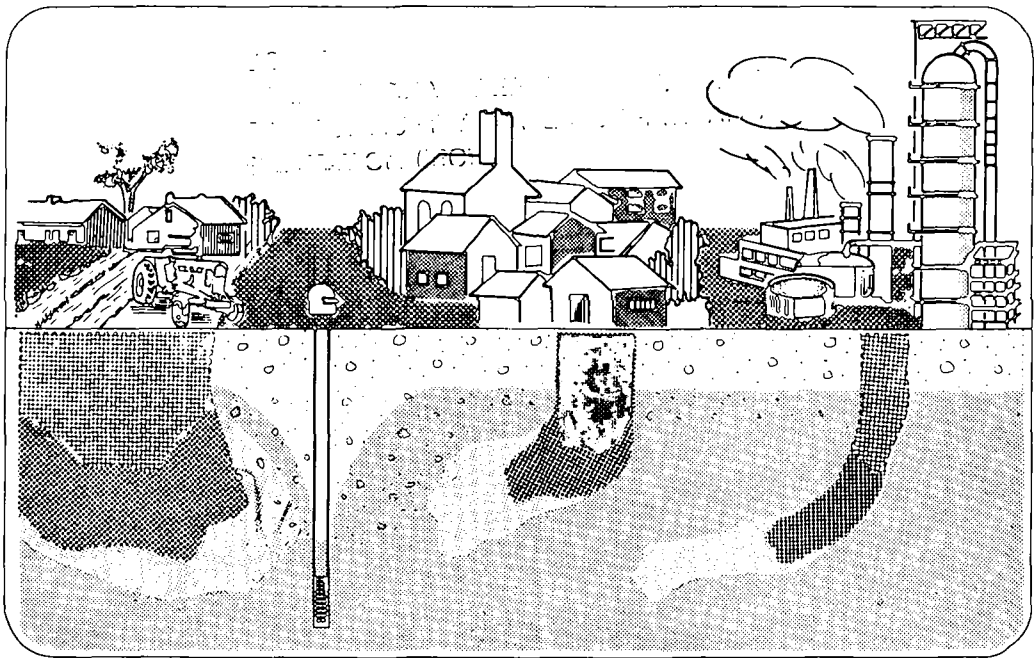




**CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA
Y CIENCIAS DEL AMBIENTE (CEPIS)**

**Programa Regional de Prevención y Control de
la Contaminación de Aguas Subterráneas**

LAS AGUAS SUBTERRANEAS:



un valioso recurso que requiere protección



ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD
CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE
Programa de Salud Ambiental CEPIS



244-07AG-5970

LIBRARY
INTERNATIONAL REFERENCE CENTRE
FOR COMMUNITY WATER SUPPLY AND
SANITATION (IRC)

RECONOCIMIENTO



ROSA BEATRIZ GOUVEA DA SILVA nació el 25 de febrero de 1952 y falleció trágicamente el 25 de junio de 1986.

Geóloga y Doctora en Ciencias del Instituto de Geociencias de la Universidad de Sao Paulo; Doctorada, Tercer ciclo, en la Universidad Pierre et Marie Curie, París; Hidrogeóloga del Departamento de Aguas e Energía Eléctrica (DAEE), de Sao Paulo, Brasil.

Al iniciarse el Programa Regional sobre Prevención y Control de la Contaminación de Aguas Subterráneas, se contó con la invaluable colaboración de Rosa como integrante del Programa de Profesionales

Jóvenes del CEPIS, cuyos conocimientos y dedicación al campo de la hidrogeología fueron factores importantes para el desarrollo del Programa.

La calidad humana y auténtica vocación profesional de Rosa ha motivado el profundo reconocimiento de todos sus compañeros de trabajo que tuvimos la suerte de compartir su presencia, optimismo y alegría, cualidades que recordaremos en nuestro diario quehacer.

LIBRARY, INTERNATIONAL REFERENCE
CENTRE FOR COMMUNITY WATER SUPPLY
AND SANITATION (IRC)

P.O. Box 93150, 2309 AD The Hague

Tel. (070) 814911 ext. 141/142

RN: ISN 5970

LO: 244 87 AG

PRESENTACION

El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), está promoviendo un Programa Regional sobre la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas Subterráneas, consciente de la importancia de las mismas en la preservación de la salud de la población.

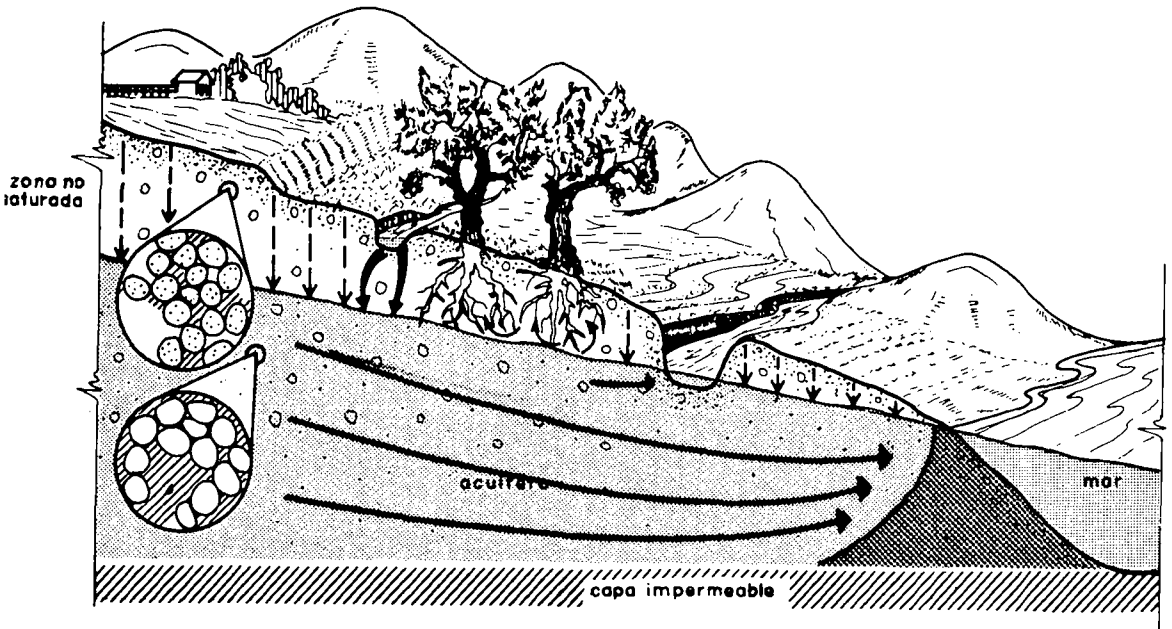
Dentro de los objetivos de este programa, se encuentra la elaboración de manuales sobre la protección del recurso hídrico subterráneo. El presente Folleto de Alerta pretende difundir, mediante un lenguaje sencillo, la problemática de la degradación de la calidad de las aguas subterráneas a fin de que se tome conciencia del problema y se formulen las medidas correctivas pertinentes.

