

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**EVALUACIÓN DEL PROYECTO DE TRATAMIENTO
DEL CAUCE DEL RIO RIMAC CON FINES DE
RECARGA INDUCIDA**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de
INGENIERO CIVIL

PEDRO ALFONSO CALENZANI GAMARRA

Lima - Perú

2002

“EVALUACION DEL PROYECTO DE TRATAMIENTO DEL CAUCE DEL RIO RIMAC CON FINES DE RECARGA INDUCIDA”

INDICE

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
Capítulo 2. ALCANCES Y OBJETIVOS	3
2.1. Alcances	3
2.2. Objetivos	3
2.3. Trascendencia del Proyecto	4
Capítulo 3. INFORMACIÓN BÁSICA DEL PROYECTO	5
3.1. Ubicación del Proyecto	5
3.2. Hidrología de la cuenca	5
3.3. Geología de la cuenca	6
3.4. Condiciones del cauce	9
3.5. Condiciones del acuífero	10
3.6. Calidad del agua	10
3.6.1. Calidad del agua superficial	10
3.6.2. Calidad del agua en el acuífero	12
3.7. Demanda y oferta	12
3.7.1. Volumen de precipitación promedio	13
3.7.2. Descarga	13
3.7.3. Pérdida de descarga en el cauce del río	15
3.7.4. Descarga medida en Setiembre 2001 por el equipo de estudio de JICA	17
3.7.5. Volumen de pérdida en el tramo inferior del río Rímac	19
3.7.6. Diferentes cálculos de la infiltración en el área del Proyecto de Tratamiento del Cauce del Río Rímac	20
3.7.7. Explotación o demanda actual	24
Capítulo 4. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	25
4.1. Descripción de las obras principales	26
4.1.1. Pantallas de concreto	27
4.1.2. Explanación del cauce	28
4.1.3. Diques de encauzamiento	29
4.1.4. Dique de embancamiento temporal	30
4.2. Infraestructura del Proyecto	30

Capítulo 5. EVALUACIÓN DEL PROYECTO	33
5.1. De la recarga	33
5.1.1. Morfología del techo de la napa	33
5.1.2. Profundidad actual del nivel de la napa	34
5.1.3. Evolución del nivel de la napa	34
5.1.4. Recuperación del nivel de la napa	36
5.2. De los efectos en el río	37
5.3. Costos de Mantenimiento	38
Capítulo 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ...	40
6.1. Conclusiones	40
6.2. Recomendaciones	41

BIBLIOGRAFIA

LISTA DE LÁMINAS

- Lámina N°1 Ubicación del proyecto.
- Lámina N°2 Isoconductividad eléctrica del agua.
- Lámina N°3 Diagrama logaritmico de análisis de agua, margen derecha
- Lámina N°4 Diagrama logaritmico de análisis de agua, margen izquierda
- Lámina N°5 Distribución de la precipitación Anual Promedio por altitud.
- Lámina N°6 Curva duración de caudales
- Lámina N°7 Esquema de ruta de conducción de agua en la cuenca.
- Lámina N°8 Caudales del río Rímac en Chosica y La Atarjea.
- Lámina N°9 Recuperación del nivel de la napa.
- Lámina N°10 Cálculo de la recarga artificial inducida.
- Lámina N°11 Ubicación de secciones hidrogeológicas.
- Lámina N°12 Secciones hidrogeológicas.
- Lámina N°13 Detalles principales de las obras.
- Lámina N°14 Carta de Hidroisohipsas
- Lámina N°15 Carta de Isoprofundidad de la napa.
- Lámina N°16 Estado de las pantallas en el mes de julio 1999.
- Lámina N°17 Variaciones del nivel de la napa, Piez. 10, 11 y 12
- Lámina N°18 Esquema del funcionamiento de pozos.
- Lámina N°19 Vista de ejecución de la obra.
- Lámina N°20 Ubicación de pozos y piezómetros
- Lámina N°21 Evolución de la napa, pozo 156

LISTA DE CUADROS

- Cuadro N°1 Parámetros hidráulicos del acuífero, margen izquierda.
- Cuadro N°2 Parámetros hidráulicos del acuífero, margen derecha.
- Cuadro N°3 Límites de sustancias potencialmente peligrosas según la clasificación de los cursos de agua, Ley General de Aguas.
- Cuadro N°4 Resultados de los análisis físico-químicos de las aguas subterráneas en los pozos de extracción/recarga.
- Cuadro N°5 Capacidad de captación en las tomas de riego e industriales.

Capítulo 1. INTRODUCCION

Como parte del proceso de Titulación Profesional Extraordinaria, en la modalidad de Actualización de Conocimientos, cuyos cursos se han dictado entre los meses de Julio y Agosto del año 2001 en la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI, presento el Informe de Ingeniería sobre el tema: "EVALUACIÓN DEL PROYECTO DE TRATAMIENTO DEL CAUCE DEL RÍO RÍMAC CON FINES DE RECARGA INDUCIDA", proyecto que viene ejecutando Sedapal desde 1994 y del cual ya concluyó los primeros 6 Km.

Este informe lo he elaborado gracias al conocimiento que tengo del tema al haber participado en las diferentes etapas que hasta la fecha ha desarrollado el proyecto. Primero participé como inspector de las obras del Proyecto Piloto, correspondiente a 1 km del cauce; luego formé parte del Comité Técnico para el Concurso Oferta por la ejecución de las obras en 5 Km del cauce; concluidas las obras de la primera etapa coordiné por parte de SEDAPAL los trabajos de mantenimiento del cauce efectuados en los años 1999 y 2000.

1.1. Antecedentes.

Los acuíferos de Lima correspondientes a los ríos Rímac y Chillón se encuentran desde hace más de 20 años en estado de desequilibrio, esto, debido a que la extracción del agua subterránea supera a la recarga, se estima que para mantener el balance la explotación debería ser de 8 m³/s cuando en la actualidad supera los 11 m³/s (pasó de 7 m³/s en el año 1969 a 12 m³/s en Enero de 1998). Considerando esta situación la empresa de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, SEDAPAL, emprendió proyectos tendientes a lograr el equilibrio y recuperar progresivamente las reservas explotables. Ver lámina N°21, Evolución de la Napa en pozo representativo ubicado en Zárate.

Con este fin inició en 1994 los siguientes Proyectos: a) Recarga artificial inducida en los valles del Rímac y Chillón, b) Uso conjunto de aguas subterráneas y superficiales y c) Reemplazo de fuentes de aguas subterráneas por superficiales, en sectores críticos por problemas de sobre explotación o deterioro de su calidad.

En este informe se presenta el método de recarga inducida que tiene por finalidad incrementar la recarga de los acuíferos, mediante el incremento del área disponible para lechos de infiltración en el mismo cauce del río.

Los temas desarrollados son los siguientes:

En el capítulo 2, además de describir los alcances del presente informe de ingeniería y los objetivos del proyecto, se menciona la trascendencia del proyecto en cuanto al ordenamiento del recurso.

La información básica del proyecto se detalla en el capítulo 3, aquí se encontrará información general de la cuenca, del cauce, del acuífero así como de la calidad del recurso agua.

En el capítulo 4, se hace una descripción general de las obras ejecutadas para el proyecto así como de la infraestructura complementaria del mismo.

La evaluación del proyecto se desarrolla en el capítulo 5, en donde se describen, en base a los estudios efectuados, los cambios surgidos en la napa por efectos de la recarga inducida, así como los efectos en el río y los costos que genera su mantenimiento.

Finalmente en el capítulo 6 se hacen las conclusiones y recomendaciones de acuerdo a los resultados obtenidos.

CAPITULO 2. ALCANCES Y OBJETIVOS

2.1. Alcances

El presente Informe de Ingeniería Civil, denominado “**EVALUACION DEL PROYECTO DE TRATAMIENTO DEL CAUCE DEL RIO RIMAC CON FINES DE RECARGA INDUCIDA**”, tiene la finalidad de acceder al Título Profesional de Ingeniero Civil, a través de la modalidad de Experiencia Profesional por Actualización de Conocimientos y tratará de la primera etapa del proyecto, el mismo que fue desarrollado y ejecutado por el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, SEDAPAL entre los años 1994 al año 2000.

2.2. Objetivos

Sedapal, viene desarrollando el “Proyecto de Tratamiento del Cauce del Río Rímac para la Recarga del Acuífero”, en el tramo del cauce comprendido entre la Bocatoma de La Atarjea y la descarga de la Central Hidroeléctrica de Huampaní. De los 22 km que comprende el proyecto integral, se han construido los 6 primeros desde La Bocatoma de La Atarjea hasta el km 8 de la autopista Ramiro Prialé, de esta primera etapa es que trataremos.

