

“Marco operativo para proyectos de recarga artificial en acuíferos”

Informe final

Anexos

“Marco operativo para proyectos de recarga artificial en acuíferos”

Informe final

Anexos

Realizado por:



Chile

Santiago, 2020

Contenidos

Anexo 1 Introducción	10
Anexo 1.1. Planes de seguridad del agua de la Organización Mundial de Salud (OMS)	10
Anexo 1.2 Ejemplos de requerimientos de información para investigaciones de Fase2	12
Anexo 1.3 Monitoreo de la calidad del agua.....	15
Anexo 1.4 Antecedentes del marco legal en Chile	16
Anexo 1.4.1.- Legislación vigente relevante a proyectos de recarga de acuíferos en Chile	16
Anexo 1.4.2.- “Diagnóstico de metodología para la presentación y análisis de proyectos de recarga de acuíferos” (DGA, 2014).....	18
Anexo 1.4.3.- Comunicación con la DGA de la Región de Atacama	23
Anexo 2 Experiencia internacional	24
Anexo 2.1 Evaluación Simplificada (Guía Australiana)	24
Anexo 2.2 Evaluación de nivel de Entrada (Guía Australiana)	26
Anexo 2.3 Peligros y métodos de análisis de muestras durante la ejecución de un esquema piloto	32
Anexo 2.4 India	35
Anexo 2.5 California.....	40
Anexo 2.5.1.- Criterios de Factibilidad de MAR-Ag	40
Anexo 2.5.2.- Flood-MAR (DWR, 2018).....	49
Anexo 2.5.3.- Experiencias importantes de MAR en California.....	60
Anexo 3 Recarga de acuíferos en Chile	65
Anexo 3.1 Notas de entrevistas.....	65
Anexo 3.2 Descripción de proyectos de recarga de acuíferos en Chile....	90
Anexo 3.3 Zonificación hidrogeológica de acuíferos	146
Anexo 3.4 Idoneidad de recarga de acuíferos.....	150
Anexo 4 Aspectos financieros y económicos de la recarga de acuíferos	154

Anexo 5 Formulario para el desarrollo de proyectos RAG	156
Bibliografía.....	171

Índice de tablas

Tabla 1. Parámetros básicos de monitoreo de calidad del agua.	15
Tabla 2. Legislación vigente relevante a proyectos de recarga de acuíferos en Chile.	16
Tabla 3. Índice de contenidos mínimos para la memoria técnica de solicitud de un proyecto de recarga artificial (DGA, 2014).	18
Tabla 4. Parámetros determinantes en la selección previa del tipo de dispositivo/ metodo de recarga (DGA, 2014).....	20
Tabla 5. Evaluación de nivel de entrada - Parte 1 – Evaluación de viabilidad.	26
Tabla 6. Evaluación de nivel de entrada - Parte 2 – Evaluación de Grado de Dificultad.....	27
Tabla 7. Ejemplos de análisis en la fase 3 (esquema piloto), Fuente: modificado de NRMMC-EPHC-NHMRC (2009).	32
Tabla 8. Formulario de encuesta sanitaria. Fuente: Dillon et al. (2014)...	37
Tabla 9. Formulario de evaluación de acuíferos. Fuente: Dillon et al. (2014).	38
Tabla 10. Resumen de proyectos principales de MAR en California. Fuente: Elaboración propia.	60
Tabla 11. Notas de entrevistas realizadas	65
Tabla 12. Información Proyecto Ligua-Petorca.....	91
Tabla 13. Información Proyecto Aconcagua Seccion 3.....	96
Tabla 14. Información Proyecto Valle Aconcagua	103
Tabla 15. Información Proyecto Chacabuco-Polpaico.....	110

Tabla 16. Información Proyecto Popeta.....	118
Tabla 17. Información Proyecto Marchigüe, VI Región.....	125
Tabla 18. Información Proyecto Lontué.....	129
Tabla 19. Información Proyecto Sociedad del Canal de Maipo.....	136
Tabla 20. Información Proyecto Cerillos.....	141
Tabla 21. Información Proyecto Hacienda Toledo.....	144
Tabla 22. Costos de esquemas RAG en proyectos internacionales. Fuente: Modificado de Ross y Hasnain (2018).....	154

Índice de figuras

Figura 1. Riesgos inherentes bajos la guía no tiene necesidad de ser aplicada para que el proyecto sea considerado. Fuente: Dillon et al. (2014).	35
Figura 2. Un esquema de evaluación de viabilidad para proyectos de recarga de acuíferos gestionada. Fuente: Dillon et al. (2014).	36
Figura 3. Este esquema determina si los riesgos inherentes son demasiado altos para que estas guías sean aplicables al proyecto que se está considerando. Fuente: Dillon et al. (2014).	37
Figura 4. Factores para considerar en el diseño de proyectos RAG. Fuente: Modificado de: Dahlke et al., (2018).	40
Figura 5. Diagrama de flujo de viabilidad Ag-GB (Agricultural Groundwater Banking). Se muestran los pasos generales para determinar si el Ag-GB es viable en una zona determinada. La parte superior (rosa) del diagrama de flujo se ocupa de los criterios de selección del terreno y la parte inferior (verde) se refiere a la disponibilidad de agua de superficie para el Ag-GB (Rodríguez, 2015).	41
Figura 6. Estimaciones de volumen promedio de la ocurrencia de flujo de alta magnitud (HMF) (flujo > Percentil 90) entre noviembre y abril de un total 93 medidores de arroyos ubicados dentro de la cuenca del Valle Central. A y B denotan las ubicaciones de los dos medidores de salida. MCM y CKM representan millones de m3 y km3, respectivamente (Dahlke et al., 2018).	42
Figura 7. Índice de Bancos de Aguas Subterráneas Agrícolas del Suelo (SAGBI). Calificaciones de California Suelos basados en su idoneidad para MAR- Ag (O'Geen et al., 2015).	44
Figura 8. Concentraciones de nitrato modeladas para el Valle Central de California (EPA Water El estándar para NO ₃ -N es 10 mg/L). El sombreado verde oscuro indica la cuenca central, mientras que sombreado verde claro indica los abanicos aluviales occidentales y orientales (Ransom et al., 2017).	46
Figura 9. Elementos de Flood-MAR (DWR, 2018).	50
Figura 10. Factores para implementar Flood-MAR (DWR, 2018).	52
Figura 11. Agua superficial disponible para recarga de acuíferos (DWR, 2019).	54
Figura 12. Agua de inundación a ser evaluada para la reposición (https://water.ca.gov). Las aguas de inundación son aquellas en azul oscuro. Estos eventos de alto flujo pueden evaluarse como una fuente potencial de agua para las estrategias de Flood-MAR, pero su capacidad de uso dependerá de muchos factores regulatorios y legales (DWR, 2019).	55
Figura 13. Ubicación geográfica Piloto Ligua-Petorca.	90
Figura 14. Ubicación geográfica piloto ubicado en La Palma.	95
Figura 15. Ubicación geográfica piloto de Curimón.	102
Figura 16. Ubicación geográfica piloto Chacabuco-polpaico.	109

Figura 17. Ubicación geográfica piloto Popeta.....	117
Figura 18. Ubicación geográfica piloto Marchigue.....	124
Figura 19. Ubicación geográfica piloto Lontué.....	128
Figura 20. Ubicación geográfica piloto Sociedad del Canal de Maipo.....	135
Figura 21. Ubicación geográfica proyecto Cerrillos.	140
Figura 22. Ubicación geográfica proyecto Toledo.....	143
Figura 23. Ubicación geográfica proyecto Toledo.....	143
Figura 24. Zonificación hidrogeológica de la región de Atacama.....	146
Figura 25. Zonificación hidrogeológica de la región de Valparaíso.	147
Figura 26. Zonificación hidrogeológica de la región Metropolitana.	148
Figura 27. Zonificación hidrogeológica de la región del Libertador General Bernardo O'Higgins.....	149
Figura 28. Idoneidad de sitios para gestión de recarga de acuíferos con un criterio priorizado de priorización en la región de Atacama.....	150
Figura 29. Idoneidad de sitios para gestión de recarga de acuíferos con un criterio priorizado de priorización en la región de Valparaíso.....	151
Figura 30. Idoneidad de sitios para gestión de recarga de acuíferos con un criterio priorizado de priorización en la región Metropolitana.	152
Figura 31. Idoneidad de sitios para gestión de recarga de acuíferos con un criterio priorizado de priorización en la región del Libertador General Bernardo O'Higgins.....	153

Anexo 1 Introducción

Anexo 1.1. Planes de seguridad del agua de la Organización Mundial de Salud (OMS)

1) Componentes de un plan de seguridad del agua

La manera más eficaz de garantizar la seguridad del agua potable es utilizar un enfoque integral en la gestión y evaluación de riesgos, que abarque todas las etapas de la cadena de suministro de agua, desde la captación hasta el consumidor (OMS 2011). Estos enfoques se denominan Planes de Seguridad del Agua (PSA). Los PSA representan una evolución del concepto de inspecciones sanitarias o estudios y evaluaciones de vulnerabilidad, que abarcan todo el sistema de abastecimiento de agua. Un PSA tiene tres componentes clave:

- Evaluación del sistema- para determinar si toda la cadena de suministro de agua puede entregar una calidad de agua que cumpla con los estándares de salud identificados. Este componente también incluye criterios de diseño y evaluación de nuevos sistemas RAG;
- Identificar medidas de control en el sistema RAG que controlen los riesgos identificados y aseguren el cumplimiento de los estándares de salud. Para cada una de las medidas de control identificadas, debe definirse un medio adecuado de seguimiento operativo que garantice la rápida detección de cualquier desviación del rendimiento requerido;
- Planes de gestión y comunicación- se describen las acciones detalladas y los planes de evaluación y documentación del sistema que deben seguirse durante operaciones cotidianas o en caso de algún incidente. Esto incluye planes para mejoras, monitoreo y planes de comunicación.

La gestión eficaz de la calidad de las aguas subterráneas en los esquemas de recarga requiere una comprensión completa del sistema de recarga, posibles peligros y eventos peligrosos, y sus consecuencias para la salud y el medio ambiente. La evaluación del esquema RAG, tal como se describe en la evaluación de la Fase 1, junto con la encuesta sanitaria, apoya los pasos siguientes en el PSA para desarrollar e implementar estrategias efectivas hacia el control de peligros en los sistemas de agua potable. El proceso de valoración y evaluación del esquema RAG podría mejorarse mediante una descripción precisa del sistema, incluyendo un diagrama de flujo simple de este. La descripción del sistema debe proporcionar al menos un nivel básico de caracterización de las fuentes de agua, la identificación de fuentes potenciales de contaminación en las cuencas de captación, medidas para la protección de recursos y fuentes, y potenciales procesos de tratamiento.

Un plan eficaz de gestión de riesgos debe ser capaz de identificar los potenciales peligros, los eventos peligrosos y una evaluación del alcance de los riesgos para la salud y los peligros ambientales que presenta cada evento. En este contexto:

- Los peligros son agentes químicos, biológicos, físicos o radiológicos presentes en el agua que pueden ser un riesgo para la salud;
- Un evento peligroso es un incidente que resulta en la presencia de peligro;
- El riesgo es la probabilidad de que un peligro en particular exponga la salud de la población a posibles consecuencias adversas en un periodo de tiempo determinado.

Es esencial disponer de datos específicos sobre la presencia de patógenos y productos químicos en las fuentes de agua y la calidad de las aguas subterráneas, junto con información sobre la eficacia de los controles existentes. Esta información es fundamental para una evaluación adecuada de un sistema propuesto con el fin de comprobar

si es posible alcanzar los estándares de salud con la infraestructura existente.

2) Recopilación y evaluación de datos existentes

Debe adoptarse un enfoque estructurado en la recopilación y el análisis de los datos disponibles para garantizar que se identifiquen los problemas sanitarios y medioambientales significativos. El proceso de recopilación y evaluación de datos debe tener en cuenta los datos históricos sobre la calidad del agua junto con los eventos registrados, lo que puede ayudar a comprender las características de las fuentes de agua y los posibles vínculos con la calidad de las aguas subterráneas a lo largo del tiempo y después de eventos específicos.

Después de identificar los peligros potenciales y las fuentes de contaminación, se debe comparar el riesgo asociado con cada peligro o evento peligroso, de modo que se establezcan las prioridades de la gestión de riesgos y el proceso sea documentado. El riesgo asociado con cada peligro o evento peligroso debe describirse de acuerdo con la probabilidad de ocurrencia: segura, posible o excepcional, y los resultados o las consecuencias del peligro ocurrido deben clasificarse como insignificante, grave o catastrófico. Podría elaborarse una matriz de evaluación de riesgos para cada peligro o suceso peligroso.

3) Monitoreo operacional y mantención de control

El monitoreo operativo incluye un conjunto de actividades rutinarias previamente planificadas que se utilizan para determinar si los PSA existentes siguen funcionando eficazmente.

Determinar las medidas de control del sistema

Las medidas de control específicas del sistema se identifican en el estudio sanitario y la evaluación del acuífero. Las medidas de control también dependen de la naturaleza de las amenazas y los eventos peligrosos, así como de la magnitud de los riesgos asociados.

Los requisitos operativos para las medidas de control incluyen:

- Parámetros de monitoreo operacional medibles en los que se pueden establecer límites para definir la efectividad operacional;
- Parámetros que pueden ser monitoreados rutinariamente para detectar con rapidez cualquier falla del sistema;
- Procedimientos de acción correctiva que pueden ser implementados con rapidez en caso de desviaciones de los límites preestablecidos.

Selección de los parámetros de monitoreo operacional

El seguimiento operativo puede incluir tanto actividades de observación como de monitoreo, que deben reflejar la efectividad de las medidas de control y proporcionar una indicación oportuna del rendimiento del sistema. Los parámetros seleccionados deben ser fácilmente medibles y proporcionar un tiempo de respuesta razonable. Los ejemplos incluyen factores observables como la floración de algas, pantallas a prueba plagas, las variables medibles incluyen: turbidez, pH y conductividad eléctrica. Para más información sobre los parámetros, véase OMS (2006).

Establecimiento de límites operativos y críticos

Las medidas de control establecidas deben tener límites definidos para una aceptabilidad operacional,

que se denominan límites operativos. Estos límites se pueden utilizar para tomar medidas oportunas para mantener la integridad del sistema. Deben definirse límites operativos para cada uno de los parámetros de control establecidos. Los límites operativos y críticos pueden ser límites superiores, límites inferiores o una serie de medidas de rendimiento. Si se detecta alguna desviación del límite de funcionamiento durante la monitorización, se pueden tomar medidas correctivas predeterminadas. Las desviaciones de los límites críticos requerirán generalmente una repuesta urgente, incluida la interrupción inmediata de la recarga y la notificación a las autoridades respectivas. Por ejemplo, si la turbidez del agua alcanza un límite preestablecido, la operación de recarga del pozo ASR podría detenerse hasta que la turbidez vuelva a los límites normales.

4) Equipo del plan de seguridad de agua

El equipo del plan de seguridad del agua (PSA) es responsable de desarrollar, implementar y mantener el plan de seguridad del agua (OMS 2012). El equipo se reúne en consulta con los líderes de la comunidad y debe incluir miembros de diferentes orígenes, con una o más de las siguientes características (OMS 2012):

- está familiarizado con el suministro de agua y consume agua
- es responsable de las operaciones del suministro de agua, o participó en la construcción o el mantenimiento del suministro de agua
- tiene autoridad para tomar decisiones sobre la asignación de recursos en relación con el suministro de agua
- tiene el conocimiento y la capacidad para identificar los riesgos potenciales al suministro de agua y gestionar dichos riesgos
- tiene influencia e interés, tanto a nivel de la comunidad como de al menos un nivel administrativo superior, en representar las preocupaciones sobre la calidad del agua y las necesidades de inversión a nivel de distrito o superior.

Anexo 1.2 Ejemplos de requerimientos de información para investigaciones de Fase 2

Extracto del Anexo 2 de las Guías Australianas para RAG (NRMMC-EPHC-NHMRC, 2009).

A continuación, se presenta un ejemplo de lista de los requisitos de información base que proporciona los aportes (inputs) necesarios para la evaluación del máximo riesgo para los reguladores en la Fase 2. Parte de esta información requerirá conocimientos especializados para llevar a cabo investigaciones y recopilar, interpretar y comunicar datos. Se deberá considerar el desarrollo de habilidades necesarias para gestionar la operación de recarga de acuíferos gestionada propuesta.

Cuando se requiera más información para cumplir con los criterios de aceptación, como puede requerir el establecimiento de un proyecto piloto, las investigaciones de la Fase 2 que avancen hacia ensayos de la Fase 3, deben dar lugar a un plan de manejo que demuestre la gestión efectiva de los riesgos para la salud humana y ambiental. De este modo se abordarán los imprevistos y los planes de respuesta para garantizar que el riesgo residual de todos los peligros sea aceptablemente bajo.

Concepto de esquema

Desarrollar el concepto de sistema (ampliando la información de la primera fase):

- confirmar
 - o objetivos del esquema
 - o existe una demanda y usos viables del agua
 - o usos del agua recuperada
 - o la fuente de agua está disponible
 - o presencia del acuífero y sus valores ambientales
 - o tipo de recarga de acuíferos gestionados
- detallar el volumen y la calidad del agua recuperada requerida, y confirmar los volúmenes y necesidades de almacenamiento
- detallar el volumen, la variabilidad y la calidad del agua de la fuente con respecto a los requisitos para valores ambientales relevantes
- determinar
 - o viabilidad comercial del proyecto
 - o capacidad de gestión.

Información sobre las fuentes de agua y las cuencas hidrográficas

Detallar la información sobre las fuentes de agua y las cuencas:

- preparar mapas detallados o modelos de esquemas detallados
 - o extensión física del esquema
 - o aguas pluviales, industriales o de alcantarillado (fuente de agua)
 - o topografía y patrón de drenaje (hidrología)
 - o camino de captación de agua
 - o punto de suministro
 - o cualquier sistema de tratamiento y ubicación existente
 - o extensión de la cuenca de aguas subterráneas
- documentar los usos de la tierra dentro de la cuenca, incluyendo
 - o complejos residenciales
 - o desarrollos industriales
 - o carreteras y superficies duras
 - o actividades agrícolas (por ejemplo, cultivos, ganadería, horticultura)
 - o corrales de ganado, corrales de engorde y mataderos
- identificar
 - o fuentes de peligro conocidas y potenciales a partir de los usos de la tierra
 - o cualquier peligro en o dentro del sitio del proyecto
 - o cómo se tratarán los flujos de residuos
- verificar el volumen de agua disponible
 - o identificar los patrones de precipitaciones estacionales (tormentas e inundaciones)
- muestrear (múltiples muestras) y analizar la fuente de agua
 - o identificar las concentraciones de peligros
 - o documento que identifica los peligros reales y potenciales

- desarrollar la comprensión conceptual de los procesos geoquímicos
- definir objetivos para la calidad del agua e identificar los métodos de tratamiento del agua.