PERSONAL PARTICIPANTE

Ing. Alberto Flórez Muñoz	Director del CEPIS
Ing. Henry Salas	Asesor en Polución de Agua, CEPIS
Dr. Ing. Stephen Foster	Asesor en Aguas Subterráneas, CEPIS
Dra. Rosa Gouvea da Silva	Profesionales Jóvenes del Programa sobre Prevención y Control de la Contamina- ción de Aguas Subterráneas, CEPIS
Ing. Miguel Ventura	
Ing. Ricardo C.A. Hirata	
Sra. Sonia de Victorio	Secretarías Bilingües de CEPIS
Sra. Isabel de Risso	
Sr. Luis A. Espinoza	Técnico Impresor, CEPIS
Srta. Jessica Farfán	Programa Ciencias de la Comunicación, Universidad de Lima

¿QUE SON LAS AGUAS SUBTERRANEAS?

Cuando caen lluvias al suelo, una parte de ellas se infiltra en la tierra. Mientras que una proporción de estas aguas será absorbida por las raíces de las plantas, algo se infiltrará más profundamente, por gravedad. Eventualmente, ésta se acumulará encima de una capa impermeable, saturando los poros del suelo y formando un reservorio subterráneo.



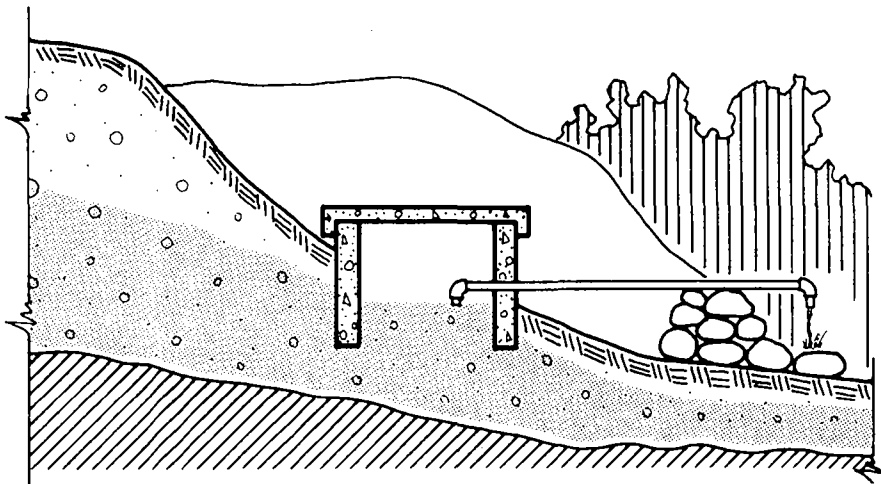
Esta agua que permanece bajo tierra es conocida como agua subterránea. El reservorio subterráneo del cual se pueden extraer cantidades significativas de agua se llama acuífero. El suelo sobre el acuífero, a través del cual el exceso del agua de lluvias pasa verticalmente, se conoce como la zona no saturada y que se caracteriza por tener poros conteniendo aire y agua. El límite entre la zona no saturada y el acuífero define el nivel freático.

IMPORTANCIA DEL AGUA SUBTERRANEA

Las aguas subterráneas constituyen cerca del 95% del agua dulce de nuestro planeta, sin tomar en cuenta aquella que se encuentra en las capas de hielo polar. En contraste, el agua de los ríos y

lagos representa menos del 5%. Este hecho le brinda una importancia fundamental al agua subterránea con respecto a la vida humana y a la actividad económica.

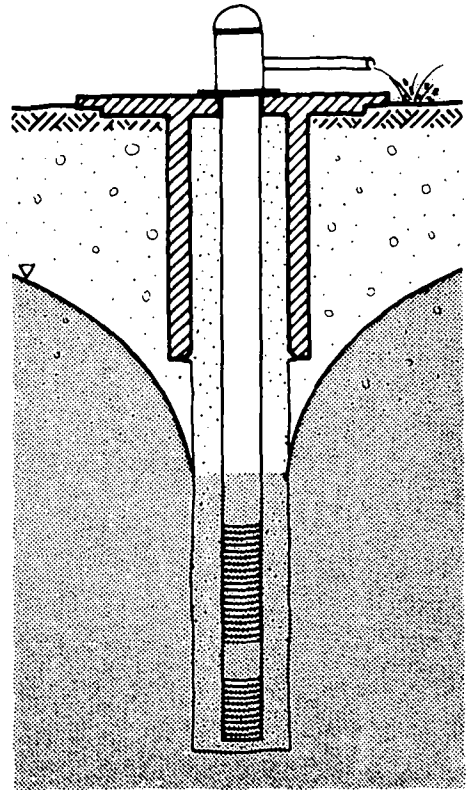
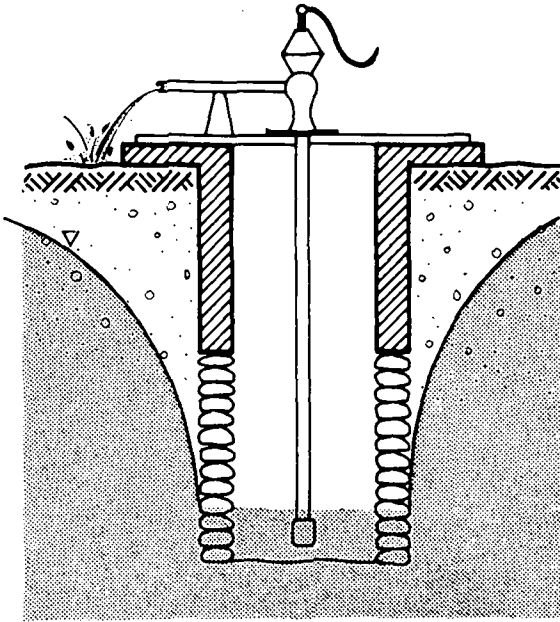
Para explotar acuíferos el hombre algunas veces puede utilizar manantiales donde el agua brota espontáneamente, pero normalmente se tiene que construir pozos para extraer el agua subterránea.



Tipos de pozos

Los pozos excavados son siempre de gran diámetro y normalmente hasta de 15 metros de profundidad. Se excavan manualmente y, por lo tanto, usualmente se revisten con piedras, ladrillos o cemento. El agua subterránea puede extraerse con bombas de poca capacidad accionadas por motores eléctricos o a gasolina, con energía de viento o manual, o utilizando baldes.

Los pozos tubulares se perforan mecánicamente, por lo tanto, son de diámetros menores, pero su profundidad puede variar de decenas a centenas de metros. Normalmente estos pozos están revestidos con tubos de acero o plástico que incluyen secciones de filtros especiales que facilitan la entrada del agua subterránea. Esta agua se extrae utilizando bombas que pueden ser accionadas por motores eléctricos o a gasolina, o por aire comprimido.

