



EJEMPLOS DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUIFEROS PARA USOS DIVERSOS

INFORME Rev0

Preparado para



Mayo de 2016

Preparado por
HIDROMAS LTDA



TABLA DE CONTENIDOS

1. ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1. Objetivos del Documento.....	1
1.2. Propuesta de Sistema de Inyección Pampa Puno – Vega Sapunta	1
2. RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS.....	1
2.1. Objetivos de la Recarga Artificial	1
2.2. Selección de Sitio para Recarga Artificial	1
3. EXPERIENCIA INTERNACIONAL EN RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS.....	4
3.1. España (2009).....	4
3.2. India.....	5
3.3. Australia	5
3.4. México	6
3.5. EEUU.....	7
3.5.1. Wildwood, New Jersey	7
3.5.2. Orange County, California	7
3.5.3. Dayton, Ohio.....	7
3.5.4. Long Island, New York	8
3.6. Israel	8
3.7. Jordania	8
4. EXPERIENCIA NACIONAL EN RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS.....	9
4.1. Casos Actuales de Recarga de Acuíferos	9
4.2. Estudios Actuales	9
4.3. Estudios Anteriores	10
4.3.1. Tratamiento Suelo – Acuífero.....	10
4.3.2. Recarga Aguas Lluvias.....	10
5. REFERENCIAS	12

1. ASPECTOS GENERALES

1.1. Objetivos del Documento

Se presenta este documento de revisión como antecedente técnico para mostrar la factibilidad de una reinyección de aguas para conseguir la recuperación de las condiciones de flujo en un sistema acuífero intervenido por bombeo.

En este caso particular, el objetivo es mostrar experiencias nacionales e internacionales en las cuales se ha realizado la recarga artificial de un acuífero para conseguir un objetivo específico como por ejemplo la contención de intrusión salina generada por los cambios en el patrón de flujo debido al bombeo localizado en zonas cercanas al límite del acuífero con la línea de costa o la recarga con el propósito de recuperar los niveles de agua subterránea a una condición prebombeo o natural.

1.2. Propuesta de Sistema de Inyección Pampa Puno – Vega Sapunta

En el caso del sistema conformado por el acuífero de Pampa Puno y vega Sapunta, la situación a estudiar es la inyección de aguas en lugares específicos del límite entre ambos subsistemas para lograr que la alimentación natural hacia vega Sapunta se consiga en un tiempo menor al que se lograría simplemente con la detención total del bombeo desde Pampa Puno. En la Figura 1.1 se presenta la zona de estudio incluyendo la zona propuesta para la inyección de aguas, así como los pozos de bombeo construidos y los pozos de monitoreo.

Con base en la información recopilada en el primer año de detención parcial o completa del bombeo desde el acuífero de Pampa Puno, se elaborará un plan de recuperación de la condición hídrica del acuífero de Pampa Puno para estimar el tiempo de recuperación de la alimentación natural de vega Sapunta, así como las actividades necesarias para reducir dicho tiempo de recuperación.

2. RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS

2.1. Objetivos de la Recarga Artificial

Los proyectos de recarga artificial se han desarrollado para servir a uno o más de uno de los siguientes objetivos:

- Combatir condiciones adversas en un acuífero como reducción de los niveles de agua subterránea, aumento de intrusión salina o empeoramiento de la calidad del agua.
- Proveer capacidad de almacenamiento subsuperficial para aguas superficiales importadas.
- Mantener o aumentar las aguas subterráneas naturales como un recurso económico.
- Coordinar la operación de embalses superficiales y acuíferos.
- Reducir o detener subsidencia del terreno.
- Proveer un tratamiento terciario y sistema de almacenamiento para aguas recicladas.

2.2. Selección de Sitio para Recarga Artificial

Previo a la selección de un sitio de recarga de aguas al interior del acuífero, deben llevarse a cabo una serie de estudios conducentes a caracterizar la geología, geomorfología, clima, recursos hídricos existentes y calidad de las aguas de la cuenca hidrográfica donde se encuentra el área de interés.

