con ello estimar la posición de pozos de monitoreo.
- La U.S. EPA desarrolló un software denominado "***Optimal Well Locator***" (OWL), diseñado como una herramienta que decisión en torno a la evaluación y optimización de la ubicación de pozos y piezómetros en programas de monitoreo a largo plazo, aplicables para sitios con un modelo conceptual relativamente simple.

DISTRIBUCIÓN DE LA RED DE MONITOREO: OWL

Software - Models | Ground Water and Ecosystems Restoration Research | US EPA - Windows Internet Explorer

US EPA http://www.epa.gov/ada/csmos/models.html

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY

Ground Water and Ecosystems Restoration Research

Contact Us Search: All EPA This Area

You are here: [EPA Home](#) » [Research & Development](#) » [Risk Management Research](#) » [Ground Water and Ecosystems Restoration Research](#) » [Software](#) » [Models](#)

[Home](#) [About](#) [Research Topics](#) [Publications](#) [Highlights](#) [Tech Support](#) [Software](#) [Environmental Management System](#) [Employment Opportunities](#) [Contacts](#) [Related Links](#) [Directions](#)

[CSMoS Home](#) [Download Ground-Water Software](#) [Search the Ground-Water Database](#) [Ground-Water Modeling Links](#) [Join the CSMoS Mailing List](#)

CSMoS Ground-Water Modeling Software

Free Public Domain Ground-Water and Vadose Zone Models

Software - Models | Ground Water and Ecosystems Restoration Research | US EPA

US EPA http://www.epa.gov/ada/csmos/models.html

DISTRIBUCIÓN DE LA RED DE MONITOREO: OWL

El programa permite:

- “Reproducir” las condiciones del flujo subterráneo en el sitio.
- Calcular la dispersión de la pluma en fase disuelta en diferentes direcciones.
- Desplegar isocontornos de distancia mínima de un pozo de monitoreo a la pluma.
- Desplegar isocontornos de diferentes indicadores, como el WOLF (Well Optimal Location Factor). Valores altos de WOLF indican que se requiere una densidad baja de pozos para interceptar la pluma, mientras que valores bajos de WOLF indicarán lo contrario.

Datos de entrada:

- Mapa base; ubicaciones actuales de pozos; niveles freáticos vs tiempo (carga hidráulica); geología subsuperficial; parámetros hidráulicos y de transporte; información del contaminante.



Optimal Well Locator (OWL)

A Screening Tool for Evaluating Locations of Monitoring Wells

User's Guide
Version 1.2

| Project Steps | |
|--------------------------|-----------------------------|
| <input type="checkbox"/> | 1. Input data |
| <input type="checkbox"/> | 1.1 Set units |
| <input type="checkbox"/> | 1.2 Base map |
| <input type="checkbox"/> | 1.3 Map scale |
| <input type="checkbox"/> | 1.4 Well locations |
| <input type="checkbox"/> | 1.5 Water levels |
| <input type="checkbox"/> | 1.6 Plot limits |
| <input type="checkbox"/> | 1.7 Model data |
| <input type="checkbox"/> | 1.8 Source location |
| <input type="checkbox"/> | 2. Regression |
| <input type="checkbox"/> | 2.1 Run linear regression |
| <input type="checkbox"/> | 2.2 View raw output files |
| <input type="checkbox"/> | 2.3 Water level contours |
| <input type="checkbox"/> | 3. Transport run |
| <input type="checkbox"/> | 3.1 Run analytical solution |
| <input type="checkbox"/> | 3.2 Export model results |
| <input type="checkbox"/> | 3.3 View plume contours |
| <input type="checkbox"/> | 3.4 View MinDist contours |
| <input type="checkbox"/> | 3.5 View WOLF contours |

DISTRIBUCIÓN DE LA RED DE MONITOREO: OWL

Water Level Data Step 4: Data

| DATE | MW-1 | MW-2 | MW-3 | MW-4 | MW-5 |
|----------|---------|---------|--------|-------|---------|
| 1/25/94 | 23.96 | 23.00 | 21.97 | | |
| 12/1/95 | 22.94 | 22.03 | 21.01 | | |
| 10/30/96 | 23.43 | 22.22 | 21.25 | | |
| 12/4/98 | 22.39 | 21.55 | 20.53 | | |
| 12/21/98 | 23.64 | 21.43 | 21.43 | | |
| 1/4/1998 | 22.3875 | 21.5475 | 20.529 | 21.49 | 22.5725 |
| 2/1/1998 | 23.64 | -9999 | 21.43 | 22.39 | 24.58 |
| 1/1/1999 | 22.67 | -9999 | 18.78 | 20.77 | 23.5 |
| 3/29/19 | 20.35 | -9999 | 17.73 | 19.77 | 20.1 |

Buttons: Help, < Back, Finish, Cancel

Transport Model Input Data

Hydraulic conductivity: 514 ft/yr

Effective porosity: 0.45

Longitudinal dispersivity: 30 ft

Transverse dispersivity: 3 ft

Retardation factor: 1

Simulate first-order decay

Solute half-life: _____ yr

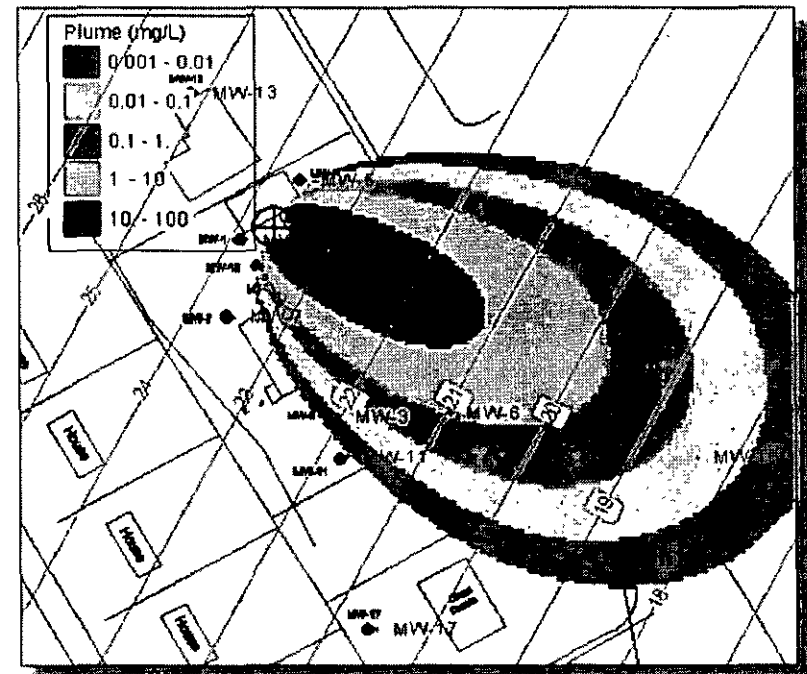
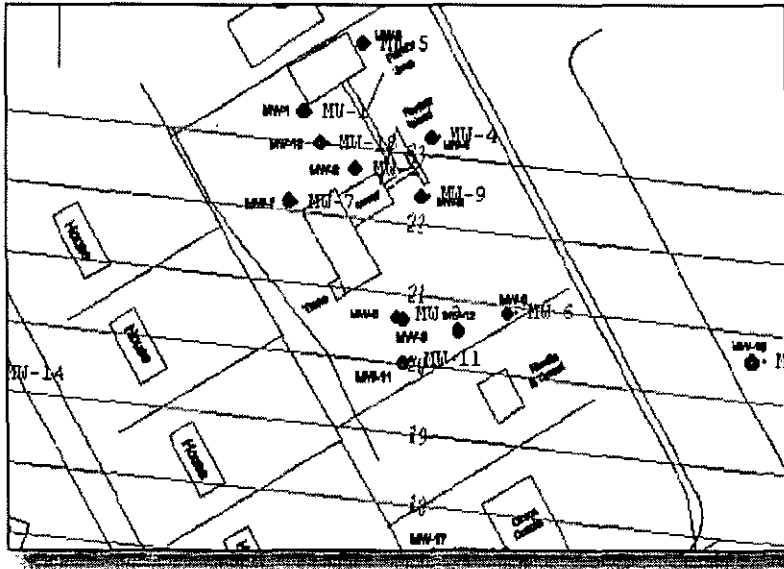
Simulation time: 6 yr

Source width: 30 ft

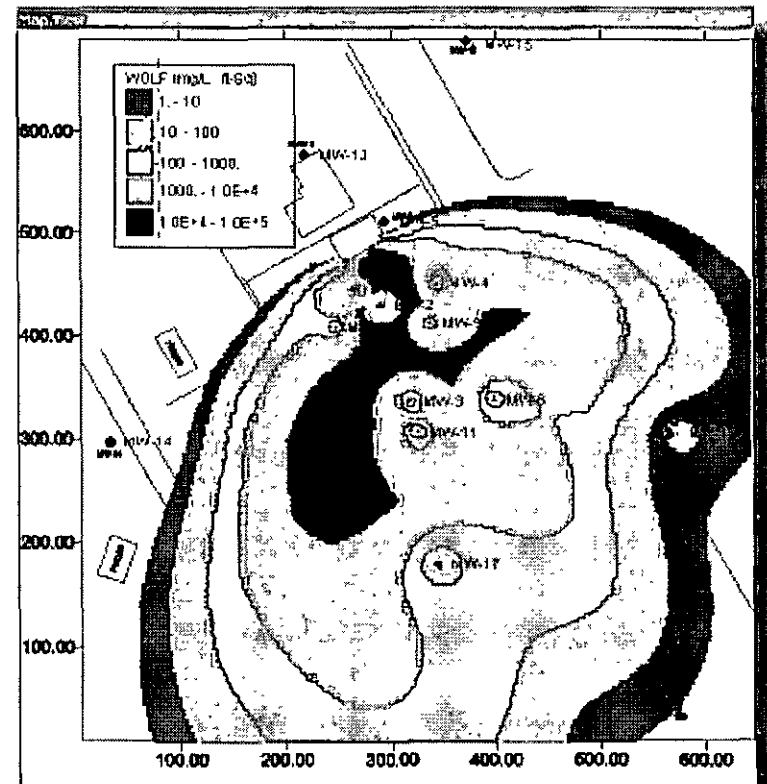
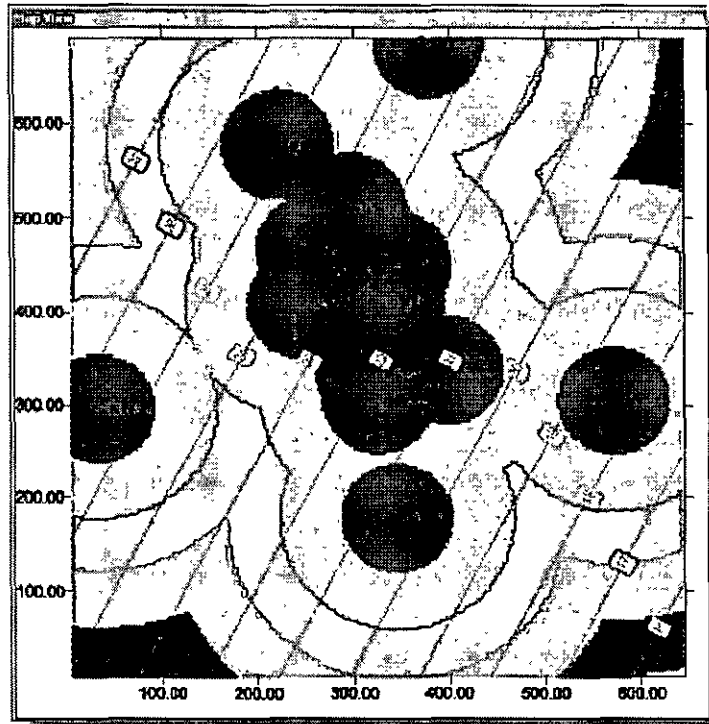
Source concentration: 125 mg/L

Buttons: Close, Help

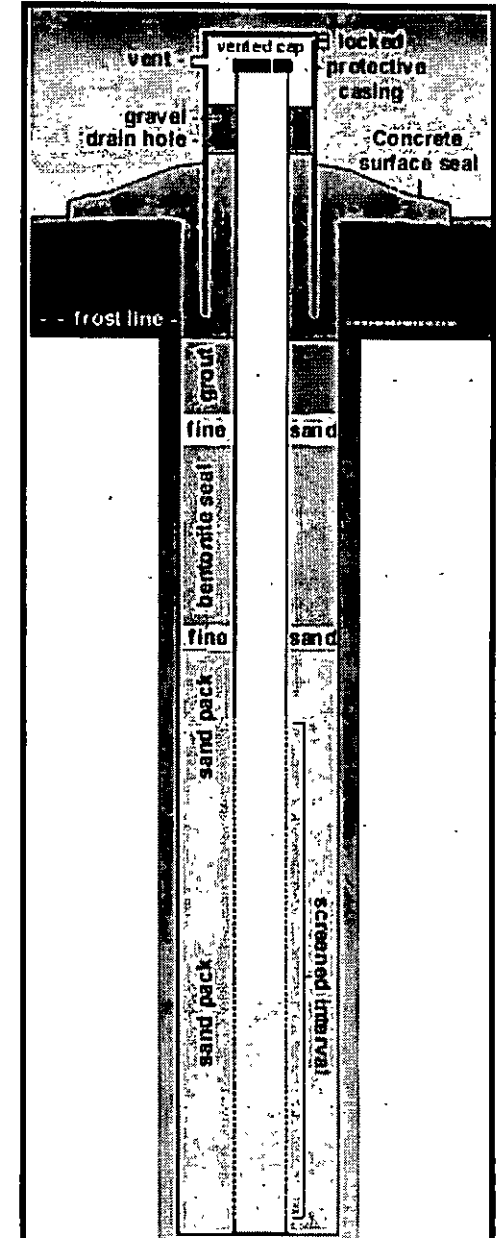
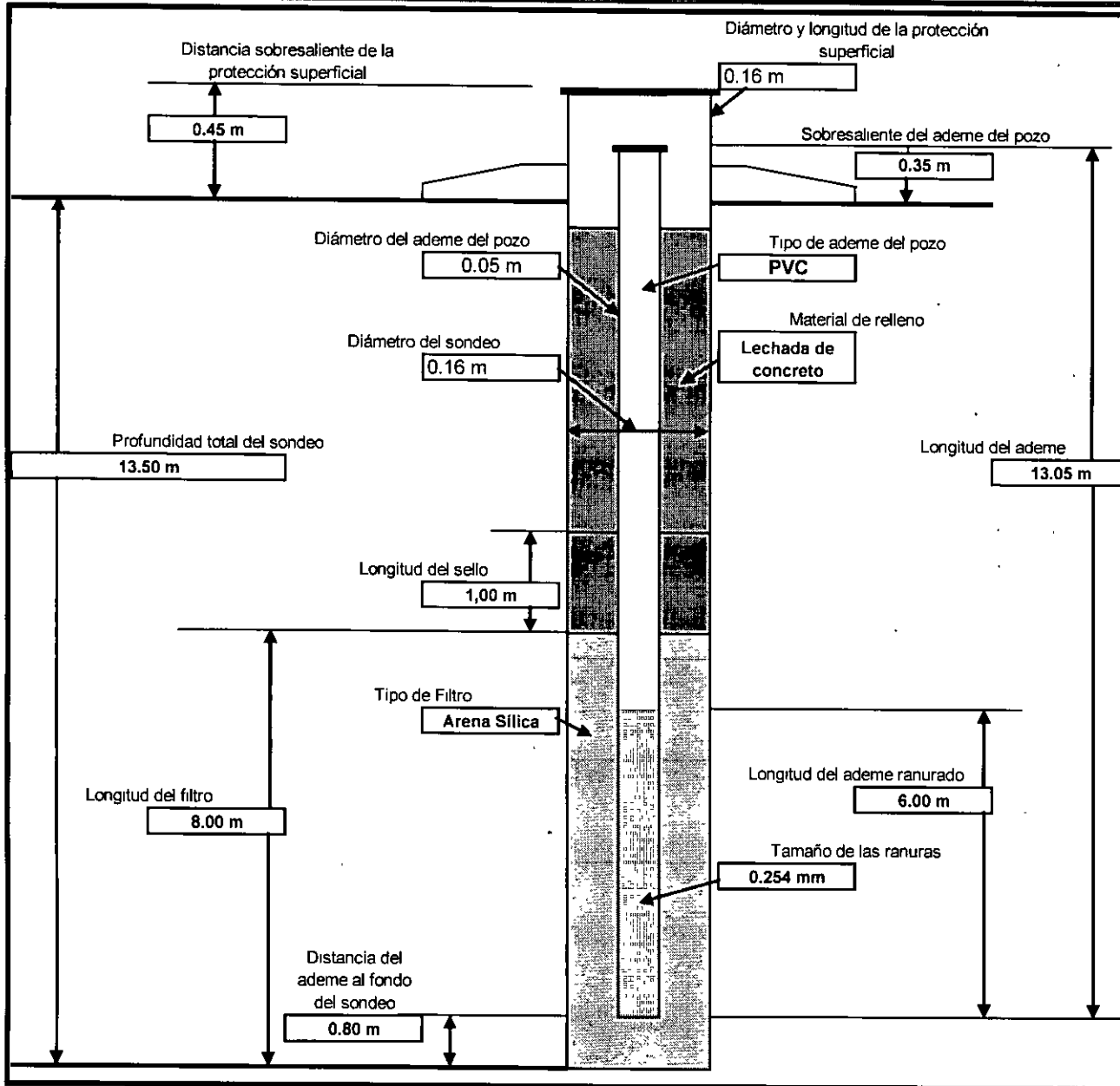
DISTRIBUCIÓN DE LA RED DE MONITOREO: OWL



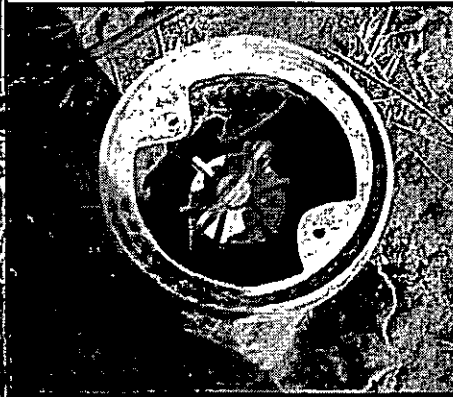
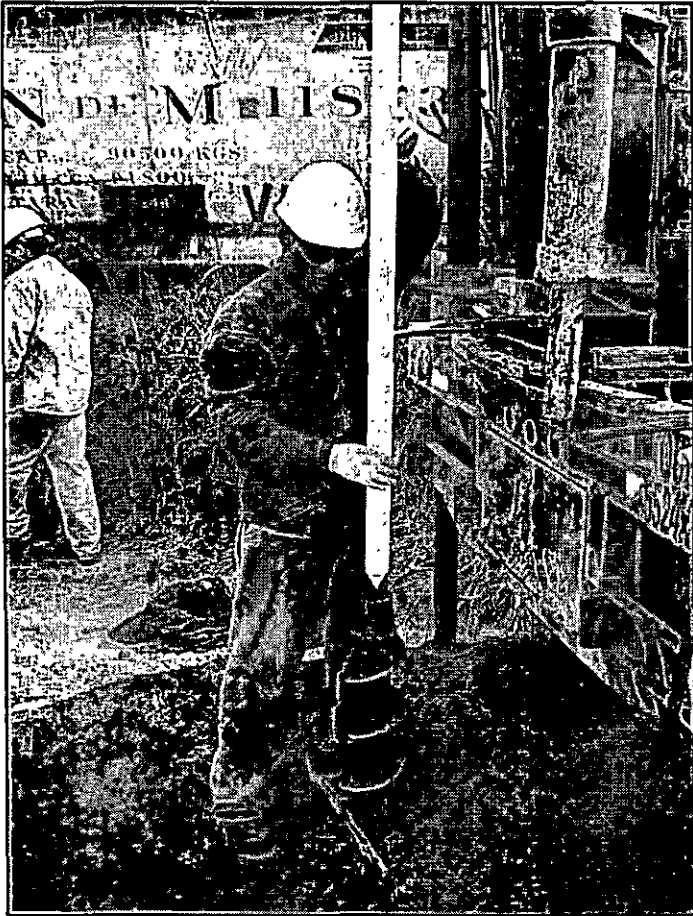
DISTRIBUCIÓN DE LA RED DE MONITOREO: OWL



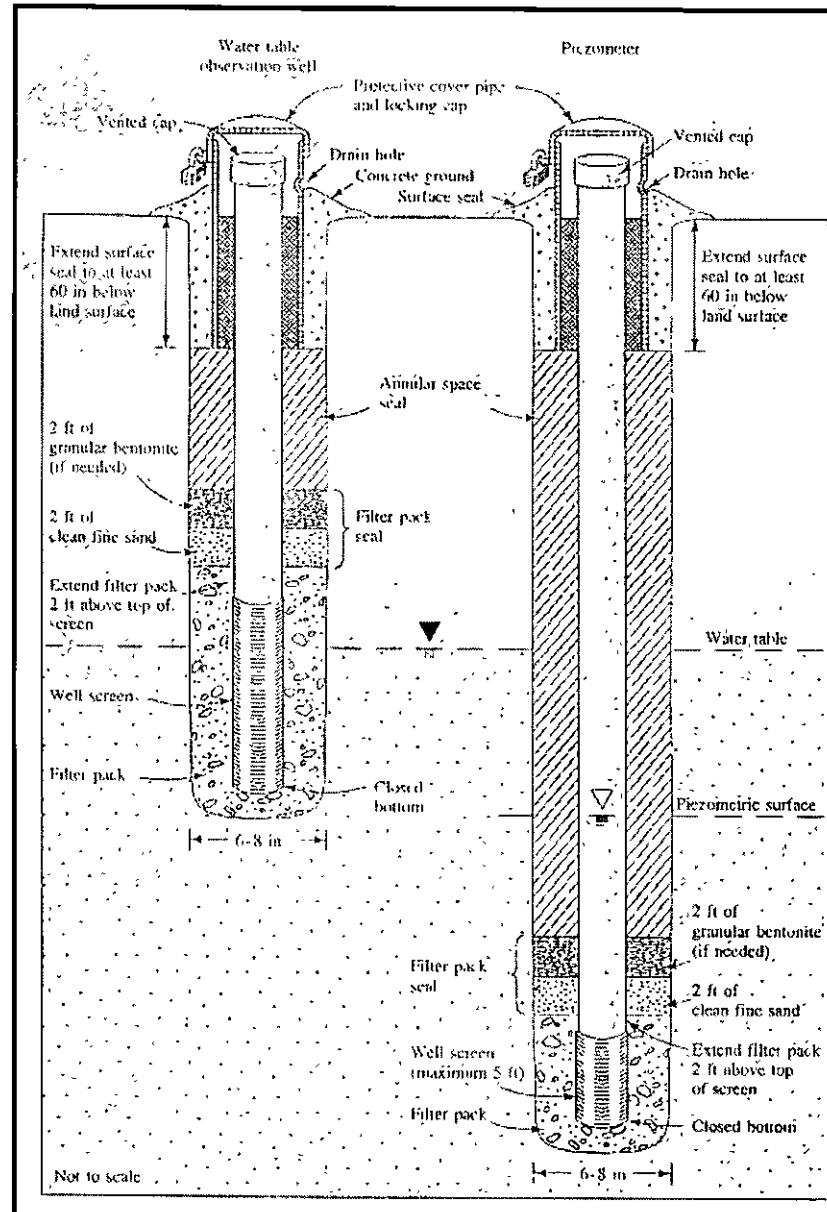
DISEÑO DE POZOS DE MONITOREO



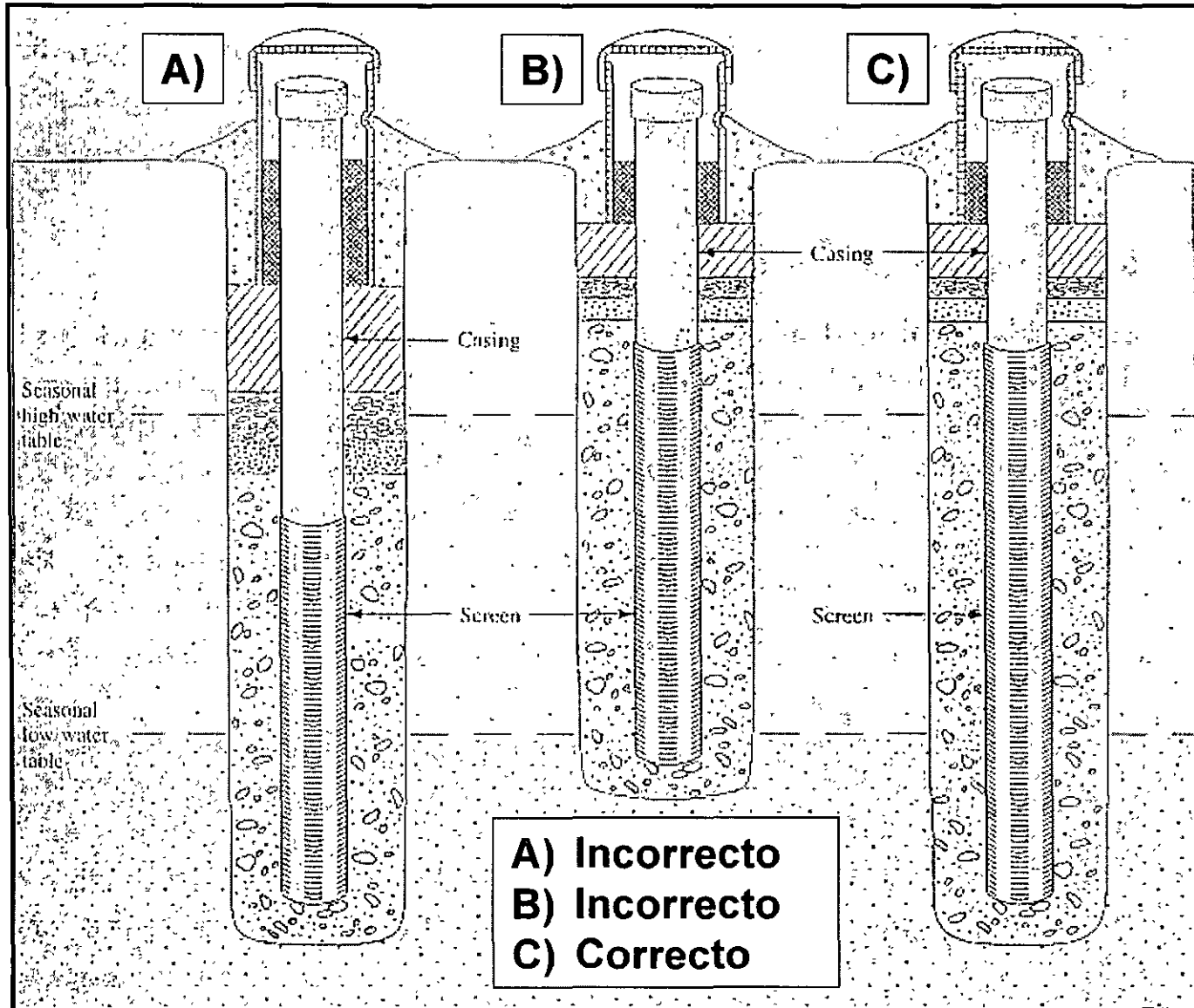
DISEÑO DE POZOS DE MONITOREO



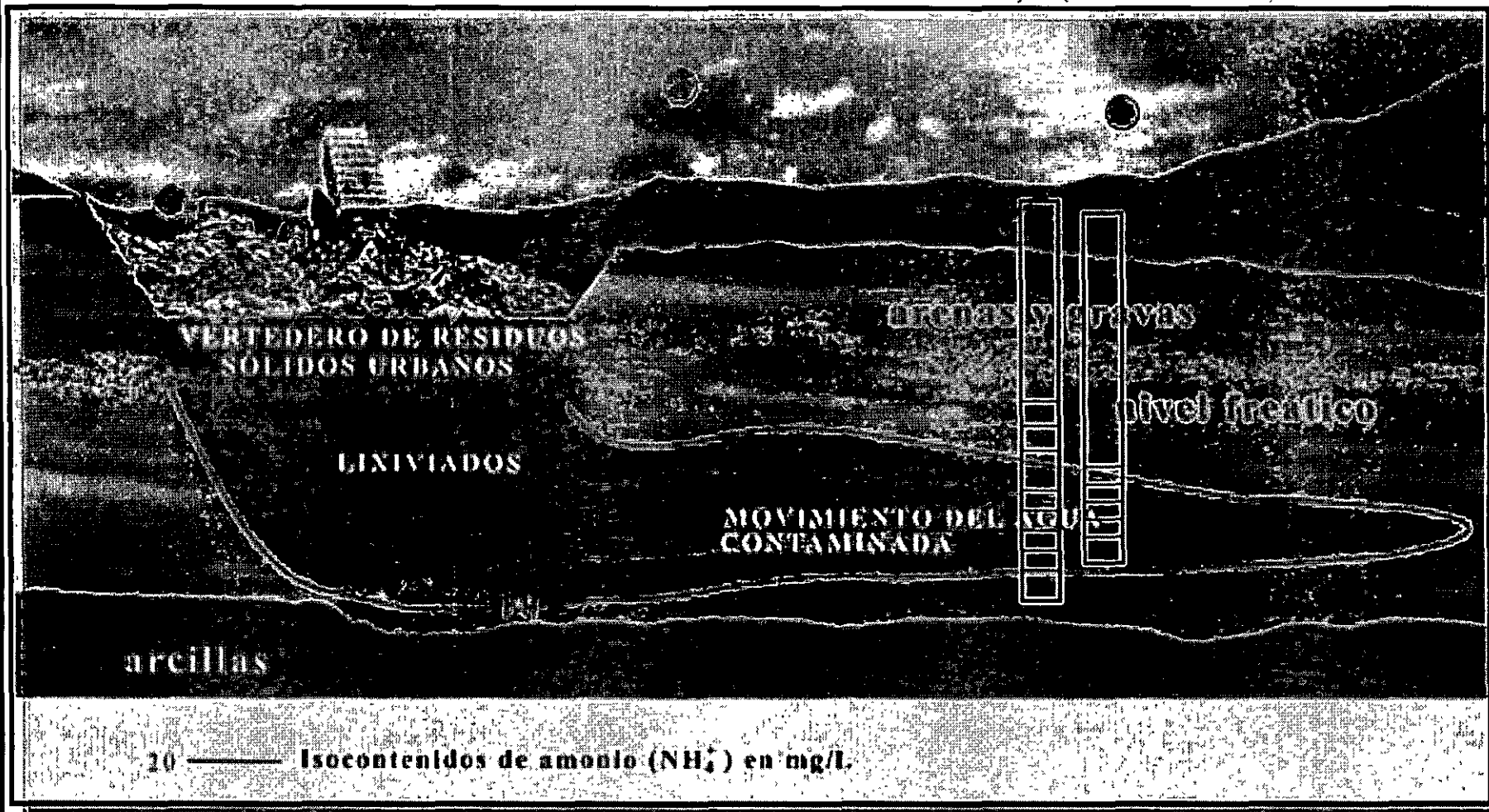
DIFERENCIA ENTRE PIEZÓMETRO Y POZO DE MONITOREO



DISEÑOS CORRECTOS E INCORRECTOS



EFECTO DEL RANURADO EN LA CALIDAD DEL MUESTREO



CÁLCULO DE MATERIALES EN UN POZO DE MONITOREO

- El cálculo implica la estimación del volumen del espacio anular (V_{EA}), de manera que:

$$V_{EA} = V_{PERFORACIÓN} - V_{TUBERÍA};$$

Si $V_{PERF} = \pi R_{PERF}^2 L$, y $V_{TUB} = \pi R_{TUB}^2 L$, entonces:

$$V = \pi (R^2 - r^2) L$$
$$m = \rho V$$

V: Volumen

R: Radio de la perforación

r: Radio del ademe o tubería

L: Longitud del material

m: Masa

ρ : Densidad; $\rho_{\text{PREFILTRO}} = 2.3 \text{ Ton/m}^3$; $\rho_{\text{BENT}} = 2.1 \text{ Ton/m}^3$; $\rho_{\text{CEM}} = 1.1 \text{ Ton/m}^3$

