
LA RECARGA ARTIFICIAL COMO TÉCNICA DE RECUPERACIÓN DE ACUÍFEROS CONTAMINADOS. APLICACIÓN A LA PLANA DE VERGEL (ALICANTE)

MURILLO DÍAZ, J.M.¹; DE LA ORDEN GÓMEZ, J.A.¹; Y RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ, L.²

¹ Instituto Geológico y Minero de España. C/ Ríos Rosas, 23 (28003-Madrid)

² Diputación de Alicante. Avda. de Orihuela (Alicante)

RESUMEN

La recarga artificial del acuífero Plana de Gandía-Denia, sector Vergel-Los Poblets se viene efectuando desde hace más de diez años. Su objetivo es intentar disminuir los problemas de sobreexplotación e intrusión marina que, como consecuencia del régimen de explotación de las aguas subterráneas, viene padeciendo este sector del acuífero durante los últimos 20 años. Con el fin de evaluar los efectos que dicha recarga produce en las aguas del acuífero, se ha efectuado un seguimiento muy detallado de la misma. En este trabajo se muestra una visión general de la experiencia, y una primera síntesis de los resultados obtenidos en su análisis.

ABSTRACT

The artificial recharge of groundwater in the Plana de Gandía-Denia aquifer, Vergel-Los Poblets area, has been developed since more than 10 years. Its objective is trying to decrease the overexploitation and intrusion problems caused by the exploitation of groundwater, that has been extracted during the last 20 years. In order to evaluate the effects that artificial recharge causes in the groundwater, the aquifer is controlled hardly. In this paper, a general view of the experience and its first results are shown.

INTRODUCCIÓN

El acuífero de Vergel se localiza en el extremo norte de la provincia de Alicante, en su límite con la de Valencia. En este acuífero, en los años especialmente secos, se produce una extracción por bombeo superior a sus recursos. Este sobrebombeo origina dos problemas: el primero es la sobreexplotación con el consiguiente descenso de los niveles piezométricos, y el segundo es el avance de la cuña salina que provoca la salinización de las captaciones más próximas a la costa, inutilizando sus aguas para cualquier uso e

induciendo a su abandono. Un problema adicional es la contaminación generalizada debida a las prácticas agrícolas, que se manifiesta por un aumento de ion nitrato.

En la actualidad se está realizando en el acuífero una recarga artificial con excedentes procedentes del río Girona. La instalación utilizada para la recarga es de tipo pozo con drenes o galerías horizontales en profundidad y aprovecha antiguas captaciones abandonadas o fuera de uso al objeto de disminuir costes.

El presente artículo analiza la respuesta de la operación de recarga artificial mediante el empleo de un modelo matemático de flujo.

La modelización abarca un período de 18 meses, desde junio de 1995 hasta diciembre de 1996, de los cuales, los 12 primeros se han utilizado para la calibración y los 6 restantes para la validación. El período de simulación es semanal, y la calibración del modelo se ha realizado en régimen transitorio, debido a la ausencia de datos acerca de la situación del acuífero en régimen natural.

Se ha elaborado también un modelo matemático de densidad variable, cuyo objetivo es evaluar, de forma cualitativa, la eficacia de la recarga artificial sobre la intrusión. El modelo utilizado ha sido el "Mocdense", programa que modeliza la intrusión a través de secciones verticales del acuífero.

El efecto que produce la recarga artificial sobre la contaminación agrícola se ha analizado mediante la implantación de una red específica de calidad y el posterior análisis de los datos obtenidos.

La respuesta obtenida a partir de la modelización matemática se complementa con un análisis económico del sistema de recarga al objeto de demostrar que la operación de infiltración es efectiva, tanto desde el punto de vista técnico como económico.

