



Agua subterránea y ambiente



CORDOBENSIS
PROGRAMA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA
PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Blarasin, Mónica

Agua subterránea y ambiente / Mónica Blarasin y Adriana Cabrera

1a ed. - Córdoba: Agencia Córdoba Ciencia, 2005.

32 p. ; 29x21 cm.

(Programa de divulgación científica para la enseñanza de las ciencias Cordobensis)

ISBN 987-98379-9-1

1. Hidrología 2. Aguas Subterráneas-Contaminación I. Cabrera, Adriana, II. Título

CDD 363.739 4.

Autoras:

Mónica Blarasin

Adriana Cabrera

Esta publicación ha sido editada por el Área de Promoción Científica de la Agencia Córdoba Ciencias S.E.

Primera edición: Agosto de 2005

Hecho el depósito de ley.

Impreso en Argentina - 2005

2000 ejemplares

Todos los derechos reservados.

Prohibida su reproducción total o parcial.

Prefacio

Deseamos que esta contribución resulte un estimulante viaje del pensamiento para docentes que desean acercarse a la temática del agua en general y **del agua subterránea y su dinámica y calidad** en particular: un recurso vital para la humanidad y agente geológico esencial en la dinámica exógena del planeta.

El presente es, fundamentalmente, un pequeño aporte al mejor entendimiento de un mundo que no vemos, **el subsuelo o ámbito subterráneo**, pero del cual dependemos para muchas de las cosas importantes que realizamos en nuestras vidas. Porque no lo vemos es difícil comprenderlo y también por eso existen alrededor de él numerosos mitos y creencias. Muchas personas desconocen como yace y se mueve el agua subterránea y, aún más, no saben que conforma la mayor reserva de agua líquida dulce disponible para la humanidad. Ambos aspectos generan numerosos problemas, ya que el desconocimiento de las reservas existentes y de sus características dinámicas y físico-químicas ha provocado grandes equivocaciones en el manejo que se hace de este recurso, que si bien es renovable, **es finito a escala humana en algunos ámbitos y altamente vulnerable a contaminarse en determinadas situaciones**.

¿De dónde proviene el agua que se saca de una perforación? ¿El agua que se extrae está siempre fría? ¿Es siempre dulce? ¿Es agua dura o blanda? ¿Puede contaminarse? ¿Puede descontaminarse? ¿Puede protegerse el agua subterránea? Las preguntas son muchas y con esta pequeña contribución sólo damos algunas respuestas sintéticas, esperando que nuevas preguntas y respuestas aparezcan en los lectores y que se abran nuevos senderos del pensamiento. Este texto pretende realizar una mirada integral del comportamiento del agua en la naturaleza, en especial de aquellos aspectos referidos a la fase subterránea del ciclo hidrológico y particularmente de los vinculados a la calidad del recurso hídrico. En referencia al enfoque integral hemos intentado abrir ventanas a las numerosas disciplinas (química, medicina, física, etc.) que se conectan con el agua y, al pasar del comportamiento general del ciclo hidrológico a una de sus fases (la subterránea), hemos ido abordando diferentes niveles de complejidad, desde lo global a lo local, usando incluso ejemplos de la provincia de Córdoba.

Finalmente, deseamos manifestar que, en relación a una cuestión vital como el agua, **una democracia requiere de un público informado**, que sea capaz de identificar opciones, elegir alternativas y entender las consecuencias de sus acciones o no acciones, ya que esto es también parte de la gestión ambiental efectiva que nos permitirá alcanzar una mejor calidad de vida.

Mónica BLARASIN y Adriana CABRERA



Introducción

Distribución y ciclo del agua en el planeta

Si bien la provincia de Córdoba cuenta con numerosos ríos, arroyos y lagos (algunos artificiales, como por ejemplo el Lago San Roque) debe una parte importante del suministro de agua para el consumo, industria, agricultura y ganadería, al ámbito subterráneo. Esto justifica la necesidad de conocer correctamente las principales características dinámicas y químicas del agua subterránea y sus relaciones con los restantes subsistemas naturales y socio-económicos.

Aunque el agua abunda en la Tierra, aquella de utilidad para consumo del hombre es escasa (Fig. 1). Se presenta en la naturaleza en todos los estados (líquido, sólido y gaseoso) y el circuito permanente que el agua cumple es el **Ciclo hidrológico**. En él la cantidad de agua es invariable, pero el estado, la composición y la disponibilidad en los distintos ambientes son variables. Los motores fundamentales que mueven al agua en el ciclo son la energía solar y la fuerza de la gravedad.

Agua dulce, agua escasa

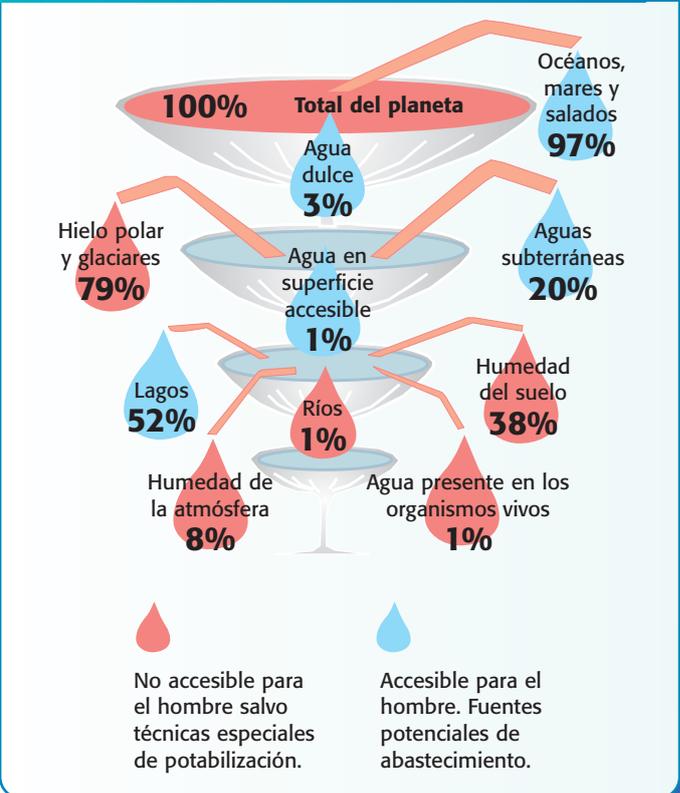


Figura 1

Comportamiento del agua en una cuenca hidrográfica

El ciclo implica un intercambio de agua entre los grandes ambientes hidrológicos: mares y océanos, atmósfera y masas terrestres. En los continentes, la cuenca hidrográfica (área drenada por un río) es la unidad de estudio por excelencia (Fig. 2).

Variable de entrada

P = Precipitaciones

Variable de Salida

EvT = Evapotranspiración desde suelos y vegetación

Ev = Evaporación desde cuerpos de agua

S = Esguerrimiento total (superficial y caudal de base a la salida de la cuenca)

Variable de tránsito

Esup = Esguerrimiento superficial encausado en afluentes

Em = Esguerrimiento superficial de manto

I = Infiltración

C = Capilaridad

R = Recarga al acuífero y troncos

Esub = Esguerrimiento subterráneo

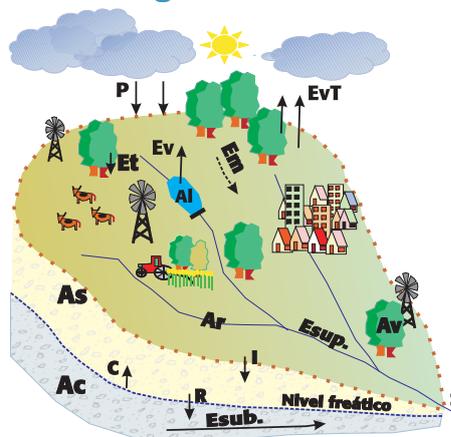


Figura 2

Variables de almacenamiento

Av = Intercepción por vegetación

Al = Lago, laguna

Ar = Ríos, arroyos

Ac = Agua subterránea

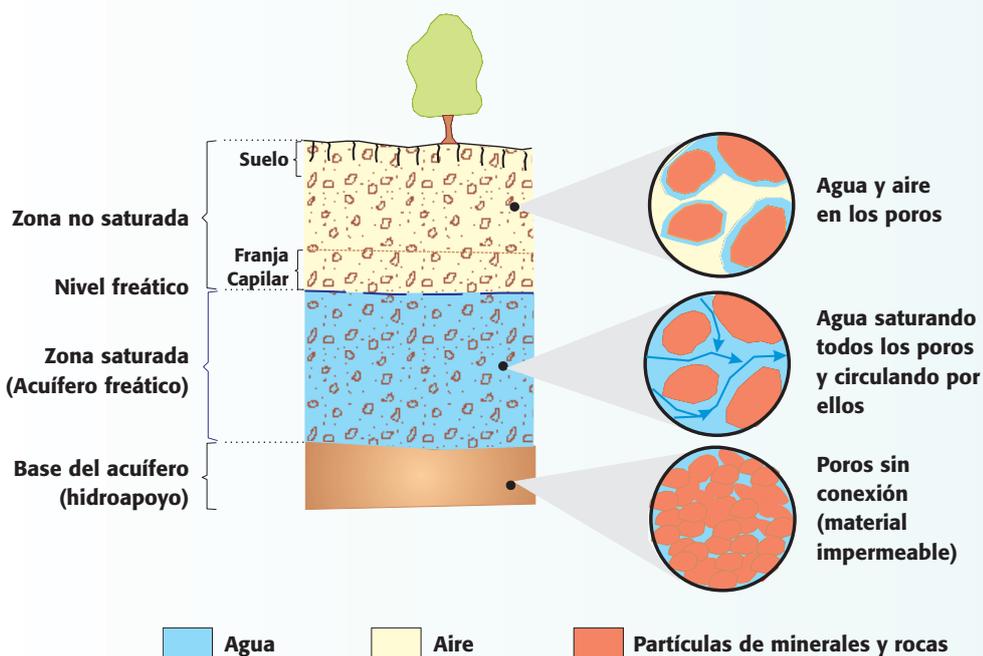
As = Suelo

¿El agua es un recurso renovable?