Los objetivos principales del Proyecto son los siguientes:

- Inducir a la recarga del acuífero de Lima, mediante infiltración en el lecho del cauce durante la temporada de avenidas, obligando al río a extenderse en todo su ancho, el cual varía entre los 180 a 200 m.
- El proyecto integral permitirá aprovechar un volumen de aproximadamente 150 MMC/año ($5 \text{ m}^3/\text{seg}$), que se podrán incorporar a las actuales fuentes de abastecimiento de agua de

Lima, y que servirán básicamente para abastecer a la población de la zona este de la ciudad.

- Minimizar las pérdidas en el río por infiltración y evaporación, esto se logra controlando el curso del río dentro del cauce, lo cual permite también encauzarlo por el denominado canal temporal para épocas de estiaje. Este consiste en un canal de 15 m de ancho paralelo al dique o enrocado lateral, el cual es conformado durante los mantenimientos o explanaciones del cauce.
- Otro objetivo es el ordenamiento que implica mantener limpio y nivelado el cauce, así como limitado adecuadamente con enrocados en las dos márgenes a modo de diques de encauzamiento, lo cual da seguridad a la zona.

2.3. Trascendencia del Proyecto de Tratamiento del Cauce del Río Rímac con fines de Recarga Inducida

El proyecto de Tratamiento del Cauce del Río Rímac ha trascendido de un Proyecto de aprovechamiento de recursos hídricos con fines de abastecimiento de agua potable, que de por sí ya es de gran interés y suma importancia, a un Proyecto Integral que incluye el ordenamiento de los recursos al evitar el mal uso que actualmente se le dá, dado que el río sirve para arrojar basura, desmonte, desagües clandestinos, etc.

El Proyecto de Recarga se ha asociado a un Proyecto de arborización de Riberas, al Proyecto de construcción de muros perimetrales y a un Proyecto Paisajista.

Capítulo 3. INFORMACIÓN BÁSICA DEL PROYECTO

3.1. Ubicación del Proyecto

La primera etapa del Proyecto, que es materia del presente informe, y sus respectivas obras se ubican en el cauce del Río Rímac en el tramo comprendido desde la Bocatoma de La Atarjea hasta 6 Km aguas arriba de la misma.

Este tramo abarca dos distritos de la Provincia de Lima, El Agustino en los dos primeros kilómetros y Ate en los últimos 4 hacia aguas arriba, el acceso se realiza por la autopista Ramiro Prialé, la cual es paralela al tramo del río en mención.

En la lámina N°1 se muestra la ubicación del proyecto.

3.2. Hidrología de la cuenca.

El área de captación del río Rímac es de aproximadamente 3583 Km², cuya altura varía desde el nivel del mar hasta los 4850 m.s.n.m. La longitud del curso principal es de 143 Km hasta su desembocadura en el Océano Pacífico y su gradiente fluvial promedio es de 1/29,5 (0,0339).

El río principal se divide aguas arriba de Chosica en dos tributarios, el Río Santa Eulalia y el Río Rímac. El tramo cuya altura es superior a los 2500 m.s.n.m. corresponde a la cuenca húmeda y produce recursos hídricos, diferenciándose claramente dos estaciones, la húmeda de Noviembre a Abril y la estación seca de Abril a Octubre.

3.3. Geología de la cuenca.

En general, la cuenca está cubierta por formaciones sedimentarias y volcánicas elásticas de las eras del Jurásico al Terciario, rocas intrusivas de las eras del Cretáceo al Terciario y también depósitos del Cuaternario.

Las formaciones del Jurásico están expuestas en la parte norte de Lima, y se extienden en dirección NO-SE a lo largo de la costa del Pacífico. Las formaciones consisten principalmente en intrusivos andesíticos asociados con norsteno, esquisto, etc.

Las formaciones del Cretáceo se distribuyen en dirección Norte-Oeste, y aparecen de manera irregular en la cuenca del Río Rímac. Las formaciones son ricas en facies marinas calcáreas que indican un estado no consolidado. Se componen de caliza asociada con marga, esquisto y cuarzita. Algunas facies volcánicas, sin embargo consistentes en lava y volcánico predominantemente andesíticos, están expuestas en el área costera. Las rocas cretáceas han experimentado notable plegamiento con eje NO-SE, y también están cortadas por muchas fallas con direcciones NO-SE y EO.

Los grupos y formaciones terciarias están distribuidos extensamente en los tramos medios y superiores. Estos se dividen en tres zonas: la inferior, la media y la superior. Las rocas de esta era se caracterizan por la presencia de materiales predominantemente volcánicos.

Los extrusivos de la zona inferior a la mitad inferior de la zona media, son facies andesíticas consistentes principalmente de lavas, brechas y tobas intercaladas con arenisca tobácea, toba lapilli, arenisca y lutita litificada.

Se observan rocas andesíticas y basálticas en el horizonte más alto de la zona superior. Estas rocas son probablemente de la era Mio-Plioceno.

Diversas facies de rocas intrusivas se encuentran en la zona occidental de la Cordillera Occidental. Estas intrusivas consisten en granito, granodiorita y tonalita de las eras del Cretáceo y terciaria, y andesita del Cretáceo. Su orientación general es NO-SE paralela a la Cordillera Occidental. Existen algunas rocas plutónicas en batolitos grandes.

En el área terciaria se encuentran cuerpos intrusivos tales como andesita, riódacita, y traquiandesita.

Hay muchas minas metálicas en el área investigada. La mineralización principal ha estado asociada con actividad ígnea en la etapa de deformación del Mioceno durante el proceso geotectónico de los Andes, los mineros excavan diversos tipos de minerales que consisten en galena, calcopirita, barita, pirita, etc.

Los depósitos del cuaternario, divididos en Pleistoceno y Holoceno, consisten en terrazas de niveles variados, glaciares, y depósitos fluviales y de talud recientes. Los depósitos que forman el suelo de Lima son los de más grande escala entre ellos. Se encuentran pilas gruesas de arena y grava con arcilla. La mayoría de los depósitos son presumiblemente de la era del Pleistoceno y están cubiertos por depósitos de abanico del Río Rímac.

La cuenca está situada en la zona de clima árido o semi-árido con menor vegetación. Además, las montañas de la cuenca (los Andes) que se levantaron durante el Terciario están acompañadas de diversas fallas y fracturas. En tal virtud, la cuenca está severamente

expuesta al intemperismo, haciéndola vulnerable a diversos desastres.

Las terrazas fluviales formadas en el Pleistoceno se encuentran en varios lugares a lo largo de los ríos Rímac y Santa Eulalia. Existe una distribución de depósitos de terrazas de dos o tres capas, con una altura de 10 a 50 m en las cercanías de Chosica. También existen depósitos de terraza aguas arriba de Chosica. Estos depósitos consisten en cantos rodados, grava, arena, y arcilla con un espesor que va de 30 a 50 m. Las gravas y cantos rodados que ocupan gran parte del depósito varían en tamaño desde un puño a bloques de más de 1 m y tienen forma redondeada.

Existen también depósitos antiguos que tienen una altura de alrededor de 120 m en la parte alta del río Santa Eulalia. Se presume que estos depósitos se formaron durante la era glacial y se componen de tamaños diversos de materiales rocosos angulares. Los depósitos de tipos similares también están extensamente distribuidos en muchos tributarios de la cuenca. Estos son los llamados “Huaycos antiguos” en el Perú.

Los depósitos categorizados como formación de la era del holoceno, se clasifican en diversos tamaños de depósitos de abanico, y depósitos fluviales y glaciales recientes, así como depósitos en las laderas de montañas y faldas de cerros.

Los depósitos fluviales recientes se identifican en forma independiente, aunque también incluyen depósitos de abanico. En la zona de tramos medios a inferiores, hay existencia extensa de depósitos gruesos consistentes en tamaños variados de cantos rodados, grava, arena y sedimento de arcilla en el lecho fluvial. Este volumen de sedimentación se considera que es enorme, especialmente aguas abajo de Carapongo.

Los depósitos de laderas están ampliamente distribuidos en las zonas de los tramos medio a superior de la cuenca, como depósitos de talud o conos de desechos. Estos depósitos se distribuyen en taludes empinados con gradientes de 36 a 38 grados.