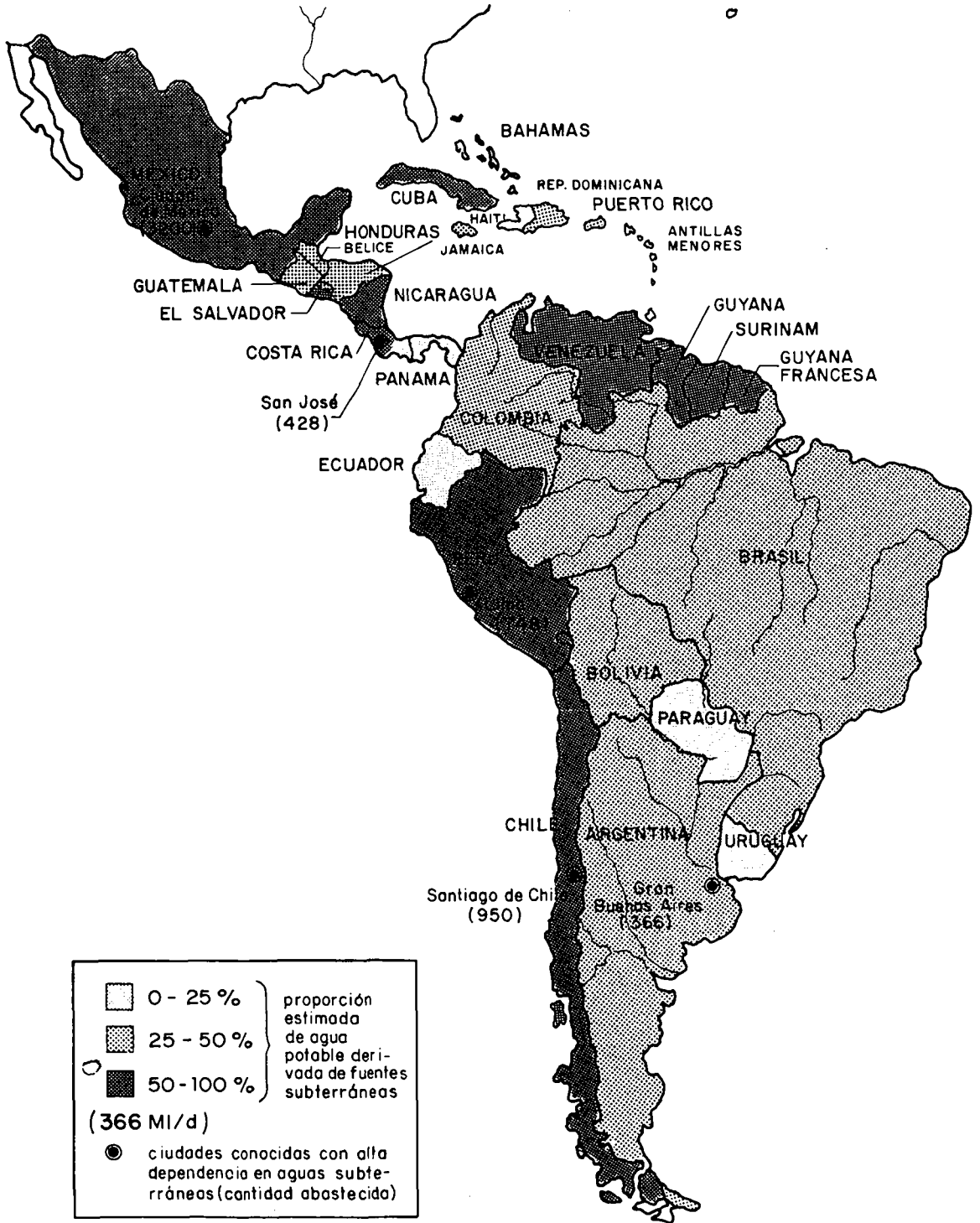


Ventajas del abastecimiento del agua subterránea

El agua subterránea tiene ventajas importantes sobre el agua superficial como fuente de abastecimiento de agua potable, especialmente para cumplir las pequeñas y medianas demandas que incluyen:

- el costo de desarrollo del abastecimiento es normalmente mucho menor,
- la calidad natural es generalmente adecuada para consumo humano sin mucho tratamiento.

El agua subterránea también representa una segura reserva estratégica de agua potable para el caso de desastres naturales o de guerras.



Uso regional del agua subterránea

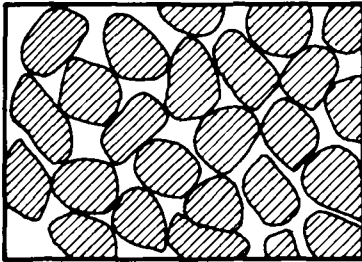
La explotación del agua subterránea en la región de Latinoamérica y el Caribe se ha incrementado grandemente en los últimos 20 años como resultado del crecimiento general de la demanda de agua y del deterioro en la calidad de muchos ríos debido a una creciente carga de desagues y de efluentes industriales y agrícolas.

El mapa anterior muestra en términos generales el nivel de utilización del agua subterránea para el abastecimiento público de agua.

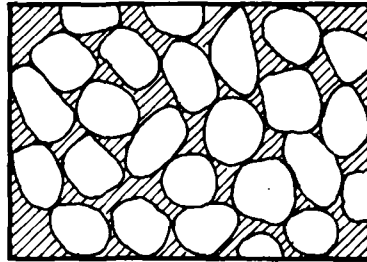
¿COMO ESTA ALMACENADA EL AGUA SUBTERRANEA EN LOS ACUIFEROS?

Los poros de los acuíferos están conectados para formar un sistema de pequeños tubos en los que el agua subterránea se almacena y circula muy lentamente. Todos los acuíferos tienen dos características fundamentales, una es la capacidad para el almacenar agua subterránea y la otra es la capacidad para transportarla. El volumen total de agua almacenada es usualmente muy grande con relación a la tasa de flujo a través del sistema.

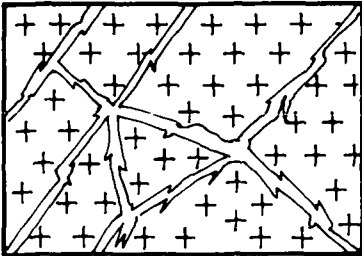
Pero no todos los acuíferos son iguales.