El hombre tiene derecho a utilizar para su existencia los recursos que le brinda la naturaleza, pero tiene el deber de conservarlos ya que muchos de ellos son limitados. En el caso del agua es importante conocer que las velocidades de circulación en las distintas fases del ciclo son muy variables, por lo que el tiempo de residencia o renovación, es decir, aquel durante el cual una molécula de agua permanece en cada ambiente hidrológico, es también muy diferente. Por ejemplo, el tiempo de renovación del agua en un río puede llevar días o semanas, mientras que el **agua subterránea** puede tardar semanas, cientos o miles de años en realizar este trayecto y así reponer las reservas. La renovación de estas grandes reservas de agua, aunque puede ser muy lenta, nunca es nula, pudiendo aseverarse entonces que el agua es un **recurso renovable** (si se piensa en términos de los fenómenos que ocurren en el ciclo hidrológico) pero se puede agotar, a escala humana, en muchos ambientes hidrológicos.

Aspectos importantes del origen, distribución y dinámica del agua subterránea

Distribución vertical del agua en el subsuelo



Desde el punto de vista del comportamiento y disponibilidad del agua por debajo de la superficie terrestre (subsuelo) existen dos zonas muy diferentes: la **zona no saturada**, caracterizada por contener aire y/o agua en sus poros (espacios vacíos entre granos), siendo el suelo una parte fundamental de ella (Fig. 3), y la **zona saturada o acuífero** (coloquialmente llamada "napa") que sólo contiene agua en sus poros.

Figura 3

Un **acuífero** es el sistema formado por las rocas fracturadas o los sedimentos (arenas, gravas, limos) y el agua que se almacena y llena completamente las fracturas o poros. Todos los acuíferos tienen la capacidad de recibir, almacenar y transportar agua (Fig. 4).

Para que los materiales se constituyan en acuíferos los poros o fracturas deben estar inter-

conectados para permitir que el agua, aunque muy lentamente, fluya a través de ellos. A mayor conexión entre poros mayor permeabilidad tendrá un acuífero y mejores posibilidades de ceder cantidades significativas de agua.

¡Cuidado!

Las explicaciones anteriores permiten desterrar el conocido mito de los “ríos subterráneos” en nuestra región, ya que éstos sólo pueden encontrarse en ambientes geológicos muy específicos del planeta: rocas calizas (con cavernas de disolución, estalactitas y estalagmitas) o volcánicas muy fisuradas.

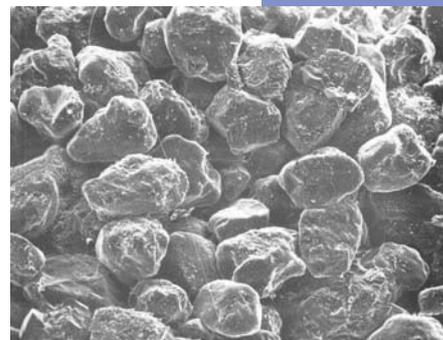


Figura 4. Vista al microscopio electrónico de un sedimento, donde se observan los granos de rocas y minerales y los espacios vacíos entre ellos (poros). Entre los poros interconectados (permeabilidad) circula el agua subterránea.

Las **reservas subterráneas** se clasifican en: geológicas, reguladoras, de explotación y totales. Las reservas **reguladoras** son muy importantes pues representan, en término promedio, la cantidad de agua que recarga al acuífero anualmente, y su conocimiento permite un **uso sustentable** del agua pensando en futuras generaciones.

Un acuífero se recarga principalmente por el agua de lluvia que se infiltra, que al superar la capacidad de almacenamiento de los suelos, circula hacia profundidad aumentando las reservas subterráneas. También se recarga por aporte de agua de un río, laguna, etc., o por acción del hombre (pozos negros, efluentes, etc.). Las velocidades de circulación del agua subterránea, que dependen del tamaño de grano de los sedimentos, son muy bajas, siendo en general del orden de milímetros o centímetros al año. El flujo de agua subterránea se produce, en general, desde las áreas más altas (de recarga) hacia las más deprimidas (de descarga), donde aflora en superficie, originando manantiales o aportando agua a ríos, lagos, etcétera.

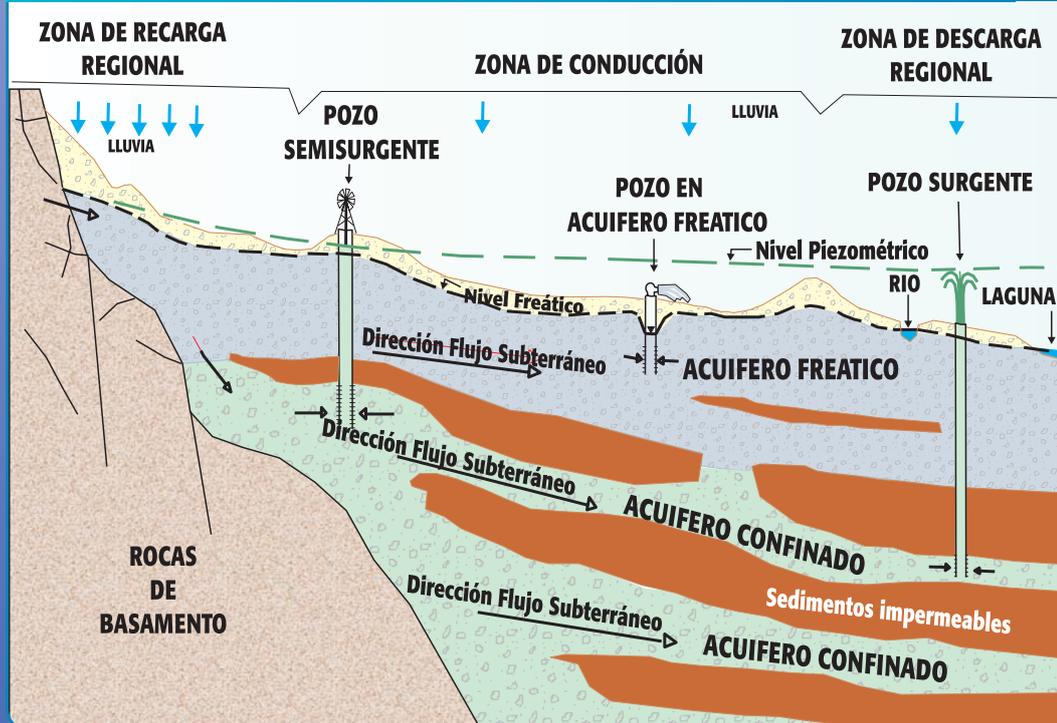
Existen 2 tipos de acuíferos: libres y confinados

1. Libre o freático

Es el más cercano a la superficie y el agua se mueve debido a la fuerza de la gravedad. La base del acuífero es una capa de material impermeable (arcillas, rocas), que puede ubicarse a distinta profundidad. El nivel superior es el **nivel freático** (altura que alcanza el agua en el acuífero) el que se encuentra sometido a la presión atmosférica y asciende o desciende en respuesta a los cambios de infiltración del agua de lluvia o por bombeo durante una extracción de agua (Fig. 5). Cuando se bombea un acuífero freático, se extrae el agua que almacenada en el mismo está sometida a la fuerza de la gravedad. En este momento, el nivel freático desciende, gene-



Comportamiento de los distintos tipos de acuíferos



rándose un **gradiente hidráulico** que origina un flujo de agua hacia el pozo. Se forma lo que se llama **cono de depresión** (Fig. 6), con forma de embudo cuyo centro es el pozo mismo, quedando secos (sin agua grávida) los sedimentos contenidos en él.

Figura 5

¿Qué pasa al sur de Córdoba con los cambios del nivel freático?

En los últimos 5 años se observa una tendencia al aumento generalizado en todo el sur provincial, como consecuencia del incremento en el registro de las precipitaciones durante el período húmedo 1998-2004.

Disminución del nivel freático por bombeo del acuífero

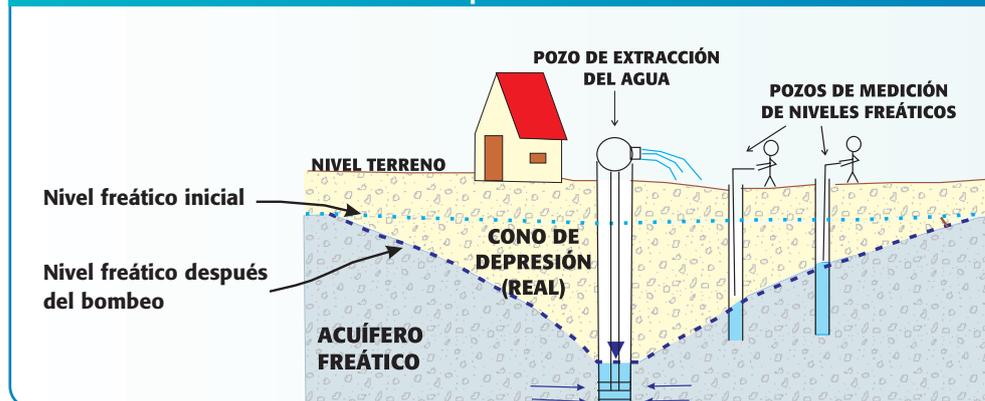


Figura 6

2. Confinados o cautivos

Se encuentran a mayor profundidad y cubiertos por importantes espesores de sedimentos, por lo que el agua está sometida a una presión mayor que la atmosférica. La base y el techo de estos acuíferos son sedimentos (capas confinantes) de gran espesor prácticamente impermeables (arcillas).

Disminución del nivel piezométrico por bombeo del acuífero confinado

Cuando se perfora un acuífero confinado el nivel del agua en la perforación asciende por encima del techo del mismo debido a la presión a la que estaba sometida el agua, intentando igualar el nivel del área de recarga, porque alcanza un nivel de estabilización llamado **nivel piezométrico o de presión hidrostática del acuífero** (Fig. 4). Este nivel es virtual, ya que se trata de una línea imaginaria que surge de unir el nivel que alcanza el agua en distintos pozos que penetren el mismo acuífero.

