

PROTECCION DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN ACUÍFEROS DE LLANURAS ALUVIALES CON DISÍMIL EXPLOTACIÓN

**G. Mozzi¹, G.Gatto¹, E. Kruse², R. Dazzi¹, A. Mazzoldi¹, D. Guaraglia², G. zambon¹,
J. Ainchil² & E. Conchetto¹**

Resumen - Se analizan acciones para la protección de acuíferos de llanuras aluviales, que presentan ciertas semejanzas en cuanto a sus orígenes, pero que muestran condiciones diametralmente opuestas en cuanto a su explotación.

Uno de ellos corresponde a la llanura del Véneto (Noreste de Italia) donde existen evidencias de agotamiento y contaminación de las aguas subterráneas y el otro a la cuenca del Río Mojotoro (Provincia de Salta, en el Noroeste de Argentina), donde existe un incipiente uso del recurso.

De acuerdo a la experiencias obtenidas en el primer caso se proponen distintas sugerencias para lograr un mejor manejo del recurso hídrico subterráneo. Se incluye la concientización del usuario acerca de la significación del recurso, la definición de volúmenes extraídos, una serie de acciones para evitar la contaminación en áreas de protección definidas en las zonas de recarga, la instalación de redes de monitoreo del régimen hidráulico y químico. En la zona de menor explotación, donde es escasa la información básica disponible además es necesario un programa de evaluación de las aguas subterráneas, incluyendo los niveles productivo profundos.

Palabras claves - protección, acuíferos aluviales, explotación de aguas subterráneas

¹ CNR - ISDGM (Italy). Sao Polo 1364. 30125 Venezia. Italy.

² U.N. La Plata - CONICET (Argentina). Paseo del Bosque. La Plata (1900). Argentina.
Te: 54-221-4236593 e-mail: kruse@fcaglp.edu.ar

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un bien de importancia primaria para el desarrollo socioeconómico de un país, para salvaguardar sus características ambientales, y una de las bases esenciales para la vida. Lamentablemente en muchas zonas con desarrollos antrópicos importantes, no representa un elemento de libre acceso a todos, ya que la contaminación y el uso descontrolado han reducido su disponibilidad.

En general, las regiones de menor desarrollo socioeconómico, que son más frecuentes en los países nuevos, se caracterizan por la deficiencia en el conocimiento del comportamiento de las aguas subterráneas, en especial por la escasez de datos del medio físico referidos al subsuelo (perforaciones profundas) y de mediciones del régimen hidrodinámico e hidroquímico.

Se entiende que un país nuevo es aquel en que por su historia reciente y sus condiciones naturales, el hombre sólo ha entrado incipientemente en "crisis" con los recursos naturales, iniciando la concientización de la importancia de su conocimiento [1].

La extrapolación de experiencias obtenidas en zonas con intensa explotación de aguas subterráneas a aquellas escasamente desarrolladas, correspondientes a ambientes hidrogeológicos que presentan cierta analogía, pueden ser de gran utilidad para fijar pautas de uso y protección del recursos, a pesar de la escasez de información disponible.

En este trabajo se analizan las acciones a seguir para una adecuada gestión del uso de acuíferos de llanuras aluviales, que presentan cierta semejanza en cuanto a sus orígenes, pero que actualmente muestran condiciones diametralmente opuestas en cuanto a su explotación.

Uno de ellos, se sitúa en la cuenca del Río Mojotoro (Provincia de Salta en el Noroeste de Argentina), donde existe un incipiente uso del recurso y el otro ubicado en el Véneto (Noreste de Italia), donde como consecuencia de la intensa explotación existen problemas acuciantes de derivados del agotamiento y contaminación de las aguas subterráneas.