DISEÑO DE POZOS DE MONITOREO

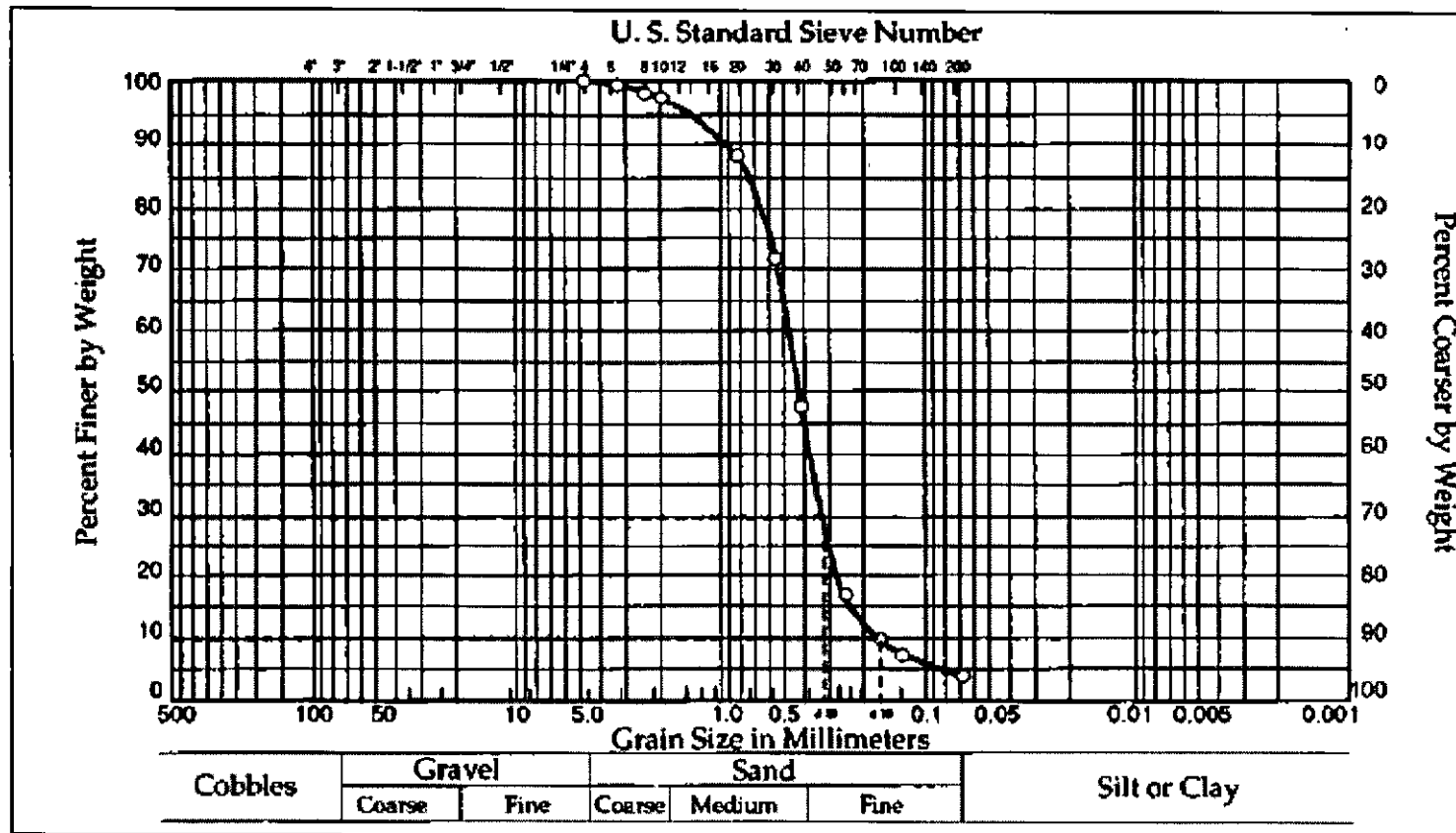
| Diámetro perforación ("), basados en Perforación Helicoidal Hueca | Diámetro PVC recomendado (") |
|---|------------------------------|
| 6 5/8 | 2 (mínimo) |
| 8 | 4 |
| 10 | 6 |

TABLE 8.1 Dimensions of inside and outside diameters of well casings.

| Pipe Size | Outside Diameter | Schedule 5 | | Schedule 10 | | Schedule 40 | | Schedule 80 | |
|------------|---------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | | Wall Thickness | Inside Diameter | Wall Thickness | Inside Diameter | Wall Thickness | Inside Diameter | Wall Thickness | Inside Diameter |
| Nominal 2" | 2.375" | 0.065" | 2.245" | 0.109" | 2.157" | 0.154" | 2.067" | 0.218" | 1.939" |
| Nominal 3" | 3.500" | 0.083" | 3.334" | 0.120" | 3.260" | 0.216" | 3.068" | 0.300" | 2.900" |
| Nominal 4" | 4.500" | 0.083" | 4.334" | 0.120" | 4.260" | 0.237" | 4.026" | 0.337" | 3.826" |
| Nominal 5" | 5.563" | 0.109" | 5.345" | 0.134" | 5.295" | 0.258" | 5.047" | 0.375" | 4.813" |
| Nominal 6" | 6.625" | 0.109" | 6.407" | 0.134" | 6.357" | 0.280" | 6.065" | 0.432" | 5.761" |

PREFILTRO DE GRAVA

- Consiste de arenas y gravas sílicas bien redondeadas con menos del 5% de partículas calcáreas, que se coloca en el espacio anular a una longitud cuando menos superior a la longitud del ranurado por 1.5 m.
- El filtro de grava debe estar **gradado**, de la siguiente manera:



PREFILTRO DE GRAVA Y TUBERÍA RANURADA

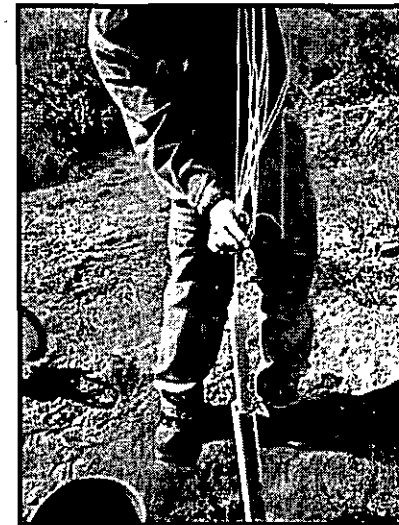
- Lo ideal es que el d_{30} de la curva del prefiltro sea de **4 a 10 veces mayor** que del d_{30} de la unidad hidroestratigráfica donde se colocará la tubería ranurada, y que tenga un coeficiente de uniformidad pequeño (< 2.5).
- Además, los espacios de las ranuras de la tubería ranurada, estarán en función de la granulometría del prefiltro según la siguiente tabla:

| Size of Screen Opening, mm (in.) | Slot No. | Sand Pack Mesh Size Name(s) | 1 % Passing Size (D-1), mm | Effective Size, (D-10), mm | 30 % Passing Size (D-30), mm | Range of Uniformity Coefficient | Roundness (Powers Scale) |
|----------------------------------|----------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| 0.125 (0.005) | 5 ^A | 100 | 0.09 to 0.12 | 0.14 to 0.17 | 0.17 to 0.21 | 1.3 to 2.0 | 2 to 5 |
| 0.25 (0.010) | 10 | 20 to 40 | 0.25 to 0.35 | 0.4 to 0.5 | 0.5 to 0.6 | 1.1 to 1.6 | 3 to 5 |
| 0.50 (0.020) | 20 | 10 to 20 | 0.7 to 0.9 | 1.0 to 1.2 | 1.2 to 1.5 | 1.1 to 1.6 | 3 to 6 |
| 0.75 (0.030) | 30 | 10 to 20 | 0.7 to 0.9 | 1.0 to 1.2 | 1.2 to 1.5 | 1.1 to 1.6 | 3 to 6 |
| 1.0 (0.040) | 40 | 8 to 12 | 1.2 to 1.4 | 1.6 to 1.8 | 1.7 to 2.0 | 1.1 to 1.6 | 4 to 6 |
| 1.5 (0.060) | 60 | 6 to 9 | 1.5 to 1.8 | 2.3 to 2.8 | 2.5 to 3.0 | 1.1 to 1.7 | 4 to 6 |
| 2.0 (0.080) | 80 | 4 to 8 | 2.0 to 2.4 | 2.4 to 3.0 | 2.6 to 3.1 | 1.1 to 1.7 | 4 to 6 |

DESARROLLO Y LIMPIEZA DE POZOS DE MONITOREO

- Consiste en la **remoción del material más fino** de la tubería ranurada del pozo, que puede interferir con la calidad química de los análisis de manera que se traten de re-establecer las condiciones originales antes de la perforación.
- Ocasiona también que existe una **conectividad hidráulica** entre el prefiltro de grava y la unidad hidrogeológica evaluada.
- Los métodos de desarrollo en pozos de monitoreo consisten en remover un cierto volumen de agua por medio de:

- **Bailers**
- **Bombeo y sobrebombeo**
- **Air-Lifting + bombeo**



DESARROLLO Y LIMPIEZA DE POZOS DE MONITOREO

- La limpieza y desarrollo debe efectuarse **antes del muestreo** de agua subterránea.
- El pozo tiene que desarrollarse hasta asegurarse que el agua bombeada es **representativa del acuífero y está libre de recortes, fluidos de perforación (en su caso) y otros materiales adicionados durante la perforación.**
- Conviene al término del desarrollo, hacer un **ensayo de recuperación** con objeto de determinar la eficiencia del pozo y estimar una primera aproximación de la transmisividad del acuífero.
- Después del desarrollo se recomienda **purgar el pozo** es decir, cuando menos, extraer el equivalente a **3 veces el volumen** almacenado en el pozo:

$$V_e = 3 [\pi r_p^2 (PT - PNF)]$$

V_e : Volumen del fluido a extraer.

r_p : Radio de la tubería del pozo.

PT: Profundidad total del pozo.

PNF: Profundidad del nivel freático.

¿ PURGAR O NO PURGAR ?



American
Petroleum
Institute

OCTOBER 2000

No. 12

NO-PURGE GROUNDWATER SAMPLING

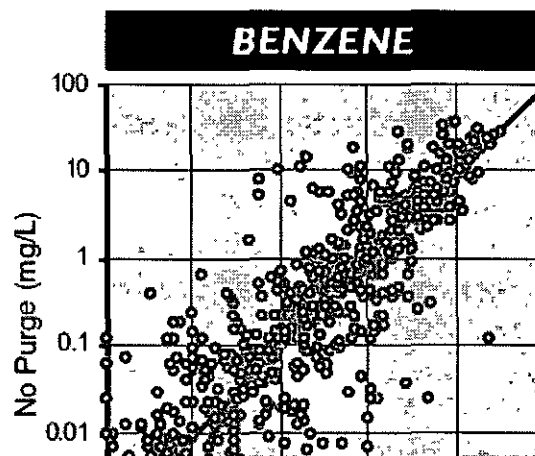
An Approach for Long-Term Monitoring

CHARLES J. NEWELL, ROBERT S. LEE, ANNMARIE H. SPEXET, GROUNDWATER SERVICES, INC.

A SUMMARY OF RESEARCH RESULTS FROM API'S SOIL & GROUNDWATER TECHNICAL TASK FORCE

Executive Summary

Well purging prior to groundwater sampling has been a standard practice for many years. Recently, however, comparative research shows that samples collected without prior purging of the well ("No-Purge" sampling) are not statistically different or provide conservative results compared to samples from wells which were purged using conventional techniques. Key results are:



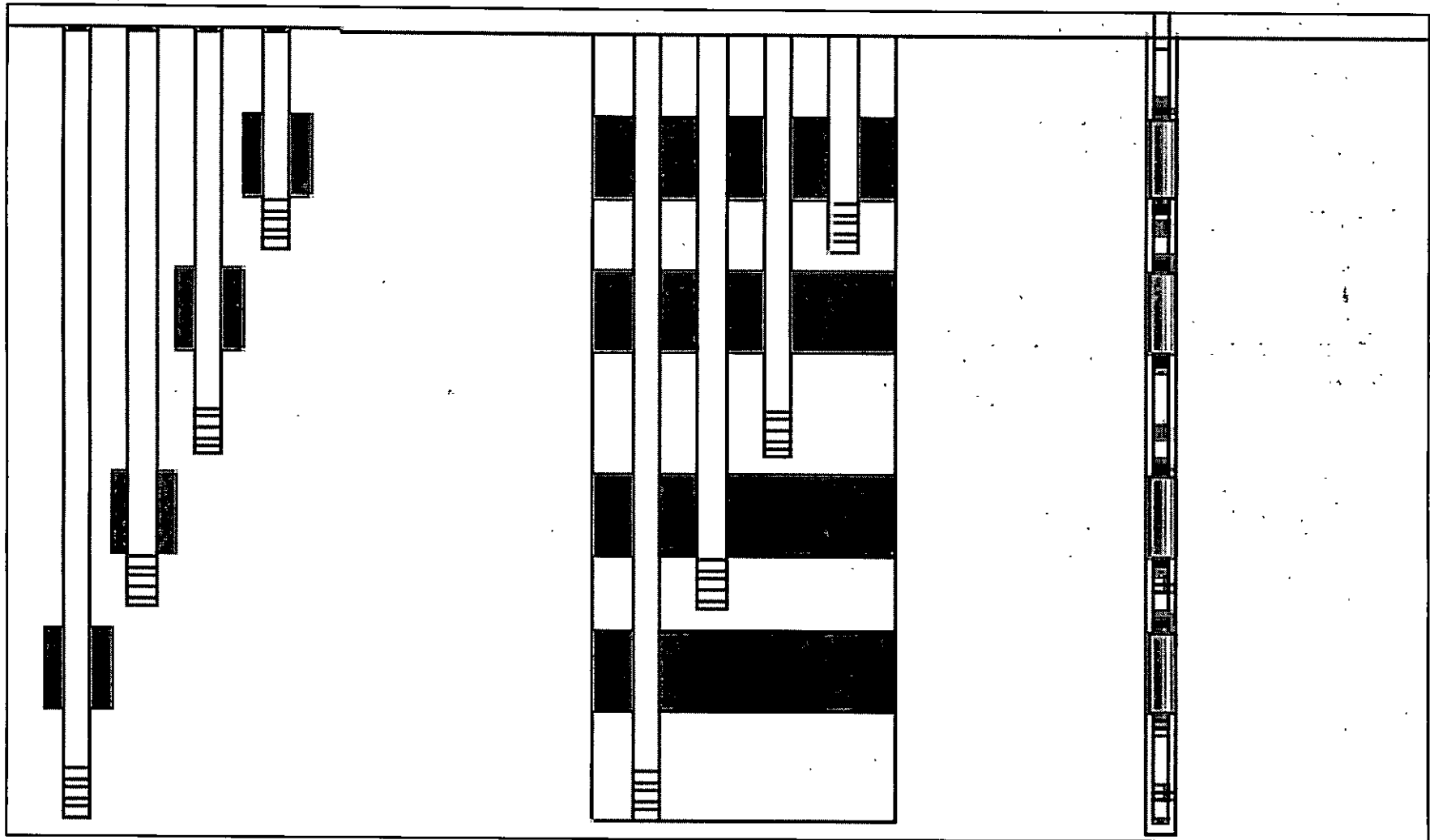
KEY POINT: No-Purge sampling is applicable for wells at fuel hydrocarbon sites that have no NAPL, are unconfined, are screened through the water table, and have prior monitoring data from conventional sampling.

POZOS MULTIPIEZOMÉTRICOS

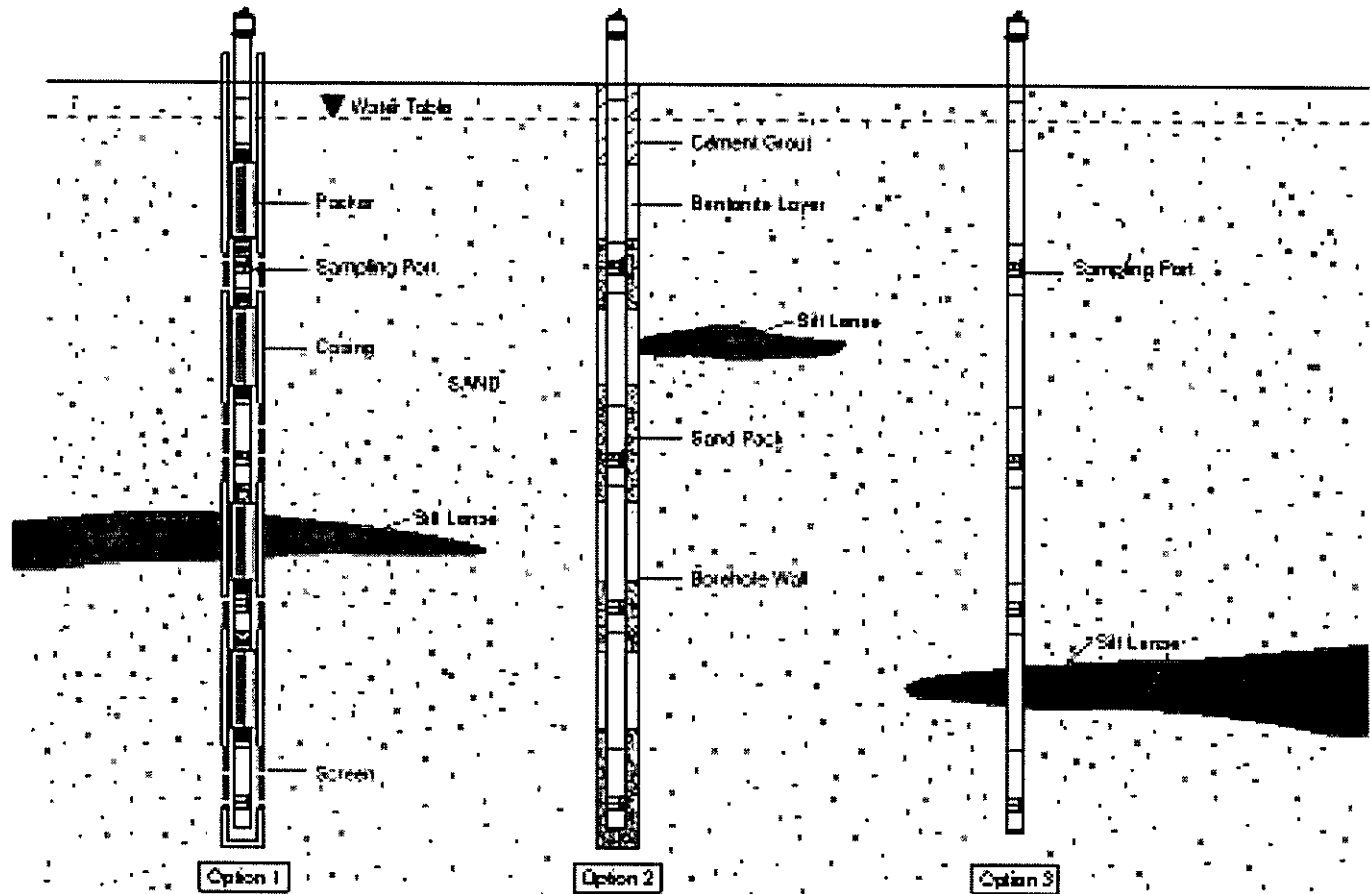
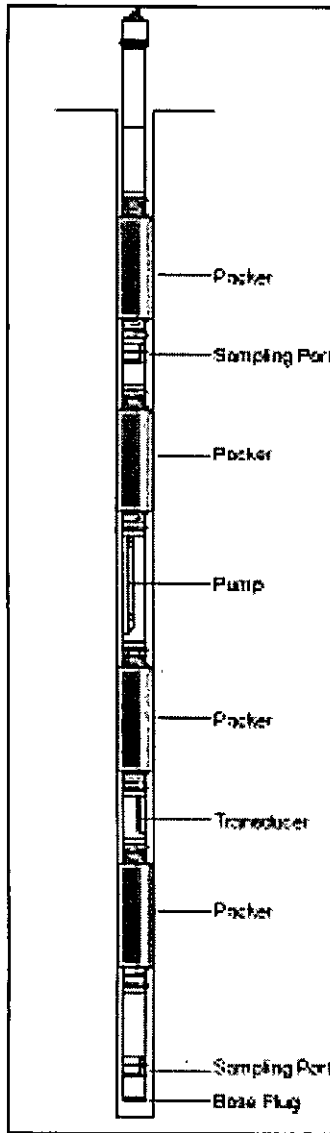
ARREGLO TIPO "CLUSTER"

ARREGLO TIPO "NIDO"

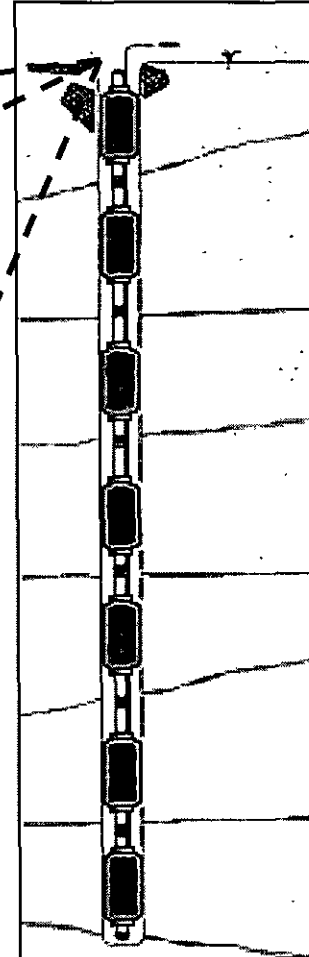
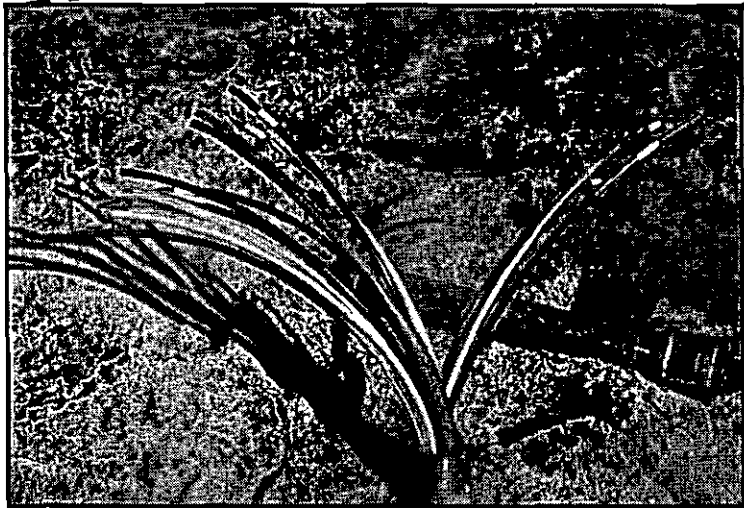
MULTISISTEMA



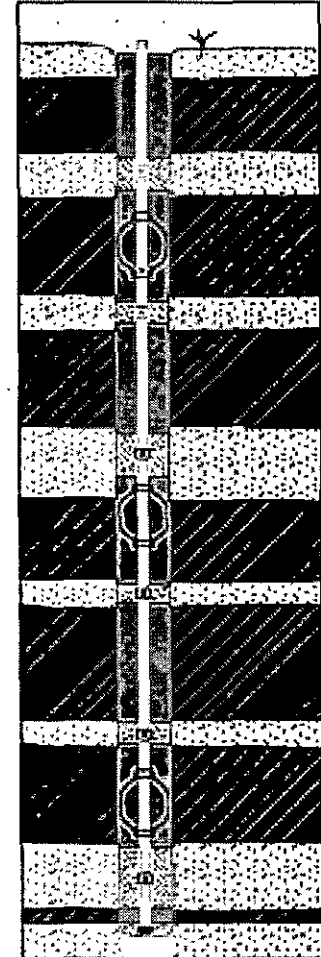
POZOS MULTIPIEZOMÉTRICOS



POZOS MULTIPIEZOMÉTRICOS



Installation in fractured bedrock.