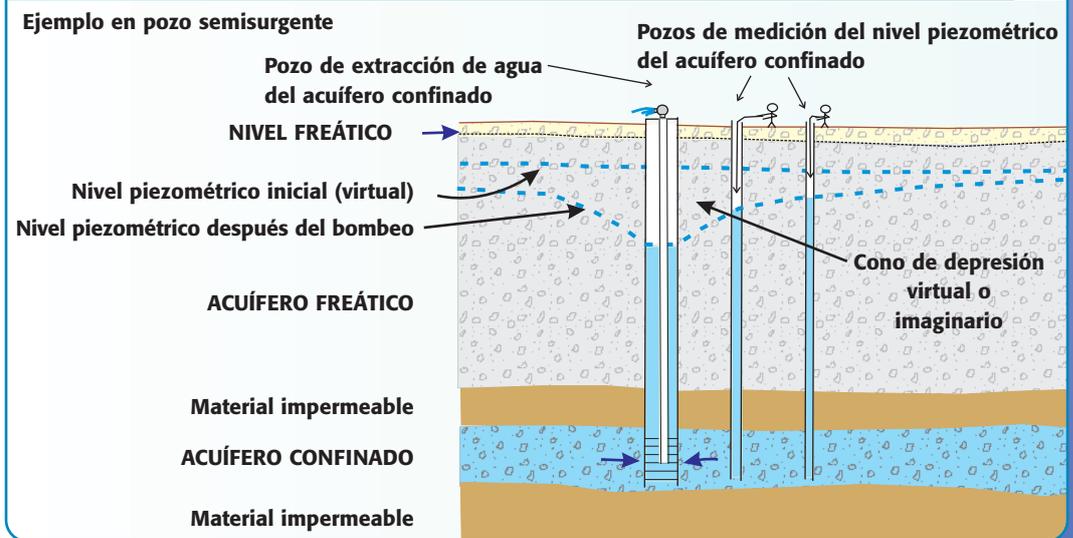


Figura 7

Los acuíferos confinados pueden recargarse por infiltración de agua de lluvia en áreas alejadas, en donde se comportan como freáticos. Un caso especial de los acuíferos confinados es aquel en que, si los materiales del techo son semipermeables, pueden recibir aporte de acuíferos ubicados por encima, denominándose en este caso acuíferos **semiconfinados**.

Cuando se explota un acuífero confinado su nivel piezométrico desciende, formándose un cono de depresión (Fig. 7). En este caso, el nivel del agua disminuye en la perforación, pero el cono que se forma es imaginario, ya que sólo puede reconstruirse a partir de otros pozos que penetren el mismo acuífero que se está bombeando.

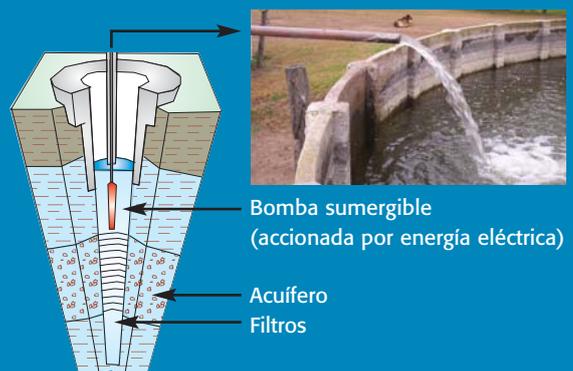
Cuando se extrae agua de un acuífero confinado el agua es cedida por efectos de dilatación del agua y de compactación del acuífero, debido a la disminución brusca en la presión por el bombeo. En numerosos lugares (México, California, etc.) esta compactación del acuífero ha generado hundimientos en el terreno (Fig. 8) que ocasionaron grandes problemas en la infraestructura urbana.

¿Siempre hace falta usar bombas para sacar agua de los acuíferos confinados?



Molino (accionado por energía eólica)

No, ya que si en el pozo el agua asciende por encima de la superficie terrestre, este es surgente, y no hace falta usar sistema de extracción (Fig. 5). Si el agua queda por debajo de la superficie, el pozo es **semisurgente**, aquí, el hombre debe recurrir al uso de algún mecanismo (bombas centrífugas, molinos, etc.) para elevar el agua hasta la superficie.



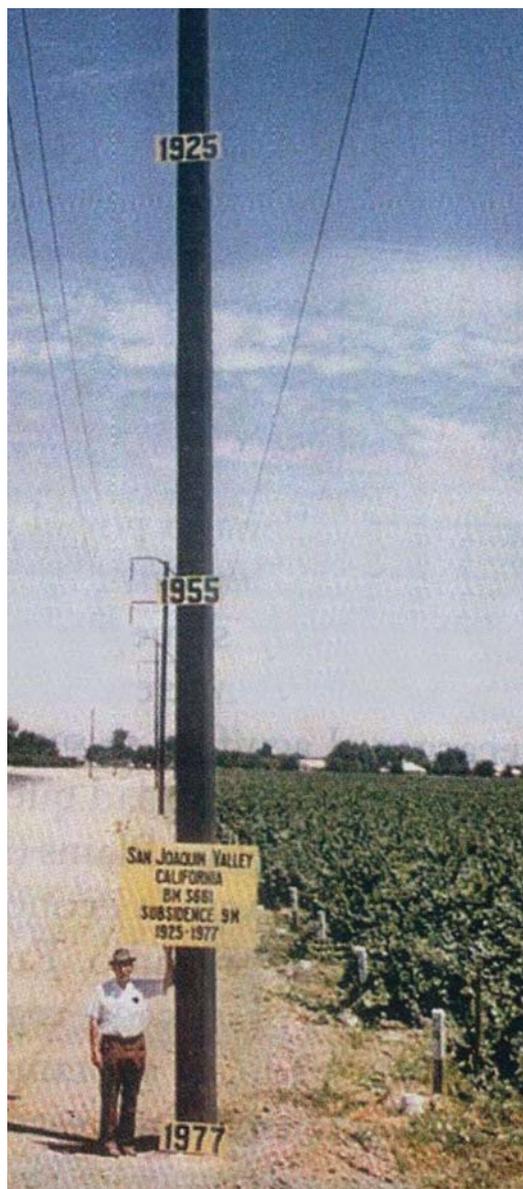


Figura 8. Ejemplo de hundimiento del terreno como consecuencia de la extracción excesiva de agua subterránea (acuífero confinado). Fuente: Tarbuck y Lutgens, 1999.

¿Cuánta agua puede sacarse de un acuífero?

La cantidad de agua que puede extraerse de un acuífero (libre o confinado) es variable, depende de las características del mismo (porosidad, permeabilidad, espesor, etc.) y del diseño de la captación que se haga.

Hay pozos con bombas que permiten extraer 600.000 litros por hora (l/h) o más, mientras que con un molino pueden obtenerse caudales pequeños del orden de 800 - 1.500 l/h aproximadamente.



¡Cuidado!

Algunos pozos surgentes de excelente calidad están permanentemente abiertos (alimentando lagunas o usándose para regar calles) desde hace más de 30 años sólo por temor que al cerrar estos pozos pierdan surgencia. Sin embargo, este mito debe desterrarse, ya que la pérdida de surgencia se produce justamente como consecuencia de la extracción permanente de agua del reservorio subterráneo y, además, debe recordarse que se está derrochando sin sentido agua que tardará **cientos o miles de años en renovarse**.

¿Existen relaciones entre el agua subterránea y el agua superficial?

Existen tres situaciones típicas de la relación entre aguas subterráneas y superficiales (Fig. 9): influencia, efluencia e indiferencia.

El caso típico de un río que recibe aporte de un acuífero es el del río Cuarto o Chocancharava (Fig. 10). Por ese motivo, a pesar de que la región se caracteriza por varios meses sin lluvias (otoño-invierno), el río mantiene un caudal pequeño llamado caudal de base que es justamente el que le aporta el agua subterránea, por eso es un río de **régimen permanente**.

Un caso típico de indiferencia es el del río Seco, en cercanías de Alpa Corral, el cual sólo lleva agua durante las tormentas de verano, encontrándose el nivel freático a aproximadamente 50 m de profundidad. Se trata de un río de **régimen efímero**.

Los arroyos de **régimen temporario** son aquellos en los que el cauce se mantiene con agua durante varios meses del año y luego se secan, pudiendo mantener para las distintas épocas, relaciones de influencia, efluencia o aún indiferencia. Casos de efluencia se observan, además, en numerosos arroyos de la provincia y en algunos tramos de los ríos más importantes (Cuarto o Chocancharava, Quinto o Popopis, etc.).

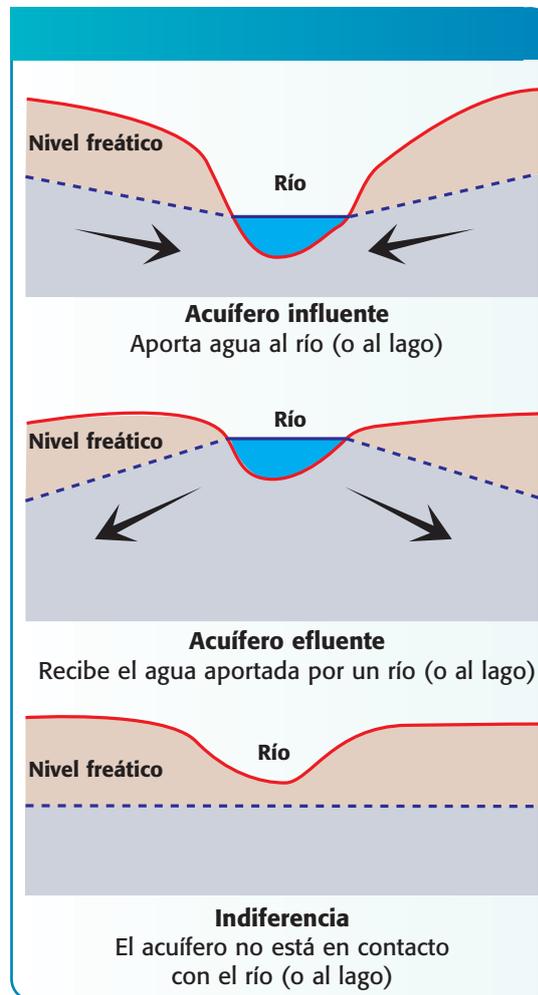


Figura 9



Figura 10

Ejemplo de un curso de régimen permanente:
El río Chocancharava en su paso por la ciudad de Río Cuarto

Aspectos importantes de la calidad del agua

Para recordar: algunos conceptos básicos de la química del agua

El estudio de la química del agua es un vasto tópico que va desde el trabajo esencial del químico, encargado de controlar la calidad de un suministro de agua a una población (que debe asegurar que se cumpla con los requerimientos de los consumidores y de las normas legales), hasta los estudios más desconocidos de los geoquímicos involucrados con la lenta interacción entre el agua y la roca o sedimento hospedante.