En el primer caso, en un futuro cercano podría intensificarse la explotación del acuífero y con el fin de plantear un correcto manejo que permita alcanzar un justo equilibrio entre los requerimientos de agua y la conservación de sus características cualicuantitativas, se hace una reseña de las enseñanzas que se derivan de la experiencia adquirida durante más de veinte siglos de manejo del sistema hídrico subterráneo del Véneto. En particular, se ponen

en evidencia las sabias acciones adoptadas por las pasadas generaciones y los graves errores cometidos en los últimos tiempos. Estos errores fueron fruto de injustificadas carencias en el manejo de este bien que en el pasado fue el artífice del bienestar económico, determinante del enriquecimiento cultural, e insustituible para la conservación de las particulares bellezas ambientales que han caracterizado a la tierra Véneto.

2 - EL SISTEMA HÍDRICO SUBTERRÁNEO DEL VÉNETO

Desde la antigüedad, el territorio Véneto, ha visto desarrollarse los asentamientos humanos gracias a la riqueza de los recursos hídricos. La disponibilidad de importantes reservas hídricas subterráneas han permitido el desarrollo de una agricultura intensiva.

Ya en tiempos de la antigua Roma, esta zona de llanura era favorable para el asentamiento de colonias romanas. La creciente importancia de la agricultura ha impulsado a buscar en el subsuelo el agua necesaria para el uso doméstico y agrícola. En la Alta llanura, donde las aguas subterráneas son más profundas, y por lo tanto no fácilmente alcanzables, la Serenissima Repubblica de Venezia, alrededor del siglo xv, dispuso la provisión de agua para cultivo por medio de canales que desviaban las aguas de los ríos, los cuales aún hoy funcionan.

Una gestión sabia, aunque simple, de este patrimonio, ha favorecido en los siglos pasados condiciones para una vida confortable, un enriquecimiento cultural muy elevado y sobre todo la conservación de las bellezas naturales que distinguen a esta región.

Con el desarrollo industrial acaecido en los años 50, han comenzado profundas transformaciones, incluyendo las ambientales: la nueva actividad que se sumó a la agrícola, mejoró el nivel de vida resultando un consumo de agua subterránea cada vez más relevante. La deposición de residuos industriales no depurados en el subsuelo y en los cursos de agua de la alta llanura, que alimentan al sistema hídrico subterráneo, han hecho surgir graves problemas de contaminación. La menor utilización del agua de superficie, en buena parte contaminada, aumentó aún más la explotación de los acuíferos subterráneos. La consiguiente apertura de un número desproporcionado de nuevos usuarios (se calcula que en la Media y Baja llanura, donde los pozos son artesianos, los pozos de erogación espontáneas son actualmente más de 100.000), ha contribuido a modificar notablemente el régimen natural del sistema hídrico subterráneo.

Actualmente los consumos son superiores a la posibilidad natural de recarga de los acuíferos: los procesos de alimentación por dispersión en cauces, han sufrido una drástica reducción también a causa del alejamiento (con propósitos hidroeléctrico y riego) de masivas cantidades de agua por medio de canales impermeabilizados, en tanto que el aporte debido a las lluvias han disminuidos sensiblemente [2]. El consiguiente descenso de los niveles de aguas subterráneas ha hecho desaparecer muchas "zonas húmedas", ha reducido el caudal de los ríos y obligado a profundizar los pozos, con un notable aumento en los costos para la extracción del agua desde mayores profundidades. En la baja llanura, donde abundan los niveles arcillosos, la despresurización de los acuíferos artesianos ha motivado la subsidencia [4, 5], aumentando la erosión y favoreciendo la intrusión salina. [3].

A consecuencia de estos problemas, se deberán ahora estudiar acciones oportunas para frenar el agotamiento, favorecer la recarga de los acuíferos e impedir una ulterior contaminación de las aguas. Se trata de intervenciones que seguramente requerirán tiempos muy largos, grandes esfuerzos económicos y, como en el caso de ciertas contaminaciones que han ya asumido un carácter de irreversible, no serán muy eficaces.

3 - EL SISTEMA HÍDRICO SUBTERRÁNEO DE LA CUENCA DEL RÍO MOJOTORO

En esta región, tradicionalmente la actividad fundamental fue la agricultura, con el cultivo de caña de azúcar, tabaco y citrus. El riego de las plantaciones inicialmente se realizó a través de aguas superficiales mediante una red de canales, que es captada en los sectores superiores del Río Mojotoro. A posteriori en la cuenca inferior comenzaron a efectuarse algunas perforaciones con ese mismo fin.