Installation in unconsolidated sediments

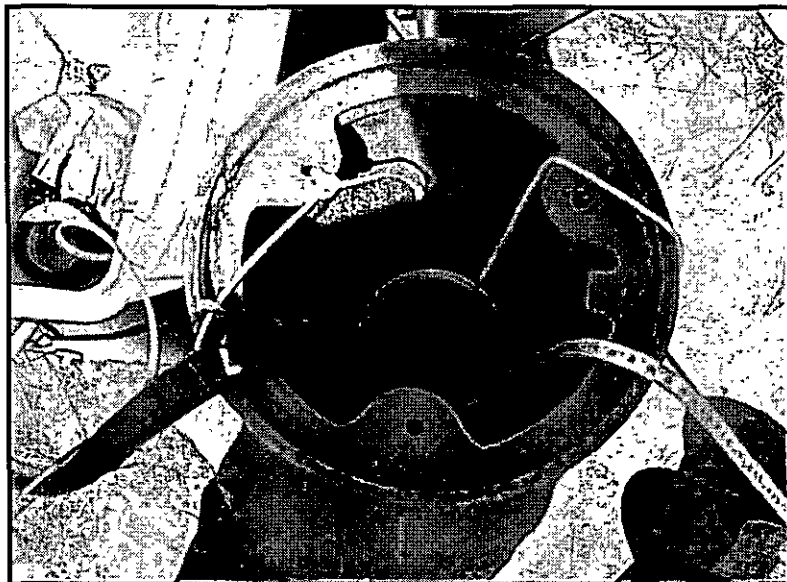
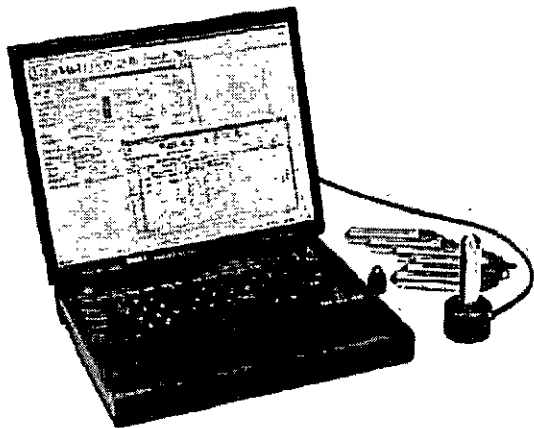
TIPO DE MUESTREO

| | | Ground Water Parameters | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------|-------------------|-----------------|--------------|----------|-----|-----|-------------|--------------------|-------------------|---|---|---|
| | | Inorganic | | | | | | | Organic | | | | Radioactive | | Biol. | | | |
| | | EC | pH | Redox | Major ions | Trace metals | Nitrate, Fluoride | Dissolved Gases | Non-volatile | Volatile | TOC | TOX | Radium | Gross Alpha & Beta | Coliform Bacteria | | | |
| Portable Sampling Devices | Grab | Device | Approximate Maximum Sample Depth | Minimum Well Diameter | Sample Delivery Rate or Volume | | | | | | | | | | | | | |
| | | Open bailer | no limit | 1/2 in. | Variable | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| | | Point-source bailer | no limit | 1/2 in. | Variable | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| | Syringe sampler | no limit | 1 1/2 in. | 0.01-0.2 gal | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | |
| | Positive displacement (submersible) | Gear-drive | 200 ft | 2 in. | 0-0.5 g/min | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| | | Bladder pump | 400 ft | 1 1/2 in. | 0-2 g/min | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| | | Helical rotor | 160 ft | 2 in. | 0-1.2 g/min | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| | | Piston pump (gas-drive) | 500 ft | 1 1/2 in. | 0-0.5 g/min | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| | | Centrifugal | variable | 3 in. | variable | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| Suction lift | Peristaltic | 26 ft | 1/2 in. | 0.01-0.3 g/min | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | |
| | Gas contact | Gas-lift | variable | 1 in. | Variable | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | |
| | | Gas-drive | 150 ft | 1 in. | 0.2 g/min | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |

TIPO DE MUESTREO

| PIC | MW-1 | | | MW-2 | | | MW-3 | | | MW-4 | | | MW-5 | | | MW-6 | | | MW-7 | | | MW-8 | | | PRG's (mg/L) |
|------------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| | BS | LFS | % D | BS | LFS | % D | BS | LFS | % D | BS | LFS | % D | BS | LFS | % D | BS | LFS | % D | BS | LFS | % D | BS | LFS | % D | |
| DO (mg/L) | 2.18 | 0.3 | 86.24 | 4.1 | 0.42 | 89.8 | 2.3 | 0.55 | 76.1 | 2.61 | 0 | 100 | 5.49 | 2.5 | 54.5 | 3.6 | 0.3 | 91.7 | 3.31 | 0.22 | 93.35 | 4.03 | 1.29 | 68.1 | NA |
| Eh (mV) | -327 | -382 | 16.82 | -250 | -304 | 17.8 | -315 | -343 | 8.16 | -336 | -370 | 10.1 | -88 | -194 | 120 | -88 | -243 | 176 | -313 | -382 | 22.04 | -33 | -88 | 166.7 | NA |
| pH | 6.83 | 7.13 | 4.39 | 7.08 | 6.96 | 1.72 | 7.09 | 7.06 | 0.42 | 7.35 | 7.15 | 2.72 | 7.43 | 7.32 | 1.48 | 6.8 | 7.4 | 8.82 | 7.07 | 7.12 | 0.70 | 7.39 | 7.48 | 1.20 | NA |
| EC (µS/cm) | 7320 | 7540 | 3.01 | 4060 | 3510 | 13.5 | 8000 | 7910 | 1.13 | 3650 | 3500 | 4.11 | 3030 | 2750 | 9.24 | 5080 | 2550 | 49.8 | 6510 | 7140 | 8.82 | 1910 | 1890 | 1.06 | NA |
| Tu (NTU) | 33 | 29 | 12.12 | 64.1 | 10 | 84.4 | 195 | 16.8 | 91.4 | 52 | 49.3 | 5.19 | 230 | 68 | 70.4 | 81.6 | 42 | 48.5 | 222 | 47 | 78.83 | 40.5 | 23.7 | 70.89 | NA |
| Te (°C) | 25.7 | 27 | 5.06 | 23.4 | 23.9 | 2.09 | 23 | 23.6 | 2.54 | 22.7 | 20.5 | 9.69 | 24.9 | 22.8 | 8.43 | 25 | 23.3 | 6.8 | 22.8 | 23 | 0.87 | 21.8 | 21.6 | 0.93 | NA |
| CD (mg/L) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Benceno | | | 65.16 | | | 28.6 | | | 1.82 | | ND | 100 | ND | ND | 0 | ND | ND | 0 | | | 57.14 | ND | ND | 0 | 0.00035 |
| As | 0.02 | 0.007 | 61.36 | 0.006 | ND | 100 | 0.058 | 0.05 | 13.8 | 0.02 | ND | 100 | 0.26 | 0.28 | 7.14 | 0.05 | 0.03 | 50 | 0.05 | 0.02 | 60 | 0.06 | 0.06 | 0 | NL |
| Cr total | 0.01 | ND | 100 | 0.024 | ND | 100 | ND | ND | 0 | 0.04 | ND | 100 | ND | ND | 0 | 0.06 | ND | 100 | 0.06 | ND | 100 | ND | ND | 0 | NL |
| Zn | 0.07 | 0.18 | 59.44 | 0.065 | ND | 100 | 0.056 | 0.31 | 81.9 | 0.032 | 0.12 | 73.3 | 0.087 | 0.05 | 41.4 | 0.09 | 0.05 | 44.4 | 0.09 | 0.05 | 80.00 | 0.133 | 0.026 | 80.45 | 11 |

MONITOREO AUTOMATIZADO DE ACUÍFEROS

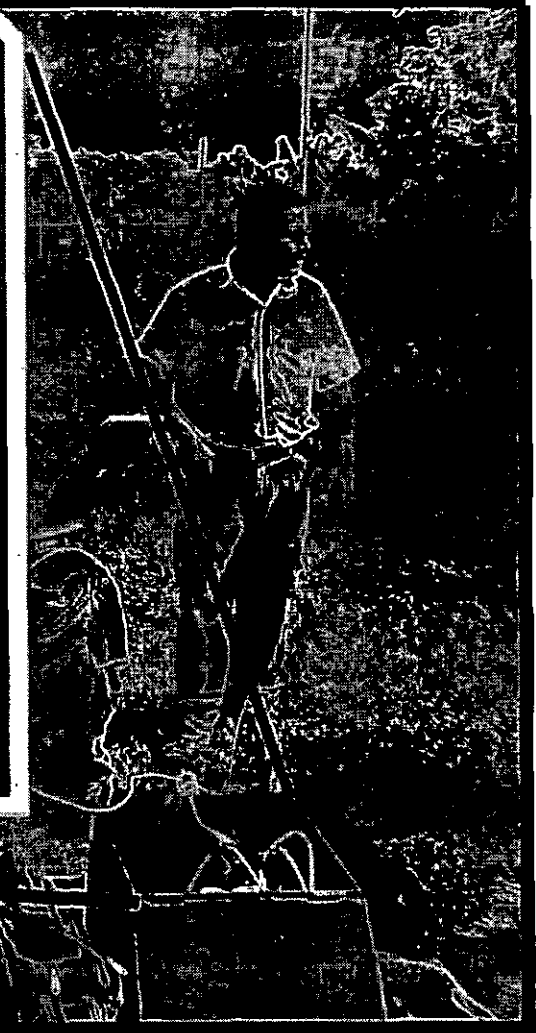
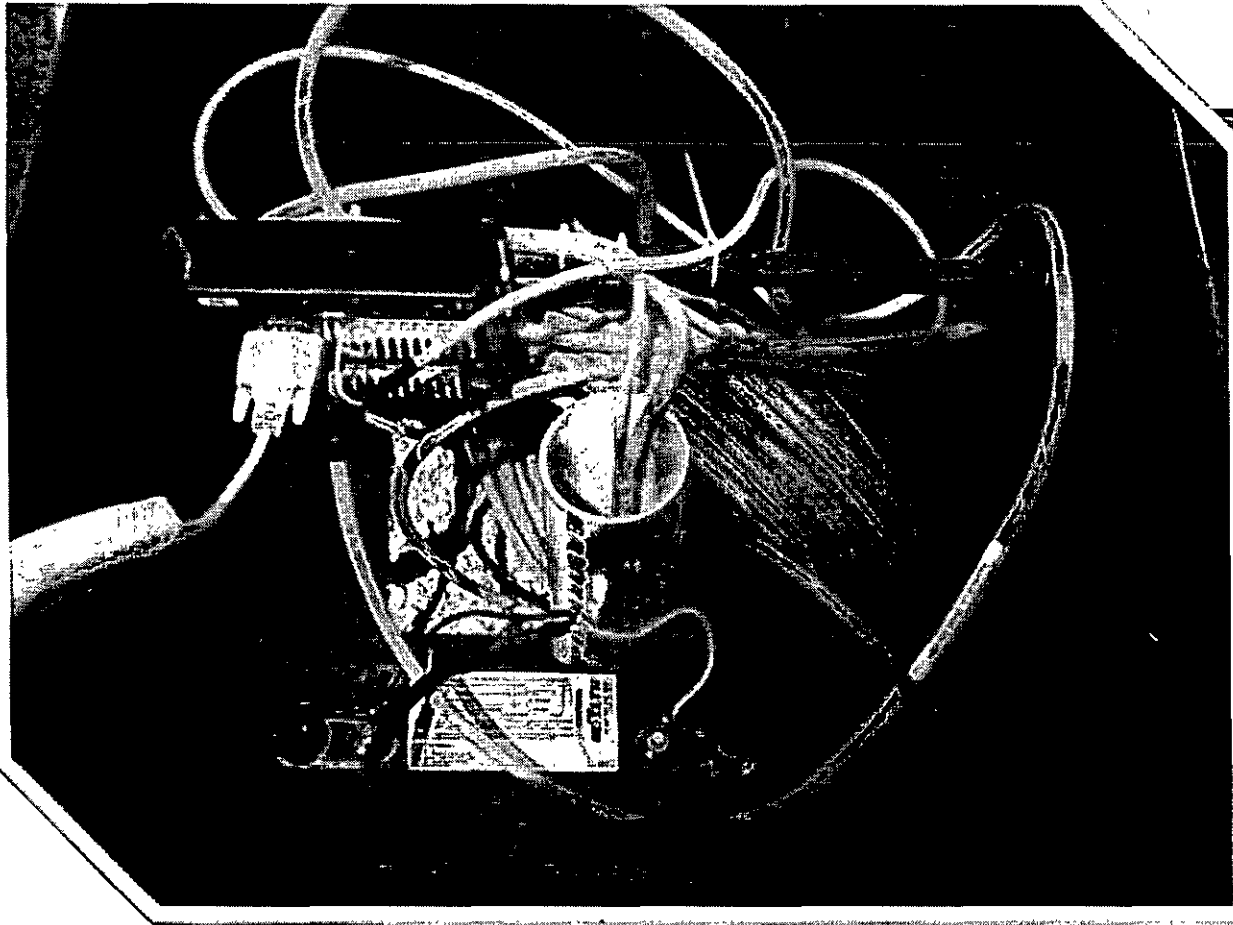


SO EASY TO USE.....
.....anyone can do it!

A black and white photograph of a person sitting on the ground in a field. The person is wearing a striped shirt and is looking at a laptop computer. There are various pieces of equipment, including a box and some cables, scattered around them. The background shows a field with some trees and a fence in the distance.

Water Level Datalogging Simplified

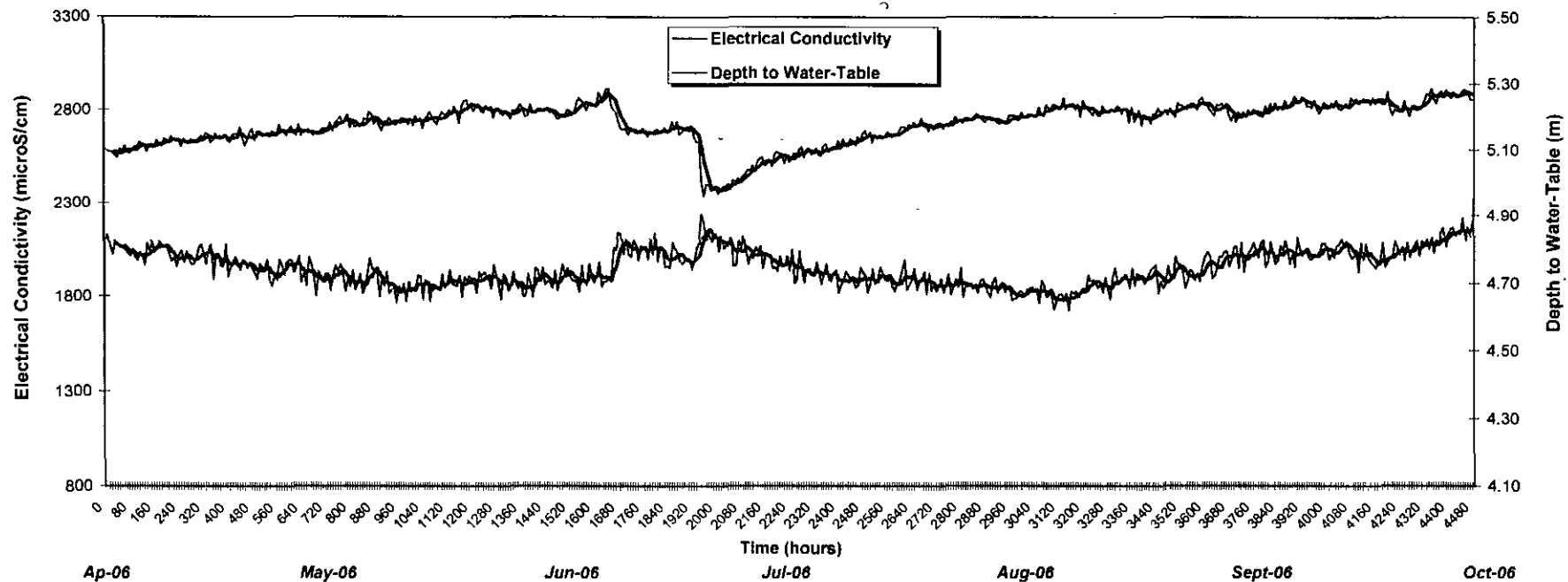
MONITOREO AUTOMATIZADO DE ACUÍFEROS



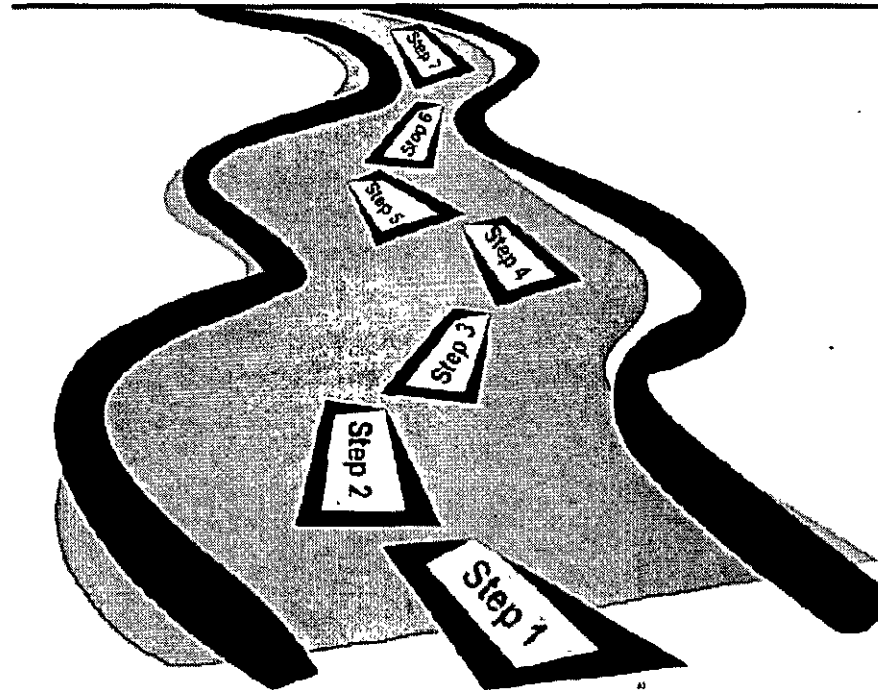
ING. ANTONIO HERNÁNDEZ ESPRIU

DISEÑO DE PROGRAMAS DE MONITOREO

MONITOREO AUTOMATIZADO DE ACUÍFEROS



ROADMAP TO LONG-TERM MONITORING OPTIMIZATION



US Army Corps
of Engineers

PROGRAMAS DE MONITOREO OPTIMIZADOS

•“Continua re-evaluación y efficientización de programas a largo plazo, que tiene como objetivo obtener la misma calidad de datos que en el PMLP con una reducción de costos de operación”.

Modelos de optimización:

- Cost Effective Sampling (CES)**
- Geostatistical Temporal/Spatial Optimization Algorithm (GTS)**
- Monitoring and Remediation Optimization System (MAROS)**
- Parsons 3-Tiered LTMO**
- Adaptive Environmental Monitoring System (AESM)**



ground
water

MAROS: A Decision Support System for Optimizing Monitoring Plans

by Julia J. Aziz¹, Meng Ling², Hanadi S. Rifai^{2,3}, Charles J. Newell¹, and James R. Gonzales⁴

Abstract/

The The Monitoring and Remediation Optimization System (MAROS), a decision-support software, was developed to assist in formulating cost-effective ground water long-term monitoring plans. MAROS optimizes an existing ground water monitoring program using both temporal and spatial data analyses to determine the general monitoring system category and the locations and frequency of sampling for future compliance monitoring at the site. The objective of the MAROS optimization is to minimize monitoring locations in the sampling network and reduce sampling frequency without significant loss of information, ensuring adequate future characterization of the contaminant plume.

PROGRAMAS DE MONITOREO OPTIMIZADOS

| <i>LTMO Tool/Approach</i> | <i>Overview</i> | <i>Frequency Optimization Methodology</i> | <i>Spatial Distribution Methodology</i> | <i>Data Requirements</i> | <i>Appropriate Site Size</i> |
|--|--|--|--|---|---|
| Cost Effective Sampling (CES) | CES is a methodology for reviewing and assessing the lowest-frequency sampling schedule for a given groundwater monitoring location | Rule-based decision algorithm based on trend, variability, and magnitude statistics recommends optimal frequency at each well. | Not included | <ul style="list-style-type: none"> - At least 6 quarterly monitoring results per well - Clean down-gradient "guard wells" | Unlimited (well-by-well analysis) within same operable unit |
| Geostatistical Temporal/Spatial Optimization Algorithm (GTS) | GTS is a spatial and temporal algorithm developed by AFCEE that utilizes geostatistical methods to optimize sampling frequency and to define the network of essential sampling locations. The GTS algorithm incorporates a decision pathway analysis that incorporates both spatial and temporal components and is used to identify spatial and temporal redundancies in existing monitoring networks. | <ol style="list-style-type: none"> 1) Iterative thinning approach reconstructs baseline trends with fewer samples to determine optimal frequency on a well-by-well basis. 2) Temporal variogram is applied to determine composite autocorrelation and optimal site-wide frequency. | Weighting scheme utilizing locally weighted quadratic regression examines multiple "time slices" to identify redundant wells based on cost-accuracy trade-off curves. | <ul style="list-style-type: none"> - More than 8 events per well (temporal) - Greater than 30 wells (spatial) | 30 to thousands of wells |
| Monitoring and Remediation Optimization System (MAROS) | The MAROS public domain software was developed in accordance with the AFCEE Long-Term Monitoring Optimization guide. MAROS is a decision support tool based on statistical methods applied to site-specific data that accounts for relevant current and historical site data as well as hydrogeologic factors. The software recommends optimal future sampling frequency, location and density, as well as providing information on the plume state over time | Modified cost-effective sampling method (rule-based decision algorithm based on trend, variability, and magnitude statistics) recommends optimal frequency for each well. | Weighting scheme utilizing Delaunay triangulation identifies redundant wells. Can evaluate multiple chemicals at one time. | <ul style="list-style-type: none"> - More than 4 events per well (temporal) - Greater than 6 wells per zone (spatial) | 40 to 80 wells recommended (per aquifer zone) |
| Parsons 3-Tiered LTMO | The 3-Tiered LTMO consists of a qualitative evaluation, an evaluation of temporal trends in contaminant concentrations, and a statistical spatial analysis. The results of the three evaluations are combined to assess the degree to which the monitoring network addresses the primary objectives of monitoring. A decision algorithm is applied to assess the optimal frequency of monitoring and the spatial distribution of the components of the monitoring network, and to develop recommendations for monitoring program optimization. | Qualitative evaluation, temporal statistical evaluation (Mann-Kendall), and spatial statistical evaluation are combined to identify wells for exclusion or retention and make final sampling frequency recommendations. | Qualitative evaluation, a weighting scheme using kriging, and temporal evaluation are combined to identify the relative spatial value of each well. And make final network distribution recommendations. | <ul style="list-style-type: none"> - More than 4 events per well (temporal) - Greater than 10 wells per zone (spatial) | 10 to 100s of wells (per aquifer zone) |

¡MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN!

ING. ANTONIO HERNÁNDEZ ESPRIU

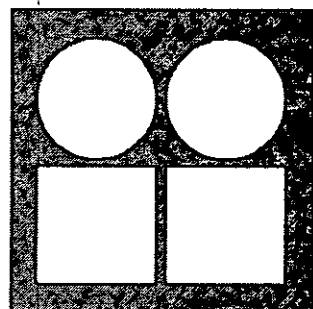


UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

MÓDULO 2: CARACTERIZACIÓN DE SUELOS Y AGUAS SUBTERRÁNEAS CONTAMINADAS

Tema 4: Evaluación de riesgo (RBCA)

Dra. Rosa María Flores Serrano

*Diplomado "Caracterización y remediación de suelos y acuíferos
contaminados por hidrocarburos"*

30 de octubre de 2008



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERIA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos

RBCA (RISK BASED CORRECTIVE ACTION)



RBCA

Risk Based Corrective Action

Marco de trabajo que permite establecer:

- * **Riesgos y HQ**
- * **Niveles de limpieza**
- * **Establecer prioridades**
- * **Estrategias para administrar el riesgo**

GSI Inc Environmental

**Standard Provisional Guide for Risk-Based Corrective Action
(ASTM Designation: PS 104 – 98)**

**♦ Standard Guide for Risk-Based Corrective Action (ASTM
Designation: E 2081 – 00)**

**Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at
Petroleum Release Sites (Designation: E 1739 – 95
(Reapproved 2002))**



RBCA

Tres niveles:

Tier 1:

- **Receptor sobre la fuente de contaminación**
- **Máximas condiciones de exposición**

Se obtienen:

- **PRG (Preliminary Remediation Goals) denominados RBSL (Risk Based Screening Levels) = Valores de referencia para suelo y AS**
- **Riesgos máximos posibles**

Tier 2:

- **Receptor sobre (On-Site) y fuera (Off-Site) de la fuente de contaminación (POE)**
- **Condiciones Geohidrológicas específicas del sitio**
- **Condiciones de exposición específicas del sitio**

Se obtienen:

- **SSTL (Site Specific Target Levels) = Niveles de limpieza específicos del sitio**
- **Riesgos para receptores On-Site y Off Site**



RBCA

Tres niveles:

Tier 3:

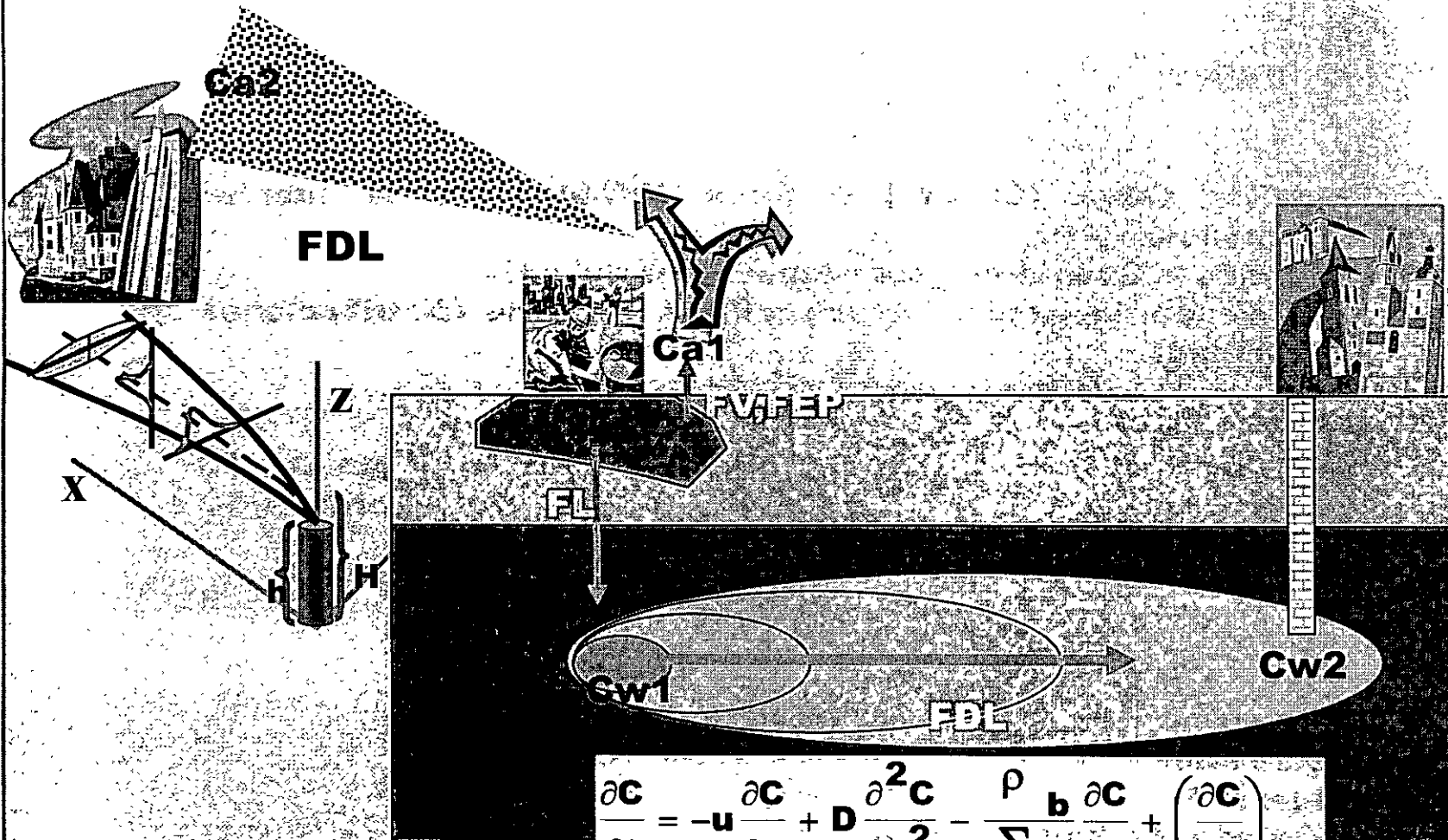
- **Receptor sobre (On-Site) y fuera (Off-Site) de la fuente de contaminación (POE)**
- **Condiciones Geohidrológicas específicas del sitio**
- **Condiciones de exposición específicas del sitio (distribuciones de probabilidad)**