El agua es un solvente excepcionalmente bueno, a veces llamado **solvente universal** porque disuelve casi todas las sustancias, dados los tiempos suficientes, aún en pequeñas cantidades. Para entender algunas de las razones de este comportamiento debe darse una mirada a la **estructura atómica del agua**.

En la molécula de agua, dos átomos de hidrógeno se combinan con un átomo de oxígeno, por lo que es eléctricamente neutra, pero por el modo en que los dos iones Hidrógeno se ligan al ión oxígeno, un extremo de la molécula de agua tiene una carga positiva y el otro una carga negativa, se dice entonces que la molécula es un **dipolo eléctrico** (Fig. 11).

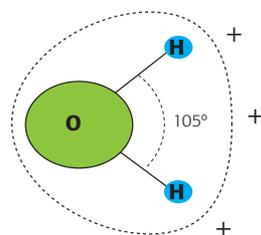


Figura 11

Las moléculas de muchos otros compuestos, incluyendo minerales formadores de rocas y sedimentos, también se man-

tienen unidas por distintos tipos de enlaces químicos en los que intervienen cargas eléctricas. Cuando el agua fluye lentamente por las superficies de estos materiales, las cargas de sus moléculas pueden ser lo suficientemente fuertes para vencer los ligamentos que unen las de los minerales. Este efecto hace que el agua sea tan buen solvente que los minerales se disocian en iones y entran en solución al agua.

¿Qué es un átomo?

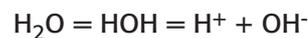
Un átomo consiste de un núcleo que contiene partículas cargadas positivamente llamadas **protones** y (excepto para el hidrógeno) otras partículas llamadas **neutrones** que no tienen carga eléctrica. El número de protones de un elemento químico es llamado **número atómico**. Alrededor del núcleo existen partículas cargadas negativamente, los **electrones**, que se mueven en orbitales, tal como ocurre con los planetas alrededor del sol. Los átomos neutros tienen el mismo número de electrones que de protones, sin embargo, algunos pueden ganar o perder electrones fácilmente (perdiendo su neutralidad eléctrica) y adquirir una carga eléctrica neta, tomando el nombre de **iones**. Aquellos átomos con carga neta positiva (los que han perdido uno o más electrones) son llamados **cationes**. Los que poseen carga neta negativa (si han ganado electrones) son llamados **aniones**. Los cationes y aniones pueden combinarse y formar **moléculas**.

Algunas sustancias son muy solubles, como la sal común o sal de mesa (NaCl), y otras muy poco solubles, como la sílice (SiO₂).

¿Cómo se expresa la concentración del material sólido presente en solución en el agua?

Se usa el miligramo por litro (mg/l) que, debido a que las concentraciones de sólidos disueltos son bajas y no modifican la densidad de la solución, es equivalente a partes por millón en peso (ppm). Para elementos que se encuentren en muy bajas concentraciones se usa el microgramo por litro (µg/l), correspondiendo 1 mg/l a 1.000 µg/l.

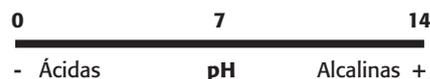
Aunque las moléculas de agua son relativamente estables químicamente, pueden disociarse en iones hidrógeno (H⁺) e hidroxilos (OH⁻), de la siguiente manera:



Así, aún el agua pura contiene algunos iones, aunque en muy pequeñas concentraciones. Algunas sustancias, como el NaCl, se disuelven en agua sin causar ningún cambio en la concentración de iones hidrógeno e hidroxilos, pero otras tienen un efecto muy marcado. Una sustancia que libera iones hidrógeno a la solución es llamada **ácido** y la solución resultante, **ácida**. Una sustancia que libera iones hidroxilos, es llamada **base** y la solución resultante, **alcalina**. Cuando es igual la cantidad de iones hidrógeno e hidroxilos liberados, la solución resultante es **neutra**. Debido a que las concentraciones de estos iones en aguas naturales son tan bajas para expresarlas en mg/l, se usa una escala especial llamada de pH, que es una medida de la actividad del ion hidrógeno en la solución.

¿Qué es la escala de pH?

Se define como el logaritmo de la recíproca de la actividad del ion hidrógeno (medida en moles por litro). El pH de una solución neutra varía con la temperatura: a 25 °C es 7, soluciones con pH menores a 7 son ácidas y con pH mayores a 7 son alcalinas. Debido a que la escala es logarítmica, el cambio de un punto en la escala de pH implica un incremento o disminución de 10 veces en la acidez.



Una propiedad importante del agua: la dureza

Entre las propiedades importantes del agua se destaca la dureza debido a sus implicancias en algunos aspectos de la vida humana. La dureza queda definida principalmente por la presencia de los elementos alcalinotérreos, fundamentalmente calcio y magnesio, y se expresa en una cantidad equivalente de carbonato de calcio (ppm de CaCO_3). La dureza también está vinculada, pero en menor grado, con la presencia de otros iones (Hierro, Aluminio, Manganeso, estroncio y zinc). Este modo de expresión debe interpretarse cuidadosamente como una definición de una propiedad y no como la presencia de CaCO_3 en el agua. Se suele definir también como la capacidad del agua para consumir jabón o producir incrustaciones.

Existen tres clases de dureza:

- **Dureza transitoria o temporal:** expresa el contenido total de calcio y magnesio disueltos en el agua asociados a carbonatos y bicarbonatos.
- **Dureza permanente:** expresa el contenido total de calcio y magnesio disueltos en el agua que permanecen luego de la ebullición del agua.
- **Dureza total:** expresa el contenido total de calcio y magnesio disueltos en el agua y es la suma de la dureza transitoria más la permanente.



Figura 12. Ingeniero químico realizando análisis de agua. Laboratorio del Departamento de Geología. Universidad Nacional de Río Cuarto.

CLASIFICACIÓN DE AGUAS EN FUNCIÓN DE LA DUREZA

BLANDAS	menos de 50 ppm de CaCO_3
ALGO DURAS	entre 50 y 100 ppm de CaCO_3
DURAS	entre 100 y 200 ppm de CaCO_3
MUY DURAS	más de 200 ppm de CaCO_3

¿Cuáles son los factores que definen la calidad natural del agua?

La calidad del agua queda definida por sus características químicas, físicas y biológicas. En ausencia del hombre, la calidad natural del agua es el resultado de procesos climáticos, geológicos, biológicos e hidrológicos, siendo las principales fuentes de las sales disueltas la alteración de rocas y sedimentos, el lavado de suelos, las aportaciones atmosféricas (terrestres y oceánicas) y los organismos vivos. Las sales disueltas resultan de los procesos de ataque químico a los minerales (disolución, hidrólisis, hidratación, óxidoreducción, etc.). La **calidad química** del agua se define por la presencia de iones mayoritarios o fundamentales (cloruros, sulfatos, carbonatos y

bicarbonatos, sodio, potasio, calcio y magnesio), que componen prácticamente el 99% de la composición total, y de iones minoritarios (nitrato, hierro, nitrito, flúor, aluminio, entre otros) y trazas (plomo, cromo, arsénico, uranio, etc.) que conforman el 1% restante. La **calidad física** del agua está referida a propiedades tales como su temperatura, conductividad, densidad, viscosidad, turbiedad y color. La **calidad microbiológica** está vinculada al contenido en microorganismos, como por ejemplo bacterias y virus.

Evolución de la calidad del agua en su trayecto hidrológico

La mayor parte del agua subterránea que se extrae para uso doméstico, agrícola e industrial es agua meteórica, es decir, agua subterránea derivada de la lluvia e infiltración durante el ciclo hidrológico. La palabra **meteórica** deriva de la misma raíz que "meteorología" e implica contacto reciente con la atmósfera. Como se verá luego, la calidad química del agua subterránea de origen meteórico cambia durante su circulación en los sedimentos o rocas, dependiendo de factores tales como los minerales con los que entra en contacto, las condiciones de presión y temperatura y el tiempo disponible para que los minerales y el agua reaccionen.

El agua subterránea no tiene la misma calidad en todos lados aún perteneciendo al mismo acuífero, sino que va evolucionando en el espacio y en el tiempo. Por eso, al perforar en distintos sitios puede encontrarse agua de muy diferentes características. En términos generales, se habla de evolución geoquímica **normal** cuando el agua va aumentando su contenido en sales en dirección del flujo de circulación regional y va cambiando la composición pasando de bicarbonatada, a sulfatada y finalmente a clorurada (cambio en su carácter aniónico).

Por otro lado, y de acuerdo a los procesos que se explican más adelante, el agua puede ser cálcica, magnésica o sódica (Fig. 13).

¿Cómo ocurre esta evolución geoquímica?

Al agua de lluvia se la considera prácticamente pura (H_2O), pero en realidad posee un bajo contenido en iones que toma de la atmósfera, los que constituyen aproximadamente 10 - 30 mg/l de sales disueltas totales. Cuando la lluvia se filtra, disuelve dióxido de Carbono (CO_2) de la atmósfera del suelo, lo que genera ácido carbónico (H_2CO_3) y otorga agresividad al agua permitiendo mayor ataque químico a los minerales.

En general, las aguas de circulación regional (desde áreas de recarga hasta las de descarga) tienden a ir aumentando su mineralización (contenido salino) hasta saturarse en los diferentes iones, evolucionando desde aguas dulces a saladas. En las **áreas de recarga**, entre los aniones satura en primer lugar el ion bicarbonato (HCO_3^-) debido a su bajo K_{ps} (Constante del producto de solubilidad). Y como éste domina en solución, las aguas son **bicarbonatadas**,

Las **aguas superficiales** tienen, en general, baja cantidad de sales disueltas, y en su trayecto pueden cambiar su calidad química, pero se cargan principalmente de partículas en suspensión (limos, arcillas), de residuos de vegetación y de organismos vivos (bacterias, virus), lo cual modifica su calidad física y microbiológica.

El **agua subterránea**, en cambio, presenta en general, mayor cantidad de sales en solución debido al mayor tiempo de contacto con los materiales del terreno, producto de sus bajas velocidades de circulación, aunque en menor grado también pueden sufrir cambios en su calidad física y microbiológica.