Un desarrollo industrial relativamente reciente (instalación de centrales de generación termoeléctrica) brinda posibilidades de desarrollo en la región [6]. En estos casos se debió recurrir al recurso subterráneo, como consecuencia de las fuertes variaciones del caudal superficial, su carga de material sólido y la necesidad de satisfacer una demanda continua a lo largo del año. El área, dada las características del medio físico, aparecía como favorable para la explotación de aguas subterráneas, a pesar de los escasos antecedentes hidrogeológicos existentes.

En la actualidad se ha incrementado la explotación, que se realiza únicamente de la unidad acuífera superior (hasta 90 m), reconociéndose la existencia de aproximadamente 30

perforaciones que extraen caudales individuales que superan los 100 m³/hora. Esta extracción no ha generado hasta el momento signos de agotamiento del acuífero, reconociéndose que la alimentación es superior a la descarga que se produce, no existiendo evidencias de modificaciones del régimen natural de las aguas subterráneas. La actual demanda de agua en la región es cubierta sin inconvenientes por esta unidad acuífera y por estas razones no existe la necesidad de recurrir a niveles acuíferos más profundos que presentarían una alta productividad y excelente calidad.

4 - CARACTERÍSTICAS LITOESTRATIGRÁFICAS, HIDROGEOLÓGICAS Y ESTRUCTURALES DE LOS DOS SISTEMAS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS

Los dos sistemas hídricos subterráneos que se toman en consideración corresponden a ámbitos de llanuras aluviales con índices de productividad y vulnerabilidad semejantes, aunque en el caso del correspondiente a la zona de menor desarrollo, los datos para caracterizar las aguas subterráneas resultan manifiestamente más escasos.

A - LA SITUACIÓN ESTRUCTURAL, LITOESTRATIGRÁFICA E HIDROGEOLÓGICA DE LA LLANURA VÉNETA

La Llanura Véneta (Fig 1), tiene una extensión de más de 5.000 kilómetros cuadrados y está ubicada en una extensa depresión de origen tectónico generándose al final del Cretáceo (cuando existía un mar poco profundo), después de tensiones compresivas dirigidas del sudsudeste hacia el nornoroeste. Las tensiones orogenéticas, aún activas, han plegado los sedimentos del fondo marino en un amplio pliegue: su ala septentrional se curva hacia arriba, formando los relieves montañosos, mientras que la meridional, curvada hacia abajo, ha determinado un progresivo hundimiento que fue rellenado de aluviones de los ríos a medida que iban formándose. La estructura principal, caracterizada de un rechazo vertical de 1600-1700 m, es acompañada de una serie de pliegues desarrollados en menor escala y de faldas transversales de diferentes orígenes y edad, que atraviesan toda la cuenca subsidente.

Luego de fases alternativas de afloramiento y hundimiento bajo el nivel del mar, la actividad orogenética del Oligoceno medio ha llevado a emerger definitivamente a la actual llanura .

Desde el punto de vista litoestratigráfico, en la faja inmediatamente próxima a los relieves montañosos, los aluviones son formados de gravas y conglomerados en una matriz arenosa muy gruesa. Avanzando hacia el sud, la granulometría de los sedimentos disminuye y las gravas van disminuyendo su tamaño, están acompañadas de lentes arenosas, limosas y arcillosas. En la Llanura media y baja, prevalecen los sedimentos decididamente finos con niveles arcillosos continuos, que determinan la subdivisión del complejo hídrico indiferenciado en un sistema acuíferos de múltiples niveles productivos (Fig 2).

Aunque el espesor aluvional presenta notables variaciones, debidas a la morfología del basamento rocoso, los relevamientos geofísicos y las perforaciones han evidenciado que los depósitos aluvionales presentan un espesor mínimo, en correspondencia de la faja pedemontana, que va progresivamente aumentando hacia el área litoral, donde alcanza los 950-1000 metros.