ASPECTOS CONCEPTUALES DE LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS

La recarga artificial de acuíferos puede definirse (Custodio, 1986) como el conjunto de técnicas que permiten aumentar la disponibilidad de aguas subterráneas, con la calidad necesaria, mediante una intervención consciente, directa o indirecta, en el ciclo natural del agua. Este mismo autor (Custodio, 1976) establece como condición necesaria, para plantear operaciones de recarga artificial de acuíferos, la existencia de huecos vacíos en el medio poroso que puedan ser rellenados por el agua de recarga. Asimismo precisa que la efectividad de la recarga es un concepto que se relaciona con la aptitud del conjunto que forman el medio poroso y agua de recarga para permitir el uso posterior del agua recargada, tanto en la cantidad demandada como en la calidad que requiera el uso al que se destina, y que esa efectividad está estrechamente relacionada con el tiempo de permanencia del agua en el acuífero hasta que, como consecuencia del movimiento debido al flujo, se pierda a través de los controles laterales del mismo.

Por consiguiente, se podría establecer que la recarga artificial de acuíferos, por lo que respecta a las condiciones que debe cumplir el acuífero receptor, únicamente es efectiva en acuíferos sobreexplotados o en aquellos otros donde la velocidad de circulación del flujo subterráneo es lo suficientemente lenta para no permitir que el agua recargada escape por los drenajes naturales del acuífero antes de alcanzar la época o período en que debe utilizarse. No obstante en acuíferos con una circulación rápida cabe barajar la posibilidad de actuar sobre aspectos de tipo cualitativo. La mejor herramienta de que dispone hoy día el hidrogeólogo para evaluar estos factores es la modelización matemática. En este sentido, Samper (1997), establece que, hoy por hoy, los modelos proporcionan la mejor forma de realizar predicciones cuantitativas para problemas complejos.

EL ACUÍFERO DE VEGEL. CARACTERIZACIÓN Y PROBLEMÁTICA

Se trata de un acuífero costero asociado con el río Girona, con el cual interactúa a lo largo de casi todo su recorrido. El acuífero está formado por una serie sedimentaria depositada durante el Cuaternario. El espesor de estos materiales cuaternarios no se ha podido cuantificar con precisión, aunque se les estima una profundidad media en torno a 27 metros. En la zona existe un elevado número de pozos y sondeos, pero solo se dispone de columna estratigráfica, con un cierto grado de precisión, en un número muy reducido de los mismos. Tampoco los tres perfiles geofísicos, con un total de 10 SEV, realizados por el Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE) en 1984, han podido aportar un mayor conocimiento a la determinación de la geometría del acuífero, cuyo impermeable de base lo constituye una formación margosa.

La distribución del parámetro transmisividad pone de manifiesto la existencia de varias zonas con valores muy diferentes: una zona de muy alta transmisividad localizada en el área central del acuífero, que alcanza los 10.000 m²/día; otra segunda, en contacto con el mar, en la cual los valores decrecen hasta los 5.000 m²/día y 3.000 m²/día, y una tercera, hacia el interior, en la cual, la transmisividad es sensiblemente menor, con valores de 500 m²/día.

La zona presente una demanda hídrica importante, asociada fundamentalmente el cultivo de cítricos, que ocupan la casi totalidad de la superficie cultivada, que se satisface casi por completo con agua subterránea. Las demandas urbanas también son satisfechas con las aguas del acuífero.

Por lo que respecta a la sobreexplotación, que afecta a este acuífero, los datos de la encuesta del ITGE (ITGE, 1996) reflejan unas extracciones cercanas a los 9 hm³/a, mientras que los recursos naturales del acuífero solo alcanzan los 6 hm³/a. El desequilibrio que estas fuertes extracciones originan sobre el acuífero se identifica por una profunda depresión piezométrica, casi permanente bajo el nivel del mar, en la que con frecuencia se alcanzan cotas próximas a 6 mbnm a tan sólo 1.300 metros del litoral.

Debido a este efecto, la cantidad química del agua se ha deteriorado progresivamente, como consecuencia principalmente del avance de la interfase salina, de forma que el contenido en cloruros ha pasado de 120-300 mg/l en 1976-78, a 2600-4200 mg/l en 1983-85, lo que ha obligado clausurar numerosos pozos situados en la franja litoral. En el sector interior la salinización no alcanza la magnitud del sector costero, aunque se detectan concentraciones máximas de cloruros comprendidas entre 580 mg/l y 1230 mg/l.