Sin embargo, una de las caracterizaciones fundamentales corresponde a la evaluación hidrogeológica del sitio de estudio, pues ello determinará la aptitud del acuífero a ser recargado, a retener el agua de recarga por un tiempo suficiente y a liberarla posteriormente, según el objetivo que se busque con la recarga.

Los principales factores hidrogeológicos a considerar son:

- Geometría, grado de confinamiento y condiciones de borde del acuífero: permiten acotar la extensión del acuífero, determinar las fuentes de recarga natural del mismo y, en conjunto a otros parámetros hidrogeológicos, definir la capacidad de almacenamiento de agua del acuífero. Estas propiedades pueden determinarse mediante observación de terreno, elaboración de perfiles estratigráficos y sondajes geotécnicos.

- Propiedades hidrogeológicas del acuífero y de los estratos que lo rodean: estas propiedades, características del material que compone al acuífero, son la porosidad, coeficiente de almacenamiento y conductividad hidráulica. La porosidad permite determinar el espacio efectivo dentro de la matriz de sedimento, en donde puede almacenarse agua. El coeficiente de almacenamiento permite evaluar la capacidad del acuífero de aceptar agua adicional. Finalmente, la permeabilidad corresponde a la capacidad de la formación acuífera de conducir el agua almacenada. Conociendo el tipo de suelo donde se encuentra el acuífero, estos parámetros pueden estimarse bibliográficamente. Sin embargo, para obtener mejores aproximaciones al área de estudio se recomienda realizar pruebas de bombeo en pozos profundos u otra metodología para la evaluación de las propiedades hidrogeológicas del acuífero.
- Gradiente hidráulico: corresponde a la inclinación del nivel freático por unidad de longitud, lo que se relaciona con la dirección del flujo subterráneo. Este parámetro se determina mediante la medición de niveles freáticos en diversos puntos del área de interés, y en lo posible en distintos periodos de tiempo, junto con la cota topográfica del lugar de medición.
- Profundidad del nivel freático: este parámetro se determina mediante la medición de niveles estáticos en captaciones subterráneas del área de estudio.
- Calidad del agua subterránea: la determinación de parámetros de calidad del agua subterránea tiene variadas utilidades, como por ejemplo, determinar aproximadamente su origen, dependiendo de la calidad de las fuentes de recarga natural del acuífero, o bien para establecer la calidad base del acuífero, en la situación previa al proyecto de recarga. Ello es de mucha importancia, debido a que permite estimar la calidad que debiese tener la fuente de recarga artificial, de modo de no obtener efectos indeseados para las aguas almacenadas.
Los parámetros de calidad de agua a cuantificar dependerán fundamentalmente del uso que se dará a las aguas del acuífero y del marco legal vigente. Sin embargo, existen parámetros que es recomendable caracterizar siempre, como es el caso del pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, calcio, magnesio, potasio y sodio, además de otros complementarios, que podrían seleccionarse de acuerdo al sistema de recarga elegido, características del agua de recarga, entre otros.
- Composición mineralógica del acuífero: determinar la mineralogía de los sedimentos del acuífero es importante desde el punto de vista de la calidad del agua de recarga, ya que el contacto de ésta con el acuífero puede catalizar la ocurrencia de reacciones químicas y la formación de subproductos no deseados. La determinación de las características mineralógicas se pueden determinar a partir de la geología de detalle del área de estudio.

Una vez que se recopilan los antecedentes señalados, es posible realizar un modelo conceptual del acuífero que permita entender su funcionamiento para posteriormente entrar a una etapa de mayor detalle que permita, por ejemplo, evaluar numéricamente el sistema de recarga de acuíferos que se propone.

3. EXPERIENCIA INTERNACIONAL EN RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS

A continuación se presenta un breve resumen de algunos ejemplos de recarga artificial de acuíferos realizados a nivel internacional.