Las aguas que forman el sistema hídrico subterráneo toman su alimentación de la faja pedemontana y fluyen prevalentemente de noroeste a sudeste con un gradiente medio de 0,05%. Mientras en la faja que se encuentra a lo largo de la base de los relieves montañosos, el sistema hídrico resulta indiferenciado y caracterizado por una elevada permeabilidad ($10^{-1}/10^{-2}$ cm/s), el sistema en presión de la Media y Baja Llanura Véneta está formado por niveles confinados bien diferenciados. Avanzando desde la tierra firme hacia el litoral, la granulometría de los acuíferos disminuyen y la arena se enriquecen con fracciones limo-arcillosas. A lo largo de la costa, los niveles productivos mas profundos (350-550 m) no son utilizados, mientras los acuíferos mas cercano a la superficie han estado en el pasado sometido a una notable explotación; ellos presentan en general, una permeabilidad bastante baja ($10^{-3}/10^{-5}$ cm/s) y no es muy distinta de aquella de las arcillas ($10^{-5}/10^{-8}$ cm/s). Del análisis efectuado sobre las muestras provenientes del sondeo "Ve 1 CNR" resulta que prevalecen los terrenos mixtos y que los materiales limosos (45,4%) son mas abundantes que los arenosos (35,1%) y los arcillosos (18,5%).

B LA SITUACIÓN ESTRUCTURAL LITOESTRATIGRÁFICA E HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO MOJOTORO

La zona se ubica en la parte oriental de la Cordillera de Los Andes, provincia de Salta (Argentina), en un clima semiárido, con lluvias sólo en los meses de verano.

La comarca incluye regionalmente a relieves montañosos, serranos y llanos. La llanura desde un punto de vista geomorfológico corresponde a ambientes pedemontanos donde predominan bajadas y llanura aluviales. En superficie prevalecen materiales de granometría gruesa (gravas, conglomerados) de muy alta capacidad de infiltración.

Geológicamente este ambiente está relacionado con una depresión estructural [7]. En ella se desarrollan 1600 m de depósitos terciario superior - cuaternario, que conforman un medio favorable para el escurrimiento subterráneo. Hidrogeológicamente se reconocen dos grandes unidades.

- sedimentos Terciario superior - Cuaternario
- rocas Paleozoico inferior y Cretácico superior

Las rocas del Paleozoico inferior y Cretácico superior se encuentran aflorantes en las serranías de la cuenca situadas hacia el oeste y están compuestas por areniscas y calizas, fuertemente consolidadas con permeabilidad secundaria por fisuración.

La secuencia Terciario superior - Cuaternario está constituida por una sucesión de conglomerados, areniscas, limolitas y arcilitas con fuertes variaciones en las posibilidades de transmisión de agua subterránea.

Las características geológicas indican que las unidades sedimentarias constituyen un sistema geohidrológico único con fuertes variaciones areales y en profundidad. La información hidrogeológica de perforaciones se vincula solamente con los sedimentos más recientes (Cuaternario), cuyo espesor varía entre 80 y 90 m. Se han reconocido niveles acuíferos productivos más profundos, mediante una perforación de reconocimiento (entre 150 y 200 m) y a través de pozos realizados con fines petroleros. Los niveles piezométricos son surgentes y el agua es de bajo contenido salino.

La unidad superior (entre el nivel freático y alrededor de 90m de profundidad), compuesta por aglomerados y gravas gruesas de origen fluvial con escasa consolidación y variable proporción de material fino (limos y arenas), representa a un acuífero de alta productividad (permeabilidad del orden de 10^{-1} cm/s) [8] a partir del cual se desarrolla la explotación actual.

El sentido general de escurrimiento subterráneo local y regional es de oeste a este, hacia el Río Lavayén, donde el sistema descarga parcialmente. En la zona de las perforaciones el nivel freático se ubica entre 30 y 40 m, de profundidad siendo el gradiente

hídrico de 0,4%. En la unidad circulan aguas de muy baja salinidad (residuo seco 300 a 400 mg/l, cloruro de 10 a 30 mg/l) indicadores de un corto tiempo de contacto agua - sedimento y de la escasez de evaporitas en el medio.

