

CONTAMINACION DE SUELOS Y ACUIFEROS

Est. GONZALEZ

MARGALITA TURUGRAFICA

Margot Bertol
Ecopreneur S.A.**A. ABSTRACT**

A pesar de los avances tecnológicos logrados en los últimos años en relación con el estudio del subsuelo como medio para determinar la evolución sufrida por un contaminante dado, sus resultados no son todo lo precisos que la necesidad requiere. Existe una importante cantidad de variables que deben ser tenidas en cuenta y que deben ser consideradas para cada lugar en particular.

La adecuada interpretación del medio afectado y los procesos que en él se generan permitirá definir el sistema de remediación más adecuado tanto desde el punto de vista Ambiental como económico, fijar los estándares de saneamiento y cuantificar correctamente el tiempo que demande alcanzar las metas que se establezcan.

B. INTRODUCCION

Tradicionalmente, el estudio de la contaminación del subsuelo se ha limitado a las aguas subterráneas, sin tener en cuenta la zona del subsuelo no saturada que por su posición y procesos de diversos tipos que en ella ocurren juega un papel singular en la contaminación de acuíferos.

En función de la distribución vertical del agua, el perfil del subsuelo se divide en tres zonas bien diferenciadas (Lámina N° 1):

- 1) Zona de aireación o no saturada
- 2) Franja capilar
- 3) Zona saturada

La zona no saturada es aquella porción del subsuelo que se extiende entre la superficie del terreno y la capa acuífera.

Por su posición en el subsuelo es la zona donde primeramente se alojan los contaminantes, constituyendo el nexo entre los eventos ocurridos en superficie y las aguas subterráneas y donde se manifiestan los primeros efectos de la degradación en el subsuelo.

El movimiento del agua en ella ocurre por infiltración, percolación, redistribución y evaporación, conociéndose en ella dos tipos de flujo, el clásico movimiento vertical de infiltración y aquel que ocurre a través de macroporos o grietas y que involucra una transmisión más rápida y direccionada del fluido.

En ella el contenido de agua es menor que el volumen de poros y el agua está sometida a una presión menor que la atmosférica.

Este medio es extremadamente complejo y en él ocurren procesos físicos, químicos, térmicos y biológicos.

A través de esta zona los compuestos en fase líquida y vapor son atenuados, sufren transformaciones y su migración estará muy condicionada por las características

propias del medio, su comportamiento hidráulico y las propiedades del fluido que por ella circule.

La base de la zona no saturada, denominada zona capilar, por su cercanía con el primer horizonte acuífero, funciona con características similares a las de una zona saturada.

En general el espesor de la zona capilar es mayor en sedimentos de menor granulometría.

La presión es igual a la atmosférica y en esta zona se encuentran cantidades significativas de contaminantes cuya gravedad específica es menor que la del agua.

La zona saturada como su nombre lo indica es aquella en que el agua rellena todos los poros de la roca y que normalmente llamamos acuífero.

2. DESARROLLO

Los Hidrocarburos que no se disuelven en agua y que pueden existir como una fase separada, comúnmente denominados Fase Libre No Acuosa (FLNA), tienen diferente comportamiento, según del producto que se trate, pero básicamente se los divide por su densidad en dos grandes grupos:

- Livianos con densidad menor a 1, "Fase Libre No Acuosa Liviana"
- Pesados con densidad mayor a 1, "Fase Libre No Acuosa Densa"

La primera se caracteriza por que sus componentes tienen una densidad menor que el agua y por lo tanto se va a localizar en flotación sobre un acuífero.

En el segundo caso los componentes son más densos que el agua y su migración va a ser vertical, atravesando el acuífero hasta encontrar un manto impermeable donde se depositan (Lámina N° 2).

Propiedades y comportamiento de una Fase Libre Liviana

La movilidad de una FLNA está gobernada por numerosas propiedades entre las que se incluyen la viscosidad, densidad, tensión superficial, presión capilar, solubilidad, saturación residual, permeabilidad, volatilización etc.

Los productos livianos están generalmente asociados con la producción, refinación y distribución de hidrocarburos. Pérdidas y derrames en tanques de Nafta, Gas Oil, Fuel y Kerosene son las fuentes más frecuentes de FLNAL.

Cuando una masa de hidrocarburos derivada de pérdidas o derrames alcanza la superficie o el subsuelo, migra a través de los suelos con un movimiento vertical descendente. Esta fase libre de hidrocarburos desplaza el aire y se aloja en los espacios porales y fracturas del suelo.

Una pequeña cantidad de esta masa de hidrocarburos permanecerá inmóvil, agregada a las partículas de los suelos, en función de la fuerza capilar. Este volumen de hidrocarburos retenido en la estructura de los suelos es conocido como saturación residual.

Si el volumen de hidrocarburos derramado es pequeño en relación con el volumen de suelo y su capacidad de retención, estos contaminantes serán totalmente absorbidos por los suelos y cesará su migración vertical permaneciendo como una fuente de contaminación residual.

Esta contaminación residual va a contribuir con vapores que eventualmente podrán alcanzar los horizontes freáticos o bien permanecer entrampados en el esqueleto de los suelos

La lluvia al infiltrarse lavará estos sedimento e incorporará aquellos compuestos más solubles, continuando su infiltración hasta llegar a un acuífero.

Es importante reconocer en los suelos vías preferenciales de migración, constituidas por macroporos, grietas de desecación y contracción, fracturas, etc. que aumentan considerablemente la permeabilidad de los terrenos y permiten una rápida y más fácil movilidad de los contaminantes.

Existe por otro lado una importante cantidad de sustancias que contribuyen a formar grietas de contracción, tal el caso de muchos solventes orgánicos que pueden ser transportados a grandes profundidades sin perder significantes volúmenes como saturación residual en la zona no saturada.

Si la pérdida es continua o de volumen importante, el producto se alojará en los suelos hasta colmar su capacidad de absorción y el contaminante continuará su migración vertical hasta alcanzar la superficie de una capa acuífera.

El acuífero en movimiento incorporará al flujo los compuestos más solubles transportándolos horizontalmente.

Distribución de una Fase Libre en el subsuelo:

Cuando un sector del subsuelo es impactado por un derrame de Hidrocarburos, este se distribuye y particiona de cuatro formas diferentes (Lámina N° 3):

1. Fase gaseosa (VOC), como vapores orgánicos ocluidos en la estructura poral del suelo.
2. Como Hidrocarburo residual entrampado en el esqueleto clástico de la zona no saturada del suelo.
3. Como producto libre que migra a través de la zona no saturada y se dispone en flotación sobre la capa de agua subterránea.
4. En fase disuelta en el agua subterránea.

Forma y tipo de la pluma de contaminación

Una de las primeras consideraciones a tener en cuenta para determinar la naturaleza y extensión del problema de contaminación en agua subterránea, es definir la forma y tipo de la pluma que adoptan los contaminantes en el subsuelo.

Si la fuente de contaminación es constante y superpuesta al flujo regional sin eventos en el área que modifiquen las condiciones hidráulicas de la napa, tal como pozos de bombeo en la zona, una pluma con la típica forma de cigarro es esperable.

Si la pérdida de contaminantes ha ocurrido una única vez o bien es intermitente, la pluma puede aparecer discontinua (ver figuras adjuntas).

Puede ocurrir que en las cercanías de un área monitoreada existan pozos de bombeo, en cuyo caso, la pluma adoptará diferentes formas elongándose por migración hacia los sectores de captación (Lámina N° 4)

Espesor de una Fase Libre No Acuosa Liviana

Si bien los pozos de monitoreo proveen información acerca de las características, distribución y migración de una pluma de contaminación así como de las propiedades hidráulicas del acuífero, aun existen dificultades para medir el espesor real de una FLNA, esto influye directamente en la determinación del volumen del producto sobre la capa de agua y por lo tanto en el cálculo de tiempo y recuperación del contaminante en caso de una remediación.

Uno de los aspectos más complejos en el estudio de una FLNA es que las acumulaciones medidas en un pozo de monitoreo no se corresponden con el espesor real del producto en la formación, tal discrepancia puede ser el resultado de uno o más bien una suma de factores:

- Tamaño de grano de los sedimentos
- Fluctuaciones estacionales o inducidas de la capa de agua
- Tipos de producto y diferencia de densidades.