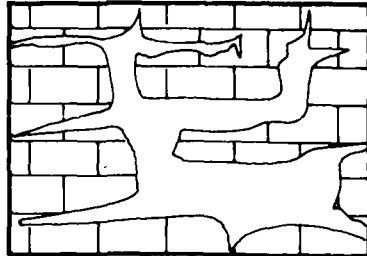
A



B



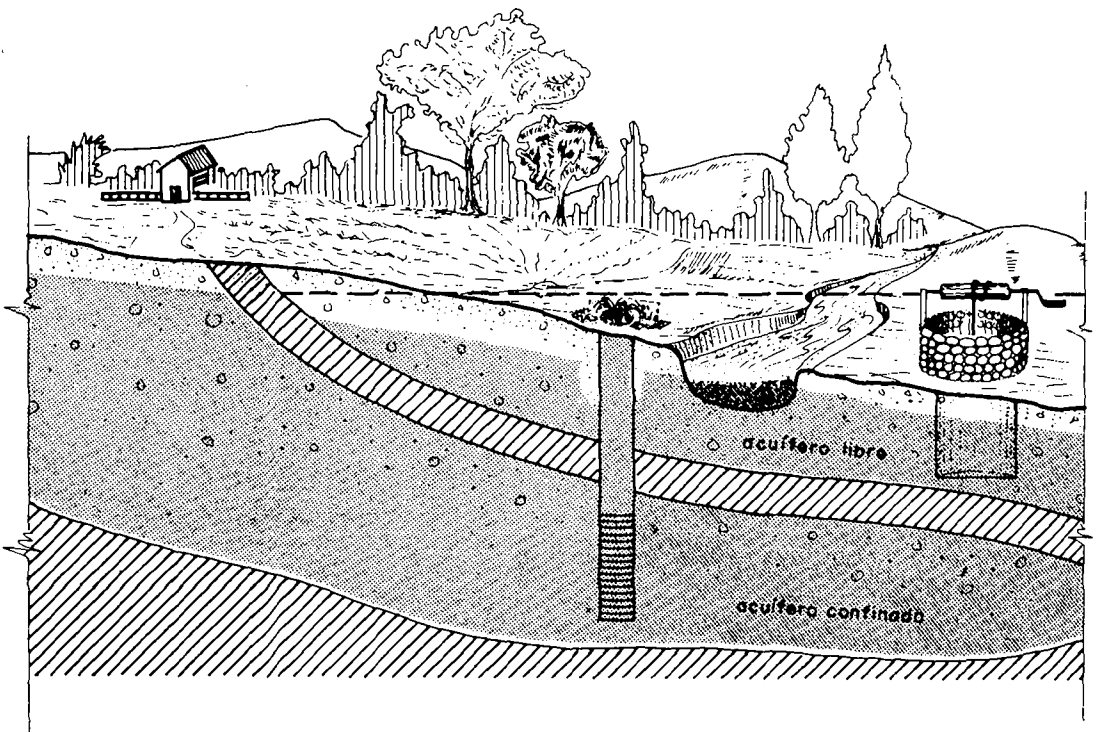
C



D

Los sedimentos granulares no consolidados, tales como arenas (A), contienen poros entre los granos y, por lo tanto, el contenido de agua puede exceder el 30% de su volumen total; pero esto se reduce progresivamente con aglutinaciones (B). En rocas altamente compactas (C), el agua subterránea se encuentra en las fracturas y raramente sobrepasa el 1% del volumen de la masa de roca. Sin embargo, en el caso de rocas calizas (D), por ejemplo, estas fracturas tienden a agrandarse por solución para formar fisuras y cavernas.

Toda el agua dulce encontrada bajo tierra debe tener una fuente de recarga. Esta es normalmente el agua de lluvias pero algunas veces también puede provenir de ríos, lagos y canales. Los sistemas de aguas subterráneas son dinámicos y el agua está continua y lentamente en movimiento desde las áreas de recarga hacia las áreas de descarga. La descarga de aguas subterráneas es la fuente más común del flujo en ríos de tierras bajas en estación seca.



Decenas, centenas y aún millares de años pueden pasar durante la circulación del agua a través de esta parte subterránea del ciclo hidrológico, ya que las tasas de flujo, normalmente, no sobrepasan 10 metros por día y pueden ser tan lentas como de 1 metro por año o aún menos. Estas tasas se pueden comparar con las de 1 metro por segundo para flujos típicos de ríos.

En áreas de recarga, los acuíferos poco profundos están generalmente libres, pero en otros lugares y a profundidades mayores se puede encontrar que las aguas subterráneas están confinadas por estratos impermeables. En este caso, cuando se perforan los pozos, el agua se encuentra bajo presión y sube por sí sola, aún hasta brotar en la superficie de la tierra.

¿PORQUE NECESITAN PROTECCION LOS ACUIFEROS?

A pesar de la importancia de los recursos de aguas subterráneas para abastecimiento de agua potable, existe poca o ninguna preocupación acerca de su protección. En consecuencia, han comenzado a aparecer problemas serios en varias áreas.

EL AGUA SUBTERRANEA HA SIDO ABANDONADA A SU SUERTE

Sobreexplotación de los recursos de aguas subterráneas

La extracción sin control, que excede la recarga natural de un acuífero causa una caída continua de los niveles del agua subterránea y resulta en un aumento del costo de bombeo, en la reducción del rendimiento de los pozos, en la intrusión de agua salina al acuífero en regiones costeras y, bajo condiciones extremas, en el hundimiento de la tierra.

Contaminación del agua subterránea

Esto ocurre cuando los contaminantes se infiltran hasta las aguas subterráneas, y comúnmente está causada por una descarga no controlada en la superficie. Pueden ocurrir problemas serios persistentes y aún irreversibles en los acuíferos y deterioros en la calidad de los abastecimientos de agua, ya que nadie puede ver lo que está sucediendo debajo de la tierra; inicialmente existe poca preocupación pública.

OJOS QUE NO VEN, CORAZON QUE NO SIENTE

En algunas áreas la necesidad de fuentes adicionales de agua es tan agobiante que quizás se puede entender que la protección de acuíferos se pase por alto o se vea como una consideración menor. Sin embargo, si se permite que continúe una sobreexplotación o una contaminación significativa, esto podría resultar finalmente en el abandono de pozos, con la consiguiente pérdida tanto de la inversión como de la esperanza.

Estándares de calidad del agua potable

La mayoría de las aguas subterráneas son naturalmente de excelente calidad en lo que se refiere a claridad y color. Ellas raramente parecen estar contaminadas, aún cuando estén contaminadas química o microbiológicamente. Sin embargo, como resultado de la contaminación, su composición puede deteriorarse hasta niveles preocupantes para la salud, y algunas veces, del sabor. La siguiente tabla muestra sólo algunos de los muchos compuestos cuya concentración no debe exceder la guía indicada, de acuerdo a recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Deberá notarse que en la mayor parte de los casos la guía está expresada en miligramos (un milésimo de gramo) por litro de agua (mg/l).

Extractos de las Guías para la Calidad del Agua para Abastecimiento Potable de la OMS (1984)

COMPUESTO	GUIA		CRITERIO
	Valor	Unidad	
Cloruro	250*	mg/l	sabor
Cromo	0.05	mg/l	salud
Plomo	0.05	mg/l	salud
Nitrato	45	mg/l	salud
Sulfato	400	mg/l	sabor
Bacteria fecal	< 1	en 0.1 litro	salud
Pesticidas clorinados**	< 0.001	mg/l	salud
Solventes clorinados**	< 0.03	mg/l	salud

* Puede estar presente también naturalmente en mayor cantidad que este valor.

** La mayoría de este tipo de compuesto.

¿CUALES SON LAS CAUSAS DE LA CONTAMINACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS?

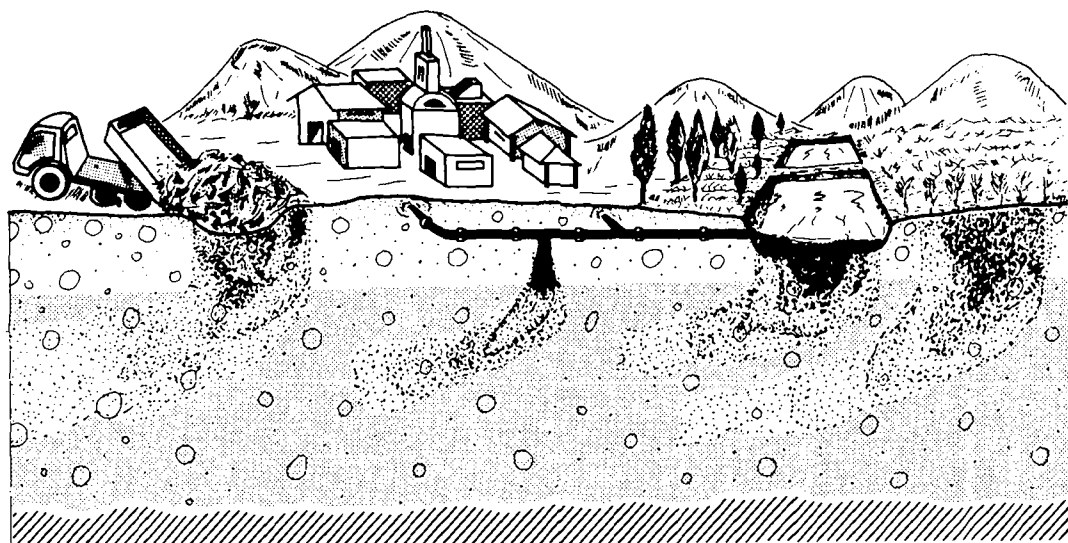
La contaminación de las aguas subterráneas normalmente es una consecuencia de las actividades del hombre en la superficie. Las causas pueden dividirse en un número de grupos distintos.