En relación a los nitratos cabe señalar que existe un pozo de control que se muestrea desde 1976 con periodicidad semestral. La información proporcionada por dicho pozo indica un contenido en ion nitrato superior a los 50 mg/l para todo el ciclo analizado. Esta contaminación se intensificó durante el periodo comprendido entre los años 1983 y 1989, donde se detectaron valores superiores a los 100 mg/l, que en 1986 casi alcanzaron los 200 mg/l. Los resultados proporcionados por este pozo se complementan con una serie de muestreos, realizados sobre otras captaciones de este acuífero, que responden a una toma de datos que no guarda ninguna cadencia temporal, ni parece estar asignada a ninguna secuencia de muestreo programada de antemano. No obstante permiten constatar una contaminación generalizada sobre todo el acuífero.

LA INSTALACIÓN DE RECARGA ARTIFICIAL

La recarga artificial se realiza actualmente a través de dos redes operacionales diferentes. La primera de ellas lleva en funcionamiento desde diciembre de 1985, y está compuesta por los siguientes elementos: una galería de drenaje, también conocida en la zona como cava, y un pozo de gran diámetro con galerías horizontales en profundidad.

La galería de drenaje tiene su origen en el cauce del río Girona, a unos tres metros de profundidad. Las aguas que drena se transportan a través de una red de acequias hasta el pueblo de Mirafior, donde da servicio a los regantes de la Comunidad del mismo nombre. Los caudales sobrantes del regadío, en cualquier época del año, se conducen mediante una acequia a un pozo de recarga que posee dos galerías horizontales en profundidad a 21 metros de la superficie. La primera de ellas tiene una longitud de 110 m, mientras que la segunda tan sólo alcanza 90 m. En el ramal de derivación de la acequia de riego que alimenta al pozo de recarga se ha instalado una escala limnimétrica para el registro de los caudales infiltrados. El pozo está controlado de forma automática por una sonda que toma medida de nivel piezométrico, temperatura y conductividad cada seis horas.

La segunda red que se utiliza, para realizar recarga artificial, toma el agua de un azud situado en el cauce del río Girona a unos 200 m aguas arriba del lugar donde se localiza la galería de drenaje descrita anteriormente. El azud está conectado a una red de tuberías que transportan el agua del río hasta la zona regable, donde es distribuida. Cuando existen excedentes, éstos se conducen, mediante una tubería de fibrocemento de 300 mm de diámetro, hasta tres pozos, en los cuales se introducen el agua por gravedad.

El primer pozo tiene 22 m de profundidad y galerías horizontales en su fondo. Consta de una perforación principal, en donde existe una bomba instalada, que se encuentra sin uso, y de un pozo de ventilación, que es donde se ha construido la instalación de recarga artificial. Actualmente, el pozo principal está controlado automáticamente por una sonda que toma medida de nivel piezométrico, temperatura y conductividad cada seis horas. La profundidad del segundo pozo es de 21 metros. Este pozo también posee galerías horizontales en su fondo. Las características técnicas del tercer pozo son similares a las de los dos anteriores, ya que se trata de una captación de un metro de diámetro y 20 metros de profundidad con galerías horizontales en profundidad.

EL MODELO MATEMÁTICO. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El acuífero Plana de Gandía-Denia ha sido modelizado en numerosas ocasiones (Pulido, 1987) (ITGE, 1990). En el presente trabajo, el modelo se ha circunscrito a la zona de interés, que es la ocupada por los términos municipales de Vergel y Els Poblets. El código utilizado para la modelización del flujo ha sido el Modflow, mediante el software denominado "Pmwin". Los datos de entrada al modelo proceden de estudios previos (Pulido, 1997) (ITGE, 1990) (ITGE, 1996) (ITGE-DPA, 1998), o específicos realizados expresamente para el proyecto de modelización, como un balance hídrico, a escala diaria, efectuado para cuantificar las variables externas que intervienen en el flujo, que son las siguientes: recarga por lluvia, transferencias subterráneas laterales desde los sectores no modelizados hacia el sector modelizado e infiltración a lo largo del cauce del río Girona. Otros factores, como son los retornos de regadío o las pérdidas en las redes de distribución de los abastecimiento urbanos, se han cuantificado en base a los criterios más comúnmente aceptados (Custodio, 1986) o a informaciones proporcionadas por los respectivos Ayuntamientos. La razón de utilizar una escala a nivel diario es la poca representatividad que se puede otorgar a los caudales mensuales, como consecuencia fundamentalmente del régimen de precipitaciones que domina en la zona, caracterizado por una irregularidad en las lluvias, escasas habitualmente, pero con episodios esporádicamente extremos que generan una elevada escorrentía superficial.