El espesor de la franja capilar está relacionado con el tamaño de grano del material, en general a menor granulometría mayor es la potencia de la zona capilar.

La construcción de un pozo de monitoreo penetra y rompe la zona capilar, de tal forma, la fase no acuosa allí contenida migra hacia la perforación. El nivel de agua que se estabiliza dentro de la perforación, estará a mayor profundidad que la franja capilar de tal forma, el hidrocarburo fluye hacia la perforación desde una posición más elevada. Esta fase no acuosa continuará migrando hacia el interior del pozo provocando una depresión de la superficie del agua hasta que se establece un equilibrio entre las densidades de ambos fluidos. Para mantener este equilibrio, el peso de la columna de hidrocarburos deprimirá en nivel de la capa de agua dentro del pozo. De esta forma el espesor de producto dentro de la perforación es mayor al que realmente existe en la formación (Lámina N° 5 ej. 1)

Este espesor aparente es mayor cuanto mayor potencia tiene la franja capilar, potencia que se incrementa cuanto más fino es el tamaño de grano en los sedimentos. Otro factor que contribuye a esta medición aparente de espesor de una FLNA tiene que ver con la presencia de acuíferos colgantes (Lámina N° 5 ej. 2).

Un pozo de monitoreo que capte estos acuíferos situados por encima de la verdadera capa de agua, recibirá el aporte de producto situado en aquellos acuíferos, en general para estos casos el error de medición es mayor cuando se trata de capas delgadas de hidrocarburo.

Similar situación se genera cuando la zona filtrante de un pozo de monitoreo capta un acuífero colgante y la verdadera capa de agua, en tales casos el aporte de hidrocarburo proviene de ambos acuíferos (Lámina N° 5 ej. 3).

Fluctuaciones del nivel freático es otro de los factores que contribuyen con mediciones aparentes del espesor del contaminante. En general puede decirse que

ascensos del freático contribuyen a medir espesores aparentes más delgados que en los casos en se producen descensos de la capa de agua (Lámina N° 5 ej. 4).

Las mediciones que se efectúan en un pozo que ha localizado el borde de una pluma tienen más error que aquellos que han localizado el centro del pool, de igual forma los productos de mayor densidad provocan una mayor depresión del nivel de agua, contribuyendo a mediciones de mayor espesor dentro de la perforación (Lámina N° 5 ej. 4).

La relación entre espesor aparente y real puede ser muy alto en acuíferos de baja permeabilidad ya que una vez instalado el pozo pueden pasar varias semanas y aun meses antes que el producto migre hacia la perforación, incrementando su espesor muy lentamente dentro del pozo de monitoreo.

Localización de pozos de monitoreo

La ubicación y características de los pozos de monitoreo debe ir precedida de información de base recogida en el área a monitorear.

En la figura adjunta (Lámina N° 6), se ha esquematizado la localización y características constructivas en lugares donde no existen pozos de bombeo y a la inversa.

Para el primer caso, la pluma se moverá en dirección del flujo subterráneo, hacia las áreas de descarga. La ubicación del monitoreo se establecerá teniendo en cuenta esta pauta.

De la misma forma, la instalación de las cañerías filtrantes, deberá ser precisa de manera tal de captar los sectores del acuífero comprometidos. Filtros colocados muy profundos o por el contrario por encima de la pluma, no captarán la presencia del producto en flotación aun cuando aparezcan contaminantes en fase disuelta que no serán representativos de la magnitud del problema.

Si, en cambio, existen en las cercanías pozos de captación de acuíferos, el flujo subterráneo se dividirá en dos sectores. Una parte migrará hacia el o los pozos de bombeo mientras que el segundo continuará el flujo normal en dirección a las zonas de descarga.

Puede ocurrir que en la región en estudio existan pozos de captación cuyo funcionamiento no sea permanente. En tales casos el flujo de los contaminantes hacia los pozos de monitoreo será intermitente y de una correcta interpretación dependerán las acciones futuras de evaluación (Lámina 6).

Recuperación de una Fase Libre No Acuosa Liviana

La recuperación de una FLNA está relacionada con la cantidad de producto móvil disponible. El hidrocarburo que es retenido en el subsuelo es irrecuperable por medios convencionales.

La recuperación puede ser estimulada con diversas estrategias, sistemas de interceptación, pozos de bombeo con skimming, extracción por vacío y sparging.

Una recuperación de un 30 % de hidrocarburos con cualquiera de las técnicas mencionadas, debe ser considerada un éxito, aun cuando los requerimientos

normativos sean más exigentes, debe tenerse en cuenta que la completa mitigación del medio afectado es técnicamente imposible en la mayoría de los casos.

Cuando se trata del saneamiento de un acuífero el concepto a tener en cuenta es: maximizar la extracción del producto libre/minimizar el volumen de agua asociado, mantener esta relación suele ser uno de los inconvenientes más frecuentes, particularmente cuando se trata de recuperaciones a largo plazo (Lámina N° 7).

Fase Libre No Acuosa Densa

Potencialmente, la contaminación del subsuelo por este tipo de compuestos es muy alta, sin embargo hay un cierto desconocimiento sobre la magnitud de este problema. Las primeras detecciones de estos contaminantes fueron en fase disuelta, ello llevó a pensar que su alta volatilidad en la zona no saturada y solubilidad en el acuífero contribuían a la no formación de una fase inmiscible.

Basicamente estos compuestos son clasificados en función de ciertas propiedades físicas: Densidad, viscosidad y solubilidad

Los compuestos densos de mayor uso en la industria son los solventes clorados, alquitranes e Hidrocarburos Poliaromáticos.

Los primeros se caracterizan por tener una densidad relativamente más alta que el agua y una baja viscosidad, los Alquitranes y Poliaromáticos tienen menor densidad que los Solventes Clorados y alta viscosidad.

En función de estas diferencias el comportamiento de la fase miscible e inmiscible de cada uno de ellos es muy variable.

Los solventes clorados en su fase inmiscible son relativamente móviles a la vez que son fuertemente influenciados por la gravedad mientras que la fase miscible es también relativamente móvil con alta solubilidad de algunos de sus compuestos razón por la cual pueden migrar largas distancias con el flujo subterráneo.

Los alquitranes por su mayor viscosidad y menor solubilidad de sus compuestos presentan menor movilidad en cualquiera de sus fases y son menos influenciados por la gravedad pero con una gran tendencia a ser absorbidos por los suelos.

Producido el derrame de uno de estos compuestos, el producto migra verticalmente, con alguna dispersión lateral, a través de la zona no saturada aprovechando principalmente pequeñas fracturas y canalículos.

Al igual que con los productos más livianos, los contaminantes se alojan en los poros del suelo, generando vapores y solubilizándose en el agua contenida en la zona no saturada.

Colmada la capacidad de absorción de los sedimentos, estos productos continuarán su infiltración vertical influenciados por la fuerza de gravedad hasta que un manto de muy baja permeabilidad es encontrado.

Una vez alojados en el lecho impermeable, su movilidad estará influenciada por la inclinación de la capa impermeable y no por el flujo subterráneo. pueden extenderse con el flujo subterráneo, propagándose por grandes distancias (Lámina N° 8 ej. 1, 2, 3, 4 y 5).

Los mantos impermeables muchas veces pueden no ser del todo seguros respecto a su cualidad de estanqueidad. Estratos muy arcillosos frecuentemente pueden presentar pequeñas fracturas, en tales casos y si la presión generada por el producto es

suficiente, el contaminante penetrará los canaliculos, continuando su migración vertical en una típica forma de "dedos".

En términos generales, puede decirse que cuando el espesor del producto acumulado es uniforme, la superficie del manto que lo aloja es también uniforme, en cuyo caso gran parte del contaminante se encontrará en la porción inferior de la capa acuífera que se halle inmediatamente por encima.

En cambio, heterogeneidades en la medición de espesores, suelen reflejar irregularidades de la superficie donde se han depositado depósito de contaminante.

Espesor aparente de una FLNAD

La medición de espesores en pozos de monitoreo suele ser exagerada en relación con la potencial real del producto en la formación.

