

Evaluación del acuífero de Lima (Perú) y medidas correctoras para contrarrestar la sobreexplotación

J. Quintana⁽¹⁾ y J. Tovar⁽²⁾

(1) Servicio de Agua potable y Alcantarillado de Lima (SEPADAL). Jefe del Equipo de Aguas Subterráneas. Lima, Perú

(2) Presidente de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos-Grupo Peruano.

RESUMEN

Debido a la creciente demanda de agua para el abastecimiento de la ciudad de Lima y a la escasa disponibilidad de agua superficial, la extracción de las aguas subterráneas del acuífero de Lima se ha incrementado progresivamente desde menos de 1 m³/s en 1955 hasta 12,4 m³/s en 1997. De este caudal, 9 m³/s correspondieron a los pozos administrados por el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL) y el resto a los pozos de propiedad de empresas industriales y de particulares. La intensiva explotación de este recurso así como la desaparición progresiva de las fuentes de recarga, ocasionada principalmente por el cambio de uso de las tierras de agrícola a urbana, han propiciado el desequilibrio del nivel freático, evidenciado por el constante descenso del nivel freático y el deterioro de la calidad de las aguas en los sectores más críticos. Para contrarrestar el problema de sobreexplotación, se ha tenido en consideración que el máximo caudal explotable del acuífero de Lima es de 8 m³/s y el rendimiento seguro de 6 m³/s, determinados mediante modelos de simulación matemática. Las acciones que se han emprendido para contrarrestar la sobreexplotación del acuífero fueron: uso racional de las aguas, a través de la micromedición, uso conjuntivo de aguas superficiales y aguas subterráneas, recarga artificial inducida e incorporación de nuevas fuentes de agua superficial. Como resultado de las acciones señaladas, la extracción de las aguas subterráneas ha disminuido de 12,4 m³/s en 1997 a 9 m³/s en el 2001, presentándose en consecuencia recuperaciones importantes del nivel del acuífero entre 1 y 15 m. En escasos sectores la tendencia al descenso aún continúa pero con una gradiente más suave.

Palabras clave: acuífero de Lima, explotación intensiva, máximo caudal explotable, recarga artificial, uso conjunto

Evaluation of the present situation of the Lima aquifer (Perú) and corrective measures against over-exploitation

ABSTRACT

Due to the growing demand of water supply for the Lima city and to the scarce availability of surface water, the extraction of groundwater of the Lima aquifer has been increased progressively from less than 1 m³/s in 1955 up to 12,4 m³/s in 1997. From this water flow 9 m³/s corresponded to the wells operated by "Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima-Perú" (SEDAPAL) and the remaining wells, property of industrial and private companies. The intensive exploitation of this water resource as well as the progressive disappearance of the recharge sources, caused by the change of use of the lands from agricultural to urban, have originated the deficit of the water table, evidenced by the constant water table drawdown and the deterioration of the water quality in the most critical sectors. To solve the problem of over-exploitation, it has been taken into consideration that the maximum exploitable water flow of the Lima aquifer was 8 m³/s, determined by groundwater modeling. The actions that have been taken to counteract the over-exploitation of the water table were: reasonable use of water, through the water flow micromediation, conjunctive use of surface water and groundwater, induction of artificial recharges and incorporation of new surface water resources.

As a result of the mentioned actions the extraction of the groundwater has decreased from 12,4 m³/s in 1997 to 9 m³/s in 2001, therefore important recoveries of the level of water table between 1 to 15 m have been achieved. In some sectors the trend of water table drawdown still continues, but at a lower rate.

Key words: artificial recharge, conjunctive use, Intensive exploitation, Lima aquifer, safe yield

Introducción

La empresa de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL) ha desarrollado diversos estudios tendientes a evaluar la situación del acuífero de la ciudad de Lima, habiendo encontrado

que hasta el año 1997, se hallaba sobreexplotado. Posteriormente, con el fin de preservar sus reservas, se han emprendido proyectos de recuperación y de conservación de los recursos hídricos subterráneos, debido a la importante masa de agua subterránea que se explotaba para abastecer a la ciudad de Lima,

así como debido al estado de desequilibrio en que este se encontraba a causa de la sobreexplotación.

Para afrontar el problema de sobreexplotación, se aplicaron las siguientes acciones:

- uso racional de las aguas subterráneas,
- uso conjuntivo de aguas subterráneas y superficiales,
- recarga artificial inducida del acuífero del Rímac,
- cambio de fuentes de aguas subterráneas por superficiales.

Como resultado de estas medidas correctoras, hasta la actualidad parece que la sobreexplotación del acuífero ha logrado controlarse satisfactoriamente.

Hidrogeología

El acuífero

El reservorio acuífero de la Gran Lima está constituido por depósitos aluviales del Cuaternario Reciente de los valles Rímac y Chillón. Estos depósitos están compuestos por cantos rodados, gravas, arenas y arcillas, intercalados en estratos y/o mezclados entre sí. El acuífero tiene un ancho variable, cuyos sectores más estrechos corresponden a las partes altas de los valles, aguas arriba de Vitarte en el Rímac y de Punchauca en el Chillón. En estos lugares los depósitos aluviales tienen anchos aproximados de 1,5 Km. El sector más amplio se encuentra en la parte baja donde se unen los depósitos aluviales del río Rímac con los del Chillón, alcanzando a 27 Km de ancho en el litoral donde el flujo subterráneo descarga hacia el mar.

En total, el reservorio acuífero de la Gran Lima tiene una extensión aproximada de 390 km². Su espesor saturado en la mayor parte del área varía entre 100 y 300 m, alcanzando mayores espesores (400 a 500 m) en la costa del distrito de La Perla. Sin embargo, todo este espesor saturado no es aprovechable debido a que una parte del acuífero presenta escasa o nula permeabilidad.

