



Proyecto para la Protección Ambiental y el Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guarani  
Fondo Guarani de Ciudadanía  
2005 - 2007



## FONDO GUARANÍ DE LA CIUDADANÍA

### Movida Por El Guarani

Manual de Divulgación de apoyo docente



#### Instituciones participantes:

Iniciativa Latinoamericana  
Fundación ProTigre y Cuenca del Plata



FUNDACIÓN PROTIGRE  
Y CUENCA DEL PLATA

Liceo N° 2  
Salto

Liceo N°4  
Salto

Liceo N°6  
Salto

Colegio Nacional  
"Justo José de Urquiza"  
Concepción del Uruguay

Escuela N° 26  
"José Artigas"  
Concordia



Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní

Fondo Guaraní de la Ciudadanía  
2005 - 2007



La ejecución del Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní es posible gracias al acuerdo de cooperación alcanzado entre los gobiernos de Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay, el aporte financiero del Global Environment Facility (GEF) y otros donantes, y la cooperación técnica y financiera del Banco Mundial que es la agencia implementadora de los Fondos GEF y la Secretaría General de la Organización de Estados Americanos (SG/OEA) en su condición de agencia ejecutora regional.

El proyecto Movete por el Ambiente fue realizado en el marco del Proyecto Acuífero Guaraní y con el apoyo económico previsto en el Fondo Guaraní de la Ciudadanía destinado a promover actividades de difusión, educación ambiental y comunicación acerca de la temática de los recursos hídricos, las aguas subterráneas y el Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní (PSAG).

Las Instituciones Participantes son:

Iniciativa Latinoamericana  
Uruguay 1369, 11200 Montevideo  
Tel. 005982 9023186  
[ambiente@iniciativalatinoamericana.org](mailto:ambiente@iniciativalatinoamericana.org)  
[www.inlatina.org](http://www.inlatina.org)

Fundación ProTigre y Cuenca del Plata  
Tacuarí 158, (C.P. B1648CUD), Buenos Aires  
Tel: 47479-8429, 4731-4004  
[fundacion@protigre.org.ar](mailto:fundacion@protigre.org.ar)

[www.protigre.org.ar](http://www.protigre.org.ar)

Liceo n°2, 4 y 6 - Salto,  
Escuela N° 26 "José Artigas" – Concordia,  
Colegio Nacional Justo José de Urquiza – Concepción del Uruguay

Las instituciones responsables de los siguientes materiales pedagógicos son:

Fundación ProTigre y Cuenca del Plata - Manual de divulgación destinado a docentes

Iniciativa Latinoamericana - Manual de difusión destinado a adolescentes

Los resultados, interpretaciones y conclusiones expresadas en este documento son responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan los puntos de vista de la OEA, otras instituciones cooperantes, ni de los países en él presentados.

Montevideo, octubre 2006

#### Agradecimientos

Queremos agradecer a los especialistas del Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní por su comprensión, aportes técnicos y sugerencias incluidos en este material:

Daniel García, Coordinador Técnico de los Componentes II y V,  
Roberto Montes, Coordinador de Comunicación  
Alberto Manganelli, Asistente Técnico

A Carlota Sánchez Aizcorbe  
Por su entrega y compromiso con el medio ambiente

# ÍNDICE

¿Qué es el agua? .....	3
El agua en el planeta. Cifras indicativas y realidades. ....	3
Agua subterránea y agua superficial .....	4
¿Por qué preocuparse por el agua subterránea?.....	5
El agua subterránea dentro del ciclo del agua .....	5
¿Dónde se encuentra el agua subterránea?.....	6
Generalidades y acuíferos .....	6
Tipos de unidades hidrogeológicas .....	9
Propiedades de los acuíferos .....	9
Explotación del agua subterránea .....	10
Tipos de pozos. Eficiencia .....	12
Composición química natural del agua subterránea.....	14
Las aguas termales .....	14
La contaminación y el sobreuso amenazan al agua subterránea. ....	14
Causas de la contaminación del agua subterránea .....	16
Protección de las aguas subterráneas .....	17
El acuífero guaraní.....	17
Área de ocurrencia regional.....	17
Otros aspectos relevantes.....	18
El proyecto sistema acuífero guaraní.....	20
¿Por qué es importante hacer el estudio?.....	20
Cifras que hablan .....	20
Características geológicas generales del sistema acuífero guaraní .....	21
El proyecto sistema acuífero guaraní.....	22
Componentes.....	23
Expansión y consolidación de la base de conocimiento científico y técnico.....	23
Desarrollo e instrumentación conjunta de un marco de gestión.....	23
Participación pública, educación y comunicación.....	23
Seguimiento, evaluación y difusión de los resultados del proyecto .....	24
Desarrollo de medidas para la gestión y mitigación en áreas críticas o piloto.....	24
Geotermia del sistema acuífero guaraní.....	24
Bibliografía .....	25

# ¿QUÉ ES EL AGUA?

Todo el mundo sabe qué es el agua – un líquido claro e incoloro—y que sin ella la Tierra sería un desierto. Y que además, si faltara, todas las plantas y animales—incluyendo el género humano—morirían. En efecto, el citoplasma celular de todos los seres vivos está formado por un 70% de agua y todo el metabolismo es realizado por vía acuosa.

Por otro lado, además de líquido, se la puede encontrar en los otros dos estados: (sólido y vapor). Químicamente está compuesta por dos átomos de Hidrógeno y un átomo de Oxígeno integrados de manera muy especial en la molécula que, en una extremidad, presenta una débil carga eléctrica. La configuración molecular y la relativa fragilidad de las uniones eléctricas entre las mismas, le imprime al agua una serie de propiedades únicas y universales que permite, entre otras cosas, la vida sobre la Tierra.

## EL AGUA EN EL PLANETA. CIFRAS INDICATIVAS Y REALIDADES.

Superficialmente la Tierra es un planeta acuoso. Más del 70% de su superficie está cubierta por el AGUA. El total de agua existente en la tierra compone lo que es denominado también como Hidrosfera, diferenciándose de la atmósfera, biosfera y litosfera.

Casi toda el agua de la Tierra (alrededor del 95%) se encuentra en océanos profundos y con abundantes sales en solución. Por otro lado, el agua dulce se encuentra ampliamente distribuida en el aire, en el suelo y subsuelo, condensada en hielo y discurriendo por los arroyos, ríos y lagos.

Del total de agua del planeta, apenas 2.8 por ciento es agua dulce. La mayoría está en polos y glaciares, y el resto 0.70 por ciento son aguas subterráneas y sólo 0.06 por ciento es agua superficial.

### **PORCENTAJES GENERALES APROXIMADOS DE DISTRIBUCIÓN DEL AGUA TOTAL EN LA TIERRA DE ACUERDO CON SU NATURALEZA**

**Agua de mar: 97.00**  
**Glaciales: 2.40**  
**Agua subterránea: 0.70**  
**Agua superficial: 0.06**  
**Agua atmosférica: 0.001**

Vemos entonces que, con respecto al agua líquida dulce superficial y subterránea, su caudal no alcanza ni al uno por ciento de toda el agua de la tierra; lo demás es agua salada, o forma parte de los hielos polares. Vemos también que el mayor porcentaje de agua dulce líquida está en el subsuelo en forma de agua subterránea.

El agua en la naturaleza se encuentra en continuo movimiento, configurando un **macrociclo global continuo**. El sol calienta el agua y las moléculas se elevan en forma de vapor; al elevarse, el vapor se enfría y se convierte en gotas de agua. Estas gotas, por acción de la fuerza de gravedad, caen en forma de lluvia, nieve o granizo sobre la tierra. Parte de esta agua se infiltra en los terrenos y también discurre sobre la tierra regresando de nuevo al mar.

Los océanos poseen un volumen total de unos 1.370 millones de kilómetros cúbicos de agua; en cambio el volumen total de lagos y ríos es de unos 230.000 kilómetros cúbicos. Los casquetes polares, glaciares y nieve contienen alrededor de 24 millones de kilómetros cúbicos de agua; el agua subterránea alcanza cantidades globales entre 4 y 10 millones de kilómetros cúbicos, aunque esta cifra puede aumentar al doble si incorporamos al agua subterránea salada y más profunda.

Sobre la superficie terrestre se calcula que precipitan por año unos 110.000 kilómetros cúbicos de agua; de esa cifra se evaporan alrededor de 71.000 kilómetros cúbicos y el resto, o sea 39.000 kilómetros cúbicos, alimentan el agua superficial, la subterránea y la humedad del suelo.

Sin embargo, el problema del agua dulce no es que no alcance para la población mundial -al igual que la producción de alimentos, es suficiente para abastecernos a todos, sino sus pocas posibilidades de acceso a las redes de distribución de muchísima gente de escasísimos recursos en todo el mundo, su acelerada contaminación, su despilfarro y baja eficiencia de redes en muchos lugares.