Los factores que influyen son los mismos que los ya mencionados para los productos más livianos, a ellos debe agregarse la penetración parcial de estratos de baja permeabilidad por parte de los pozos de monitoreo.

Recuperación de una FLNAD – Consideraciones

La recuperación de estos productos suele ser un proceso lento y dificultoso en razón de la relativa permeabilidad de los mantos que los contienen, viscosidad del producto, la distribución de la pluma y los factores específicos de cada sitio.

Los porcentajes de producto residual suelen ser muy elevados debido a la baja permeabilidad y transmisividad de los sedimentos, ambos factores disminuyen la capacidad de estos materiales para transmitir agua, de allí que las estrategias de remediación deberían ser pensadas y evaluadas en función de: Controles a largo plazo/Ajustes de corto plazo.

CONCLUSIONES

La contaminación del subsuelo a partir de productos derivados del petróleo es un problema que ocurre con demasiada frecuencia en relación a las dificultades técnicas y económicas que implica su extracción y la restauración parcial del medio afectado. Tomando en cuenta ambos aspectos, técnicos y económicos, la prevención es sin lugar a duda la metodología de mitigación más exitosa.

Una vez ocurrido el derrame o la pérdida, será necesario responderse estas preguntas:
Es necesario remediar el sitio?

Cuales son los objetivos a alcanzar?

Cual es el sistema de remediación a emplear?

Cuánto tiempo demandará el logro de esos objetivos?

Las respuestas solo podrán obtenerse con el conocimiento detallado del medio y su correcta interpretación dependerá de la confiabilidad de nuestros estudios de base.

Implementar sistemas de remediación sin haber obtenido las respuestas adecuadas redundará en altos costos, mayores tiempos y posiblemente fracaso en los objetivos.