Información sobre el acuífero

Recopilar información sobre los acuíferos:

- identificar
 - o uno o más acuíferos para su posible almacenamiento
 - o tipo de acuífero e idoneidad para el tipo de recarga del acuífero gestionado
 - o grado de confinamiento

Anexo 2: Ejemplos de requisitos de información para las investigaciones 151 de la fase 2

- o pozos y usos del agua más cercanos
- o punto más cercano de descarga natural y sensibilidad ambiental a la recarga de acuíferos gestionados
- o vegetación freatófila dependiente del acuífero objetivo
- preparar una sección hidrogeológica que incluya los acuíferos objetivo y los acuíferos circundantes
- preparar un modelo hidrogeológico (conceptual o generado por computadora) del acuífero objetivo, detallando:
 - o conductividad y transmisividad hidráulica
 - o zonas de fractura (para acuíferos de roca fracturada)
 - o interacción hidráulica entre el acuífero objetivo, los acuíferos superficiales y subyacentes
 - o volúmenes propuestos de aprobación de la gestión y recuperación
 - o capacidad del acuífero para acomodar la recarga
 - o el flujo y la calidad de las aguas subterráneas locales y regionales
 - o cabezas piezométricas (gradiente hidráulico)
- modelar el acuífero para proporcionar
 - o cambios en la cabeza hidráulica
 - o migración del agua recargada
 - o grado de zona de atenuación
 - o respuesta del acuífero a la inyección y extracción
 - o cambios en la calidad del agua debido a procesos geoquímicos
- para los sistemas de infiltración, identificar
 - o las características del suelo y del subsuelo del emplazamiento
 - o presencia de capas de baja permeabilidad
 - o características geoquímicas que pueden influir en la calidad y permeabilidad del agua cuando se aplica el agua.

Anexo 1.3 Monitoreo de la calidad del agua

A continuación, se presenta una tabla de parámetros básicos de monitoreo de calidad del agua para apoyar el enfoque del plan de seguridad del agua. El monitoreo de tendencias se recomienda cuatro veces al año; una vez en la estación seca y luego cada 3 meses (agua subterránea) o 3 veces con una separación de tiempo uniforme durante el período de flujo (agua superficial).

Tabla 1. Parámetros básicos de monitoreo de calidad del agua.

Grupo de parámetro	Parámetros
General	Color, olor, temperatura, pH, EC, TDS, SST, turbiedad
Nutrientes	NO ₂ +NO ₃ , NH ₃ , P total
Materia orgánica	COD, BOD
Iones principales	K ⁺ , Na ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , CO ₃ ²⁻ , HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻
Otros inorgánicos	F, B, cualquier parámetro de interés específico de la ubicación (e.g. Fe, As)
Microbial	E. coli
Químicos orgánicos (ej. pesticidas)	Específico del lugar, necesario para la protección de las aguas subterráneas para el suministro de agua potable.

Además, dependiendo de la ubicación, puede ser relevante monitorear los siguientes metales: aluminio, cadmio, cobalto, cobre, cromo, mercurio, molibdeno, níquel, plata, plomo y zinc. Otros parámetros relevantes para medir podrían ser elementos relacionados con la eutrofización (ej. Nitrógeno total, fósforo de ortofosfato), coliformes fecales, pesticidas, herbicidas, aceites y grasas.

Anexo 1.4 Antecedentes del marco legal en Chile

Anexo 1.4.1.- Legislación vigente relevante a proyectos de recarga de acuíferos en Chile

Tabla 2. Legislación vigente relevante a proyectos de recarga de acuíferos en Chile.

Legislación	Nombre	Descripción
Ley 19.300/1994	Bases Generales del Medio Ambiente, Art 10	En principio, una obra de recarga artificial no se encuentra incluida dentro de los proyectos que requieren ser evaluados ambientalmente, por lo que su sola ejecución no exige ingresar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) contenido en esta Ley. Se deberá presentar una Declaración de Impacto Ambiental o elaborar un Estudio de Impacto Ambiental en obras que sean de mayor tamaño, impliquen alteración de los cursos naturales del agua y/o cuando se ubique en zonas protegidas según lo indicado en el Art. 10 letra a) ^a (ANT art.294 C.A) ^b y p) ^c .
	DS 40/2012 Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)	De acuerdo con el Reglamento del SEIA, el permiso para ejecutar obras para la recarga artificial de acuíferos (en adelante, PAS 158) es de competencia de la Dirección General de Aguas (DGA), siendo éste un permiso mixto, es decir, con contenidos ambientales y no ambientales, y teniendo como requisito para su otorgamiento el “conservar y proteger el acuífero”. Sin provocar la colmatación del acuífero ni la contaminación de las aguas.
	Art 158, inciso 2º Permiso Ambiental Sectorial (PAS) 158	
	DS. 46/2002 Norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas. Art 1º, 2º y 9º	Determina las concentraciones máximas de contaminantes permitidas en los residuos líquidos que son descargados por una fuente emisora ^d (establecimiento industrial), a través del suelo, a las zonas saturadas de los acuíferos, mediante obras destinadas a infiltrarlo. La norma fija límites máximos de emisión en términos totales, para los acuíferos con vulnerabilidad calificada como media o baja, siguiendo el criterio general de permitir descargas de igual o inferior concentración a la concentración natural del acuífero (contempla medición de PH, concentraciones de residuos inorgánicos, orgánicos, metales y nitrógeno total Kjeldahl).
		Si la vulnerabilidad del acuífero es calificada como alta, sólo se podrá disponer residuos líquidos mediante infiltración, cuando la emisión sea de igual o mejor calidad que la del Contenido natural del acuífero.

a.- Acueductos, embalses o tranques y sifones que deban someterse a la autorización establecida en el artículo 294 del Código de Aguas, presas, drenaje, desecación, dragado, defensa o alteración, significativos, de cuerpos o cursos naturales de aguas;

b.- Art. 294. Código de Aguas. Requerirán la aprobación del Director General de Aguas, de acuerdo al procedimiento indicado en el Título I del Libro Segundo, la construcción de las siguientes obras: a) Los embalses de capacidad superior a cincuenta mil metros cúbicos o cuyo muro tenga más de 5m. de altura; b) Los acueductos que conduzcan más de dos metros cúbicos por segundo; c) Los acueductos que conduzcan más de medio metro cúbico por segundo, que se proyecten próximos a zonas urbanas, y cuya distancia al extremo más cercano del límite urbano sea inferior a un kilómetro y la cota de fondo sea superior a 10 metros sobre la cota de dicho límite, y d) Los sifones y canoas que crucen cauces naturales.

c.- Ejecución de obras, programas o actividades en parques nacionales, reservas nacionales, monumentos naturales, reservas de zonas vírgenes, santuarios de la naturaleza, parques marinos, reservas marinas o en cualesquiera otras áreas colocadas bajo protección oficial, en los casos en que la legislación respectiva lo permita.

d.- Fuente emisora: Establecimiento que descarga sus residuos líquidos por medio de obras de infiltración tales como zanjas, drenes, lagunas, pozos de infiltración, u otra obra destinada a infiltrar dichos residuos a través de la zona no saturada del acuífero, como resultado de su proceso, actividad o servicio, con una carga contaminante media diaria superior en uno o más para los parámetros indicados en la tabla del Anexo 9.1.1

Código de Aguas	Artículo N° 66 y N° 67 del Decreto con Fuerza de Ley N° 1.122. de 1981: Obras para la recarga artificial de acuíferos	No siendo necesario que anteriormente se haya declarado área de restricción, previa autorización de la DGA, cualquier persona podrá ejecutar obras para la recarga artificial de acuíferos, teniendo por ello la preferencia para que se le constituya un derecho de aprovechamiento provisional sobre las aguas subterráneas derivadas de tales obras y mientras se mantengan.
Circulares de la Dirección General de Aguas	Circular N°4 DGA, Sep 2016	Establece en qué casos de obras de recarga se debe aplicar el Permiso Ambiental Sectorial (PAS) 158, señalando que por regla general no aplica autorización ambiental.
	Circular N°1 DGA, Feb 2019	En lo que aplica a proyectos que tengan obras hidráulicas de conducción o acumulación no revestidas y que, en consecuencia, permean el acuífero. Ellas no requerirán someterse al procedimiento de los Art. 66 y 67 del Código de Aguas, a menos que el titular pretenda la constitución de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas sobre las aguas subterráneas derivadas de tales obras
	Circular N°2 DGA, Abr 2019	Establece condiciones para exceptuarse de cumplir la orden de cierre de bocatomas ante peligro de grandes avenidas. En caso de que se desee mantener en operación sus bocatomas para recarga o infiltración de acuíferos durante el periodo de cierre, deberán cumplir con lo estipulado e informar a la Dirección General de Aguas, al Municipio y a la Gobernación Provincial respectiva.

Anexo 1.4.2.- “Diagnóstico de metodología para la presentación y análisis de proyectos de recarga de acuíferos” (DGA, 2014)

Tabla 3. Índice de contenidos mínimos para la memoria técnica de solicitud de un proyecto de recarga artificial (DGA, 2014).

Fase	Contenidos
Fase previa o de preselección	<p>Justificación de la necesidad del proyecto</p> <ul style="list-style-type: none"> - Motivación del proyecto. - Cálculo de la demanda de agua. - Cálculo de recursos disponibles. - Balance oferta-demanda. <p>Evaluación de la factibilidad ambiental</p> <ul style="list-style-type: none"> - Existencia de restricciones ambientales. - Evaluación de potenciales impactos. - Identificación y caracterización de ecosistemas asociados. <p>Evaluación inicial de la factibilidad técnica</p> <ul style="list-style-type: none"> - Características del emplazamiento. - Usos del suelo. - Pendiente. - Capacidad de Infiltración. - Distancia a problemas de contaminación de aguas subterráneas. - Tiempo de residencia o de tránsito. - Eficiencia de recuperación. - Gradiente hidráulico. - Tipo y características del acuífero (poroso/fracturado, libre/confinado, etc.). - Profundidad de la zona no saturada. - Volumen de acuífero disponible. - Potencia acuífero. - Transmisividad. - Potencia de los niveles impermeables debajo de la superficie. - Evaluación de los volúmenes de inyección respecto el total del acuífero.

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Fase de viabilidad</p>	<p>Caracterización del medio y del SHAC</p> <ul style="list-style-type: none"> - Establecimiento de la línea base de la zona y SHAC (calidad y nivel piezométrico). - Topografía. - Geología, hidrogeología y modelo conceptual de la zona. - Estudios y ensayos de caracterización del subsuelo y el acuífero para dar valores a los parámetros hidráulicos (en función de la información disponible): piezómetros, geofísica, ensayos de bombeo, tensiómetros, tests de infiltración, caudalímetros, pluviómetros, ensayos de trazadores). - Selección y justificación del tipo de dispositivo de recarga. <p>Evaluación ambiental del proyecto</p> <ul style="list-style-type: none"> - Identificación de los impactos. - Evaluar viabilidad calidad del agua de recarga. - Identificar los usos a los que se destinará el agua de recarga.
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Fase de evaluación y diseño</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Elaboración del modelo conceptual. - Elaboración de los modelos numéricos de flujo y transporte según "Guía para el uso de modelos de aguas subterráneas en el SEIA (SEA, 2012). - Dimensionamiento de la instalación según parámetros de campo. - Evaluación económica (Análisis del ciclo de vida). - Cálculo de los costes de construcción, operación, mantenimiento y cierre. - Plan de gestión de una eventual contaminación. - Diseño de la instalación.

Fase planta piloto	<ul style="list-style-type: none"> - Descripción y características del dispositivo de esta fase. - Caudales. - Ubicación de las obras y especificaciones técnicas. - Ajuste de los modelos conceptual y numérico. - Plan de monitoreo. - Plan de operación y mantenimiento. - Plan de alerta temprana. - Estudio ambiental. - Plan de cierre o adaptación a la fase de proyecto industrial.
Fase de implementación	<ul style="list-style-type: none"> - Definir el plan de mantenimiento. - Definir el plan de monitoreo. - Procedimiento de evaluación de la efectividad de la recarga. - Evaluación de la dilución en los puntos de muestreo. - Técnicas de gestión de la colmatación. - Plan de cierre

Tabla 4. Parámetros determinantes en la selección previa del tipo de dispositivo/metodo de recarga (DGA, 2014)

Parámetro	Modificación de cauces (presas)		Infiltración (SAT)		Inyección (ASR Y ASTR)	
	Viable	No viable	Viable	No viable	Viable	No viable
Hidrogeología (Acuífero)	Poroso Karst si la calidad del agua es buena	Baja permeabilidad	Poroso Karst si la calidad del agua es buena (Murray, 2009)	Baja permeabilidad	Poroso	Porosidad por fracturas
Confinamiento	No confinados	Confinados	No Confinados	Confinados	No influye	No influye
Pendiente	La pendiente determina el volumen y renovación		<5%	>5%	No influye	No influye
Infiltración	> 1 m/d	< 0,5 m/d	> 1 m/d	< 0,5 m/d		Si las velocidades de flujo son elevadas, mejor utilizar ASTR.
Usos del suelo		Si no se cumplen caudales ecológicos		Zonas comerciales y urbanas		Zonas comerciales y urbanas
Parámetro	Modificación de cauces (presas)		Infiltración (SAT)		Inyección (ASR Y ASTR)	
	Viable	No viable	Viable	No viable	Viable	No viable

Profundidad de la zona no saturada		En función de tipología de presa	> 5 m (si el volumen es suficiente) y hasta 100 m	< 5 m	> 10 y < 200 m (a evaluar según costes económicos)	< 10 m
Transmisividad			>40 m ² /d	<40 m ² /d	>40 m ² /d	<40 m ² /d
Tiempo de tránsito (depende de la calidad del agua)		>6 meses (para tiempos entre 3 y 6 meses deberá valorarse específicamente)	< 3 meses (para tiempos entre 3 y 6 meses deberá valorarse específicamente si hay contaminantes)	< 6 meses (para ASTR es al revés)	> 6 meses (si hay contaminantes, si no, es viable)	
Calidad del agua de recarga	Bajo TSS	Alto TSS	Bajo TSS	Alto TSS	< 10 mg/l TSS	
Calidad del agua existente en el acuífero	Nitratos y cloruros < límite de consumo humano	Nitratos y cloruros > límite de consumo humano evaluar según proyecto	Nitratos y cloruros < límite de consumo humano	Nitratos y cloruros > límite de consumo humano evaluar según proyecto	Nitratos y cloruros < límite de consumo humano	Nitratos y cloruros > límite de consumo humano evaluar según proyecto
Distancia de seguridad (focos contaminación)			>3 km	<3 km, (excepto si un estudio específico demuestra la viabilidad)	>3 km	<3 km (excepto si un estudio específico demuestra la viabilidad)

Anexo 1.4.3.- Comunicación con la DGA de la Región de Atacama

Respecto a las piscinas de recarga que se ubiquen en predios de particulares, usando sus derechos de agua para realizar la recarga y que no están asociadas a una eventual solicitud de constitución de derechos de aprovechamiento provisional de aguas subterráneas no requieren una tramitación sectorial con la DGA. En el caso de que se realicen obras dentro del cauce con la finalidad de recargar el acuífero, si aplica una tramitación sectorial referida a proyecto de modificación de cauce (artículo 41^e y 171^f del C.A.).

Al mismo tiempo, para un resguardo y control de estas obras, es necesario que los titulares informen de su ejecución, presentando una carta a la Dirección Regional correspondiente, mencionando algunos antecedentes mínimos de sus obras, para que así la Unidad de Fiscalización y Medio Ambiente mantenga un registro de este tipo de proyectos en la región (se comentó que los requerimientos mínimos que se deben incluir se encuentran pendiente por parte de la DGA).

Adicionalmente, se informa que la DGA definió una postura frente a la obras de recarga de artificial de acuíferos, a través de emisión de la Circular N°1 del 14 de febrero de 2019, donde se señala "La Dirección General de Aguas podrá exigir la presentación de un informe técnico que contenga las especificaciones técnicas de la obra" (DGA, 2019).

De igual manera, se enlistan los antecedentes mínimos que se requerirán tener a la vista en el momento para los titulares interesados en realizar MAR:

- Se debe presentar una carta dirigida a la Directora Regional de la DGA, donde se individualice al interesado/a y la de su representante legal, si corresponde.
- Se debe fijar un domicilio, correo electrónico o número de contacto, para facilitar la comunicación entre nuestro servicio y el interesado.
- Descripción y características de las aguas que se infiltrarán, esto es: naturaleza, punto de captación (Datum WGS 1984), caudal a infiltrar.
- Se debe informar y adjuntar el título del dominio del derecho de aprovechamiento involucrado, si aplica.
- Ubicación en coordenadas UTM Datum WGS 1984 de las obras de recarga y referencias del sector.
- Descripción de las obras, donde se indique dimensiones y materialidad de las obras, vida útil proyectada, señalar forma de conducción de éstas desde su origen hasta el punto de recarga, etc.
- Incorporar un Plan simple de operación de sus obras, que incluya plan de mantención, plan de acción frente a contaminación del sector y ante un eventual riesgo de accidente y plan de cierre.
- Imagen satelital de la ubicación.
- Para el caso de pozos de infiltración, se requerirá pruebas de calidad de las aguas infiltradas periódicamente, durante la vida útil de la obra.

e.- Art. 41.- El proyecto y construcción de las modificaciones que fueren necesarias realizar en cauces naturales o artificiales, con motivo de la construcción de obras, urbanizaciones y edificaciones que puedan causar daño a la vida, salud o bienes de la población o que de alguna manera alteren el régimen de escurrimiento de las aguas, serán de responsabilidad del interesado y deberán ser aprobadas previamente por la Dirección General de Aguas de conformidad con el procedimiento establecido en el párrafo 1 del Título I del Libro Segundo del Código de Aguas. La Dirección General de Aguas determinará mediante resolución fundada cuáles son las obras y características que se encuentran en la situación anterior.

Se entenderá por modificaciones no solo el cambio de trazado de los cauces mismos, sino también la alteración o sustitución de cualquiera de sus obras de arte y la construcción de nuevas obras, como abovedamientos, pasos sobre o bajo nivel o cualesquiera otras de sustitución o complemento. La operación y la mantención de las nuevas obras seguirán siendo de cargo de las personas o entidades que operaban y mantenían el sistema primitivo. Si la modificación introducida al proyecto original implica un aumento de los gastos de operación y mantención, quien la encomendó deberá pagar el mayor costo.

f.- Art. 171. Las personas naturales o jurídicas que desearan efectuar las modificaciones a que se refiere el artículo 41 de este Código, presentarán los proyectos correspondientes a la Dirección General de Aguas, para su aprobación previa, aplicándose a la presentación el procedimiento previsto en el párrafo 1° de este Título.