El mayor uso de agua en el mundo está destinado a la irrigación, o sea a la producción de alimentos. La irrigación destinada a las cosechas es responsable del consumo del 65 al 70% por ciento de toda el agua que utilizamos los humanos, en comparación con un 15 a 25 por ciento destinada a la industria y un 10 por ciento a los hogares y municipalidades. Otros usos de gran importancia son los de navegación y producción de energía eléctrica-- el número de grandes presas en el mundo ha pasado de apenas un poco más de 5.000 en 1950 a 38.000 hoy-- pesca, recreación y mantenimiento del equilibrio biológico, entre otros.

América del Sur es uno de los continentes más ricos en recursos hídricos, ya que tiene en su territorio el 26% del total mundial de agua. A la vez, sólo está habitada por el 6% de la población mundial. Como contraste se encuentra Asia, donde tienen el 36% del agua del mundo y vive, en cambio, el 60% de la población mundial.

Mientras la falta de acceso al agua es una tragedia para millones de personas en el mundo -según la Organización de Naciones Unidas, más de mil 300 millones de personas sufren escasez de agua, y otro tanto sólo la consigue sucia o contaminada-, hay también estimaciones que indican que ya el 50% de las poblaciones de los países en vías de desarrollo están expuestas a aguas contaminadas, y que cerca de 1.000 millones de personas en el mundo no tienen acceso a agua potable de red (agua segura); 2.500 millones carecen de sistemas sanitarios adecuados, y se estima que unos 5 millones de personas fallecen anualmente a causa de enfermedades relacionadas con el agua.

El consumo mundial del agua se duplica cada veinte años, es decir a un ritmo dos veces mayor que el del crecimiento de la población humana. **La UNESCO estima que hay serias posibilidades que en los próximos 20 años la cantidad de agua por persona disponible en el mundo bajará a un tercio de la actual.**

## **AGUA SUBTERRÁNEA Y AGUA SUPERFICIAL**

La mayoría de las personas están más familiarizadas con el agua superficial que con el agua subterránea. Los depósitos naturales de agua superficial como lagos, arroyos y mares pueden ser vistos en toda su magnitud, pero no así los depósitos de agua subterránea.

Existen algunas diferencias básicas entre el agua subterránea y el agua superficial: El agua subterránea usualmente se mueve muchísimo más lentamente que el agua superficial. Esto es debido a que el agua subterránea encuentra una resistencia mucho mayor al moverse a través de los espacios pequeños o poros (microscópicos) de las rocas y del suelo. Los intercambios de agua entre los depósitos de agua superficial y los acuíferos son importantes. Los ríos usualmente empiezan como pequeños arroyos y aumentan el caudal a medida que fluyen hacia el mar. El agua que ganan también viene del agua subterránea. Esta corriente se denomina corriente ganadora.

Es posible también que las corrientes viertan agua al subsuelo en algunos puntos. En estos casos, los acuíferos son recargados o realimentados por agua de corrientes superficiales de pérdida.

## ¿POR QUÉ PREOCUPARSE POR EL AGUA SUBTERRÁNEA?

El agua subterránea es el agua del ciclo hidrológico que se encuentra en el subsuelo ocupando los diminutos huecos existentes entre las partículas componentes del suelo y las rocas (poros) y dentro de las grietas o fisuras de los materiales geológicos rocosos. La hallamos casi en cualquier parte por debajo de la superficie terrestre, y tiene un origen directamente relacionado con las precipitaciones.

Debido a su disponibilidad y buena calidad, en general fue y es usada para uso doméstico y consumo humano, riego, industria y otros propósitos. Frecuentemente se la considera una fuente inagotable, pero las circunstancias indican que el agua subterránea puede agotarse, y además es muy vulnerable a la contaminación. Por esto es importante entender los procesos mediante los cuales este Recurso se hace disponible para su uso y de que manera las actividades humanas muchas veces lo ponen en peligro. **El agua subterránea también forma parte de las múltiples crisis del agua (acceso, distribución, degradación, despilfarro) en la sociedad.**

## EL AGUA SUBTERRÁNEA DENTRO DEL CICLO DEL AGUA

El agua subterránea es una parte integral del ciclo hidrológico. Del agua de los océanos, ríos, lagos, de la parte superficial de los suelos y de la transpiración de las plantas, se evaporan las moléculas por acción energética de los rayos solares. El vapor de agua resultante forma las nubes que en condiciones propicias se condensan, dando lugar a las precipitaciones en forma de lluvia, nieve o granizo.

## EL CICLO HIDROLÓGICO

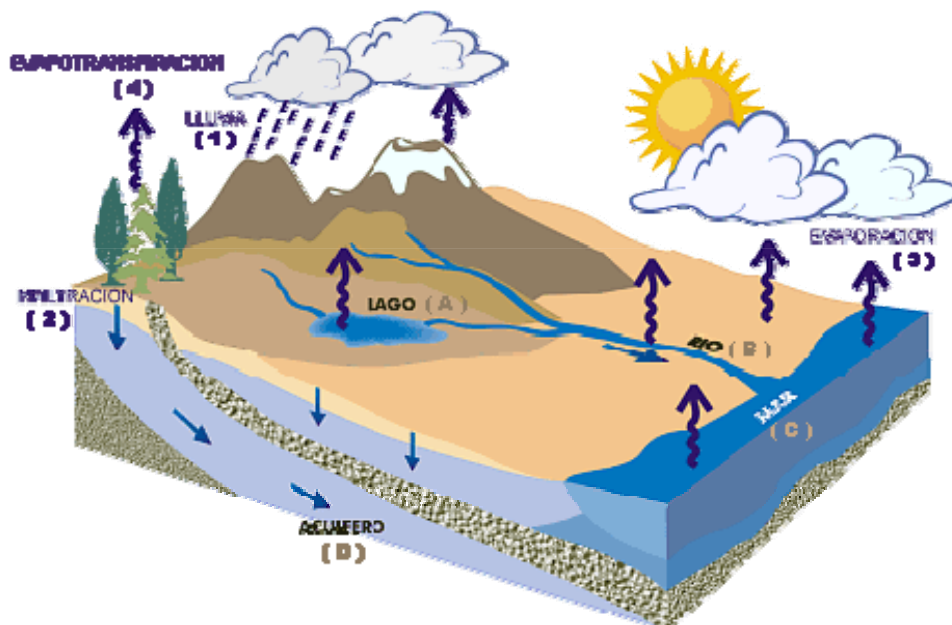


Fig. 1 – EL CICLO HIDROLÓGICO



Cuando las precipitaciones caen sobre la superficie de la tierra los escurrimientos van hacia los lugares más bajos, o sea a los lagos, arroyos y ríos, y de ahí a los mares y océanos. Algo del agua que se infiltra en la tierra es usada por las plantas para la actividad biológica y la transpiración. El agua restante, llamada **agua de recarga**, es llevada por la acción de la fuerza de gravedad a más profundidad, a través del suelo, llegando la zona saturada; es ahí donde ocupa todos los espacios vacíos existentes entre las partículas constituyentes del suelo y las rocas (poros y fisuras). Así como una esponja absorbe agua, los suelos durante la infiltración repiten el mismo mecanismo almacenando lo que se denomina agua subterránea.

El nivel más alto de la zona saturada es la **capa o manto freático**, que es el nivel real al cual el agua se mantiene en un pozo. El agua, además, se mueve dentro de la zona saturada desde áreas donde la capa de agua está más alta, hacia áreas donde está más baja, por lo que el agua subterránea puede alimentar a los lagos, arroyos y océanos. En efecto, sale del subsuelo y se transforma en agua superficial; cuando esta agua, debido a la energía solar, se evapora a la atmósfera y se condensa, produciéndose nuevamente las precipitaciones, completando así y recomenzando el ciclo del agua, que no tiene fin.

## ¿DÓNDE SE ENCUENTRA EL AGUA SUBTERRÁNEA? GENERALIDADES Y ACUÍFEROS

El agua subterránea puede ser encontrada debajo de la tierra casi en cualquier sitio. Cerca del 97 por ciento del agua dulce del mundo (excluyendo el hielo), es agua subterránea, y aunque no parezca su cantidad supera muy ampliamente a la de los ríos y lagos.

La calidad y cantidad disponible varía de sitio a sitio. La exploración del agua subterránea es una actividad muy importante, previa a la explotación, y consiste en determinar anticipadamente por métodos directos (pozos de estudio, por ejemplo) e indirectos (geofísica) dónde se la encuentra, cantidad, accesibilidad y calidad de su composición respecto de las condiciones que se haya pensado para su uso, sea consumo humano, riego, industria, o cualquier otro.

El agua de las lluvias o de los cursos superficiales penetra en el suelo por acción de la gravedad. Se mueve a través de los poros o fisuras atravesando la zona más superficial del suelo, donde aún hay aire en los poros (zona de aireación o no saturada), y continúa desplazándose más profundamente hasta alcanzar el sector donde la totalidad de los poros están ocupados por agua (zona saturada, o sea el acuífero).