En el área del proyecto el basamento comprende principalmente granodioritas del batolito andino y su profundidad mínima es de 100m en Huachipa. El acuífero comprende bolones, cantos rodados y gravas gruesas con arena intersticial.

3.4. Condiciones del Cauce

De los estudios de mecánica de suelos efectuados por la empresa Geotecnia & Pavimentos, en Noviembre de 1996, se establece el siguiente Perfil Estratigráfico representativo del lecho del cauce en el área del proyecto:

- Desde la superficie del terreno actual hasta una profundidad media de 1,40 m, depósitos recientes arenosos con grava de color beige, conteniendo basuras y raíces. Están secos y superficialmente sueltos, su densidad natural está comprendida entre 1,7 y 1,8 gr/cc.
- De la superficie indicada hasta 5,0 m de profundidad: se encuentran gravas bien y mal graduadas (GP y GW respectivamente), en matriz arenosa y prácticamente libres de finos. Son de colores beige y gris y se encuentran secas a ligeramente húmedas por encima del nivel freático y con una compacidad relativa media a densa. Su densidad natural promedio se estima en 2,00 gr/cc, su compacidad relativa va de media a densa, a la que corresponde según **Terzaghi-Peck-Mesri** (Soil Mechanics in Engineering Practice-1996) un valor "N" en el Ensayo Normal de Penetración (Standard Penetration Test), de 30 golpes/pie.

Este estrato se encuentra intercalado con lentes de arenas grises con una compacidad relativa media y gravas limosas y oxidadas. Contienen el nivel freático a una profundidad media de 3,60 m, cuyo contenido de sulfatos y cloruros es inferior a los límites considerados como agresivos por las normas.

Se pueden caracterizar con un ángulo de fricción interna de 35° y una cohesión de 0 Kg/cm².

3.5. Condiciones del acuífero

El acuífero del área investigada está constituido predominantemente por depósitos aluviales conformados por cantos rodados, grava, arena y arcilla que se encuentran formando capas y/o entremezcladas entre sí. De acuerdo al análisis de los perfiles litológicos de pozos representativos, así como la información geofísica, geológica y geomorfológica se ha determinado que en la margen derecha se presentan mejores condiciones hidrogeológicas del acuífero que en la margen izquierda, principalmente por estar constituido por depósitos aluviales de mayor permeabilidad.

En los Cuadros N°1 y 2 se consignan los resultados de pruebas de bombeo para determinar los parámetros del acuífero realizados en 67 pozos en ambas márgenes del río, habiéndose determinado una permeabilidad promedio de $3,76 \times 10^{-4}$ m/s para la margen derecha y $1,91 \times 10^{-4}$ m/s en la margen izquierda.

La napa contenida en el acuífero descrito anteriormente es libre. Sus fuentes principales de alimentación en el área de estudio son el flujo subterráneo de entrada proveniente de aguas arriba, así como las filtraciones a partir del lecho del río y de las áreas bajo riego que aún existen en el sector.

3.6. Calidad del agua.

3.6.1. Calidad del Agua Superficial.

Desde 1960, las aguas del Río Rímac han venido contaminándose por sustancias químicas tóxicas, materiales no bio-degradables y micro organismos. Aunque algún mejoramiento en la calidad del agua ha sido reportado, al presente las condiciones se mantienen básicamente las mismas a pesar de los grandes esfuerzos hechos por parte de las instituciones del sector ambiente y saneamiento tales como el Ministerio de Salud, SEDAPAL, etc.

En la Cuadro N°3 se presentan los límites permisibles vigentes de las sustancias potencialmente peligrosas según la clasificación de los cursos de agua, de acuerdo con la normativa contenida en la Ley General de Aguas, D.L N°17752. Las normas para las aguas de clase I y II, básicamente son las normas de calidad del agua para uso doméstico dadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en relación a los límites bacteriológicos, físico-químicos y sustancias potencialmente dañinas (Materia inorgánica, materia orgánica, pesticidas, desinfectantes, etc.). También se dan los límites de las concentraciones de los productos químicos, materiales radioactivos y algunos otros parámetros que pudieran afectar a los consumidores del agua.

Actualmente, y debido a la alta concentración de coliformes fecales es necesario una gran cloración, que como desinfectante del agua es aplicada con altos costos. Las dosis excesivas de cloro conduce a la formación de trihalometanos los cuales podrían causar problemas de salud pública. La DBO (Demanda bioquímica de oxígeno) en La Atarjea, generalmente es menor que 5 mg/l, lo cual es un valor aceptable a pesar de los vertidos industriales y domésticos.

Los metales pesados presentes en la cuenca, como el plomo, cromo o arsénico pueden causar problemas graves de salud pública a largo plazo, estos son removidos a los límites permisibles a través de los procesos de decantación y filtración en las Plantas de La Atarjea.

3.6.2. Calidad del agua en el acuífero.

En los estudios efectuados por el Equipo de Aguas Subterráneas de Sedapal en el año 1999, a fin de caracterizar la calidad del agua en el área de estudio se consideró como indicador a la conductividad eléctrica, la cual indica el grado de concentración de la salinidad global en el agua. Para el efecto se midió en el campo la conductividad eléctrica del agua de pozos representativos.

Con los valores de la conductividad eléctrica referidos a la temperatura patrón de + 25 °C se ha elaborado la carta de isoconductividad eléctrica del agua que se presenta en la lámina N°2, en ella se observa que la conductividad eléctrica en la margen derecha varía de 700 Micromhos/cm a 1000 Micromhos/cm a + 25°C y en la margen izquierda varía de 700 Micromhos/cm a 800 Micromhos/cm a + 25°C, valores representativos de aguas con baja a moderada concentración salina. En ambos casos el incremento de dicha concentración se produce según se aleja del lecho del río.

En las láminas N°3 y 4 se muestran los diagramas de potabilidad elaborados en base a los resultados de los análisis de agua que se consignan en el cuadro N°4 en donde se puede apreciar que en general la potabilidad del agua se encuentra dentro de los límites permisibles.

3.7. Demanda y oferta.

Los siguientes párrafos han sido tomados del “Estudio sobre el Desarrollo de Recursos Hídricos” efectuados por el Jica en el mes de Setiembre 2001, en convenio con Sedapal.

3.7.1. Volumen de precipitación promedio

El volumen de precipitación promedio en la cuenca del río Rímac ha sido estimado en aproximadamente 460 mm como se indica abajo, debido a la correlación de la precipitación con la altura como se muestra en la lámina N°5.

Altura (m.s.n.m.)	Area de Drenaje (Km ²)	Porcentaje del Area (%)	Precipitación Promedio (mm/año)	Precipitación Ponderada (mm/año)
0 - 1 000	816	22,8	0	0,0
1 000 - 2 000	484	13,5	150	20,3
2 000 - 3 000	395	9,8	350	34,3
3 000 - 4 000	444	15,4	550	84,7
4 000 - 0 más	1 444	40,3	800	322,4
TOTAL	3 583			461,7

3.7.2. Descarga

Existen varias estaciones de medición de descarga, especialmente en las cuencas fluviales del Rímac y Mantaro. SENAMHI, EDEGEL y SEDAPAL son responsables de la recolección y procesamiento de datos en la mayoría de las estaciones. Se ha efectuado el análisis de los datos de descarga en forma mensual y anual.

Los registros históricos de descarga indican bien el desarrollo de los recursos hídricos en cuencas fluviales durante cuatro décadas. Sin embargo, cabe destacar que las plantas hidroeléctricas han disminuido y variado los caudales a fin de satisfacer las demandas

de energía diaria y de temporada. Además, los reservorios así como las lagunas naturales y artificiales regulan el caudal de corriente durante la estación seca. Por lo tanto, la operación compleja de los reservorios y plantas de fuerza no permite un cálculo preciso de la escorrentía.

Se estima que la escorrentía anual en la cuenca del río Rímac es de aproximadamente 21,1 m³/seg (665 MMC) en promedio, refiriéndose al balance de descarga observado en la estación de Chosica (25,5 m³/seg, 804 MMC) y en la estación de Milloc (4,4 m³/seg, 139 MMC) que ha sido derivado de la cuenca del río Mantaro. La curva de duración del río Rímac en la estación de Chosica, aparece en la lámina N°6, donde se observa un caudal garantizado al 95% del tiempo igual a 12,5 m³/seg.

El coeficiente de escorrentía se estima aproximadamente en 41%, conforme se muestra en el siguiente cuadro basado en los datos de caudal promedio anual y precipitación.