Fuentes de alimentación del acuífero

Las principales fuentes de alimentación o recarga de la napa freática son las filtraciones de agua que se producen a través del lecho de los ríos Rímac y Chillón, así como desde los canales de regadío y áreas que aún se encuentran bajo riego (parques, jardines y parcelas). También contribuyen los flujos sub-superficiales provenientes de las partes altas de ambos valles, además de las pérdidas por fugas

desde los sistemas de distribución de agua en las áreas urbanas. Dada la reducción de las áreas bajo riego por el progresivo cambio de uso de las tierras de agrícola a urbana, las fuentes de recarga han disminuido significativamente.

Estado del acuífero en 1997

Para mejorar la gestión del acuífero se realizó un estudio del estado de las condiciones hidrogeológicas y de explotación de los acuíferos Rímac y Chillón en 1997 con proyección al futuro (SEDAPAL, 1997).

Explotación

La explotación de las aguas subterráneas en los valles Rímac y Chillón en 1997 alcanzó los 12,38 m³/s, a través de 378 pozos y una galería filtrante de propiedad de SEDAPAL (8,98 m³/s) además de unos 800 pozos de terceros (3,4 m³/s). Los sectores más explotados fueron los comprendidos entre La Punta y el cerro La Milla en el distrito de San Martín de Porres, así como en el distrito de Ate, en donde la extracción de agua subterránea sobrepasó los 10.000 m³/día/Km², de caudal que representa el límite máximo permisible.

Morfología del nivel freático

En la Fig. 1 se presenta la carta de hidroisohipsas, elaborada para Junio de 1997, basada en mediciones del nivel freático y cotas de terreno. En esta carta se observa que el flujo subterráneo en el valle del Chillón se produce de Nor-Este a Sur-Oeste, siguiendo la misma dirección del río Chillón hasta la altura del cerro Oquendo en donde por la presencia de los afloramientos rocosos se desvía en dirección Nor-Oeste a Sur-Este llegando hasta la confluencia con el acuífero del Rímac a la altura de los cerros Mulería y La Milla en el distrito de San Martín de Porres.

Las aguas subterráneas del valle del Rímac fluyen en el sentido Este a Oeste, siguiendo la dirección del río Rímac hasta las proximidades del Cerro El Agustino. A partir de este punto de afloramiento rocoso y debido a la mayor extensión del abanico aluvial del valle una parte del flujo continúa en el sentido Este a Oeste, mientras que la otra parte discurre de Nor-Este a Sur-Oeste, en ambos casos con dirección al océano Pacífico, donde finalmente descarga.

Debido a la sobreexplotación local en el sector comprendido entre los cerros Mulería, La Milla y la

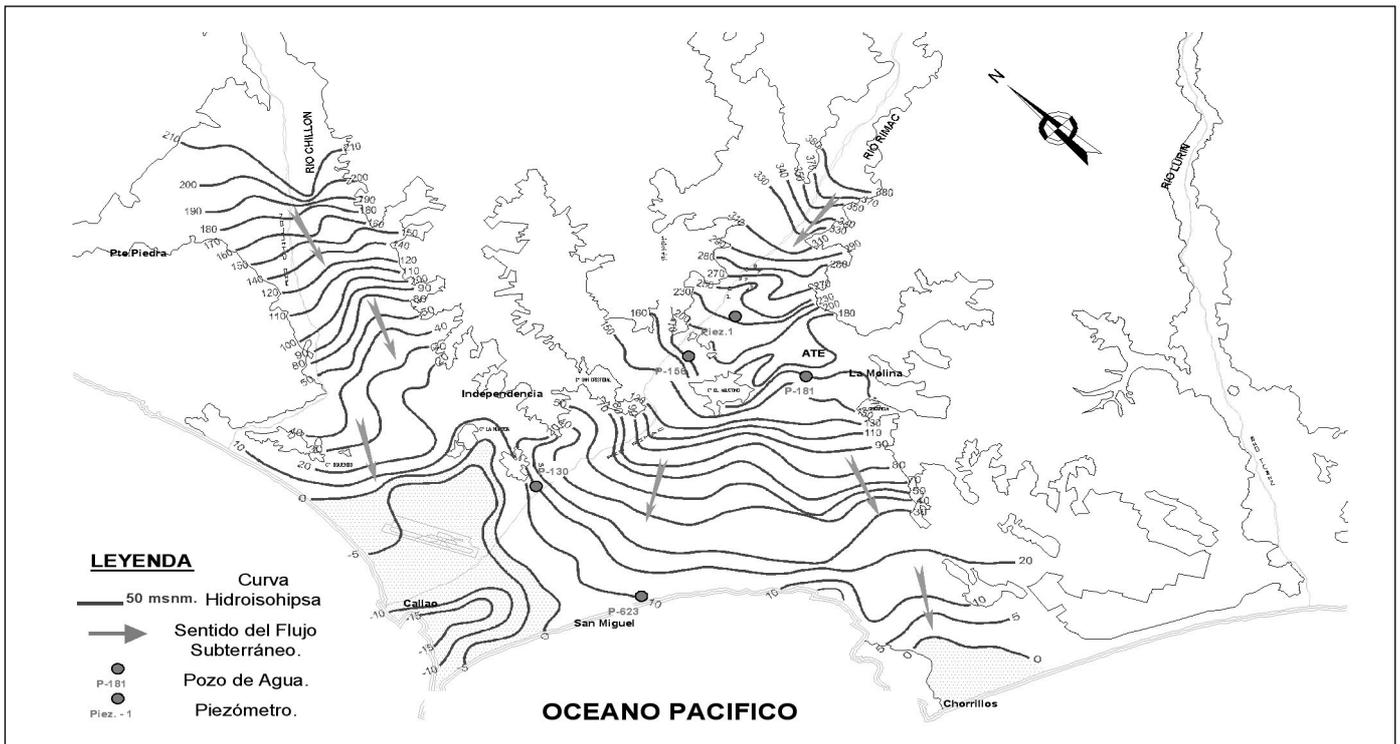


Fig. 1. Morfología del nivel freático en Junio 1997. Acuíferos de Rimac y Chillón
 Fig. 1. Groundwater table as in June 1997. Rimac and Chillón Aquifers

Punta se ha presentado una depresión hidráulica encontrándose el nivel freático por debajo del nivel del mar en un sector importante del acuífero del Rímac y en parte del acuífero del Chillón, quedando expuestos a problemas de intrusión marina. En el sector de Villa, en el distrito de Chorrillos también se observan riesgos de intrusión marina por encontrarse parte del nivel freático debajo del nivel del mar.