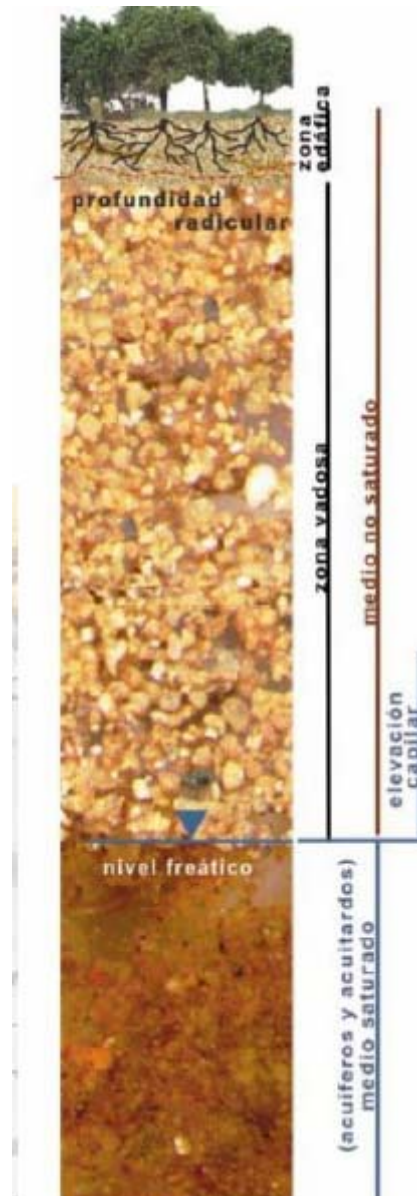


Fig.2 – ZONA VADOSA Y NIVEL FREÁTICO

**Se denomina acuífero a las formaciones geológicas que contienen agua subterránea y pueden cederla en forma relativamente fácil y económica.** El agua circula muy lentamente en forma horizontal y vertical gracias a la conexión existente entre los diminutos canales que unen los poros. Así es como el acuífero, lentamente, constituye un reservorio de agua con capacidad de almacenar y transmitirla de un lugar a otro.

Los acuíferos se encuentran en dos tipos de formaciones geológicas: **consolidadas y no consolidadas** (o granulares).

Las **formaciones consolidadas** son las compuestas de rocas sólidas, donde el agua subterránea se encuentra en las grietas o fisuras interconectadas que éstas poseen. La cantidad de agua en una formación consolidada depende de la cantidad de grietas que existan, del tamaño de éstas y de su grado de interconexión.



Fig 3 – ACUIFEROS LIBRES Y CONFINADOS

Las **formaciones no consolidadas o granulares** están compuestas de arena, grava, limos o material de suelos. La cantidad de agua subterránea en una formación no consolidada varía dependiendo de la compactación del material sólido y del tamaño de sus granos o partículas. Las formaciones mas gruesas de arena y grava generalmente producen acuíferos de gran capacidad; los materiales geológicos constituidos por partículas muy finas (limos y arcillas) suelen tener bajas cantidades de agua aprovechable.

En la naturaleza existen **diferentes tipos de acuíferos**, que pueden subdividirse en libres o confinados, según la presión a la que está expuesta el agua subterránea.

Un acuífero se denomina **libre** cuando la superficie freática está expuesta a la presión atmosférica; es decir, el nivel del agua está muy cerca de la superficie y existe una recarga inmediata y directa por lluvia. Cuando existen capas geológicas impermeables que delimitan el acuífero tanto en la parte superior como inferior -y hacen que la presión a la que está sometida el agua subterránea se incremente por encima de la atmosférica-, se dice que el acuífero es **confinado** y la presión del mismo es denominada presión hidrostática.

**El agua subterránea puede salir espontáneamente, formando manantiales, o puede ser extraída a través de un pozo.** Un manantial ocurre cuando la capa de agua alcanza la superficie de la tierra.



**meses** líneas de flujo y tiempo de tránsito

Fig. 4 – AREAS DE RECARGA Y DESCARGA

# TIPOS DE UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

## **Acuífero:**

Estratos o formaciones geológicas de material permeable que contienen agua subterránea, permiten su movimiento y pueden ser explotadas en proporciones apreciables y económicamente rentables.

## **Acuiclúdo:**

Formaciones que contienen agua pero que no la ceden (arcilla) y se comportan como impermeables.

## **Acuífugo:**

Formaciones que no contienen ni permiten el movimiento de agua. Por ejemplo, granito masivo.

## **Acuitardo:**

Estratos de baja permeabilidad, con capacidad suficiente para transmitir cierta cantidad de agua a los estratos permeables ubicados arriba y/o abajo.

# PROPIEDADES DE LOS ACUÍFEROS

Las propiedades más importantes de los acuíferos están relacionadas con la relación entre los poros y el agua. Un medio poroso está formado por un agregado de individuos (cantos rodados, granos de arena o partículas), entre los que existen pequeños espacios vacíos que pueden ser ocupados por un fluido; estos espacios son denominados poros o intersticios.

El medio poroso puede estar consolidado o suelto, según exista parcial o totalmente algún cemento (carbonato, sílice, etc.) o matriz más fina que aglutine y ligue los individuos entre sí, y también puede tener distintos grados de compactación.

La **porosidad** es la relación entre el volumen de espacios vacíos (poros) y el volumen total del terreno. Una roca muy porosa puede absorber más agua que una menos porosa.

La **permeabilidad** está referida a la facilidad o velocidad con que se puede desplazar el agua dentro del acuífero. Un material más permeable puede ceder agua (brindar mayor caudal) con mayor facilidad y velocidad que uno menos permeable. No obstante, la velocidad natural de transmisión del agua subterránea en un medio poroso es extremadamente lenta, con valores de milímetros por día o metros por año (casi imperceptibles en contraste con las velocidades de flujo del agua superficial)

Es de destacar que, al igual que se comportaría una esponja enterrada, los acuíferos no consolidados alojan la totalidad de su agua subterránea en los poros. Desde el momento en que hay rocas que pueden tener valores muy altos de porosidad (20 o 30%, o más), si hacemos un cálculo de volumen de una formación geológica acuífera muy porosa (largo por alto por espesor), el porcentaje de porosidad nos indicará en forma directa los grandes volúmenes de agua alojada en los poros.

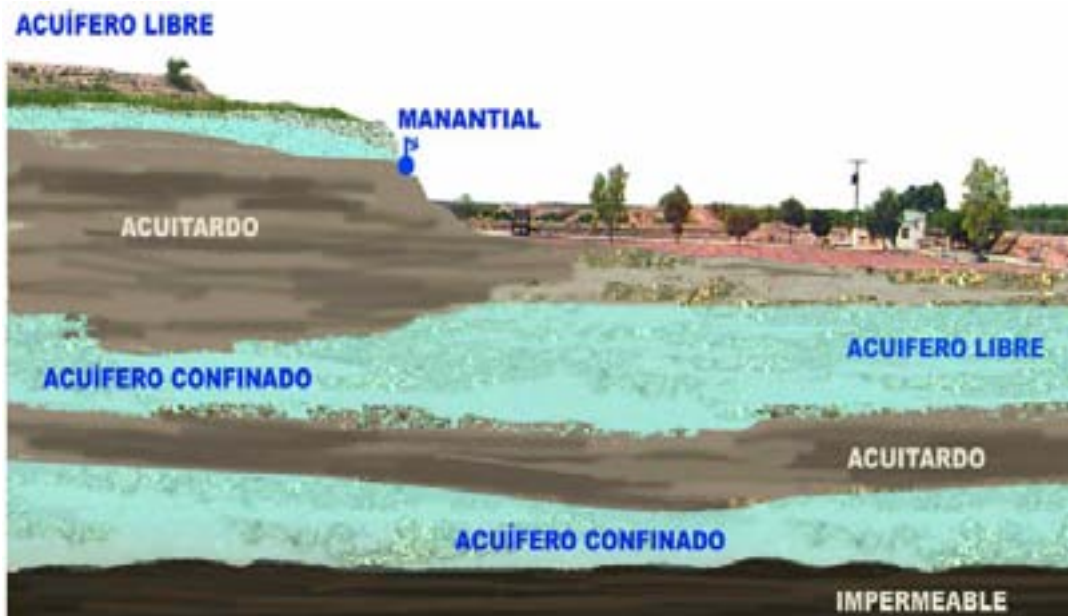


Fig. 5 – ACUIFEROS Y MANANTIALES

## EXPLOTACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Para utilizar o explotar las aguas subterráneas, y salvo donde el agua brota espontáneamente, hay que hacer pozos.

Si se considera un pozo bombeado durante un cierto tiempo, la superficie piezométrica inicial adopta la forma de un cono invertido o embudo, en cuyo centro se sitúa el pozo. El efecto primario del bombeo es producir un descenso del nivel del agua dentro del pozo, a fin de establecer un gradiente hidráulico (pendiente del nivel) que ponga en movimiento rápidamente el agua del acuífero hacia el pozo.