Escorrentía Promedio Anual en la Cuenca del Río Rímac

Altura (m.s.n.m.)	Area de Drenaje (km ²)	Precipitación Promedio (mm/año)	Precipitación Efectiva (mm/año)	Escorrentía (m ³ /seg)
0 - 1 000	816	0	0	0,0
1 000 - 2 000	484	150	67,5	0,1
2 000 - 3 000	395	350	157,5	2,0
3 000 - 4 000	444	550	247,5	3,5
4 000	1 444	800	360	16,5
Total	3 583			21,1

$$C_e = \text{Volumen Escorrentía} / \text{Volumen Precipitación} = 41\%$$

Aparte de los registros de descarga mensual, se han recogido registros de descarga horaria para analizar las pérdidas de descarga a lo largo del río Rímac, a pesar de su complejidad pues fluctúan de

una hora a otra. Se ha recogido datos de descarga horaria observados en la estación de Chosica (SENAMHI) y toma de La Atarjea (SEDAPAL), para estimar la pérdida de caudal de corriente en un tramo inferior del río Rímac con una longitud de 30 Km, donde un depósito fluvial ancho y profundo origina pérdidas por infiltración. Además, se han recogido datos de descarga mensual en las estaciones de Sheque y Tamboraque bajo EDEGEL, para el cálculo de la pérdida de caudal de corriente en los tramos medio y superior. No es probable que se usen otros datos de descarga observados en las plantas hidroeléctricas aguas arriba de la estación de Chosica para calcular las pérdidas, pues sus mediciones del caudal se limitan a la generación de fuerza hidroeléctrica, y la descarga se controla regulando las pozas en respuesta a la demanda de energía de tiempo en tiempo.

3.7.3. Pérdida de Descarga en el Cauce del Río

Se ha efectuado una medición de la descarga para examinar la pérdida física de agua en el cauce del río, confirmando también la exactitud de los registros de descarga medidos en diferentes estaciones de medición.

La investigación de campo y el análisis de los datos de descarga han identificado las siguientes condiciones:

- (a) SEDAPAL estimó la descarga de admisión en la toma de La Atarjea como menor en aproximadamente $6,0 \text{ m}^3/\text{seg}$ que la observada en las estaciones de medición aguas arriba de las plantas hidroeléctricas de Huinco y Matucana, en los ríos Santa Eulalia y Rímac, respectivamente. La pérdida es de aproximadamente 25% de la descarga promedio de $22,5 \text{ m}^3/\text{seg}$ en la estación de Chosica en la temporada seca. Con respecto a la exactitud de la medición de la descarga, SEDAPAL mide la

- descarga de admisión a la Planta, inmediatamente aguas abajo de las compuertas de toma y también a 1 m de los vertederos de salida de los desarenadores. Se considera que la última es confiable para analizar la fluctuación horaria de la descarga de admisión, desde el punto de vista de la medición hidráulica.
- (b) Existen varios vertederos de derivación a lo largo del Río Rímac, para uso con fines industriales y de irrigación. La pérdida antes mencionada incluye esos usos del agua.
 - (c) Las obras de encauzamiento del río Rímac, ensanchando el cauce de unos 20 m a 150-200 m para mejorar la recarga del agua subterránea a través de los depósitos fluviales permeables, en el tramo de 6,0 Km inmediatamente aguas arriba del lugar de la toma de La Atarjea.
 - (d) Cinco plantas hidroeléctricas controlan de vez en cuando el caudal para satisfacer la demanda de energía de Lima y alrededores. La variación del caudal de planta de fuerza interrumpe la estimación de las pérdidas así como el retraso del tiempo de llegada del caudal, o sea 7,5 a 9 horas entre las hidroeléctricas de Huinco y Matucana y la toma de La Atarjea.
 - (e) Para calcular las pérdidas en el sector medio y superior de la cuenca del Río Rímac, se usan los datos de descarga mensual en las tomas de Sheque y Tamboraque.
 - (f) Se considera que los registros de descarga en la estación de Chosica del SENAMHI, son muy confiables para el análisis de la escurrentía debido a que no hay derivación ni rebose en la estación. Además, su sección de canal rectangular y menor deposición de sedimentos debido a la alta velocidad de flujo, mantienen condiciones de caudal estable que permiten un error de medición relativamente menor en períodos de observación largos.
 - (g) La descarga de derivación por las tomas de irrigación existentes, varía de tiempo en tiempo según el nivel de agua del Río Rímac.

Después de revisar los anteriores hallazgos, se seleccionaron varios lugares para la medición directa de la descarga, según se indica en la lámina N°7. La medición de los tramos 1B a 5B pretende medir la tasa de infiltración en el sector de 6,0 Km donde se ha proyectado la recarga del agua subterránea. Los tramos 1A a 4A tienen el propósito de comprobar la exactitud de los registros de descarga existentes en el SENAMHI y EDEGEL.

En el numeral siguiente se indican los resultados de las mediciones realizadas.

3.7.4. Descarga medida en Setiembre 2001 por el Equipo de Estudio de JICA.

(1) Medición del agua superficial

(a) La pérdida se estimó en 2 a 3 m³/seg entre 3B (5B) y 1B, donde está implicado un error combinado de fluctuación instantánea de la descarga fluvial y error de medición.

(b) La descarga de derivación por las tomas existentes variaba significativamente según la profundidad de agua del río; por ejemplo, un día varió en un rango entre 0,4 a 1,4 m³/seg o más en la toma de Surco.

(2) Consumo de agua industrial y de irrigación

Se ha investigado la descarga de derivación relacionada con uso del agua industrial y de irrigación, a fin de estimar la pérdida de caudal a lo largo de los ríos Rímac y Santa Eulalia. Los lugares de toma y su capacidad de derivación registrada se muestran en el cuadro 5.

La extracción total para uso del agua industrial y de irrigación, fue registrada en alrededor de $6,8 \text{ m}^3/\text{seg}$ en el tramo de 30 Km entre Chosica y la toma de La Atarjea, durante la medición directa efectuada en el período del 25 de Agosto al 4 de setiembre del 2001. Las tomas de Surco y Huachipa derivaban un total de $2,2 \text{ m}^3/\text{seg}$.

(3) Balance de descarga entre Chosica y La Atarjea

El balance de la descarga observada entre la estación de Chosica y la toma de La Atarjea, indica pérdidas importantes de caudal en el tramo inferior de 30 Km de largo del Río Rímac.

Además del registro de descarga mensual a largo plazo, se ha recogido el registro de descarga horaria de dos semanas (27 de Agosto al 9 de setiembre del 2001). Sin embargo, el rebose de las compuertas de control no se incluía en el registro de la toma de La Atarjea, el mismo que se estimó en un máximo de 8 a $10 \text{ m}^3/\text{seg}$ durante dos semanas (27 de agosto al 9 de Setiembre del 2001), utilizando la profundidad de rebose inmediatamente aguas arriba de las compuertas de control. El registro de la descarga se muestra en la lámina N°8.

(4) Registro de descarga en Sheque y Tamboraque.

Los registros de descarga en las tomas de Sheque y Tamboraque en EDEGEL también han sido obtenidos para calcular las pérdidas del caudal en el tramo superior del río Rímac en comparación con el de la estación de Chosica. La lamina 9 indica el balance entre la descarga total observada en las tomas de Sheque y Tamboraque y la estación de Chosica. Es difícil estimar las pérdidas de agua de manera precisa porque la descarga y el flujo sub-superficial del área de captación

residual de 1180 km² están incluidos en el registro del caudal para el período 1973 a 1997.

(5) Precisión de los registros y mediciones de descarga

El rango de error de los registros de descarga de SENAMHI, EDEGEL y SEDAPAL parece ser del 10% al 20%. La medición de caudal realizada directamente por el equipo de investigación parece incluir un error del 10 al 20%.

3.7.5. Volúmen de Pérdida en el tramo inferior del río Rímac

Con respecto a la pérdida de agua en el cauce principal de la cuenca del río Rímac, los hallazgos son los siguientes:

- (a) La mayor parte de las pérdidas de agua en el cauce principal de la cuenca del río Rímac ocurren en el tramo bajo del río Rímac, en particular en el sector entre Chosica y La Atarjea.
- (b) La pérdida media total en el tramo de 30 Km entre Chosica y La Atarjea estará en el rango de 6,0 a 10,0 m³/seg, y por lo menos 6,0 m³/seg durante la estación seca (ver lámina N°8). La pérdida se compone de infiltración incluyendo la evaporación. El componente de agua de irrigación y uso industrial parece ser predominante. No se ha identificado un área o punto de infiltración evidente. Se asume que las pérdidas por uso del agua para irrigación e industria y por infiltración son 4,0 m³/seg (70%) y 2,0 m³/seg (30%).
- (c) La descarga total de 16 tomas de irrigación, 6,8 m³/seg medidos por el Equipo de Investigación parece ser el volumen máximo. La extracción diaria promedio para irrigación y uso

industrial se asume en 4,0 m³/seg considerando un área de irrigación existente de cerca de 4750 Ha.