El régimen natural del acuífero muestra fluctuaciones significativas en los niveles subterráneos, Entre mayo (profundidad mínima) y noviembre (máxima) existe una diferencia de alrededor de 6 m.

Un modelo hidrológico conceptual indica que la mayor recarga del acuífero se produce por el aporte del Río Mojotoro y secundariamente influyen los excesos de las precipitaciones de la zona. Mientras que la descarga del sistema se produce, de acuerdo al escurrimiento subterráneo local y regional en las zonas bajas del Río Lavayén.

5 ACCIONES PARA UNA GESTIÓN ADECUADA DE LOS SISTEMAS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS: CONCLUSIONES

Como se ha visto, en la Llanura Véneta la situación es ahora alarmante: contaminación y agotamiento de las aguas subterráneas son dos males que hoy golpean pesadamente el territorio. Dado que en los años futuros es previsible un sensible aumento de la demanda de agua, sobre todo potable, es necesario poner urgente remedio a los abusos pasados, consecuencia directa de la carencia de una clara política sobre el uso de los recursos naturales y de la equivocada convicción de que estos recursos eran inextinguibles. Para eliminar los daños que han sido causados a la economía y al ambiente, deben ser adoptadas todas aquellas prevenciones dedicadas a evitar los derroches, a enriquecer mayormente la reserva hídrica subterránea y a evitar toda posibilidad de contaminación.

De la experiencia en estos últimos decenios, se pueden obtener las sugerencias que representan la recepción de directivas de la Comunidad Económica Europea (9) sugeridas para el Véneto, aunque tardíamente:

- 1 - concientizar al usuario hacia el respeto, desde el punto de vista cuantitativo y cualitativo, de este bien común que no es sustituible.
- 2 - definir los volúmenes extraídos, dato indispensable para corregir eventuales descompensaciones cuantitativas y para un correcto balance hídrico entre la descarga y recarga natural de las aguas subterráneas.

3 - En la zona de recarga del sistema hídrico (zona de protección), en función de la vulnerabilidad y del riesgo del recurso es necesario:

- * disponer la utilización de cloacas, conectadas a plantas depuradoras, a las cuales deberán conectarse obligatoriamente todos los usuarios.
- * prohibir la dispersión subterránea de barros y de aguas residuales, aún si fuesen depuradas, y de aguas meteorológicas provenientes de plazas y calles.
- * limitar el uso en la práctica agrícola de sustancias herbicidas, pesticidas y fertilizantes, admitiendo solo las cantidades que la vegetación está en condiciones de absorber completamente.
- * prohibir la realización de descargas de cualquier tipo, aún si fuesen impermeabilizadas, y la instalación de cementerios.
- * evitar el depósito de productos peligrosos (sustancias químicas, radioactivas, abonos, fertilizantes, pesticidas, etc.).
- * expulsar los centros de depósito de demoliciones y de chatarra de vehículos.
- * imponer limitaciones a los asentamientos productivos, civiles y zootécnicos.
- * impedir la apertura de canteras que puedan estar conectadas con el agua subterránea.

4 - Se deberán además establecer los controles necesarios tanto del aspecto cuantitativo como cualitativo. Por lo cual se entiende indispensable:

_ Instalar una red específica para el control de los niveles freáticos y piezométricos de las aguas subterráneas.

_ Operar una red de pozos para el control químico de las aguas; estos deberán estar distribuidos en modo uniforme sobre el territorio, teniendo cuidado en colocar bajo control las áreas aguas abajo de industrias o de actividad potencialmente contaminante. Los pozos que atraviesan el sistema acuífero deberán estar provistos de filtro continuo, de forma de poder muestrear el agua a distintas profundidades (la superficie del cuerpo hídrico, casi siempre la más contaminada, los horizontes profundos, donde se recogen los órgano-clorados de elevado peso específico).