Anexo 2 Experiencia internacional

Anexo 2.1 Evaluación Simplificada (Guía Australiana)

Extracto de las pautas MAR australianas, sección 4.2 pp. 39-40 (NRMMC-EPHC-NHMRC, 2009):

Es posible que se permita la realización de los proyectos a escala doméstica con riesgos inherentemente bajos, siempre que cumplan con condiciones y criterios locales, mediante un proceso de evaluación simplificada. A discreción de la autoridad local, estos criterios por lo general se definirían en conjunto con un plan de monitoreo regional de agua subterránea en vez de un monitoreo sitio a sitio.

Las evaluaciones simplificadas son necesarias debido a que el monitoreo puede representar un costo sustancial de los proyectos pequeños, y porque el diseño efectivo puede lidiar con los riesgos en casos particulares, sin la necesidad de depender de operadores capacitados para proteger la salud humana y el medioambiente. En estos casos, el compromiso para el uso responsable y la gestión de la calidad del agua reciclada queda en manos del regulador local, en vez de solo el proponente del proyecto. Es necesario incorporar medidas preventivas al sitio y el diseño del proyecto para asegurar una protección sostenida; por ejemplo, permitiendo cambios en la pertenencia de la propiedad.

Para ser elegible a la evaluación simplificada, un proyecto de recarga artificial de acuífero debería cumplir con los siguientes criterios:

- 💧 El agua fuente es el agua de escorrentía del techo de una sola vivienda
- 💧 El agua recuperada se usa para riego u otro uso no potable especificado por la autoridad local
- 💧 Existe un acuífero capaz de almacenar agua adicional
- 💧 El acuífero
 - No ha sido identificado como afectado por contaminación industrial o agrícola en la medida en que prevenga su uso
 - No se usa para suministro de agua potable en el área, y no es capaz de proveer agua potable basándose en la calidad del agua subterránea local
 - Está confinado y no es surgente, o no está confinado y tiene una napa de agua de más de 4 m de profundidad en áreas rurales u 8 m de profundidad en áreas urbanas, o según lo haya especificado la autoridad local.

Si se cumple con todos los criterios para calificar, los proponentes deben contactar a la autoridad local para obtener más información acerca de los requerimientos y condiciones de permisos. A discreción de la autoridad local, las condiciones pueden incluir requerimientos para:

- 💧 el diseño del sistema de recarga
- 💧 medidas preventivas antes de la recarga
- 💧 descarga segura del sistema de rebalse
- 💧 mantenimiento del sistema de recarga
- 💧 cumplimiento con requerimientos por ruidos, olores o pestes de insectos

- 💧 protección de la seguridad pública
- 💧 contribución a los costos regionales de monitoreo
- 💧 registro de volúmenes cumulativos de recarga y recuperación
- 💧 muestra de agua
- 💧 detención o limitación de recarga o recuperación (si lo recomienda la autoridad).

Ante la ausencia de consejo específico de la autoridad, los proponentes deben considerar los factores anteriores cuando soliciten aprobación. El rol de la autoridad incluirá normalmente el monitoreo de los niveles de agua subterránea y calidad a escala regional, para indicar el efecto de los impactos agregados sobre los acuíferos o los ecosistemas conectados.

Un proyecto que probablemente use una evaluación simplificada es uno con escorrentía desde techo a escala doméstica, recargada mediante sumideros en la base de tuberías domésticas en suelos altamente permeables con napas subterráneas profundas, orientadas a un acuífero no confinado. El agua debiera recuperarse para uso de riego localizado, pero no para beber. Es poco probable que esta situación repercuta en todos los peligros (identificados en el Capítulo 5); y por ende se juzga cualitativamente como con riesgo (máximo) inherente bajo para la salud humana y el bienestar medioambiental.

En dichas circunstancias, y dentro de las áreas definidas, la jurisdicción relevante puede decidir aprobar las prácticas de recarga especificadas que cumplen con los diseños estándar y adhieren a las condiciones aplicables a todas las instalaciones. Los datos de monitoreo en unas pocas instalaciones existentes pueden proveer evidencia del rango de condiciones y las medidas de control que protegen la salud humana y el bienestar medioambiental. La jurisdicción evaluaría el efecto cumulativo de varios sitios similares respecto a los niveles y la calidad del agua subterránea usando una red de monitoreo regional con tubos piezométricos.

Anexo 2.2 Evaluación de nivel de Entrada (Guía Australiana)

Extracto de las pautas MAR australianas, sección 4.3 y 4.4 pp. 43-50 (NRMMC-EPHC-NHMRC, 2009):

Tabla 5. Evaluación de nivel de entrada - Parte 1 – Evaluación de viabilidad.

Atributo	Sí	No
1. Uso de agua deseado		
¿Existe una demanda local actual o un beneficio medioambiental claramente definido para el agua recuperada que sea compatible con los planes de gestión de agua locales?	Continuar evaluación viabilidad	No se recomienda recarga artificial de acuífero
2. Disponibilidad de agua fuente y derecho de acceso		
¿Existe agua fuente adecuada disponible, y la recolección de este volumen es compatible con los planes de gestión de agua de captura?	Continuar evaluación viabilidad	No se recomienda recarga artificial de acuífero
3. Evaluación hidrogeológica		
¿Existe al menos un acuífero en el sitio de recarga artificial de acuífero propuesto que sea capaz de almacenar agua adicional?	Continuar evaluación viabilidad	La recarga artificial de acuífero no funcionará
¿El proyecto es compatible con los planes de gestión de agua subterránea?	Continuar evaluación viabilidad	No se recomienda recarga artificial de acuífero
4. Espacio para captura y tratamiento de agua		
¿Existe tierra suficiente disponible para la captura y tratamiento del agua?	Continuar evaluación viabilidad	No se recomienda recarga artificial de acuífero
5. Capacidad para diseñar, construir y operar		
¿Existe la capacidad para diseñar, construir y operar un proyecto de recarga artificial de acuífero?	Ir a Parte 2: evaluación de grado de dificultad	

Tabla 6. Evaluación de nivel de entrada – Parte 2 – Evaluación de Grado de Dificultad.

Información requerida para evaluación	Preguntas e indicadores de grado de dificultad
1. Calidad del agua fuente con respecto de los valores medioambientales del agua subterránea	
<ul style="list-style-type: none"> • Cuando existan múltiples muestras, la concentración más alta de cada analito debiera usarse en la evaluación, a menos que exista una justificación que indique que los eventos que resulten en estos valores se evitarán cuando se establezca el proyecto MAR. • Ante la ausencia de datos de calidad del agua fuente real, se pueden usar datos de proyectos MAR similares existentes, que usen el mismo tipo de agua fuente y recarguen el mismo acuífero. • Ante la ausencia de las fuentes de datos mencionadas, se puede usar datos genéricos de las pautas de reciclaje de agua australianas, del siguiente modo: <ul style="list-style-type: none"> - En el caso del agua lluvia; el Anexo 2 del NR-MMC-EPHC-NHMRC (2009) entrega datos genéricos para las concentraciones de peligros seleccionados en el agua lluvia proveniente de capturas en techos y capturas urbanas; ante la ausencia de otra información, usar los datos del percentil 95 - En el caso de las aguas servidas tratadas; se pueden usar las concentraciones máximas detectadas en aguas servidas tratadas secundarias como punto de partida y las pautas de la Etapa1 entregan datos genéricos; estos rangos de datos de las aguas servidas han sido tratados en plantas de reclamación de agua (valor mínimo) para efluentes crudos tratados secundarios (valor máximo). • La evaluación de la variabilidad de la calidad y los factores que afectan la calidad se defieren a la evaluación de riesgo máxima. 	<p>Q1. ¿El agua fuente cumple con los requerimientos de calidad de agua para el valor medioambiental del agua subterránea ambiental?</p> <p>Si la respuesta es 'Sí', se espera un riesgo bajo de polución. Esta es una condición necesaria, pero no suficiente, para definir riesgo bajo.</p> <p>Si la respuesta es 'No', es probable que exista un riesgo máximo alto. Es probable que sea necesario hacer investigaciones en Etapa 2 para evaluar las medidas preventivas destinadas a reducir el riesgo de contaminación del agua subterránea más allá de la zona de atenuación (y el tamaño de la zona de atenuación).</p>
2. Calidad del agua fuente con respecto a los valores medioambientales del uso del agua recuperada	
<ul style="list-style-type: none"> • Si el agua fuente no cumple con los requerimientos de calidad de agua para los valores medioambientales de los usos finales deseados del agua recuperada, se puede acudir a la atenuación de peligros dentro de la sub-superficie. 	<p>Q2. ¿El agua fuente cumple con los requerimientos para calidad de agua para los valores medioambientales de los usos finales deseados del agua recuperada?</p> <p>Si la respuesta es 'Sí', se espera un riesgo bajo de polución del agua recuperada. No obstante, debido a las reacciones del acuífero, esta no es una condición suficiente para definir riesgo bajo.</p> <p>Si la respuesta es 'No', es probable un riesgo máximo alto. Será necesario efectuar investigaciones en Etapa 2 para evaluar el riesgo</p>

3. Calidad del agua fuente con respecto a las obstrucciones

- Cuando la calidad del agua fuente es mala y el suelo o acuífero presentan granos finos, es probable que ocurran obstrucciones en la cuenca de infiltración y la galería o el pozo de recarga, a menos que el agua se trate antes de la recarga.
- Las obstrucciones prevalecen cuando el agua contiene niveles de moderados a altos de sólidos o nutrientes suspendidos, como nitrógeno o carbono orgánico lábil.
- Las obstrucciones también pueden ocurrir cuando se introduce agua oxigenada a un acuífero que contiene hierro.
- Si el suelo o acuífero contiene granos gruesos o macro-poros, las obstrucciones con dichas aguas es menos probable, pero el riesgo de contaminación del agua subterránea es alto (según se aborda en las Preguntas 1 y 2).
- La falta de evidencia de obstrucciones es insuficiente para indicar que el riesgo de contaminación es bajo, incluso en medios de granos finos.

Q3. ¿El agua fuente tiene baja calidad; por ejemplo:

- sólidos totales suspendidos >10 mg/L
- carbono orgánico total >10 mg/L
- nitrógeno total >10 mg/L?

Asimismo, ¿el suelo o acuífero está libre de macro-poros?

Si la respuesta es 'Sí', existe un alto riesgo de obstrucciones de las instalaciones de infiltración o pozos de recarga. Será necesario considerar el pretratamiento, independiente de las respuestas a las Preguntas 1 y 2.

Si la respuesta es 'No', se espera un riesgo bajo de obstrucciones. No obstante, esta no es una condición suficiente para definir riesgo bajo, porque las obstrucciones dependen de las características del acuífero que serían reveladas por las investigaciones de la Etapa 2.

4. Calidad del agua subterránea respecto de los valores medioambientales del uso del agua recuperada

- Cuando existan muestras disponibles, los parámetros más altos detectados en cada muestra deben usarse en el análisis, a menos que exista una justificación que indique que los eventos que resulten en estos valores se evitarán cuando se establezca el proyecto MAR.
- Ante la ausencia de datos sobre la calidad del agua subterránea del sitio propuesto, se pueden usar los datos de los pozos cercanos en el mismo acuífero.

Q4. ¿El agua subterránea ambiente cumple con los requerimientos de calidad de agua para los valores medioambientales de los usos finales deseados del agua recuperada?

Si la respuesta es 'Sí', se espera un riesgo bajo de eficiencia de recuperación inadecuada.

Si la respuesta es 'No', se espera algún grado de riesgo de eficiencia de recuperación inadecuada.

5. Calidad del agua subterránea y el agua potable

- Los valores medioambientales del acuífero deben ser definidos por la autoridad relevante. Estos dependerán de la calidad del agua subterránea ambiental y de los ecosistemas afectados por agua subterránea, según se identifican en las pautas de protección de agua subterránea NW-QMS (ARMCANZ-ANZECC, 1995).
- La fijación de estos valores implica un proceso de consulta con las partes interesadas y, en la práctica, posiblemente se relacionen con los procesos de planificación de distribución de agua subterránea.
- Si los valores medioambientales definidos (para objetivos de evaluación de entrada) son insuficientes, todos los valores medioambientales con los que cumpla la calidad del agua subterránea nativa deben protegerse. Dichos valores medioambientales pueden incluir:
 - suministros de agua cruda para beber
 - riego
 - agua para acuicultura, recreación o ganado
 - respaldo de ecosistemas acuáticos con variados valores de conservación.

Q5. ¿Se considera el suministro de agua para beber, o la protección de ecosistemas acuáticos con valores medioambientales o de conservación altos, como un valor medioambiental del acuífero objeto?

Si la respuesta es 'Sí', existe un alto riesgo de contaminación del agua subterránea si el acuífero se recarga con agua, en caso de que la respuesta a la Pregunta 1 sea 'No'.

Si la respuesta es 'No', se espera un riesgo bajo de contaminación del agua subterránea. No obstante, esta no es una condición suficiente para definir riesgo bajo.

6. Salinidad del agua subterránea y eficiencia de recuperación

- Si el agua subterránea nativa tiene un nivel alto de salinidad, la proporción de agua subterránea nativa que puede estar presente como mezcla con el agua fuente en el agua recuperada es limitada.
- En estos sitios, también se puede producir flujo afectado por la densidad. El agua de recarga fresca puede generar una película sobre el agua subterránea nativa salina, haciendo que la recuperación sea difícil y reduciendo la eficiencia de recuperación (es decir, que el volumen de agua recuperada cumpla con los valores medioambientales para sus usos deseados como proporción del volumen de agua recargada).

Q6. ¿La salinidad del agua subterránea nativa excede alguno de los siguientes:

- (a) 10 000 mg/L
- (b) el criterio de salinidad para usos de agua recuperada?

Si la respuesta para ambas partes de la pregunta es 'Sí', existe un alto riesgo de alcanzar solo una eficiencia de recuperación baja. Las características hidráulicas del acuífero, especialmente la presencia de capas dentro del acuífero, deberán examinarse con cuidado durante la Etapa 2.

Si la respuesta es 'Sí' solo para la parte (b), se espera un riesgo moderado de eficiencia de recuperación baja. Sin embargo, esta no es una condición suficiente para definir riesgo bajo (por ej., en el caso de los acuíferos salobres con tasas altas de flujo lateral ambiental).

Si la respuesta es 'No' para ambas partes de la pregunta, existe un riesgo bajo de eficiencia de recuperación baja.

7. Reacciones entre agua fuente y acuífero

- Las reacciones entre los minerales del agua fuente y el acuífero pueden resultar en el deterioro de la calidad del agua recuperada, y posiblemente del agua en el acuífero más allá de la zona de atenuación; por otra parte, podrían provocar obstrucciones o disolución excesivas en el acuífero.
- Es posible que se realice una evaluación completa durante la Etapa 2, pero un indicador simple de la probabilidad de problemas potenciales en la etapa de entrada es observar la medida de los contrastes entre la calidad del agua fuente y el agua subterránea nativa

Q7. ¿El estatus de redox, pH, temperatura, nutrientes y la fortaleza iónica del agua subterránea es similar al del agua fuente?

Si la respuesta es 'Sí', se espera un riesgo bajo de reacciones adversas entre el agua fuente y el acuífero. Sin embargo, esta no es una condición suficiente para definir riesgo bajo.

Si la respuesta es 'No', es posible un riesgo alto de reacciones adversas entre el agua fuente y el acuífero, y hará necesaria una modelación geoquímica en la Etapa 2 (ver Secciones 5.2, 5.4 y 6.1).

8. Proximidad de usuarios existentes de agua subterránea más cercanos, ecosistemas conectados y límites de propiedad

- Es probable que la proximidad de los usuarios de agua subterránea existentes más cercanos y los ecosistemas conectados al agua subterránea influyan sobre el alcance de las investigaciones requeridas en la Etapa 2.
- Por lo general, las zonas de atenuación tendrán tiempos de residencia en acuíferos de hasta un año.
- Si los límites de la propiedad están cerca del sitio MAR, es posible que la zona de atenuación se extienda más allá de la propiedad colindante.
- Los efectos de la presión del agua subterránea en los acuíferos confinados debido a MAR pueden propagarse hacia distancias considerablemente mayores que los efectos sobre la calidad del agua.

Q8. ¿Existen otros usuarios de agua subterránea, ecosistemas conectados al agua subterránea o un límite de propiedad dentro de 100-1000 m del sitio MAR?

Si la respuesta es 'Sí', un riesgo alto de impactos sobre los usuarios o los ecosistemas es posible, y esto necesitará de atención en la Etapa 2.

Si la respuesta es 'No', es probable un riesgo bajo de impactos sobre usuarios o ecosistemas. Sin embargo, esta no es una condición suficiente para definir riesgo bajo.

9. Capacidad de acuífero y niveles de agua subterránea

- El alto de montículos del agua subterránea inducido por MAR depende de las propiedades hidráulicas del acuífero, el tamaño del área de recarga y la tasa de recarga.
- Por lo general la formación de montículos se calcula en la Etapa 2 cuando se miden las propiedades del acuífero. Sin embargo, el alto excesivo de montículos puede causar
 - Saturación de agua
 - Rupturas de suelo
 - Inundación de infraestructura subterránea
 - Eflorescencia
 - Salinización del suelo.
- Por ende, los sitios de acuíferos no confinados con napas de agua poco profundas son generalmente inapropiados como objetivos de almace- naje para proyectos de recarga a gran escala,
- En el caso de los acuíferos confinados surgentes, es necesario preocuparse de la sobre presuriza- ción, y de sellar los pozos existentes que podrían comenzar a rebalsarse

Q9. ¿El acuífero:

(a) es confinado y no surgente?

(b) es no confinado, con una napa de agua de una profundidad superior a los 4 m en áreas rurales u 8 m en áreas urbanas?

Si la respuesta a cualquiera de estas preguntas es 'Sí', se espera un riesgo bajo de saturación de agua o altura excesiva de montículo de agua subterránea. No obstante, esta no es una condición necesaria ni suficiente para definir riesgo bajo.

Si la respuesta para ambas partes de la pregunta es 'No', se espera un riesgo alto de saturación de agua o altura ex- cesiva de montículo de agua subterránea. Sin embargo, las investigaciones de la Etapa 2 pueden revelar que el riesgo es aceptable.

10. Protección de calidad del agua en acuíferos no confinados

- Si el acuífero es no confinado y la recuperación deseada está destinada a suministro de agua potable, la captura de agua sobre el sitio y la dis- posición de desechos (incluyendo actividades de horticultura intensa y tanques sépticos) deben gestionarse con cuidado o eliminarse de la zona de captura de agua subterránea.

Q10. ¿El acuífero es no confinado, con un uso deseado para el agua recuperada que incluye suministro de agua potable?

Si la respuesta es 'Sí', existe un alto riesgo de contaminación del agua subterránea derivada de la gestión de la tierra y los desechos.

Si la respuesta es 'No', existe un riesgo menor de contamina- ción del agua subterránea derivada de la gestión de la tierra y los desechos.