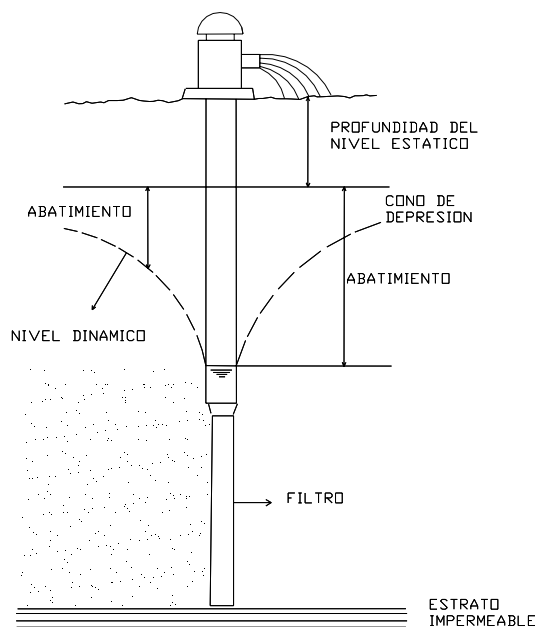
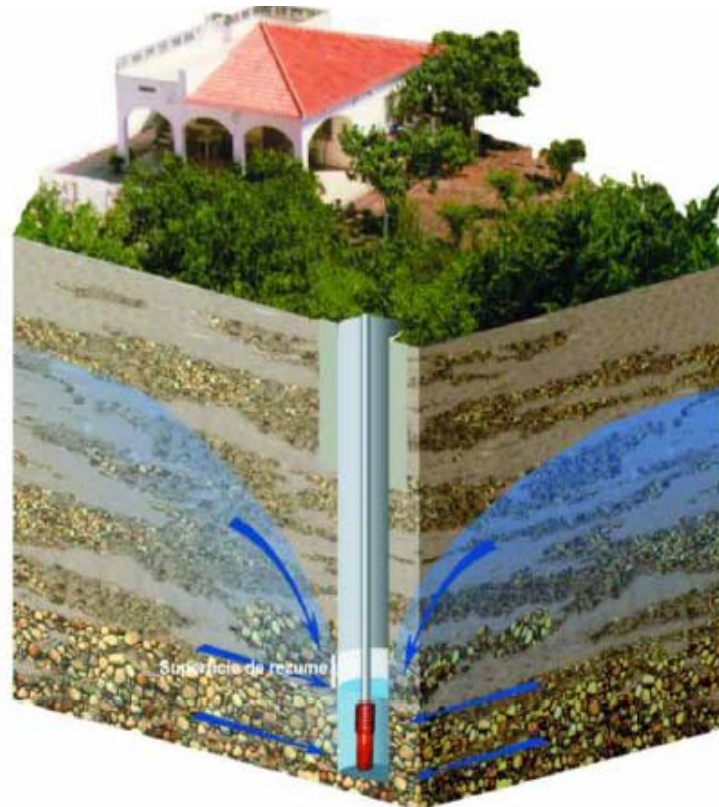


Fig 6 – EXPLOTACION, CONO DE DEPRESIÓN Y NIVELES

Si hay varios pozos en explotación poco distanciados entre sí, el efecto individual de cada cono de depresión se sumará, y el resultado final dará una profundización general del nivel del agua subterránea en el área de influencia. Esta situación, si se prolonga, se conoce como

sobreexplotación; o sea, se explota más agua que la que se recarga naturalmente. Las consecuencias de esto se describirán más adelante.



*Cono de depresión piezométrica en un bombeo*

Fig 7 – CONO DE DEPRESION EN UN BOMBEO

**Esquema que representa los conos de bombeo originados por la extracción simultánea de aguas subterráneas por varios pozos**



Fig 8 – SUMA DE CONOS DE DEPRESIÓN

## TIPOS DE POZOS. EFICIENCIA

Hay dos grandes tipos de pozos:

- a. **excavados**
- b. **perforados** (pozos tubulares).

Los pozos excavados presentan grandes diámetros (de hasta unos 20 metros) siendo normalmente revestidos con ladrillos, piedras y cemento. El agua puede ser extraída con baldes o bombas.

Los pozos modernos son verdaderas obras de construcción y requieren de una sofisticada tecnología en la que se precisa un diseño adecuado de la captación, así como un conocimiento detallado del acuífero. Con frecuencia se subestima la importancia que tiene un buen diseño en la construcción de un pozo.

La vida útil de un pozo y la eficacia son función directa de la calidad de los materiales empleados y de la tecnología utilizada. Algunos de los problemas que se suelen imputar a los abastecimientos servidos con aguas subterráneas se deben, muchas veces, a una defectuosa construcción y/o mantenimiento inadecuado de las captaciones, y no a los acuíferos en sí. Hoy día se cuenta con tecnología muy avanzada que hace de los pozos una verdadera obra civil, que requiere diseño, proyecto, mantenimiento y observación.

Los pozos perforados o tubulares son realizados mediante equipos de perforación, utilizando principalmente sistemas de

- A. percusión (introduciendo en el terreno una herramienta cortante a golpes) o
- B. rotación (sistema de inyección con lodo). En todos los casos se realiza un orificio vertical de variado diámetro y se reviste con cañería de conducción de agua. En las partes en contacto con el / los acuífero / s se colocan filtros rodeados de un material granular inerte (engravado). Para la extracción del agua, y salvo los acuíferos con surgencia natural (artesianos), se utilizan bombas de diversos tipos.

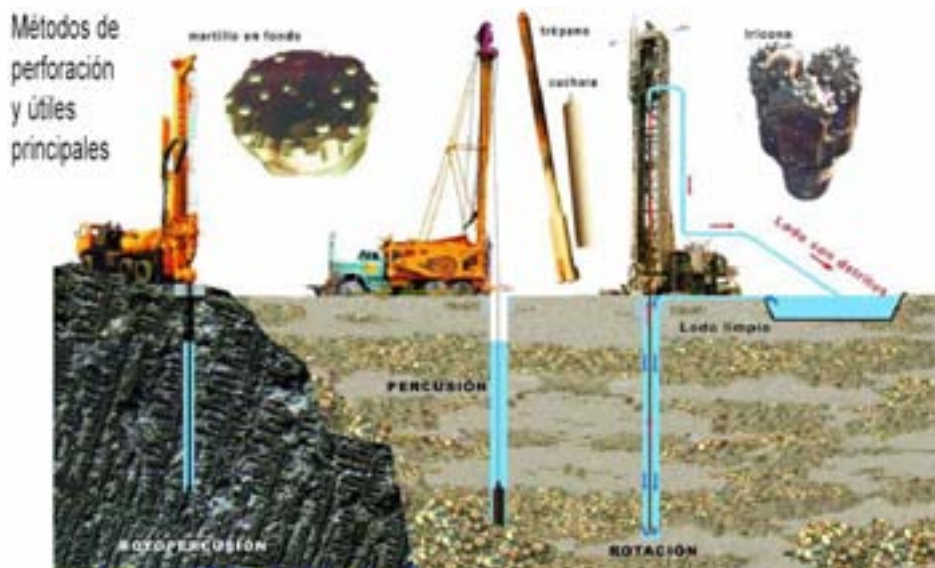


Fig 9.a– METODOS DE PERFORACION

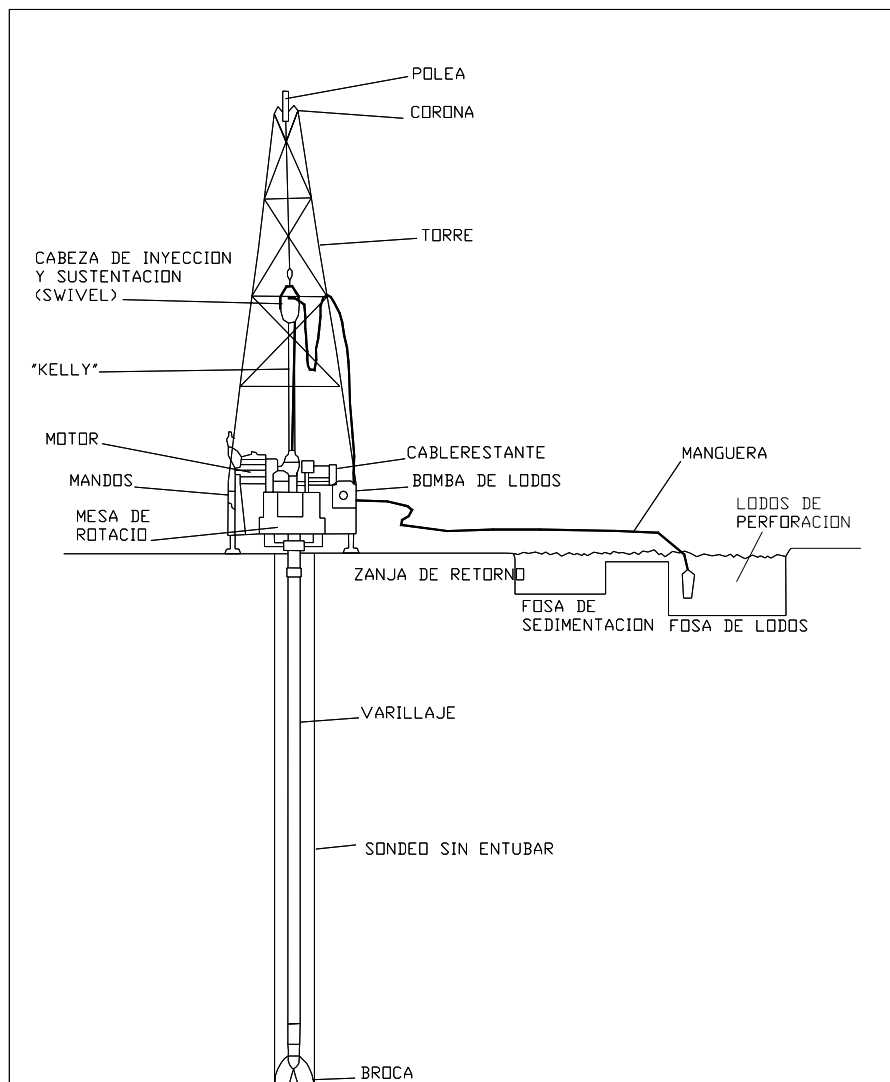


Fig 9.b – METODOS DE PERFORACION

El nivel del agua en el acuífero cuando no hay bombeo se denomina nivel estático, y cuando se bombea nivel dinámico.