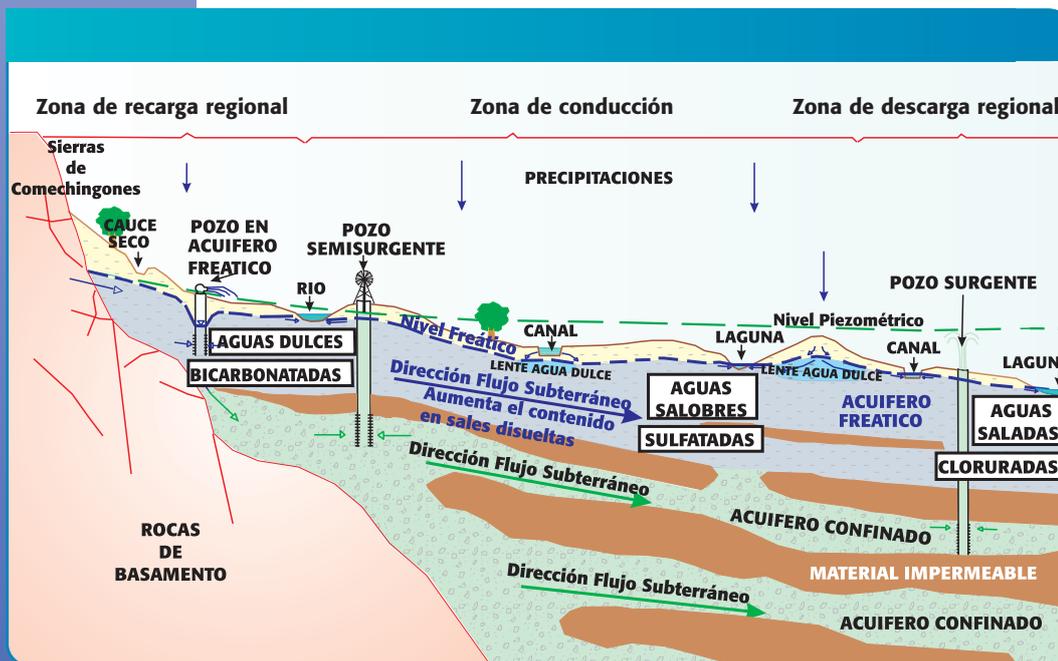


Figura 13

tenores más pequeños de sulfatos y cloruros. Cuando la solución se satura en ion bicarbonato puede precipitar sales carbonáticas en el propio acuífero. Al aumentar aún más las distancias desde el área de recarga (zona de recarga, Fig. 13) y disminuir la velocidad del agua (porque disminuyen los gradientes de pendiente del terreno o porque aumenta la profundidad del flujo en el acuífero) hay más oportunidad para disolver minerales. De este modo se disuelven más sales dominando en la solución el ion sulfato ($\text{SO}_4^{=}$), que posee un Kps más alto que el HCO_3^- , resultando así aguas **sulfatadas**. Finalmente, el ion cloruro (el que posee más alto Kps) no llega a saturar en aguas subterráneas y en las áreas de descarga (Fig. 13 y 14) se constituye en el ion dominante, por lo que las aguas son **cloruradas**.

Otro proceso importante en la evolución geoquímica del agua subterránea es el **intercambio iónico**. Este depende fundamentalmente de la presencia de minerales de arcilla en el acuífero, constituidos por partículas de pequeño tamaño (menor a 0,004 mm) con una gran superficie específica (mientras más pequeño sea el grano, más área expuesta al contacto con el agua circulante). Los iones adsorbidos en las superficies de las arcillas tienden a entrar en equilibrio con los iones del agua intercambiándose con ellos, proceso que involucra principalmente a los cationes. Así, los iones calcio y magnesio de la solución son reemplazados por iones sodio, los cuales están frecuentemente concentrados en las superficies de las arcillas cuando se depo-



Figura 14. Ejemplos de aumento de tiempos de tránsito del agua subterránea desde las zonas de recarga a las de descarga. Fuente: López Gaeta et al., 2001.

sepo-

aunque tendrán disueltos también tenores más pequeños de sulfatos y cloruros. Cuando la solución se satura en ion bicarbonato puede precipitar sales carbonáticas en el propio acuífero. Al aumentar aún más las distancias desde el área de recarga (zona de recarga, Fig. 13) y disminuir la velocidad del agua (porque disminuyen los gradientes de pendiente del terreno o porque aumenta la profundidad del flujo en el acuífero) hay más oportunidad para disolver minerales. De este modo se disuelven más sales dominando en la solución el ion sulfato ($\text{SO}_4^{=}$), que posee un Kps más alto que el HCO_3^- , resultando así aguas **sulfatadas**. Finalmente, el ion cloruro (el que posee más alto Kps) no llega a saturar en aguas subterráneas y en las áreas de descarga (Fig. 13 y 14) se constituye en el ion dominante, por lo que las aguas son **cloruradas**.

Los iones adsorbidos en las superficies de las arcillas tienden a entrar en equilibrio con los iones del agua intercambiándose con ellos, proceso que involucra principalmente a los cationes. Así, los iones calcio y magnesio de la solución son reemplazados por iones sodio, los cuales están frecuentemente concentrados en las superficies de las arcillas cuando se depo-

sitan los sedimentos. Dado que los iones calcio y magnesio causan la dureza del agua, este intercambio iónico lleva a un ablandamiento de la misma, o lo que es lo mismo a producir **aguas blandas**. Debido a esta gran movilidad que presentan los cationes, no son de utilidad para evaluar la evolución del agua subterránea, pudiéndose encontrar aguas duras o blandas en distintos sectores de una cuenca dependiendo de numerosos factores que influyen en este intercambio (litología, tamaño de grano de los sedimentos, tasas de recarga del acuífero a partir de la lluvia, etc.). Finalmente, es importante destacar que el proceso de evolución geoquímica regional explicado anteriormente, puede verse modificado (Fig. 13) según la influencia de factores tales como el relieve, la composición de los materiales, las actividades humanas (por ejemplo, recarga de agua a partir de un canal), etcétera.

Algunos problemas de la calidad natural del agua

La toxicidad de algunos elementos disueltos en el agua

El agua puede naturalmente poseer mala calidad si al circular por los sedimentos (o rocas) toma algunos elementos químicos que, al encontrarse por encima de los límites de aptitud establecidos, resultan tóxicos para la salud (Fig. 15 y 16). Como ejemplo pueden citarse los altos contenidos de arsénico y flúor en el agua subterránea de la llanura Chaco-Pampeana. El Código Alimentario Argentino (CAA) establece como límites para consumo humano 50 µg/l para el arsénico y 1,3 mg/l para el flúor. En Córdoba, se detectaron **altos tenores** en las zonas rurales y/o urbanas de Bell Ville, Sampacho, Bulnes, Coronel Moldes, Alejandro Roca, Río Cuarto, Vicuña Mackena, Laguna Oscura, etc. En Alejo Ledesma se determinaron tenores de hasta 1.700 µg/l de arsénico, y en cercanías de Sampacho de hasta 24 mg/l de flúor. El exceso de arsénico en aguas de consumo puede producir **Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE)**, y el flúor puede generar **Fluorosis** (moteado marrón en los dientes o afectación a los huesos).



Figura 15. Problemas dérmicos debido a consumo de agua con alto tenor de arsénico. Fuente: Edmunds y Smedley, 1995.



Figura 16. Ejemplos de moteado de dientes, en adolescentes y adultos de Malena y Coronel Moldes, debido al consumo de agua con altos tenores de flúor.

Aguas duras... ventajas y desventajas... ¿qué hacer con ellas?

Entre las ventajas de disponer de aguas duras se destacan los beneficios que genera a la salud de las personas que las consumen, ya que suelen estar asociadas a una presión arterial más baja y a menores complicaciones vasculares que las aguas blandas. Debe recordarse que la restricción de sal (cloruro de sodio) puede reducir la presión arterial en personas hipertensas. Por otro lado, las aguas duras no son perjudiciales para la mayoría de las plantas, sin embargo

forman depósitos calcáreos en las instalaciones de riego y manchas blancas en las hojas. Entre las desventajas del agua dura se encuentra la dificultad para producir espuma durante el lavado con jabones, para lo cual se han creado detergentes específicos que resuelvan este inconveniente. Uno de los problemas más graves asociados a aguas ricas en sales de calcio y magnesio son las incrustaciones (Fig. 17). En la industria, las aguas subterráneas son muy usadas para procesos de enfriamiento, porque tienen una temperatura similar a la media ambiente del lugar y muy uniforme a lo largo del año. Sin embargo, en general son aguas duras que al ser extraídas del acuífero sufren importante disminución en la presión de CO_2 disuelto, por lo que los bicarbonatos precipitan asociándose al calcio para formar sales de carbonato de calcio y subordinadamente de magnesio, que se depositan en cañerías, calderas, etc.



Figura 17. Ejemplo de incrustaciones con sales carbonáticas en cañerías.

Procesos de ablandamiento del agua

Es el proceso por el cual se eliminan o reducen los iones Ca^{+2} y Mg^{+2} . Puede realizarse por distintos procedimientos: **a) químicos de precipitación:** se agrega a un agua dura cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) y carbonato sódico (Na_2CO_3), produciendo la precipitación de carbonato de calcio e hidróxido de magnesio. **b) intercambio iónico:** en principio se usaban las zeolitas (aluminosilicatos), luego sustituidas por materiales sintéticos cuya función es intercambiar Ca^{+2} y Mg^{+2} por Na^+ , quedando los primeros retenidos en los materiales intercambiadores. En la actualidad son muy usadas las membranas de **ósmosis inversa** que permiten abatir el contenido general de sales del agua, y por lo tanto de Ca^{+2} y Mg^{+2} y de algunos elementos tóxicos indeseables.

¿Qué pasa con la calidad del agua al sur de Córdoba?

El agua del acuífero freático del sur de Córdoba varía de composición en sentido noroeste-sudeste, haciéndose más salina hacia el este y sudeste provincial por estar alejada de las zonas donde inicia su circulación, próximas a las sierras (Fig. 13, 18 y 19). Así, el agua del oeste provincial (Achiras, Sampacho, etc.) tiene tenores salinos bajos menores a 1,5 gramos por litro (g/l), y hacia el sudeste (Levalle, Asunta, etc.) posee, en algunos sectores, hasta 12 g/l o más. Si se considera que 1,5 g/l es el límite admitido por el CAA se comprende por qué **muchas poblaciones no cuentan con agua apta para consumo** y los municipios o cooperativas de agua están obligados a realizar costosos tratamientos para potabilizarla.