11. Roca fracturada, cárstica o acuíferos reactivos

- Si el acuífero está formado por roca fracturada o cárstica, la capacidad para recuperar el agua almacenada requerirá de evaluación, en especial si el agua subterránea ambiental es salina o si la pendiente hidráulica es pronunciada.
- También será necesario establecer una zona de atenuación más grande, debido a la migración más rápida del agua de recarga desde el área de recarga.

Q11. ¿El acuífero está compuesto por roca fracturada o medios cársticos, o se sabe que contiene minerales reactivos?

Si la respuesta es 'Sí', se espera un riesgo alto de migración de agua de recarga. Se necesita una zona de atenuación más amplia, más allá de la cual se cumplirán valores medioambientales preexistentes del acuífero. La disolución de la matriz del acuífero y el potencial para la movilización de metales justifica una investigación en la Etapa 2.

Si la respuesta es 'No', se espera un riesgo bajo de los eventos mencionados. Sin embargo, esta no es una condición suficiente para definir riesgo bajo.

12. Similitud con proyectos exitosos

- Uno de los principios fundamentales de la recarga artificial de acuíferos es que todos los datos de monitoreo de validación y verificación deben ser de dominio público, y que estos datos deben ir acompañados por datos operacionales suficientes para permitir una interpretación apropiada.
- Esta información es de valor para los proyectos futuros de recarga artificial de acuíferos, para mejorar el diseño y la operación, y reducir costos, así como para seguir refinando estas pautas.
- Un depósito nacional o estatal para estos datos debiera ser accesible para los proponentes

Q12. ¿Existe otro proyecto en el mismo acuífero con agua fuente similar que haya estado operando con éxito durante al menos doce meses?

Si la respuesta es 'Sí', es necesario considerar los datos de validación y verificación de los proyectos existentes cuando se diseñe el proyecto actual, en las investigaciones de la Etapa 2, y en las siguientes evaluaciones de riesgo.

Si la respuesta es 'No', es probable que se deban abordar todas las incertidumbres en las investigaciones de la Etapa 2.

13. Capacidad de gestión

- Un proponente nuevo en el área de recarga artificial de acuíferos debe obtener la experiencia apropiada en paralelo con las investigaciones de la Etapa 2, a fin de demostrar un nivel bajo de riesgo residual en la evaluación de riesgo previa a la puesta en marcha.

Q13. ¿El proponente tiene experiencia con sitios operativos de recarga artificial de acuíferos con el mismo o mayor grado de dificultad, o con operaciones de tratamiento o suministro de agua que impliquen un enfoque estructurado en la gestión de riesgo de la calidad del agua?

Si la respuesta es 'Sí', existe un riesgo bajo de fallas en la calidad del agua debido a la inexperiencia del operador.

Si la respuesta es 'No', existe un alto riesgo de fallas en la calidad del agua debido a la inexperiencia del operador. El proponente debe obtener instrucción en la operación de dichos sistemas (por ej., curso de operador de MAR o curso ASR), o contratar a un gerente adecuado comprometido con la gestión de riesgo efectiva en paralelo con la Etapa 2, para reducir los riesgos residuales previo a la puesta en marcha a un nivel bajo.

14. Planificación y requerimientos relacionados

- La planificación y los requerimientos relacionados incluyen:
 - proximidad de vecino más cercano
 - provisión para acceso público seguro o exclusión
 - dimensiones y pendientes de estructuras que contienen agua
 - ubicación, dimensiones y diseño de toda edificación o estructura de ingeniería
 - método por el cual se traerá energía al sitio y conexiones de agua
 - abundancia de insectos antes y después de la construcción, y medidas propuestas para su control
 - emisiones de ruido de toda planta mecánica, y medidas para mitigar el ruido
 - planes de movimiento de tierras y construcción y las medidas para controlar el polvo y el ruido
 - entrega de información a los vecinos respecto del desarrollo
 - información para abordar otras provisiones de planificación y regulaciones de desarrollo dentro de la jurisdicción relevante.
- Q14: ¿El proyecto propuesto requiere de aprobación para su desarrollo? ¿Se ubica en un área construida; se construye en terrenos públicos, proclives a inundaciones o con pendientes marcadas; o está cerca del límite de una propiedad? ¿Contiene almacenajes de agua abiertos o estructuras de ingeniería? ¿Es probable que provoque problemas para la salud o la seguridad pública (por ej., caídas o ahogamientos), molestias por ruido, polvo, olores o insectos (durante la construcción o la operación), o tenga efectos medioambientales adversos (por ej., producto de desechos de los procesos de tratamiento)?
- Si la respuesta es 'Sí' a cualquiera de las anteriores, un proceso de aprobación de desarrollo requerirá que cada posible problema se evalúe y gestione. Esto puede requerir de información y pasos adicionales en el diseño.
- Si la respuesta es 'No', es probable que el proceso para la aprobación del desarrollo, si se requiere, sea considerablemente más simple.

ASR = Almacenaje y Recuperación en Acuífero; MAR = Recarga de Acuíferos Gestionada; NWQMS = Estrategia Nacional de Gestión de la Calidad de Agua

Anexo 2.3 Peligros y métodos de análisis de muestras durante la ejecución de un esquema piloto

Ejemplos de los análisis realizados en la fase 3, durante la ejecución de un esquema piloto, modificado de las Guías Australianas. Los ejemplos se proporcionan en base de peligros específicos

Tabla 7. Ejemplos de análisis en la fase 3 (esquema piloto), Fuente: modificado de NRMCC-EPHC-NHMRC (2009).

Peligro	Método de análisis	Información entregada	Frecuencia de muestreo	Referencias
Patógenos	<ul style="list-style-type: none"> • Muestreo y análisis de la fuente de agua y el agua subterránea • Pruebas de trazadores, pruebas de bombas de acuíferos, medición de flujo electromagnético 	<ul style="list-style-type: none"> • Tasas de deterioro • Concentración de la fuente de agua, características físicoquímicas del agua subterránea 	Media	<ul style="list-style-type: none"> • NRMCC-EPHC-AHMC (2006) • Toze and Hanna (2002) • Toze et al (2002) • Pavelic et al (2006b)
Inorgánicos	<ul style="list-style-type: none"> • Muestreo y análisis de la fuente de agua y el agua subterránea • Muestreo y análisis del suelo y acuífero 	<ul style="list-style-type: none"> • Concentración de la fuente de agua, características físicoquímicas del agua subterránea • Presencia y cantidad de fases reactivas 	Media	<ul style="list-style-type: none"> • Appelo and Postma (2005) • Herczeg et al (2004) • Stuyfzand et al (2002) • Bekele et al (2007) • Greskowiak et al (2005)

Salinidad y sodicidad	<ul style="list-style-type: none"> Muestreo y análisis de la fuente de agua y el agua subterránea Muestreo y análisis del suelo y acuífero 	<ul style="list-style-type: none"> Concentración de la fuente de agua, características físicoquímicas del agua subterránea Presencia y cantidad de arcillas reactivas y cargas salinas Asistencia con el diseño operativo 	Alta	<ul style="list-style-type: none"> NRMMC-EPHC-AHMC (2006) Herczeg et al (2004) Bekele et al (2007) Cavé (2000) Pavelic et al (2006b,c)
Nutrientes	<ul style="list-style-type: none"> Muestreo y análisis de la fuente de agua y el agua subterránea Muestreo y análisis del suelo y acuífero 	<ul style="list-style-type: none"> Concentración de la fuente de agua, características físicoquímicas del agua subterránea Presencia y cantidad de fases reactivas Asistencia con el diseño operativo 	Media	<ul style="list-style-type: none"> NRMMC-EPHC-AHMC (2006) Vanderzalm et al (2006) Fox (2002)
Químicos orgánicos	<ul style="list-style-type: none"> Muestreo y análisis de la fuente de agua y el agua subterránea Muestreo y análisis del suelo y acuífero Pruebas de trazadores, pruebas de bombas de acuíferos, medición electromagnética de flujo 	<ul style="list-style-type: none"> Concentración de la fuente de agua, características físicoquímicas del agua subterránea Presencia y cantidad de fases reactivas Comprensión cuantitativa de procesos Velocidad del flujo de agua subterránea, tiempos de residencia 	Media	<ul style="list-style-type: none"> NRMMC-EPHC-AHMC (2006) NRMMC-EPHC-NHMRC (2009) Pavelic et al (2005) Komarova et al (2006) Ying et al (2003) Greskowiak et al (2006) Freeze and Cherry (1979) Clark et al (2005) Pavelic (2006b)
Turbidez y partículas	<ul style="list-style-type: none"> Muestreo y análisis de la fuente de agua y el agua subterránea Muestreo y análisis del suelo y acuífero 	<ul style="list-style-type: none"> Concentración de la fuente de agua, características físicoquímicas del agua subterránea Presencia y cantidad de fases reactivas Asistencia con el diseño operativo 	Alta	<ul style="list-style-type: none"> NRMMC-EPHC-AHMC (2006) Pavelic et al (2006c, 2007a) Rinck-Pfeiffer et al (2000)
Radionucleidos	<ul style="list-style-type: none"> Muestreo y análisis de la fuente de agua y el agua subterránea Muestreo y análisis del suelo y acuífero 	<ul style="list-style-type: none"> Concentración de la fuente de agua, características físicoquímicas del agua subterránea Reactividad de sedimentos 	Baja	<ul style="list-style-type: none"> Cook and Herczeg (2000) Popit et al (2004) Gundersen and Wanty (1993); Herczeg and Dighton (1998)

<p>Presión, niveles de agua subterránea, tasas de flujo, disolución, estabilidad del acuitardo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo de los niveles de agua subterránea • Prueba de bombas de acuíferos • Registro de pozos (geofísica) • Modelado de aguas subterráneas • Evaluación y modelado geoquímico 	<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones hidrostáticas • Propiedades hidráulicas del acuífero local • Confinamiento de acuíferos, integridad de pozos • Modelado de escenarios de fluctuaciones piezométricas • Propiedades geotécnicas del acuitardo • Efecto de la disolución de minerales sobre la estabilidad del pozo 	<p>Alta</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Freeze and Cherry (1979) • Pavelic et al (2001) • Dillon et al (1999) • Jones et al (2005) • Le Gal La Salle et al (2005)
<p>Ecosistemas dependientes del agua subterránea</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo de los niveles de agua subterránea • Muestreo y análisis de la fuente de agua, el agua subterránea y el afloramiento de agua superficial aguas abajo • Modelado de transporte hidráulico y de solutos • Ensayos de ecotoxicidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones hidrostáticas • Concentración de la fuente de agua, características fisicoquímicas del agua subterránea • Modelado de escenarios de impactos en el agua superficial • Impactos ambientales 	<p>Media</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Freeze and Cherry (1979) • Fies et al (2002) • Escalante et al (2005) • ANZECC-ARMCANZ (2000a) • Kumar (2009)

Anexo 2.4 India

Estas figuras y tablas se reproducen de la Guía India para la Calidad del Agua para Recarga Artificial de Acuíferos (Dillon et al., 2014).

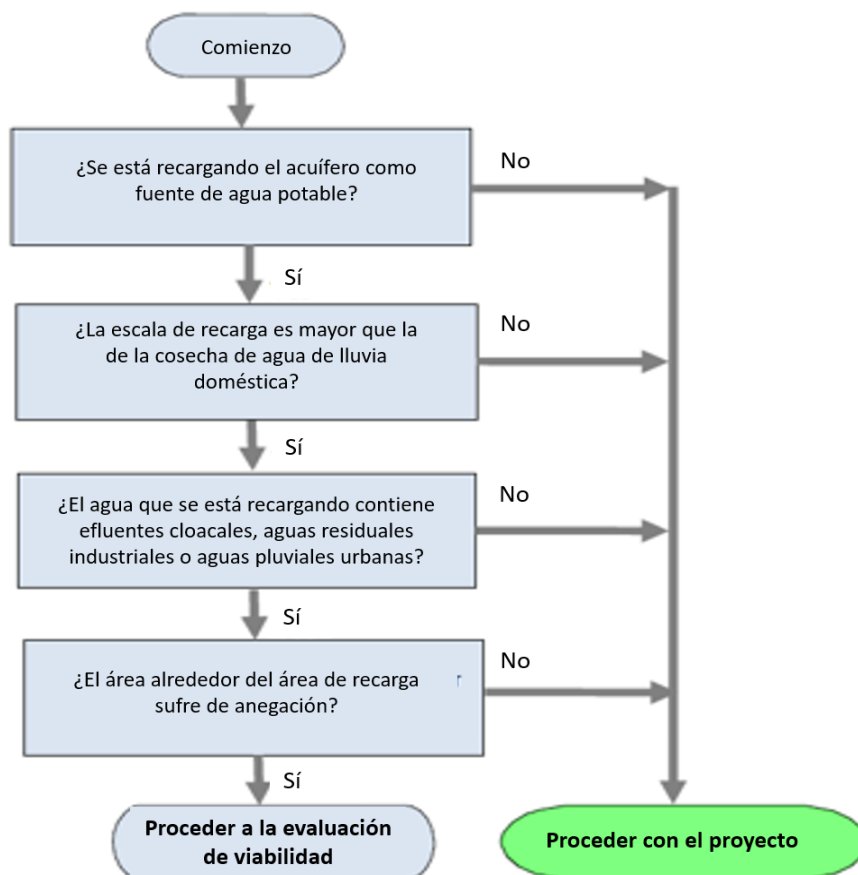


Figura 1. Riesgos inherentes bajo la guía no tiene necesidad de ser aplicada para que el proyecto sea considerado. Fuente: Dillon et al. (2014).

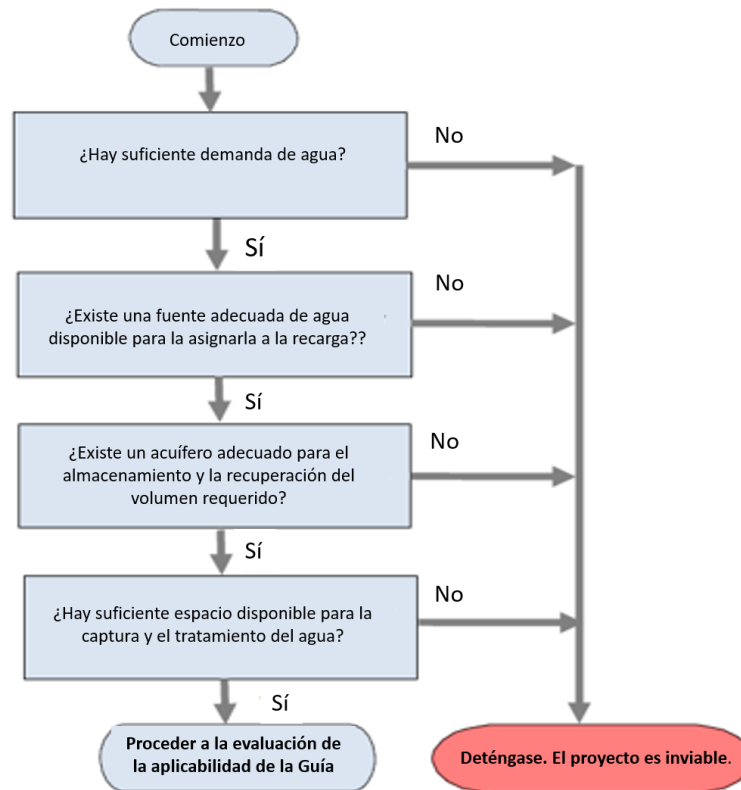


Figura 2. Un esquema de evaluación de viabilidad para proyectos de recarga de acuíferos gestionada. Fuente: Dillon et al. (2014).

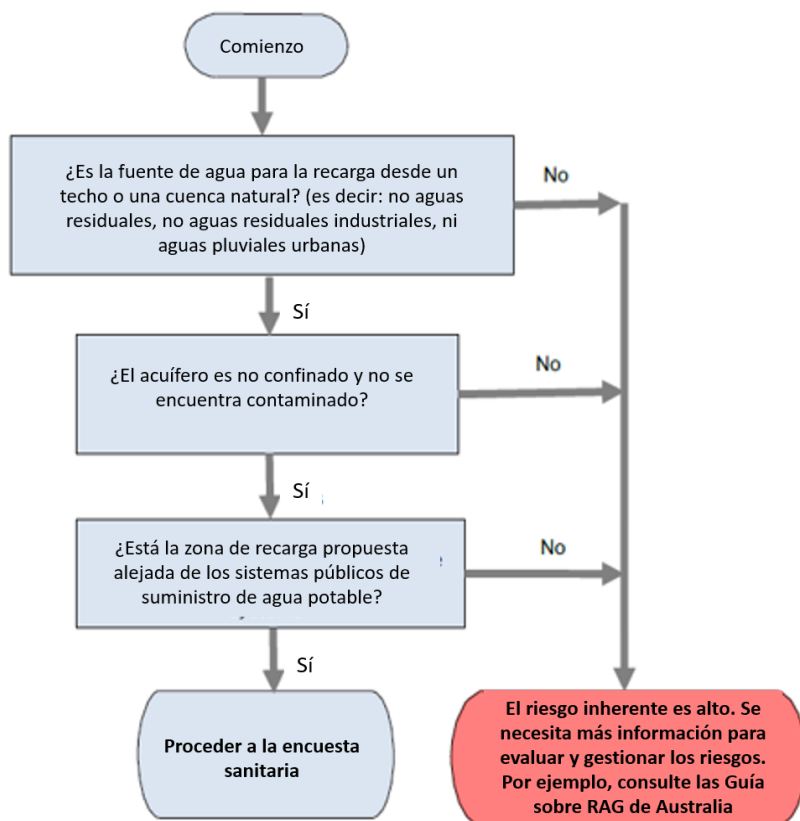


Figura 3. Este esquema determina si los riesgos inherentes son demasiado altos para que estas guías sean aplicables al proyecto que se está considerando. Fuente: Dillon et al. (2014).

Tabla 8. Formulario de encuesta sanitaria. Fuente: Dillon et al. (2014).

Información específica	Peligro o medida presente	Descripción del peligro o medida	Medidas para proteger la salud pública
Riesgos de captación			
1. ¿Hay una letrina, una alcantarilla abierta o una alcantarilla con fugas o heces humanas o animales dentro del área de captación de la instalación de recarga?	S/N	Patógenos y nutrientes	Eliminar desechos, reparar fugas, hervir el agua recuperada antes de beber.
2. ¿Hay una letrina, una alcantarilla abierta o una alcantarilla con fugas o heces humanas o animales en las cercanías de la estructura de recarga o de los pozos de los que se recuperará el agua?	S/N	Patógenos y nutrientes	Eliminar desechos, reparar fugas, hervir el agua recuperada antes de beber.