- (d) Se asume que la pérdida por infiltración en el tramo de 7 Km entre el puente Huachipa (3B, 5B) y la toma de La Atarjea (1B) incluyendo los 6 Km de obras de encauzamiento del río, es alrededor de 2,0 m³/seg.

3.7.6. Diferentes cálculos de la infiltración en el área del Proyecto de Tratamiento del Cauce del Río Rímac.

A continuación se muestran los resultados de los estudios hechos por Sedapal, Jica y Binnie & Partners.

a) Cálculo de Infiltración estimado por SEDAPAL

Efectuado por los especialistas del Equipo de Aguas Subterráneas de Sedapal.

Con la información de niveles máximos y mínimos de la napa registrados en los 19 pozos de monitoreo y los 30 pozos de extracción recarga del proyecto, se ha elaborado la carta de la lámina N°9, en donde se muestra la distribución de la recuperación del nivel de la napa que se ha producido entre octubre 1998 y marzo 1999 por efecto de la recarga inducida. Basado en esta carta y la utilización de la expresión que se presenta a continuación se ha calculado el volumen de agua que se almacenó en el acuífero en el referido período.

$$V = A Dh S$$

Donde: V (m³) = Volumen recargado

A (m²) = Área de influencia de recarga o largo por ancho

Dh (m) = Recuperación del nivel de la napa

S (%) = Coeficiente de almacenamiento.

En la lámina N°10 se ve la representación esquemática del cálculo del volumen recargado.

El coeficiente de almacenamiento que se ha utilizado es de 15%, determinado en base a la prueba de acuífero realizada en el pozo 459 y su piezómetro Pz-1. Las áreas y los elevamientos del nivel de la napa que son requeridos para el cálculo del volumen del acuífero que se ha saturado por efecto de la recarga fueron extraídos de la carta de recuperación del nivel de la napa de la lámina N°9.

Efectuados los cálculos respectivos se ha determinado que entre Octubre 1998 y Marzo 1999 el volumen de agua que se ha recargado en el área de influencia del proyecto fue de aproximadamente 4,12 MMC.

En el análisis de la recarga artificial inducida del proyecto se han diferenciado tres sectores de características diferentes.

Sector A: Se encuentra sobre la margen izquierda del Río Rímac, dentro del área de influencia de los 12 pozos de extracción recarga, entre la pantalla N°1 y la N°29, con una longitud de 2,8 Km y una sección de 750 m. Aquí se ha producido una recuperación del nivel de la napa entre 5 y 20 m lo que representa una recarga de 3,15 MMC en 5 meses.

Sector B: Se extiende sobre la margen izquierda del Río aguas arriba del sector A, abarcando una longitud de 3200 m y un ancho de 750 m, entre las pantallas N°29 y 60. En este sector se ha producido una recuperación del nivel de la napa inferior a 1,5 m, lo que representa una recarga de 0,29 MMC en 5 meses.

Sector C: Esta 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 6000 m y un ancho de 750 m. Aquí se ha producido una recuperación del nivel de la napa inferior a 1,5 m, lo que representa una recarga de 0,68 MMC en 5 meses.

En las láminas N°11 y 12 se presentan la ubicación y los perfiles de las secciones transversales AA', BB', CC' y DD', en donde se pueden apreciar en forma comparativa los niveles de la napa en los periodos de estiaje y de avenidas, resaltándose que la mayor diferencia se observa en la sección AA', margen izquierda del río, en donde se ha producido la mayor recarga (3,15 MMC) del periodo Octubre 1998 – Marzo 1999. Esta parte de la sección corresponde al Sector (A) descrito anteriormente. En las demás secciones se observa que las diferencias de niveles entre los periodos de estiaje y de avenidas no son notables y por lo tanto tampoco se han obtenido recargas importantes.

Los resultados obtenidos determinaron que el volumen de agua que se ha infiltrado en el área de influencia del proyecto piloto, en este período, y entre puente Huachipa y La Atarjea, fue de 4,12 MMC equivalente a 0,130 m³/seg.

Cálculo teórico de la infiltración por la ecuación de Moritz.

Para cuantificar la infiltración de manera teórica y considerando constantes las condiciones de permeabilidad en el tramo comprendido, se ha usado la ecuación de Moritz.

Empleando esta ecuación obtenemos una infiltración promedio de 1,49 m³/seg para los 6 Km comprendidos entre el Puente Huachipa y La Atarjea. Los valores de la velocidad promedio (1,11 m/s) y el caudal promedio (26,93 m³/seg) provienen de las mediciones

realizadas por el Grupo de Estudio JICA en el punto 1B, a 200 m aguas arriba de la toma de La Atarjea.

b) Mediciones ejecutadas por JICA

Basados en las mediciones de caudales con correntómetro en los sitios 1B y 3B durante el período del 27 de Agosto al 19 de Septiembre del 2001, el Grupo de estudios de JICA estimó aproximadamente que la infiltración en dicho tramo era del orden de los 2 m³/seg.

c) Binnie & Partners (1980)

Un balance efectuado por B&P considera que las infiltraciones entre Chosica y el Callao corresponden a 4,72 m³/seg, las infiltraciones aguas abajo de La Atarjea son del orden de 1/3 de la infiltración total entre Chosica y el Callao, y los caudales de La Atarjea han sido determinados a partir del caudal en Chosica menos los 2/3 de pérdidas por infiltración producidas entre Chosica y Callao,

En el cuadro siguiente se muestran las infiltraciones por Km. Consideradas diferentes investigaciones sobre el río Rímac.

	Fecha	Distancias Km. Aprox.	Infiltración m ³ /s	Infiltración m ³ /s por Km	Ambito
SEDAPAL	1999	6	0,130	0,02	Huachipa – La Atarjea
Ecuación de Moritz	2001	6	1,490	0,25	Huachipa – La Atarjea
JICA	2001	6	2,000	0,33	Vitarte – La Atarjea
B&P	1980	22	3,150	0,14	Chosica – La Atarjea

Como se observa en el cuadro, en base a la información obtenida no se ha podido llegar a una conclusión definitiva sobre la infiltración producida entre el puente Huachipa y La Atarjea.

3.7.7. EXPLOTACION O DEMANDA ACTUAL.

Actualmente la explotación de la napa en ambas márgenes del río es de 4,22 MMC/mes (2,34 en la margen derecha y 1,88 en la izquierda), equivalente a una explotación continua de 1,63 m³/seg, la misma que se realiza a través de 62 pozos tubulares (30 en la margen derecha y 32 en la izquierda) y 12 pozos a tajo abierto. En un futuro próximo cuando entren en operación 25 nuevos pozos, actualmente en proceso de construcción, el volumen de explotación se incrementará a 4,98 MMC/mes, equivalente a una explotación continuada de 1,92 m³/seg (60 MMC/año).

Capítulo 4. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El "Proyecto de Tratamiento del Cauce del río Rímac con fines de Recarga Inducida" fue elaborado en el año 1994 por los consultores Luis Basurco – Guillermo Maish Molina, asesorados por el Ing. Ernesto Maish G., y trata del estudio del cauce del río Rímac para el diseño de las obras necesarias en el tramo La Atarjea – Huampaní con el fin de fomentar la recarga del acuífero y evaluar la capacidad de infiltración de los recursos hídricos que pueden ser aprovechados de los excedentes del río Rímac que se pierden en el mar.

El río Rímac tiene una masa promedio anual de escurrimiento superior a los 800 MMC y su aprovechamiento es del orden de los 450 MMC, por lo cual se calcula que una masa de 350 MMC no se utilizan y se pierden indefectiblemente en el mar.

El proyecto en mención propende a aprovechar parte de ese importante excedente tratando de fomentar la infiltración desde el lecho del río hacia el aluvial, y por lo tanto a la recarga del acuífero.