Una vez calibrado y validado el modelo, se ha procedido a simular sobre él algunas alternativas de recarga artificial. Estas alternativas han sido definidas en base a un estudio de excedentes disponibles (ITGE, 1996) y al diseño de la instalación óptima de recarga artificial capaz de tratarlos. Esta instalación óptima (ITGE-DPA, 1998) estaría constituida por diez pozos abiertos capaces de infiltrar cada uno un caudal de 40 l/s. La simulación y modelización de una recarga artificial como la propuesta indica que el acuífero solamente es capaz de almacenar anualmente, para posteriores usos, un 20% del total de agua que se recarga, perdiéndose el 80% restante como descargas subterráneas hacia el mar. Esto es consecuencia de la tipología del acuífero, que es de pequeña extensión y muy transmisoro, por lo que responde con rapidez a las solicitudes externas, a través de unas altas velocidades de flujo y una escasa inercia y por tanto, poca aptitud para regular de forma natural los volúmenes recargados artificialmente. No obstante, este 20% de

aumento de los recursos, en una zona con déficit hídrico como el levante español, no debe desdeñarse, pues supone, en el caso del acuífero de Vergel, un aumento porcentual del 14% de los recursos del acuífero. El modelo de flujo muestra, además, que la intrusión marina se reduce con la recarga artificial, aunque no de forma lineal, de manera que serían necesarias recargas de cuantías no disponibles para conseguir reducciones significativas de la intrusión.

Se ha elaborado también un modelo matemático de intrusión, cuyo objetivo es evaluar, de forma cualitativa, la eficiencia de la recarga artificial sobre la intrusión. Esta eficacia la mide el desplazamiento de las isóneas de cloruros hacia el mar. El modelo utilizado ha sido el "Mocdense", programa que utiliza el método de la densidad variable para modelizar la intrusión en secciones verticales del acuífero. Los resultados aportados por este modelo proporcionan que, cuando se simula la recarga artificial en el acuífero, se observa un claro desplazamiento de las isóneas de cloruros hacia el mar, lo cual indica que la recarga es beneficiosa, en términos de calidad, para el agua del acuífero, ya que frena la contaminación proveniente del mar, dejando amplias áreas del acuífero con valores de cloruros más bajos que los medidos inicialmente en esa zona antes de efectuar la recarga artificial.

LA CONTAMINACIÓN AGRÍCOLA Y EL EFECTO DE LA RECARGA ARTIFICIAL

La recarga artificial que se efectúa en la actualidad es, en volumen, claramente insuficiente para paliar la situación tan aguda que existe en el acuífero.

En la presente comunicación se han analizado dos situaciones distintas del acuífero que corresponden a los meses de diciembre 1995 y mayo 1996. En la primera, la recarga artificial está en pleno funcionamiento, ya que la operación de recarga había comenzado en el mes de septiembre. La segunda responde a una época sin recarga, ya que los datos se han tomado dos meses después de finalizar la misma.

La situación correspondiente a la campaña de diciembre 1995 indica que, exceptuando una pequeña parte del acuífero, el resto se encuentra bajo la influencia de las isóneas de 50 mg/l y 125 mg/l, por lo que se deduce que la contaminación por nitratos es importante, superando, en la mayor parte del acuífero, los límites establecidos por Reglamentación Técnico Sanitaria para aguas de consumo humano.

La situación que presenta la campaña de primavera varía en general poco con respecto de la anterior, lo cual indica que el fenómeno de contaminación por nitratos no es estacional, como puede serlo en este acuífero la intrusión, sino que tiene un carácter más permanente.

La contaminación por nitratos no muestra reducción a nivel espacial, ni por efecto de la recarga artificial ni por causas de tipo natural. Si se nota, evidentemente, una reducción

del contenido en ion nitrato, entorno a 30 mg/l, en los pozos donde se efectúa la recarga artificial.