Se obtienen:

- **Distribución de probabilidad de SSTL (Site Specific Target Levels)**
- **Distribuciones de probabilidad de Riesgos para receptores On-Site y Off Site**

Receptores:

- * **Residencial**
- * **Comercial**
- * **Trabajador de Construcción**
- * **Actividades recreativas en cuerpos de agua**

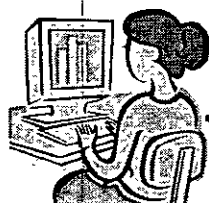


$$\frac{\partial C}{\partial t} = \underbrace{-u \frac{\partial C}{\partial x}}_{\text{advección}} + \underbrace{D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}}_{\text{difusión}} - \underbrace{\sum \frac{\rho_b}{\rho} \frac{\partial C}{\partial t}}_{\text{reacciones}} + \left(\frac{\partial C}{\partial t} \right)_{rn}$$



RBCA

TOOL KIT FOR CHEMICAL RELEASES

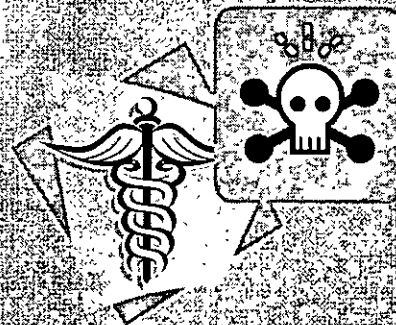
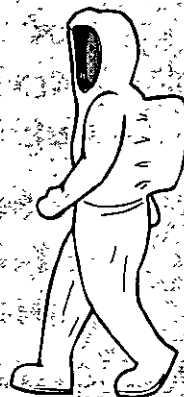
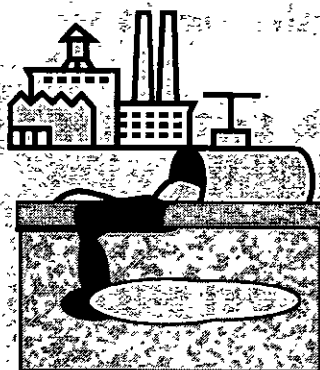


Modelos de migración

Factores de exposición

Base de datos Prop Quim/Tox

Valores de Riesgo



Cálculo de Valores de Riesgo

Cálculo de Concentraciones basadas en riesgo



| MEDIO AFECTADO | RUTAS DE EXPOSICIÓN |
|---|---|
| Suelo superficial (0- 1 m) | <ul style="list-style-type: none">•Inhalación de vapores y partículas•Contacto dérmico de suelo•Ingestión de suelo y polvo•Lixiviación al agua subterránea/Ingestión |
| Subsuelo (Suelo subsuperficial) (>1m) | <ul style="list-style-type: none">•Inhalación de vapores•Lixiviación del suelo al agua subterránea |
| Agua subterránea | <ul style="list-style-type: none">•Ingestión de agua potable•Inhalación de vapores |



| RUTA DE EXP. INDIRECTA | MEDIO FUENTE | FACTORES DE TRANSFERENCIA ENTRE MEDIOS | FACTORES DE TRANSFERENCIA LATERAL | MEDIO DE EXP | NAF (Factor de atenuación natural) Total |
|---|----------------------------|---|--|-----------------------------|--|
| Rutas de exposición de aire | | | | | |
| Suelo Superficial: Volatilización y liberación de polvo al ambiente | Suelo Superficial Contamin | Ec CM-1 VFss (superficial) Ec CM-2 PEF | Ec LT-2 ADF (Factor Dispersión Aire Lateral) | Aire ambiente en el POE. | $\frac{ADF}{VFss + PEF}$ |
| Subsuelo: Volatilización al ambiente | Subsuelo Contamin. | Ec CM-3 VFssamb (subsuperficial). | Ec LT-2 ADF (Factor Dispersión Aire Lateral) | Aire ambiente en el POE. | $\frac{ADF}{VFssamb}$ |
| Subsuelo: Volatilización a interiores | Subsuelo Contamin. | Ec CM-4 VFssp (espacio cerrado, interiores) | | Aire interior en el POE. | $\frac{1}{VFssp}$ |
| Agua subterránea: Volatilización al ambiente | Agua Subterránea Contamin | Ec CM-5 VFwamb (A.S-ambiente) | Ec LT-2 ADF (Factor Dispersión Aire Lateral) | Aire interior en el POE | $\frac{ADF}{VFwamb}$ |
| Agua subterránea: Volatilización a interiores | Agua Subterránea Contamin | Ec CM-6 VFwssp (A.S-interiores) | | Aire interior en el POE. | $\frac{1}{VFwssp}$ |
| Rutas de exposición de agua subterránea | | | | | |
| Suelo: Lixiviación al agua subterránea/ingestión y contacto derm. | Suelo Contamin. | Ec CM-7 $Ksw = Kd$ (Factor dist. Suelo-lix) Ec CM-8 LDF = Factor Dilución Lix-Agua Subt) | Ec LT-1 DAF (Factor A.S Dilución-Atenuación) | Agua subterránea en el POE | $\frac{LDF \times DAF}{Ksw}$ |
| Pluma contaminante disuelta o Prod. Libre: Ingestión y Contacto der | Agua Subterránea Contamin | | Ec LT-1 DAF (Factor A.S Dilución-Atenuación) | Agua subterránea en el POE. | DAF |



Concentración en suelo por ingestión, inhalación y contacto dérmico de suelo

Cáncer

$$C1 = \frac{TR \times BW \times AT_c \times 365 \text{ días/año}}{EF \times ED \times \left[\left(SF_o \times 10^{-6} \frac{kg}{mg} \times (IR_s \times RAF_o + SA \times M \times RAF_d) \right) + \left(SF_i \times IR_{air} \times (VF + VFP) \times 10^3 \frac{cm^3 kg}{m^3 g} \right) \right]}$$

No Cáncer

$$C2 = \frac{THQ \times BW \times AT_n \times 365 \text{ días/año}}{EF \times ED \times \left[\left(10^{-6} \frac{kg}{mg} \times \frac{IR_s \times RAF_o + SA \times M \times RAF_d}{RfD_o} \right) + \left(\frac{IR_{air} \times (VF + VFP)}{RfD_i} \times 10^3 \frac{cm^3 kg}{m^3 g} \right) \right]}$$

Concentración en suelo por ingestión de agua contaminada por lixiviación del suelo

Cáncer

$$C3 = \frac{TR \times BW \times AT_c \times 365 \text{ días/año}}{SF_o \times IR_w \times EF \times ED \times LF} \times 10^0 \frac{g \cdot L}{kg \cdot cm^3}$$

No Cáncer

$$C4 = \frac{RfD_o \times THQ \times BW \times AT_c \times 365 \text{ días/año}}{IR_w \times EF \times ED \times LF} \times 10^0 \frac{g \cdot L}{kg \cdot cm^3}$$



$$VF = \frac{2 \times W \times \rho_s}{U_{\text{air}} \times \delta_{\text{air}}} \sqrt{\frac{D_s^{\text{eff}} \times H}{\pi \times \tau \times (\theta_{ws} + K_s \rho_s + H \theta_{as})}} \times 10^3$$

$$VFP = \frac{P_e \times W}{U_{\text{air}} \times \delta_{\text{air}}} \times 10^3 \quad (\text{PEF})$$

$$LF = \frac{\rho_s \times L_1}{(\theta_{ws} + K_s \rho_s + H \theta_{as}) \times L_2}$$

$$D_s^{\text{eff}} = D_{\text{air}} \frac{\theta_{as}^{3.33}}{\theta_{\text{T}}^2} + \left(\frac{D^{\text{wat}}}{H} \right) \left(\frac{\theta_{ws}^{3.33}}{\theta_{\text{T}}^2} \right)$$

| Parámetro | Descripción | Unidades |
|-------------------|---|---|
| AT _c | Tiempo promedio carcinógenos | años |
| AT _n | Tiempo promedio no carcinógenos | años |
| BW | Peso corporal | kg |
| D ^{air} | Coefficiente de difusión en aire | cm ² /s |
| D ^{soil} | Difusividad efectiva en la zona no saturada | cm ² /s |
| D ^{wat} | Coefficiente de difusión en agua | cm ² /s |
| ED | Duración de exposición | años |
| EF | Frecuencia de exposición | d/año |
| H | Constante de la ley de Henry | (cm ³ -H ₂ O)/(cm ³ -aire) adimensional |
| IR _{air} | Tasa de ventilación pulmonar | m ³ /día |
| IR _s | Tasa de ingestión de suelo | kg/d |
| IR _w | Tasa de ingestión de agua | L/d |
| K _s | Coefficiente de distribución suelo-agua | (cm ³ -H ₂ O)/(g-suelo) |
| LF | Factor de lixiviación agua subterránea - suelo | (mg/L -agua)/ (mg/kg- suelo) |
| L ₁ | Espesor contaminado del suelo | m |
| L ₂ | Profundidad del nivel freático | m |
| M | Factor de adherencia suelo - piel | (mg/cm ² . d) |
| Pe | Tasa de emisión de partículas | g/cm ² . s |
| RAF _d | Factor relativo de absorción para contacto dérmico de suelo | adimensional |
| RAF _o | Factor relativo de absorción oral | adimensional |
| RfD _i | Dosis de referencia de inhalación, | mg/kg día |
| RfD _o | Dosis de referencia oral, | mg/kg día |
| SA | Área superficial de piel para contacto dérmico | cm ² |
| SFi | Factor de pendiente de inhalación | (mg/kg . d) ⁻¹ |
| SFo | Factor de pendiente oral | (mg/kg . d) ⁻¹ |
| THQ | Cociente de peligrosidad permisible | adimensional |
| TR | Riesgo permisible | adimensional |
| U _{air} | Velocidad del viento en la zona de mezclado de aire | cm/s |
| VF | Factor de volatilización suelo superficial a aire | (mg/m ³ -aire)/ (mg/kg-suelo) |
| VFP | Factor de emisión de partículas | (mg/m ³ -aire)/ |

| Parámetro | Descripción | Unidades |
|------------------|--|--|
| W | Ancho del área fuente paralela a la dirección del viento o el agua subterránea | cm |
| δ _{air} | altura de la zona de mezclado de aire | cm |
| π | Valor numérico = 3.1416 | |
| θ _{air} | Contenido volumétrico de aire en la zona vadosa | cm ³ -aire/ cm ³ -suelo |
| θ _T | porosidad total del suelo | cm ³ /cm ³ |
| θ _{wv} | Contenido volumétrico de agua en la zona vadosa | cm ³ /cm ³ |
| ρ _s | densidad aparente del suelo | g/cm ³ |
| τ | Tiempo promedio para flujo de vapor | seg. |



RBCA

Software RBCA Tool Kit for Chemical Releases

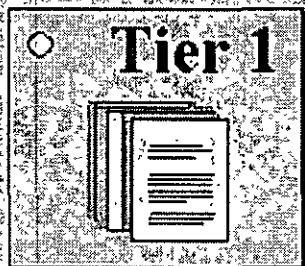
Main Screen

RBCA Tool Kit for Chemical Releases
Version 1.3a © 2000

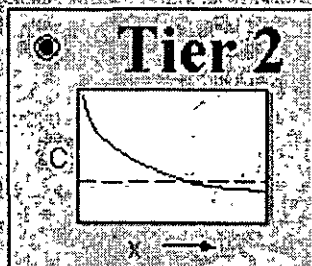
1. Project Information

Site Name: XXXXXXXX
 Location: Nowhere
 Compl. By: RM Flores
 Date: 17-Mar-03 Job ID: XXXX

2. Which Type of RBCA Analysis?



Generic Values
On-Site Exposure



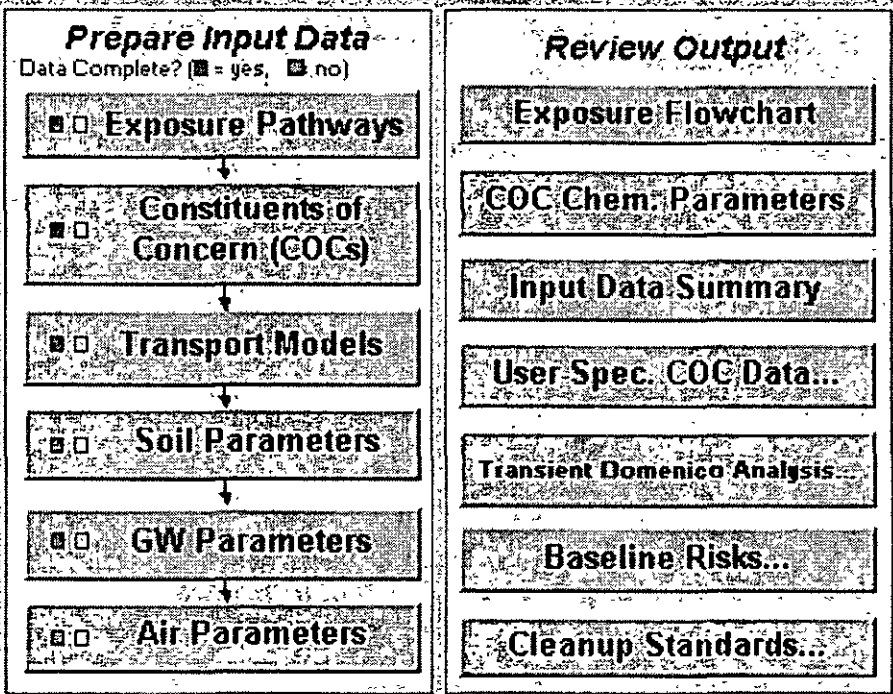
Site-Specific Values
On- or Off-Site Exposure

3. Calculation Options

Affects which input data are required

- Baseline Risks (Forward mode)
- RBCA Cleanup Standards (Backward mode)

4. RBCA Evaluation Process



5. Commands and Options



Exposure Pathway Identification

1. Groundwater Exposure



Groundwater Ingestion/
Surface Water Impact



Receptor: Res.

Type:

Source Media

Distance to GW receptors

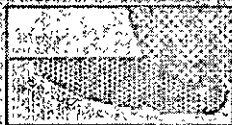
Affected Groundwater

| | | |
|---------|-----------|-----------|
| On-site | Off-site1 | Off-site2 |
| | 12 | |
| | (m) | |

Affected Soils Leaching to Groundwater

| | | |
|---------|-----------|-----------|
| On-site | Off-site1 | Off-site2 |
| 0 | 12 | |
| | (m) | |

GW Discharge to Surface Water Exposure



Drinking

Fish Consumption

Aquatic Life Protection

Enter AQP Criteria

2. Surface Soil Exposure



Direct Ingestion
and Dermal Contact

Receptor:

Type:

Construction Worker

Site Name: XXXXXXXX

Location: Nowhere

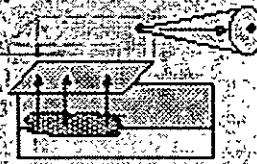
Comp. By: RM Flores

Job ID: XXXX

Date: 17-Mar-07

3. Air Exposure

Volatilization and Particulates
to Outdoor Air Inhalation



Receptor:

Type:

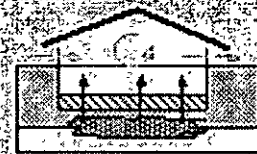
0 12 (m)

Construction worker

Affected Soils - Volatilization to Ambient Outdoor Air

Affected Groundwater - Volatilization to Ambient Outdoor Air

Affected Surface Soils - Particulates to Ambient Outdoor Air



Volatilization to
Indoor Air Inhalation

Receptor:

Type: No off-site receptors

Affected Soils - Volatilization to Enclosed Space

Affected Groundwater - Volatilization to Enclosed Space

4. Commands and Options

Exposure Factors & Target Risks Exposure Flowchart



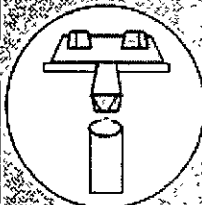
Exposure Factors and Target Risk Limits

1. Exposure Parameters

Residential Commercial

Age Adjustment? Adult (Age 0-6) (Age 0-16) Chronic Construct

| | | | | | |
|--|-------|------|----|------|------|
| Averaging time, carcinogens (yr) | 70 | | | | |
| Averaging time, non-carcinogens (yr) | 30 | | | 25 | 1 |
| Body weight (kg) | 70 | 15 | 35 | 70 | |
| Exposure duration (yr) | 30 | 6 | 16 | 25 | 1 |
| Exposure frequency (days/yr) | 350 | | | 250 | 180 |
| Dermal exposure frequency (days/yr) | 350 | | | 250 | |
| Skin surface area soil contact (cm ²) | 5800 | 2023 | | 5800 | 5800 |
| Soil dermal adherence factor (mg/cm ² /day) | 1 | | | | |
| Water ingestion rate (L/day) | 2 | | | 1 | |
| Soil ingestion rate (mg/day) | 100 | 200 | | 50 | 100 |
| Swimming exposure time (hr/event) | 3 | | | | |
| Swimming event frequency (events/yr) | 12 | 12 | 12 | | |
| Swimming water ingestion rate (L/hr) | 0.05 | 0.5 | | | |
| Skin surface area, swimming (cm ²) | 23000 | 8100 | | | |
| Fish consumption rate (kg/day) | 0.025 | | | | |
| Contaminated fish fraction (unitless) | 1 | | | | |



Site Name: Prueba
 Location: Nowhere
 Compl. By: R M Flores
 Job ID: Prueba Date: 25-jun-yy

2. Risk Goal Calculation Options

- Individual Constituent Risk Goals Only
- Individual and Cumulative Risk Goals

3. Target Health Risk Limits

| | Individual | Cumulative |
|------------------------------------|------------|------------|
| Target Risk (Class AB carcinogens) | 1.0E-6 | 1.0E-5 |
| Target Risk (Class C carcinogens) | 1.0E-5 | |
| Target Hazard Quotient | 1.0E+0 | |
| Target Hazard Index | | 1.0E+0 |

4. Commands and Options

Return to Exposure Pathways

Use Default Values Print Sheet Help



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERIA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos

RBCA Tool Kit for Chemical Releases



Site Name: Prueba

Job ID: Prueba

Commands and Options

Location: Nowhere

Date: 25-jun-yy

Main Screen

Print Sheet

Help

Compl. By: R M Flores

Source Media Constituents of Concern (COCs)

Selected COCs

Representative COC Concentration

Apply
Raoult's
Law: ?

Mole Fraction
in Source
Material

COC Select

Sort List: ?

Add/Insert

Top

MoveUp

Delete

Bottom

MoveDown

Groundwater Source Zone

Calculate

Enter Site Data

(mg/L)

note

0.0E+0

0.0E+0

0.0E+0

Soil Source Zone

Calculate

Enter Site Data

(mg/kg)

note

1.9E-1

3.4E+0

5.6E+1

Ethylbenzene

Methyl t-Butyl ether

Zinc

RM Flores



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

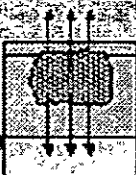
Diplomado
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

Transport Modeling Options

1. Vertical Transport, Surface Soil Column

Outdoor Air Volatilization Factors

- Surface soil volatilization model only
- Combination surface soil/Johnson & Ettinger model



- User-specified VF from other mode

Indoor Air Volatilization Factors

- Johnson & Ettinger model
- User-specified VF from other mode

Soil-to-Groundwater Leaching Factor

- ASTM Model
- Apply Soil Attenuation Model (SAM)
- Allow first-order biodecay
- User-specified LF from other mode

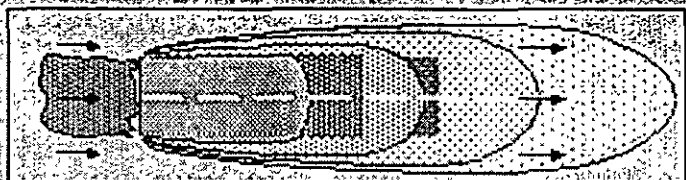
2. Lateral Air Dispersion Factor



- 3-D Gaussian dispersion mode: Off-site 1 Off-site 2
- User-Specified ADF:

Site Name: XXXXXXXX Job ID: XXXX
 Location: Nowhere Date: 17-Mar-yy
 Compl. By: RM Flores

3. Groundwater Dilution Attenuation Factor



Calculate DAF using Domenico Model

- Domenico equation with dispersion only (no biodegradation)
- Domenico equation first-order decay
- Modified Domenico equation using electron acceptor superposition

 Biodegradation Parameter

User-Specified DAF Values

- DAF values from other model or site data

4. Commands and Options

RM Flores



Site-Specific Soil Parameters

1. Soil Source Zone Characteristics

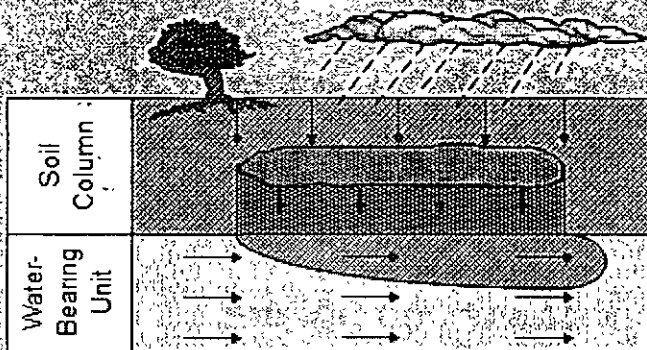
Hydrogeology

General Case Construction

| | | |
|-----------------------------|--------|-----|
| Depth to water-bearing unit | 180 | (m) |
| Capillary zone thickness | 0.17 | (m) |
| Soil column thickness | 179.83 | (m) |

Affected Soil Zone

| | | |
|---|--------|--------------------------|
| Depth to top of affected soils | 0 | (m) |
| Depth to base of affected soils | 180 | (m) |
| Affected soil area | 322440 | 322440 (m ²) |
| Length of affected soil parallel to assumed wind direction | 577.43 | 577.43 (m) |
| Length of affected soil parallel to assumed GW flow direction | 677.83 | (m) |



Site Name: Prueba

Job ID: Prueba

Location: Nowhere

Date: 25-jun-yy

Compl. By: R M Flores

2. Surface Soil Column

Vadose Zone Capillary Fringe

Predominant USCS Soil Type

ML: Silt

or Enter Directly

| | | |
|---------------------------------|---------|-------------------|
| Total porosity | 0.46 | (-) |
| Volumetric water content | 0.3 | 0.414 (-) |
| Volumetric air content | 0.16 | 0.046 (-) |
| Dry bulk density | 1.7 | (kg/L) |
| Vertical hydraulic conductivity | 1.0E-5 | (cm/s) |
| Vapor permeability | 1.0E-15 | (m ²) |
| Capillary zone thickness | 1.7E-1 | (m) |

Net Rainfall Infiltration

Net infiltration estimate 26.32 (cm/yr)

or Calculate

Average annual precipitation 0 (cm/yr)

Partitioning Parameters

| | | |
|-------------------------|--------|-----|
| Fraction organic carbon | 0.0061 | (-) |
| Soil/water pH | 7.3 | (-) |

3. Commands and Options

Main Screen

Use Default Values

Print Sheet

Set Units

Help



Site-Specific Groundwater Parameters

1. Water-Bearing Unit

Hydrogeology

Groundwater Darcy velocity: (cm/s)

Groundwater seepage velocity: (cm/s)

or

Hydraulic conductivity: (cm/s)

Hydraulic gradient: (-)

Effective porosity: (-)

Sorption

Fraction organic carbon-saturated zone: (-)

Groundwater pH: (-)

2. Groundwater Source Zone

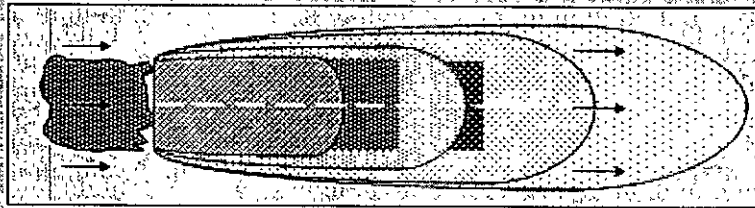
Groundwater plume width at source: (m)

Plume (mixing zone) thickness at source: (m)

or

Saturated thickness: (m)

Length of source zone: (m)



Site Name: Prueba

Job ID: Prueba

Location: Nowhere

Date: 25-jun-yy

Compl. By: R M Flores

3. Groundwater Dispersion

Model: GW: Ingestion Soil: Leaching to GW

Off-site 1: Off-site 2:

Distance to GW receptors: (m)

or ↓ or ↓ ↓ or ↓

Longitudinal dispersivity: (m)

Transverse dispersivity: (m)

Vertical dispersivity: (m)

4. Groundwater Discharge to Surface Water

Distance to GW/SW discharge point: (m)

Plume width at GW/SW discharge: (m)

Plume thickness at GW/SW discharge: (m)

Surface water flow rate at GW/SW discharge: (m³/s)

5. Commands and Options



Site-Specific Air Parameters

1. Outdoor Air Pathway

Dispersion in Air

Distance to offsite air receptor (m)

or

Horizontal dispersivity (m)

Vertical dispersivity (m)

Air Source Zone

Air mixing zone height (m)

Ambient air velocity in mixing zone (m/s)

Areal particulate emission flux (g/cm²/s)

2. Indoor Air Pathway

Building Parameters

Building volume/area ratio (m)

Foundation area (m²)

Foundation perimeter (m)

Building air exchange rate (1/s)

Depth to bottom of foundation slab (m)

Convective air flow through cracks (m³/s)

Foundation thickness (m)

Foundation crack fraction (-)

Volumetric water content of cracks (-)

Volumetric air content of cracks (-)

Indoor/Outdoor differential pressure (g/cm²/s²)