En teoría el proyecto pretende aprovechar un 40 ó 50% de ese caudal excedente, es decir entre 150 a 200 MMC, los cuales serían extraídos por bombeo permanente, mediante una batería de pozos colocados en ambas márgenes del río en el tramo La Atarjea – Huampaní, así el Proyecto se presenta muy atractivo, pues se podría estar obteniendo un caudal de 5 m³/seg ó 6 m³/seg adicionales al sistema de recursos hídricos de la cuenca.

La forma seleccionada para fomentar una mayor recarga, es ensanchando artificialmente el ancho del río. El cauce del río Rímac en el tramo La Atarjea - Huampaní, tiene un ancho importante del orden de los 200 m, en algunos tramos bastante más (hasta 300 m) y en otros tramos como el de Huachipa se toma en un cauce angosto

(de 30 a 60 m). Se puede decir que el cauce promedio es de 200 m. Sin embargo el río ocupa un ancho que varía entre 15 m y 50 m, por lo cual divaga de año en año de un lado a otro y formando un flujo entrelazado con varios brazos.

La forma de ensanchar el área mojada por el río a todo su cauce, es explanando el lecho y tratando de rigidizar el cauce con unas pantallas enterradas y a ras del lecho, transversales a todo el cauce, y diques de encauzamiento en ambas márgenes, de forma tal de tener una sección definida e invariable la mayor cantidad de tiempo posible.

La recarga se hará en la temporada de avenidas cuando se presentan los excedentes en el río. Estos excedentes se infiltrarán a través del lecho en el aluvial. El proyecto de recarga está íntimamente ligado a la extracción vía pozos, dándole al almacenamiento en el aluvial las características de un reservorio subterráneo, en donde la alimentación se realiza a través del lecho del río, al cual denominamos lecho de recarga, una salida constituida por una batería de pozos de bombeo (no incluidos en la primera etapa del proyecto), y una capacidad útil constituida por el volumen drenable de material aluvial. Los niveles de la masa de agua subterránea variarán durante el año.

Las obras de ingeniería correspondientes al proyecto aprobado, fueron ejecutadas por el Consorcio Bruce – Equipos y Servicios S.A. – Transmina durante el año 1997 al costo de S/. 8'218,040 en una longitud del cauce de 6 Km desde la bocatoma de La Atarjea.

4.1. Descripción de las Obras Principales.

Las obras del tratamiento del cauce consisten de Pantallas de concreto, explanación del cauce, diques de encauzamiento o enrocados y dique de embancamiento temporal; los cuales son descritos a continuación y se grafican en la lámina N°13.

4.1.1 Pantallas de Concreto Enterradas en el lecho del Río.

Estas pantallas tienen una profundidad variable entre 3 y 4 m y se encuentran espaciadas cada 100 m. El ancho de las pantallas es de 1,20 m.

La longitud de las pantallas está en relación directa con el ancho natural del cauce. En algunos lugares fue necesario reubicar a los agricultores que habían invadido parte del cauce natural, esto, para lograr que las longitudes de las pantallas o ancho del cauce varíe entre 180 y 200 m.

El nivel de coronación de las pantallas determina la pendiente del río en el tramo, de forma tal que se mantenga inalterada con respecto a su condición natural. Esta coronación es susceptible de pequeños ajustes de manera de minimizar el movimiento de tierras de la explanación.

Las pantallas son de concreto ciclópeo $f'c = 140 \text{ Kg/cm}^2 + 30\%$ de piedra grande. El último metro superior de la pantalla de concreto ciclópeo es de mayor resistencia $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2 + 20\%$ de piedra mediana.

Los últimos 0,20 m superiores que conforman la coronación del muro se encuentran enchapados con piedra de río embebidos en el concreto como protección contra la abrasión de la corriente.

Por lo general la base de las pantallas se encuentran por debajo del lecho actual, incluso en una buena proporción las cimas de los mismos. Pero en otros casos en donde el lecho del río está socavado aguas abajo de un puente o de una bocatoma las pantallas van a

cumplir adicionalmente una función de recuperación de nivel, por lo que han sido proyectadas bastante superficiales con respecto al lecho.

Las pantallas que sobresalgan con respecto al lecho natural serán protegidas con espaldones de relleno de material del río compactado con paso de maquinaria. Este relleno coincidirá con la cima de las pantallas y tendrá un ancho de 3,50 m a cada lado y taludes 1:1.

4.1.2. Explanación de Cauce.

Consiste en la realización de movimiento masivo de tierras de forma tal de explanar el cauce entre pantallas procurando enrasarlas entre las cumbres de las mismas.

En caso de que faltara material para conseguir la explanación enrasada entre cimas de pantallas se podrá esperar que en la temporada siguiente de avenidas, el río rellene dicho tramo.

Luego la secuencia de prioridad en el balance excavación relleno es:

- Relleno de protección de las pantallas que quedan por encima del lecho actual tal como se indica en los planos.
- Relleno de diques de encauzamiento de las márgenes izquierda y dique de embancamiento temporal.
- Explanación del lecho entre pantallas a ras de sus cimas si alcanza el material o a un nivel inferior esperando que el propio río realice el relleno con su material de arrastre.

Luego de cada temporada de avenidas se vuelve a hacer la explanación del lecho de recarga preparándolo para la siguiente avenida.

4.1.3. Diques de Encauzamiento.

El proyecto de Tratamiento del cauce del río Rímac para la Recarga del Acuífero contempla encauzamientos laterales en ambas márgenes que limitan al ancho del cauce del río de forma tal de tener un lecho de recarga definido por las pantallas y los diques de encauzamiento.

El río Rímac tiene zonas en donde existen diques de encauzamiento que han sido construidos por diferentes motivos y en diferentes épocas, generalmente para protección de una fábrica, de un grupo de viviendas, de una bocatoma, de un terreno de cultivo o para proteger la autopista Ramiro Prialé. El proyecto comprende estos encauzamientos y los acondiciona y aprovecha como parte del mismo.

Los diques proyectados tienen la siguiente geometría:

- Ancho de coronación = 5,00 m.

Taludes 1,5:1 en ambos lados.

El talud en contacto con el agua se encuentra protegido con enrocado, cuya graduación se encuentra indicada en los planos y con una uña de protección contra la socavación de 2,0 m profundidad.

La altura de los diques es de 3,0 m de altura con respecto al lecho explanado es decir la coronación de los diques de encauzamiento se encuentran 3,0 m por encima de la coronación de las pantallas.

El núcleo de estos diques está conformado con material propio de río y compactado con paso de maquinaria. El talud mojado tiene un enrocado graduado de 0,9 m de espesor promedio.

La uña de protección consiste en un enrocado de 1,2 m de ancho y 2,0 m de profundidad con respecto al lecho explanado.

4.1.4. Dique de Embancamiento Temporal.

Con la finalidad de asegurar la dotación de agua durante la temporada de estiaje se ha previsto la construcción de un dique de embancamiento para formar el canal de estiaje.

Este canal será formado en la margen derecha del río limitado por el muro de encauzamiento de dicha margen y el dique de embancamiento temporal. El canal tiene un ancho en la base de 15 m y taludes 1,5:1 por lo que el dique de embancamiento tiene un ancho de coronación de 3,0 m y una altura con respecto al lecho explanado de 1,5 m.

El relleno de este dique es con material propio y compactado con paso de maquinaria, no tiene enrocado de protección por lo que cualquier deterioro que sufra durante la temporada de estiaje deberá ser reparado.

El dique de embancamiento tiene carácter de temporal a la espera de los proyectos Hidroeléctricos Salto Bajo y La Atarjea que contemplan la conducción del caudal de estiaje fuera de cauce utilizando el cauce del río exclusivamente como lecho de recarga durante temporada de avenidas.

4.2. INFRAESTRUCTURA PRINCIPAL DEL PROYECTO

Pantallas de concreto, transversales al cauce.

Con el objeto de lograr una mejor distribución del flujo superficial a todo lo ancho del lecho del río e incrementar su capacidad de infiltración en la longitud de 6 Km, se han construido 60 pantallas transversalmente a su eje, distanciadas 100 m entre sí.

1er tramo de 1 Km (10 pantallas): Agosto 1995

2do tramo de 5 Km (50 pantallas): Noviembre 1997

Pozos de Extracción en la zona de Recarga

Existen 30 pozos tubulares construidos especialmente para el proyecto de extracción recarga, 12 de los cuales se encuentran en la margen izquierda y 18 sobre la margen derecha, como se pueden observar en el Plano N°1.