Profundidad del nivel freático en 1997

En el valle del Chillón la profundidad del nivel freático variaba desde menos de 10 m en las proximidades del lecho del río y del litoral, hasta 60 m en la zona de Comas. En el valle del Rímac varió desde menos de 5 m en la zona de Villa a unos 100 m en La Victoria. Hacia el Norte la profundidad varió entre 50 y 90 m. Las zonas más deprimidas se encuentran en el distrito de La Victoria (100 m) y en Mayorazgo en Ate (90 m).

Tendencia del nivel freático

La evolución del nivel freático es controlada desde

hace más de 20 años en una red de pozos de observación. En la Fig. 2 se puede apreciar la evolución de la explotación de las aguas subterráneas con pozos de SEDAPAL entre 1955 y 1997, en relación con el comportamiento del nivel freático, observándose que al incrementar la explotación de las aguas subterráneas el nivel freático descendiendose progresivamente.

En el valle del Chillón, el descenso del nivel freático fue de 10 a 20 m, es decir, a razón de 1 a 2 m/año. Mientras que en el valle del Rímac la depresión fue más intensa, variando de 10 a 50 m, es decir, a razón de 1 a 5 m/año. Las zonas más deprimidas se encuentran, una aguas arriba del cerro El Agustino, sobre la margen izquierda hasta las proximidades de la urbanización Mayorazgo, y otra entre Surquillo y La Victoria.

Simulación de las condiciones futuras

Con la finalidad de determinar el comportamiento futuro del acuífero sometido a una mayor explotación por el incremento de la perforación de pozos, se han efectuado simulaciones por modelo matemático considerando seis escenarios de explotación. Los resultados de las simulaciones muestran el comporta-

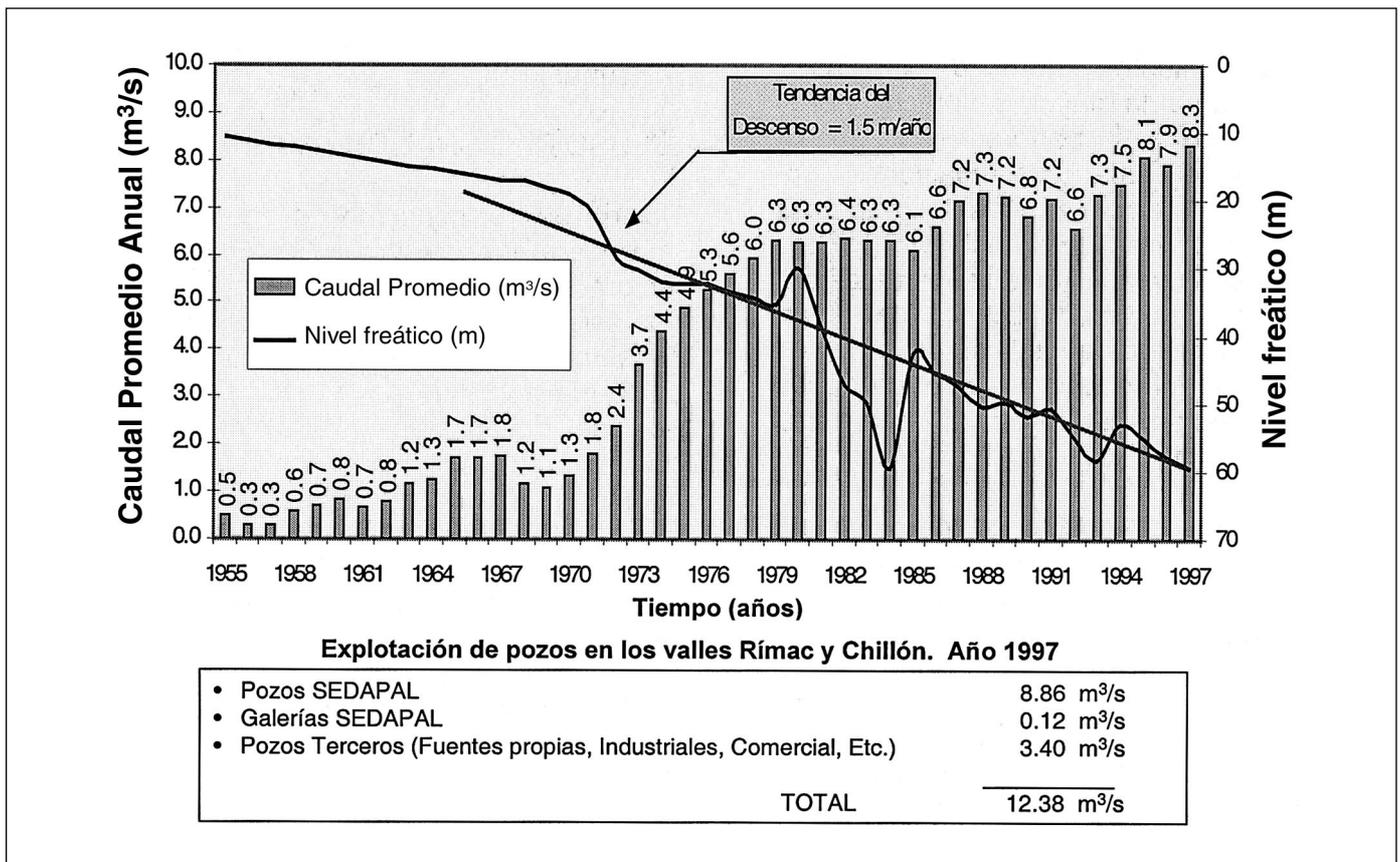


Fig. 2. Variaciones del nivel freático en el Pozo P-156 Zárata y explotación de las aguas subterráneas con pozos de SEDAPAL - Junio 1997
 Fig. 2. Groundwater level evolution in well P-156 Zárata and ground-water exploitation with wells of SEDEPAL - June 1997

miento hidráulico en sectores representativos de los acuíferos Rímac y Chillón, a través de las variaciones del nivel freático en el período 1997-2005.