3. ¿Las actividades industriales, de transporte o agrícolas que generan existencias, desechos, derrames o emisiones que llegan a la superficie de la cuenca son de la instalación de recarga?	S/N	Metales, químicos orgánicos, nutrientes, partículas, salinidad	Remover o aislar desechos, reparar fugas, hervir el agua recuperada antes de beber.
4. ¿Las actividades industriales, de transporte o agrícolas que generan existencias, desechos, derrames o emisiones en las cercanías de la estructura de recarga o de los pozos de los que se recuperará el agua?	S/N	Metales, químicos orgánicos, nutrientes, partículas, salinidad	Remover o aislar desechos, reparar fugas, hervir el agua recuperada antes de beber.
Barreras a la contaminación			
5. ¿Existe un tratamiento previo o un medio para evitar que el agua contaminada se recargue? - En caso afirmativo, describa su diseño y resistencia a fallas eléctricas y mecánicas, y cualquier sistema de alarma.	S/N	Falla o bypass del pretratamiento o desviación	Instalar desviación donde se posible. Instalar pretratamiento donde sea posible.
6. ¿Hay postratamiento del agua a recuperar? - En caso afirmativo, describa su diseño y resistencia a fallas eléctricas y mecánicas, y cualquier sistema de alarma.	S/N	Fallo o desviación del postratamiento	Hervir el agua recuperada antes de beber. Usar filtro de carbón o ultrafiltración es caso de contaminación química.
7. ¿La existencia y condición de cualquier barrera alrededor de la estructura de recarga y los pozos de recuperación previene el cortocircuito de agua contaminada?	S/N	Presencia o ausencia de barreras obvias	Instalar exclusiones para excluir futuros desechos, selle la boca del pozo para evitar la escorrentía / inundación.

Tabla 9. Formulario de evaluación de acuíferos. Fuente: Dillon et al. (2014).

Información específica	Peligro o medida presente	Descripción del riesgo	Medidas para proteger problemas
Calidad del agua de origen con respecto a la obstrucción			
1. ¿El agua de origen tiene baja calidad, es turbia, coloreada, contiene algas, tiene una superficie resbaladiza o huele?	S/N	Riesgos de obstrucción de la superficie de infiltración de la presa, cuenca o pozo de control	Tratar el agua antes de recargar el acuífero para eliminar los agentes de obstrucción. Mantenimiento para eliminar la capa de obstrucción.
Capacidad de almacenamiento del acuífero			
2. ¿Tiene el acuífero no confinado una capa freática poco profunda, digamos < 8 m en el área urbana y digamos < 4 m en el área rural?	S/N	Riesgo de anegamiento, impactos en la infraestructura subterránea	Limitar el volumen y la tasa de recarga para que coincida con la capacidad del acuífero.

Impactos en vecinos y ecosistemas

3.	¿Están los otros usuarios del agua subterránea, el ecosistema conectado al agua subterránea o un límite de propiedad dentro de los 100 m del sitio de recarga?	S/N	Riesgo de impactos adversos en usuarios o ecosistemas es posible	Observar cambios en los niveles, rendimientos y calidad y limitar la recarga y recuperación para evitar impactos adversos.
----	--	-----	--	--

Reactivos, roca fracturada, o acuíferos kársticos

4.	¿Se sabe que el acuífero contiene minerales reactivos (por ejemplo, fluoruro, pirita) o se sabe que el agua subterránea en esta área contiene arsénico? ¿El acuífero contiene minerales solubles como la calcita y la dolomita?	S/N	Potencial movilización de metales (por ejemplo, arsénico) o la disolución de la matriz del acuífero, lo que induce inestabilidad geotécnica	Muestra de agua recuperada para el análisis de arsénico y otras concentraciones de metales pesados. Detenga la recarga si la concentración excede los umbrales para usos locales. Estimar la velocidad de disolución por volúmenes y composiciones minerales en aguas y evaluar la estabilidad del pozo.
5.	¿El acuífero este compuesto por roca fracturada o kárstica (fisurada o cavernosa) caliza o dolomita?	S/N	Migración rápida del agua recargada a los pozos de agua para beber	Informar a todos los que beben agua de pozos alrededor de 1 km del sitio de la recarga para que hiervan el agua o traten el agua antes de recargar.

Aprobación de desarrollo

6.	¿Es el proyecto propuesto de tal escala que requiere aprobación de desarrollo? ¿Está en un área edificada? Construido en terrenos públicos, propensos a inundaciones o empinados; ¿o cerca de un límite de propiedad? ¿contiene almacenamientos de aguas abiertas o estructuras de ingeniería? ¿o es probable que cause problemas de salud pública o seguridad (por ejemplo, caídas o ahogamientos), molestias por ruido, polvo, olor o insectos (durante la construcción u operación) o impactos ambientales adversos (por ejemplo, por productos de desecho de procesos de tratamiento)?	S/N	Potencial de riesgos para la seguridad pública	Obtener los permisos necesarios cuando sea relevante del gobierno local.
----	--	-----	--	--

Anexo 2.5 California

Anexo 2.5.1.- Criterios de Factibilidad de MAR-Ag

La factibilidad de MAR-Ag depende de muchos factores interrelacionados y específicos del sitio. Figuras 4 y 5 detallan los factores a considerar en el diseño de proyectos MAR-Ag y la evaluación de su factibilidad.

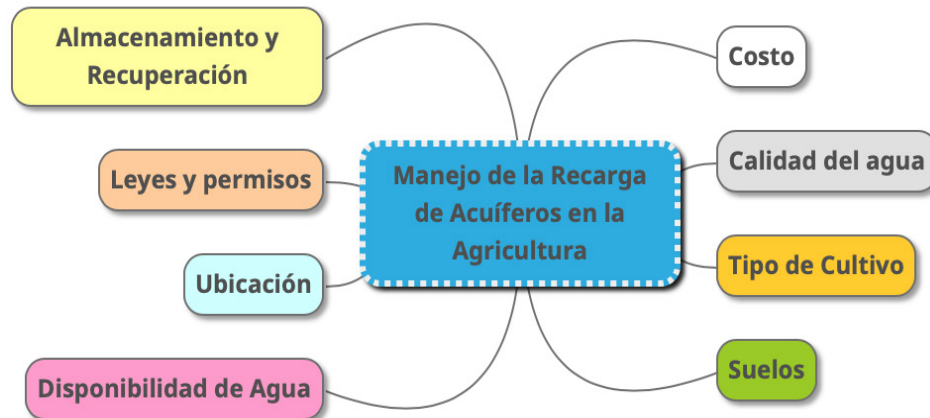


Figura 4. Factores para considerar en el diseño de proyectos RAG. Fuente: Modificado de: Dahlke et al., (2018).

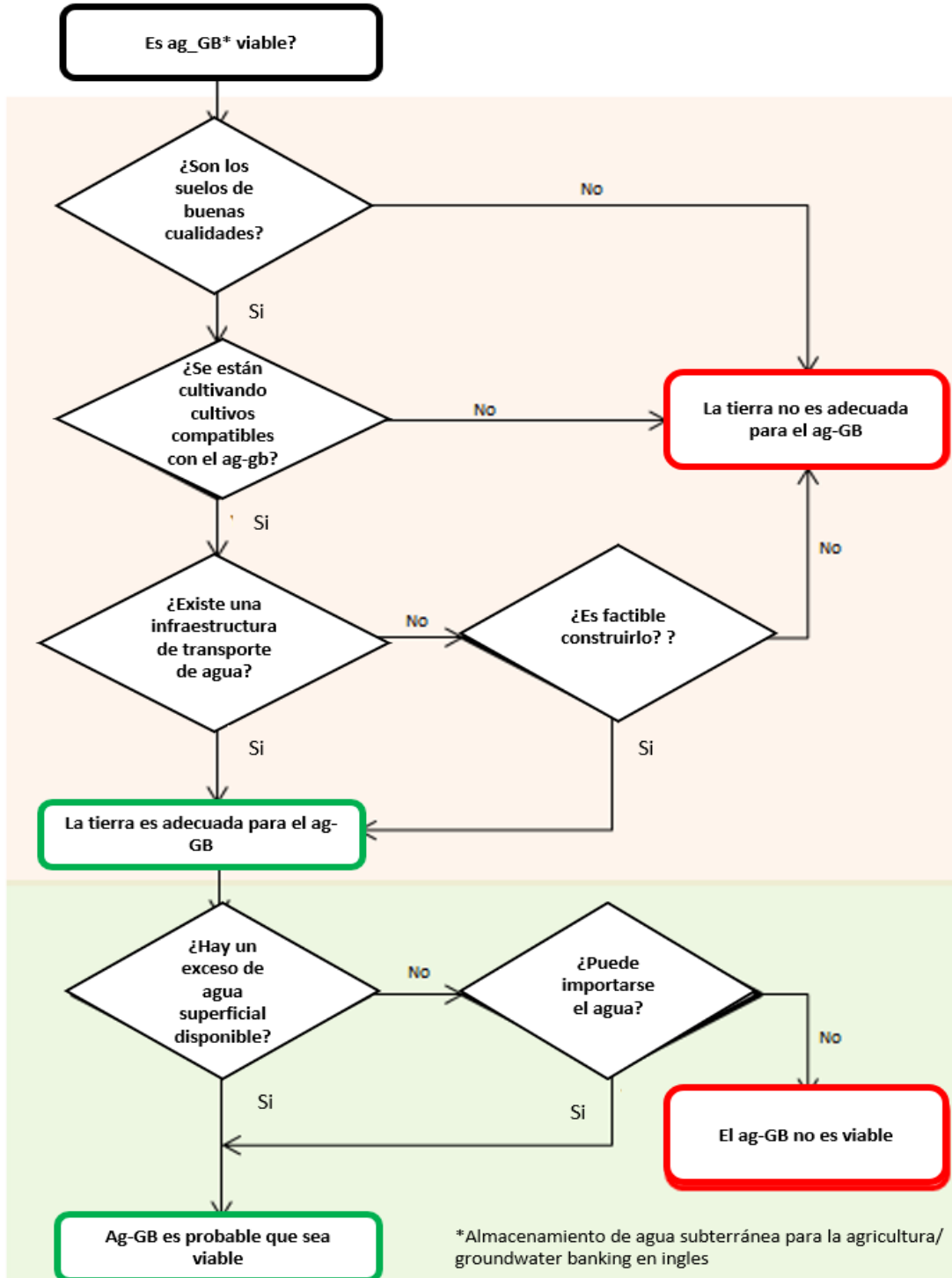


Figura 5. Diagrama de flujo de viabilidad Ag-GB (Agricultural Groundwater Banking). Se muestran los pasos generales para determinar si el Ag-GB es viable en una zona determinada. La parte superior (rosa) del diagrama de flujo se ocupa de los criterios de selección del terreno y la parte inferior (verde) se refiere a la disponibilidad de agua de superficie para el Ag-GB (Rodríguez, 2015).

Disponibilidad de agua

Existen algunos cuestionamientos de los gestores del agua como: "cuáles serán los recursos hídricos alternativos disponible para satisfacer la demanda de agua en todo el estado al tiempo que se reduce el déficit de las aguas subterráneas." Aunque MAR puede llevarse a cabo con cualquier tipo de agua disponible (aguas pluviales, recicladas, desalinizadas, o aguas superficiales), la mayoría de las fuentes de agua (agua reciclada, desalinización) no proporcionan los volúmenes de necesarios para sostener la demanda de agrícola del estado (Dahlke et al., 2018). Sin embargo, los flujos de inundación (es decir, flujos de alta magnitud [HMF]) o flujos que ocurren durante tormentas podrían representar una fuente de agua disponible y accesible para la futura expansión de la recarga de los acuíferos. Los HMF son una fuente atractiva porque la demanda agrícola de agua superficial durante los meses de invierno es baja y es en esta época del año donde ocurren la mayoría de estos eventos. La investigación de Kocis y Dahlke (2017) han encontrado que los HMF medios (los que fluyen por encima del percentil 90) puede proporcionar un promedio de 3.2 km³ de agua superficial en años en que ocurren las HMF. La frecuencia con la que ocurren los HMF en el Valle central de California son 7 de cada 10 años en la cuenca del río Sacramento; 4.7 de cada 10 años en cuenca de San Joaquín; y 2-3 de cada 10 años en la cuenca del lago Tulare (Kocis y Dahlke, 2017). Recientes estimaciones de sobregiro de agua subterránea realizadas por el Departamento de Agua de California varían de 0.6 a 3.5 km³/año, lo que significa que la utilización de estos HMF podrían desempeñar un papel importante en la compensación del sobre-uso de aguas subterráneas (Figura 6) (Kocis y Dahlke, 2017).

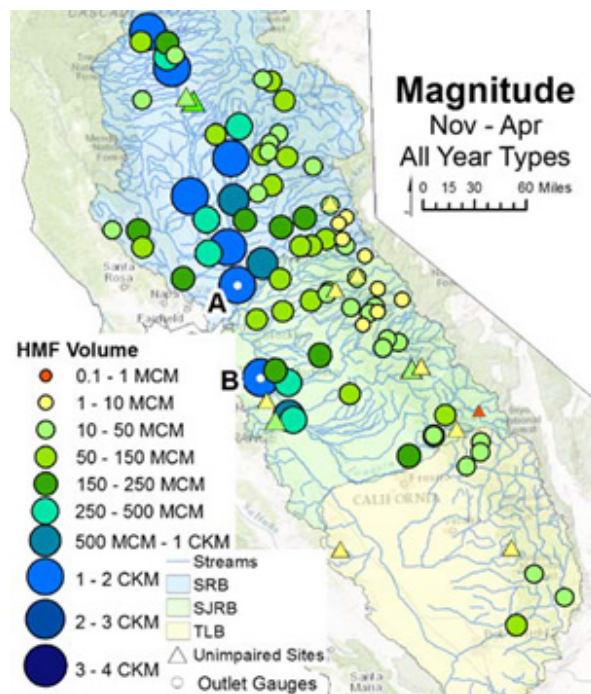


Figura 6. Estimaciones de volumen promedio de la ocurrencia de flujo de alta magnitud (HMF) (flujo > Percentil 90) entre noviembre y abril de un total 93 medidores de arroyos ubicados dentro de la cuenca del Valle Central. A y B denotan las ubicaciones de los dos medidores de salida. MCM y CKM representan millones de m³ y km³, respectivamente (Dahlke et al., 2018).

Infraestructura

Es importante reconocer que la estructura existente de transporte de agua puede ser inadecuada para transportar

flujos de inundación de gran magnitud. Bachand et al., (2011) encontraron la preparación de campo que permite la infiltración relativamente rápida y barata en tierras con cultivos, en comparación con el almacenamiento de superficie a gran escala o incluso con piscinas de infiltración. Sin embargo, la capacidad de los equipos de transporte existentes (tuberías y bombas) podría limitar los suministros de flujos de inundación. El Departamento de Recursos Hídricos de California identificó que la capacidad de transporte es un factor limitante para proyectos de almacenamiento de aguas subterráneas (C. D. of Water Resources, 2017). Esta limitante se puede superar con una mayor implementación de SGMA, que promueva más recarga de agua subterránea dentro del estado y mayor disponibilidad de fondos públicos como “Calidad, Suministro e Infraestructura del Agua de California ley de 2014”, la cual proporciona alrededor de \$ 2.7 mil millones para el mejoramiento de la infraestructura y almacenamiento de agua.

Capacidad del Suelo

Aunque los campos agrícolas presentan una oportunidad prometedora para MAR, la capacidad de cada sitio debe evaluarse en función de una serie de factores. Reciente una investigación de capacidad de suelos para MAR-Ag basada en la encuesta nacional de suelos, identificaron cinco factores que son críticos para el éxito de estos proyectos en California (O’Geen et al., 2015). El índice de SAGBI considera percolación profunda, tiempo de residencia en la zona radicular, topografía, limitaciones química y condición de la superficie del suelo.

El factor de percolación profunda captura la capacidad de un sitio para transmitir agua a través del perfil del suelo (1.5 m superiores), y está determinado por el horizonte del suelo con la conductividad hidráulica saturada más baja (Ksat). Este factor es importante cuando se utilizan grandes cantidades de agua, como flujos de inundaciones para MAR, que solo están disponibles por períodos esporádicos de corta duración durante tormentas y eventos de deshielo en primavera (O’Geen et al., 2015).

El tiempo de permanencia en la zona de la raíz es una medida de la duración de las condiciones de saturación o casi saturadas en el perfil del suelo y derivado de la media armónica de Ksat de todos los horizontes en el perfil del suelo, de la clase de drenaje del suelo y de las propiedades de contracción-hinchamiento. Condiciones de casi insaturación tienen el potencial de impactar negativamente la salud de la raíz de cultivos, reducir los rendimientos o causar condiciones anóxicas indeseables. Tanto el factor de percolación profunda como el tiempo de residencia de la zona radicular son controlados por la presencia de capas de arcilla menos permeables. Una capa de arcilla confinada o semiconfinada con baja conductividad hidráulica puede impedir la filtración del agua hacia la capa freática. La filtración profunda es una consideración de cuánta agua alcanzará realmente la capa freática, mientras que el tiempo de residencia de la zona radicular considera cómo la salud del cultivo se verá afectada por las condiciones prolongadas de inundación asociadas a eventos de inundación (Dahlke et al., 2018).

El factor de limitación química de SAGBI considera la salinidad y el potencial de lixiviación del suelo de un sitio. En California, sales de los sedimentos marinos a lo largo del rango costero, así como las prácticas de manejo del riego, han llevado a la acumulación de sales en los suelos, que puede representar una amenaza de contaminación a los recursos hídricos subterráneos. Se están realizando investigaciones adicionales sobre otros factores químicos de contaminación en campos agrícolas, incluyendo nitratos y plaguicidas. Los últimos factores a considerar son la topografía (pendiente del sitio) y la susceptibilidad del suelo al cambio físico, como erosión o compactación. SAGBI incorpora estos cinco factores de acuerdo con su importancia relativa para MAR-Ag. En muchas partes del valle central de California, capas de baja permeabilidad (ricas en arcilla o consistentes en carbonatos precipitados) se encuentran debajo de la zona de la raíz, impidiendo la percolación profunda y aumentando el tiempo de residencia en la zona raíz. Algunas de estas características de restricción pueden ser aliviadas temporalmente por prácticas de labranza profunda, utilizando maquinaria a una profundidad de 0.5-0.6 m, antes de plantar. La labranza profunda puede resultar en aumentos significativos en la cantidad de tierra apta para MAR-Ag (O’Geen et al., 2015). En California, cerca de 2.03 millones de hectáreas de tierras agrícolas, fueron calificados como excelente, bueno y moderadamente bueno para almacenamientos de agua subterránea (Figura 7). Estos representan un 28% de la tierra agrícola en todo el estado. Sin embargo, al considerar la tierra

labrada, el área adecuada MAR aumenta a 2.25 millones de hectáreas, o a un 31% del área total de tierras agrícolas. Esta estimación preliminar asume que se cuenta con la infraestructura para suministrar agua a todas las tierras agrícolas disponibles, y que 0.3 m por día de agua está disponible para su infiltración. Sin embargo, se necesitan ensayos de campo que evalúen las tasas de infiltración de diferentes suelos (Dahlke et al., 2018).