Fase Libre No Acuosa

Fase Libre No Acuosa Liviana

Fase Libre No Acuosa Densa

Caracterizacion Zonal del Subsuelo

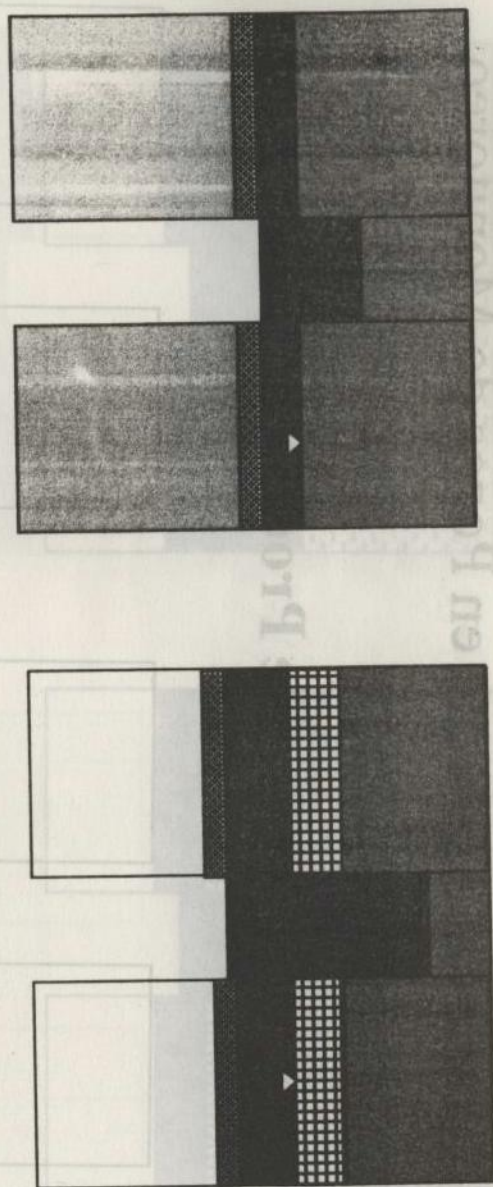
Contaminacion de Agua Subterranea

Graficos de Remediation

Fase Libre No Acuosa

Espesor Aparente en Pozos de Monitoreo

Tamaño de Grano

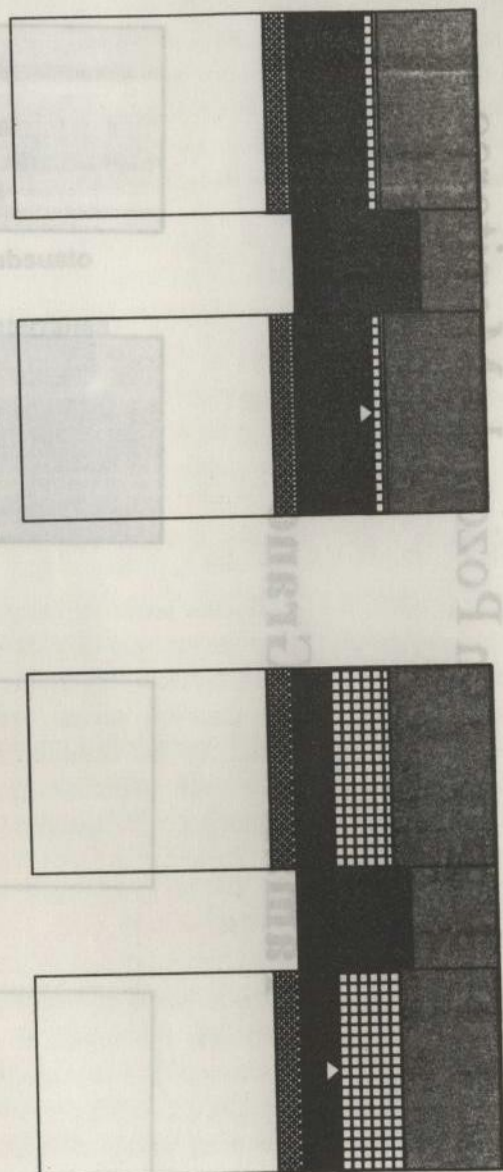


Fino Grueso

Fase Libre No Acuosa

Espesor Aparente en Pozos de Monitoreo

Espesor de Producto

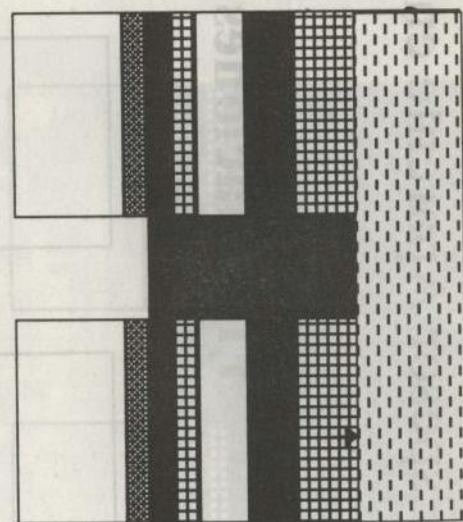


Manto Fino **Manto Grueso**