3.1. España (2009)

Un proyecto de recarga artificial de acuíferos se lleva a cabo en acuífero del Llobregat (Barcelona), inyectando agua previamente tratada. Es el primer proyecto de estas características que se realiza en España, y pionero en Europa.

El acuífero principal del Delta del Llobregat es una reserva estratégica de agua para el abastecimiento a la ciudad de Barcelona y su área metropolitana, y está afectado por procesos de intrusión marina desde 1970, producto de la sobreexplotación y de la excavación de la capa superior confinante.

Para resolver esta situación, la Agencia Catalana del Agua está llevando a cabo diversas acciones, entre las que destacan la construcción de una barrera hidráulica positiva con inyección de agua para detener el avance de la intrusión. La barrera, formada por una serie de 14 pozos de inyección, eleva el nivel de agua del acuífero cerca de la costa y evita que el agua salada penetre tierra adentro, recargando además el acuífero.

La barrera hidráulica se ha desarrollado en dos fases. La primera fase entró en funcionamiento en Marzo del 2007, habiéndose inyectado ya desde entonces en el acuífero algo más de 850.000 m³. El caudal total de inyección de agua regenerada es ahora de 2.500 m³/día (aproximadamente 29 l/s). No han aparecido de momento problemas de colmatación en los 3 pozos actuales de inyección, principalmente por la alta calidad del agua y el estricto régimen de limpiezas de los pozos, lo cual se realiza mediante contralavados con electrobombas sumergibles y aire comprimido.

El impacto de la inyección por la barrera está siendo altamente positivo en esta primera fase, y se ha observado en los puntos de control de la red local del acuífero, situados todos ellos en un radio inferior a un kilómetro de los pozos de inyección.

La segunda fase de la barrera representa la ampliación de la primera, y está actualmente en operación. El caudal total de inyección es de 15.000 m³/día (aproximadamente 174 l/s) en 14 pozos para frenar la intrusión marina en su totalidad. Además de los puntos de control ya existentes, también se está procediendo a la perforación de 16 nuevos piezómetros de control.

3.2. India

La sobreexplotación de los recursos subterráneos en la planicie de Dorz-Sayban. India, provocó descensos anuales del nivel freático de hasta 1,5 m, además de deterioro en la calidad de las aguas. Para solucionar este problema, se diseñó y construyó entre los años 1983 y 2001 un sistema en serie de recarga superficial del acuífero que colecta aguas de crecidas.

Los caudales afluentes y efluentes fueron medidos para nueve crecidas ocurridas entre los años 2002 y 2003, mediante canales rectangulares, obteniendo que los máximos caudales afluentes y efluentes del sistema alcanzaron los 20,3 y 7,26 m³/s respectivamente. Estos caudales equivalen a 886.000 m³ y 146.000 m³ en cada caso, de donde el 83,5% del volumen afluente fue recargado en el acuífero, con bajas pérdidas por evaporación.

Por otra parte, más del 70% del material suspendido sedimentó, lo que provocó la colmatación física del sistema y redujo la eficiencia del sistema de infiltración. Sin embargo, esto también tuvo efectos positivos para el uso en riego de esta agua y para la mejora de la calidad de las aguas del acuífero desde el punto de vista de la conductividad eléctrica.

3.3. Australia

En zonas áridas y semi-áridas, el agua lluvia recolectada desde techos, puede ser una fuente de agua importante en términos de cantidad y calidad. En el sudeste de Adelaida, Australia, se está realizando una investigación sobre este tema a nivel domiciliario, para recargar con agua lluvia un acuífero somero y aluvial ubicado en una zona urbana (Dillon, 2005).

La precipitación media anual del área de estudio es de aproximadamente 550 mm, con máximos entre mayo y septiembre. La evaporación anual de bandeja es de aproximadamente 2.000 mm, la que ocurre mayormente en verano, generando una alta demanda de agua para riego.