Se denomina **Caudal Específico de un pozo** al cociente entre el caudal de agua bombeada y el descenso de nivel o presión producido.

**Eficiencia de un pozo:** se denomina así al cociente entre el descenso teórico y el descenso medido en el pozo.

Los pozos poco eficientes necesitan mayores descensos del nivel dinámico para bombear un mismo caudal que en un pozo más eficiente; o si se tiene limitado el descenso, el caudal a alumbrar es menor. La eficiencia en un pozo también puede disminuir con el tiempo, por razones de mal diseño o falta de mantenimiento.



# COMPOSICIÓN QUÍMICA NATURAL DEL AGUA SUBTERRÁNEA

El agua constituye el disolvente más universal. Por lo tanto es capaz de incorporar gran cantidad de sustancias químicas al estar en contacto con los terrenos por los cuales circula.

Las aguas subterráneas tienen mayor oportunidad de disolver materiales que las aguas superficiales debido a su contacto con las formaciones geológicas a través de las cuales se desplazan, así como también a la presencia de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y oxígeno (O<sub>2</sub>) disueltos en el agua, y a la lenta velocidad con que se mueven. A medida que se infiltra a las capas inferiores y circula por los acuíferos, el agua subterránea sufre cambios en su composición.

Por este motivo, en términos generales el agua subterránea suele presentar una concentración relativa mayor de elementos y sales, que la del agua superficial.

Los principales iones (cationes y aniones) que se encuentran en el agua subterránea son: **calcio, magnesio, sodio y potasio; sulfatos, cloruros, carbonatos y bicarbonatos**. Ellos proporcionan al agua la mayor parte de su salinidad. En cantidades menores se determinan, por ejemplo, hierro, sílice, entre otros.

Un método rápido y sencillo para estimar la concentración química de las muestras de agua es determinar su conductividad eléctrica, que es función de la concentración y naturaleza de las sales disueltas y de la temperatura.

Su equivalente químico es el residuo seco que es la forma de expresar la totalidad de sales disueltas en miligramos por litro.

## LAS AGUAS TERMALES

Las Aguas Termales son aguas subterráneas con temperaturas mayores que las usuales. Generalmente cuando extraemos agua subterránea de poca profundidad, o encontramos un manantial, la temperatura del agua es cercana a la temperatura media anual del lugar. Pero pueden existir situaciones o fenómenos geológicos particulares que den como resultado una elevación de su temperatura.

Si pudiéramos introducirnos verticalmente en cualquier punto del planeta, desde la superficie del terreno hacia el interior de la tierra, podríamos comprobar que la temperatura aumenta a un ritmo promedio aproximado de 3° C cada 100 metros que bajamos. A esta variación de la temperatura de la tierra al cambiar la profundidad se la llama "gradiente geotérmico". Como el agua circula muy lentamente por los acuíferos, se crea un equilibrio térmico entre el suelo y el agua; el agua toma parte del calor del terreno por donde circula, y aumenta gradualmente su temperatura con la profundidad. Si existieran en el terreno fisuras o grietas verticales, o si se hiciera una perforación profunda, el agua aflorará o será extraída, por lo tanto, con temperatura bastante mayor a la del exterior en la superficie del terreno.

En el planeta se conocen regiones donde el valor del gradiente geotérmico es varias veces superior al normal, fenómeno que se destaca por la presencia de temperaturas elevadas en niveles muy cercanos a la superficie del terreno. La causa más importante, por la generación de calor, consiste en el emplazamiento de un cuerpo magmático a niveles poco profundos de la corteza terrestre. En las áreas volcánicas activas, donde el magma (roca líquida a altísima temperatura) se puede entonces encontrar cerca de la superficie del terreno, el agua subterránea circulante puede también ser calentada y expulsada, a través de grietas o fisuras, a temperaturas mayores a 100° C (géiseres).

## LA CONTAMINACIÓN Y EL SOBREUSO AMENAZAN AL AGUA SUBTERRÁNEA.

El agua subterránea se contamina cuando algunas sustancias tóxicas se disuelven en el agua superficial o en la superficie del suelo, y son acarreadas a los acuíferos por el agua infiltrada.

Se deben considerar las propiedades y cantidades de las sustancias tóxicas y del suelo encima del acuífero para determinar si una sustancia en particular contaminará a un acuífero específico. Algunas veces la contaminación del agua subterránea ocurre en forma natural (es el caso del arsénico y del flúor, por ejemplo), pero la contaminación aguda es usualmente el resultado de las actividades humanas ambientalmente agresivas en la superficie de la tierra ya que un acuífero bueno frecuentemente permite el asentamiento de muchas personas y poblaciones en su área de influencia. El agua es usada en actividades tales como beber, higiene personal, mantenimiento residencial y con propósitos industriales o agrícolas. Muchas de estas actividades involucran el uso y desecho de productos químicos que son potencialmente contaminantes. Cuando estos productos son usados o desechados en forma incorrecta y en cantidades inaceptables, pueden llegar al agua subterránea, a través del suelo, y contaminarla.

El concepto de **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)** es muy importante en cualquier estudio de contaminación pues permite evaluar la "fuerza contaminadora" de un residuo. **Es la cantidad de oxígeno necesaria para eliminar la materia orgánica contenida en un agua mediante procesos biológicos en un lapso determinado. Valores de más de 1 ppm (parte por millón) de O<sub>2</sub> indican contaminación.**

La **Demanda Química de Oxígeno (DQO)** mide el contenido en materiales orgánicos oxidables y otras sustancias. **Valores de más de 15 ppm de O<sub>2</sub> pueden indicar contaminación.**

También puede diferenciarse la contaminación en función de las características de su aplicación: **Puntual y Difusa.**

**Puntual:** es producida en un área muy pequeña y con altas concentraciones de contaminante. Puede ser vertida en superficie o a través de una perforación. Por ejemplo, pozos mal construidos o deteriorados que pueden poner en comunicación vertical acuíferos no contaminados con contaminados, o bien con contaminantes desde la superficie. También puede haber casos donde se utilicen clandestinamente pozos abandonados como pozos de inyección de efluentes líquidos de diverso origen, dando como resultado la contaminación de acuíferos de buena calidad. En estos casos se produce un "penacho" o "pluma de contaminación" bien definido y sujeto a mayor o menor extensión en función de la dinámica del acuífero.

**Areal o difusa:** se produce en áreas mayores y generalmente con sustancias contaminantes en menores concentraciones. El "penacho" o pluma no existe, produciéndose una amplia y progresiva degradación de la calidad del acuífero a nivel regional.

Debido a que el agua subterránea se mueve lentamente, pueden pasar varios años antes de que un contaminante, liberado en la superficie de la tierra encima del acuífero, sea detectado en el mismo. **Desafortunadamente esto significa que la contaminación ocurre antes de que sea detectada. Aún si se ha detenido la liberación del contaminante, pueden pasar muchos años antes de que el acuífero se purifique en forma natural.**

Aunque el agua puede ser tratada para remover los contaminantes, esto puede ser muy costoso. La mejor protección contra la contaminación es la **PREVENCIÓN.**

El agua subterránea se agota en un área cuando se consume más agua de la que ingresa al acuífero, constituyéndose consecuentemente un cuadro de **sobreexplotación**. Esto causa que el nivel freático se profundice, por lo que el agua subterránea se hace más difícil y cara de extraer. También la sobreexplotación de los acuíferos puede causar un deterioro químico en los mismos (por ejemplo salinización).