Contaminación de origen urbano

Las aguas residuales domésticas y los desechos sólidos contienen altas concentraciones de organismos fecales, de materia orgánica y de compuestos de nitrógeno. Si se descargan o se infiltran al subsuelo, el agua subterránea puede contaminarse por patógenos bacteriales y virales incluyendo aquellos que causan diarrea, tifoidea y hepatitis; y por nitratos, amonias, detergentes, desinfectantes y otras sustancias químicas. Estos pueden convertir el agua en no potable en base a su peligro sobre la salud o a su sabor desagradable.

DONDE EL AGUA VA, LA ENFERMEDAD SIGUE SUS PASOS

La mayor amenaza sobre la calidad del agua subterránea se presenta cuando se urbaniza sin alcantarillado en acuíferos vulnerables (a) con napas freáticas poco profundas, (b) con infiltración de aguas residuales y de ríos contaminados por descarga de desagües, y (c) con lixiviación de desechos domésticos en vertederos y, en menor grado, de rellenos sanitarios.



LIXIVIACION DE
RELLENOS SANITARIOS
Y BASURALES

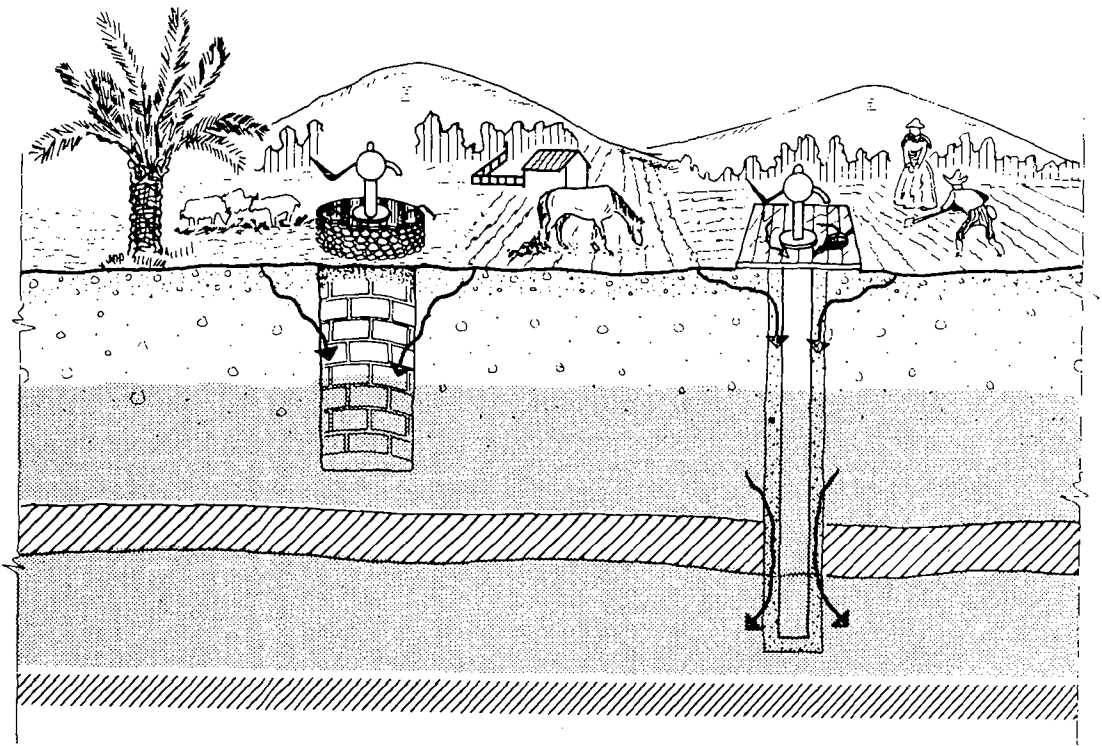
FUGAS DE
ALCANTARILLADOS

LAGUNAS Y RIEGO DE
AGUAS SERVIDAS

Acabado sanitario inadecuado de pozos

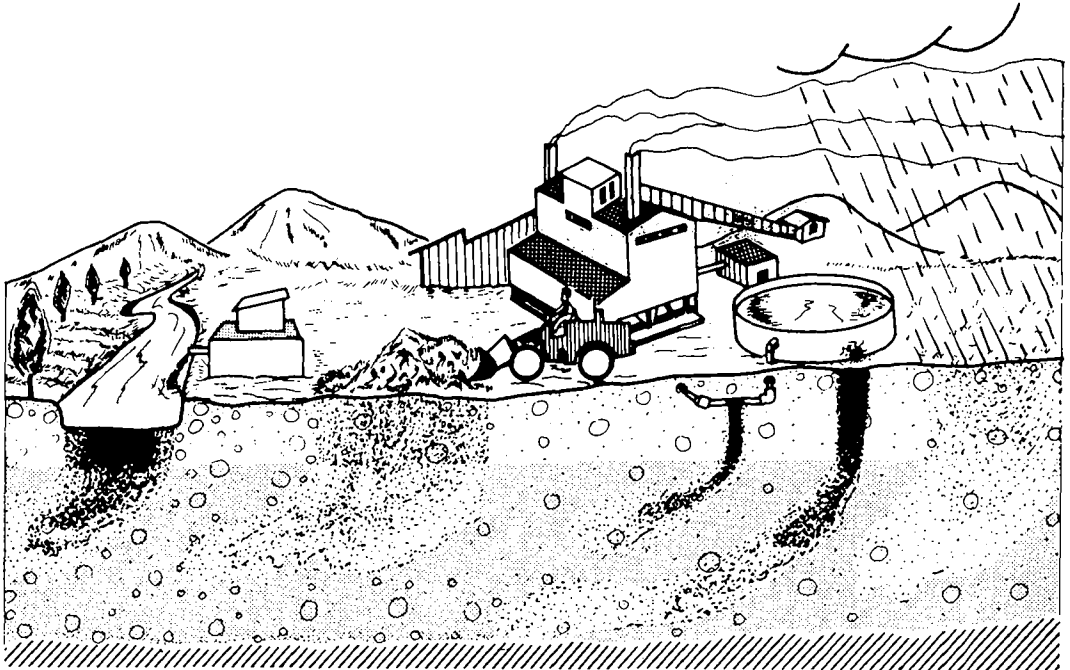
Una causa muy frecuente de contaminación microbiológica de las aguas subterráneas es el ingreso directo de drenaje superficial contaminado en los alrededores de los pozos, especialmente donde los abastecimientos de agua no son entubados y el público y el ganado tienen acceso directo a la fuente. Esto se previene con un acabado sanitario apropiado de los pozos. Igualmente, puede ocurrir contaminación, aún en acuíferos confinados, si los pozos pasan a través de un acuífero contaminado poco profundo que no está adecuadamente sellado en la parte superior.