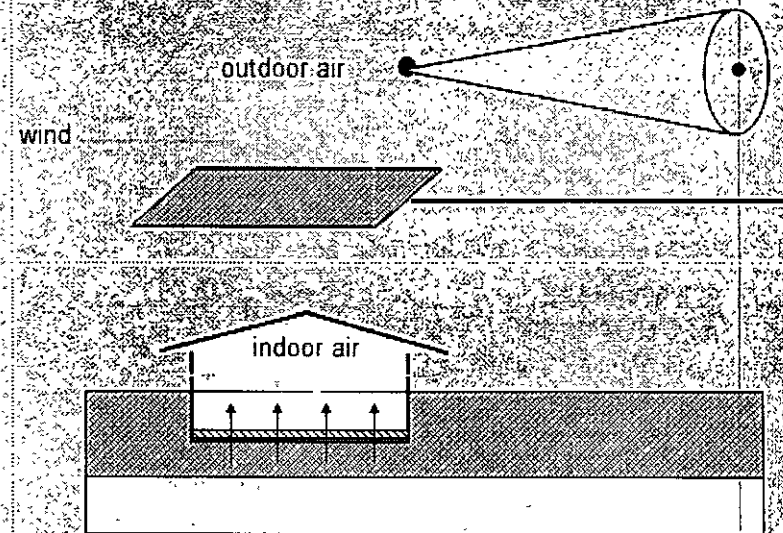
Site Name: Prueba

Job ID: Prueba

Location: Nowhere

Date: 25-jun-yy

Compl. By: R M Flores



3. Commands and Options

Main Screen

Use Default Values

Print Sheet

Set Units

Help



Exposure Pathway Flowchart

Site Name: Prueba

Job ID: Prueba

Location: Nowhere

Date: 25-jun-yy

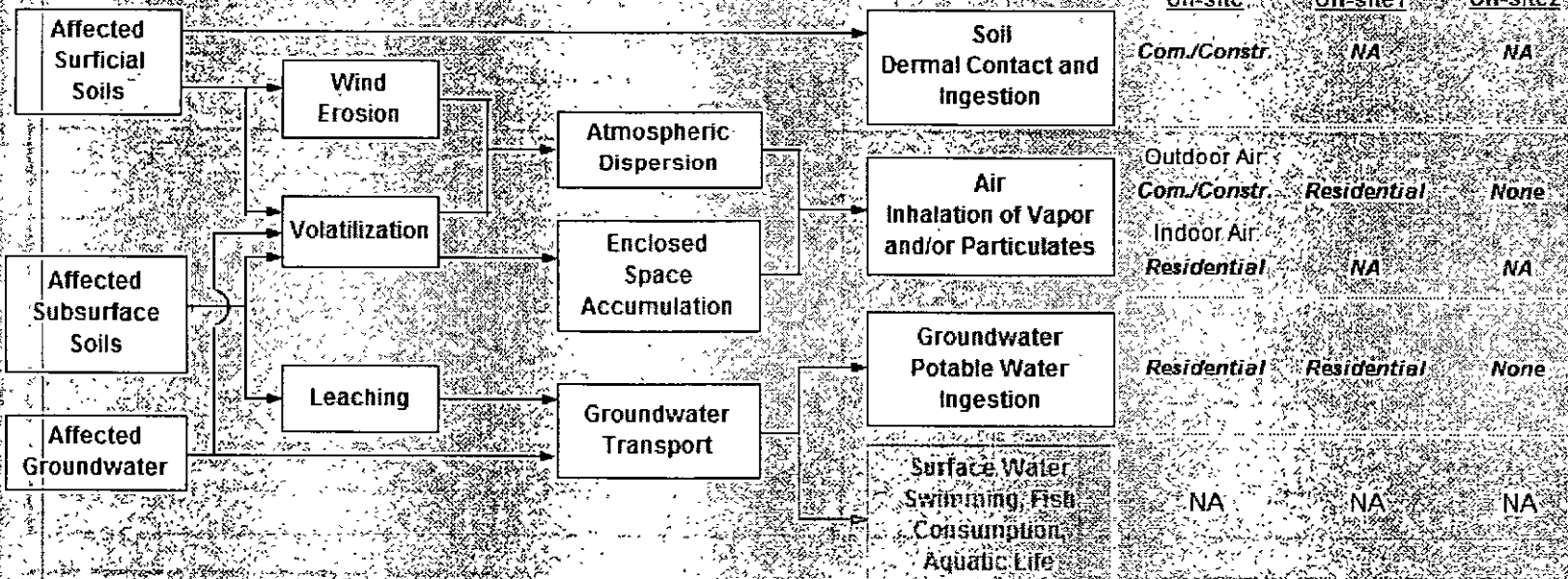
Compl. By: R M Flores

Source Media

Transport Mechanisms

Exposure Media

Receptors



SOURCE

TRANSPORT

RECEPTOR

Commands and Options

Main Screen

Print Sheet

Help



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM

Diplomado: En caracterización y remediación de suelos y acuíferos contaminados por hidrocarburos

Return

Print Sheet

SOIL EXPOSURE PATHWAY (CHECKED IF PATHWAY IS ACTIVE)

**SURFACE SOILS OR SEDIMENTS:
ON-SITE INGESTION AND
DERMAL CONTACT**

GENOTOXIC RISK

Constituents of Concern

| Constituents of Concern | COC (mg/kg/day) | (3) Slope Factor (mg/kg/day) ⁻¹ | | (4) Individual COC Risk | |
|-------------------------|-----------------|--|------------|-------------------------|---------------------|
| | | (a) Oral | (b) Dermal | Residential | Construction Worker |
| Benzene* | 8.4E-12 | 2.9E-2 | 3.0E-2 | 2.6E-11 | 2.7E-13 |
| Ethylbenzene | | | | | |
| Methyl t-Butyl ether | | | | | |
| Toluene | | | | | |
| Xylene (mixed isomers)* | | | | | |
| Iron* | | | | | |
| Nickel* | | | | | |
| Vanadium* | | | | | |
| Zinc | | | | | |

Total Pathway Carcinogenic Risk = 2.6E-11 2.7E-13

NOTE: RAF = Relative absorption factor (-)
M = Adherence factor (mg/cm²)

Site Name: XXXXXXXX
Site Location: Nowhere

Date Completed: 17-Mar-yy
Job ID: XXXX

SOI

Cor
Ben
Eth
Me
Tol
Xyl
Iron
Nic
Van
Zin

Site
Site



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERIA
UNAM

Diplomado
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

Return

Print Sheet

SMENT

SOIL EXPOSURE PATHWAY

(CHECKED IF PATHWAY IS ACTIVE)

SURFACE SOILS OR SEDIMENTS:

**ON-SITE INGESTION AND
DERMAL CONTACT**

TOXIC EFFECTS

Constituents of Concern

| | y) (d) via Dermal Contact on Worker | (6) Oral Reference Dose (mg/kg-day) | | (7) Individual COC Hazard Quotient | |
|-------------------------|---|--|------------|--------------------------------------|---|
| | | (a) Oral | (b) Dermal | (5a)/(6a) + (5b)/(6b) Residential | (5c)/(6a) + (5d)/(6b) Construction Worker |
| Benzene* | 5.9E-10 | 3.0E-3 | 3.0E-3* | 6.8E-7 | 2.1E-7 |
| Ethylbenzene | 1.2E-9 | 1.0E-1 | 9.7E-2 | 4.2E-8 | 1.3E-8 |
| Methyl t-Butyl ether | 1.2E-9 | 1.0E-2 | 8.0E-3 | 5.1E-7 | 1.5E-7 |
| Toluene | 1.2E-9 | 2.0E-1 | 1.6E-1 | 2.6E-8 | 7.7E-9 |
| Xylene (mixed isomers)* | 2.9E-9 | 2.0E-1 | 1.8E-1 | 5.6E-8 | 1.7E-8 |
| Iron* | 1.2E-3 | 3.0E-1 | 3.0E-1* | 3.7E-2 | 1.6E-2 |
| Nickel* | 0.0E+0 | 2.0E-2 | 5.4E-3 | 1.5E-3 | 7.9E-4 |
| Vanadium* | 0.0E+0 | 7.0E-3 | 7.0E-5 | 2.1E-2 | 1.1E-2 |
| Zinc | 0.0E+0 | 3.0E-1 | 6.0E-2 | 3.2E-4 | 1.6E-4 |

Total Pathway Hazard Index =

6.0E-2

2.8E-2

NOTE: RAF = Relative absorption factor (-)
M = Adherence factor (mg/cm²)

Site Name: XXXXXXXX
Site Location: Nowhere

Date Completed: 17-Mar-yy
Job ID: XXXX



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos

Return

Print Sheet

CONSTITUENTS OF CONCERN

| CAS No. | Name | X | | | Applicable SSTL (mg/kg) | SSTL Exceeded? <input type="checkbox"/> if yes | Required CRF Only if "yes" left |
|-----------|-------------------------|------------------|---------------|---------------------|-------------------------|--|---------------------------------|
| | | Off-site 2 (0 m) | On-site (0 m) | | | | |
| | | None | Residential | Construction Worker | | | |
| 71-43-2 | Benzene* | NA | 1.9E+1 | 2.0E+2 | 1.2E+0 | <input type="checkbox"/> | <1 |
| 100-41-4 | Ethylbenzene | NA | 2.4E+3 | 7.6E+3 | 2.4E+3 | <input type="checkbox"/> | <1 |
| 1634-04-4 | Methyl t-Butyl ether | NA | 2.0E+2 | 6.5E+2 | 7.7E+0 | <input type="checkbox"/> | <1 |
| 108-88-3 | Toluene | NA | 3.9E+3 | 1.2E+4 | 3.9E+3 | <input type="checkbox"/> | <1 |
| 1330-20-7 | Xylene (mixed isomers)* | NA | 4.4E+3 | 1.0E+4 | 4.4E+3 | <input type="checkbox"/> | <1 |
| 7439-89-6 | Iron* | NA | NC | NC | >0.0E+0 | <input type="checkbox"/> | NA |
| 7440-02-0 | Nickel* | NA | NC | NC | 4.9E+3 | <input type="checkbox"/> | <1 |
| 7440-62-2 | Vanadium* | NA | NC | NC | 2.6E+3 | <input type="checkbox"/> | <1 |
| 7440-66-6 | Zinc | NA | NC | NC | 5.6E+4 | <input type="checkbox"/> | <1 |

* = Chemical with user-specified data

not calculated.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos



M. en I. Rosa María Flores Serrano

Tel. 56233600 ext 8653

Fax 56162164

E-mail: rfs@pumas.iingen.unam.mx

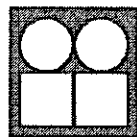


UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

INSTITUTO DE INGENIERÍA

DIPLOMADO:

“CARACTERIZACIÓN Y REMEDIACIÓN DE SUELOS Y
ACUÍFEROS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS”

Presenta: M. en I. Lilia Corona Ramírez



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

TEMARIO

MÓDULO .3

I. Técnicas de Remediación de Suelos y Acuíferos

- ✓ Bioestimulación
- ✓ Bioaumentación
- ✓ Bioventeo
- ✓ Atenuación Natural



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERIA
UNAM

Diplomado:

En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

CONTAMINACIÓN DEL SUELO Y ACUÍFEROS

- × INEGI (2000): Superficie de suelo degradado por causas de contaminación en 1999 fue de 25, 967 km² (PROFEPA).
- × Cada año se presentan en México un promedio de 550 emergencias ambientales asociadas con materiales y residuos peligrosos.
- × Compuestos peligrosos comúnmente involucrados en emergencias ambientales:
 - × Petróleo y sus derivados (gasolinas, combustóleo, diesel)
 - × Agroquímicos
 - × Gas LP
 - × Gas natural



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

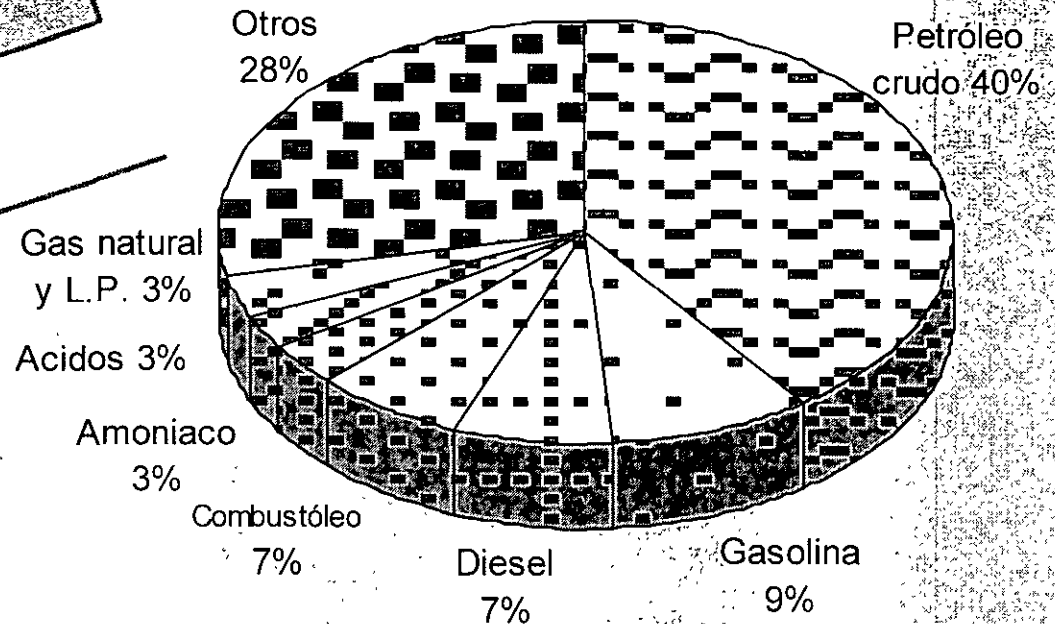
Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Contaminación del Suelo y Acuíferos

Dioxinas, furanos, hexaclorobenceno,
bifenilos, policlorados (BPCs),
plaguicidas, organoclorados, mercurio,
plomo, cromo, cadmio, HAP



Principales sustancias involucradas en emergencias ambientales 1997-1999

(PROFEPA, 2002)



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO

- Implica cualquier operación unitaria o serie de operaciones unitarias que altera la composición de una sustancia peligrosa o contaminante a través de acciones químicas, físicas o biológicas de manera que reduzcan la toxicidad, movilidad o volumen del material contaminado (EPA, 2001).



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Tecnologías de Tratamiento

SELECCIÓN DEL MÉTODO

- Características físicas del sitio
- Ubicación de la fuente de contaminación
- Extensión de la zona contaminada
- Mecanismos de transporte de los compuestos



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

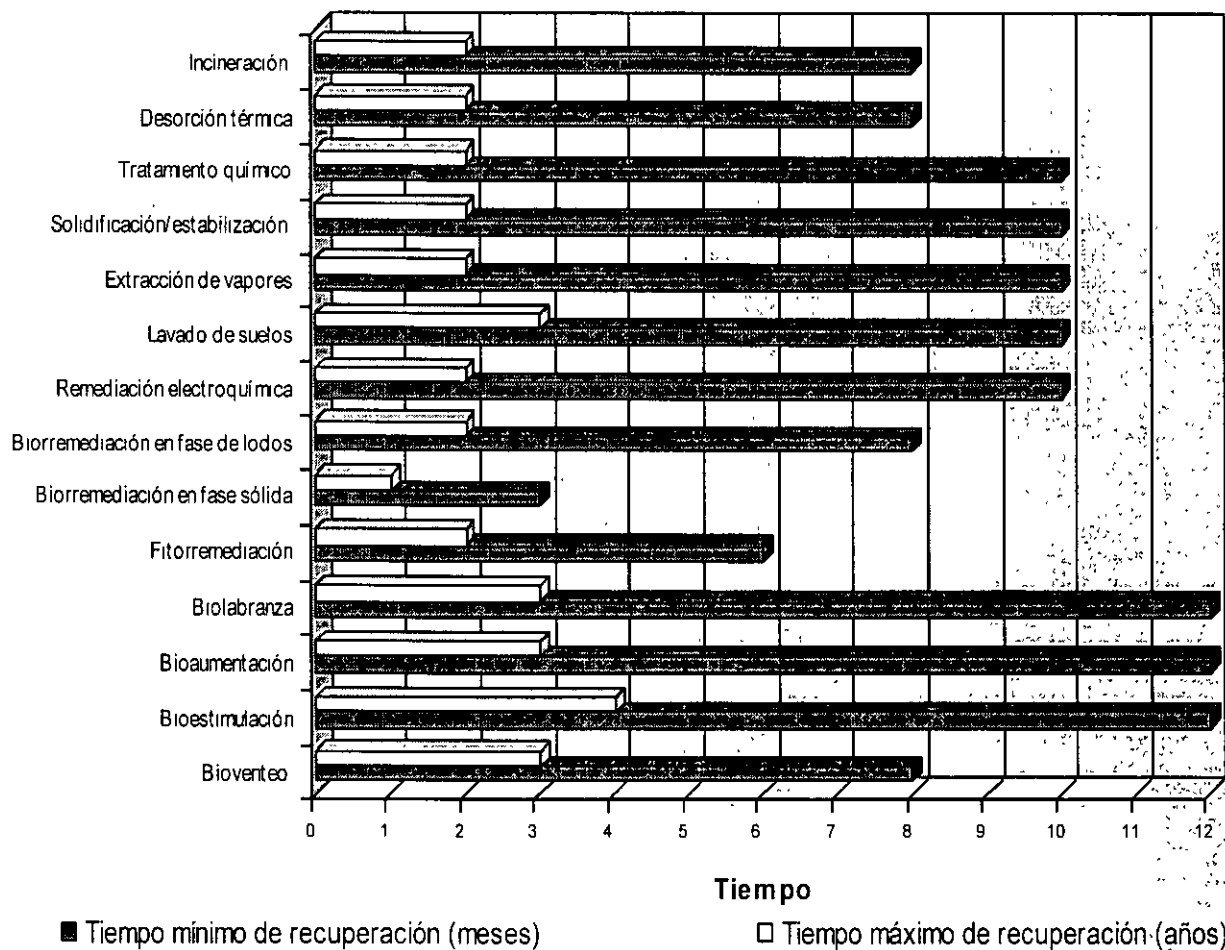
Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Tecnologías de Tratamiento

Restauración de suelos por varias técnicas





UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

BIORREMEDIACIÓN



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERIA
UNAM

Diplomado:

En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

BIORREMEDIACIÓN

✦ Qué es la Biorremediación?

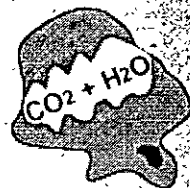
Proceso en el que los microorganismos presentes en el suelo o agua subterránea rompen o degradan los compuestos orgánicos y algunos inorgánicos a sustancias menos tóxicas o no tóxicas, principalmente a dióxido de carbono y agua.



Los microorganismos comen el petróleo y otros contaminantes orgánicos.



Los microorganismos digieren el petróleo y lo convierten en dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O).



Los microorganismos emiten CO_2 y H_2O .



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Tipos de Biorremediación

Biorremediación

In situ

Bioaumento
Bioestimulación
Atenuación natural
Bioventeo,

Fuera del sitio

Biolabranza, Biopilas
Composteo



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y acuíferos contaminados por hidrocarburos



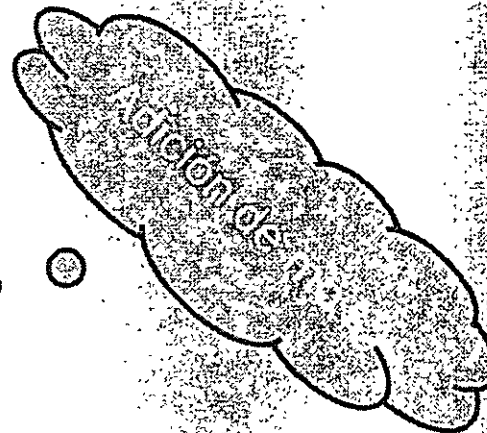
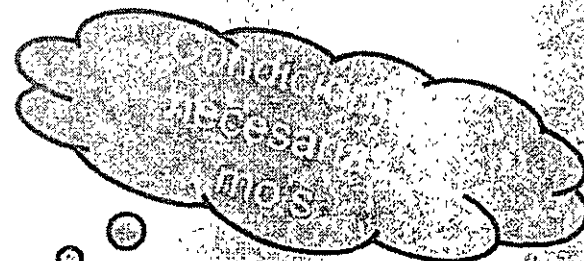
INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM

Biorremediación *In Situ*

Biorremediación

Bioestimulación

Bioaumentación





UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Biorremediación *In Situ*

BIOESTIMULACIÓN



Proporcionar a los microorganismos nativos, los
nutrimentos y condiciones necesarias para su crecimiento



Multiplicará o mantendrá la cantidad mínima
necesaria para que se lleve a cabo la
biodegradación



Crecerán muy lentamente o morirán



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



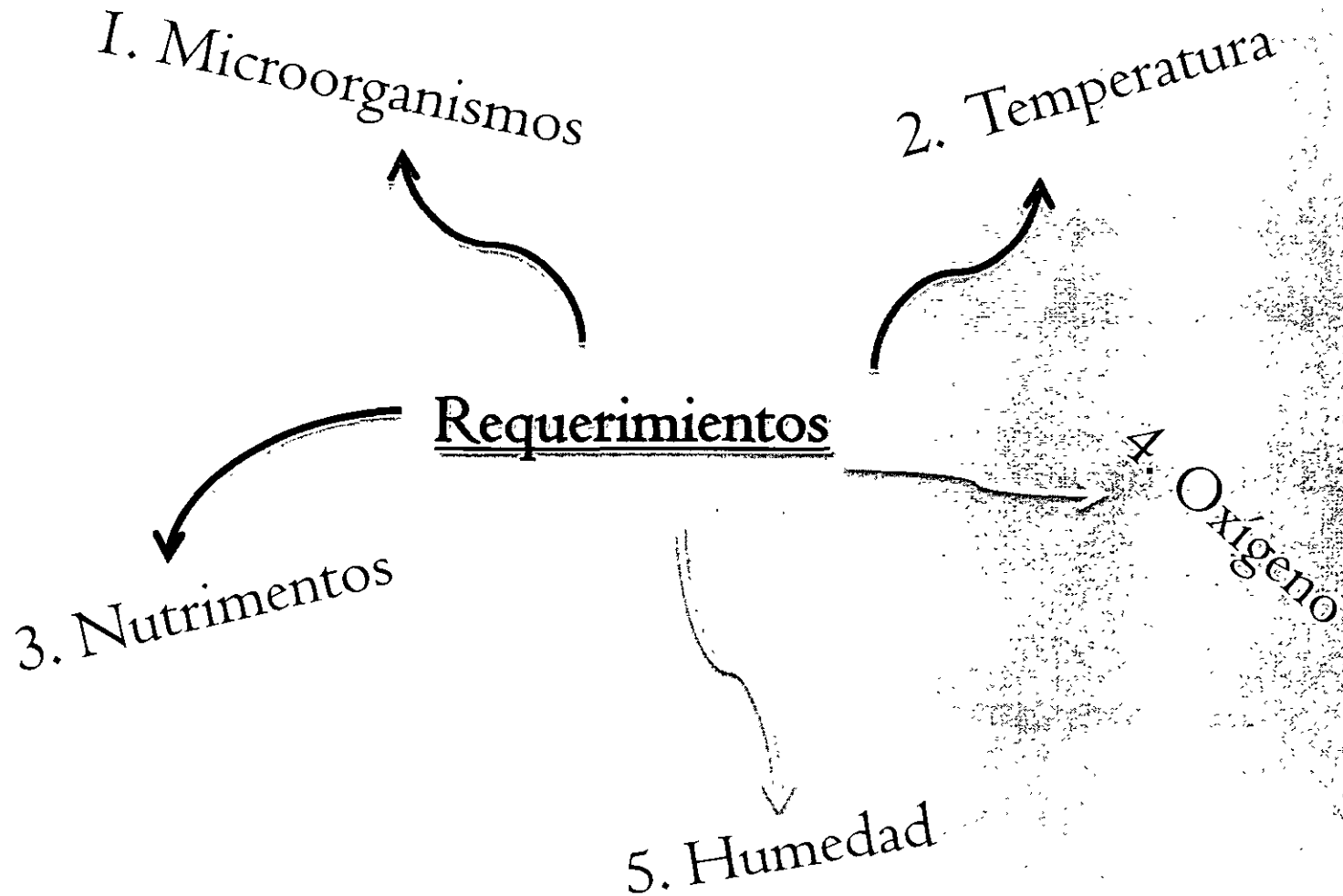
INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Biorremediación en el Suelo y Agua Subterránea





UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Biorremediación *In Situ*

BIOAUMENTACIÓN



Adición de microorganismos adaptados a las condiciones
de toxicidad del suelo o agua subterránea contaminados

Zonas afectadas con contaminantes recalcitrantes

Altas concentraciones

Alta toxicidad



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Biorremediación In Situ

COMPETENCIA DE RECURSOS

- Ventajas por el uso de la fuente de energía
- Mineralización de fuentes de carbono
- Cometabolismo



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Biorremediación *In Situ*

REQUISITOS:

1. El suelo debe ser suficientemente permeable.
2. La concentración del sustrato (fuente de carbono) debe ser mayor que la concentración del sustrato mínimo.
3. Presencia de mo's degradadores en el medio.
4. Suministro de aire al suelo y agua subterránea indispensables (aire, oxígeno puro, peróxido de hidrógeno).
5. Propiedades óptimas en el medio.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:

En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Biorremediación *In Situ*



- Excavación
- Manipulación

- Mezcla del suelo
- Aireación al medio

- Inyección y extracción de fluidos
- Introducción de nutrimentos y sustratos



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Biorremediación *In Situ*

Hidrocarburos
simples
(C1-C15)

Alcoholes
Fenoles
Amidas

Acidos
Ésteres
Amidas

Muy Fácil

Hidrocarburos
(C12- C20)

Hidrocarburos
Monoclorados

Moderadamente
Fácil

Hidrocarburos
Multiclorados

Hidrocarburos
con C > 20

Dificiles

HAP

BPC

Pesticidas

Muy
Dificiles



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Biorremediación *In Situ*

VENTAJAS

1. Costo menor que el de otras tecnologías.
2. Conversión de los contaminantes a productos inocuos en la mayoría de los casos.
3. Los contaminantes no se transfieren a otro medio.
4. Permite que el sitio se utilice nuevamente al término de la aplicación de la técnica.
5. Aplicación relativamente sencilla.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Biorremediación *In Situ*

DESVENTAJAS

1. El control puede ser difícil (crecimiento no controlado de los mo's).
2. Los métodos para estimular la biorremediación puede ocasionar algunos problemas.
3. Requiere mayor tiempo para llegar a los niveles de limpieza.
4. Difícil predecir su comportamiento por ser un proceso dinámico.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

ATENUACIÓN NATURAL



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:

En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Atenuación Natural

Reducción de la contaminación debido a procesos físicos, químicos y biológicos naturales.

Tipos

Atenuación Destructiva

Biodegradación
(productos inocuos)

Atenuación No Destructiva

Volatilización
Dilución
Dispersión



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Atenuación Natural

- La atenuación natural, conocida también como:
 - ✓ Medida correctiva intrínseca
 - ✓ Bioatenuación
 - ✓ Biocorrección intrínseca

- Método de tratamiento *in situ*, es decir, que se dejan los contaminantes donde están mientras se produce la atenuación natural.

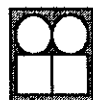


UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Atenuación Natural

EPA

La confianza en los procesos naturales de la atenuación (dentro del contexto de un acercamiento cuidadosamente controlado y supervisado de la limpieza general del sitio) para alcanzar objetivos (sitio-específicos) de remediación dentro de un tiempo que es razonable comparado al ofrecido por otros métodos más activos.

Los procesos naturales de la atenuación presentes en la remediación incluyen una variedad de procesos físicos, químicos o biológicos que, bajo condiciones favorables, actúan sin la intervención humana para reducir la masa, toxicidad, movilidad, volumen o concentración de contaminantes en suelo o agua subterránea. Estos procesos *in-situ* incluyen la biodegradación, dispersión, dilución, adsorción, volatilización, decaimiento radiactivo y estabilización, transformación o destrucción química o biológica de contaminantes.

American Society for Testing and Materials (ASTM)

La reducción en masa o la concentración de un compuesto en distancia en un cierto plazo, del agua subterránea de la fuente de los componentes debido a la comprobación que naturalmente ocurre, al producto químico y a los procesos biológicos; tal como la biodegradación, dispersión, dilución, adsorción y volatilización



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Atenuación Natural

El Centro de la
Fuerza Aérea de
Estados Unidos
para la Excelencia
Ambiental

El Ejército de
Estados Unidos
(US Army)

Resultado de los procesos de la integración de varios mecanismos subsuperficiales de la atenuación que se clasifican como destructivos o no destructivos. La biodegradación es el mecanismo destructivo más importante de la atenuación. Los mecanismos no destructivos de la atenuación incluyen la absorción, dispersión, dilución, de la recarga y volatilización.

La reducción de las concentraciones del contaminante en el ambiente con los procesos biológicos (consumo aerobio y anaerobio de la biodegradación, de plantas y animales), los fenómenos físicos (advección, dispersión, dilución, difusión, volatilización, sorción/desorción) y las reacciones químicas (intercambio iónico, complejación, transformación abiótica). Los términos tales como remediación o biotransformación intrínseca son incluidos dentro de la definición natural más general de la atenuación.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Atenuación Natural

Los procesos de atenuación natural incluyen una gran variedad de procesos físicos, químicos o biológicos que bajo condiciones favorables actúan sin intervención humana para reducir la masa, toxicidad, movilidad, volumen y concentración de los contaminantes presentes en el medio.

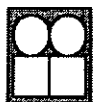


UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Monitoreo de Atenuación Natural Reducción Natural Supervisada

El MNA se define como el monitoreo requerido de parámetros para demostrar que el proceso natural progresivo continua para conocer los objetivos de la remediación.