Se construyeron dos pozos separados por 5 m, a una profundidad de captación de 24 m para monitorear la calidad del agua y extraer el agua infiltrada, detectando salinidades naturales bastante altas (SDT de 2.500 mg/l). El agua recolectada en una superficie de 250 m² se incorporó al acuífero gravitacionalmente en el pozo de inyección y fue almacenada en un estanque de 4 m³, pasando previamente por un filtro de 100 mm.

En el pozo de inyección se monitoreó continuamente el caudal, volumen almacenado, nivel piezométrico, conductividad eléctrica y temperatura, además de otros parámetros de calidad medidos

en laboratorio. Luego del primer año de operación, con una precipitación de 563 mm/año, se almacenaron 142.000 L sin problemas aparentes de colmatación.

Pese a que la salinidad natural del acuífero se redujo por la inyección de agua lluvia, su calidad no fue suficiente para utilizarla en riego. Se estima que podrán darse usos productivos al agua almacenada, una vez que se almacenen mayores volúmenes en el acuífero, lo cual está limitado a la precipitación anual y al área de recolección de la misma. Ello constituye el principal desafío para continuar con la evaluación de este método.

3.4. México

Debido a las condiciones climáticas de México, existe una gran cantidad de zonas áridas y semi-áridas, por lo que el agua subterránea es un recurso de mucha importancia. Se estima que cada año se extrae un total de 28.000 Mm³ de los cuales el 71% es usado en agricultura, mientras que la actividad urbana e industrial ocupa el 26%. La población urbana de México corresponde al 65% de la población, la que consume 7.600 Mm³/año. Dos tercios de ese volumen se extraen de aguas subterráneas, las cuales se encuentran sobre explotadas (Dillon, 2005).

Por lo antes señalado, en la localidad de Comarca Lagunera, se desarrolló un proyecto de recarga de acuíferos, cuyo suministro de agua proviene de excesos de escorrentía de los ríos Nazas y Aguanaval, además de parte de las aguas que extraen 3.500 sondajes para uso agrícola, doméstico e industrial. Se estima que el agua que extraen actualmente los pozos es tres veces mayor que la recarga natural del acuífero, lo que afecta negativamente los niveles freáticos y la calidad de aguas. En particular, esta zona presenta problemas de arsénico.

El sistema utilizado abarca un área de 13 has, con una capacidad de almacenamiento de 197.000 m³. El agua de recarga se obtuvo de un canal de riego que extrae aguas del embalse Zarco. Se construyeron obras para desviar esta agua, además de pozos de monitoreo para medir la respuesta de los niveles freáticos frente a la recarga. Entre mayo y agosto del 2000 se almacenó un volumen total de 5,0 Mm³ con pérdidas evaporativas muy bajas (4%). Adicionalmente, se registraron problemas de colmatación, por lo que la tasa de infiltración se redujo de 2,4 m/d a 0,116 m/d.

De esta primera parte del proyecto, se obtuvieron recomendaciones relativas a la construcción de obras para evitar el derrame de las aguas captadas, construcción de estanques de sedimentación para reducir la colmatación, entre otras.

3.5. EEUU

3.5.1. *Wildwood, New Jersey*

Wildwood, New Jersey, es un pueblo turístico localizado en una isla de la costa atlántica de los EEUU, el que tiene un aumento de turistas desde 5.000 habitantes en invierno, hasta 30.000 personas en verano.

El abastecimiento de agua potable se obtiene desde pozos profundos localizados 8 Km hacia el interior de la isla. Durante la temporada invernal los pozos son bombeados a su capacidad máxima y el agua no consumida se inyecta en un acuífero somero, la que posteriormente se bombea durante la época de verano.

Este sistema se opera desde el año 1967, representando el proyecto más antiguo de recarga y almacenamiento de agua subterránea en los EEUU.