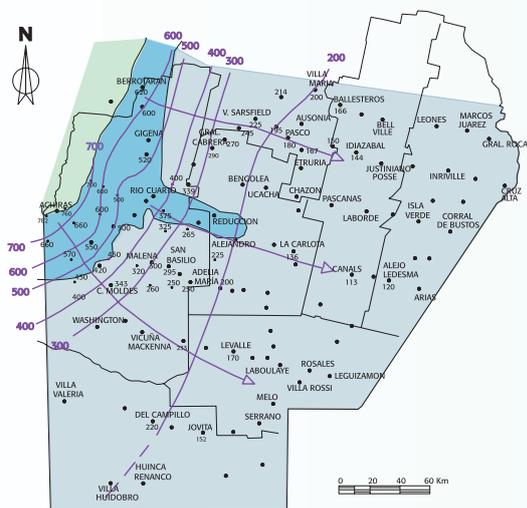


Figura 18. Mapa de potenciales hidráulicos del acuífero freático indicando la dirección noroeste-sureste en la circulación del agua subterránea.

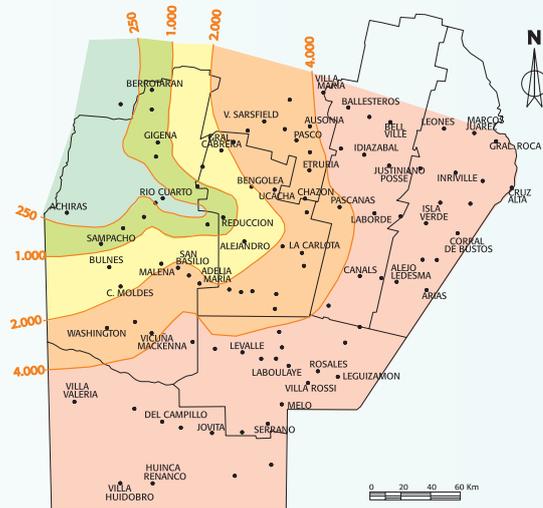


Figura 19. Mapa de salinidad (mg/l) del acuífero freático. Se observa un aumento de sales hacia el SE provincial, en respuesta a la dirección de circulación del agua.

Sin embargo, realizando las correspondientes exploraciones, en muchos sectores podría accederse a agua de buena calidad captando de acuíferos más profundos (confinados o semi-confinados). Estos presentan agua de variada aptitud, pudiendo ser **dulce** o **salobre** debido a las características geológicas y de la evolución sufrida. En la región hay numerosos pozos que captan de estos acuíferos profundos, extrayendo algunos de ellos aguas dulces y además termales debido al calentamiento que sufren en profundidad.

Contaminación de aguas

Existen numerosas controversias acerca de su definición. En general, se utiliza el término contaminación para referirse a la incorporación, por parte del hombre, de sustancias tóxicas o de organismos potencialmente patógenos que tornan impropia el agua para el uso al que se la destina. La contaminación del agua puede deberse a diferentes causas, siendo las más importantes las siguientes:



Figura 20

En general, en Córdoba hay un uso muy difundido de agroquímicos. Las investigaciones realizadas en áreas rurales permitieron detectar niveles moderados de degradación del recurso hídrico, principalmente por la presencia de nitratos en el agua subterránea derivados de la aplicación de fertilizantes.



Contaminación de origen agropecuario

Las tareas de cultivo con grandes aplicaciones de agroquímicos pueden contaminar el suelo y si las tasas de infiltración de agua de lluvia son importantes, los compuestos derivados de tales prácticas pueden llegar al acuífero. Si los cultivos son regados artificialmente habrá más agua para la lixiviación ("lavado") de sales, nutrientes y plaguicidas que pueden alcanzar el agua subterránea (Fig. 20). Además, la descarga de efluentes procedentes de la cría intensiva de ganado (*feed-lot*), tambos, corrales de aves, depósitos de agroquímicos, entre otros, puede producir localmente una contaminación orgánica o inorgánica muy significativa en el agua subterránea. Por ejemplo, muestras extraídas de perforaciones aledañas a un tambo pueden tener tenores de nitrato de 150 mg/l o más, extremadamente altos si se compara con el límite admitido por el CAA en agua para consumo humano que es de 45 mg/l.

Contaminación de origen urbano y domiciliario

Si las aguas residuales domésticas se descargan o se infiltran al subsuelo, el agua subterránea puede contaminarse con patógenos bacteriales y virales (que causan diarreas, fiebre tifoidea, hepatitis, etc.), y con nitratos, detergentes, y otras sustancias químicas. La mayor amenaza sobre la calidad del agua subterránea se presenta cuando se urbaniza sobre **acuíferos vulnerables** (muy expuestos a la contaminación) sin construir sistemas de cloacas, es decir cada casa tiene su sistema de saneamiento *in situ* (pozo negro Fig. 20).

El agua también puede contaminarse por infiltración de aguas residuales procedente de la lixiviación de basuras domésticas en vertederos a cielo abierto y, en menor grado, de rellenos sanitarios. También puede verse afectada por fugas del sistema cloacal y a partir de cementerios (Fig. 17).

La contaminación por sistemas de saneamiento *in situ* ("pozos negros")

En la provincia de Córdoba, como en el resto del mundo, las aguas subterráneas bajo áreas urbanas presentan severos problemas de contaminación si no existe sistema cloacal para evacuar efluentes domiciliarios. Investigaciones realizadas en Río Cuarto, Coronel Moldes, San Basilio, entre otras, permitieron verificar este problema. De las muestras de agua subterránea obtenidas, un 50% o más de los casos presentaron contaminación bacteriológica (Coliformes totales, fecales y *Escherichia coli*) y química (sales totales, cloruros, nitratos y nitritos). En la actualidad muchos de los barrios estudiados poseen agua corriente y cloacas, aunque en algunos casos el problema aún no se ha resuelto.



Contaminación de origen industrial

Numerosas industrias producen efluentes con concentraciones elevadas de compuestos orgánicos e inorgánicos peligrosos como nitrógeno, metales pesados (cromo, zinc, etc.), residuos radiactivos (uranio, estroncio, etc.), entre otros. Aún a muy bajas concentraciones, algunas de estas sustancias químicas son tóxicas o carcinogénicas. En muchos casos estos efluentes se descargan en distintos lugares (ríos, lagos, médanos) sin tratamiento adecuado para reducir sus efectos nocivos, pudiendo afectar al agua subterránea. En otros, las sustancias químicas se infiltran en el subsuelo antes o durante su uso industrial, debido a fugas de tanques y tuberías (Fig. 20).

En la provincia de Córdoba hay industrias lácteas, frigoríficos, aceiteras, curtiembres, etc., con distintos tipos de efluentes y diverso grado de tratamiento. Algunas los vuelcan a médanos, arroyos o humedales produciendo su contaminación. En estos casos en los que debe evaluarse la relación que tienen con el agua subterránea para saber si ha sido afectada. La Dirección Provincial de Agua y Saneamiento (DIPAS) es la autoridad de aplicación del Decreto 415 que reglamenta y establece límites para los **vertidos de efluentes** a los cuerpos de agua superficial y subterránea.



Pileta de efluentes de planta de lácteos en zona de Coronel Moldes.



Efluentes de curtiembre en zona de Elena



El efecto atenuador del subsuelo frente a la contaminación de aguas subterráneas

Vulnerabilidad de acuíferos

Los distintos contaminantes, sufren procesos físico-químicos y microbiológicos que pueden degradarlos o retardarlos en el subsuelo (perfil del suelo y zona no saturada), con distinta intensidad. Pero, por las variaciones geológicas, no siempre esta zona es efectiva en eliminar contaminantes, especialmente si la cantidad de efluente volcado es tan grande que sobrepasa su capacidad de atenuación. Además, algunos no son fácilmente degradados y son resistentes a la acción bacteriana (Fig. 21).

Relacionado a estos conceptos, se define el término **vulnerabilidad de un acuífero** como la fragilidad que tiene el agua subterránea de ser adversamente afectada por una carga contaminante. Los acuíferos más vulnerables son los freáticos por estar más expuesto a las actividades humanas, particularmente aquellos que tienen el nivel freático cercano a la superficie y cuando los sedimentos de la zona no saturada son muy gruesos, es decir muy permeables.

Un ejemplo de degradación de contaminantes: la participación de los microorganismos

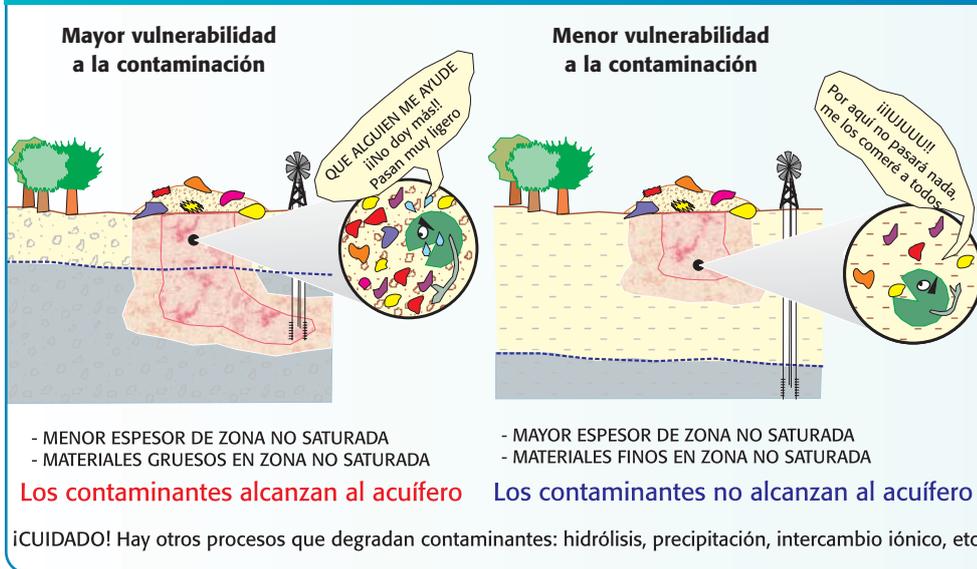


Figura 21

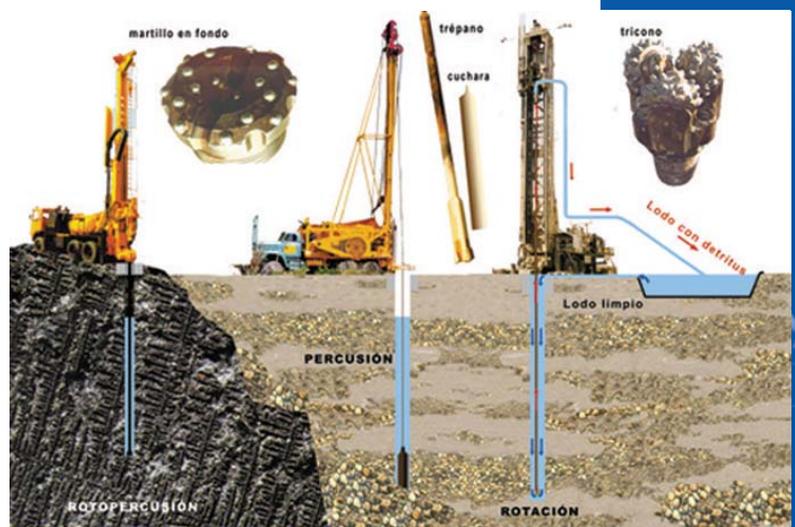
¡Atención!