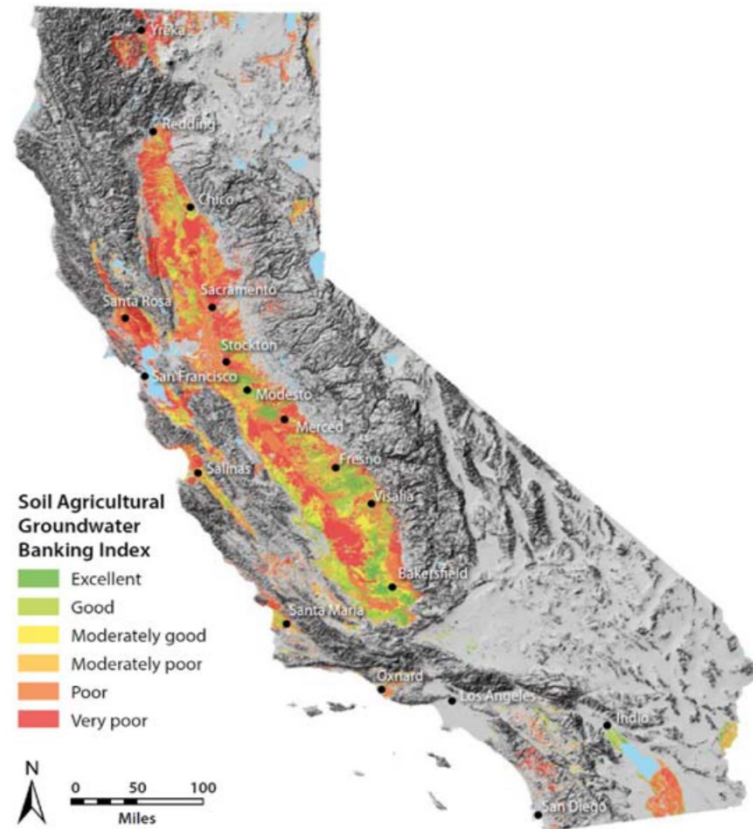


Figura 7. Índice de Bancos de Aguas Subterráneas Agrícolas del Suelo (SAGBI). Calificaciones de California Suelos basados en su idoneidad para MAR- Ag (O’Geen et al., 2015).

Tolerancia de Cultivos

Una preocupación para la implementación de MAR-Ag a gran escala es el potencial efecto negativo que podría tener en la salud y rendimiento de los cultivos, que dependen de la capacidad del cultivo para tolerar inundaciones o condiciones de anegamiento en la zona radicular, y las propiedades del suelo. Los efectos de inundaciones prolongadas en la salud de la raíz, específicamente condiciones anóxicas, deben ser evaluadas. La disminución de la salud de la raíz puede resultar en una menor absorción de nutrientes, impactando en los rendimientos medios anuales (Dahlke et al., 2018). Recientemente, eventos experimentales de inundación para MAR en parcelas de alfalfa, han mostrado una pérdida de rendimiento mínima cuando se anegó durante los meses de invierno (latencia del cultivo) en suelos altamente permeables. Aunque se observaron condiciones reducidas de oxígeno en la zona radicular, los suelos regresan a las condiciones de pre-fluido dentro de varios días después del cese de las aplicaciones de recarga de agua (Dahlke et al., 2018). Otras investigaciones han corroborado estos resultados, no encontrando disminuciones significativas en el rendimiento en huertos de pistacho o alfalfa, y ningún daño observable en la raíz de los árboles de pistacho o vides de vino (Bachand et al., 2014) yet flood flow frequency, duration, and magnitude vary greatly as upstream reservoir releases are affected by snowpack, precipitation type, reservoir volume, and flood risks. This variability makes dedicated, engineered recharge approaches expensive. Our work evaluates leveraging private farmlands in the Kings River Basin to

capture flood flows for direct and in lieu recharge, calculates on-farm infiltration rates, assesses logistics, and considers potential water quality issues. The Natural Resources Conservation Service (NRCS. Para evitar lesiones en cultivos perennes en suelos menos adecuados (suelos con una calificación SAGBI de moderadamente buenos o menor), las tierras podrían inundarse cuando estén en barbecho, lo que reduce el riesgo de daños en la raíz o disminución del rendimiento. Hasta ahora, MAR-Ag no ha tenido ningún efecto negativo significativo en la salud de la raíz de los almendros o en el rendimiento de los cultivos de alfalfa en suelos con alta tasas de percolación (Bachand et al., 2014) yet flood flow frequency, duration, and magnitude vary greatly as upstream reservoir releases are affected by snowpack, precipitation type, reservoir volume, and flood risks. This variability makes dedicated, engineered recharge approaches expensive. Our work evaluates leveraging private farmlands in the Kings River Basin to capture flood flows for direct and in lieu recharge, calculates on-farm infiltration rates, assesses logistics, and considers potential water quality issues. The Natural Resources Conservation Service (NRCS. Para garantizar esto, es aconsejable priorizar la implementación de MAR-Ag en suelos clasificados con buenos índices SAGBI.

Costos

En épocas de sequía, cuando se reducen las asignaciones de agua superficial, los agricultores recurren a una combinación de agua subterránea y tierra en barbecho para abastecer sus necesidades de riego. Sin embargo, el agotamiento del agua subterránea a largo plazo amenaza la capacidad del acuífero para servir de amortiguador en épocas de sequía. Durante la sequía de 2012-16, con un aumento de cinco veces el bombeo de aguas subterráneas, se estimaron pérdidas de 228,242 ha de terrenos agrícolas en ingresos de \$ 1.8 mil millones (Hanak y Mount, 2015; Dahlke et al., 2018). Los costos de bombeo de agua subterránea aumentan medida que caen los niveles freáticos, como lo indicó un aumento promedio de 39% en costos de bombeo durante la sequía de 2012-16 (Hanak y Mount, 2015; Dahlke et al., 2018). Los agricultores en California han cambiado hacia sistemas de cultivos perennes de alto valor, que endurecen la demanda de agua, haciendo que las reservas de agua subterránea sean cada vez más importantes en tiempos de disponibilidad reducida de agua superficial.

En comparación con otras estrategias de almacenamiento y suministro de agua tales como la desalinización de agua de mar o el almacenamiento de agua superficial, MAR-Ag ha surgido como un método más económico. Los costos para MAR-Ag se estiman en alrededor de \$0,03 por m³ en comparación con \$1,54 a \$2,43 por m³ para la desalinización de agua de mar, \$1,38 a \$2,27 por m³ para el almacenamiento de agua superficial a gran escala, y \$0,07 a \$0,89 por m³ para las piscinas de recarga (Dahlke et al., 2018). Costos asociados con MAR-Ag incluyen mano de obra, preparación de la tierra, combustible, mejora en la infraestructura y un cultivo agrícola adecuado. Además, si se utiliza el exceso de agua superficial para la recarga en lugar de (usar el agua excedente de la superficie para regar), los costos de bombeo de aguas subterráneas para riego pueden ser evitados o parcialmente compensados dependiendo de la demanda del cultivo. Finalmente, si se desvían los flujos de inundación, los costos asociados con la inundación pueden ser mitigados. Desde 1983, han habido 3 años (1983, 1995 y 1997) donde los daños por inundaciones a lo largo de los ríos Kings y San Joaquín, causaron entre \$1,200 millones en pérdidas (Dahlke et al., 2018).

Impacto en la calidad del agua

A pesar del creciente interés en MAR-Ag en California, el potencial para contaminación del agua subterránea con nitratos, sales y pesticidas como resultado de las inundaciones agrícolas deben evaluarse antes de que ocurra una implementación generalizada. Los niveles de nitrato en los pozos de suministro público en California están aumentando a una tasa promedio de 2.5 mg/L por década en grandes porciones del valle central, y muchos pozos exceden el nivel máximo de contaminantes (45 mg/L) establecido por el Departamento de Salud Pública de California. MAR-Ag tiene el potencial de eliminar contaminantes, incluyendo nitrato, fuera de la zona de la raíz hacia el nivel freático. El tiempo de transporte de los nitratos desde la superficie terrestre hasta el agua subterránea puede variar dependiendo de factores como la profundidad al agua subterránea, la conductividad hidráulica de los suelos, sedimentos de la zona vadosa subyacente, y el régimen hidrológico de la región (precipitación anual, eficiencia de riego). La acumulación de nitrato en el suelo y en la zona no

saturada sobre el nivel freático se produce como resultado de la fertilización excesiva y del riego ineficiente. El uso de fertilizantes NPK (nitrógeno, fósforo, potasio) en los sistemas de producción agrícola de California puede seguir aumentando en el futuro a medida que aumente la demanda por alimentos. Sin embargo, algunas investigaciones muestran que los cultivos utilizan solo el 50% del fertilizante de nitrógeno aplicado. Esta baja eficiencia del uso del nitrógeno en la zona radicular puede sufrir procesos de desnitrificación y desgasificar a la atmósfera como óxido nitroso (N₂O), nitrógeno gas (N₂), óxido nítrico (NO), o lixiviación (Figura 8).

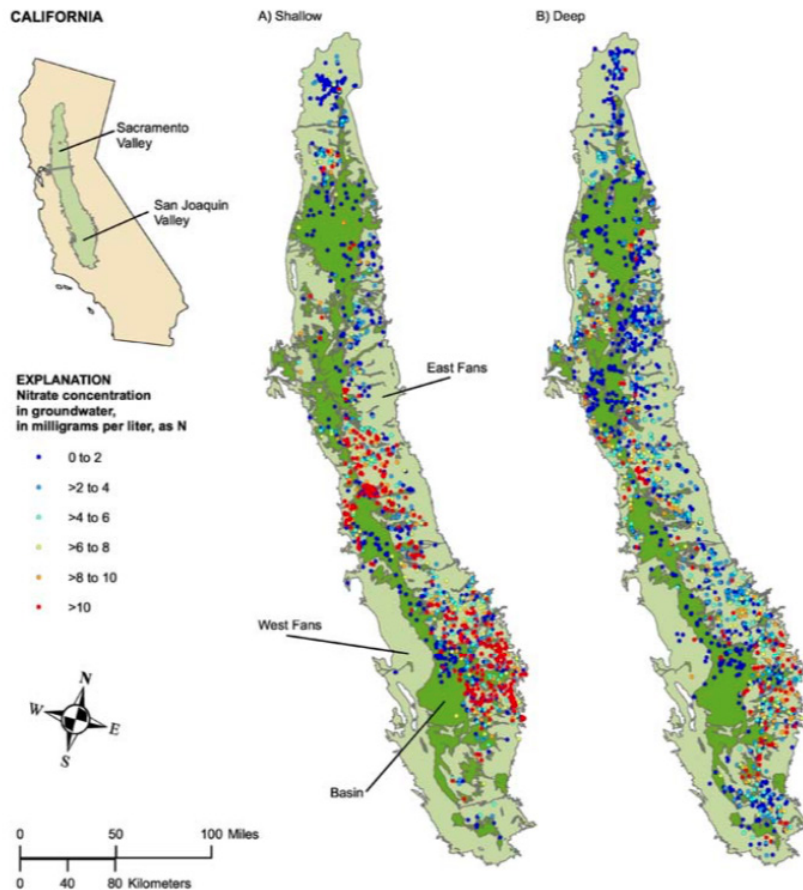


Figura 8. Concentraciones de nitrato modeladas para el Valle Central de California (EPA Water El estándar para NO₃-N es 10 mg/L). El sombreado verde oscuro indica la cuenca central, mientras que sombreado verde claro indica los abanicos aluviales occidentales y orientales (Ransom et al., 2017).

El transporte de nitratos y su contaminación en las aguas subterráneas han sido un importante tema de investigación en los últimos años. Estudios en el valle central de California han investigado los efectos de la lixiviación de nitrato de los huertos de almendros en función de la fertilización, el tiempo y las prácticas de irrigación. Los autores encontraron que la lixiviación de nitratos se minimizó cuando las aplicaciones de fertilizantes ocurrieron en el final de los eventos de riego y maximizó cuando ocurrieron eventos de inundación antes de floración o postcosecha (Baram et al., 2016) three fertigation strategies were compared: current BMP with and without accounting for NO₃--N in irrigation-water, and a high frequency fertigation treatment with low-N concentration applications. Temporal changes in water content, pore water NO₃- concentrations and soil water potential were monitored within and below the root zone to a soil depth of 3 m at eight sites in an almond and a pistachio orchard. NO₃- concentrations below the root zone ranged from <1 mg L⁻¹ to more than 2400 mg L⁻¹ (almond). En California, la agricultura de regadío se identifica como la mayor fuente de contaminación por

nitratos del agua subterránea en el sur del valle central. Por ejemplo, se ha realizado investigación utilizando una versión modificada del índice de riesgo de contaminación de aguas subterráneas de la Universidad de California para identificar áreas de alto riesgo para la lixiviación de nitratos debido a prácticas agrícolas utilizando parámetros característicos del suelo, tipos de sistemas de riego (rociadores o goteo), y el uso de nitrógeno en diferentes cultivos (Dahlke et al., 2018).

MAR-Ag usa cantidades de agua de magnitud mayor que los típicos sistemas de riego por aspersión o goteo, lo que potencialmente reduce el tiempo de tránsito del transporte de nitratos a través de la zona vadosa y permite la movilización del nitrato previamente omitido por flujo preferencial. Aunque implementando MAR-Ag probablemente dará como resultado un pulso descendente inicial de nitrato de en la zona raíz, se propone que los sucesos de inundación posteriores en un sitio de campo puedan dar como resultado un efecto de dilución. Aquí es donde el pulso de nitrato inicial es compensado por agua de mayor calidad que viaja por las mismas vías para recargar aguas subterráneas. La cantidad requerida para que se produzca este efecto dependerá de la cantidad de nitrato presente en la zona insaturada y de las características de los medios porosos como la conductividad hidráulica, la porosidad y el grado en que se produce un flujo preferencial durante los eventos de inundación (Dahlke et al., 2018).

Casos de Estudio de MAR-Ag

Recientes estudios están explorando el uso de inundaciones en campos agrícolas para propósitos de MAR. Existe limitaciones y los riesgos asociados con el uso de tierras agrícolas para almacenamiento de agua. Para MAR, los campos agrícolas requieren: a) suelos con buenas tasas de infiltración, b) infraestructura de transporte de agua existente (canales o zanjas) y c) cultivos tolerantes a inundaciones inactivos (o en barbecho). Estos requerimientos físicos serían sólo criterios iniciales para identificar sitios potenciales, ya que se deberían implementar además importantes cambios regulatorios e institucionales. También se necesitan otras adaptaciones específicas del sitio, como la preparación del terreno y la colocación de nuevos equipos para inundar (si es necesario). La participación de agricultores y terratenientes también requeriría estudios específicos de la región, al igual que la creación de incentivos para involucrarse en dichos programas.

Otro efecto secundario potencial de los bancos de agua subterránea en las tierras agrícolas es su impacto en la calidad del agua de las sales de lixiviación y el nitrato. Un ejemplo piloto es el realizado en Terranova Ranch en el sur del valle central. Aunque la implementación total de este proyecto todavía está en proceso (Bachand et al., 2016), sirve como base para otras agencias interesadas en implementar programas similares. Los aspectos más destacados de este proyecto se presentan aquí; un informe técnico completo se encuentra en Bachand et al., (2016).

Terranova Ranch (TR)

Está ubicado en el oeste del condado de Fresno, adyacente a James Bypass, recibe aguas de inundaciones desde el reservorio Pine Flat entre diciembre y julio. En TR se cultivan diferentes tipos de cultivos, incluidos viñedos, huertos, alfalfa y cultivos en hileras. La propiedad se encuentra en suelos con margas arenosas y arenas limosas. Los experimentos sobre las tasas de infiltración, las respuestas de los cultivos a las inundaciones y la calidad del agua se llevaron a cabo en 4.046.856 m². El objetivo principal del proyecto es utilizar esta tierra tanto para la agricultura como para el control de inundaciones. Los hallazgos clave de este experimento son:

- Se requirieron pequeñas adaptaciones para recibir los flujos: se colocaron bermas para permitir que los campos se inundaran poco a poco y se alquilaron bombas para mover el agua del canal a los campos. Es probable que se requieran bordes o bermas en los campos que utilizan rociadores o riego por goteo.
- Las tasas de infiltración disminuyeron de más de 12,7 cm/día a 5.7 cm/día dentro de los primeros 20 días, después las tasas de infiltración se mantuvieron en 5.7 cm/día. Esto proporciona información valiosa en términos de cuánto tiempo y superficie necesita para infiltrarse en el agua.
- Los viñedos poseen la mayor tolerancia a las inundaciones.

- Los costos de bombeo se compensan cuando una parte del flujo de inundación se usa para recargar el acuífero haciendo que los niveles de agua subterránea se elevaran con la recarga de agua. En TR se calculó que el uso del 25% del flujo de inundación para la recarga generaría suficientes ahorros en los costos de bombeo de agua subterránea respaldando un programa activo de captura de flujo de inundación.
- La salinidad en el agua subterránea aumentó y se espera que continúe aumentando en el corto plazo. Sin embargo, la captura continua del flujo de inundaciones en el futuro mejorará la calidad del agua subterránea en el tiempo.

Los resultados de este experimento piloto abren la puerta a más investigaciones y crean una pauta para la implementación de programas similares en California, particularmente en áreas como el Valle de San Joaquín donde la agricultura de riego ha hecho un sobre uso de los acuíferos subyacentes.

Segundo caso de estudio- río Kings (Uvas, Alfalfa y Pistachos)

Un caso de estudio en la cuenca del río King examinó las tasas de infiltración de aguas desviadas del río a una prueba MAR-Ag de 405 ha para estimar la cantidad de tierra necesaria para capturar los flujos de inundaciones. Así como en gran parte del valle central de California, el río Kings se caracteriza por un sobregiro anual de 0.20 km³ y con aguas subterráneas en niveles 60 m por debajo de la superficie. Las inundaciones fluyeron desde el río King entre 14 y 160 m³/s durante los 42 años estudiados y excedió la capacidad de inundación del canal Kings River en un intervalo de recurrencia de 7 años. Bachand et al., (2016) realizaron un estudio piloto de MAR-Ag en tres sistemas de cultivo (uvas, alfalfa y pistacho) y en tierras con barbecho (antes de la cosecha) en suelos que van desde margas arenosas a arenas limosas de las cuales se consideró que la mayoría tenía tasas de infiltración limitadas. Flujos desviados en este estudio variaron de 0.06 a 0.6 m³/s, con 3.8 x 10⁶ m³ de agua desviada. Las tasas de infiltración oscilaron entre 6.8 cm/día en margas arenosas y 40 cm/día en arenas francas y gruesas, con una media de 10.7 cm/día. El agua total aplicada osciló entre 0.5 y 3 m con una profundidad de 3–36 m, con mayores volúmenes correlacionados positivamente con el número de días inundados. El estudio encontró que se necesitan 1.6–4 ha para capturar 0.03 m³/s de agua desviada. Aunque los estudios de suelo clasificaron estos sitios con un potencial de infiltración más bajo, la preparación del suelo, incluyendo la labranza profunda de la capa de confinamiento subyacente, permitió mayores tasas de infiltración. Por lo tanto, aunque el levantamiento de suelos es útil en la focalización inicial de los sitios potenciales para la recarga, las anomalías específicas del sitio y las prácticas de manejo del suelo deben tenerse en cuenta en la planificación de MAR-Ag (Dahlke et al., 2018).