3.5.2. *Orange County, California*

Este proyecto de recarga de acuífero se utiliza para crear una barrera hidráulica que permite contener el avance de intrusión salina desde el océano Pacífico. Este sistema está compuesto por 23 pozos profundos, que utilizan una mezcla de agua reciclada (con tratamiento secundario) y agua obtenida desde pozos profundos. El total de aguas de recarga informadas asciende a 3 m³/s.

3.5.3. *Dayton, Ohio*

Esta ciudad depende fuertemente de aguas subterráneas para suplir sus necesidades de agua potable y de uso industrial. Más del 25% del agua utilizada proviene del bombeo de un acuífero en arena que se localiza en las inmediaciones de la ciudad.

Para asegurar que esta fuente de agua se mantenga en niveles adecuadas para su utilización, desde el año 1930 se realiza la recarga de este acuífero mediante el desvío de agua superficiales de un cauce cercano, y su posterior infiltración a través de zanjas de recarga.

Las zanjas de infiltración son continuamente limpiadas y mantenidas para preservar su capacidad de infiltración.

3.5.4. *Long Island, New York*

Esta ciudad costera en los EEUU, de 3 millones de habitantes, se abastece principalmente de aguas subterráneas.

Para mantener los niveles de agua en el acuífero, así como prevenir la intrusión salina y reducir el efecto de inundaciones, existen más de 3.000 zanjas de infiltración en el área. Las zanjas iniciales eran excavaciones abandonadas que fueron utilizadas para acumulación de agua y posterior infiltración.

A partir del año 1936, todo nuevo desarrollo inmobiliario debe diseñar un sistema de recarga artificial para hacerse cargo de las aguas en exceso que resultan de la construcción de casas y calles, los que resultan en el sellado del suelo y la posterior pérdida de la capacidad de infiltración.

3.6. Israel

Acreman (2000) describe un sistema de recarga de acuífero que consiste en un embalse de retención que captura aguas de crecidas, las que son conducidas a estanques de infiltración en la zona costera. Este primer sistema presenta problemas de colmatación y altos costos de bombeo.

El segundo sistema es similar al primero, pero se agrega un embalse intermedio de decantación para mitigar el problema de colmatación. Este segundo sistema también reduce los costos totales por medio de conducir las aguas en forma gravitacional.

3.7. Jordania

En este caso se presenta la aplicación de tranques o piscinas superficiales de infiltración en Jordania para captar las aguas provenientes de crecidas naturales en una cuenca de 57 km² (Abu-Taleb, 2003).

Las opciones indicadas incluyen diques (2,5 m) y presas pequeñas (5 m), construidas en series a lo largo de cauces superficiales, así como también bermas (0,75 m) construidas en laderas de cerros que captan flujo superficial. Los diques y presas se conectan mediante tuberías que pasan bajo el muro, de manera que el volumen de agua de la crecida de diseño se alcance a infiltrar completamente en el tramo comprendido entre el primer y último dique.

4. EXPERIENCIA NACIONAL EN RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS

4.1. Casos Actuales de Recarga de Acuíferos

Existen dos casos reales en Chile en los cuales se ha demostrado la ocurrencia de recarga superficial como fuente de recarga de un acuífero. No son situaciones en que se haya realizado un diseño del sistema para hacer uso de estas aguas recargadas, sino que una vez que se verificó su ocurrencia se ha hecho uso de ellas:

- Drenes de Vitacura reciben agua de recarga desde del río Mapocho. Desde 1894 se inicia programa de obras con la construcción de los drenes de Vitacura para obtener aguas filtradas del Río Mapocho.
- Canal el Carmen recibe aportes de agua desde el río Maipo a través del canal San Carlos. En su recorrido a través de diversas comunas en Santiago Norte, va recargando gradualmente aguas hacia el acuífero circundante.