En todos los casos se presenta un constante descenso del nivel freático, siendo más pronunciadas y con tendencia al agotamiento en menor tiempo cuanto mayor es el caudal de explotación.

Del análisis de la información simulada y registrada, se determinó que con 8 m³/s de extracción, el efecto de agotamiento disminuía sustancialmente, por lo que, para preservar las reservas de ambos acuíferos, se estableció como rendimiento seguro un caudal de extracción de 6 m³/s. (Antea/AMSA, 1999).

Acciones tomadas desde 1997 para contrarrestar la sobreexplotación

En vista de que los acuíferos de los valles Rímac y Chillón se encontraban en estado de desequilibrio y conociendo el caudal máximo que se debería extraer, a partir de 1997 se emprendieron algunas acciones

tendientes a lograr el equilibrio y recuperación progresiva de las reservas explotables, siendo las principales las siguientes (SEDAPAL, 1999):

- el uso racional del agua
- el uso conjuntivo de las aguas subterráneas
- la recarga artificial inducida
- el reemplazo parcial de las fuentes de aguas subterráneas por superficiales.

Uso racional del agua

Hasta 1997 el consumo de agua de la población servida por SEDAPAL era facturada en su mayoría de acuerdo a una asignación sectorial (montos fijos de consumo de acuerdo a la zona y a la categoría a la que pertenecían), por lo que se desconocía con exactitud la dotación real entregada a los usuarios y los volúmenes de agua que SEDAPAL dejaba de facturar.

Es a partir del año 1997 que se implantó el proyecto de micromedición consistente en la instalación de 700.000 medidores domiciliarios de agua, de los

cuales a Agosto del 2001 ya se encontraban instalados más de 662.000. Tal como se esperaba con esta micromedición se han recuperado importantes volúmenes de agua que venían siendo desperdiciados por los usuarios (fugas en aparatos sanitarios e instalaciones sanitarias interiores o riego innecesario de áreas libres, pistas y veredas). Se estima que el caudal de recuperación es del orden de 5 m³/s.

Para apreciar el beneficio del proyecto de micromedición se ha observado en una muestra de 3.700 conexiones domiciliarias de Surquillo (zona donde se inició el programa) que en los primeros meses se registraron consumos entre 100 y 150 m³ mensuales, para luego ubicarse en un promedio cercano al de la asignación distrital, establecido en 36 m³.

Los beneficios que se han obtenido con la micromedición son:

- Mejoras en presión y horarios de abastecimiento. Al existir control en el consumo de los usuarios, las redes de distribución almacenan mayor cantidad de agua creando una mejora en las presiones. El agua alcanza una cota mayor para el beneficio de los usuarios que habitan edificios altos. Anteriormente, el agua potable era restringida por horarios. Después de la micromedición en dichas zonas el abastecimiento se realiza las 24 horas del día.
- Incremento del porcentaje de micromedición.
- Paralización de pozos y reducción del horario de funcionamiento de los equipos de bombeo.

Uso conjuntivo

El uso conjuntivo de aguas superficiales y subterráneas permite la paralización temporal de la extracción de aguas subterráneas en los sectores donde se cuenta con suficiente disponibilidad de agua superficial, principalmente en el período de avenidas (Enero a Marzo). Para ello se están ampliando convenientemente las redes de distribución primaria y secundaria, especialmente en los sectores críticos, hasta donde debe llegar el agua proveniente de la planta de tratamiento La Atarjea. Las principales obras desarrolladas en las tuberías de distribución primaria de 1997 a 2001, se muestran en la tabla 1.

Actualmente se cuenta con sistemas de uso conjuntivo en los esquemas de San Miguel, Surco, San Borja, Los Olivos y La Molina, en donde ya se han paralizado 123 pozos, lo que representa un ahorro en la explotación del agua subterránea de 3 m³/s.

En la Fig. 3 se muestran los efectos causados por los esquemas de uso conjuntivo de aguas superficiales y subterráneas en el esquema San Miguel, en

OBRAS	LONGITUD DE TUBERÍAS (m)
Uso Conjuntivo en San Miguel	12.121
Los Olivos, Tubería de Refuerzo	3.698
Matriz, Los Olivos	15.869
Sectorización Los Olivos	5.000
Zárate Canto Grande	6.100
Av. Tomás Valle	5.288
Conducción Callao	7.787
Uso Conjuntivo Callao	11.000
TOTAL	66.863

Tabla 1. Obras desarrolladas en la red de distribución
Table 1. Developed works in the distribution network

donde se ha obtenido una rápida recuperación del nivel freático en los últimos años después de la paralización de algunos pozos tubulares (SEDAPAL, 2002). Además de esta recuperación del nivel, también se obtuvo un ahorro en el costo de operación y mantenimiento de los pozos.

Recarga artificial inducida

La recarga artificial inducida consiste en provocar un gradiente hidráulico entre los niveles del agua superficial y del agua subterránea. Este gradiente permite incrementar la velocidad de alimentación del acuífero desde el lecho del río, lo cual se logra a través del bombeo de pozos de extracción-recarga situados en las proximidades del lecho del río Rimac.

Teniendo en cuenta el estado de desequilibrio del acuífero y la existencia de excedentes en las descargas del río Rimac, cuyo volumen, de hasta 400 millones de metros cúbicos (MMC) al año, se pierde en el mar durante los períodos de avenidas, se ha considerado necesario el aprovechamiento del agua perdida a través del proyecto de recarga artificial inducida.