_ Teniendo en cuenta los importantes cambios climáticos que están caracterizando los tiempos actuales, disponer estaciones meteorológicas apropiadas en las áreas más

influyentes en la alimentación de las aguas subterráneas, de modo de poder evidenciar, oportunamente, eventuales carencias de lluvia y, consecuentemente de aportes a los acuíferos subterráneos.

_ Poner bajo estricto control el caudal de los ríos que contribuyen a la recarga de las aguas subterráneas y limpiar sistemáticamente los cauces, de forma de favorecer tal proceso.

Una explotación intensiva del recurso hídrico subterráneo en la cuenca del Río Mojotoro (Argentina) asociado a un desarrollo socioeconómico (industrial, urbano, agrícola) de la región requerirá un programa de evaluación de las aguas subterráneas, incluyendo los niveles productivo profundos. Ello posibilitará conocer con mayor detalle las reservas y delimitar áreas de recarga y descarga.

En este caso la aplicación de las sugerencias antes mencionadas resultan imprescindibles. Sólo adoptando estas acciones desde el inicio de la explotación de un nuevo sistema acuífero, será posible alcanzar un justo equilibrio entre la actividad antrópica y la protección del ambiente, salvaguardando aquel patrimonio común, el agua, que es la premisa fundamental de la existencia para las futuras generaciones. Lógicamente las advertencias indicadas para el caso del acuífero con un fuerte deterioro pueden parecer sin mayor aplicación para la situación actual, pero se trata de medidas preventivas que se deberían tener en cuenta en la medida que se produzca el desarrollo de la región.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Sala, J.M., N. González y E. Kruse. "**Generalización hidrológica de la Provincia de Buenos Aires**". Hidrología de Grandes Llanuras. Actas del Coloquio de Olavarría. UNESCO - CONAPHI. Vol. II, pp. 973 - 1009. Buenos Aires. 1983.
- [2] - AUTORES VARIOS: "**Salvaguardia del patrimonio idrico sotterraneo del Veneto: cause del depauperamento in atto e provvedimenti urgenti da adottare**". Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione; Presidenza del Consiglio dei Ministri, Serviz. Idrogr. e Mareogr. di Venezia; C.N.R., G.N.D.C.I., Pubbl. n. 2063, Venezia, 1999 (in stampa)

- [3] - AUTORES VARIOS: **“Effetti negativi determinati dall’intrusione salina negli acquiferi artesiani sottostanti i litorali veneziani”**. C.N.R., G.N.D.C.I. - I.S.D.G.M., P.M.P. - A.R.P.A.V., Pubbl. n. 1898, Venezia, 1998
- [4] - AUTORES VARIOS: **“Controlli di eventuali danni ambientali determinati dagli emungimenti praticati nelle aree di Cavallino, Treporti, Punta Sabbioni e Isola di Sant’Erasmus (Provincia di Venezia)”**. C.N.R.- G.N.D.C.I.- I.S.D.G.M., A.R.P.A.V., Pubbl. n. 2065, Venezia, 1999 (in stampa)
- [5] - AUTORES VARIOS: **“Comprensorio Lagunare Veneziano - Stabilità del suolo: situazione attuale e prospettive future”**. C.N.R., G.N.D.C.I., Pubbl. n. 2064, Venezia, 1999 (in stampa)
- [6] - KRUSE, E. **“Utilización de agua subterránea en una central termoeléctrica en la Provincia de Salta (Argentina)”**. Actas: 2º Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. Chile. Vol: 1, pag. 407-416. 1994.
- [7] - KRUSE, E. "Erro! Indicador não definido.**Significado hidrológico de unidades geológicas en la Cuenca del Río Mojotoro (Salta, Argentina)”**. Actas IX Congreso Latinoamericano de Geología. Venezuela. 1995
- [8] - KRUSE, E. **“Groundwater exploitation in an area of fluvial accumulation (Salta, Argentina)”**. Proceeding XXIII International Congress Aquifer overexploitation. I.A.H. Vol 1: 441 - 444. España. 1991.
- [9] – GAZZETA UFFICIALE DELLA REPUBBLICA ITALIANA. **“Direttiva 91/271/CEE e 91/676/CEE”**. Roma. 1999.