4.2. Estudios Actuales

En la actualidad se están desarrollando diversos estudios en cuencas del país, para concretar proyectos de recarga de acuíferos, con el propósito de acumular aguas para su posterior uso en actividades productivas (agua potable, regadío, industrial, entre otros). Algunas de estas iniciativas son llevadas a cabo por entidades públicas y otras por particulares:

- Comisión Nacional de Riego (CNR) está a cargo de iniciativas en las cuencas de Copiapó y Ligua Petorca. Ambas iniciativas se encuentran a nivel de estudios preliminares para determinar su factibilidad para ser llevado a una escala de proyecto a nivel productivo.
- Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) lleva a cabo un programa piloto en la cuenca del río Aconcagua. Este programa se está desarrollando en la actualidad y considera la construcción de piscinas para recarga superficial. La información preliminar indica que se están considerando piscinas de 20 a 40 Há, con tasas de infiltración de 500 l/s/Há.
- Sociedad de Canalistas del Maipo (SCM) lleva a cabo estudios técnicos para comenzar un programa piloto de recarga de acuíferos en el acuífero del Maipo.
- Aguas Andinas se encuentra estudiando el concepto de recarga artificial a través de un proyecto de recarga de aguas lluvias en el acuífero de Santiago Norte, en el sector del Fundo El Rutal RM.

- Aguas Cordillera estudió la posibilidad de llevar a cabo la recarga de acuíferos en el sector oriente de Santiago en el año 1991.

4.3. Estudios Anteriores

4.3.1. Tratamiento Suelo – Acuífero

En el año 1997, el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile desarrolló el proyecto FONDEF, Recuperación de Aguas Servidas Mediante el Sistema de Tratamiento Suelo-Acuífero, en que se evaluó la factibilidad de infiltrar aguas servidas tratadas al suelo con el fin de recargar el acuífero y/o reutilizar el agua para otros fines mediante el uso de pozos de recuperación.

El proyecto incluyó la implementación de una planta piloto en terreno, cuyo diseño y operación se basó en los antecedentes obtenidos en laboratorio, con suelos del valle de Azapa en Arica, I Región y Copiapó, III Región.

La planta piloto construida en Copiapó estuvo conformada por dos lagunas de infiltración alimentadas desde una laguna de decantación donde se eliminaban la mayor parte de los sólidos suspendidos. Las tasas de recarga utilizadas en el diseño fueron de 350 cm/día, o bien 25 l/s continuos.

En el caso de Arica, la existencia de un estrato superficial impermeable, motivó que el diseño de la planta piloto incorporara la infiltración de las aguas mediante pozos de inyección. En función de los objetivos del proyecto FONDEF, el análisis se concentró en la evaluación del potencial de tratamiento ofrecido por el suelo. Resultados generales indicaron eficiencias de remoción de carga orgánica total y microorganismos patógenos. Resultados menos promisorios se obtuvieron para virus y nitratos, por lo que todos los sistemas piloto se diseñaron con la condición que el total de las aguas infiltradas pudiese ser recuperado antes de mezclarse con el acuífero natural.

4.3.2. Recarga Aguas Lluvias

Otro intento nacional que tiene una aplicación indirecta a la recarga misma, se basó en la medición de calidad de aguas y tasa de infiltración de aguas lluvias, en dos pozos ubicados en la región urbana de Santiago. El estudio fue desarrollado por el DICTUC S.A. para la Dirección de Obras Hidráulicas, Departamento de Proyectos de Aguas Lluvias, en el año 2001, en el que se midieron diferentes variables de calidad de aguas y volúmenes de agua provenientes de 6 eventos de precipitación ocurridos entre el 1 de junio y el 31 de agosto de 2001.

Las principales conclusiones del estudio fueron que el sistema de pozos de infiltración colapsaba ante eventos de intensidad media (8,8 mm/hr), y que la tasa de infiltración disminuía gradualmente para los diferentes eventos de precipitación. En relación a la calidad de aguas, los pozos estarían en la categoría de fuente emisora, ya que superan en el valor de carga media diaria para Hierro y Aluminio.