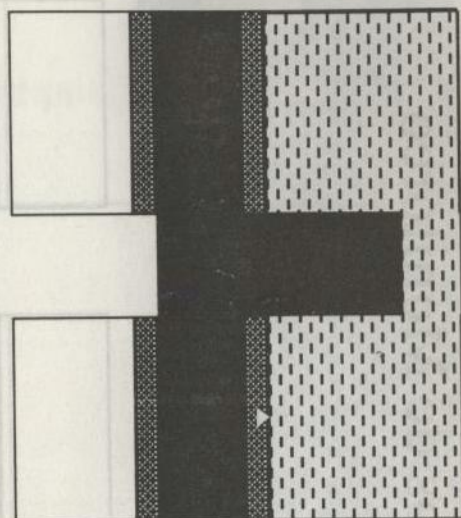
Fase Libre No Acuosa

Espesor Aparente en Pozos de Monitoreo

Tipo de Acuíferos Involucrado



Lente

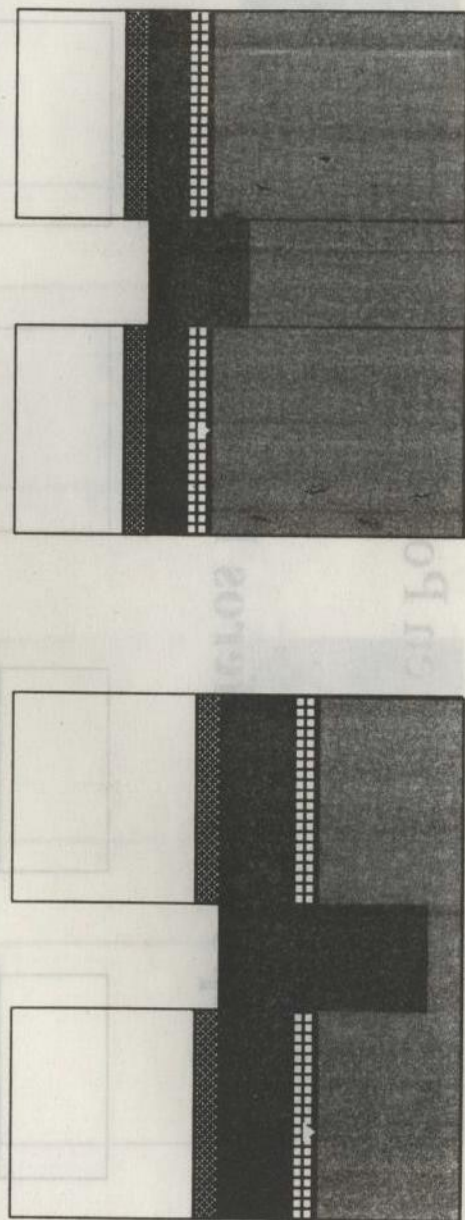


Lente + Manto Acuífero

Fase Libre No Acuosa

Espesor Aparente en Pozos de Monitoreo

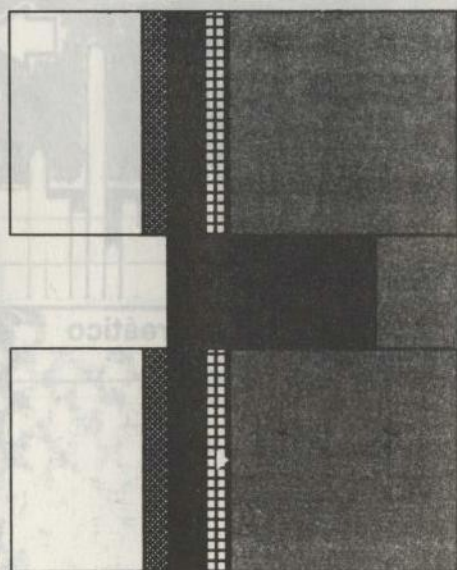
Fluctuaciones de Nivel



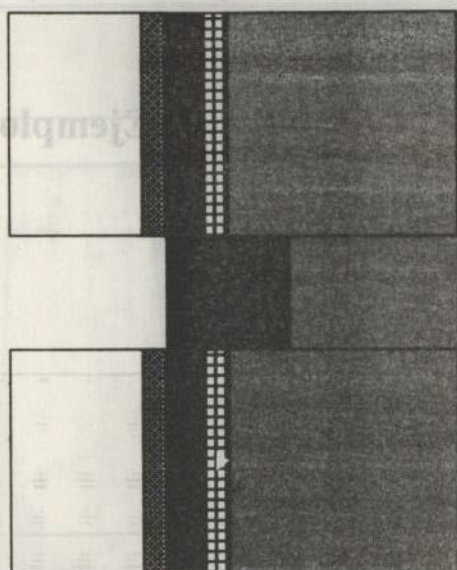
Fase Libre No Acuosa

Espesor Aparente en Pozos de Monitoreo

Tipo de Producto



Productos Pesados



Productos Livianos

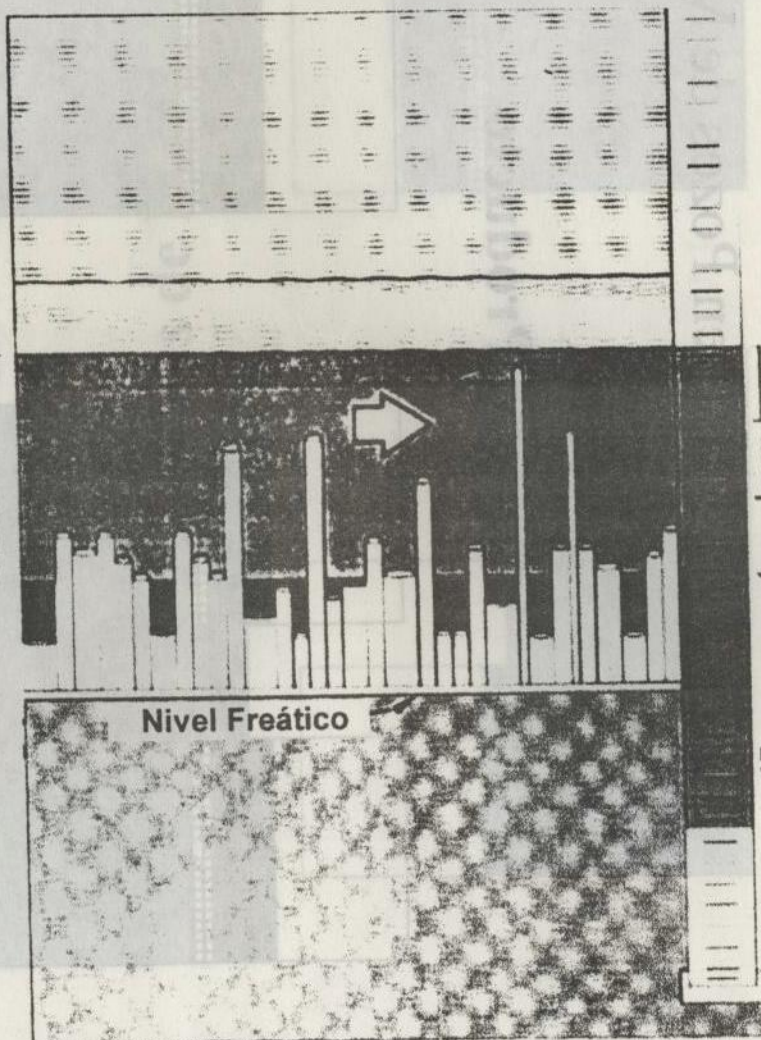