CONSIDERACIONES DE TIPO ECONÓMICO

En la vertiente mediterránea de la península ibérica y en las islas Baleares se da una circunstancia decisiva a la hora de planificar qué tipo de instalación de recarga artificial puede construirse, que es la escasez y carestía del suelo. Dos factores contribuyen fundamentalmente a esta situación: por una parte, el gran desarrollo alcanzando por las superficies de cultivo, tanto de cítricos como de invernaderos, unido a la rentabilidad que este tipo de agricultura aporta a la economía regional; y, por otra parte, el gran desarrollo turístico que ha tenido lugar en la zona desde la década de los años 60, y que ha traído consigo un espectacular aumento de suelo destinado a la construcción. La unión de estos factores es la responsable del aumento de precio del suelo, así como de la escasa disponibilidad del mismo para destinarlo a instalaciones de recarga artificial que necesiten grandes superficies para la aplicación de esta técnica. En este sector costero, la solución más factible sería recurrir a instalaciones de tipo pozo o sondeo. Los sondeos necesitan una superficie mínima para poder operar, pero su coste es elevado, mientras que los pozos tienen la gran ventaja, en este momento, de que podrían utilizarse captaciones antiguas abandonadas o fuera de uso. De esta forma, se reduciría casi a cero el coste de construcción de la instalación, disminuyendo también de manera importante los costes de operación. Los pozos con drenes o galerías horizontales en profundidad, instalación tipo que se analiza en la presente comunicación, son muy abundantes en el sureste, levante o nordeste español.

Los pozos de recarga descritos anteriormente tienen un caudal específico (ITGE-DPA, 1996) cercano a los 100 l/s.m. y en algunas instalaciones puede llegar hasta 125 l/s.m. Los caudales medios que se han infiltrado son del orden de 35 l/s en el mejor de los casos, aunque se han llegado a medir caudales puntuales próximos a los 50 l/s. No obstante, estos caudales podrían haber sido mucho mayores si hubiera existido más agua disponible. No se ha detectado, durante el tiempo que ha durado el estudio, una merma aparente de la capacidad de infiltración de los pozos como consecuencia de la colmatación, lo que permite concluir que los pozos están respondiendo de manera satisfactoria a las condiciones operativas en las que están funcionando en la actualidad.

Por lo que respecta a la colmatación de los pozos de recarga, los estudios realizados (ITGE-DPA, 1998 b) indican que en el pozo de recarga de la comunidad de regantes de Miraflores, después de 14 años de uso, se ha reducido la altura efectiva del mismo en 11 metros, como consecuencia de la acumulación de los sólidos en suspensión aportados por el agua de recarga. Asimismo, han quedado completamente inutilizadas las galerías horizontales de drenaje que se sitúan a 21 m de profundidad. Es necesario advertir que durante los 14 años que se ha estado recargando en este pozo no se ha efectuado ninguna labor de descolmatación por bombeo o sobrebombeo del mismo. No obstante, el caudal de recarga

que admite el pozo actualmente (40 l/s aproximadamente) es de la misma cuantía que el recargado hace 14 años. En los muestreos realizados, el contenido medio de sólidos en suspensión en el agua de recarga no ha superado los 4 mg/l. Si se extrapolan estos datos hacia el futuro, podría cuantificarse la vida útil teórica de las instalaciones, siempre que se mantengan las actuales condiciones de la recarga artificial tanto en volumen como en aporte de sólidos en suspensión, en unos 30 años.