Aún más, los pozos fuera de uso pueden convertirse en el mayor foco de contaminación de aguas subterráneas si no están sellados adecuadamente, ya que a menudo son usados para disponer residuos. Esta es una preocupación especial en grandes ciudades, por ejemplo, Lima, Sao Paulo y México, donde, con el correr de los años, se han construido varios miles de pozos.



Contaminación de origen industrial

Numerosas industrias producen desechos líquidos, conocidos como efluentes, con concentraciones elevadas de compuestos orgánicos peligrosos y metales pesados. Aún a muy bajas concentraciones, algunas de estas sustancias químicas son tóxicas, carcinogénicas o mutagénicas.



INFILTRACION DE
RIOS CONTAMINADOS

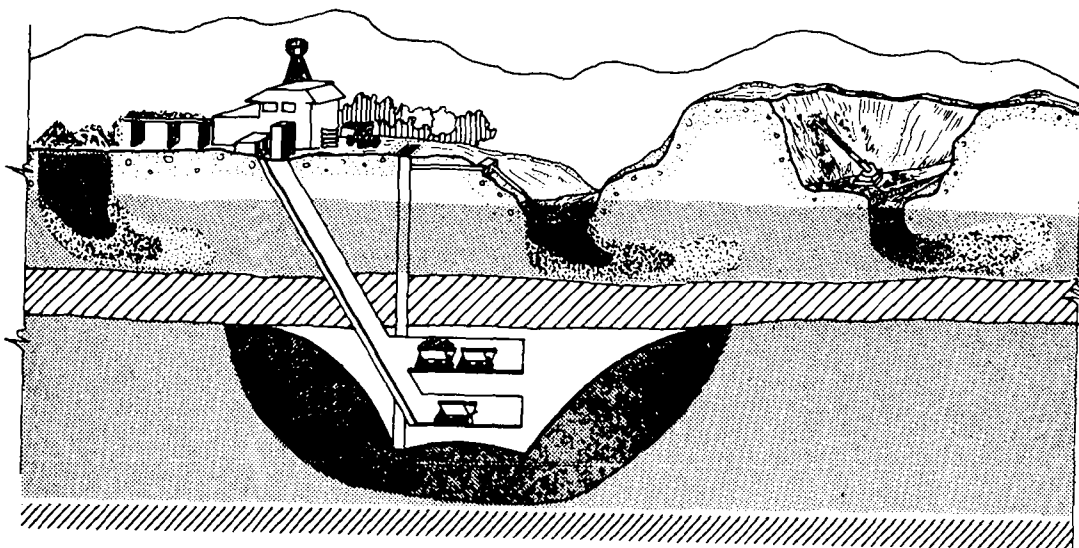
LIXIVIACION DE
MATERIALES TOXICOS

FUGAS EN
TANQUES Y
TUBERIAS

INFILTRACION DE
LLUVIAS
CONTAMINADAS

En muchos casos los efluentes que contienen tales sustancias químicas se descargan en el ambiente sin tratamiento para reducir sus efectos nocivos. Esos efluentes penetran en el agua subterránea por infiltración de las lagunas, de fosos y de ríos, o de lixiviación de deposiciones en la tierra. En otros casos, las sustancias químicas penetran en la tierra antes o durante su uso industrial, como resultado de derrames o fugas de los tanques y tuberías.

La minería es un caso especial de industria que puede tener un impacto significativo sobre la calidad del agua subterránea. Algunas de las actividades que causan contaminación de aguas subterráneas durante actividades mineras se pueden apreciar en la siguiente figura.



LIXIVIACION
DE RESIDUOS

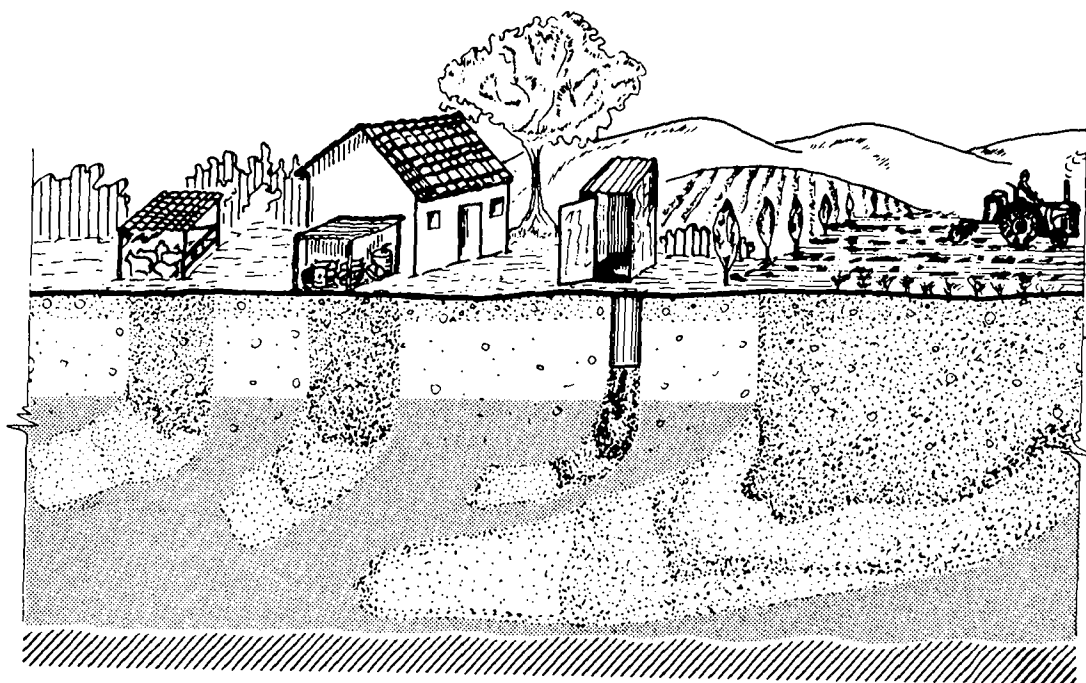
AGUAS CONTAMINADAS
DE DRENAJE

INFILTRACION
EN CANTERAS

Contaminación de origen agrícola

Las prácticas agrícolas siempre ejercen una gran influencia sobre la calidad del agua subterránea y pueden causar problemas serios bajo ciertas circunstancias. Su influencia es grande porque normalmente se realiza sobre áreas de recarga de acuíferos. De especial preocupación es el cultivo de un sólo tipo de cosecha por muchos años sobre áreas extensas con grandes aplicaciones de fertilizantes químicos y pesticidas. A esto puede agregarse la influencia de irrigación excesiva que resulta en la lixiviación de sales, nutrientes y pesticidas.

La descarga de efluentes sin control proveniente de cría intensiva de ganado también puede producir localmente una contaminación orgánica, significativa del agua subterránea.



CRIADEROS DE ANIMALES

DEPOSITOS DE COMBUSTIBLES Y PESTICIDAS

DESCARGAS DE LETRINAS

LIXIVIACION DE SUELOS CULTIVADOS

¿COMO PODEMOS EVALUAR EL RIESGO DE CONTAMINACION?