Fase libre no acuosa liviana

Espesor real y aparente

Ejemplo 1

Espesor real en la formación

Pozo

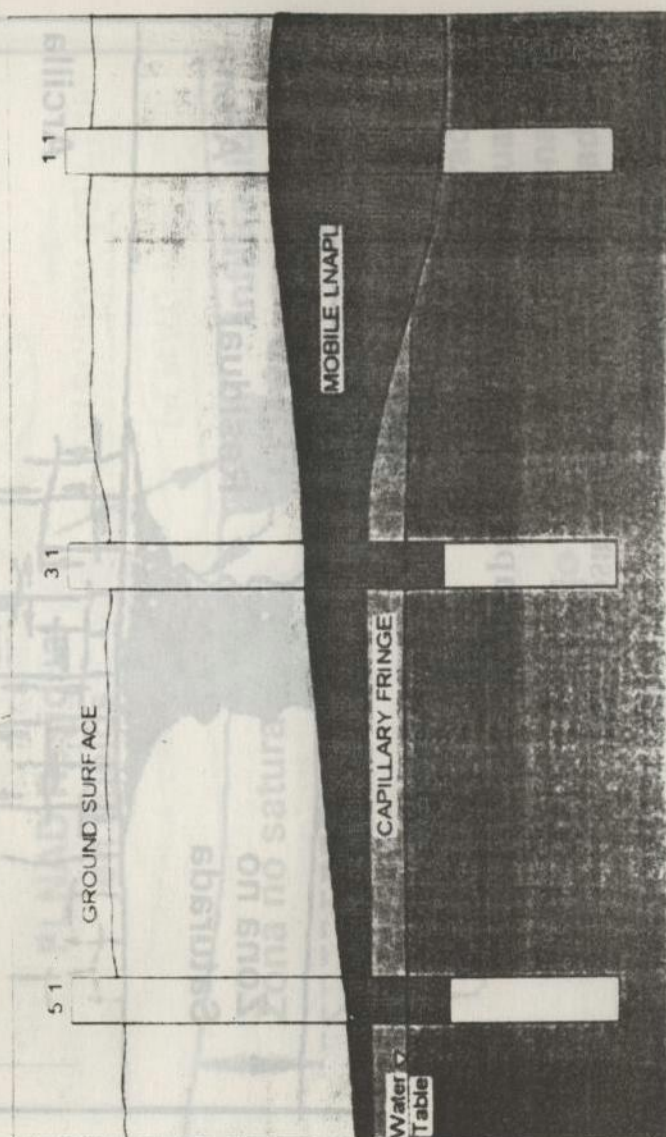


'Espesor aparente en el pozo

Fase Libre No Acuosa Liviana

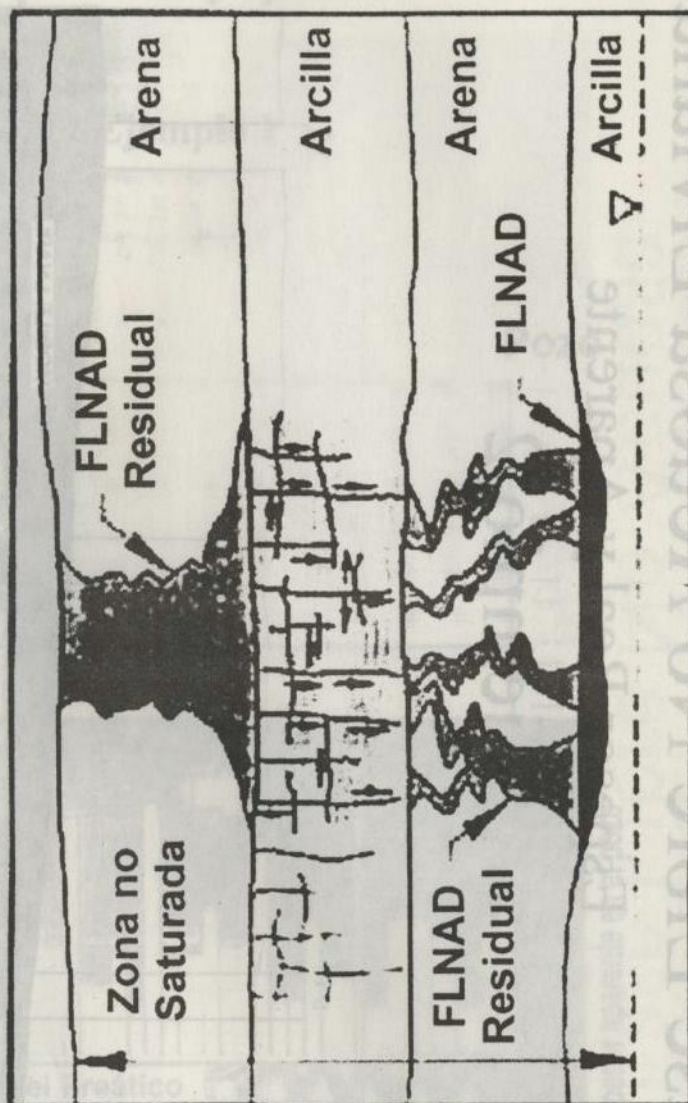
Espesor Real y Aparente

Ejemplo 2



Movimiento de una Fase Libre No Acuosa Densa

Ejemplo 1



Ejemplo 2

FLNAD Residual en suelos

Infiltración

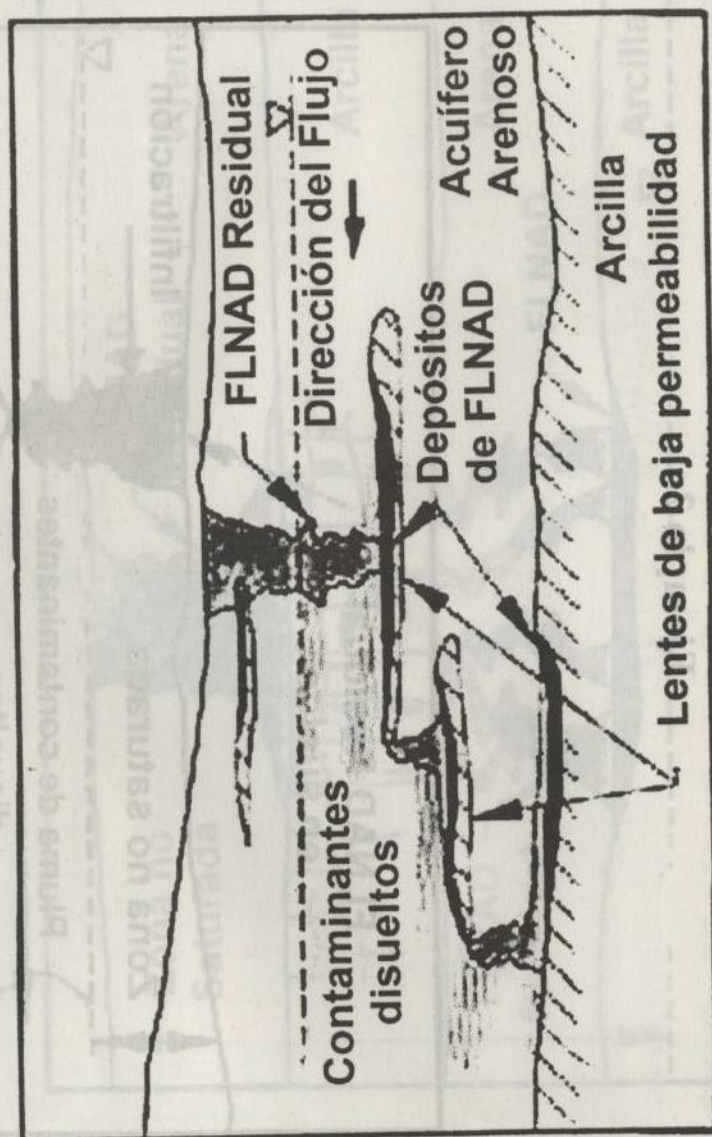
Zona no saturada

Pluma de contaminantes
disueltos