**La rápida expansión no controlada de las áreas urbanas puede resultar también en el sobre-uso de los suministros del agua subterránea provocando consecuentemente su escasez y agotamiento.**

# CAUSAS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Las causas que originan la contaminación de los acuíferos pueden clasificarse en:

- contaminación por actividades domésticas y urbanas
- contaminación por actividades agrícolas y ganaderas
- contaminación por actividades industriales y mineras
- contaminación por intrusión marina (salina).
- contaminación por pozos mal construidos o deteriorados.
- otras causas

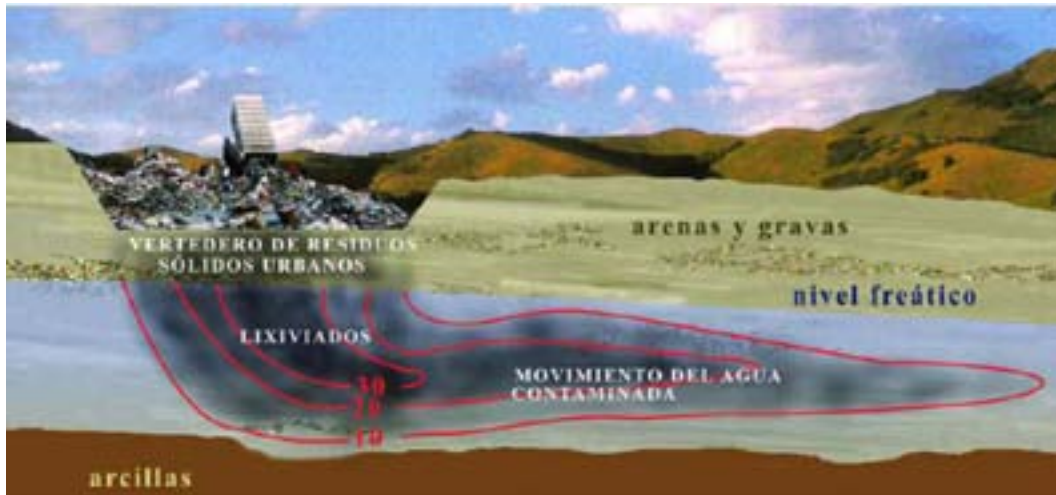


Fig 10 – CONTAMINACION DEL AGUA SUBTERRANEA

Muchas actividades humanas en la superficie de la tierra causan cambios en la calidad del acuífero. La magnitud del efecto contaminante sobre el agua subterránea de una actividad en particular está relacionada con la aptitud del suelo y del sistema hídrico subterráneo para degradar o diluir los contaminantes, así como del grado en que los contaminantes interfieran con el uso del agua.

Todos los contaminantes del agua subterránea entran al acuífero, esencialmente, a través del agua de recarga de la superficie, con excepción de aquellos casos en que agua contaminada es, en forma clandestina, inyectada directamente en el acuífero.

Algunos ejemplos de contaminantes son:

- \* Productos químicos orgánicos sintéticos tales como pesticidas y productos del petróleo.
- \* Ciertos metales pesados como el mercurio, arsénico, cadmio, cromo y plomo.
- \* Nitratos
- \* Microorganismos diversos, bacterias y virus
- \* Residuos del petróleo y productos de la combustión de los automóviles a lo largo de las calles y autopistas.

Cada actividad humana tiene un impacto particular en el agua subterránea. Algunas actividades agrícola-ganaderas aportan nitratos y pesticidas al agua subterránea. Las áreas residenciales con cámaras sépticas (pozos ciegos) usualmente adicionan nitratos, bacterias, virus y productos orgánicos sintéticos de limpieza usados en la higiene casera. Las áreas de almacenamiento de combustible (incluyendo las estaciones de servicio) pueden tener fugas y derramar los productos derivados del petróleo. Las carreteras o rutas contribuyen a la contaminación debido al petróleo que puede ser derramado por los vehículos y a metales de la combustión que salen del escape.

Un impacto importante proviene de los basureros antiguos cubiertos y abandonados, cuyas filtraciones pueden contener diferentes sustancias químicas en una concentración relativamente alta.

## PROTECCIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

La protección contra la contaminación del agua subterránea requiere de un manejo consciente y de la cooperación por parte de los ciudadanos y de varias instancias gubernamentales.

En muchos casos los estudios de vulnerabilidad (grado de protección natural de los terrenos a la contaminación) y de planificación del uso del suelo son la mejor medida disponible para proteger los acuíferos que aún contienen agua de buena calidad. Si se planifica la localización de fuentes potenciales de contaminación y se las ubica -por ejemplo- lejos de las áreas críticas de recarga (que son más vulnerables), el riesgo de contaminación se reducirá notablemente.



Esquema que representa las diferentes zonas de protección de la calidad del agua subterránea en un pozo destinado al abastecimiento urbano

Fig. 11 – PERIMETROS DE PROTECCION DE POZOS

El uso cuidadoso y la eliminación apropiada de los productos químicos que causan contaminación son también necesarios. Las industrias, los establecimientos agrícola-ganaderos y las poblaciones asentadas sobre las reservas de aguas subterráneas necesitan practicar un buen manejo con respecto al uso y eliminación de productos químicos. Las reglamentaciones gubernamentales para el uso y eliminación de materiales tóxicos tienen que cumplirse. Un paso igualmente importante es hacer que las personas estén conscientes del impacto potencial que ellos pudieran realizar en el agua subterránea.

También es necesario que los pozos construidos estén convenientemente aislados en su parte superior, y de aquellos acuíferos salinizados o con contaminación manifiesta.

## EL ACUÍFERO GUARANÍ

La denominación Acuífero Guaraní fue adoptada en honor a la etnia indígena guaraní, que desde tiempos ancestrales ha ocupado el territorio donde se encuentra este acuífero. En realidad, el Acuífero Guaraní, desde el punto de vista hidrogeológico, está conformado por varias unidades geológicas distintas que interactúan entre sí.

Es decir que funciona como un complejo sistema, de allí que se lo conozca como **Sistema Acuífero Guaraní**.

## ÁREA DE OCURRENCIA REGIONAL

Si bien el área de ocurrencia del Sistema Acuífero Guaraní no se encuentra totalmente definida, el **Proyecto Sistema Acuífero Guaraní (SAG)** llevado a cabo conjuntamente por Paraguay, Brasil, Argentina y Uruguay, tiene como objetivo el uso sostenible del mismo.

Ocupa un área de aproximadamente 1.2 millones de kilómetros cuadrados, es decir la superficie de Francia, Inglaterra y España juntas. El 70% del acuífero esta en el territorio brasileño, 19% en el territorio argentino, 6% en Paraguay y el 5% restante en Uruguay.

## UBICACIÓN

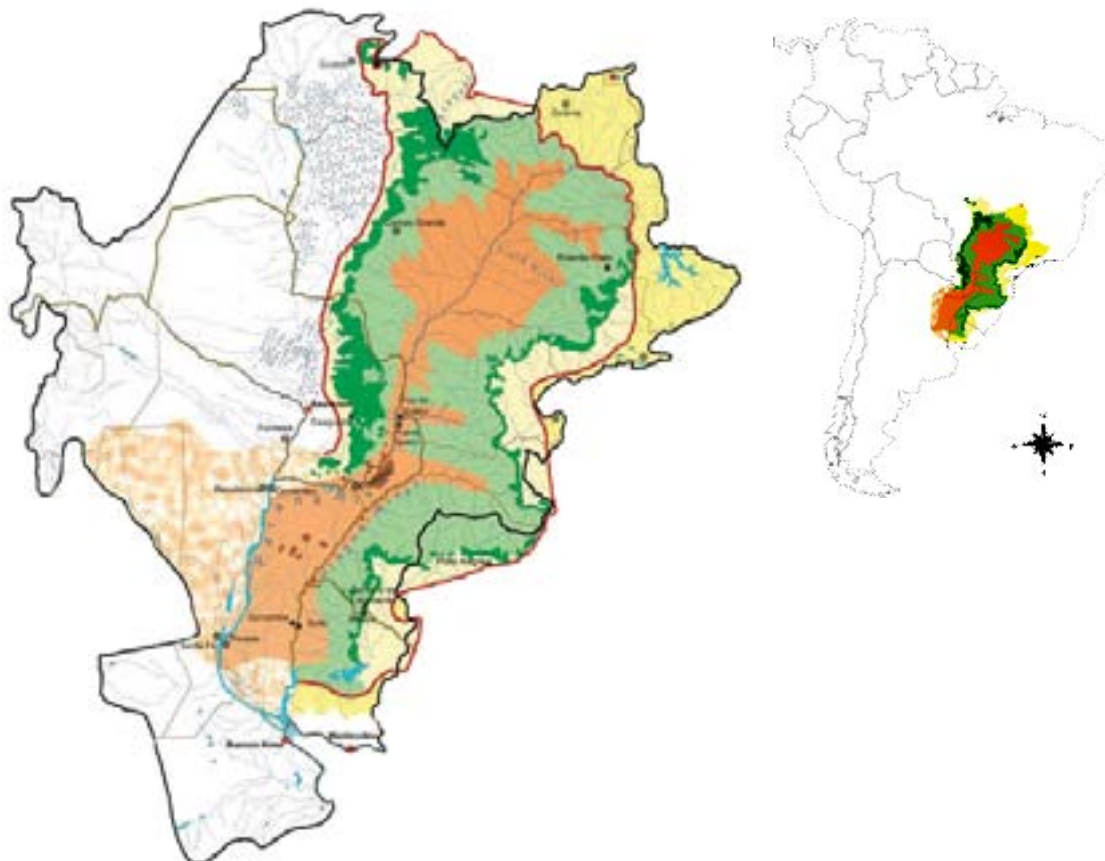


Fig. 12 – UBICACIÓN DEL ACUÍFERO GUARANÍ – MAPA ESQUEMÁTICO

La figura representa el mapa esquemático del SAG que fue elaborado en junio de 2001 por la Unidad de Preparación del Proyecto en Brasil, con el aporte de la comunidad técnica-científica de la región. En él se definen las áreas de recarga (amarillo y verde) que es por donde ingresa el agua al acuífero y las de descarga (marrón) que es por donde sale a sistemas hídricos superficiales. En Argentina y Paraguay los límites del acuífero no están completamente delineados.