El proyecto comprendió la adecuación del lecho del río entre La Atarjea y Huampaní para mejorar las condiciones de infiltración en un tramo de 22 km. También comprendió la construcción y equipamiento de pozos tubulares con el doble objetivo de extraer el agua subterránea para su aprovechamiento y el de crear las condiciones necesarias (vaciado parcial del acuífero y creación del suficiente gradiente hidráulico entre el río y el acuífero) para garantizar la inmediata realimentación del acuífero, sin afectar las reservas existentes. Los estudios realizados al respecto determinaron que en el tramo de Huampaní - La Atarjea se pueden aprovechar unos 5 m³/s o 155 MMC de agua al año. La ejecución de este proyecto hasta Agosto

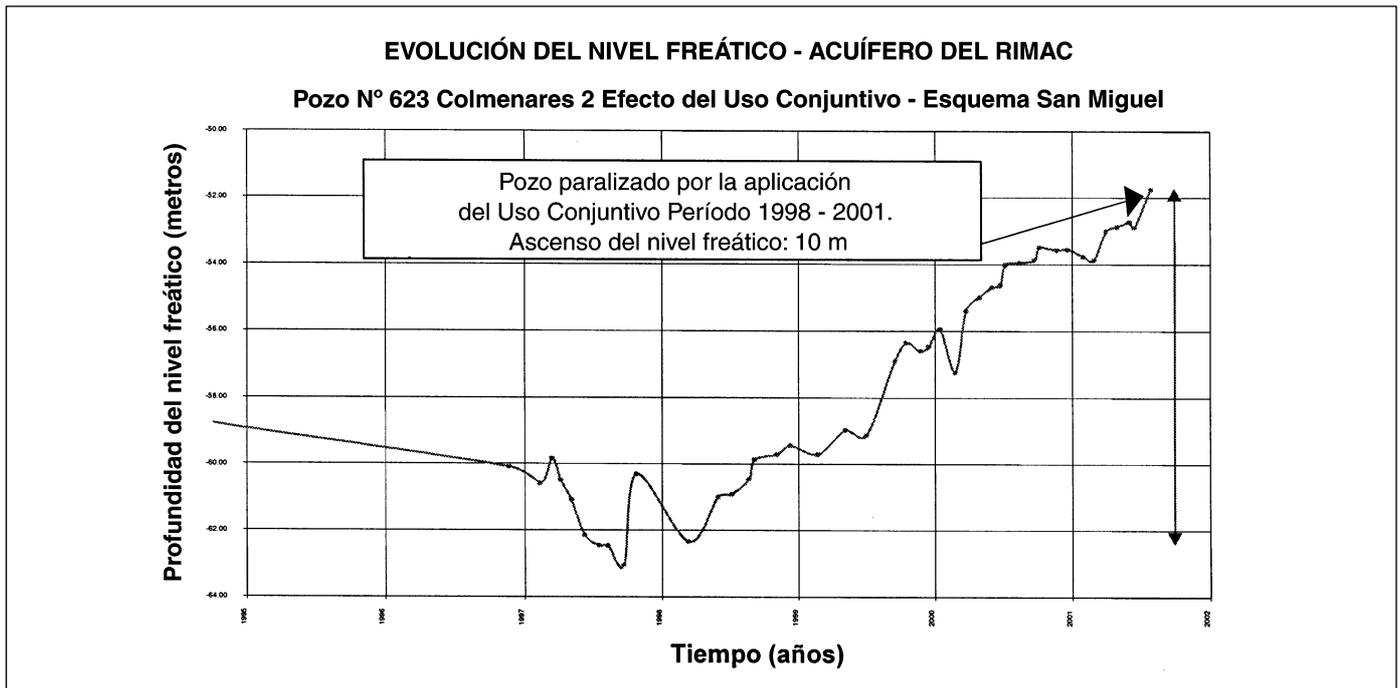


Fig. 3. Uso conjuntivo, esquema San Miguel
 Fig. 3. Conjunctive use, San Miguel Scheme

del 2001, incluye la adecuación de 6 km del lecho del río Rímac, aguas arriba de la Atarjea.

La infraestructura correspondiente, está constituida por lo siguiente:

- 60 pantallas transversales en el lecho del río, constituidos por muros enterrados de hormigón ciclópeo de 1,20 m de ancho, 3,00 a 3,50 m de profundidad y 150 a 200 m de longitud, con distanciamiento de 100 m entre ellos.
- 30 pozos tubulares de extracción y recarga de 80 a 150 m de profundidad (18 en la margen derecha, dispuestos en una sola línea y 12 en la margen izquierda, dispuestos en dos líneas de 6 pozos cada una). La capacidad instalada total es de de 1,6 m³/s.
- 19 piezómetros de 50 a 80 m de profundidad distribuidos convenientemente en el área del proyecto. Algunos piezómetros representativos cuentan con limnigrafos electrónicos.

Para evaluar los efectos de la recarga artificial inducida se midieron periódicamente los niveles del agua subterránea en los 19 piezómetros y en los 30 pozos de extracción-recarga. Con esta información se han elaborado hidrogramas y cartas de isopropundidad, hidroisohipsas y de recuperación del nivel freático. Para el análisis del comportamiento del acuífero, se ha designado el piezómetro 1 como el más representativo (ver la Fig. 4). En este piezómetro se apre-

cian los efectos de la recarga artificial inducida, evidenciado por la tendencia a la recuperación de los niveles a partir de Septiembre de 1998. En el hidrograma de este piezómetro también se observa que para el año 1998 el nivel más profundo alcanzado fue de 16 m, en 1999 fue de 12,5 m y para el año 2000 fue de 8,5 m. Hasta Agosto del 2001 la máxima profundidad alcanzada fue de 6,6 m, mostrando de esta manera que en los 5 últimos años el nivel se ha recuperado más de 9,4 m.

Con la información de niveles máximos y mínimos del acuífero registrados en los 19 pozos de monitoreo y los 30 pozos de extracción-recarga del presente proyecto piloto se han elaborado que muestran la distribución de la recuperación del nivel freático, producido entre los períodos de estiaje y avenidas (Octubre a Marzo), por efecto de la recarga inducida. Basado en estas y con la utilización de la fórmula que se presenta a continuación, se han calculado los volúmenes de agua almacenados en el acuífero en el referido período.

$$V = A \Delta h S$$

Donde:

V = Volumen recargado (m³)

A = Área de influencia de recarga (m²)

Δh = Recuperación nivel del acuífero (m)

S = Coeficiente de almacenamiento (%).