Los 12 pozos de la margen izquierda (Pozos 454, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 466, 468) se encuentran distanciados entre sí a 300 m y distribuidos en dos líneas de 6 pozos cada una, a lo largo de 1,5 Km en proximidades del lecho del río. Estos fueron construidos en 1990 y puestos en explotación en 1993. Su capacidad total de producción actualmente es de 550 l/seg. A partir de Enero de 1998 los 10 pozos que abastecen al distrito de La Molina son paralizados temporalmente en épocas de suficiente disponibilidad de aguas superficiales, como parte del programa de uso conjuntivo.

Los 18 pozos de la margen derecha (Pozos del 633 al 648; 651, 652) se encuentran distanciados entre sí a 300 m y se encuentran distribuidos en una sola línea a lo largo de 4,8 Km en proximidades al río. Estos fueron construidos entre 1992 y 1993, habiendo entrado en operación entre 1994 y 1995. Su capacidad total de producción actualmente es de 910 l/seg.

Pozos de Monitoreo

En el área del proyecto se han construido 19 pozos de monitoreo de 50 a 100 m de profundidad y de 8" de diámetro. Su diseño permite: a) realizar medidas del nivel de la napa manualmente y a través de limnógrafos mecánicos y electrónicos, b) muestreo de agua para su

análisis y c) realización de pruebas de acuífero para determinar sus parámetros hidráulicos. Todo ello para evaluar el comportamiento del nivel de la napa sometida a diferentes condiciones de extracción y recarga, la calidad de sus aguas y determinar los volúmenes de agua que se recarga.

Capítulo 5. EVALUACIÓN DEL PROYECTO

Luego de dos temporadas de recarga, verano 1998 y 1999, en las cuales el proyecto operó, el Equipo de Aguas Subterráneas de Sedapal emitió el informe técnico con los resultados de su primera evaluación del proyecto, el mismo que describo a continuación.

5.1. De la recarga

5.1.1. Morfología del techo de la Napa

Con el control del nivel de la napa realizado en marzo 1999, tanto en los piezómetros como en los otros pozos representativos del área del Proyecto, se ha elaborado la Carta de Hidroisohipsas que se presenta en la lámina N°14. En ella se puede observar que la principal alimentación del acuífero en el área piloto en estudio se produce por el flujo subterráneo proveniente del acuífero aguas arriba del puente Huachipa.

Sobre la margen derecha del río el flujo subterráneo se desplaza de Este a Oeste, en el mismo sentido que el escurrimiento superficial, sin manifestaciones importantes de recarga del acuífero a través del lecho del río. Al contrario al llegar a proximidades del afloramiento rocoso constituido por los Cerros Pedreros el flujo subterráneo cambia a la dirección Nor Este a Sur Oeste con destino hacia el lecho del río en el tramo comprendido entre los pozos 642 y 648.

Sobre la margen izquierda el sentido preferencial del flujo subterráneo se produce de Nor Este a Sur Oeste evidenciando una alimentación del acuífero a través del lecho del río.

5.1.2. Profundidad actual del Nivel de la Napa.

Con las mediciones de la profundidad del nivel de agua en reposo referida a la superficie del suelo, tanto en piezómetros como en pozos representativos, se ha elaborado la correspondiente Carta de Isoprofundidad para el período de control (Mayo 1999). En dicha carta que se presenta en la lámina N°15 se puede apreciar que sobre la margen izquierda la profundidad de la napa varía de Norte a Sur, según se aleja del lecho del río de 10 a 50 m. Sobre la margen derecha en el sector comprendido entre el puente Huachipa y los Cerros Pedreros la profundidad de la napa disminuye en dirección del flujo subterráneo Este a Oeste desde 30 a 5 m. La menor profundidad registrada en proximidades de los Cerros Pedreros es atribuible al represamiento del flujo subterráneo que se produce por la presencia de dichos cerros.

Los valores de la profundidad del nivel de la napa en el área del lecho del río indican que la napa se encuentra descolgada y desconectada del flujo superficial. La distancia vertical de desconexión hidráulica disminuye la efectividad de la recarga por inducción durante el bombeo de los pozos de extracción de recarga ubicados en ambos márgenes del río, debido a que sus conos de depresión no interceptan directamente al flujo de agua superficial.

5.1.3. Evolución del nivel de la Napa.

La evolución del nivel de la napa en el área del proyecto de recarga artificial inducida se ha registrado en 19 piezómetros o pozos de monitoreo localizados convenientemente sobre ambos márgenes del río.

Hasta marzo de 1995 el nivel de la napa se encontraba a 7 m de profundidad, después se observa un descenso del nivel de la napa

tanto por la disminución de la alimentación del río como por la puesta en operación progresiva de los 18 pozos de extracción/recarga de la margen derecha. El nivel del agua descendió hasta cerca de los 12 m de profundidad en diciembre 1995, a partir del cual se observa un comportamiento cíclico de ascensos y descensos del nivel de la napa coincidiendo aproximadamente con los períodos de avenidas y de estiajes del río, su fuente principal de alimentación.

En general se observó que las descargas máximas y mínimas del río fueron similares entre 1995 y 1997, incrementándose en 1998 y 1999. Simultáneamente se observa que cada año la máxima recuperación del nivel de la napa registrado entre 1996 y 1998 es similar, alcanzando los 8 m de profundidad aproximadamente. En cambio en 1999 se ha producido un mayor incremento en la recuperación del nivel de la napa lo que puede ser atribuible principalmente a las mayores descargas del río con relación a los años anteriores. Una mínima proporción podría corresponder a la contribución de las pantallas transversales construidas en el lecho del río.

Uno de los principales factores que pueden estar incidiendo en la escasa contribución de las pantallas transversales en la recarga del acuífero es que en el período de avenidas dichas pantallas quedan totalmente enterradas por el considerable transporte de sedimentos finos, gravas y cantos rodados, no cumpliendo eficientemente la función para la cual fueron construidas. Esta situación es evidenciada por el similar comportamiento observado en el nivel de la napa antes y después de la construcción de las pantallas. En la lámina N°16 se puede apreciar el estado de las pantallas representativas en el mes de julio 1999, tres meses después del período de avenidas de ese año.

En el sector donde se ubica el Piezómetro N°1 entre 1996 y 1998 se han producido recuperaciones del nivel de la napa entre 2,50 y 7 m, mientras que entre octubre 1998 y marzo 1999 fue de 10 m.

Aguas arriba del sector descrito anteriormente se ubican los piezómetros 10, 11 y 12. En la lámina N°17 se observa que estando el Piezómetro N°10 más próximo al Piezómetro N°1 la recuperación del nivel de la napa es igualmente notable (6 m), mientras que en los otros que se encuentran mas alejados son menores a 2 m (Piezómetros 11 y 12).

En general se observa que las mayores variaciones del nivel de la napa se producen actualmente sobre la margen izquierda del río, en el sector de mayor concentración de pozos de extracción recarga (12 pozos en dos líneas de 6 c/u). Las menores variaciones se producen en la margen derecha del río, en donde los pozos de extracción recarga se encuentran en una sola línea.

5.1.4. Recuperación del nivel de la napa.

En el Proyecto "Tratamiento del Cauce del Río Rímac con fines de Recarga Inducida", en su etapa ejecutada (6 km), se comprobaron resultados positivos, evidenciados por la recuperación del nivel de la napa en períodos de avenidas del río, los cuales son registrados en los 19 pozos de monitoreo que fueron construidos especialmente para el Proyecto. Sin embargo, el volumen de agua recargado en el acuífero (4,12 MMC en la temporada del verano 1999) es aún insuficiente, lo cual puede ser atribuido a los siguientes factores:

- ⇒ Como actualmente el nivel de la napa por debajo del lecho del río no se encuentra entre los 5 y 10 m de profundidad, no existe una perfecta conexión hidráulica entre la napa y el río, condición necesaria que se debe presentar en todo proceso de recarga artificial inducida (lámina N°18).

- ⇒ Aún no se cuenta con un campo de pozos de extracción distribuidos adecuadamente sobre la mayor extensión del área del proyecto (primeros 6 Km). Con la información actualmente existente se ha comprobado que una distribución de pozos en dos líneas dan mejores resultados en cuanto a la recuperación de la napa que en el caso de una sola línea.

- ⇒ El bombeo de los pozos de extracción, especialmente en la margen izquierda, se ha disminuido significativamente en los períodos de avenida debido al programa de uso conjuntivo, cuando al contrario dichos pozos deberían funcionar más intensivamente en estos periodos para obtener mejores resultados.