- Degradación natural
- Remediación intrínseca o pasiva

El MNA se considera una buena elección, puesto que ayuda a controlar y mantener los niveles de contaminación; lo cual depende de las condiciones geológicas, tipo de contaminante, masa del contaminante y distribución presente en el sitio contaminado.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos



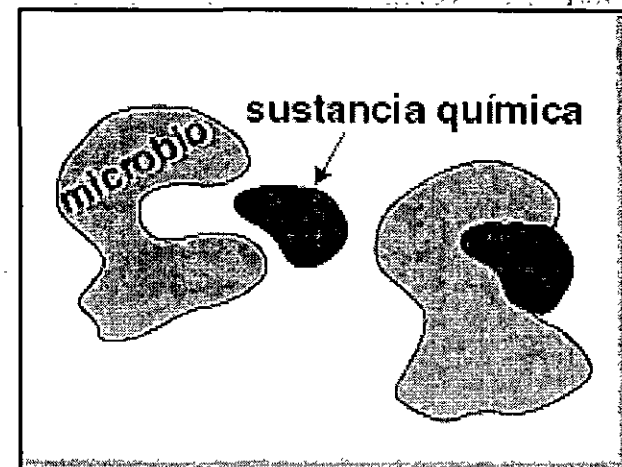
INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

MNA

& Cuando el medio se contamina con sustancias químicas!!!

Vías de eliminación:

1. Los microorganismos nativos del suelo y agua subterránea utilizan algunas sustancias químicas como alimento. Cuando las sustancias químicas están completamente digeridas, las transforman en agua y en gases inofensivos.





UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:

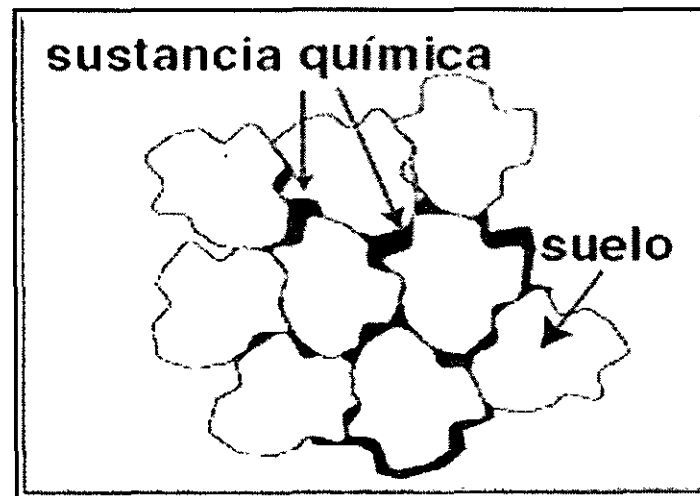
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

MNA

2. Las sustancias químicas se pegan o sorben al suelo, que las fija al lugar. De ese modo no se eliminan las sustancias químicas pero sí se impide que contaminen las aguas subterráneas y que se vayan del lugar.





UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

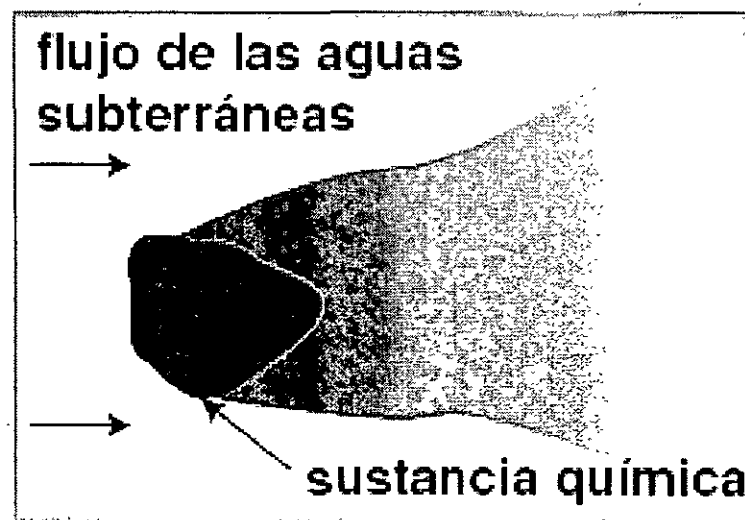
Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

MNA

3. Al pasar las aguas subterráneas a través del suelo, la contaminación se puede mezclar con el agua limpia. De ese modo se reduce o diluye la contaminación.





UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

MNA

4. Algunas sustancias químicas, como el petróleo y los solventes, se evaporan, lo que significa que se convierten de líquidos a gases dentro del suelo. Si esos gases escapan al aire en la superficie del terreno, la luz del sol puede destruirlos.





UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

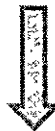
Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

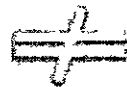
MNA

- ✓ EL MNA funciona con mayor eficacia en los sitios donde se ha eliminado la fuente de contaminación.



Los procesos naturales se deshacen de la contaminación que quede en el suelo y agua subterránea después de haber eliminado la fuente del contaminante

MNA



“No hacer nada”



Supervisión regular para garantizar que la contaminación no salga del sitio



Asegura la protección de las personas y del medio ambiente durante la limpieza



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERIA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

CONSIDERACIONES

El tiempo que demore eliminar la contaminación dependerá de varios factores:

- Tipo y cantidad de sustancias químicas presentes
- Dimensión y profundidad de la zona contaminada
- Tipo de suelo y agua subterránea
- Condiciones predominantes del medio



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

CONSIDERACIONES

EVALUACIÓN DE LA ATENUACIÓN NATURAL

- ✓ Pérdida de masa contaminada a escala real
- ✓ Posibles indicadores biogeoquímicos
- ✓ Confirmación de actividad microbiana en laboratorio



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

BIOVENTED



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

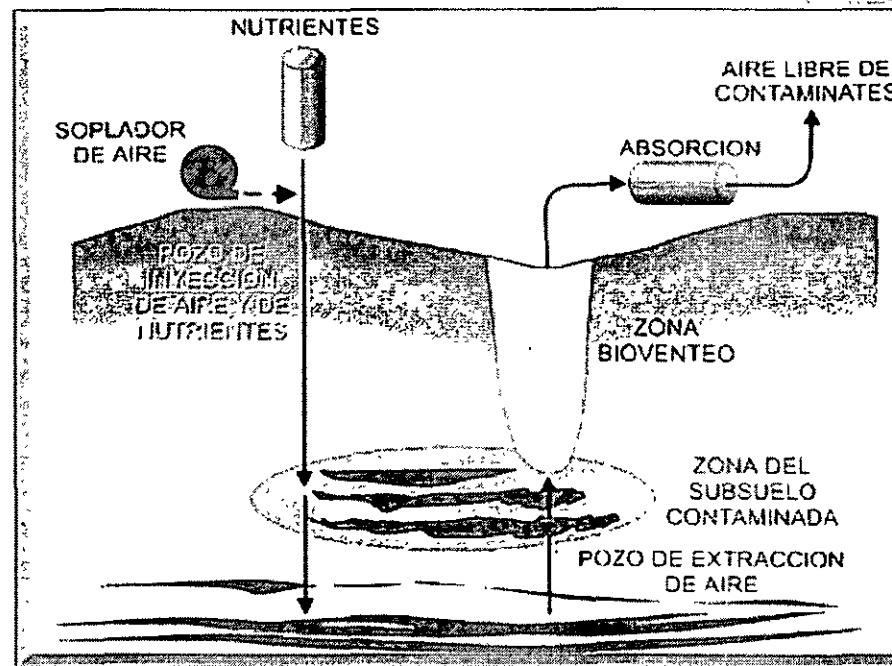
Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

BIOVENTEO

- Tecnología de restauración *in situ* que emplea microorganismos autóctonos para biodegradar los compuestos orgánicos adsorbidos en el suelo en la zona no saturada.



También involucra la remediación de suelos saturados y agua subterránea.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

BIOVENTEO
ZONA NO SATURADA

- La actividad de las bacterias autóctonas se mejora al inducir un flujo de aire (u oxígeno) en la zona no saturada, empleando pozos de inyección o extracción, y si es necesario se adicionan nutrientes.
- Debe cuidarse que el bioventeo promueva la biodegradación y minimice la volatilización, esto se logra usando flujos de aire pequeños, aunque no se elimina totalmente la volatilización.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:

En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

BIOVENTEO
ZONA SATURADA

- Biodegradar compuestos orgánicos volátiles presentes en los acuíferos subterráneos, consiste en inyectar aire por abajo del nivel freático y acarrear los tóxicos volátiles, los cuales son degradados por los microorganismos del suelo a medida que la corriente de aire que transporta los tóxicos pasa a través del lecho de suelo.

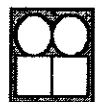


UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERIA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERIA
UNAM

Efectividad del Bioventeo

FACTORES IMPORTANTES:

- ☛ Tipo de suelo
- ☛ Permeabilidad del suelo contaminado (flujo al cual el oxígeno será suministrado a los mo's degradadores que se encuentran en el subsuelo)
- ☛ Suministro adecuado de oxígeno y nutrientes
- ☛ La habilidad de un suelo para transmitir aire (se reduce si hay agua presente en el suelo, ya que ésta bloquea los poros del suelo y reduce el flujo de aire)
- ☛ Estructura y la estratificación del suelo (cómo y por dónde fluirá el aire dentro de la matriz de suelo cuando se inyecte o se extraiga)



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:

En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN

Ventajas y desventajas de las tecnologías de remediación in situ y ex situ

| | In situ | Ex situ |
|-------------|---|---|
| Ventajas | <p>Permiten tratar el suelo sin necesidad de excavar ni transportar</p> <p>Potencial disminución en costos</p> | <p>Menor tiempo de tratamiento</p> <p>Más seguros en cuanto a uniformidad: es posible homogeneizar y muestrear periódicamente</p> |
| Desventajas | <p>Mayores tiempos de tratamiento</p> <p>Pueden ser inseguros en cuanto a uniformidad: heterogeneidad en las características del suelo</p> <p>Dificultad para verificar la eficacia del proceso</p> | <p>Necesidad de excavar el suelo</p> <p>Aumento en costos e ingeniería para equipos</p> <p>Debe considerarse la manipulación del material y la posible exposición al contaminante</p> |



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:

En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

TÉCNICAS *INSITU*

| TÉCNICA | APLICACION | LIMITACIONES | COSTOS | TIEMPO |
|-------------------------------|--|---|--|--|
| <p>Bioestimulación</p> | <p>Se ha usado con éxito para remediar suelos contaminados con gasolinas, COVs, COSs, y pesticidas.</p> <p>Estudios a escala piloto, han mostrado la biodegradación de suelos contaminados con desechos de municiones.</p> | <p>No es recomendable para suelos arcillosos, altamente estratificados o heterogéneos, ya que pueden provocar limitaciones en la transferencia de O_2.</p> <p>Otros factores que pueden limitar su aplicación, incluyen:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Que el tipo del suelo no favorezca el crecimiento microbiano; 2. Incremento en la movilidad de los contaminantes; 3. Obstrucción en los pozos de inyección provocada por el crecimiento microbiano | <p>Su costo oscila entre 30 y 100 USD/m³.</p> <p>La naturaleza y profundidad de los contaminantes y el uso de bioaumentación puede aumentar sus costos.</p> | <p>La limpieza de una pluma de contaminación, puede tomar varios años.</p> |



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

TÉCNICAS *INSITU*

| TÉCNICA | APLICACIÓN | LIMITACIONES | COSTOS | TIEMPO |
|----------------|--|---|--|---|
| Bioaumentación | <p>Se ha usado para tratar suelos contaminados con herbicidas (2,4-D, clorofam), insecticidas (lindano, clordano, paratión), clorofenoles (PCP) y nitrofenoles, BPCs, HTPs y HAPs.</p> <p>Se ha aplicado efectivamente para tratar desechos con concentraciones relativamente altas de metales</p> | <p>Antes de llevar a cabo la bioaumentación en un sitio, deben realizarse cultivos de enriquecimiento, aislar microorganismos capaces de cometabolizar o utilizar el contaminante como fuente de carbono, y cultivarlos hasta obtener grandes cantidades de biomasa</p> | <p>Su utilización no implica mucho capital ni costos de operación.</p> | <p>Es una tecnología que puede durar varios meses o años.</p> |



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

TÉCNICAS *IN SITU*

| TÉCNICA | APLICACIÓN | LIMITACIONES | COSTOS | TIEMPO |
|------------------|--|--|---|---|
| Bioventeo | <p>Compuestos orgánicos biodegradables semivolátiles (COSs) o no volátiles.</p> <p>Pueden degradarse COVs.</p> <p>Se ha utilizado con éxito para remediar suelos contaminados con HTP, solventes no clorados, pesticidas y conservadores de la madera, entre algunos otros químicos.</p> | <p>Algunos factores que pueden limitar la efectividad del bioventeo son:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. El tipo y la concentración del contaminante. 2. Falta de nutrientes 3. Bajo contenido de humedad 4. Dificultad para alcanzar el flujo de aire necesario | <p>Los costos de operación varían entre 10 y 70 USD/m³.</p> <p>Esta tecnología no requiere de equipo caro pero los costos pueden variar en función de la permeabilidad del suelo, espacio disponible, número de pozos y velocidad de bombeo.</p> | <p>Es una tecnología en la que los tiempos de limpieza pueden variar desde algunos meses hasta varios años.</p> |



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:

En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM



GRACIAS!!!

M. EN I. LILIA CORONA RAMÍREZ
Instituto de Ingeniería, UNAM
Coordinación de Ingeniería Ambiental
Tel. 5623-3500, ext. 1011
lcoronar@ingen.unam.mx
corali_sag@yahoo.com.mx

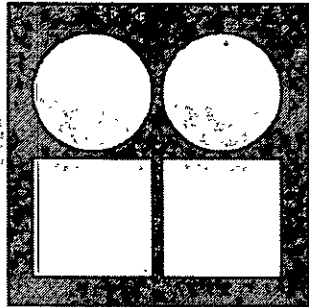


UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos



INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

MÓDULO 2: CARACTERIZACIÓN DE SUELOS Y AGUAS SUBTERRÁNEAS CONTAMINADAS

Tema 4: Evaluación de riesgo

Dra. Rosa María Flores Serrano

***Diplomado "Caracterización y remediación de suelos y acuíferos
contaminados por hidrocarburos"***

30 de octubre de 2008



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

EVALUACIÓN DE RIESGO

| CONTENIDO | | | |
|---|---|------------------------|----------------------|
| Introducción al análisis de riesgo | Definiciones y conceptos | | |
| | Evaluación de riesgo a la salud humana | | |
| | • Identificación del peligro | | |
| | • Evaluación de la exposición | 2 horas | 16:00 - 18:00 |
| | • Evaluación dosis-respuesta | | |
| | • Caracterización del riesgo | | |
| Decisiones basadas en riesgo | Metodología EPA y modificaciones | | |
| RECESO | | 20 min | 18:00 - 18:20 |
| Caso de estudio | Sitio contaminado con hidrocarburos | 1 hora | 18:20 - 19:20 |
| Uso de software RBCA | ¿Cómo funciona? | 1 hora y 40 min | 19:20 - 21:00 |



DEFINICIONES

Riesgo = Peligro x Exposición (PBCERF, 1998)

Peligro:

- **Propiedad intrínseca o inherente de las sustancias o agentes peligrosos contenidos en los residuos, mediante la cual pueden dañar, contaminar o matar organismos (Mosler, 2002).**
- **Condición química o física que tiene el potencial para causar daño a la gente, a las propiedades o al ambiente (CCPS, 1989; Asante-Duah, 1993).**
- **Una fuente de riesgo que no implica necesariamente el potencial de que ocurra. Un peligro representa riesgo solamente si existe una ruta de exposición y si la exposición crea la posibilidad de consecuencias adversas a la salud (ATSDR, 2008a).**



DEFINICIONES

Riesgo:

- **Probabilidad de que un efecto dañino específico ocurra (Suter, 1993).**
- **Probabilidad o posibilidad de que se presenten efectos adversos a la salud de las personas o los recursos biológicos debido a su exposición actual o futura a agentes productores de estrés, que generalmente son las sustancias tóxicas.**

Exposición:

- **El entrar en contacto con un compuesto químico tragando, respirando o por contacto directo (por ejemplo, a través de la piel o los ojos). La exposición puede ser a corto plazo (aguda) o a largo plazo (crónica) (ATSDR, 2008a).**
- **Magnitud del contacto entre los organismos receptores y el agente productor de estrés, lo que se conoce como dosis de exposición.**



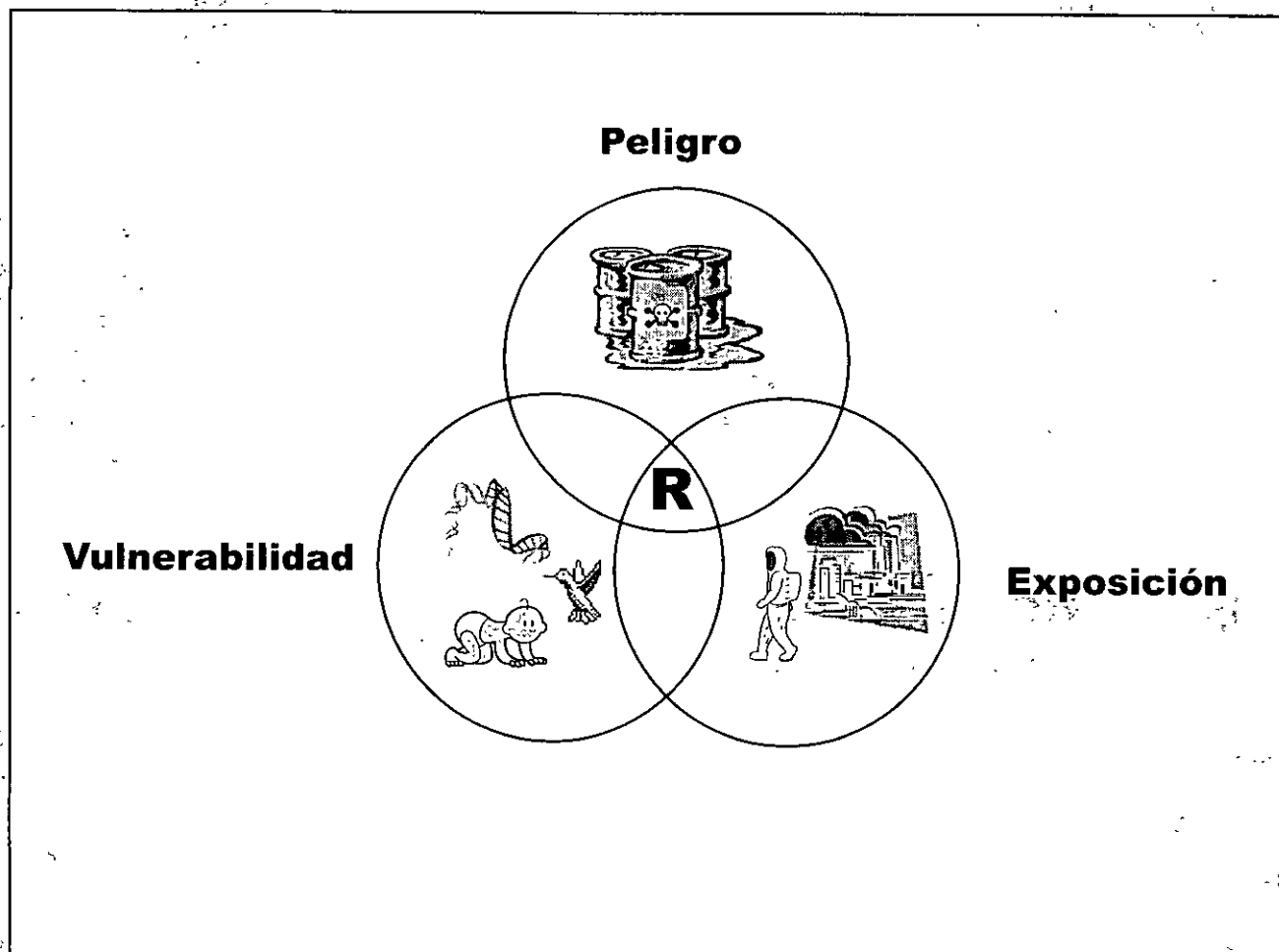
UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERIA
UNAM

Diplomado
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

DEFINICIONES





EVALUACIÓN DE RIESGO

A LA SALUD

¿Todas las sustancias son tóxicas?

Si

No

“Todas las sustancias son veneno; no existe una que no lo sea. La dosis correcta diferencia a un veneno de un remedio”

Philippus Aureolus Theophrastus Bombastus von Hohenheim

(1493-1541)



Philippus Aureolus Theophrastus Bombastus von Hohenheim



| Sustancia | NO TÓXICO O BENÉFICO | TÓXICO | LETAL |
|-----------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Alcohol (% en sangre, volumen) | 0.05% | 0.15 % | 0.5 % |
| Aspirina | 0.65 mg (2 tabletas) | 9.75 mg (30 tabletas) | 34 mg (105 tabletas) |



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

Diplomado: En caracterización y remediación de suelos y acuíferos contaminados por hidrocarburos

¿Todas las sustancias son tóxicas?

Si

No

“Todas las sustancias son veneno; no existe una que no lo sea. La dosis correcta diferencia a un veneno de un remedio”

Philippus Aureolus Theophrastus Bombastus von Hohenheim
Paracelso
(1493-1541)

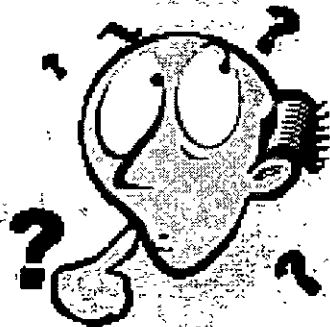


Philippus Aureolus Theophrastus Bombastus von Hohenheim
Paracelsus
1493-1541

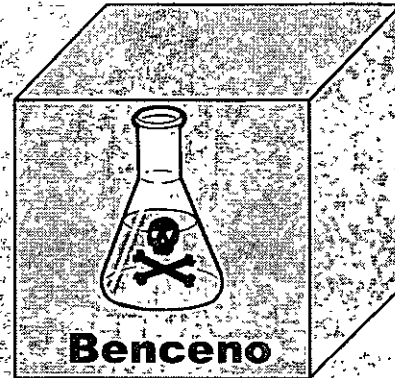


¿Qué cantidad?

¿Por cuánto tiempo?



¿En qué circunstancias?



Se dice que una persona está en "riesgo" cuando está "expuesta" a un "peligro" y la magnitud del riesgo es una función de la peligrosidad de la sustancia y de la magnitud de la exposición.

R = Contacto x Peligro

= Dosis x Factor de Potencia

• 1×10^{-4}

• 1 en 10,000

• 0.0001

• 0.01 %

• 1×10^{-6}

• 1 en 1'000,000

• 0.000001

• 0.0001 %



Riesgos de fondo

| ACTIVIDAD | RIESGO |
|--|---|
| Fumar 1.4 cigarros al día (Wilson, 1979) | 1 en 1'000,000 (1×10^{-6}) (muerte por cáncer, HAP) |
| Comer 100 pedazos de carne asada (Wilson, 1979) | 1 en 1'000,000 (1×10^{-6}) (muerte por cáncer, B(a)P) |
| Exposición a niveles de fondo de contaminantes (comida enlatada, aire contaminado, etc) (Kelly, 1991) | 1 en 1,000 - 1 en 100 1×10^{-3} - 1×10^{-2} (adquirir cáncer) |
| Inhalación de aire en el interior de los hogares, la ingestión de agua de la llave y la ingestión de alimentos (12 sustancias) (Travis y Hester, 1990) | 1.4 en 1,000 1.4×10^{-3} (adquirir cáncer) |
| 102,657 tumores en el país 97'483,412 habitantes (Flores-Serrano, 2008) | 1.053 en 1,000 1.053×10^{-3} (adquirir cáncer) |



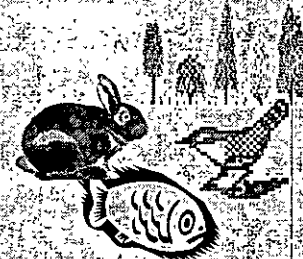
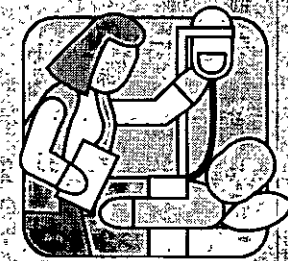
UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERIA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos

- **Evaluación del Riesgo Ambiental (LGPGIR, 2003; DOF, 2003):** 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.





EVALUACIÓN DE RIESGO

Identificación del peligro

Evaluación dosis respuesta

Evaluación de la exposición

Caracterización del riesgo

Proceso para estimar
riesgos y posibles
consecuencias

MANEJO DEL RIESGO

Proporcionar políticas
respecto al riesgo

Toma de decisiones

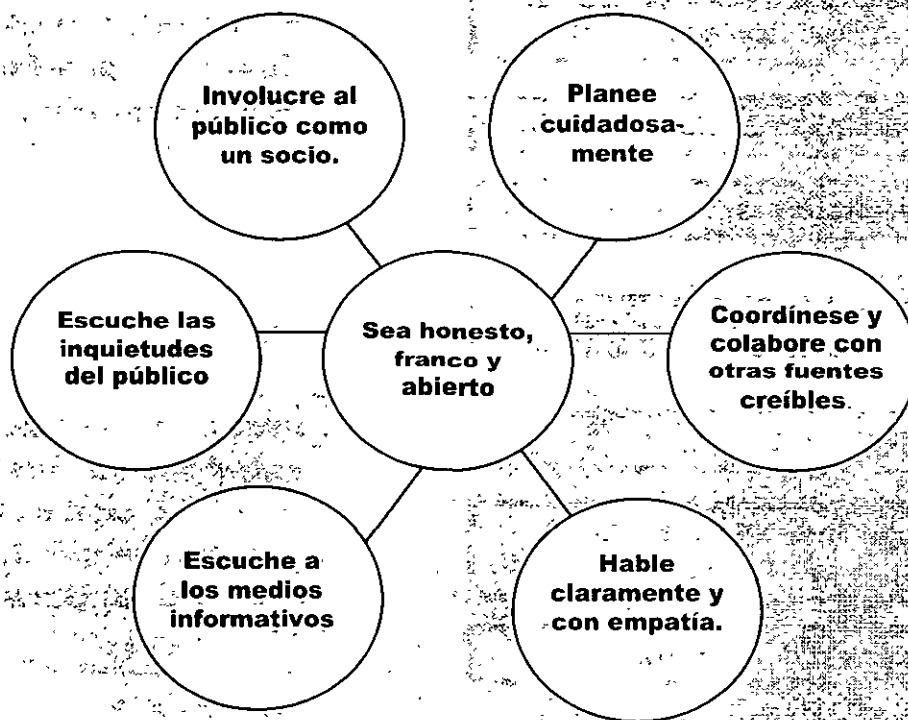
Proceso para evaluar y
seleccionar las
medidas correctivas
(política, social,
normativo) para reducir
el riesgo.

COMUNICACIÓN DEL RIESGO

Compartir procesos y
decisiones

Percepción del riesgo

Compartir información:
Evaluador, gobierno,
sociedad



(adaptado de
U.S.EPA, 1988a).