En el análisis de la recarga artificial inducida del

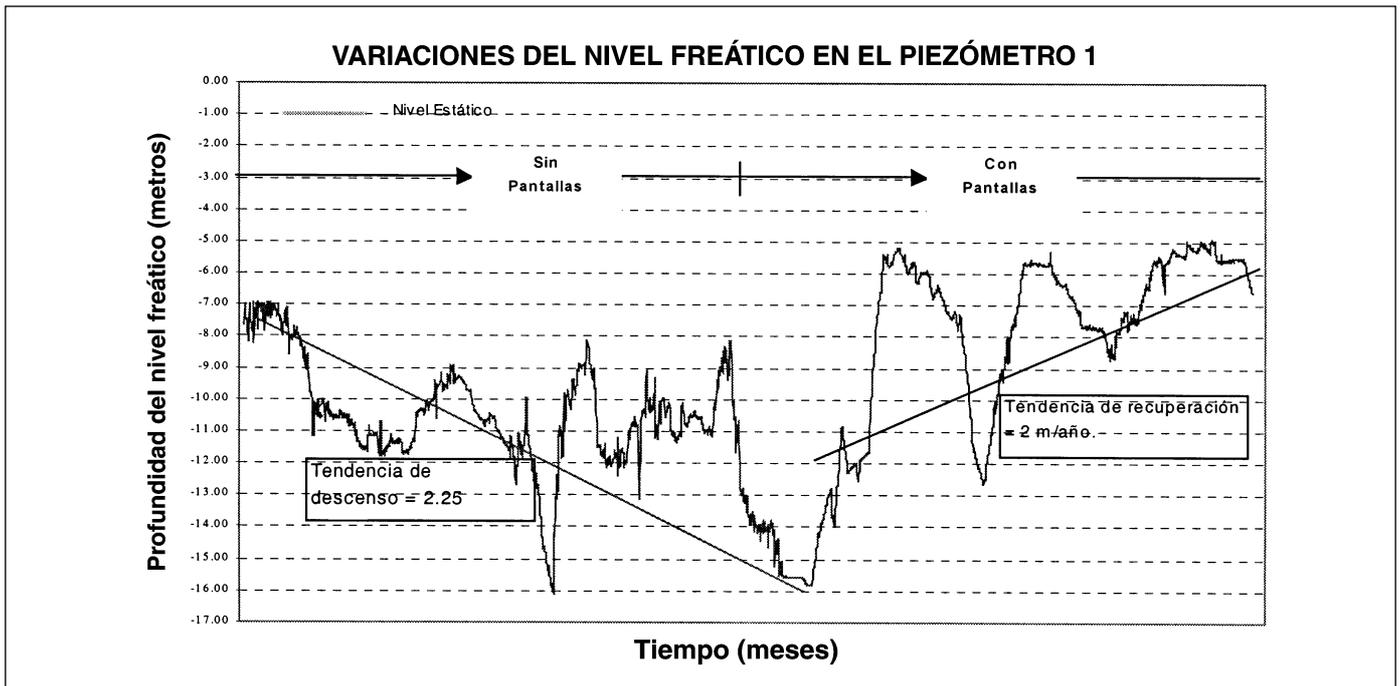


Fig. 4. Resultados de la recarga artificial inducida
 Fig. 4. Results of the induced artificial recharge

referido proyecto piloto se han diferenciado tres sectores de características diferentes:

- Sector A: Ubicado sobre la margen izquierda del Río Rímac, dentro del área de influencia de los 12 pozos de extracción-recarga, entre las pantallas N° 1 y 29, con una longitud de 2,8 km y una sección de 750 m. En este sector los pozos se encuentran distribuidos en dos líneas de 6 pozos cada una.
- Sector B: Se extiende sobre la margen izquierda del río aguas arriba del Sector A, abarcando una longitud de 3.200 m y un ancho de 750 m, entre las pantallas N° 29 y 60. Aquí la explotación del acuífero es mínima, no todos los nuevos pozos perforados recientemente se encuentran en explotación.
- Sector C: Se encuentra sobre la margen derecha del río entre la primera y última pantalla o entre los pozos 633 y 651, extendiéndose sobre una longitud de 6.000 m y un ancho de 750 m. Allí se encuentran los 18 pozos de extracción-recarga ubicadas en una sola línea.

Los cálculos de recarga artificial inducida durante los tres últimos años se muestran en la tabla 2, habiéndose logrado recargar en total 10.835 MMC de agua al acuífero.

La diferencia de volúmenes recargados entre un año y otro, se debe al caudal y período de bombeo de los pozos de extracción-recarga. Por esta razón tam-

SECTOR	VOLUMEN INDUCIDO (Mm ³)		
	1999	2000	2001
A	3.150.000	1.071.000	1.134.000
B	291.000	360.000	576.000
C	675.000	1.687.500	1.890.000
TOTAL	4.116.600	3.118.500	3.600.000

Tabla 2. Recarga artificial inducida
 Table 2. Induced artificial recharge

bién varía el gradiente hidráulico entre el nivel de agua del río y el nivel del acuífero. A mayor extracción local se produce mayor gradiente hidráulico y por lo tanto mayor recarga. A menor extracción, menor gradiente hidráulico y menor recarga.

Reemplazo parcial de aguas subterráneas por aguas superficiales

Los resultados de la evaluación del nivel freático en 1997, en la que se determinó el estado crítico del acuífero por sobreexplotación, sirvieron de información en la elaboración del Plan Maestro de Agua Potable y Alcantarillado con un horizonte hasta el año 2030. Según este documento la explotación de las aguas

subterráneas debería disminuir significativamente desde 12,4 m³/s registrado en 1997 hasta 8,0 m³/s en el año 2001. A partir de estos resultados, se estima que la extracción de aguas subterráneas variará predominantemente entre 4 y 6 m³/s, como consecuencia del incremento de la disponibilidad de agua superficial proveniente de los diferentes proyectos que se irán implementando progresivamente.