La gran ventaja de utilizar dispositivos de este tipo o bien de pozos simples, radica en el bajo coste de puesta en marcha de la instalación, frente a los elevados costes iniciales de otros tipos de instalaciones, fundamentalmente las de tipo superficial, debido a que el coste por hectárea del suelo en el levante español es muy elevado. El valor del suelo destinado a agricultura de cítricos (Anuario El País, 1999) oscila entre 3,8 Mpts/ha para el cultivo del limón y los 6,8 Mpts/ha para el de mandarina. Los invernaderos alcanzan un precio todavía mayor. Así, en el término de El Ejido (Almería) se puede llegar a pagar por una hectárea hasta 40 Mpts. El tamaño medio de una instalación de recarga artificial en Holanda es de 13 ha por cada hectómetro cúbico recargado (Peters, 1996). Extrapolando este dato a las instalaciones de recarga artificial de las comunidades de regantes objeto de este estudio, se tendría que éstas ocuparían 65 ha, por lo que sólo el coste inicial de adquisición de terreno oscilaría entre 247 y 442 Mpts. En cambio, en las instalaciones de tipo subterráneo, como son los pozos o pozos con galerías, que se encuentren sin uso, las únicas obras a acometer para poner en funcionamiento una instalación de recarga serían las de acondicionamiento de los pozos de recarga, así como la ejecución de los ramales de acequias necesarios para poder conducir el agua de recarga hasta los pozos, pero la inversión en terrenos se reduciría en una proporción muy importante, lo cual revertiría en unos costes del agua recargada más bajos. En este sentido se ha determinado que dicho precio, que corresponde al agua almacenada en el acuífero, puede ser de aproximadamente 1-2 pts/m³, por lo que el coste del agua subterránea bombeada en la zona y puesta en parcela, que es actualmente de 15-20 pts/m³ se incrementaría únicamente entre un cinco y un diez por ciento.

CONCLUSIONES

La modelización matemática es una herramienta fundamental que contribuye decisivamente a plantear o desechar operaciones de recarga artificial.

En el acuífero Plana de Gandía-Denia, sector Vergel, la recarga artificial, en principio, no permite un excesivo incremento de los recursos del sistema, ya que las características hidrodinámicas del acuífero, en particular su elevada transmisividad, inducen una circulación rápida del agua y un escaso tiempo de permanencia, lo que se traduce cuantitativamente en que solamente el 20% del agua recargada sería utilizable transcurrido un período de tiempo más o menos equivalente al intervalo entre el invierno y el verano. Sin embargo, el modelo matemático de intrusión muestra un efecto beneficioso de la recarga artificial sobre la calidad del agua subterránea, demostrando que la recarga, desde ese punto de vista, es efectiva.

La recarga artificial en el acuífero de Vergel, teniendo en cuenta los bajos costes de operación (1-2 pesetas por metro cúbico), debidos a que se utilizan para recargar captaciones ya construidas que no necesitan inversiones importantes, debe seguir efectuándose, ya que puede considerarse un complemento aceptable para mejorar la gestión de los recursos hídricos de este acuífero.

AGRADECIMIENTOS

A los Ayuntamientos de Vergel y Els Poblets.

El presente trabajo se ha beneficiado de investigaciones realizadas dentro del proyecto HID96-1326 financiado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT).

BIBLIOGRAFÍA

- Anuario El País (1999). Ediciones El País, 391 págs.
- Custodio, E. (1986). Recarga artificial de acuíferos. Boletín de informaciones y estudios nº 45. MOPU. 134 págs.
- Custodio, E. y Llamas, M.R. (1976). Hidrología subterránea. Editorial Omega. 2 Tomos.
- ITGE – DPA (1998). Determinación de excedentes hídricos para su potencial utilización en recarga artificial de acuíferos. Cuenca del río Girona (Alicante). Informe interno. 73 págs.
- ITGE – DPA (1998-b). Seguimiento de actuaciones de recarga artificial en Vergel-Els Poblets (Alicante). Estudio de la colmatación en las instalaciones de infiltración. Informe interno. 78 págs.
- ITGE (1990). Estado del proceso de contaminación en el acuífero costero de Gandía-Denia por efecto de la intrusión de agua de mar. Informe interno.
- ITGE (1996). Evaluación de la recarga artificial mediante pozos con galerías en el acuífero Plana de Gandía-Denia. Términos municipales de Vergel y Els Poblets (Alicante). Informe interno.
- Peters, J. (1996). Are there any blueprints for artificial recharge? En International symposium on Artificial recharge of Groundwater. Helsinki. pp. 257-269.
- Pulido, A. y Benavente, J. (1987). Contribución de la deconvolución al estudio de la descarga de la unidad Alfaro-Segaria-Mediodía (Alicante). IV Simposio de Hidrogeología. Palma de Mallorca.
- Samper, F.J. (1997). Evaluación de la recarga a partir de modelos numéricos de flujo en acuíferos. Seminario sobre "La evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación hidrológica". AIH. Canarias. pp 153-180.