La vulnerabilidad de un acuífero puede medirse, por lo tanto conocer la vulnerabilidad en una región es de gran importancia para **planificar el uso del territorio** y saber dónde ubicar cementerios, sitios de disposición de residuos sólidos urbanos, barrios sin cloacas, etc.

La importancia de la exploración hidrogeológica cuando se busca agua

Para localizar agua subterránea en calidad y cantidad adecuada para usos agrícolas, industriales, domésticos, etc., es necesario realizar **exploraciones hidrogeológicas**. Para ello, el geólogo se vale de metodologías directas (Fig. 22) e indirectas (hidroclimáticas, geofísicas, hidroquímicas, etc.) que le permiten definir las áreas más apropiadas para realizar captaciones.

Figura 22. Ejemplos de exploración directa del subsuelo: distintos modos de perforar. Fuente: López Geta et al., 2001.



¿De qué depende la cantidad de agua que se saca de un acuífero?

El **conocimiento hidrogeológico** es de importancia porque permite diseñar correctamente las perforaciones para extraer el caudal que se requiere, el cual depende del **diseño de la perforación** y de las **características geológicas del lugar**. Un error muy común es la construcción de pozos a profundidades no adecuadas, mal terminados, sin filtro, sin pre-filtro, etc. todo lo cual se traduce en baja eficiencia de la perforación, mayor gasto energético y a veces sin lograr el caudal requerido. Por ello es necesario contar siempre con el asesoramiento de los profesionales geólogos dedicados al agua subterránea.



Un ejemplo de uso de agua subterránea en una ciudad importante de la provincia: río cuarto

El agua que se distribuye en la ciudad de Río Cuarto como agua potable o corriente es agua subterránea en su totalidad, captada a través de una **galería filtrante** y de varias perforaciones ubicadas en el acuífero freático (no es agua que se toma del río como en general se cree). Las perforaciones tienen profundidades variables (algunas alcanzan los 80-100 m) y se encuentran distribuidas en distintos sectores de la ciudad, mientras que la galería filtrante es una **perforación horizontal de gran diámetro** que se ubica en el acuífero freático, en cercanías del río

(aproximadamente a 15 Km al noroeste de Río Cuarto), desde donde el agua es conducida al área urbana por gravedad. Debido a que el rendimiento de la galería ha bajado por colmatación con limos y arcillas de los poros existentes entre los ladrillos de las paredes que la revisten, es necesario refuncionalizarla o ampliarla. Hasta tanto esto ocurra se ha realizado una nueva perforación en cercanías de la misma, que también extrae agua del acuífero y se suma a la red. El agua que se

Esquema de captación de agua en la ciudad de Río Cuarto

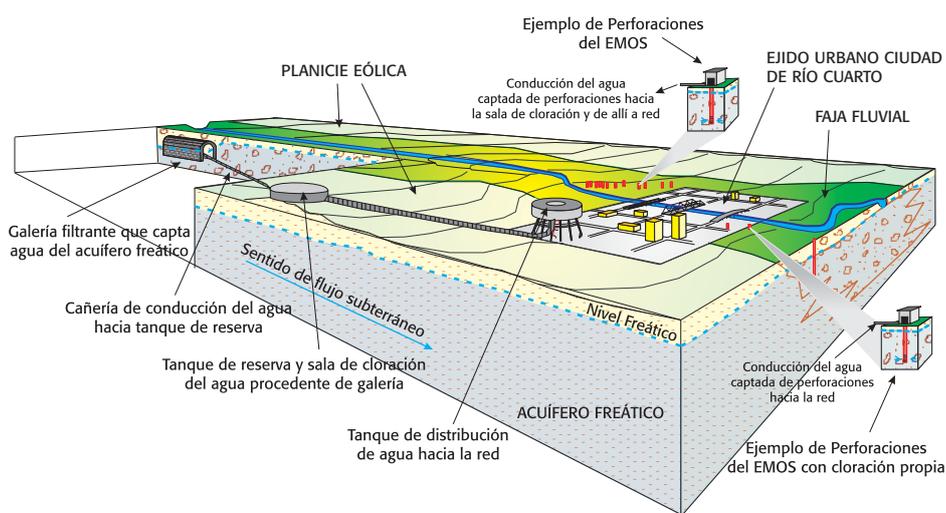


Figura 23

distribuye es de excelente calidad, dulce, bicarbonatada cálcica, en la que no se han detectado

elementos tóxicos para la salud. Sin embargo, para mayor seguridad bacteriológica, el EMOS (Ente Municipal de Obras Sanitarias), encargado de la distribución del agua en la ciudad, la potabiliza mediante la incorporación de cloro gaseoso (Fig. 23).

La exploración hidrogeológica en Río Cuarto y alrededores permitió definir dos ambientes:

a) **Faja fluvial:** faja que acompaña por ambos márgenes al río con sedimentos predominantemente gruesos que ha depositado el río en diferentes épocas geológicas, de ellos se extraen los mayores caudales y la mejor calidad de agua.

b) **Planicie eólica:** se ubica en sitios más alejados del río y está formada por materiales muy finos que ha depositado el viento (loess), apareciendo con mayor frecuencia capas cementadas con sales carbonáticas ("toscas").

Debido a la menor permeabilidad de los sedimentos los caudales que se extraen son más bajos, y la calidad del agua no es buena, debido al exceso en sulfatos, arsénico y flúor.

Indicadores ambientales de importancia a medir en aguas subterráneas

El agua subterránea es de vital importancia debido a que es un agente que participa en numerosos procesos geológicos pero, además, es un recurso que representa importantes reservas para la humanidad. La calidad del agua subterránea y el nivel freático (o piezométrico en un confinado) son considerados en todo el mundo los indicadores fundamentales, que sirven como **alarmas tempranas** para reconocer cambios ambientales y prevenir problemas. Para ello es importante realizar monitoreos o controles permanentes de estos parámetros (Fig. 24).



Figura 24. Monitoreo de agua en una perforación.

Monitoreo de la calidad de agua

Un parámetro importante a controlar con frecuencia es el contenido en **sales disueltas** totales, pues un aumento puede indicar procesos de contaminación. Otro compuesto químico que debe monitorearse es el **nitrato**, ya que éste prácticamente no aparece en forma natural en el agua y su presencia es un claro **indicio de contaminación**. En agua de bebida no debe sobrepasar los 45

mg/l, pues la ingesta de contenidos mayores puede producir metahemoglobinemia en niños (síndrome del bebé azul) y se lo asocia además a trastornos gástricos. En la ciudad de Córdoba fue resonante el caso de contaminación con nitratos en el agua de bebida de algunos barrios. En el gráfico de la Fig. 25 se muestra un monitoreo de nitratos en perforaciones rurales: en él dos muestras que exhiben tenores muy altos (hasta 250 mg/l) corresponden a perforaciones ubicadas al lado de fuentes contaminantes de tipo puntual, un tambo y un depósito de basura.

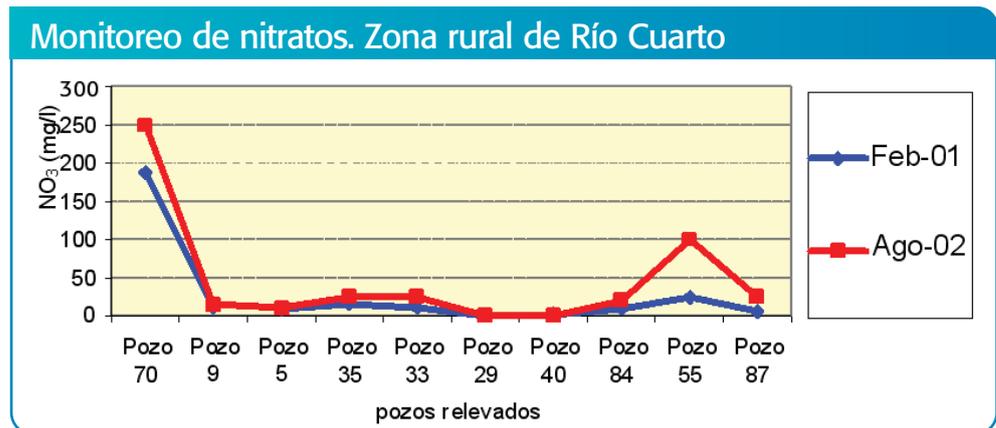


Figura 25

Monitoreo de cambios de nivel de aguas subterráneas

El monitoreo es sumamente importante porque el descenso o ascenso del nivel freático puede generar problemas en la infraestructura urbana y rural (afectación a los pozos negros, a rellenos sanitarios, inundación de sótanos, de silos subterráneos, anegamiento de campos, etc.). En las zonas rurales la causa del ascenso del nivel freático es claramente el aumento de lluvias, mientras que en áreas urbanas se suma el agua aportada por los “pozos negros”. Este aumento de nivel freático, muy marcado en el ciclo húmedo actual (1998-2004), ha afectado a numerosas ciudades y pueblos de la provincia. Un buen ejemplo es el de la ciudad de Río

Cuarto, en la que el ascenso del nivel desde 1998 produjo problemas en barrios del Sur, lo que obligó a drenar el acuífero (sacar agua) con un sistema de bombas, aún en funcionamiento. El Departamento de Geología de la Universidad Nacional de Río Cuarto ha instalado estratégicamente un freatógrafo automático (instrumento que registra las variaciones de nivel en forma continua) en una perforación realizada para tal fin. Como se observa en la Fig. 27, el nivel freático ascendió, para el período que se muestra, desde 11,9 a 11,4 metros. Otro ejemplo es el de la ciudad de Coronel Moldes (Fig. 26), donde el agua subterránea inunda los sótanos de varias casas, aunque el principal problema es que, al haber ascendido gradualmente casi 10 m en los últimos 50 años, ha provocado el desmoronamiento de numerosos “pozos negros” cuyas paredes no se encontraban calzadas. Otras perforaciones de monitoreo de nivel se ubican en San Basilio, Vicuña Mackenna, etcétera.