Resultados

Como resultado de las acciones señaladas anteriormente la extracción de las aguas subterráneas en los acuíferos Rímac y Chillón ha disminuido de 12,4 m³/s en 1997 a 9 m³/s en Agosto del 2001, habiéndose obtenido consecuentemente recuperaciones importantes del nivel del agua subterránea como puede observarse en la Fig. 5. Así en la mayor parte de los

acuíferos Rímac y Chillón, para el período señalado, se han producido recuperaciones de 1 a 15 m, a razón de aproximadamente 0,25 m a 3,75 m/año. Sin embargo, aún existen algunas zonas con tendencia al descenso del nivel, pero con menor intensidad (2 m a 10 m) Tal es el caso de los distritos de Puente Piedra (0,5 m/año), Surquillo (0,5 a 1,3 m/año) y Ate (1,3 a 2,5 m/año).

El hidrograma de uno de los pozos representativos de la red de control se presenta en la Fig. 6, en donde se muestra la tendencia de la recuperación del nivel freático en Zárate (1,84 m/año) a partir de 1998. El hidrograma de otro pozo representativo del sector más crítico, (Pozo 181 Vulcano), ubicado en el distrito de Ate, también se evidencia que la tendencia de los niveles es al descenso (4 m/año registrado entre 1991 y 1997). A partir de 1998 hasta Agosto del 2001 el nivel ha disminuido a razón de 1,5 m/año.

En esta zona crítica, ubicada en las inmediaciones

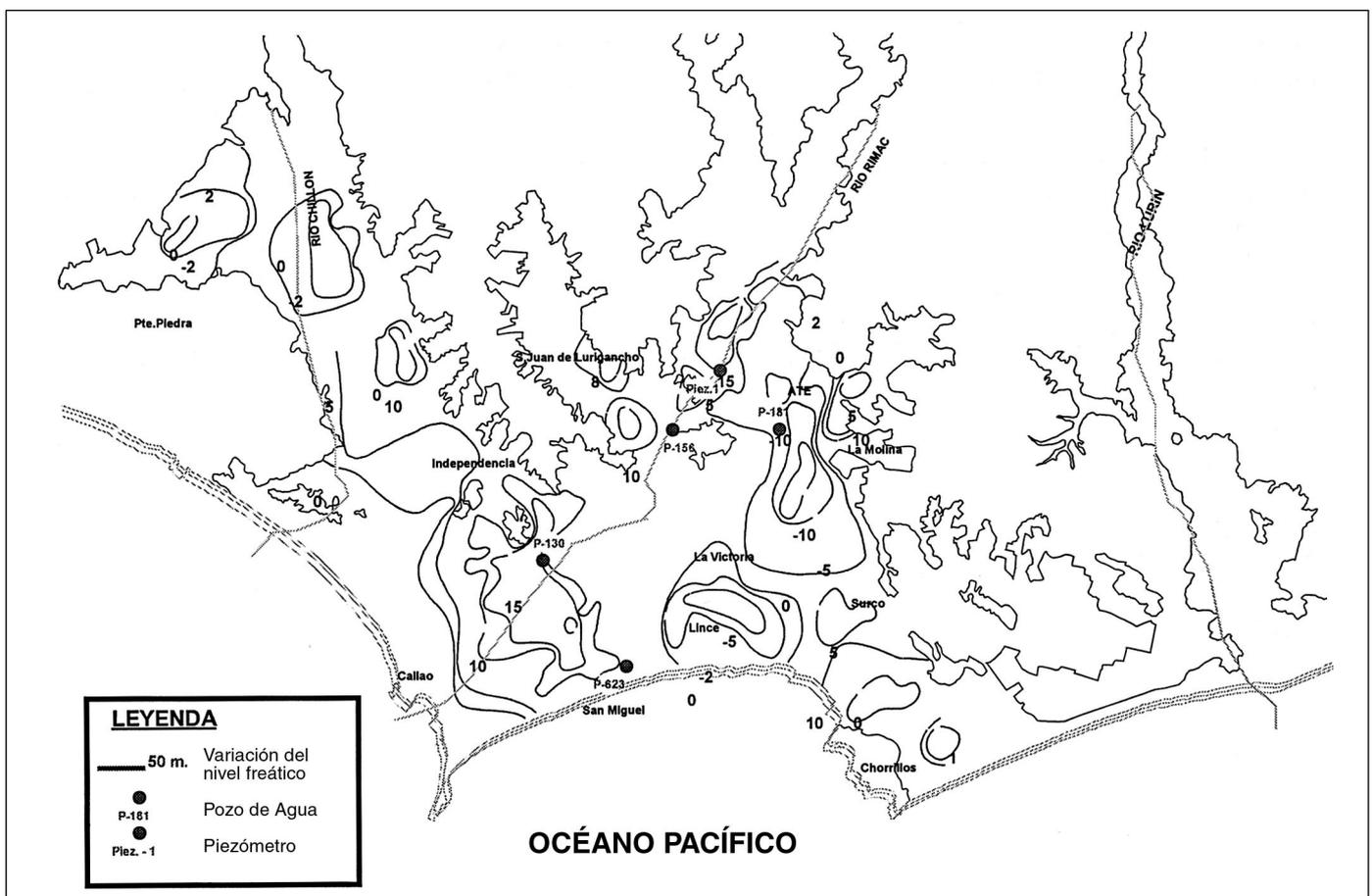


Fig. 5. Variación del nivel freático entre los años 1997-2001. Acuíferos Rímac y Chillón
Fig. 5. Groundwater level change between 1997-2001. Rimac and Chillón aquifers