## OTROS ASPECTOS RELEVANTES

El acuífero Guaraní es uno de los mayores reservorios de agua subterránea del mundo, cuyo volumen acumulado es preliminarmente estimado en 37.000 kilómetros cúbicos. Tiene una utilización del orden de 25% de sus recargas directas e indirectas, solamente en Brasil (166 km<sup>3</sup>/año) para abastecer el consumo de una población superior a los 15 millones de habitantes del área, con una tasa de 2000 m<sup>3</sup>/año por persona, sin considerar los usos hidrotermales.

El conocimiento hidrogeológico está basado en la información aportada por parte de los miles de pozos perforados en el sistema. En Brasil hay muchos pozos profundos realizados para exploración de petróleo. Estos pozos se concentran mayormente en el Estado de San Pablo.

El Sistema Acuífero Guaraní corre por debajo de una zona geográfica enmarcada en el Centro-Este de América del Sur, comprendiendo el Nordeste de la Argentina, el Este de Paraguay, el Noroeste del Uruguay y el Sudeste de Brasil. Abarca alrededor de 1.500 municipios o unidades mínimas de gobierno de los cuatro países, con una población total de 23.500.000 habitantes sobre el área del acuífero, de los cuales alrededor de 9.000.000 se abastecen del mismo.

El país que más lo explota es Brasil, abasteciendo total o parcialmente entre 300 y 500 ciudades; en Uruguay hay más de 135 pozos de abastecimiento público, algunos de los cuales se destinan a la explotación termal, y en Paraguay se registran varios centenares de pozos destinados principalmente al uso doméstico en pequeñas comunidades y para usos rurales. En Argentina, hace 10 años se comenzó en la provincia de Entre Ríos la explotación de perforaciones termales profundas de agua dulce y salada.

La explotación más allá de lo sostenible (extraer más agua que la que repone permanentemente el acuífero), la contaminación por vertidos industriales en áreas de recarga, líquidos residuales domésticos (por carencia de sistemas de tratamientos de aguas y residuos) o agroquímicos e insecticidas en zonas rurales, pueden ser causales incluso de inutilización de partes del acuífero, ya que la descontaminación es un proceso de muy compleja realización o de un altísimo costo financiero.

También la eliminación de efluentes salados constituye un serio problema ambiental ya que, en caso de imprevisiones o malas prácticas, pueden contaminarse acuíferos dulces o cursos de agua superficial.

**Para evitar llegar a esta situación y poder mantener el aprovechamiento del acuífero en el tiempo, los cuatro países acordaron lograr un marco institucional, legal, técnico y de gestión que haga posible el uso sostenible del mismo, razón por la cual se ha implementado el Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní.**

El Proyecto cuenta con la colaboración del Fondo Global para el Medio Ambiente (GEF), el Banco Mundial (BM), la Organización de Estados Americanos (OEA), el gobierno de Alemania y la Agencia Internacional de Energía Atómica.

# EL PROYECTO SISTEMA ACUÍFERO GUARANÍ

## ¿POR QUÉ ES IMPORTANTE HACER EL ESTUDIO?

- a) Para mejorar y ampliar el Conocimiento del Sistema Acuífero Guaraní (SAG).
- b) Para implementar una Red de Monitoreo permanente y un Sistema de Información en todo el ámbito del acuífero.
- c) Para elaborar el Plan de Acciones Estratégicas (PAE) y el Análisis de Diagnóstico Transfronterizo (ADT).
- d) Para desarrollar una propuesta de Marco de Gestión Coordinado, armonizando políticas hídricas e instrumentos de gestión entre los cuatro países, y disminuyendo los riesgos que pueden comprometer cualitativa y cuantitativamente el futuro del SAG.

## CIFRAS QUE HABLAN

**Con la estimación de 37.000 kilómetros cúbicos acumulados, el Sistema Acuífero Guaraní es uno de los reservorios de agua subterránea más grandes del mundo.**

Se consideran en el área precipitaciones medias de 1.500 a 1.600 milímetros anuales; evapotranspiración media anual de alrededor de 1.000 milímetros y un escurrimiento superficial, a través de la Cuenca del Plata, de 615 km<sup>3</sup>/año. El proceso regional permite infiltraciones de alrededor de 50 a 100 km<sup>3</sup>/año recargando todos los acuíferos relacionados.

**Las reservas renovables o activas del SAG, o sea el agua que se puede extraer sin comprometer la viabilidad del acuífero, que es igual a la que el mismo repone desde la superficie cada año, se estiman de 9 a 40 km<sup>3</sup> para el mismo lapso, bajo las condiciones naturales actuales.**

**La cifra anterior equivale, por ejemplo, al consumo anual de agua para todos los usos (familiar, industrial, agrícola, etc.) de una sociedad de desarrollo intermedio, de unos 150.000.000 de habitantes.**

El agua del acuífero se encuentra en los poros y fisuras de las areniscas formadas en tiempos geológicos del Mesozoico (edades entre los 130 a 200 millones de años), cubiertas por espesas capas de basalto que le brindan protección, surcadas por sistemas de fractura. El agua del acuífero circula desde las áreas de recarga (afloramientos) y a poca profundidad, a las de descarga y pozos, con velocidades muy pequeñas (de 0,5 a 5 metros por año), razón por la cual aloja sectores con aguas muy antiguas (casi fósiles), que se infiltraron hace varios miles de años.

El agua del Acuífero Guaraní puede ser encontrada, dependiendo de los lugares, desde los 50 m a los 1.500 m de profundidad. En muchas áreas posee presión de semisurgencia, surgencia o artesianismo, de manera que realizada una perforación el agua asciende y/o emerge naturalmente sobre el nivel del suelo.

La temperatura geotérmica del agua varía, según los lugares, entre los 33° C y los 65° C, razón por la cual tiene posibilidades de diversas aplicaciones en balneoterapia, industrias y otros usos.

De sus aproximadamente 1.190.000 km<sup>2</sup> de extensión, 850.000 km<sup>2</sup> corresponden a Brasil, 225.000 km<sup>2</sup> a La Argentina, 70.000 km<sup>2</sup> a Paraguay y 45.000 km<sup>2</sup> a Uruguay.

# CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS GENERALES DEL SISTEMA ACUÍFERO GUARANÍ

El acuífero se denomina **Sistema** porque está conformado por varias unidades litoestratigráficas (rocas) distintas que, desde el punto de vista hidrogeológico interactúan y por lo tanto deben estudiarse en conjunto.

Estas unidades fueron formadas en los periodos geológicos Triásico, de hace mas de 200 millones de años, y Jurásico, cubiertos en parte con los derrames basálticos del Cretácico, otras formaciones sedimentarias y sedimentos modernos depositados en los valles fluviales. El Acuífero Guaraní presenta sectores en los que se comporta como acuífero libre recibiendo recarga directa de lluvias (áreas de recarga) y otras en las que es confinado (áreas de tránsito y descarga). En toda su extensión se encuentran importantes estructuras geológicas en el subsuelo, que limitan su continuidad a nivel regional y lo ubican a distintas profundidades.



Fig. 13 - SECCIONES ESTRUCTURALES  
REGIONALES A TRAVÉS DEL SAG



# **EL PROYECTO SISTEMA ACUÍFERO GUARANÍ**

El Proyecto Sistema Acuífero Guaraní pretende concertar criterios y medidas que permitan la gestión y el desarrollo sustentable del acuífero.

El desarrollo sustentable llevado adelante por la moderna gestión de los recursos hídricos podrá garantizar al Acuífero Guaraní el desempeño de variadas funciones, tales como producción permanente de aguas de buena calidad y energía hidrotermal para diferentes usos.

La necesidad de preparar el proyecto surgió, en parte, de las investigaciones realizadas por las universidades de la región sobre el sistema hídrico del acuífero Guaraní y por el nivel de conciencia alcanzado por las instituciones responsables de la administración de los recursos hídricos en los cuatro países, con respecto a su importancia regional y global,

En julio del 2000 se inició la preparación del proyecto con la realización del seminario de lanzamiento llevado a cabo en Santa Fe - Argentina. En mayo del 2003 se inicia oficialmente la ejecución del proyecto, en un acto realizado en la ciudad de Montevideo - Uruguay, sede de la Coordinación General del Proyecto.

En general, el proyecto prevé entre otros la expansión y consolidación del conocimiento básico del Sistema Acuífero Guaraní, crear un marco de acción para el manejo, mejorar la participación pública a través de un marco institucional y de información apropiada, realizar el monitoreo y evaluar la situación del SAG, y ejecutar medidas que eviten la contaminación de fuentes puntuales y difusas.

El proyecto Sistema Acuífero Guaraní es financiado mediante una donación del Fondo Mundial para el Medio Ambiente del Banco Mundial, fondos aportados como contrapartida por los 4 países a los que le pertenece el acuífero (Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay) y dinero aportado por otras agencias donantes como la Organización Internacional de Energía Atómica, el Servicio Geológico Alemán y el Banco Holandés.