Esta es una tarea para los expertos, pero en términos conceptuales podemos decir que dependerá de dos factores:

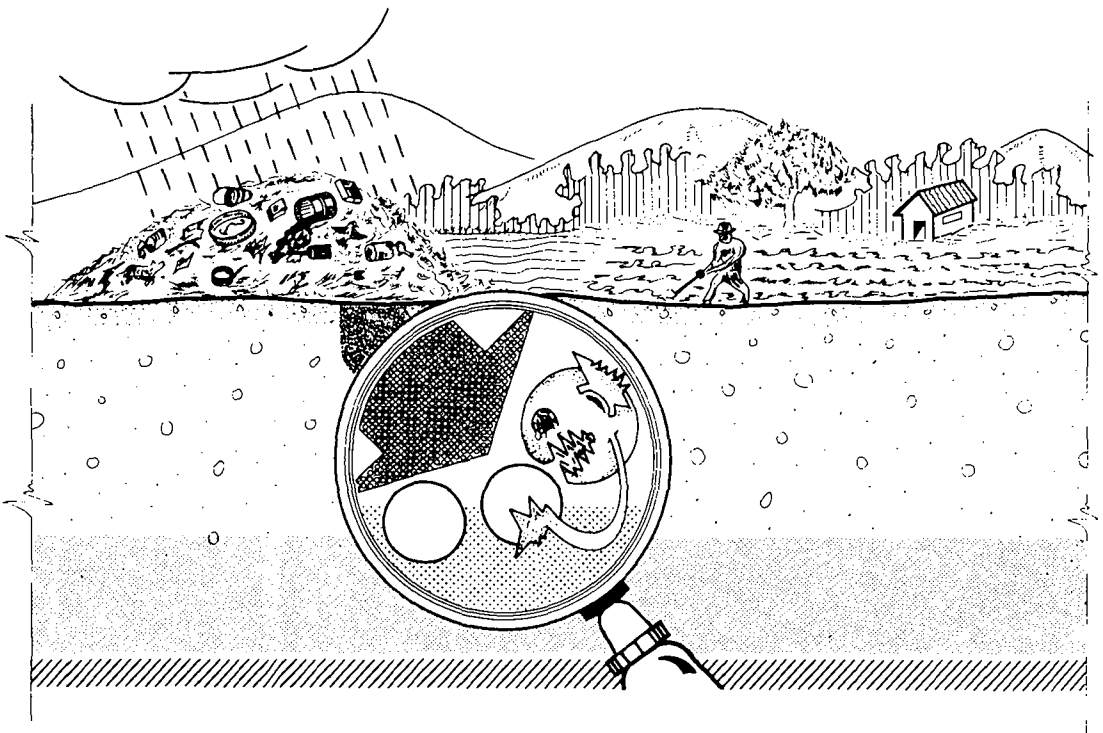
- la vulnerabilidad natural o intrínseca del acuífero, y
- el tipo y cantidad del contaminante y la manera de depositarlo al suelo.

Vulnerabilidad de acuíferos

Se entiende por vulnerabilidad el conjunto de características del acuífero que determina cuánto podrá ser afectado por la descarga de un contaminante. Tales características que juegan un papel predominante en acuíferos libres, son la profundidad de la napa freática, el tipo de porosidad del acuífero (intergranular o fractura) y el tipo del suelo o roca que constituye el acuífero.

Capacidad purificadora de los suelos

Antes que puedan contaminar un acuífero, los contaminantes tienen que infiltrarse por la zona no saturada. Siempre y cuando el contaminante no sea desechado con grandes volúmenes de aguas residuales, este proceso es lento. Y mientras más lento sea es mejor, ya que dispondrá de mayor tiempo para que ocurran reacciones fisicoquímicas que resulten en la retención de los contaminantes. Además, gracias a la presencia de aire como de bacterias, ocurren procesos de biodegradación que resultan en la eliminación de los contaminantes. Esta zona también retrasa grandemente la primera llegada de los contaminantes a la napa freática, lo que por lo menos permite algún tiempo para evaluar y tomar posibles acciones correctivas.

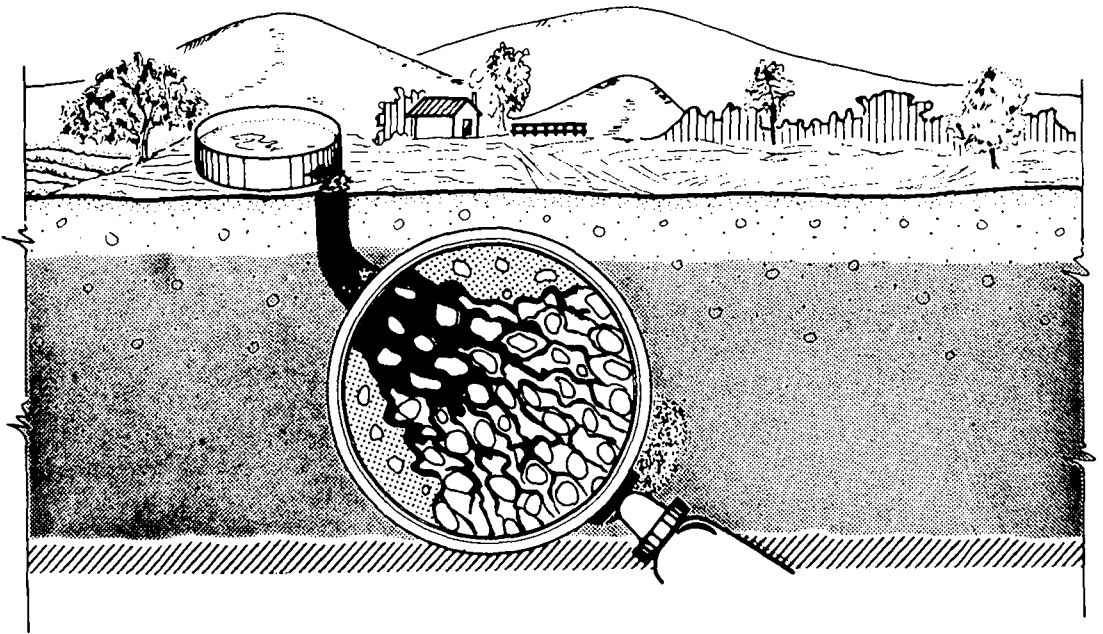


Pero la zona no saturada no puede hacer milagros. Debido a las variaciones geológicas no siempre es efectiva en la eliminación de contaminantes, especialmente si la carga contaminante es tan grande que sobrepasa su capacidad de atenuación. Más aún, algunos contaminantes no son fácilmente absorbidos y son resistentes a degradación por la mayoría de las bacterias del suelo. Son éstas las que normalmente plantean la mayor amenaza sobre la calidad del agua subterránea, e incluyen nitratos y algunos solventes y desinfectantes clorados de uso común en toda la industria. La utilización de estos últimos también está incrementándose a nivel doméstico.

Dispersión de contaminantes en acuíferos

Si un contaminante dado no es eliminado en la zona no saturada, llegará a la napa freática y penetrará al agua subterránea. Los procesos de atenuación continúan durante su paso a través del acuífero, pero generalmente son mucho menos efectivos.