- ⇒ Aún no se ha evidenciado la eficiencia de las pantallas transversales en el proceso de recarga, debido probablemente al hecho de que estos quedan enterrados durante los períodos de avenida y/o que el volumen de extracción a través de los pozos de extracción/recarga es aún insuficiente con relación a la capacidad potencial de infiltración del lecho del río.

5.2. De los efectos en el río

Durante el periodo de avenidas, debido a la acción dinámica del río, se producen desplazamientos del material de fondo, acumulación del material aluvial entre pantallas, erosión parcial del dique de embancamiento temporal, desprendimiento de enrocado por erosión de los taludes, acumulación de lodo y crecimiento de vegetación en el enrocado y cauce, perturbando el libre flujo de agua por el cauce del río.

Estas acciones dinámicas del cauce del río, obligan a SEDAPAL a tomar las medidas correctivas de corte, relleno, nivelación y limpieza

del cauce, para lo cual se efectúan trabajos con maquinaria pesada (tractores de 200 a 300 hp).

En cuanto a la sedimentación en el cauce, se midió el hormigón excedente entre pantallas (cada 100 m de longitud), obteniéndose entre 9000 a 14000 m³ para las pantallas de la 40 a la 60, y entre 4000 a 9000 m³ para las pantallas de la 1 a la 40.

El material es similar al definido anteriormente en condiciones del cauce.

5.3. Costos de Mantenimiento

EL tratamiento del cauce del río Rímac, obliga después de la temporada de lluvias, a ejecutar trabajos de corte, relleno y nivelación del material aluvial, eliminación y limpieza del material acarreado, reconstrucción del dique de embancamiento temporal y demás obras que permitan el libre flujo de agua.

Los trabajos de mantenimiento contratados en los años 1999 y 2001 consideraron lo siguiente:

- ⇒ Nivelación del material del lecho del río, entre pantallas, mediante equipo pesado, lo cual puede derivar en corte y relleno del material aluvial y desplazar entre pantallas, para obtener una superficie uniforme en cada sector, respetando una gradiente uniforme entre pantallas y la horizontalidad en sección transversal del cauce.
- ⇒ La nivelación del lecho del río deberá tener un control topográfico, a fin de obtener una superficie uniforme tanto en el sentido transversal, así como de la pendiente del río, teniendo como referencia el nivel superior de las pantallas.
- ⇒ Como actividades complementarias y en orden de magnitud, se menciona la reconstrucción del dique de embancamiento en los

sectores que hayan sido afectados, el mismo que tiene una longitud de 5,5 km.

- ⇒ Limpieza manual de toda la vegetación existente en el cauce, y a lo largo del talud del enrocado y lavado final del enrocado en ambas márgenes del río. Para lo cual deberá contar con las cuadrillas de personal capacitado.

Se debe precisar que los trabajos de nivelación y limpieza se consideran a todo largo de la sección transversal del cauce del río, es decir de enrocado a enrocado, teniendo en cuenta el canal de estiaje.

En el año 1999 se invirtió la suma de S/. 1'006,693 para los trabajos descritos anteriormente, así mismo en el año 2000 se licitó los trabajos por la suma de S/. 1'890,000. En ninguno de los dos casos se incluyó el retiro del material excedente (aproximadamente 600.000 m³ desde el inicio del proyecto a la fecha), lo cual será necesario en las próximas temporadas.

Capítulo 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- En el proyecto “Tratamiento del Cauce del Río Rímac con fines de Recarga Inducida”, en su etapa ejecutada (6 km), se comprobaron resultados positivos, evidenciados por la recuperación del nivel de la napa en períodos de avenida del río.
- Al nivel de la información actualmente existente sobre el área del proyecto de recarga artificial inducida se desprende que dicha recarga artificial se produce predominantemente por efectos de inducción del bombeo de los pozos de extracción/recarga en el período de avenidas, no observándose aún una contribución notable en la recarga por la presencia de las pantallas transversales construidas en el lecho del río.
- Aun no se cuenta con un campo de pozos de extracción/recarga distribuidos adecuadamente sobre la mayor extensión del área del Proyecto.
- El bombeo de los pozos de extracción/recarga, especialmente en la margen izquierda, ha disminuido significativamente en los periodos de avenidas debido al programa de uso conjuntivo, cuando al contrario su funcionamiento favorecería la recarga.
- La importancia de continuar con el proyecto de recarga no debe ser solo de interés para Sedapal, ya que también se logrará un desarrollo integral del río Rímac, permitiendo un área de reserva ecológica para la ciudad de Lima.
- La ejecución del proyecto muestra algunos problemas colaterales, como sedimentación importante de material en las primeras pantallas o proliferación de arbustos en el cauce debido a las bajas velocidades del río en el lecho explanado, esto requiere que se ejecute el análisis de impacto ambiental correspondiente.

- Los estudios de evaluación del proyecto en cuanto a la recarga del acuífero son insuficientes, una temporada de avenidas no es representativa y se requiere comparar el comportamiento del acuífero para diversas condiciones hidrológicas.
- Los trabajos de mantenimiento del cauce debe ser permanentes durante la temporada de avenidas, hacerlo solo antes del verano no permite el correcto funcionamiento del proyecto debido a que la dinámica del cauce modifica el lecho explanado.

6.2. RECOMENDACIONES

- ⇒ Llevar a cabo un estricto programa de limpieza y nivelación del cauce durante el período de avenidas, registrando los correspondientes costos, para que luego de evaluar los efectos en la recarga de estas pantallas, que se encontrarían en óptimas condiciones, sean comparadas con los resultados obtenidos en la evaluación efectuada (verano 1999).
- ⇒ Si de acuerdo a los resultados de la evaluación del primer tramo de 6 Km, después de haberse mejorado su mantenimiento e incrementada la extracción, no se lograra una contribución significativa en la recarga y a costos razonables, en los tramos restantes del proyecto de recarga hasta Huampaní se podrían obviar la construcción de pantallas, con lo que dicho proyecto se ejecutaría a un menor costo inicial y sus gastos de operación y mantenimiento serían mínimos.
- ⇒ Si al contrario se demostrara que con una mejor operación y mantenimiento de las pantallas en el primer tramo de 6 Km se obtuvieran significativos aportes en la recarga, el segundo tramo del proyecto debería mantener el mismo diseño con pantallas transversales.

- ⇒ Por otro lado, como en el área del proyecto no se presenta la condición más favorable para la recarga artificial inducida, es decir no se logra una conexión hidráulica directa entre la masa de agua del río y la napa acuífera, es necesario propiciar la recuperación del nivel de la napa a través de un cuidadoso programa de explotación del acuífero en los períodos de estiaje. Así mismo deberá considerarse estudiar la posibilidad de incrementar la infiltración a través de otros sistemas como el de recarga por medio de pozos secos que se construirían en sectores estratégicos de ambas márgenes del río.

- ⇒ Incrementar la explotación del acuífero en proximidades del río, sería una recomendación general, especialmente en su margen derecha. Sin embargo previamente deberá estudiarse, a través de modelos de simulación específicos, la mejor disposición de los campos de pozos de extracción/recarga, los períodos de bombeo y los regímenes más convenientes.

BIBLIOGRAFÍA

EQUIPO AGUAS SUBTERRANEAS – SEDAPAL
INFORME TECNICO N°12, JULIO 1999
“Evaluación del Proyecto Piloto Recarga Artificial Inducida”

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON – JICA
SEDAPAL, SETIEMBRE 2001
“Estudio sobre el desarrollo de recursos hídricos integrados en la cuenca del río Cañete”.

ASOCIACIÓN BRUCE - EQUIPOS Y SERVICIOS - TRANSMINA
CONSORCIO RIMAC II, 1996
“Expediente técnico de la obra: Tratamiento del Cauce del Río Rímac recarga inducida del acuífero, LP-11-96 Concurso Oferta”

ASOCIACIÓN LUIS BASURCO BOUCHON – GUILLERMO MAISCH M.
PRIMER INFORME SEDAPAL, 1994
“Tratamiento del Cauce del Río Rímac para la recarga del acuífero y conducción en periodo de estiaje”

TERZAGHI – PECK - MESRI , 1996
“Soil Mechanics in Engineering Practice”

GEOTECNIA & PAVIMENTOS
INFORME TECNICO N°36-96/G&P, 1996
“Estudio de suelos para cimentación - Tratamiento del Cauce del Río Rímac recarga inducida del acuífero”