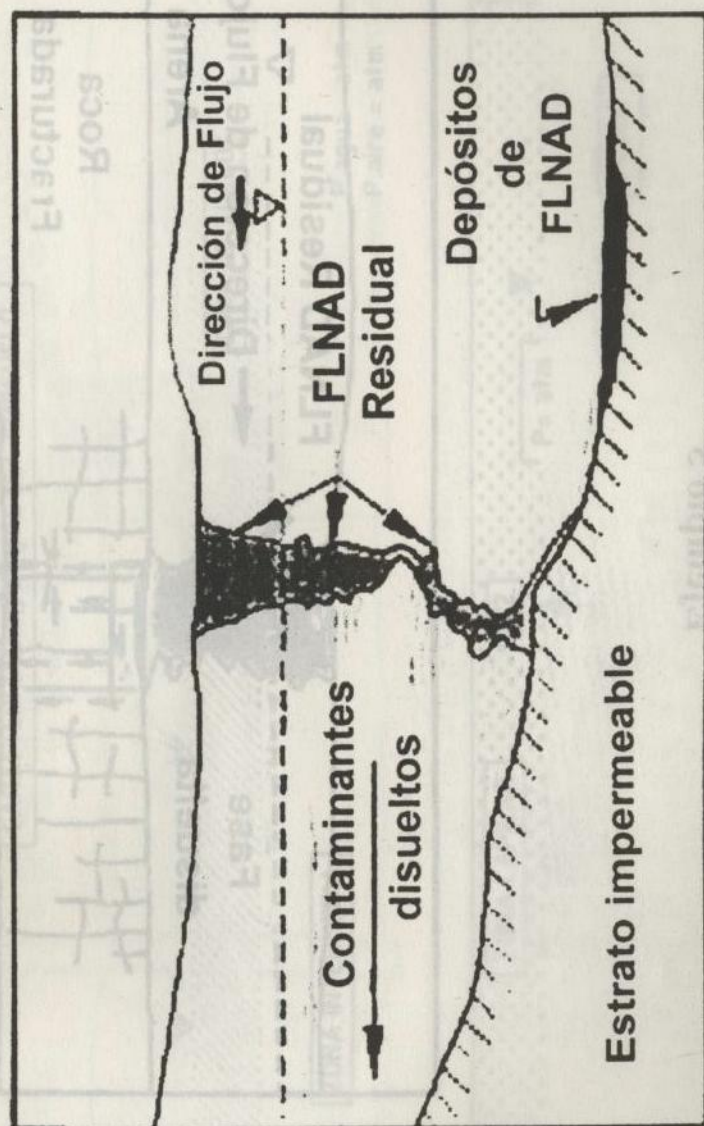
Saturación
residual
en zona
saturada

Dirección del Flujo

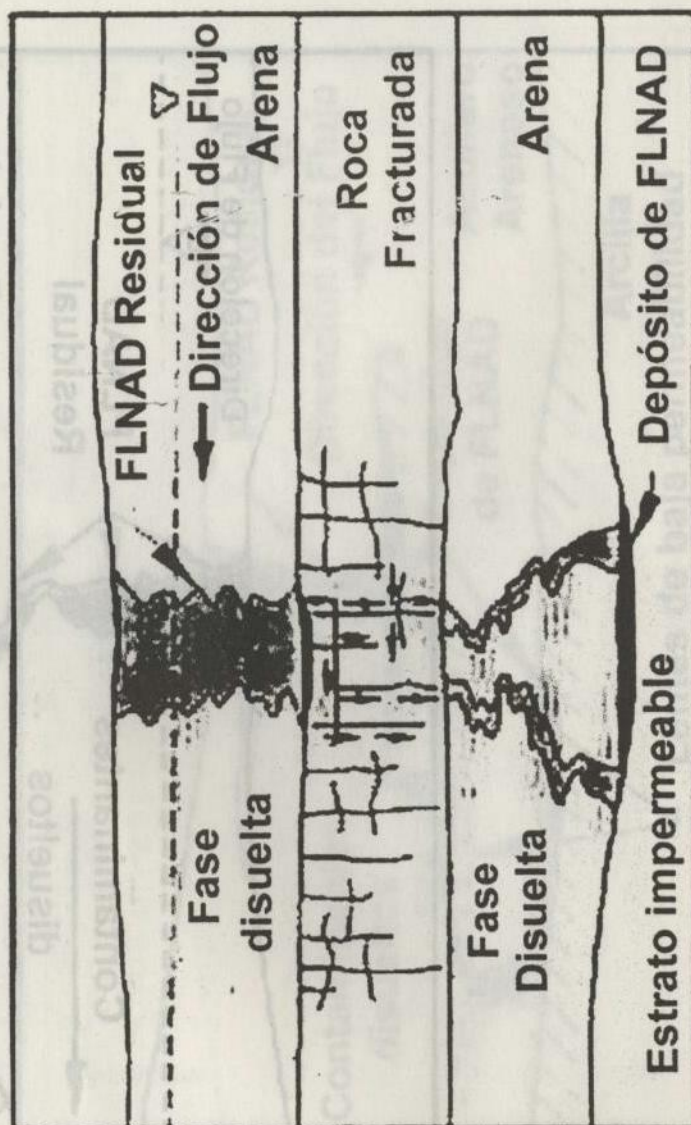
Ejemplo 3



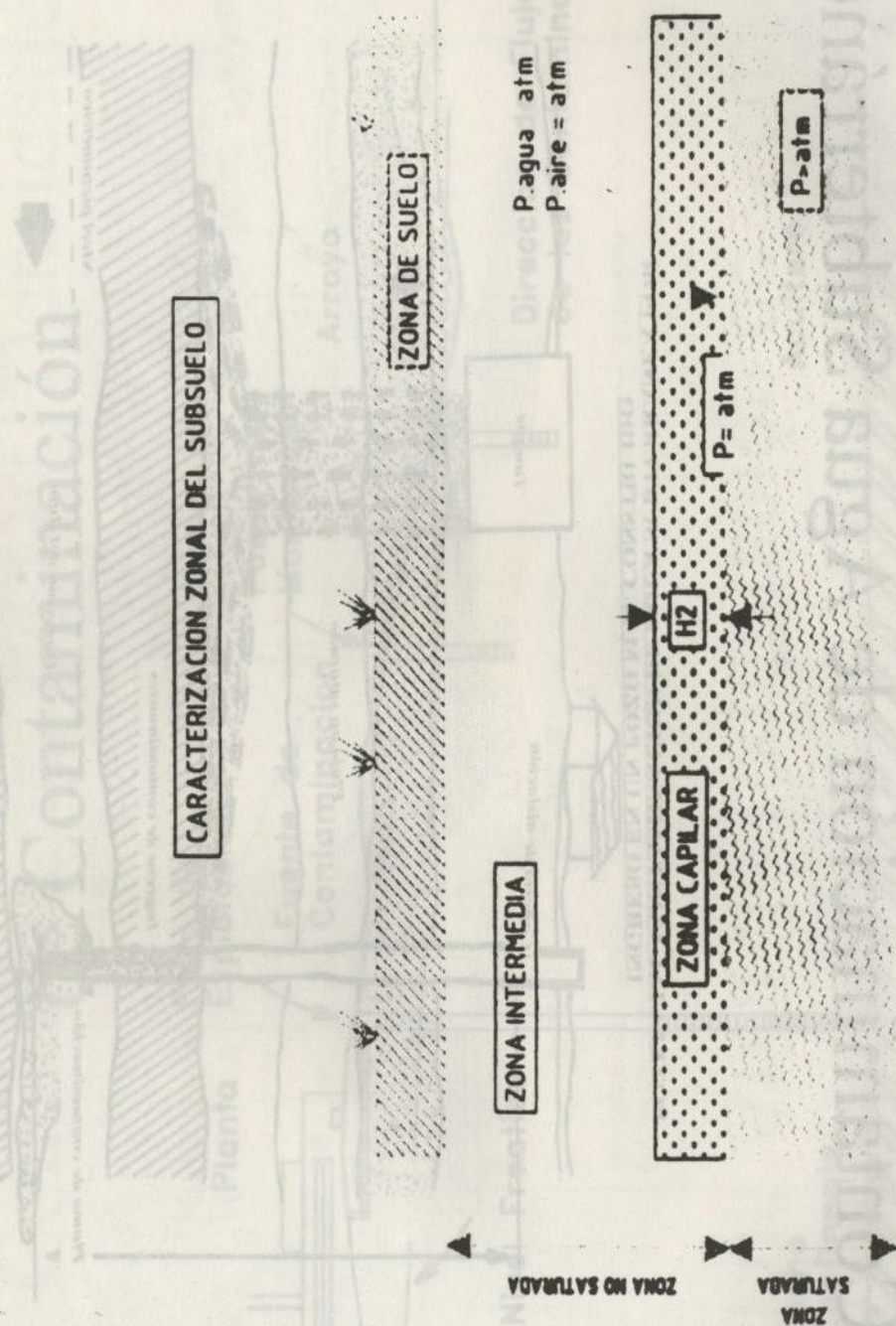
Ejemplo 4



Ejemplo 5

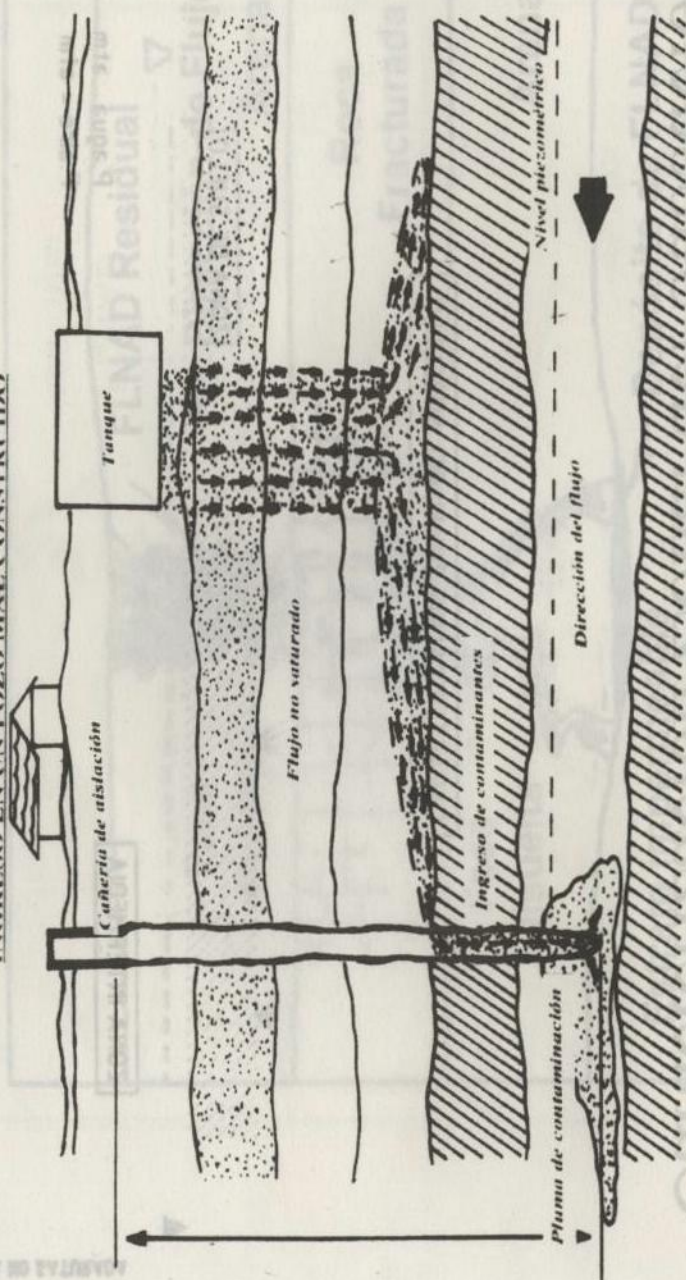


Caracterización Zonal del Subsuelo

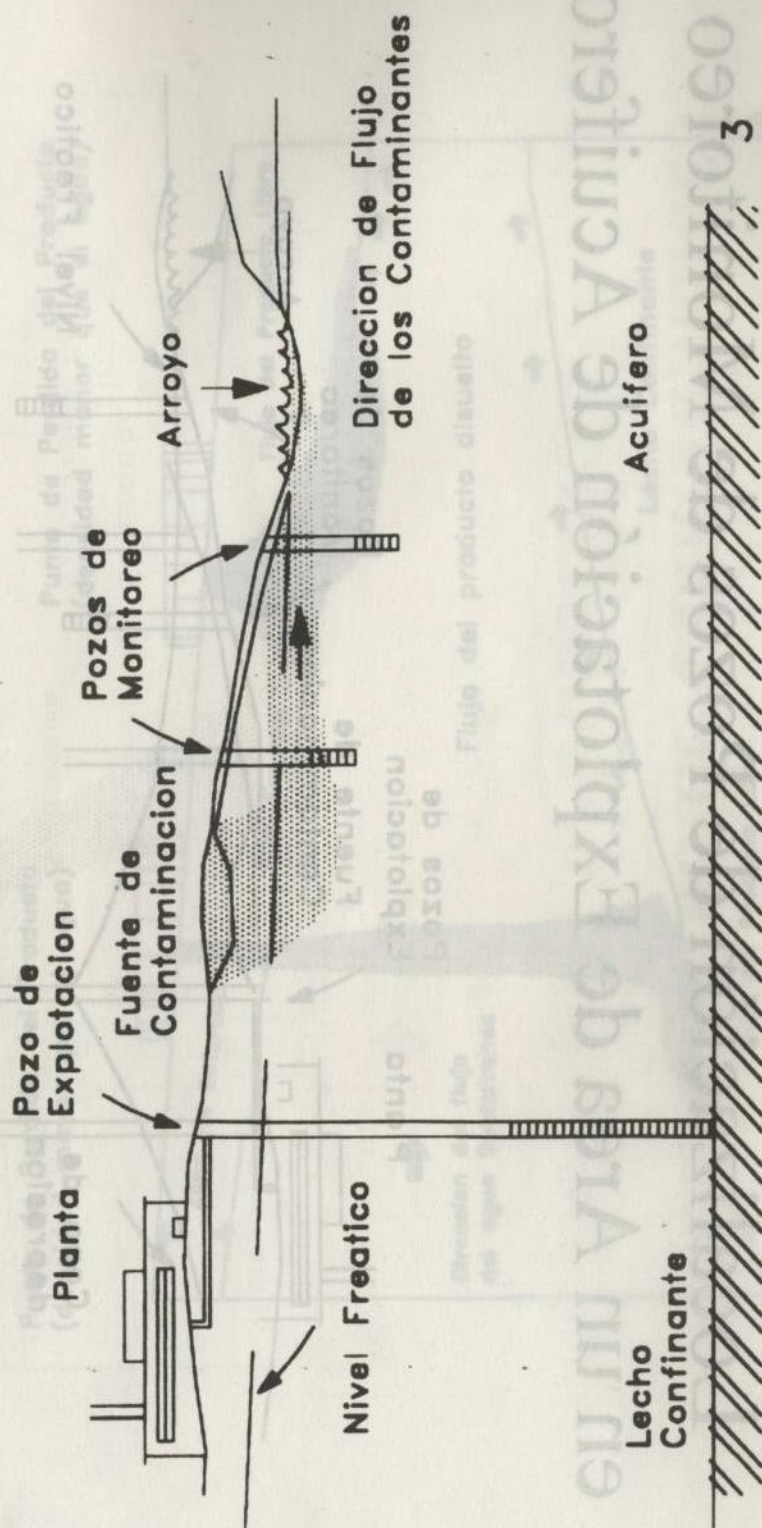


Contaminación de Agua Subterránea

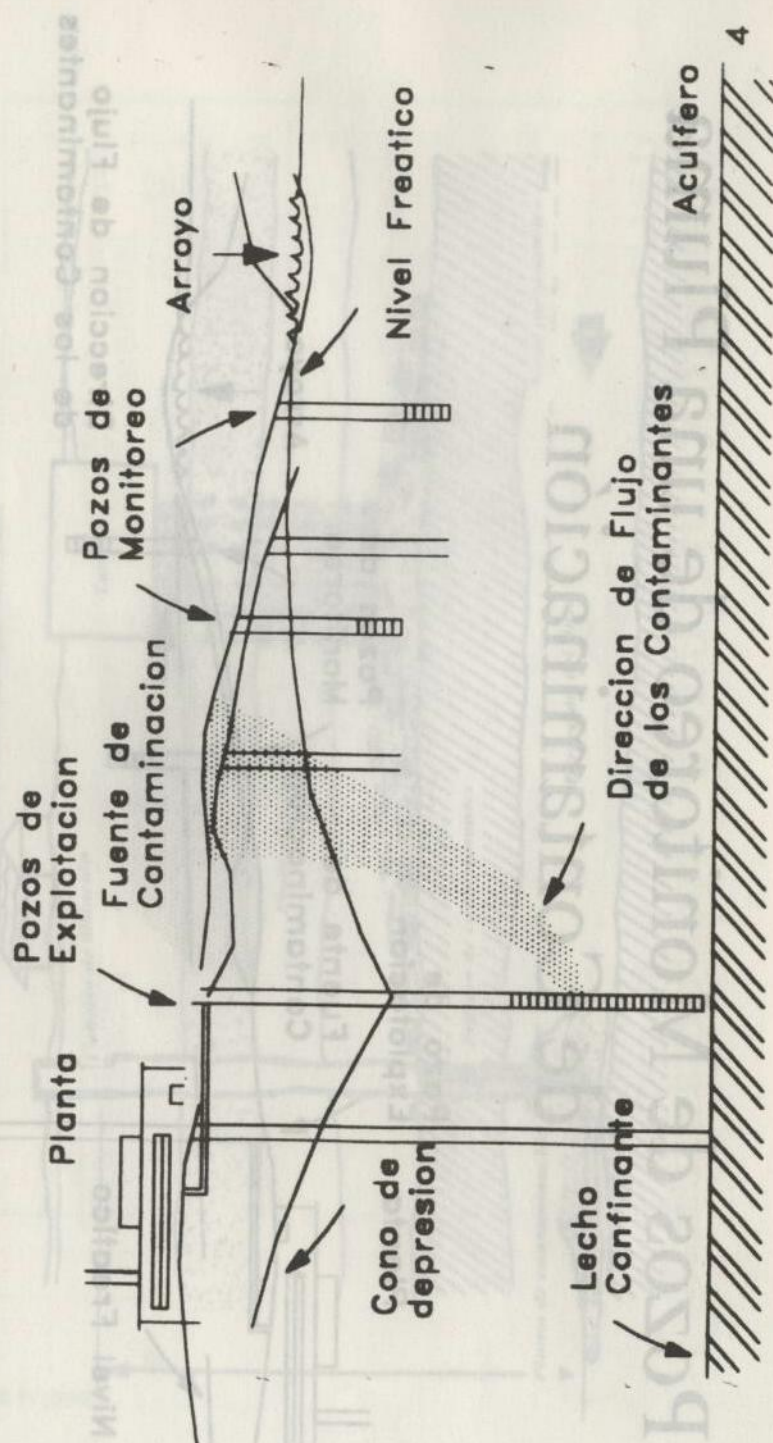
POTENCIAL CONTAMINACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA POR INGRESO EN UN POZO MAL CONSTRUÍDO