## COMPONENTES

Para alcanzar sus objetivos, el Proyecto Acuífero Guaraní está organizado en varios Componentes, a saber:

### EXPANSIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA BASE DE CONOCIMIENTO CIENTÍFICO Y TÉCNICO

Su objetivo es ampliar la base de conocimiento actual, adecuándolo a los requerimientos de la gestión, mediante:

- \* **Estudios a nivel regional y local:** Hidrogeológicos, geológicos, geofísicos, hidrogeoquímicos, isotópicos y ambientales, y la modelación matemática, para determinar la geometría, estructuras y comportamiento hidrodinámico-hidroquímico del acuífero y de sus límites meridionales y occidentales.
- \* **Evaluación técnica, social y económica** de la utilización del Sistema Acuífero Guaraní; con relación a escenarios actuales y futuros.
- \* **Ejecución de estudios** mediante Proyectos del Fondo de las Universidades del PSAG.

### DESARROLLO E INSTRUMENTACIÓN CONJUNTA DE UN MARCO DE GESTIÓN

Constituye el núcleo del proyecto y su objetivo es desarrollar un marco para el gerenciamiento coordinado, técnico, institucional, financiero y legal del Sistema Acuífero Guaraní dentro de los principios del desarrollo integrado sostenible.

Se estructura en:

- \* **Diseño e instrumentación de la red de monitoreo de pozos.**
- \* **Desarrollo e integración de un Sistema de Información del Sistema Acuífero Guaraní (SISAG)**

Mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG), se proveerá la base técnica para la toma de decisiones y resolver los problemas actuales y emergentes.

- \* Formulación de un Programa de Acciones Estratégicas (PAE)
- \* Apunta a proveer un marco para el manejo coordinado de los problemas de gestión o emergentes del proyecto;
- \* Capacitación y refuerzo institucional
- \* Se propone facilitar conocimientos especializados acerca de la gestión del agua subterránea y para el fortalecimiento de la base institucional.
- \* Análisis Diagnóstico Transfronterizo (ADT).
- \* Apunta a determinar los problemas emergentes de las zonas transfronterizas que deberán ser abordadas durante la gestión efectiva del acuífero.

### PARTICIPACIÓN PÚBLICA, EDUCACIÓN Y COMUNICACIÓN

Su objetivo es promover, apoyar y profundizar la participación del público, a través de la educación ambiental y del agua, la comunicación social, y la difusión de conocimientos acerca del Proyecto y del Sistema Acuífero Guaraní.

Su realización incluye:

- \* Preparación e implementación de **planes regionales de comunicación y participación pública.** Tiene previsto diseñar y ejecutar planes regionales de

comunicación, y realizar revisiones periódicas acerca del estado de la difusión de la información.

- \* **Fondo de la Ciudadanía del Sistema Acuífero Guaraní:** su objetivo es fomentar y fortalecer la participación y la educación ambiental, en especial acerca de las aguas del Sistema Acuífero Guaraní, como elemento esencial para asegurar la sostenibilidad del recurso a través de la participación de entidades de la sociedad civil organizada.
- \* Creación y diseminación de **instrumentos para aumentar la conciencia, interés y compromiso** entre los actores interesados: se orienta a la participación, mediante distintas alternativas, de niños y adolescentes en el proyecto del Sistema Acuífero Guaraní.
- \* **Estrategia para pueblos Indígenas:** fomentar la participación de los grupos y comunidades que habitan en el área del Proyecto, ampliando el conocimiento de las aguas de acuífero y la integración entre los participantes del Proyecto, para conservación de la calidad del agua del acuífero.

## **SEGUIMIENTO, EVALUACIÓN Y DIFUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL PROYECTO**

El objetivo es implementar un sistema para el seguimiento de la ejecución del proyecto. Consta de los siguientes subcomponentes:

- \* Desarrollo e implementación del sistema de seguimiento, evaluación y reorientación.
- \* Difusión de los resultados y experiencias dentro y fuera de la región del Acuífero Guaraní

## **DESARROLLO DE MEDIDAS PARA LA GESTIÓN Y MITIGACIÓN EN ÁREAS CRÍTICAS O PILOTO**

Su objetivo es diseñar, aplicar y evaluar los costos y factibilidad de prácticas de gestión, en lugares específicos dentro de la región.

Esto se efectúa en:

- \* Concordia (Argentina) - Salto (Uruguay): Tiene como objeto elaborar un plan de gestión conjunta de las aguas termales profundas, orientado a su utilización sostenible.
- \* Rivera (Uruguay) - Santana do Livramento (Brasil): Se evaluará mecanismos relacionados con la gestión y protección de aguas subterráneas dentro de una porción no confinada del acuífero, en un área de actividades urbanas y rurales.
- \* Itapuá - Paraguay: En el corredor fronterizo entre Paraguay y Brasil / Argentina se estudiarán mecanismos de recarga / descarga y se abordarán aspectos acerca de la vulnerabilidad del acuífero a las acciones antrópicas.
- \* Ribeirão Preto (Brasil): En un área con estudios preexistentes se buscará proveer información y experiencias adicionales para la gestión acerca de la contaminación difusa localizada y la sobreextracción de aguas, debido al uso urbano en zonas densamente pobladas del acuífero y con importantes actividades agrícolas e industriales.

## **GEOTERMIA DEL SISTEMA ACUÍFERO GUARANÍ**

Apunta a evaluar el potencial geotermal, condicionado por el interrogante acerca de la sostenibilidad, en términos científicos, técnicos, económicos, financieros y ambientales.

---

## BIBLIOGRAFÍA

**López Geta, J.A., F. Azcoiti, J.M., R. González, G., V. Gil, F.** - Las Aguas Subterráneas – Un recurso natural del subsuelo. Instituto Geológico y Minero de España / Fundación Marcelo Botín – s/d

**Branco, S.M.** - ÀGUA: Origem, uso e preservação. Editora Moderna Ltda. – Brasil - 2001.

**AIDIS Argentina** – “Hidrogeología Ambiental” – XI Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente – Buenos Aires – 2000

**Custodio, E., Llamas M.R.** (directores de edición) - Hidrología Subterránea (Tomos I y II) Ediciones Omega - Barcelona - 1983

**UNESCO/WMO/OMM/OBM** - Glosario Hidrológico Internacional Nº 385 - París - 1974.

“Water” – en **NEW ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA** – 15th ed. - Chicago – 1974 - T. 19

“Groundwater” – en **NEW ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA** - 15th ed. - Chicago – 1974 - T.8

**Proyecto Para La Protección Ambiental Y Desarrollo Sostenible Del Sistema Acuífero Guaraní** – en [www.sg-guarani.org](http://www.sg-guarani.org)

## REFERENCIAS DE FIGURAS

FIGURA	EN PÁGINA...
Fig. 1 – EL CICLO HIDROLÓGICO . (Fuente 1)	6
Fig.2 – ZONA VADOSA Y NIVEL FREÁTICO (Fuente 2)	8
Fig 3 – ACUIFEROS LIBRES Y CONFINADOS (Fuente 2)	9
Fig. 4 – AREAS DE RECARGA Y DESCARGA (Fuente 2)	10
Fig. 5 – ACUIFEROS Y MANANTIALES (Fuente 2)	11
Fig 6 – EXPLOTACION, CONO DE DEPRESIÓN Y NIVELES (Fuente 1)	12
Fig 7 – CONO DE DEPRESION EN UN BOMBEO (Fuente 2)	13
Fig 8 – SUMA DE CONOS DE DEPRESIÓN (Fuente 2)	13
Fig 9.a – METODOS DE PERFORACION (Fuente 2)	15
Fig 9.b – METODOS DE PERFORACION (Fuente 1)	15
Fig 10 – CONTAMINACION DEL AGUA SUBTERRANEA (Fuente 2)	20
Fig. 11 – PERIMETROS DE PROTECCION DE POZOS (Fuente 2)	21
Fig. 12 – UBICACIÓN DEL ACUÍFERO GUARANÍ – MAPA ESQUEMÁTICO (Fuente 3)	23
Fig. 13 - SECCIONES ESTRUCTURALES REGIONALES A TRAVÉS DEL SAG (Fuente 4)	27

## FUENTES:

Fuente 1: AIDIS Argentina – “Hidrogeología Ambiental” – XI Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente – Buenos Aires – 2000

Fuente 2: López Geta, J.A., F. Azcoiti, J.M., R. González, G., V. Gil, F. - Las Aguas Subterráneas – Un recurso natural del subsuelo. Instituto Geológico y Minero de España / Fundación Marcelo Botín – Madrid, 2001

Fuente 3: Proyecto Para La Protección Ambiental Y Desarrollo Sostenible Del Sistema Acuífero Guaraní – en [www.sg-guarani.org](http://www.sg-guarani.org)

Fuente 4: Araújo, L.M. Francia, A.B. y Potter, P.E. Acuífero Gigante del Mercosur en Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay: Mapas hidrogeológicos de las formaciones Botucatu, Piramboia, Rosario del Sur, Buena Vista, Misiones y Tacuarembó. UFPR y Petrobras, Curitiba, Paraná – Brasil, 1995.