Riego ineficiente y filtración en canales

El bombeo de agua subterránea para riego representa un componente importante de descarga del presupuesto hídrico de un acuífero. Sin embargo, las ineficiencias en el riego provocan pérdidas de agua por debajo de la zona de la raíz que, a su vez, contribuyen a la recarga de agua subterránea. En regiones agrícolas áridas, la percolación del exceso de agua de riego (agua aplicada en exceso de la demanda de cultivos) puede contribuir más a la recarga de los acuíferos subyacentes que, por ejemplo, recarga de bloque de montaña (MFR). Un estudio encontró 0,04–0,08 km³/año de recarga de agua subterránea por exceso de agua de riego y solo 0,002 km³/año de recarga de recarga por MFR (Howell, 2003; Dahlke et al., 2018). Eficiencias regionales de riego promedio en un período de 22 años (1984–2009) son: 70% de la demanda de cultivos y 30% de recarga de los acuíferos subyacentes, similar al rango de eficiencia de riego del 40%–80% dada para sistemas alimentados en la Encyclopedia of Water Science.

En el valle central de California, el 50% de los cultivos son irrigados con sistemas de microirrigación a diferencia de inundación. Se cree que el aumento de la eficiencia de riego (proporción entre el agua utilizada por la planta y la evapotranspiración al agua) conduce a ahorro de agua. Sin embargo, un aumento en la eficiencia de riego ha demostrado aumentar el uso total de agua al permitir un uso más intensivo del agua de riego (aumentan los rendimientos por hectárea, así como el uso de agua por hectárea) y la ha permitido la expansión de tierras de cultivo irrigadas. Un caso de estudio el realizado por Ward y Pulido-Velázquez (2008) en Albuquerque (NM)

y El Paso (TX), encontró que al aumentar las subvenciones del riego por goteo de 0% al 100%, el total de agua aplicado a los campos agrícolas disminuyeron en 0,05 km³ y el bombeo de agua subterránea disminuyó en 0,04 km³; sin embargo, la recarga de agua en el acuífero se redujo en 0,03 km³, y el uso total de agua aumentó en 0,04 km³. Este resultado se atribuye al riego por goteo que causó una mayor evapotranspiración del cultivo total, mayores rendimientos de los cultivos y menor exceso de agua de riego, que se filtra debajo de la zona de la raíz al acuífero. Además, este ahorro de agua se puede utilizar para ampliar el área de riego de una explotación agrícola o aplicarla a cultivos más intensivos en agua, y por lo tanto queda menos agua disponible que contribuya a la recarga de agua subterránea. El cambio a los sistemas de riego de alta eficiencia también tiene el resultado indeseable de que más agricultores utilizan solo agua subterránea para goteo/microirrigación (debido a la mejor calidad del agua) incluso en momentos en que el agua de superficie está disponible, lo que lleva a un mayor uso de agua subterránea y su agotamiento. Basado en una encuesta de 21 distritos de agua en California, Burt y Monte (2008), encontraron que el factor principal para el uso de aguas subterráneas para goteo/micro-riego fue la falta de flexibilidad del servicio de entrega de aguas superficiales a los campos.

Otras fuentes de recarga de agua subterránea en áreas agrícolas incluyen fugas en los sistemas de transporte de agua superficial (canales sin revestimiento, zanjas, tuberías con fugas). Carrol et al., (2010) encontraron que los canales de suministro de agua superficial pueden perder un promedio del 20% del agua por fugas y desviarla al agua subterránea, y que además en los años húmedos, la recarga de agua subterránea por fugas de canal puede significar un 33% de las entradas de agua subterránea (0,03-0,05 km³/año). En algunas zonas de California, los gestores de agua liberan intencionalmente las aguas superficiales de los embalses a los canales para recargar aguas subterráneas. Sin embargo, los canales que se construyen están revestidos con concreto para reducir la filtración y aumentar transporte lateral de agua superficial y por lo tanto no son fuentes de recarga de agua subterránea (Dahlke et al., 2018).

Anexo 2.5.2.- Flood-MAR (DWR, 2018)

Flood-MAR ejemplifica la gestión integrada del agua. El concepto está diseñado para ser multi beneficio, proporcionando riesgo de inundación, preparación para la sequía, reposición de acuíferos, mejora del ecosistema y otros beneficios potenciales. También es una estrategia prometedora de adaptación al cambio climático que adopta un enfoque integrado para ayudar a abordar dos de los más desafiantes elementos de cambios climáticos futuros: flujos de inundaciones más llamativos/intensos y sequías más prolongadas/profundas. Además, las tierras agrícolas y los paisajes de trabajo son activos a medida que se convierten en vías efectivas y esenciales para el almacenamiento de agua. En la práctica, los proyectos deben ser cuidadosamente planificados, operados y diseñados para lograr estos importantes beneficios.

La Figura 9 ilustra los elementos básicos de Flood-MAR.

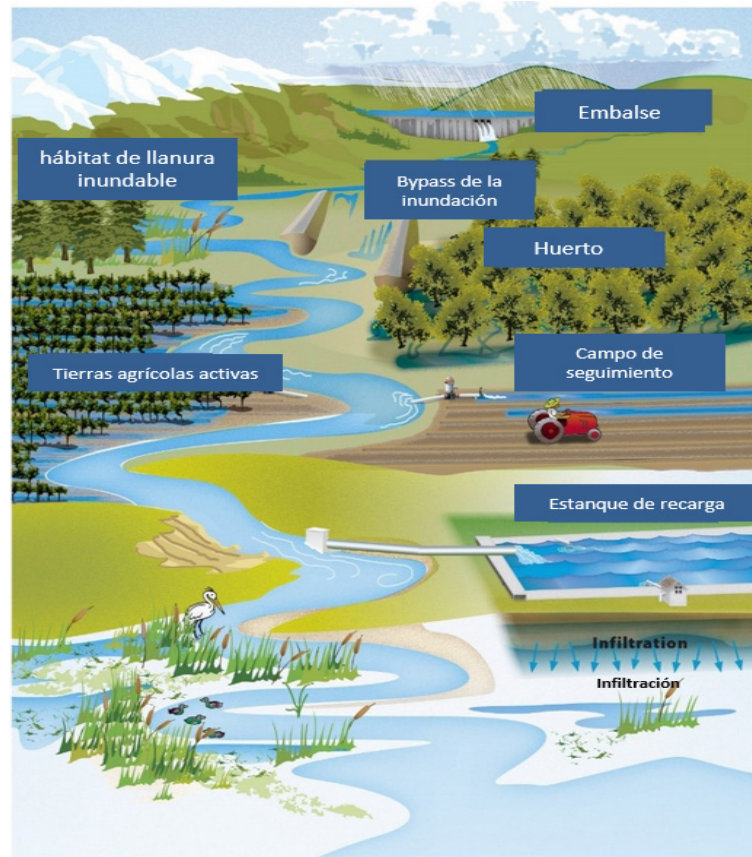


Figura 9. Elementos de Flood-MAR (DWR, 2018).

Las comunidades han trabajado tradicionalmente de manera independiente en la protección contra inundaciones y de gestión de aguas subterráneas. En algunos aspectos, esto se ha hecho por diseño, como las agencias de protección contra inundaciones que trabajan para mantener las aguas de inundación fuera de la propiedad, dejando la gestión del agua subterránea a las agencias locales de agua y terratenientes. Con la aprobación e implementación de SGMA, en combinación con eventos extremos inducidos por el clima, es clara la lógica para que estas comunidades se asocien e integren. Esta asociación ayudará a reducir los impactos de cambios futuros entre flujos altos y bajos períodos de tiempo mientras cumplen con los objetivos de sus comunidades, con la ventaja de mejorar los ecosistemas de llanuras de inundación, paisajes de trabajo, y la participación de la comunidad agrícola en las soluciones necesarias, entre otros beneficios.

Flood-MAR puede implementarse a múltiples escalas, desde propietarios de tierras individuales que desvían el agua de la inundación con las existentes infraestructuras, al uso de extensas áreas de detención/recarga. Lograr el potencial y el valor de Flood-MAR para California requerirá una amplia integración en el sistema de agua de Flood-MAR con otros esfuerzos de recarga regional, cambiando la gestión del sistema de agua de California integrando mejor las aguas superficiales y subterráneas, mejorando el transporte, el almacenamiento y las operaciones. Además, se debe considerar las oportunidades de Flood-MAR relacionadas con el transporte y las transferencias de agua.

Beneficios

Existe un claro interés del Estado de California para alentar y participar en los proyectos de Flood-MAR, porque pueden proporcionar múltiples beneficios públicos y privados para los californianos y los ecosistemas del

estado. Los beneficios públicos potenciales incluyen:

- Reducción del riesgo de inundación.
- Preparación para la sequía.
- Reposición de acuíferos.
- Mejora del ecosistema.
- Mitigación de la subsidencia.
- Mejora de la calidad del agua.
- Conservación y administración del paisaje laboral.
- Adaptación al cambio climático.
- Recreación y estética.

Los beneficios privados incluyen una mayor confiabilidad del suministro de agua para usos de agua urbanos y agrícolas a través del suministro directo y mejoras en la flexibilidad del sistema. Los proyectos de Flood-MAR pueden cambiar las condiciones del sistema de recursos económicos, ambientales o de agua a nivel local, regional o estatal. Los cambios pueden ser beneficiosos, como se indicó anteriormente, o pueden ser adversos, como los impactos del hábitat terrestre a nivel de sitio del proyecto. Los beneficios e impactos potenciales serán específicos del proyecto y deberán ser considerados cuidadosamente antes de la implementación del proyecto.

Desafíos

Las barreras y los desafíos técnicos, legales e institucionales complejos afectan la planificación y la implementación de Flood-MAR, y hay que buscar estrategias para superarlos a través de una apertura diálogo, sólido liderazgo, sólidas asociaciones, financiamiento, investigación innovadora y proyectos piloto. Las barreras y los desafíos están organizados por los siguientes temas:

- Cooperación y Gobernanza.
- Política.
- Legal, incluidos los derechos de agua y reglamentación.
- Implementación, incluido el uso del suelo, recarga, recuperación, transporte, operación de reservorios, economía, consideraciones medioambientales, y creación de datos y capacidades.

DWR planea trabajar con otros estados, federales, tribales, y entidades locales; academia y los propietarios de tierras para aprovechar el conocimiento y las lecciones de estudios pasados, en curso y programas, para ampliar la integración de la gestión de inundaciones y aguas subterráneas. Se requieren proyectos piloto y estudios de factibilidad para probar y demostrar los beneficios e impactos potenciales de la inundación de los proyectos MAR. Los aspectos económicos, ambientales, institucionales y operativos de los proyectos de Flood-MAR deben ser bien entendidos para asegurar asociaciones exitosas y aprovechar múltiples fuentes de financiamiento.

Conforme a los fondos disponibles, DWR planea iniciar un programa Flood-MAR y, en asociación, implementar

el Marco de Investigación y Desarrollo de Datos⁸. El propósito del Marco de investigación y desarrollo (I&D) es identificar y clasificar los temas de relevantes de Flood-MAR y coordinar la investigación continua y futura de estudios piloto en torno a un plan de investigación común. El marco de I&D identificará vacíos en datos, información y conocimiento, y esbozará métodos para desarrollar, revisar y distribuir la información entre las partes interesadas. También ayudará a informar el desarrollo de los estudios de Flood-MAR.

Hay varias consideraciones importantes al implementar proyectos de Flood-MAR. La Figura 10 describe los factores fundamentales para implementar esta estrategia de gestión de recursos.

Gobernanza y Coordinación

La gobernanza y la coordinación pueden ser el factor más crítico en el desarrollo de proyectos exitosos de Flood-MAR. Estas son esenciales para comprender las necesidades y oportunidades locales y del sistema; desarrollar las alianzas y acuerdos necesarios; navegar en el proceso de permisos; coordinar las operaciones de las instalaciones haciendo ajustes planificados y en tiempo real. Los sistemas de agua en California son muy complejos, no solo en hidrología, sino en la forma en que se realiza y coordina la gestión del agua. La infraestructura del agua es propiedad, operada y mantenida por numerosas entidades locales, regionales, estatales, federales, tribales y privadas. Las decisiones de gestión del agua deben coordinarse a través de los límites jurisdiccionales, sectores del agua, intereses, usos y en algunos casos, a través de los límites hidrológicos.

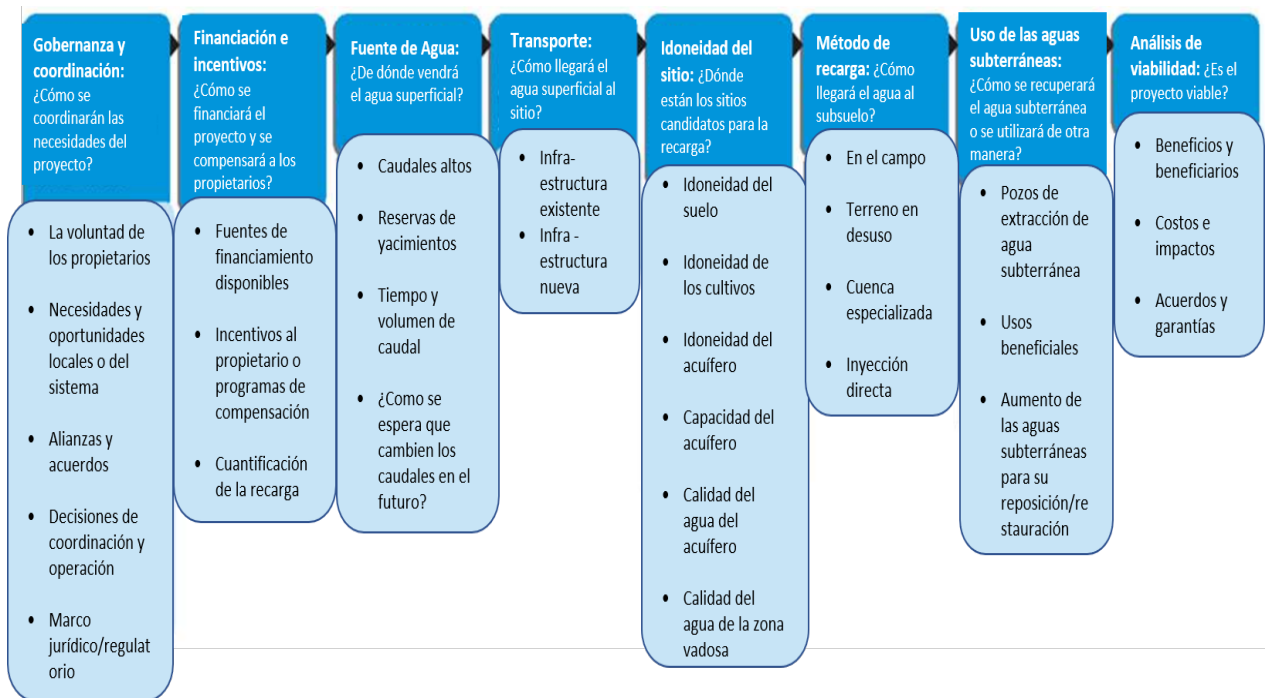


Figura 10. Factores para implementar Flood-MAR (DWR, 2018).

Además de esta complejidad, está la forma en que se gestionan las aguas superficiales y subterráneas en todo el estado. Solo durante los últimos años, las interacciones entre el agua superficial y el agua subterránea y la necesidad de administrar ambos recursos de manera integrada, se han comprendido y abarcado en una escala más amplia (con la ayuda de SGMA).

Se requiere la cooperación de muchas entidades para que Flood-MAR tenga éxito. En primer lugar, Flood-MAR requiere la participación voluntaria de los terratenientes, quienes son compensados por los beneficios públicos

g.- California Department of Water Resources, Flood-MAR: www.water.ca.gov/Programs/All-Programs/Flood-MAR

del uso de sus tierras. Se requiere para que esta estrategia de gestión de recursos sea exitosa la cooperación entre los propietarios, operadores y mantenedores de las instalaciones de gestión de agua pertinentes; potenciales beneficiarios y los propietarios de las tierras que tendrán impactos potenciales. La implementación exitosa de las estrategias de Flood-MAR puede requerir nuevas estructuras de gobierno, toma de decisiones, y acuerdos de operaciones para apoyar la cooperación. No existe una estrategia única para la gobernanza y de cooperación que trabaje en todo el estado. Las estrategias deben ser apropiadas y específicas para la ubicación y las partes involucradas.

Financiamiento e Incentivos

Contar con fondos suficientes y estables para realizar estudios, implementar proyectos piloto y permanentes, operar y mantener proyectos es esencial para lograr los beneficios esperados de Flood-MAR. Actualmente, la mayoría de los proyectos de Flood-MAR son financiados por entidades locales con algún apoyo estatal a través de programas de subvenciones y préstamos. Mecanismos para los proyectos de financiamiento tanto en áreas rurales como urbanas deberán ser evaluados. Aunque las zonas urbanas tienen gran potencial, bases para compartir los costos, todavía dependen de los fondos del subsidio estatal para apoyar la implementación del proyecto financiamiento. Las áreas rurales son un desafío aún mayor y las asociaciones de financiamiento serán fundamentales para la implementación a gran escala. Ser capaz de contabilizar con precisión el agua recargada y aprovechar los múltiples beneficios para compartir costos, también son fundamentales para la financiación proyectos de Flood-MAR. Además, la implementación a gran escala de proyectos de Flood-MAR en terrenos privados requerirá incentivos para los propietarios y/o programas de compensación para incentivar su participación.

Determinación de agua de inundación disponible para recarga

DWR (2019) publicó la actualización del Plan de Aguas de California, como lo exige la SGMA cada 5 años. El informe resume las estimaciones de las aguas superficiales disponibles para la reposición (WAFR - sus siglas en inglés) y se determinaron utilizando una síntesis de información: salidas simuladas mensuales del modelo de Evaluación y Planificación del Agua (WEAP), datos históricos diarios del manómetro, requisitos regulatorios de flujo ambiental, derechos de agua e instalaciones existentes de almacenamiento y transporte. La Figura 11 proporciona un hidrograma simplificado para ilustrar el concepto básico utilizado para determinar el agua superficial disponible para la reposición (se debe tener en cuenta que la capacidad de desvío y los flujos mínimos son variables, y no estáticos en función de varios factores, incluyendo cuencas hidrográficas, reservorios río arriba y tipo de año de agua).