5. REFERENCIAS

- Acreman, M. Wetland and Hydrology. MedWet Publication 9. Tour du Valat, Arlés, Francia. 2000.
- Abu-Taleb, M.. Recharge of Groundwater Through Multi-stage Reservoirs in a Desert Basin. Environmental Geology 44:379–390. 2003.
- Benítez, A. Captación de Aguas Subterráneas. Editorial DOSSAT, Madrid. 1972.
- Bouwer, H. Artificial recharge of groundwater: systems, design, and management. Mays LW (Ed.) Hydraulic design handbook. McGraw-Hill, New York, pp 24.1–24.44. 1999.
- Bouwer, H. Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. Hidrogeology Journal, volume 10, nº 2, abril 2002.
- Brown, E., Mena, M.P., Espinoza, C., Castillo, G. Recuperación de Aguas Servidas mediante el Sistema de Tratamiento Suelo-Acuífero. Proyecto FONDEF Nº D97I1017. División Recursos Hídricos y Medio Ambiente, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile. 1997.
- Central Ground Water Board. Ministry Of Water Resources. Guide on Artificial Recharge to Ground Water. 2000.
- Chatdarong, V. (2001). Artificial recharge for conjunctive use in irrigation: The San Joaquin Valley, California. Master of Engineering in Civil and Environmental Engineering at the Massachusetts Institute of Technology, 2001.
- Custodio, E. Recarga artificial de acuíferos. Avances y realizaciones. Boletín Nº45 de Informaciones y Estudios. SG (Servicio Geológico). MOPU (Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo) España. 1986.
- DICTUC S.A. Análisis experimental en pozos de infiltración de aguas lluvias en Hospital Sótero del Río y Aeródromo de Tobalaba, medición de caudales y análisis de calidad. Estudio para el Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas, Departamento de Proyecto de Aguas Lluvias. Santiago. Chile. 2001.
- Dillon, P. Future management of aquifer recharge. Hydrogeology Journal. Vol 13, No 1, 313-316. 2005.

- Fernández, E. Recarga Artificial de Acuíferos en Cuencas Fluviales: Aspectos cualitativos y medioambientales. Criterios técnicos derivados de la experiencia en la Cubeta de Santiuste (Segovia). Memoria presentada para optar al grado de Doctor, Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad de Complutense de Madrid, España. 2004.
- Lerner, D.N., Issar, A.S. & Simmers, I. Groundwater recharge. A guide to understanding and estimating natural resource. IAH Int contribution Hydrogeology, 8. Heinz Heise, Hannover, 345 pp. 1990.
- Ortuño, F; Niñerola, J; Fraile, J; Juárez, I; Molinero, J; Arcos, D; y Pitarch, JL. Barrera Hidráulica contra la Intrusión Marina en el Acuífero Principal del Delta del Llobregat (Barcelona): Primera Fase. 2009.
- Pérez-Paricio, A. Clogging and artificial recharge of groundwater: fundamental aspects. MSc Thesis, Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), Barcelona. 2000.
- Schuster, J.P. Aspectos Teóricos y Análisis de Casos, Recarga Artificial de Acuíferos. Comisión Nacional de Riego. 2007.
- Todd, D. and L. Mays. Groundwater Hydrology. 2005.
- Universidad de Chile. Departamento de Ingeniería Civil. Asociación de Canalistas Sociedad del Canal de Maipo. Proyecto Uso Conjunto Agua Superficial y Subterránea. Cuenca Hidrográfica Maipo-Mapocho. 2010.
- Valdez, J. C. Experiencias de Recarga Artificial en los Acuíferos del río Llobregat y río Besos. Sociedad General de Aguas Barcelona S.A. España. 1991.
- Wilmans W. Recarga Artificial de Acuíferos en la Zona Alta del río Mapocho. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. 2001.