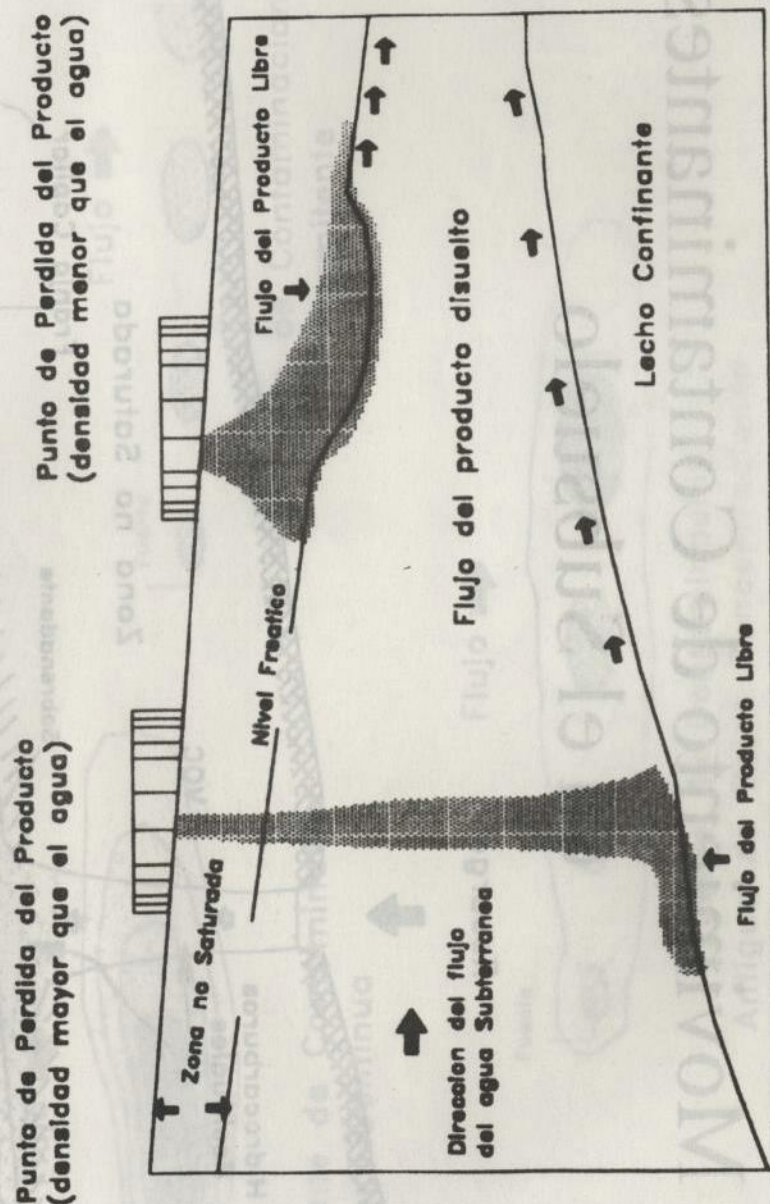
Pozos de Monitoreo de una Pluma de Contaminación



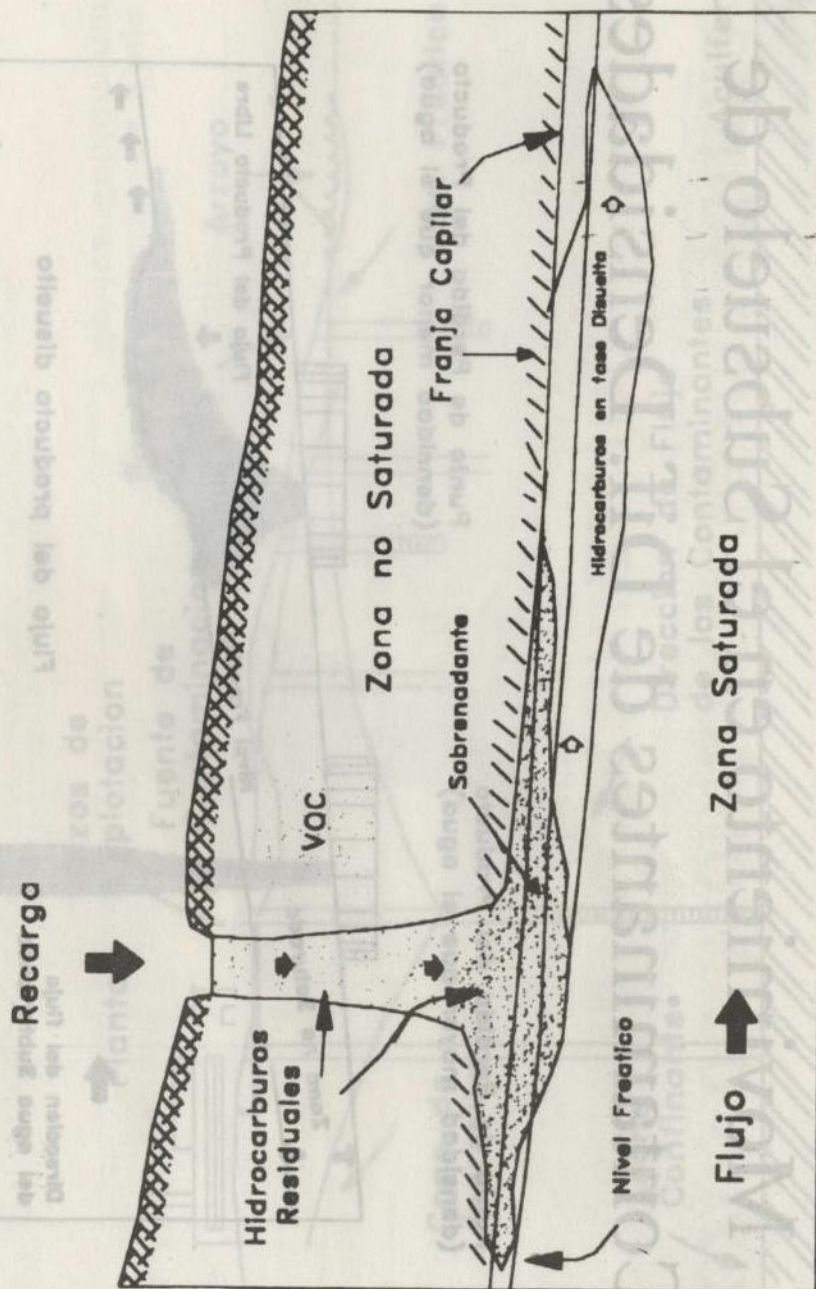
Localización de Pozos de Monitoreo en un Area de Explotación de Acuíferos



Movimiento en el Subsuelo de Contaminantes de Dif. Densidades



Movimiento de Contaminantes en el Subsuelo



Ejemplos de Plumas de Contaminación