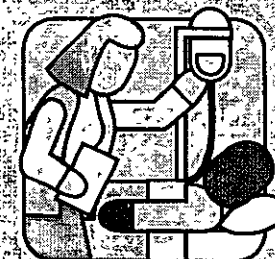
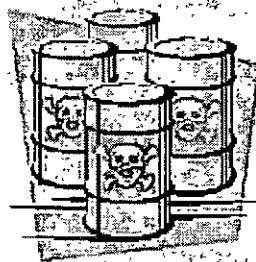


**U
t
i
l
i
d
a
d**

- **Estimar el riesgo de la población expuesta a medios contaminados por la introducción de una sustancia tóxica en el ambiente: actividades históricas (pasivos ambientales).**
 - **Establecer niveles de limpieza**
 - **Riesgo x sustancias peligrosas en la cadena alimentaria**
 - **Riesgo x el uso de un producto farmacéutico o tratamiento médico**
 - **Riesgo x cambio de uso de suelo**
 - **La exposición ocupacional a una sustancia o radiación**
-
- **Establecer prioridades**
 - **Estrategias de restauración**
 - **Controles institucionales (Restringir acceso/uso/consumo)**
 - **Comprar o no**
 - **Cambio de procesos**
 - **No acción**

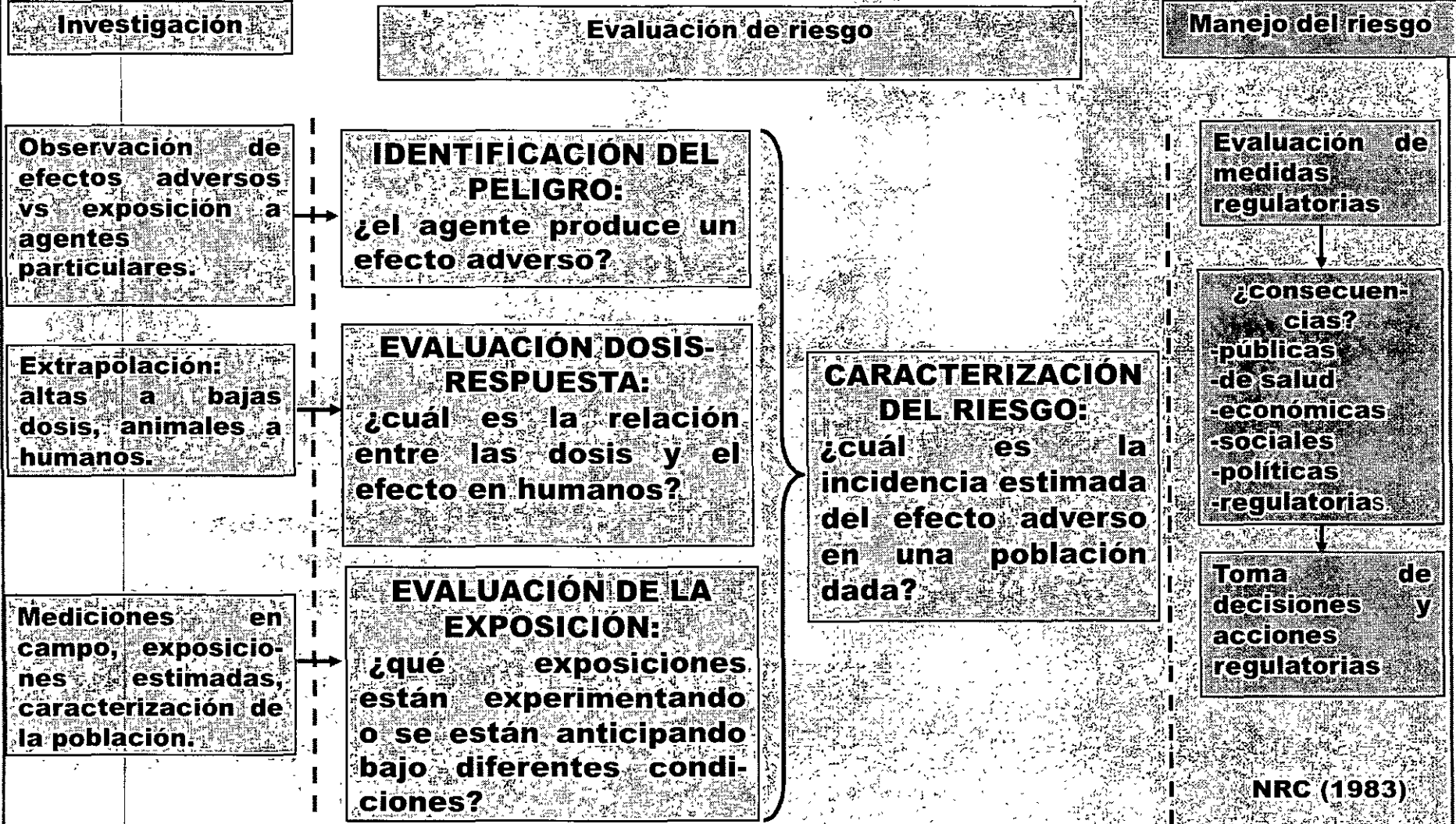


Proceso para estimar la probabilidad de que ocurra un daño en el ser humano como consecuencia de su exposición a las sustancias tóxicas.



- 1. Identificación del peligro**
- 2. Evaluación de la exposición**
- 3. Evaluación dosis-respuesta**
- 4. Caracterización del riesgo**

Fuente: NRC (1983)

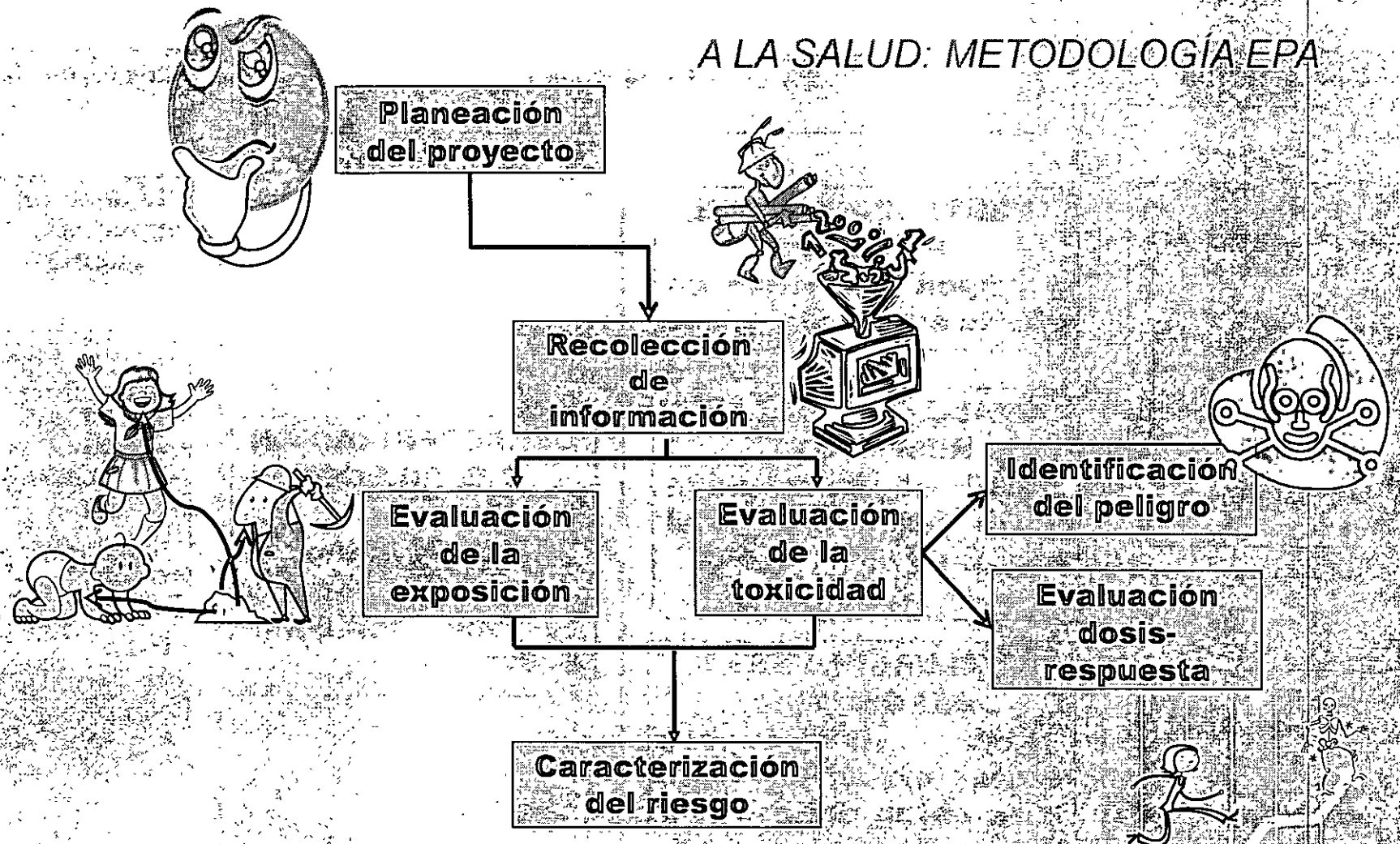


NRC (1983)



EVALUACIÓN DE RIESGO

A LA SALUD: METODOLOGÍA EPA





A LA SALUD: METODOLOGÍA EPA

PLANEACIÓN DEL PROYECTO Y RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN (RI)

(IP)

PLANEACIÓN

- ♦ Ubicación del sitio
- ♦ Actividades: ¿Quiénes?, ¿Cuándo?, ¿Cómo?
- ♦ Costos

CARACTERIZACIÓN

- ♦ Muestreo de los medios afectados
- ♦ Selección de sustancias de interés (contaminantes críticos)

INFORMACIÓN

- ♦ Información histórica
- ♦ Posibles fuentes
- ♦ Uso de suelo actual y futuro
- ♦ Geología, geohidrología, climatología

MODELOS

- ♦ Uso de información geohidrológica para predecir concentraciones, área de afectación
- ♦ Uso de modelos de dispersión atmosférica

MODELO CONCEPTUAL



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERIA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos

RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN (RI) (IP)



| | INDUSTRIAL | RESIDENCIAL (0-6 AÑOS) |
|--|------------|---------------------------|
| Peso promedio (kg) | 70 | 15 |
| Duración de la exposición (años) | 25 | 6 |
| Frecuencia de exposición (días/año) | 117 | 350 |
| Frecuencia de exposición dérmica (días/año) | 58 | 175 |



RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN (RI) (IP)

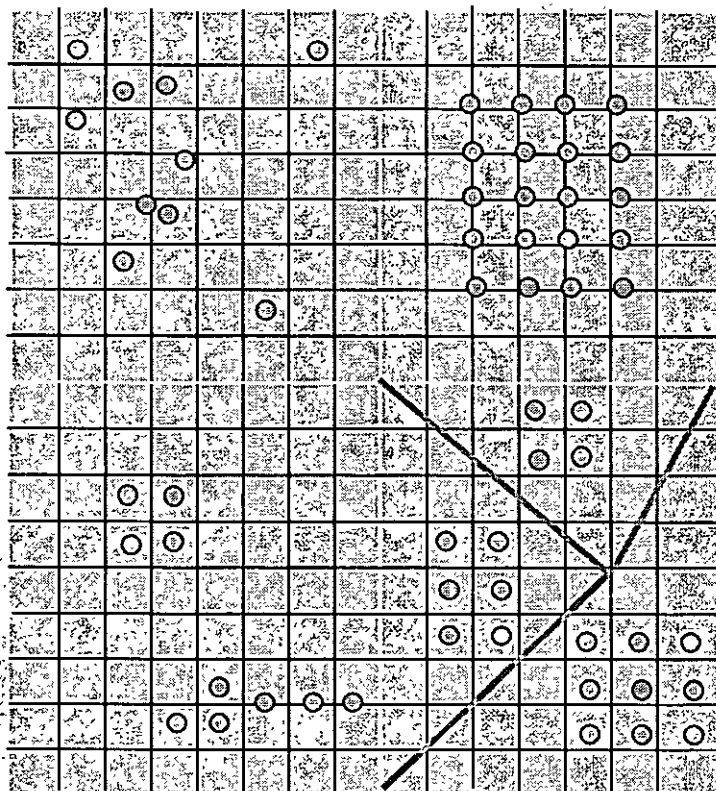
Tipo de muestreo

SIMPLE ALEATORIO

Para sitios pequeños y homogéneos. Muestreo exploratorio

A JUICIO DE EXPERTO, DIRIGIDO

Cuando se conoce el sitio, evento contaminante



SISTEMATICO

Para estimar con precisión zonas críticas, patrones espaciales, exploratorio, a detalle

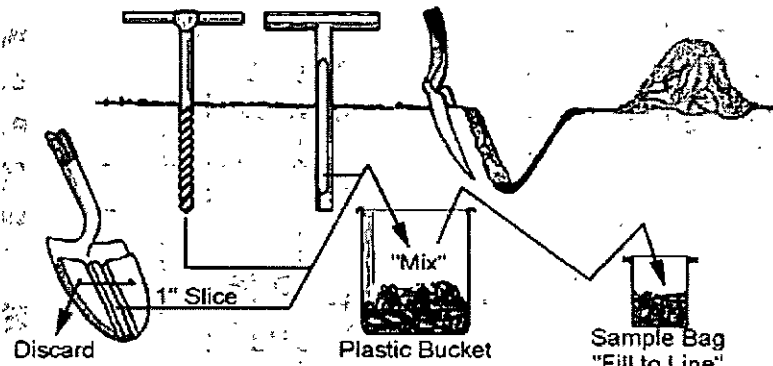
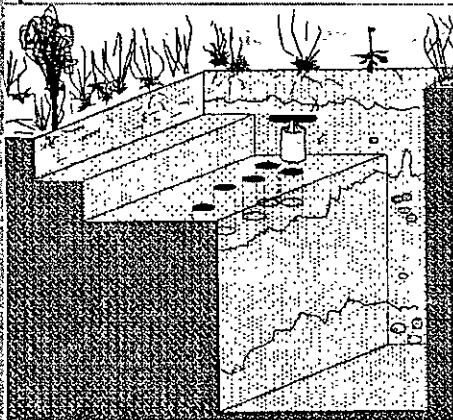
ESTRATIFICADO

Sitios grandes, previo conocimiento del sitio, evento contaminante



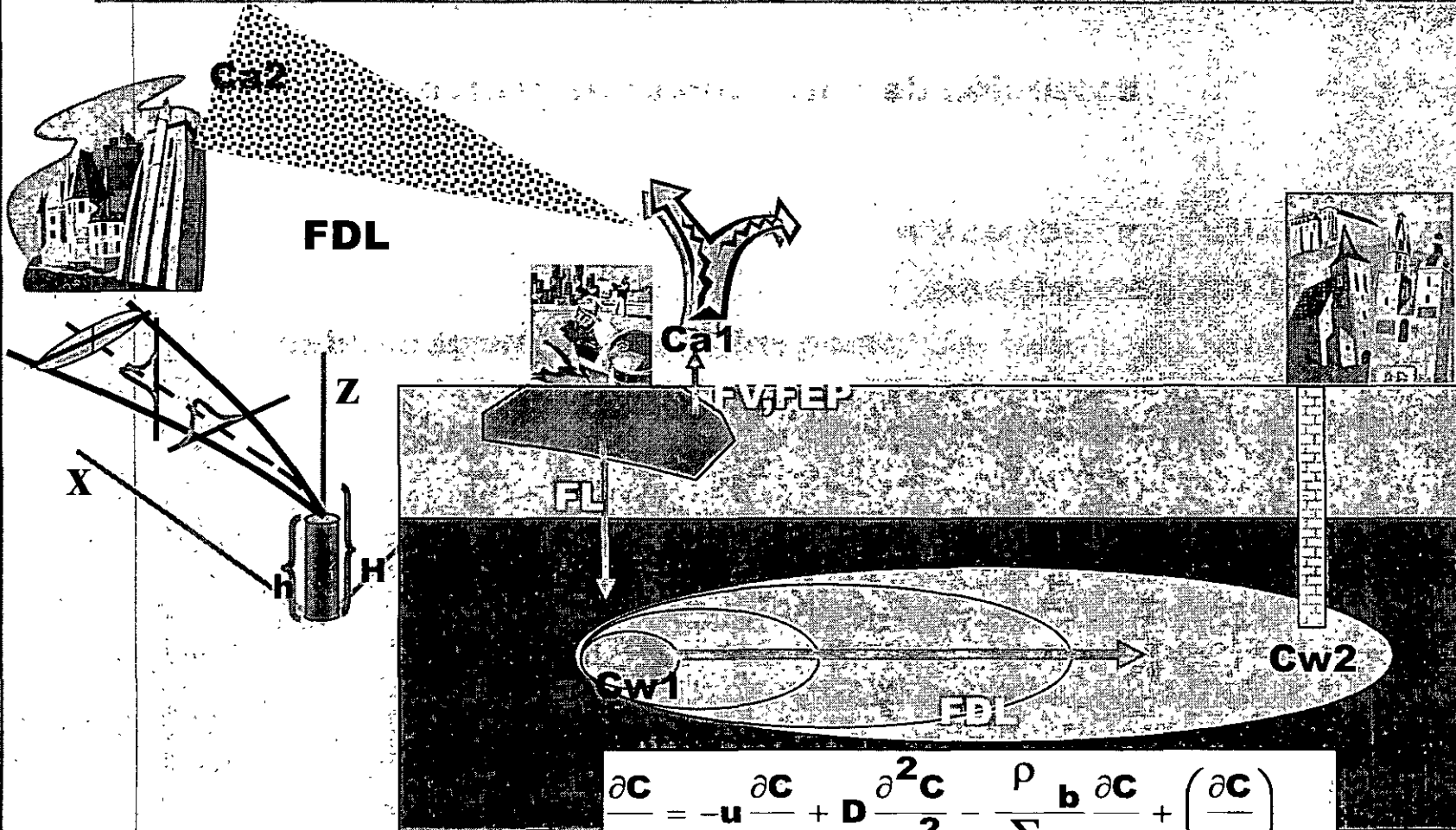
RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN (RI) (IP)

Toma de muestras





RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN (RI) (IP)



$$\frac{\partial C}{\partial t} = \underbrace{-u \frac{\partial C}{\partial x}}_{\text{advección}} + \underbrace{D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}}_{\text{difusión}} - \underbrace{\frac{\rho_b}{\Sigma} \frac{\partial C}{\partial t}}_{\text{reacciones}} + \left(\frac{\partial C}{\partial t} \right)_{rn}$$



RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN (RI) (IP)

Selección de contaminantes críticos

- Alta concentración
- Gran persistencia
- Alta toxicidad (carcinogenicidad, teratogenicidad, envenenamiento)
- Gran movilidad
- Interés público



EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN (EE)

RUTAS DE EXPOSICIÓN

Ruta que sigue el compuesto desde la fuente hasta el receptor

▲ Fuente de contaminación

▲ Mecanismo de migración (lixiviación, erosión)

▲ Medio de exposición (agua, aire, suelo, sedimento, alimento)

▲ Punto de exposición

▲ Receptor

VÍAS DE EXPOSICIÓN

Vías de ingreso al organismo

▲ Ingestión: agua, suelo, alimentos

▲ Inhalación: vapores, aerosoles o partículas

▲ Contacto dérmico: partículas principalmente

FACTORES DE EXPOSICIÓN

Características de la población expuesta:

▲ Peso corporal (kg)

▲ Tasa de ingestión de agua (l/d)

▲ Tasa de ingestión de suelo (mg/d)

▲ Tasa de ventilación pulmonar (m³/d)

▲ Duración de la exposición (años)

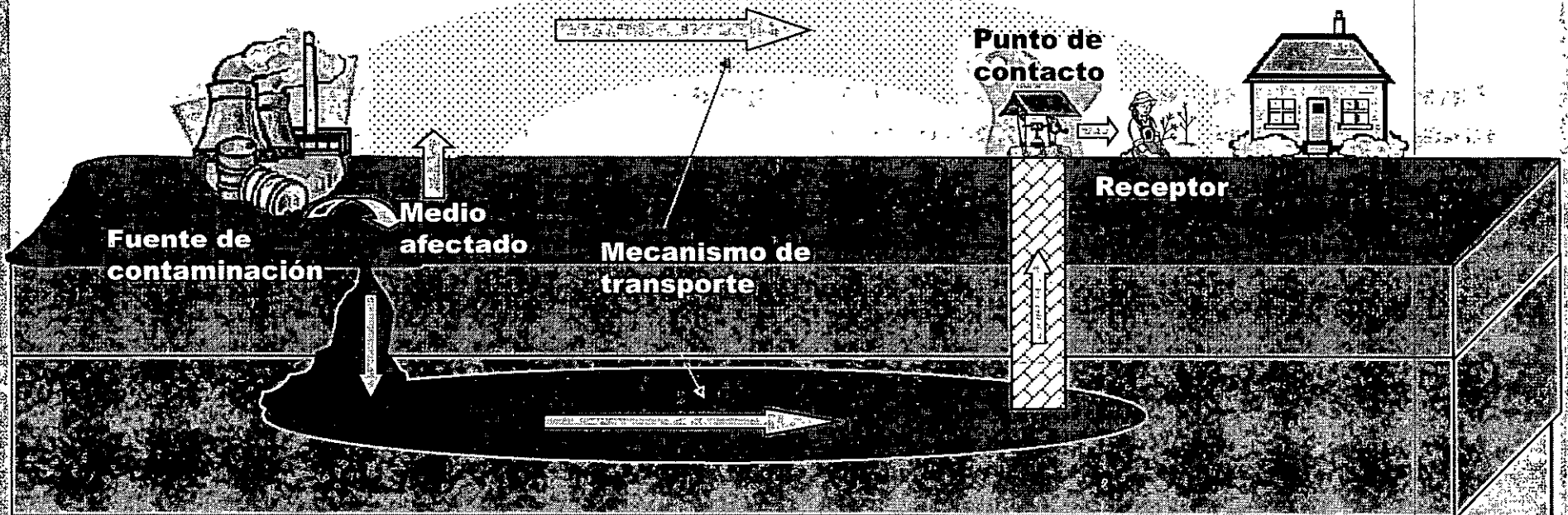
▲ Frecuencia de exposición (d/año)

MODELO CONCEPTUAL

DOSIS DE EXP



EE: MODELO CONCEPTUAL



Fuente de contaminación: derrame

Medio afectado: suelo

Transporte: erosión y dispersión/ advección, difusión, dispersión

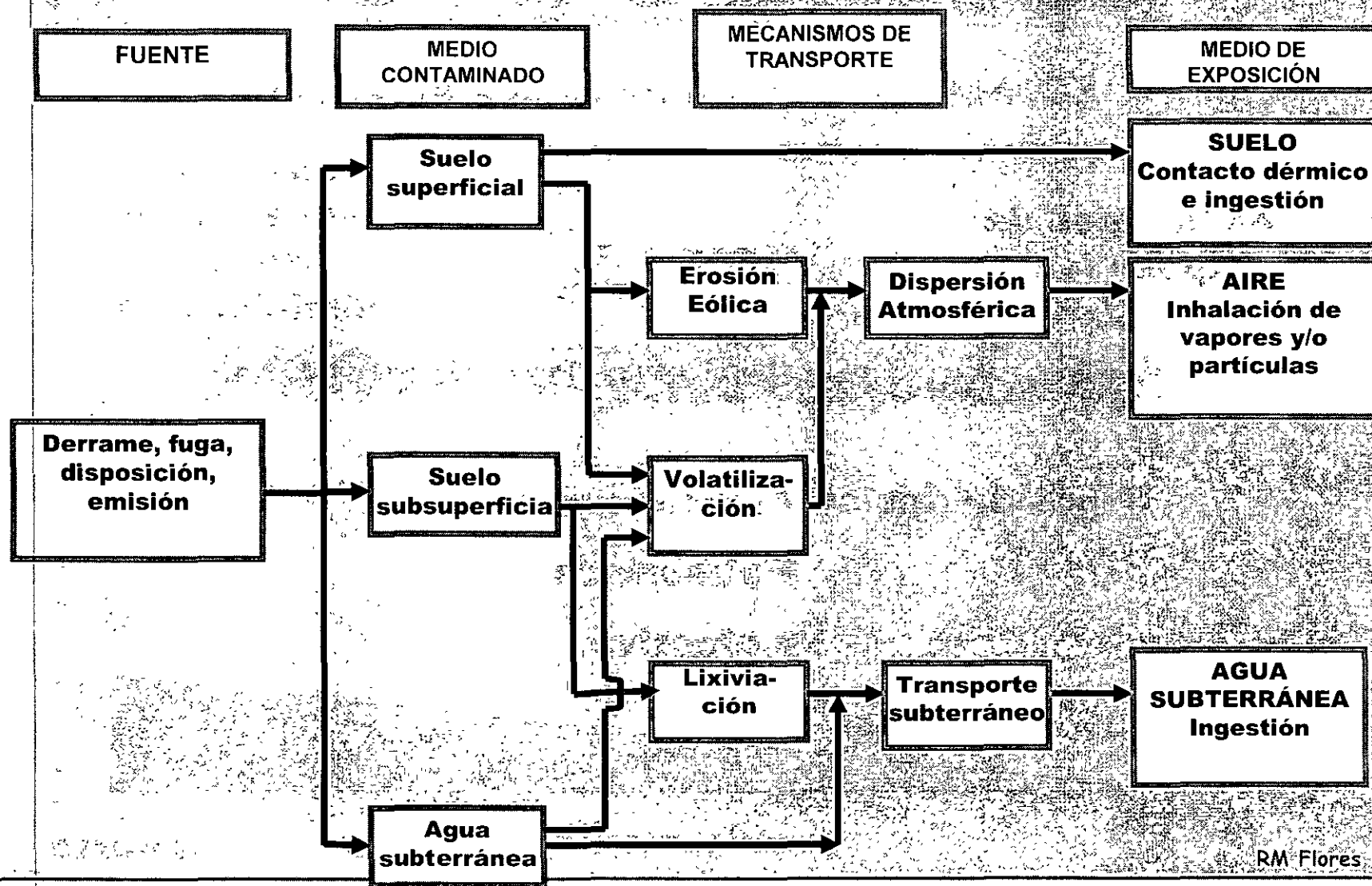
Punto de contacto: pozo, jardín

Receptor: residencial

Vía de exposición: ingestión, contacto dérmico, inhalación



EE: MODELO CONCEPTUAL

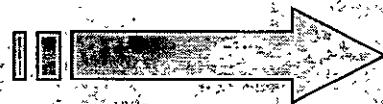




EE: MAGNITUD DEL CONTACTO = dosis

¿Cuánto contaminante recibe el receptor?

Condiciones de exposición



Dosis de exposición o dosis administrada

Dosis = mg compuesto/Kg peso corporal día

- Tipos de dosis:**
- administrada ✓
 - absorbida
 - efectiva

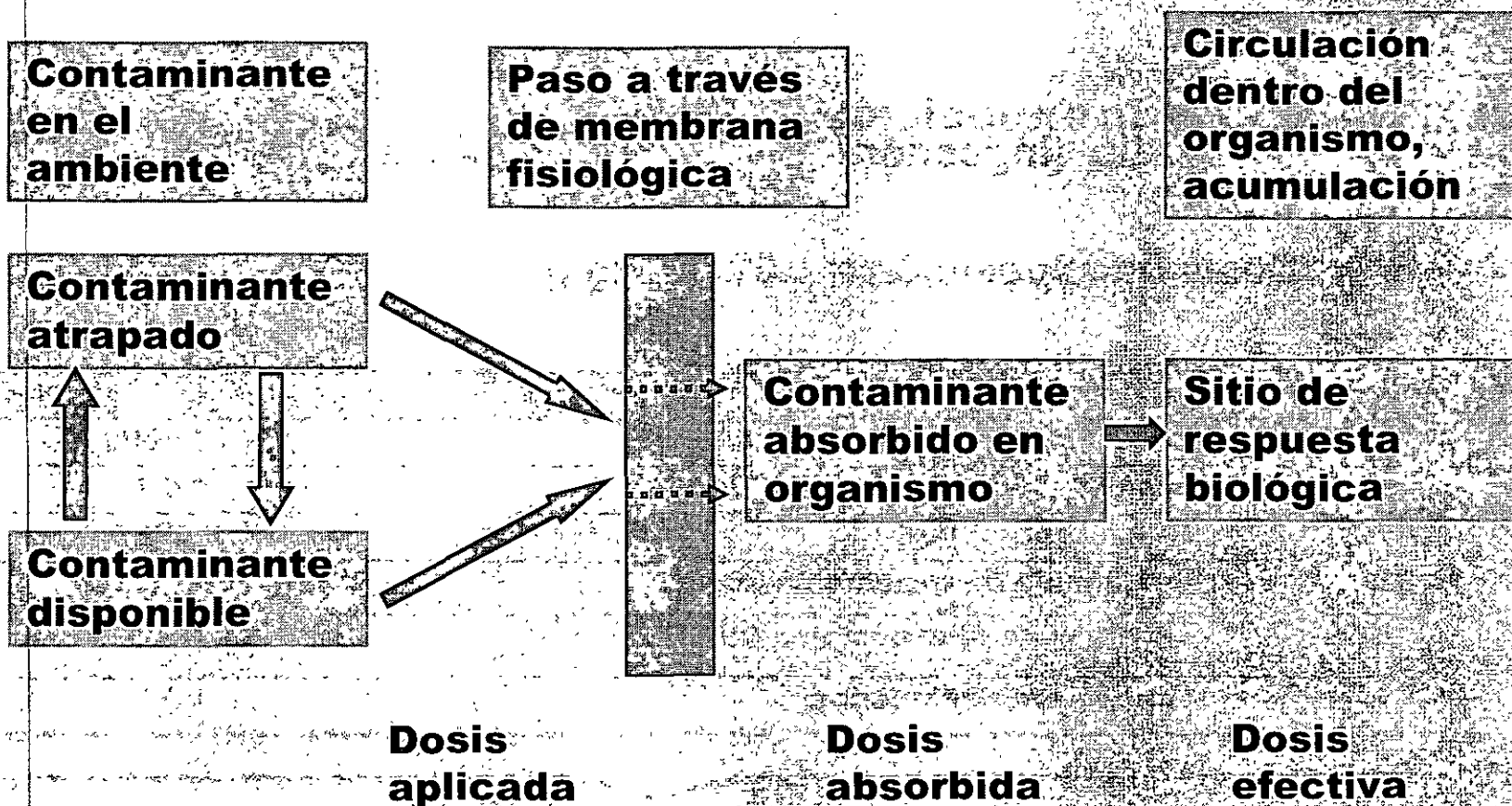
No hay efectos



Muerte



EE: MAGNITUD DEL CONTACTO = dosis





EE: MAGNITUD DEL CONTACTO = dosis

$$\text{Dosis de exposición promedio (ingestión)} = \left[\left(\frac{Cs \times IRs}{BW} \right) \left(\frac{EF \times ED}{AT \times 365 \text{ d/año}} \right) \right]$$

Dosis de exposición = 1.09 mg/kg·d

| Parámetro | Descripción | Valor |
|-----------|-----------------------------------|-------|
| Cs | Concentración en suelo (mg/kg) | 1000 |
| IRs | Tasa de ingestión de suelo (kg/d) | 0.1 |
| BW | Peso corporal (kg) | 10 |
| EF | Frecuencia de exposición (d/año) | 100 |
| ED | Duración de la exposición (años) | 5 |
| AT | Tiempo promedio (años) | 5 |

Factores de exposición de la población



EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD(ET)

(ED-R)

E D-R

+

IP

•TOXICIDAD: ¿Qué efectos produce?