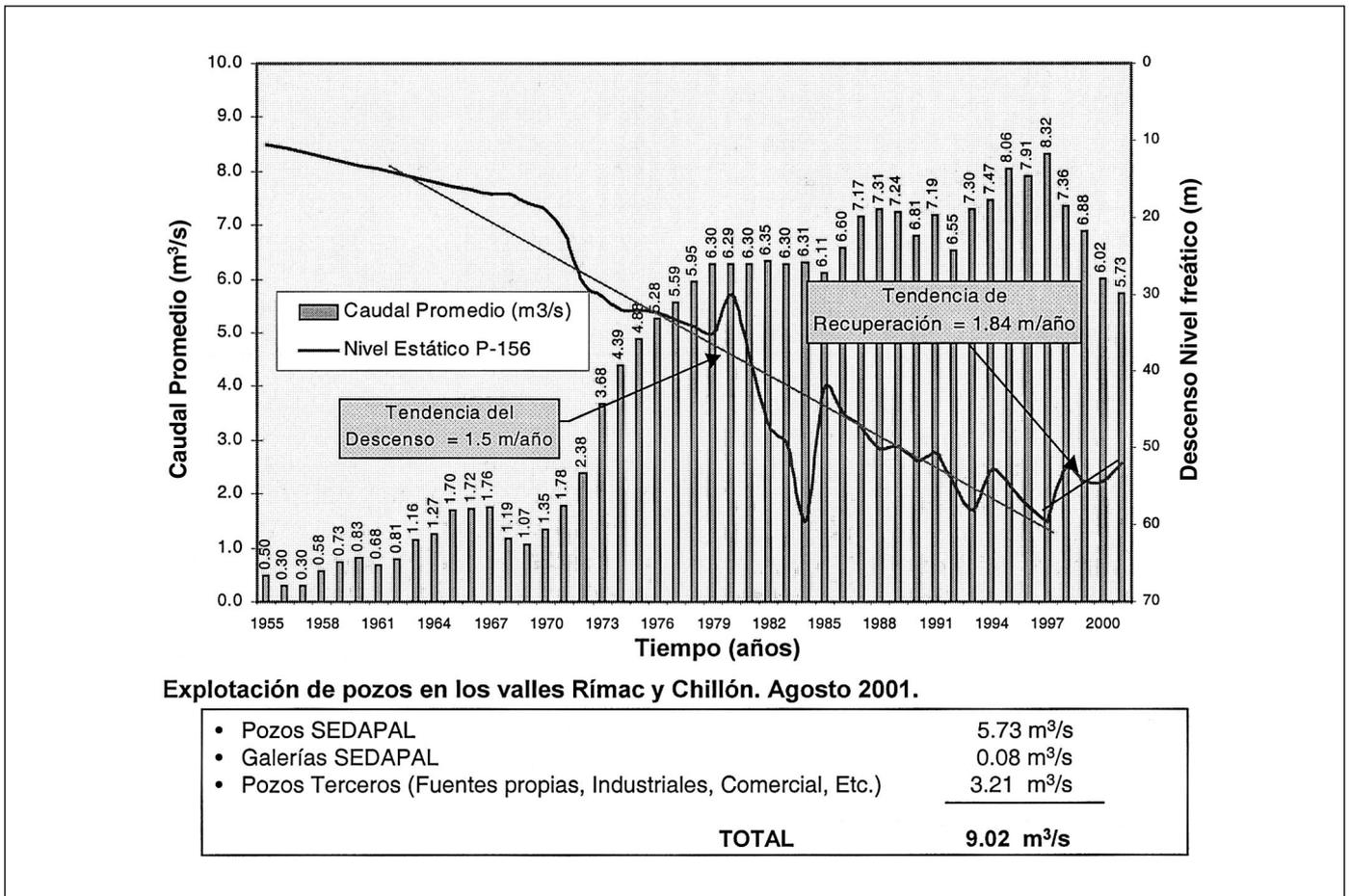


Fig. 6. Variación del nivel freático en el pozo P-156 Zárte, tendencia a la recuperación desde 1997
 Fig. 6. Groundwater level evolution in well P-156 Zárte, tendency to recovery

de la urbanización Vulcano, la profundidad del agua subterránea alcanza actualmente los 100 m, a diferencia del año 1997 en el que se ubicó a 90 m. En cambio, en el distrito de La Victoria, en donde en 1997 la máxima profundidad del agua subterránea llegó a 100 m, actualmente se ha recuperado a 90 m de profundidad.

Conclusiones y recomendaciones

El uso racional del agua, el uso conjunto de las fuentes de aguas superficiales y subterráneas, el reemplazo progresivo de las fuentes de aguas subterráneas por superficiales, así como la implementación del sistema de recarga artificial en el Valle del Rímac han permitido disminuir la explotación de las aguas subterráneas en 3 m³/s. En consecuencia se ha logrado una importante recuperación del nivel freático

co en la mayor parte de los acuíferos Rímac y Chillón, lográndose contrarrestar de esta manera los riesgos de sobreexplotación cuyo nivel más crítico se registró en 1997.

Considerando que la máxima extracción que se debe hacer de los acuíferos del Rímac y Chillón es de 8 m³/s y que la tasa actual llega a 9 m³/s, existe aún un déficit de 1 m³/s, el cual se podría eliminar progresivamente mediante la continuación de los proyectos de micromedición y de uso conjunto, como el que entrará en operación próximamente en el Callao. El mismo objetivo se podría obtener promoviendo la optimización del uso del agua en pozos de terceros, los cuales predominantemente son de uso industrial.

Para alcanzar el caudal de rendimiento seguro de 6 m³/s, es necesario considerar el reemplazo parcial de fuentes subterráneas por fuentes de agua superficial.

La experiencia y beneficios obtenidos con la ges-

Quintana, J. y Tovar, J. 2002. Evaluación del acuífero de Lima y medidas correctoras para... *Boletín Geológico y Minero*, 113 (3): 303-312

ción del acuífero de la gran Lima podrían servir de ejemplo para el manejo de otros acuíferos costeros que presentan similares condiciones de sobreexplotación.

Referencias

Antea/AMSA Consultores, 1999. *Actualización y Modernización del Equipo y Software para la Simulación del Comportamiento del Acuífero de Lima*. Lima.

SEDAPAL, 1997. *Estado Actual y Futuro de la Napa en los Acuíferos Rímac y Chillón*. Lima.

SEDAPAL, 1999. *Evaluación del Proyecto Piloto Recarga Artificial Inducida Valle del Río Rímac*. Lima.

SEDAPAL, 2000. *Gestión de los Acuíferos del Rímac y Chillón*. Lima.

SEDAPAL, 2000. *Evaluación del Acuífero en el Sector del Proyecto Uso Conjuntivo Esquema San Miguel*. Lima.

Recibido: Marzo 2002

Aceptado: Septiembre 2002