Figura 25. Tareas de perforación con barreno en área urbana para control de nivel freático.

Variaciones del nivel freático vs. precipitaciones. Río Cuarto

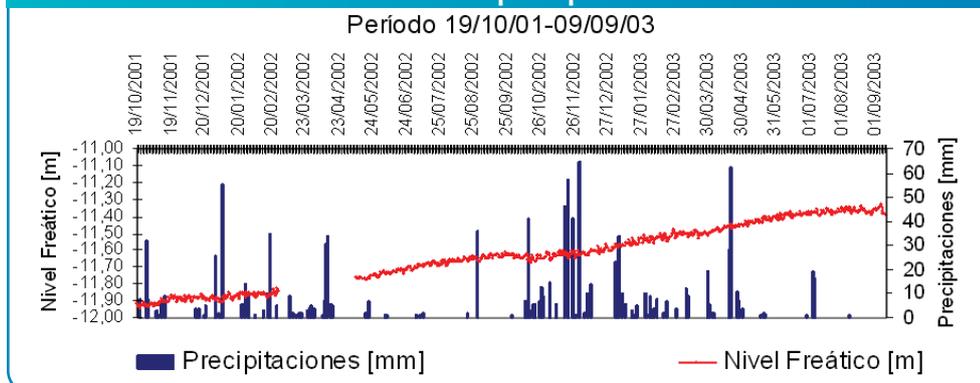


Figura 27

Usos y abusos del agua Gestión del recurso hídrico

Aunque el agua es un recurso estratégico para la vida, la contaminación de varios ríos del mundo, la sobreexplotación de acuíferos, el derroche de agua y otras actividades del hombre, la afectan seriamente. Ante este panorama cabe preguntarse hasta qué punto, los que tenemos buena disponibilidad de agua, hacemos **uso** o **abuso** del recurso. De acuerdo al último informe de las Naciones Unidas sobre el tema del agua en el mundo, en los próximos años se habrá agrandado la brecha entre los países ricos y pobres debido a que los primeros tendrán más tecnología y consecuentemente más disponibilidad de agua, la que será fundamentalmente utilizada para riego y producción de sus propios alimentos.

¡Basta de derroche!

La ciudad de Río Cuarto tiene un excesivo gasto de agua ya que utiliza un promedio de 450 litros por habitante y por día (l/hab/día), alcanzando en la actualidad, en los días más calurosos, los 550 l/hab/día o más. Sin embargo, hay muchas personas que aún no tienen agua potable y otras que sufren cortes en los días de mayor consumo, lo que obliga al Municipio a aumentar las inversiones para mejorar el suministro. Esto podría evitarse si pasáramos de un verdadero derroche a un uso cuidadoso ya que **con un tercio de lo que se gasta se podría vivir sin problemas**. El agua además de un bien económico es un derecho social por lo que todos deberíamos tener acceso a la misma.

La contaminación y el derroche de agua
comprometen futuras generaciones

Algunos principios rectores de la gestión del agua

- El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el ambiente.
- El aprovechamiento y la gestión del agua deben basarse en la participación de los usuarios, los planificadores y los responsables de las decisiones a todos los niveles.
- Responsabilidades indelegables del Estado: el agua es tan importante para la vida y el desarrollo de la sociedad que ciertos aspectos de su gestión deben ser atendidos directamente por el Estado.
- Gestión descentralizada y participativa: cada Estado provincial es responsable de la gestión de sus propios recursos hídricos y de la gestión coordinada con otras jurisdicciones cuando se trate de un recurso hídrico compartido.

Agradecimientos

La información volcada en esta contribución es el resultado de la tarea docente realizada en la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC) y la investigación subsidiada desde hace varios años por UNRC, CONICET y Agencia Córdoba Ciencia. Se agradece a aquellos compañeros docentes del Dpto. de Geología que apoyaron esta tarea.



Bibliografía

Blarasin M. y A. Cabrera, 2003. "Año Internacional del agua dulce, Aguas subterráneas y Ambiente". Cartilla de divulgación. Editorial UNRC.

Custodio E. y M.Llamas, 1996. "Hidrología subterránea", Tomos 1 y 2. Editorial Omega.

Edmunds, W. y P. Smedley, 1995. "Groundwater, geochemistry and health". British Geological Survey.

Lopez Geta J., Fornés J., Ramos G. y F. Villarroya, 2001. "Las aguas subterráneas, un recurso natural del subsuelo". Ed. ITGME (Inst. Geológico y Minero de España).

García Pérez, F. y J. García Díaz, 1992. "Orientaciones Didácticas para la Educación Ambiental en E. Secundaria". Ed. Aldea. Agencia de Medio Ambiente. España.

Price Michael, 1996. "Introducing groundwater". Editorial Chapman and Hall.

Tarbuck E. y Lutgens F., 1999. "Ciencias de la Tierra". Editorial Prentice Hall.

Algunos sitios de internet con información sobre recursos hídricos

Secretaría de Obras Públicas: <http://www.mecon.gov.ar/hidricos/>

Instituto Nacional del Agua (INA): <http://www.ina.gov.ar>

Instituto Argentino de Recursos Hídricos: <http://www.iarh.org.ar/>

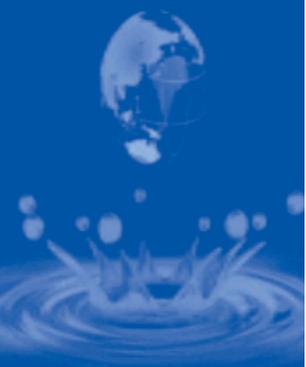
Progr. Mundial Evaluación Rec. Híd.: http://www.unesco.org/water/wwap/index_es.shtml

Aguamarket: <http://aguamarket.com/diccionario/>

Índice

Introducción. Distribución y ciclo del agua en el planeta	5
Comportamiento del agua en una cuenca hidrográfica	5
Aspectos importantes del origen, distribución y dinámica del agua subterránea	6
Existen 2 tipos de acuíferos: libres y confinados	7
1. Libre o freático	7
2. Confinados o cautivos	8
¿Existen relaciones entre el agua subterránea y el agua superficial?	11
Aspectos importantes de la calidad del agua	12
Para recordar: algunos conceptos básicos de la química	12
Una propiedad importante del agua: la Dureza	14
¿Cuáles son los factores que definen la calidad natural del agua?	14
Evolución química del agua en su trayecto hidrológico	15
¿Cómo ocurre esta evolución geoquímica?	15
Algunos problemas de la calidad natural del agua	17
La toxicidad de algunos elementos disueltos en el agua	17
Aguas duras... ventajas y desventajas... ¿qué hacer con ellas?	18
¿Qué pasa con la calidad del agua al Sur de Córdoba?	19
Contaminación de aguas	20
Contaminación de origen agropecuario	20
Contaminación de origen urbano y domiciliario	21
Contaminación de origen industrial	21
El efecto atenuador del subsuelo frente a la contaminación de aguas subterráneas: vulnerabilidad de acuíferos	22
La importancia de la exploración hidrogeológica cuando se busca agua	23
Un ejemplo de uso de agua subterránea en una ciudad importante de la provincia: Río Cuarto	24
Indicadores ambientales de importancia a medir en aguas subterráneas	25
Monitoreo de la calidad de agua	25
Monitoreo de cambios de nivel de agua subterránea	26
Usos y abusos del agua - gestión del recurso hídrico	27
Algunos principios rectores de la gestión del agua	28
Agradecimientos	29
Bibliografía	30





Trabajos seleccionados en la Convocatoria 2005

Cristales líquidos:

un ejemplo fantástico de aplicación tecnológica de las propiedades de la materia

S. Martínez Riachi, C. Carreño, L. Constable, P. Tarabain, M. Freites

Agua subterránea y ambiente

M. Blarasin, A. Cabrera

Fertilizantes y abonos: "alimentos" para las plantas

A. Ringuelet, I. Gil

El calentamiento global de la tierra: un ejemplo de equilibrio dinámico

V. Capuano, J. Martín

Los riesgos del alcohol en el embarazo

R. Rovasio

LA CIENCIA EN LA ESCUELA

El uso de los descubrimientos científicos y tecnológicos pueden afectar, positiva o negativamente, al bienestar y al desarrollo de la sociedad.

Nos encontramos ante la paradoja de una sociedad cada vez más tecnificada y con una mayor dependencia científica y, al mismo tiempo, escasamente informada en estas disciplinas.

Si la ciencia y la tecnología están cada vez más presentes en nuestras vidas, la comprensión de este fenómeno por parte de toda la sociedad se considera como uno de los valores intrínsecos de la democracia.

La ciencia es de todos, y para lograr su apropiación la escuela desempeña un rol fundamental. Docentes y directivos se cuestionan constantemente sobre la correspondencia entre el conocimiento científico y el conocimiento que se enseña en la escuela.

Al mismo tiempo, desde los ámbitos de investigación se evidencia la necesidad de transmitir el conocimiento producido a la sociedad.

Para que la ciencia llegue a la escuela, este conocimiento necesita ser adaptado para su difusión y enseñanza, es decir, que el conocimiento científico se convierta a través de sucesivas simplificaciones en conocimiento escolar, adecuado para alumnos de diferentes edades y desarrollo intelectual.

CORDOBENSIS pretende conducir este esfuerzo de transposición didáctica, y convertirse así en un instrumento de divulgación científica que permita llevar aquellos conocimientos generados por los investigadores cordobeses a todas las escuelas de nuestra provincia.



Gobierno de Córdoba
Ministerio de Educación

CEDEPAP
CENTRO DE DESARROLLO
DE PROYECTOS AVANZADOS



AGENCIA
CORDOBA
CIENCIA
S.E.