Toxicología

- Es el estudio de los efectos adversos de las sustancias naturales y artificiales en los sistemas biológicos.
- La toxicología estudia la exposición vs. la enfermedad.

Relación dosis-respuesta

Concepto fundamental de la toxicología que describe la relación cuantitativa entre la cantidad de exposición (dosis) a un compuesto tóxico y la incidencia de efectos adversos (respuesta)

Fuentes de información:

- Estudios en animales
- Estudios epidemiológicos en humanos



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado
- En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos

EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD(ET)

(ED-R)

C
L
A
S
I
F
I
C
A
C
I
O
N
E
S
A
P
A

| CLASE (marzo, 2005) | DESCRIPCIÓN |
|---|---|
| Cancerígeno para humanos (A) | Evidencias epidemiológicas suficientes en humanos que indican una relación inequívoca de causa y efecto. |
| Probablemente cancerígeno para humanos (B1, B2) | Se tiene información adecuada de tumores y otros efectos que demuestran un potencial cancerígeno de la sustancia en humanos. "Adecuado" = se tiene información que asocia el desarrollo de cáncer con la exposición en humanos, o se tienen estudios que demuestran el desarrollo de cancer en animales. |
| Evidencias que sugieren un potencial cancerígeno (C) | Se tiene información que sugiere más no es concluyente, de que existe una relación causa -efecto. "Sugiere" = se tiene un efecto estadísticamente no significativo de incremento de cancer y no se tienen estudios que demuestran un efecto contrario. |
| Información inadecuada para una evaluación del potencial cancerígeno de una sust. (D) | Se tiene información contradictoria: unos estudios indican que sí puede producir cáncer y otros no. |
| No es probable que sea cancerígeno para humanos (E) | Se tienen estudios robustos que indican que no hay razón para considerarlo cancerígeno para humanos. "Robusto" = se tienen dos estudios que indican que no hay efectos en animales de diferentes especies. Evidencias de que el tipo de cáncer no se da en humanos, de que la ruta o vía de exposición no es propia de humanos, de que la dosis no es probable en humanos |



EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD(ET)

(ED-R)

07A0601

| CLASE | DESCRIPCIÓN |
|-------|--|
| 1 | El agente es carcinógeno para humanos. Evidencia suficiente de que es carcinógeno para humanos, o bien, evidencia suficiente en animales y evidencia fuerte en humanos de que el agente actúa a través de mecanismos relevantes de carcinogenicidad. |
| 2A | El agente es probable carcinógeno para humanos : evidencia limitada en humanos, o bien, evidencia suficiente en animales y evidencia fuerte en humanos de que el agente actúa a través de mecanismos relevantes de carcinogenicidad |
| 2B | El agente es posible carcinógeno para humanos : evidencia limitada en humanos y evidencia menos que suficiente en animales, o bien, evidencia inadecuada en humanos pero evidencia suficiente en animales, o bien, evidencia inadecuada en humanos pero evidencia limitada en animales junto con evidencia de apoyo de otros datos relevantes. |
| 3 | El agente no es clasificable como carcinógeno para humanos: evidencia inadecuada o limitada para animales, o bien, evidencia inadecuada en humanos y suficiente en animales pero existe evidencia fuerte de que el mecanismo de carcinogenicidad en animales no opera en humanos. También se clasifican aquí los agentes que no tienen cabida en las otras categorías. |
| 4 | El agente probablemente no es cancerígeno para humanos: evidencia que sugiere la ausencia de carcinogenicidad en humanos y animales, o bien, evidencia inadecuada en humanos pero evidencia que sugiere la ausencia de carcinogenicidad en animales junto con apoyo fuerte y consistente de otros datos relevantes |



EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD(ET)

(ED-R)

• TOXICIDAD: ¿Qué efectos produce?

• NO CANCERÍGENOS

DOSIS DE REFERENCIA (RfD, DRf)

Dosis a la que un compuesto no produce efectos adversos (mg/kg d)

• CANCERÍGENOS

FACTOR DE PENDIENTE DE CÁNCER (CSF, FPC)

Pendiente de la curva dosis respuesta (mg/kg d)⁻¹

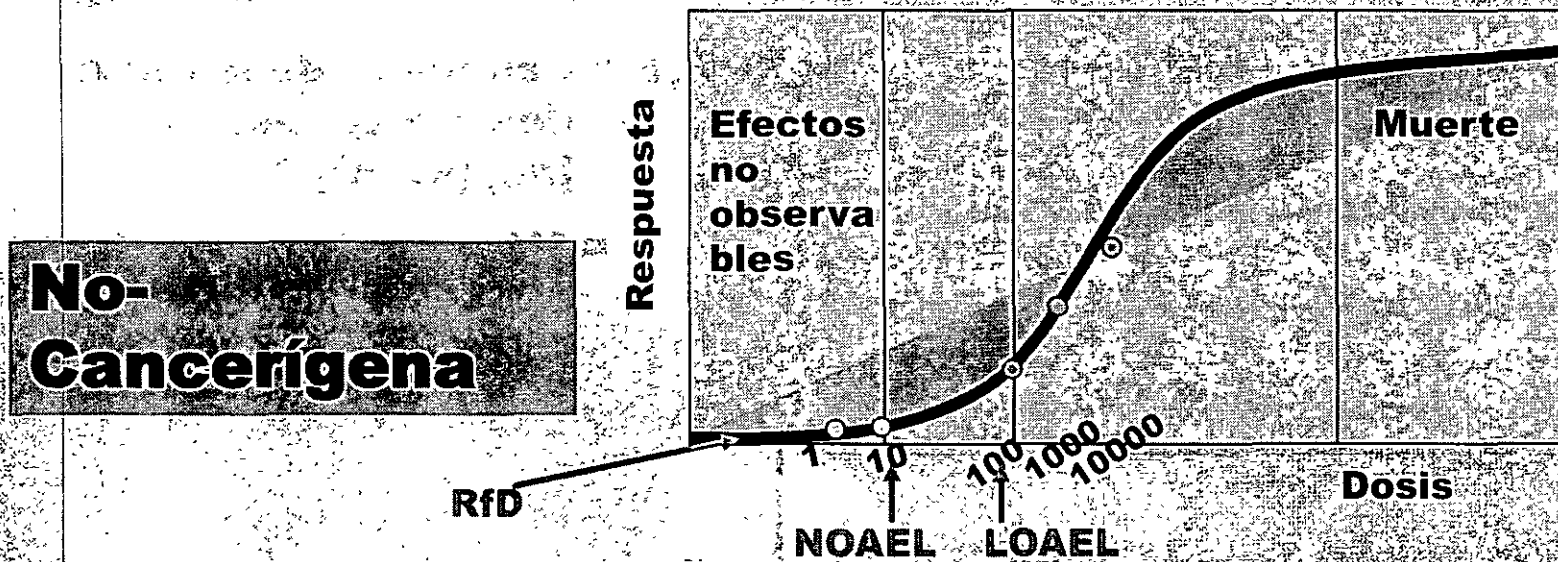
• BASES DE DATOS

⊗ IRIS (Integrated Risk Information System, <http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm>)

⊗ The California Environmental Protection Agency (Cal EPA) (<http://www.oehha.ca.gov/risk/chemicalDB//index.asp>)



EVALUACIÓN DOSIS-RESPUESTA (EDR)



No-Cancerígena

$$RfD = NOAEL / (UF \times MF) = mg / (kg \cdot d)$$

UF = Factores de incertidumbre

- 10: uso de dosis LOAEL en lugar de NOAEL
- 10: uso de dosis no crónicas o menores al tiempo de vida del animal de experimentación
- 10: extrapolación de especie animal a humano
- 10: variabilidad natural entre humanos

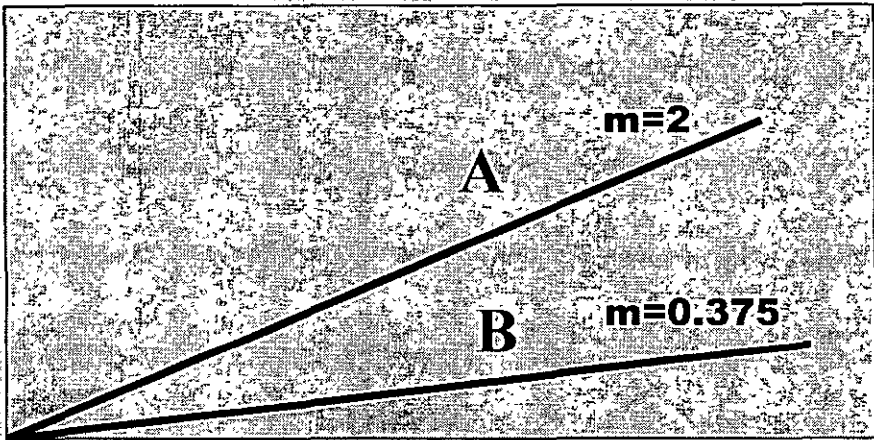
MF = Factores de modificación

- 1-10: Considerar incertidumbre adicionales, generalmente es 1



EVALUACIÓN DOSIS-RESPUESTA (EDR)

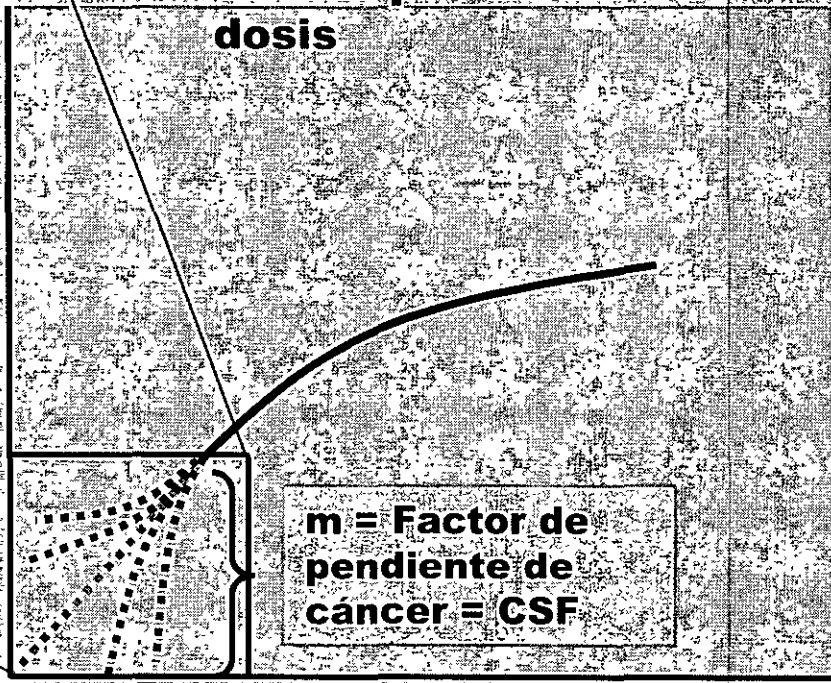
Respuesta



CSF = Pendiente de la curva dosis-respuesta =
 $[mg/(kg \cdot d)]^{-1}$
= Número de casos de cáncer por unidad de dosis

Cancerígena

Respuesta



m = Factor de pendiente de cáncer = CSF

Dosis



CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO (CR)

Determinar si se han rebasado las dosis consideradas como aceptables

- RIESGO (Cancerígenas) = 1×10^{-4} a 1×10^{-6}
- HQ (No-Cancerígenas) = 1

Para sustancias cancerígenas:

RIESGO es la probabilidad adicional de adquirir cáncer debido a una exposición en particular.

$$\text{Riesgo} = \text{Dosis de exposición} \times \text{CSF}$$

Si Riesgo del sitio > Riesgo aceptable \Rightarrow Es necesario reducir las concentraciones de los medios o las condiciones de exposición o la biodisponibilidad



CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO (CR)

Determinar si se han rebasado las dosis consideradas como aceptables

- RIESGO (Cancerígenas) = 1×10^{-4} a 1×10^{-6}
- HQ (No-Cancerígenas) = 1

Para sustancias no-cancerígenas:

El estimado de riesgo se denomina **COCIENTE DE PELIGRO (HQ)** y es una comparación de la dosis de exposición a la sustancia respecto a una dosis de exposición que se considera “segura” (dosis de referencia).

$$HQ = \frac{\text{Dosis de exposición}}{RfD}$$

Si $HQ > 1$  **Dosis de exposición > Dosis de referencia**
Es necesario reducir las concentraciones de los medios o las condiciones de exposición o la biodisponibilidad



CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO

SUELO

No cancerígeno

Ingestión

$$HQ = \left[\frac{Cs \times IRs}{BW} \left(\frac{EF \times ED}{AT \times 365 \text{ d/año}} \right) \right] \times \frac{1}{RfDo}$$

Inhalación

$$HQ = \left[\frac{Ca \times IRa}{BW} \left(\frac{EF \times ED}{AT \times 365 \text{ d/año}} \right) \right] \times \frac{1}{RfDi}$$

CRf

Contacto dérmico

$$HQ = \left[\frac{Cs \times SA \times AF \times ABS}{BW} \left(\frac{EF \times ED}{AT \times 365 \text{ d/año}} \right) \right] \times \frac{1}{RfDd}$$

RfDo



CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO

SUELO

MANEJO DEL RIESGO

Ingestión

$$R = \left[\frac{Cs \times IRs \times RAF}{BW} \right] \left(\frac{EF \times ED}{AT} \right) \times CSFo$$

Inhalación

$$R = \left[\frac{Ca \times IRa \times RAF}{BW} \right] \left(\frac{EF \times ED}{AT} \right) \times CSFi$$

IURE

Contacto dérmico

$$R = \left[\frac{Cs \times SA \times AF \times ABS}{BW} \right] \left(\frac{EF \times ED}{AT} \right) \times CSFd$$

CSFo



CONCENTRACIONES DE REMEDIACIÓN BASADAS EN RIESGO

SUELO

Cancerígeno

Ingestión

$$R = \left(\frac{C_s \times IR_s}{BW} \right) \left(\frac{EF \times ED}{AT \times 365 \text{ d/año}} \right) \times CSFo$$

$$C_s = \frac{R \times BW \times AT \times 365 \text{ d/año}}{IR_s \times EF \times ED \times CSFo}$$



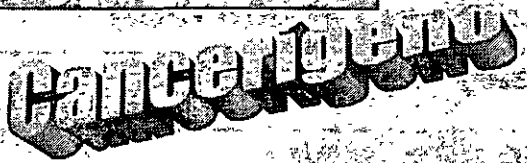
CONCENTRACIONES DE REMEDIACIÓN BASADAS EN RIESGO

| Parámetro | Descripción | Valores típicos |
|-----------|---|--|
| Cs | Concentración en suelo (mg/kg) | Análisis |
| Ca | Concentración en aire (mg/m ³) | Análisis |
| IRs | Tasa de ingestión de suelo (mg/d) | 100 A 200 N |
| IRa | Tasa de inhalación de aire (m ³ /d) | 20 A, N |
| SA | Área de superficie de piel (cm ²) | 5800 A 2000 N |
| AF | Factor de adherencia de suelo (mg/cm ² /d) | 1 A, N |
| ABS | Factor de absorción del suelo al organismo (adimensional) | Específico |
| BW | Peso corporal (kg) | 70 A 15 N |
| EF | Frecuencia de exposición (d/año) | 350 |
| ED | Duración de la exposición (años) | 30 A 6 N |
| AT | Tiempo promedio (años) | 70 Cáncer 30 A No cáncer 6 N No cáncer |
| RfDo,i,d | Dosis de referencia oral, inhalación, dérmico (mg/kg/d) | Específico |
| CSFo,i,d | Factor de pendiente de cáncer oral, inhalación, dérmico (mg/kg/d) ⁻¹ | Específico |



CONCENTRACIONES DE REMEDIACIÓN BASADAS EN RIESGO

SUELO



$$C1 = \frac{TR \times BW \times AT_c \times 365 \text{ días/año}}{EF \times ED \times \left(SF_o \times 10^{-6} \frac{kg}{mg} \times (IR_s \times RAF_o + SA \times M \times RAF_d) + SF_i \times IR_{air} \times (VF + VFP) \times 10^3 \frac{cm^3 \cdot kg}{m^3 \cdot g} \right)}$$

$$VF = \frac{2 \times W \times \rho_s}{U_{air} \times \delta_{air}} \sqrt{\frac{D_s^{eff} \times H}{\pi \times t \times (\theta_{ws} + K_s \rho_s + H \theta_{as})}} \times 10^3$$

$$PEF \left[\frac{(mg/m^3 - aire)}{(mg/kg - suelo)} \right] = \frac{P_e \times W}{U_{air} \times \delta_{aire}} \times 10^3$$

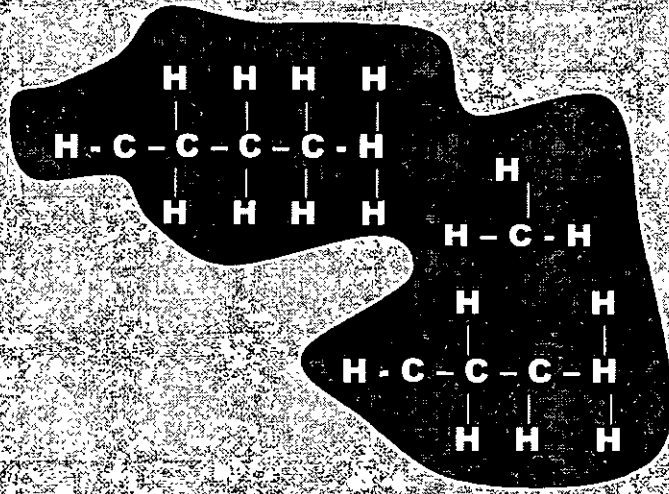


| Descripción |
|---|
| RAF = Factor de absorción relativo (adimensional) |
| VF = Factor de volatilización (adimensional) |
| PEF = Factor de emisión de partículas (adimensional) |
| Pe = Tasa de emisión de partículas = $6.9E-14$ g/cm²*s |
| W = ancho del área contaminada paralela a la dirección del viento (cm) |
| ρ_s = Densidad aparente del suelo (g suelo/cm de suelo) |
| Uair=Velocidad del viento en la zona de mezclado de aire (cm/s) |
| dair = Altura de difusión)zona de mezclado de aire exterior (200 cm) |
| Deff,s = Difusividad defectiva de suelos en la zona no saturada (cm²/s) |
| H = Constante de la ley de Henry adimensional (cm³ H₂O/cm³ aire) |
| $\pi = 3.1416$ |
| t = Tiempo promedio para flujo de vapor (s) |
| Qws = Contenido volumétrico de agua en el suelo de la zona vadosa (adimensional) (cm³ agua/cm³ suelo). |
| Kd = Coeficiente de distribución suelo-agua (cm³/g) |
| Qas = Contenido volumétrico de aire en el suelo de la zona vadosa (adimensional) (cm³ aire/cm³ suelo). |
| 10e3 = factor de conversión para pasar de g/cm³ a Kg/m³ |

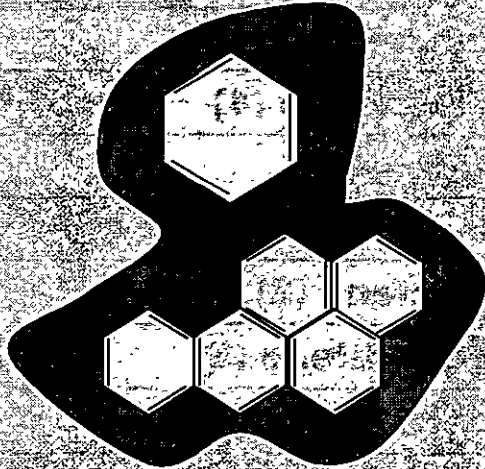


HIDROCARBUROS

Alifáticos



Aromáticos



TRAZAS

- | | |
|------------------|-----------------|
| Azufre | Níquel |
| Nitrógeno | Vanadio |
| Hierro | Cobalto |
| Cromo | Arsénico |
| | Mercurio |

ADITIVOS

- **Plomo (tetraetilo de plomo, TEL)**
- **MTBE (Metil-ter-butil eter)**
- **TAME (metil ter-amil-eter)**
- **ETBE (etil ter-butil eter)**
- **MMT (metilciclopentadienil tricarbonilo de manganeso)**
- **DBE (Dibromuro de etileno, EDB)**



B

T

E

X

Y

H

A

P

| Sustancia | Clase |
|------------------|-------|
| Benceno (1) | A |
| Etilbenceno (1) | D |
| Tolueno (1) | D |
| Xilenos (1) | D |
| Naftaleno (2) | C |
| Acenaftileno (2) | D |
| Acenafteno (2) | S/C |
| Fluoreno (2) | D |
| Fenantreno (3) | D |
| Antraceno (3) | D |
| Fluoranteno (3) | D |

| Sustancia | Clase |
|---------------------|-------|
| Pireno (4) | D |
| B(a)antraceno (4) | B2 |
| Criseno (4) | B2 |
| B(b)fluoranteno (4) | B2 |
| B(k)fluoranteno (4) | B2 |
| Benzo(a)pireno (5) | B2 |
| I(123-cd)pireno (5) | B2 |
| D(ah)antraceno (5) | B2 |
| B(ghi)perileno (5) | D |

Compuestos aromáticos son más solubles, menos volátiles y más tóxicos que alifáticos



**T
R
A
Z
A
S

A
D
I
T
I
V
O
S**

| Sustancia | Clase |
|---|--------------|
| Hierro | SC |
| Cromo VI | A (i), D (o) |
| Cromo III | D |
| Niquel (polvo refinerías, subsulfuro de níquel) | A (i) |
| Vanadio (pentaóxido) | SC |
| Arsénico (III) | A (o, i) |
| Mercurio (metilo de mercurio, cloruro) | C |
| Mercurio elemental | D |
| Cobalto | SC |
| Molibdeno | SC |

| Sustancia | Clase |
|---------------------------|-------------|
| Plomo (inorgánico) | B2 |
| Tetraetilo de Pb (TEL) | SC, 3 |
| MTBE | SC (o,i), 3 |
| TAME | SC |
| ETBE | SC |
| MMT (manganeso) | D |
| DBE | B2 |



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERIA
UNAM

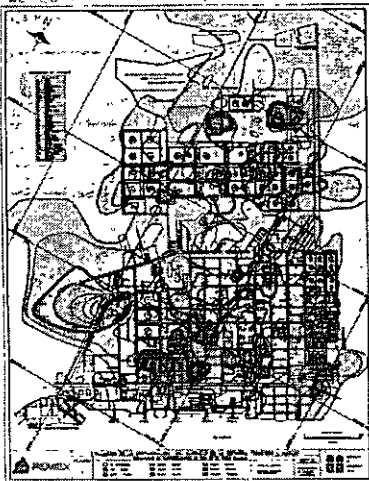
Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuíferos contaminados por hidrocarburos

H

T

P

?



✓ **Identificar si existe un problema de contaminación**

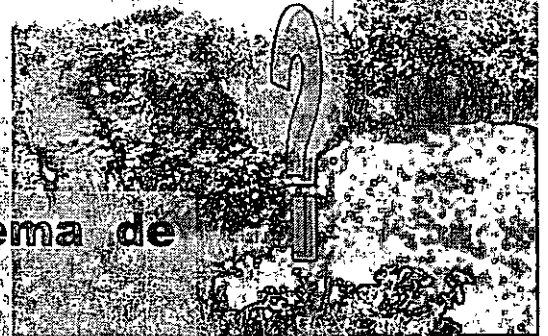
✓ **Determinar la severidad de la contaminación**

✓ **Hacer seguimiento de plumas contaminantes**

✓ **Hacer un seguimiento de la remediación de un sitio**

✓ **Establecer criterios de limpieza de sitios**

C < NMP?





H

? Los HTP son una mezcla de cientos de compuestos

T

? El concepto de HTP varía dependiendo de la técnica de análisis

P

? El valor de HTP no siempre refleja el nivel de riesgo asociado a esa concentración

?

- Muestreo
- Extracción y solventes (purga y trampa, Soxhlet, Sonicación, metanol, hexano, freón)
- Eliminación impurezas (columnas de alúmina, sílica-gel)
- Análisis (CG EPA 8015, IR 418.1, Gr EPA9071, IE EPA4030)

Sitio 1: 500 mg/kg de HTP (90% benceno)

Sitio 2: 500 mg/kg de HTP (90% acenaftileno)



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Diplomado:
En caracterización y remediación de suelos y
acuiferos contaminados por hidrocarburos

Z
I
V
E
F
E
S
R
E
M
E
D
I
C
I
O
N

INDIVIDUAL

- Literatura
- Con base en riesgo (BTEX, HAP, otros)

HTP

HTP LITERATURA:
Por tipo de producto (gasolina, diesel, etc)

HTP RIESGO:
Por fracciones de HTP (número de carbonos).
Sistémicos (RfD).

En función de sus propiedades físico-químicas (TPHCWG, 1997)

| ALIFÁTICOS | AROMÁTICOS |
|------------|------------|
| 5-6 | >5-7 |
| >6-8 | >7-8 |
| >8-10 | >8-10 |
| >10-12 | >10-12 |
| >12-16 | >12-16 |
| >16-21 | >16-21 |
| -- | >21-35 |

En función de su toxicidad (MaDEP) (CM, 2002)

| ALIFÁTICOS | AROMÁTICOS |
|---------------------|-----------------------|
| 5-8 | 9-10 9-22 11-22 |
| 9-18 { 9-12 9-18 | |
| 19-36 | |



Z
O
N
A
D
E
R
E
M
E
D
I
O
C
O
N
T
A
M
I
N
A
D
O

EJEMPLO

Concentración en suelo de la fracción aromática C7-C8: 8000 mg/kg
¿Cuál es el riesgo y concentración de remediación para la vía oral?

$$HQ = \left(\frac{Cs \times IRs \times RAF}{BW} \right) \left(\frac{EF \times ED}{AT \times 365 \text{ d/año}} \right) \times \frac{1}{RfDo} = 0.05 \checkmark$$

| Parámetro | Descripción | Valor |
|-----------|------------------------------------|-------|
| Cs | Concentración en suelo (mg/kg) | 8000 |
| IRs | Tasa de ingestión de suelo (kg/d) | 0.001 |
| BW | Peso corporal (kg) | 70 |
| EF | Frecuencia de exposición (d/año) | 350 |
| ED | Duración de la exposición (años) | 30 |
| AT | Tiempo promedio (años) | 30 |
| RfDoral | Dosis de referencia oral (mg/kg d) | 0.2 |

Despejando Cs para HQ = 1:

$$Cs = 146,000 \text{ mg/kg} \checkmark$$