Por otro lado, la reducción en la concentración de contaminante también ocurrirá como resultado de la dilución producida por dispersión durante el flujo del agua subterránea. La tasa de reducción de concentración dependerá principalmente del volumen del agua subterránea disponible para dilución, y del tipo de porosidad del acuífero. Sin embargo, no se puede confiar en el proceso de dispersión para reducir a niveles seguros las concentraciones de todos los contaminantes, especialmente los que son persistentes y diseminados.



LA DILUCION NO ES UNA SOLUCION SEGURA CONTRA LA CONTAMINACION

¿CUALES SON LAS CONSECUENCIAS DE LA CONTAMINACION?

Todo se complica ante la posibilidad de que un acuífero esté contaminado. La situación se torna mucho más difícil si un acuífero se contamina significativamente.

Las investigaciones requeridas para establecer el grado de contaminación son técnicamente complejas y toman tiempo. Entre otras cosas, ellas normalmente requieren de la construcción de una red de sondeos de observación y de una recolección sistemática de muestras de agua y suelo para análisis en laboratorio.

La rehabilitación de un acuífero contaminado es aún más problemática. Las tecnologías de limpieza actuales son costosas, en etapa de experimentación y no se pueden aplicar universalmente. La recuperación completa, en el mejor de los casos, se obtiene en décadas y en el peor, nunca. En consecuencia, la contaminación normalmente resulta en el abandono de pozos y de los recursos de aguas subterráneas, a altos costos.

ACUIFEROS CONTAMINADOS SON ACUIFEROS CONDENADOS

Podemos citar un ejemplo; considere una población de 50,000 habitantes abastecida por pozos tubulares de 200 m de profundidad, bombeando cada uno 30 litros por segundo. Si este campo de pozos se contamina, se requiere la construcción de uno equivalente a un kilómetro de distancia, con un acueducto adicional. El costo del sistema completo de reemplazo probablemente sobrepasará UN MILLON DE DOLARES AMERICANOS, y esto será sin ningún intento ni esperanza de recuperar la parte contaminada del acuífero.

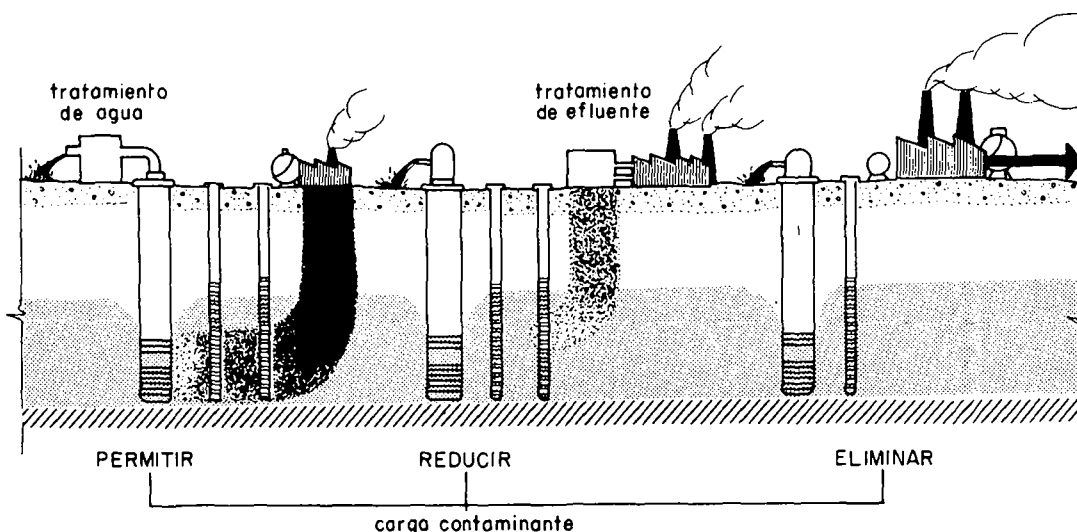
Pero no hay necesidad de hablar solamente de ejemplos hipotéticos. Durante 1982, unos 50 metros cúbicos de un solvente químico peligroso se perdió por fuga de un tanque de almacenamiento en una zona industrial en Puerto Rico, causando contaminación extensiva y afectando numerosos pozos del acuífero prolífico de la costa norte de esta isla caribeña. El incidente resultó en costos de más de 10 MILLONES DE DOLARES AMERICANOS para la provisión de abastecimientos alternativos de agua para las investigaciones detalladas para determinar la extensión del área contaminada y para varios intentos de limpiar el acuífero. Estos esfuerzos han reducido las concentraciones, pero aún persiste el problema localmente, casi cinco años después del trágico incidente.

Es entonces aparente que, aunque el agua subterránea es un recurso natural renovable, la contaminación puede convertirlo en no utilizable.

¿QUE SE PUEDE HACER PARA PROTEGER EL AGUA SUBTERRANEA?

El primer paso hacia la protección del agua subterránea es tomar conciencia de la escala y seriedad del problema. Pero esto no es suficiente.

En áreas urbanas, donde el agua subterránea es una fuente importante de abastecimiento de agua potable, será necesario definir aquellas partes de los acuíferos que están más vulnerables a la contaminación, basado en sus características naturales.



En estas áreas vulnerables, normalmente se dará la máxima prioridad a las medidas de control o las acciones correctivas que incluyen:

- evitar instalar nuevas actividades que usen, almacenen y descarguen sustancias químicas tóxicas peligrosas,
- ejercer control más estricto sobre la operación de las industrias existentes que involucran compuestos tóxicos, especialmente donde descarguen grandes volúmenes de efluentes líquidos al suelo o a ríos influentes,
- restringir la instalación y controlar la operación de rellenos sanitarios para desechos sólidos,
- instalar un sistema eficiente de alcantarillado si la disposición in-situ al suelo constituye un riesgo inaceptable para la calidad del agua subterránea y de la salud humana.

Tales acciones necesitan una base institucional y adicionalmente pueden requerir apoyo legal.

Donde exista actividad minera, se necesitarán medidas especiales para proteger la calidad del agua subterránea cuyo diseño normalmente requerirá una investigación específica del sitio.

El grado en el que la actividad agrícola debe ser limitado o restringido para reducir su efecto sobre la calidad del agua subterránea es un debate controversial. Sin embargo, ejercer más control sobre la irrigación, sobre el tiempo de aplicación de fertilizantes y pesticidas, y limitar las cantidades máximas aplicadas, será, en muchos casos, beneficioso para los intereses del agua subterránea sin un detrimento significativo de la producción agrícola. En algunos países se han declarado áreas de protección en los alrededores de pozos municipales, dentro de los cuales también se controlan los tipos de cultivo.

Acciones institucionales

Las autoridades nacionales deben urgentemente considerar los siguientes pasos:

- establecer políticas nacionales y/o regionales de control de contaminación de aguas subterráneas, para aliviar los problemas existentes y para prevenir la contaminación en áreas que aún no están afectadas.
- revisar la legislación existente a fin de decidir si es adecuada para este propósito y revisarla si fuera necesario, y
- reforzar las provisiones legales.

A la larga, el público, una vez informado y organizado, puede jugar un rol muy importante en la protección de las aguas subterráneas llamando la atención de las autoridades hacia las probables fuentes de contaminación y los posibles problemas de polución.

PROTEGER LAS AGUAS SUBTERRANEAS ES CUIDAR LA SALUD DE TODOS

CEPIS
Casilla Postal 4337
Lima 100, Peru

10/87