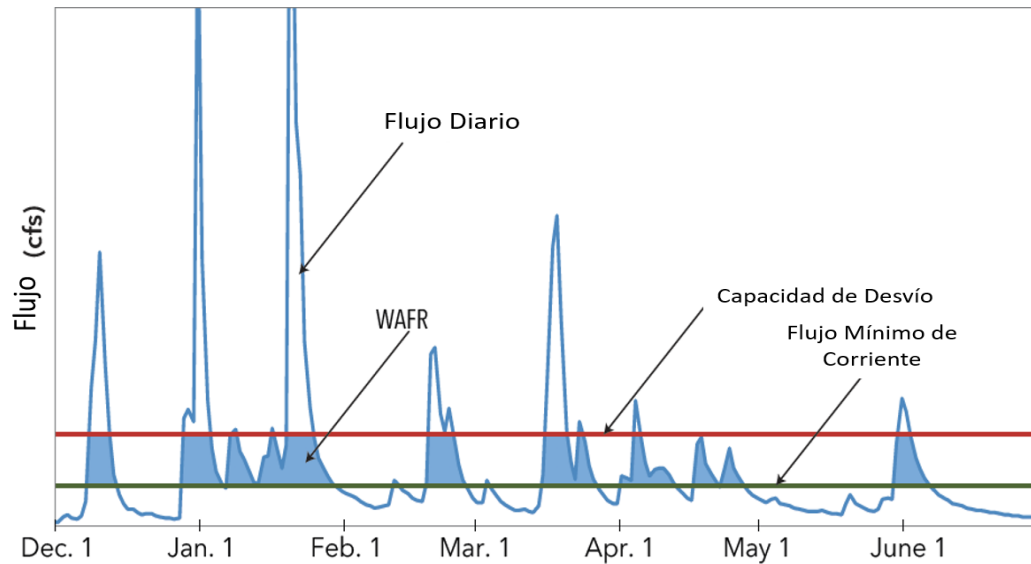


Figura 11. Agua superficial disponible para recarga de acuíferos (DWR, 2019).^h

El término de agua de inundación se utiliza para designar los flujos en un canal que está por encima del flujo regulador (la combinación de los flujos regulatorios de calidad del agua/ambiental y el agua requerida para satisfacer los derechos de agua) y son el resultado de eventos de alta precipitación o deshielo en un año determinado. El análisis WAFR en general considerada agua de superficie “disponible” cuando el flujo de la corriente excedió las demandas de agua existentes y el flujo mínimo, y proporcionó alguna oportunidad para el uso beneficioso adicional; y el agua “disponible” en el análisis WAFR estaba más limitado por la capacidad de división potencial.

Sobre la base del análisis del WAFR, la identificación del agua potencial disponible para los proyectos de Flood-MAR va más allá del uso actual y capacidad de la infraestructura de desvío (ver Figura 12). Además, de las compensaciones se deben considerar los riesgos al evaluar el agua potencial disponible para la recarga de acuíferos. Por ejemplo, la importancia de los eventos de alto flujo en las comunidades acuáticas es necesario entenderla y demostrar que la desviación de los flujos no degradará la calidad del hábitat ni afectará adversamente a las especies acuáticas y ribereñas.

^h- California Department of Water Resources: <https://water.ca.gov>

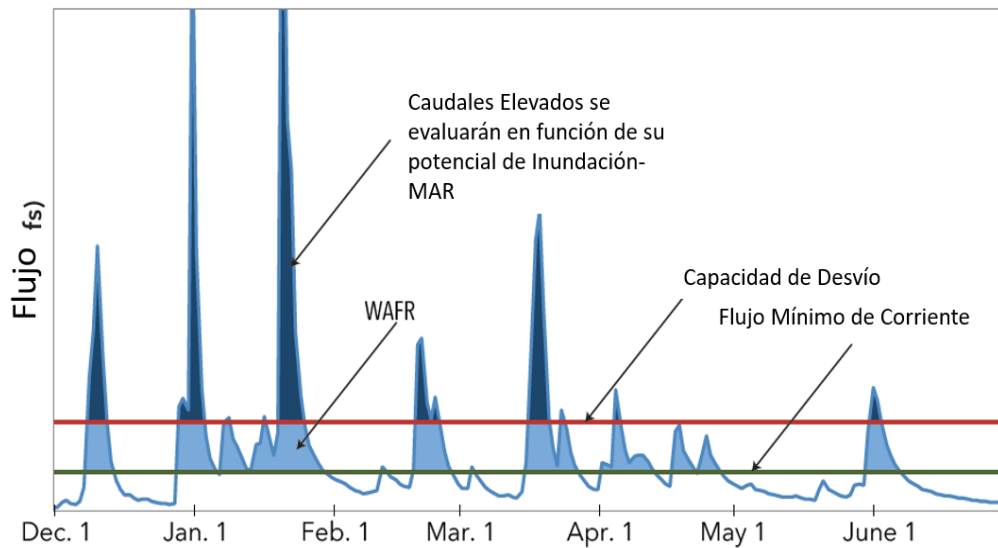


Figura 12. Agua de inundación a ser evaluada para la reposición (<https://water.ca.gov>). Las aguas de inundación son aquellas en azul oscuro. Estos eventos de alto flujo pueden evaluarse como una fuente potencial de agua para las estrategias de Flood-MAR, pero su capacidad de uso dependerá de muchos factores regulatorios y legales (DWR, 2019).

Cuando se consideran los flujos disponibles para la recarga de agua subterránea, la cantidad y el tiempo son factores importantes. La cantidad es la cantidad de agua potencialmente disponible para la recarga de agua subterránea. El tiempo representa cuando está disponible, lo cual es de particular importancia si la recarga se produce en tierras de cultivo activas. El tiempo también es importante para las especies acuáticas. Se entiende que los eventos de alto flujo pueden proporcionar beneficios ambientales, como los flujos de pulso diseñados para proteger especies importantes, y no todos los eventos de alto flujo deben usarse para la recarga de agua subterránea. Además, para muchos beneficios ecológicos y funcionales, los flujos mínimos pueden ser dinámicos. Es importante observar que se espera que la cantidad y el tiempo de flujo en el futuro cambien debido a los efectos del cambio climático. El análisis de cómo los hidrogramas pueden cambiar debido al cambio climático será esencial en el desarrollo del proyecto.

Se anticipa que los hidrogramas tendrán picos de inundación más altos y que ocurrirán más temprano debido al cambio climático. Además, la cantidad y la sincronización de muchas vías fluviales están controladas por reservorios aguas arriba. La operación de los embalses es una consideración crítica para determinar el agua disponible para la recarga de acuíferos administrados.

No solo se espera que los flujos de los ríos cambien debido al cambio climático, sino que también se esperan cambios en la gestión del agua. Estos cambios serían motivados por la reducción en el almacenamiento de agua disponible de la capa de nieve, y el potencial de estrategias en la operación de los reservorios para integrar mejor el almacenamiento de los acuíferos en la gestión del agua de California.

Transporte para recargar zonas

Una consideración importante para los proyectos de recarga es cómo llevar el agua a las cuencas de detención y/o recarga zona. En algunos casos el transporte existente es suficiente en propiedades adyacentes a ríos, arroyos y canales de riego, pero las áreas que actualmente dependen del agua subterránea pueden carecer de instalaciones de transporte de agua superficial. En muchas áreas del estado, la falta de instalaciones de transporte es una restricción para los proyectos de Flood-MAR. Además, muchos usuarios que sobregiran de aguas subterráneas no cuentan con infraestructura suficiente para la recarga de acuíferos.

Las operaciones y capacidades de las instalaciones de gestión del agua son factores importantes al analizar el acuífero a recargar. Por ejemplo, el transporte de agua tendrá características físicas específicas (capacidad de transporte), y las operaciones del sistema pueden limitar la cantidad, o afectar el tiempo, del agua disponible en un sitio específico. Instalaciones de transporte nuevas o modificadas, y la modificación de las instalaciones existentes, son requeridas para maximizar la recarga de acuíferos en todo el estado.

Determinación de la idoneidad de las áreas potenciales de recarga

Varios parámetros físicos determinan la idoneidad potencial de un sitio para proporcionar beneficios de recarga de aguas subterránea. Algunos parámetros pueden requerir una investigación significativa para determinar la idoneidad o los métodos adecuados. No todos los parámetros físicos son importantes para cada mecanismo de recarga (por ejemplo, los requisitos para los depósitos de recarga son diferentes a los de recarga in-situ). Los parámetros físicos importantes incluyen los siguientes:

Adecuación de los suelos para la mayoría de los métodos de recarga directa, el volumen de recarga está controlado por la velocidad de infiltración del suelo y los sedimentos geológicos subyacentes. Las tasas de infiltración serán más rápidas para los suelos arenosos, y mucho más lento para suelos con mayores contenidos de arcilla. La capacidad de infiltración es una medida del volumen de agua que puede ser recargado por unidad de tiempo.

Actualmente, hay algunas herramientas o índices de idoneidad de recarga desarrollados recientemente para California:

1. El índice de almacenamiento de agua subterránea agrícola del suelo (SAGBI) de la Universidad de California, Davis (UC Davis) es índice de idoneidad que utiliza cinco indicadores principales para evaluar el suelo (O'Geen et al., 2015). Esta herramienta está basada fundamentalmente en los inventarios de suelo del Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS), con información adicional de uso. UC Davis ha identificado 1.45 millones de hectáreas de tierras agrícolas en el estado que tienen un excelente o buen potencial para recargar.ⁱ
2. El índice de idoneidad de recarga desarrollado por Land IQ y Almond Board of California se basa en SAGBI y adiciona las características geológicas del subsuelo del Servicio Geológico de los EE. UU. más información sobre la profundidad a las aguas subterráneas de DWR.
3. La Universidad de California, Santa Cruz, ha desarrollado métodos para identificar mapas integrados poco profundos y profundos que incorporan vegetación, suelos, geología subyacente y escorrentía disponible.^j
4. AquaCharge es una herramienta de planificación desarrollada por la Universidad de Stanford que ayuda a los servicios de agua urbanos a desarrollar sistemas eficientes y rentables para recargar los acuíferos.
5. La Asociación de Almendras de California y el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley se asociaron para desarrollar una mejor comprensión del almacenamiento, la calidad y el movimiento del agua en el subsuelo en relación con los sitios de prueba de recarga de agua subterránea en el huerto de almendros. Esta asociación amplía el trabajo para identificar qué huertos son adecuados para la recarga, y mide los

i.- Soil Agricultural Groundwater Banking Index: <https://casoilresource.lawr.ucdavis.edu/sagbi/>

j.- The Recharge Initiative: <http://www.rechargeinitiative.org/>

efectos de recarga del agua subterránea en los almendros, entre otros.

Cabe señalar que estas herramientas son herramientas de planificación generalizadas. La implementación en un sitio requiere una verificación del terreno. Incluyendo discusiones con propietarios de tierras, ingenieros, científicos y especialistas en riego familiarizados con la zona.

Las estrategias tradicionales de MAR se han enfocado en sitios altamente permeables, limitados a suelos con excelentes condiciones de infiltración. La inundación-MAR en tierras agrícolas no se limita a la selección de tierras de alta tasa de infiltración, sino que puede ser adecuada para e implementado a bajas tasas de infiltración en áreas muy grandes de tierra (por ejemplo, riego en invierno con sistemas de microirrigación).

Uso del suelo y compatibilidad con cultivos: el uso actual o propuesto del suelo es una consideración importante para determinar la adecuación de posibles áreas de recarga. Tradicionalmente, la recarga de agua subterránea se produce mediante inyección directa utilizando pozos de infiltración o a través de piscinas de recarga. Flood-MAR incluye la expansión de la recarga agrícola y tierras de trabajo. Sin embargo, existen algunos desafíos específicos asociados con los usos de las tierras agrícolas plantadas como la compatibilidad con cultivos intermedios donde debe determinarse la inundación o el riego fuera de temporada, específicamente investigar la capacidad de la zona de la raíz del cultivo para tolerar condiciones húmedas durante el riego fuera de temporada. Esto es particularmente importante para cultivos perennes y enredaderas, debido al riesgo de posibles daños en las raíces, enfermedades y pérdida de cultivos. Para árboles y vides, el tiempo de saturación del suelo, antes o después de la brotación, afecta la tolerancia del cultivo a la saturación. Las áreas sembradas con cultivos anuales y tierras en barbecho tienen menos riesgo relacionado con daños y enfermedades, pero el momento de la saturación es importante para la próxima temporada de siembra. Además, las consideraciones de tipo de cultivo también son importantes en función de los tipos de fertilizantes y pesticidas que puede aplicarse y la posibilidad de transportar esos productos químicos al acuífero.

Para usos de tierras agrícolas, el tipo de infraestructura utilizada para el riego, como instalaciones de transporte para inundaciones riego, puede facilitar los proyectos Flood-MAR. Algunos agricultores ya han instalado, o están evaluando la instalación de, sistemas duales de riego por goteo e inundación que permiten la inundación de tierras cuando el agua es abundante y el uso de goteo riego cuando el agua es escasa y necesita ser conservada.

Idoneidad del acuífero--el agua no solo debe migrar a través de la superficie del suelo, sino que desde allí debe viajar hacia y a través del sistema de acuíferos que se utiliza para el suministro de agua subterránea regional o local. La geología subyacente y profundidad de las aguas subterráneas son características importantes para las áreas potenciales de recarga, y pueden variar significativamente en todo el estado. En los diversos sistemas de depósito que se encuentran en el valle central, hay lugares donde los suelos superficiales poseen alta infiltración y estos cubren acuíferos menos permeables. Estas unidades menos permeables impiden el flujo de infiltración del riego y limita la cantidad de agua que puede alcanzar el acuífero objetivo. En esos ambientes, el agua puede moverse lateralmente para degradar áreas de acuíferos de mayor permeabilidad o para cuerpos de aguas superficiales. Si estos no están disponibles, la infiltración en el acuífero limitará las tasas de infiltración disponibles en la superficie terrestre.

La arquitectura geológica es la que controla en gran medida dónde, cómo y con qué rapidez, el agua subterránea sale e ingresa a estos sistemas de múltiples acuíferos. Los lechos de confinamiento menos permeables tienden a ser lateralmente discontinuos, pero abundan en la mayoría de las cuencas de agua subterránea de California, generalmente los acuíferos no confinados se recargan naturalmente en estaciones del año; los acuíferos confinados se recargan en años; y acuíferos confinados más profundos se recargan en cientos de años. Debido a la historia geológica de California, incluyendo la glaciación de montaña en Sierra Nevada, existen depósitos gruesos y relativamente profundos. A través de estos confinamientos locales se presentan "avenidas" ideales para lograr una recarga superficial y profunda (Weissmann et al., 2004). En estos incisos existen depósitos de relleno de valle en casi todos los sistemas de ríos importantes en el lado este del valle central, pero muy pocos de ellos han sido descubiertos y mapeados. Una parte esencial para aumentar la recarga será la caracterización mejorada del subsuelo.

Capacidad de almacenamiento de agua subterránea disponible: Para acuíferos no confinados poco profundos, se define la capacidad de almacenamiento disponible como el volumen de una cuenca que es insaturada y capaz de almacenar agua subterránea adicional. En general, el agua subterránea del valle de San Joaquín está agotada y tiene mayores capacidades de almacenamiento que las de cuenca de aguas subterráneas del valle de Sacramento.

Calidad del agua: la zona Vadosa y la calidad del agua subterránea son preocupaciones importantes para recargar el agua subterránea. Los componentes de interés variarán según el uso final del agua, pero pueden incluir sólidos disueltos totales, nitrato, plomo, arsénico, boro y sustancias orgánicas, como pesticidas. Los constituyentes pueden ser antropogénicos o de ocurrencia natural. El sabor del agua extraída es también una preocupación importante para el uso municipal. La calidad del agua debe ser considerada tanto para el agua subterránea dentro del acuífero como para el agua superficial que se utiliza para recargar el acuífero.

Recarga los acuíferos pueden tener impactos positivos y negativos en un acuífero. Por ejemplo, la recarga de agua subterránea puede diluir un acuífero ya contaminado y tiene efectos beneficiosos en la calidad del agua subterránea. Por el contrario, recargar el agua puede movilizar la superficie o cerca de la superficie nitratos o salinidad en el acuífero causando efectos negativos en la calidad del agua subterránea. Incluso, puede haber mejoras a largo plazo en la calidad del agua subterránea debido a la recarga recurrente con aguas de inundación que son bajos en sales y nitratos (Bachand et al., 2014) yet flood flow frequency, duration, and magnitude vary greatly as upstream reservoir releases are affected by snowpack, precipitation type, reservoir volume, and flood risks. This variability makes dedicated, engineered recharge approaches expensive. Our work evaluates leveraging private farmlands in the Kings River Basin to capture flood flows for direct and in lieu recharge, calculates on-farm infiltration rates, assesses logistics, and considers potential water quality issues. The Natural Resources Conservation Service (NRCS). Los efectos sobre la calidad del agua subterránea a corto y largo plazo serán un factor específico e importante para la idoneidad del sitio. La información sobre la calidad del agua subterránea se puede encontrar en múltiples fuentes, que incluyen esfuerzos de monitoreo local, biblioteca de datos del agua, base de datos de monitoreo y evaluación de ambientes de agua subterránea de California y los EE. UU, y USGS.

Consideraciones regionales: Gran parte del enfoque en la implementación de Flood-MAR se ha asociado con el valle central, debido a la implementación de SGMA. Sin embargo, los proyectos Flood-MAR también se están considerando en otras áreas, como la Sierra Nevada y las zonas costeras. En estas aplicaciones, otras consideraciones se hacen evidentes, como la topografía, suelos en capas o heterogéneos, efectos de la temperatura en los suelos y líneas de heladas, y el manejo de flujos ascendentes. Las consideraciones regionales también incluyen la infraestructura regional y la gestión del agua, así como los impactos potenciales en comunidades desfavorecidas que pueden depender del agua subterránea.

Métodos de recarga

Flood-MAR se centra en la capacidad de utilizar la propagación directa en grandes superficies de tierras agrícolas activas, tierras en barbecho, paisajes de trabajo, piscinas de recarga (nuevas o existentes) o espacios abiertos. Para tierras de cultivo activas, recargar agua se prevé que se aplique durante la temporada sin riego, utilizando equipos de riego existentes o adicionales.

Dos métodos se usan a menudo para reponer el agua subterránea:

1. La recarga activa incluye la recarga directa y la inyección de acuíferos.

La recarga directa se logra mediante la acumulación de agua en piscinas de percolación, o la recarga a través de paisajes confinados donde se infiltra hacia el acuífero no confinado (dispersión directa en zonas geológicas altamente permeables). Este método de recarga suele requerir grandes áreas de tierra. También ocurre algo de recarga con el uso de instalaciones de transporte de agua sin protección.

La inyección de acuíferos es otra técnica de recarga activa. El agua se inyecta en acuíferos utilizando pozos de inyección. Inyección de acuífero tiene la ventaja de trabajar en muchas condiciones geológicas, y en áreas relativamente pequeñas, donde la recarga directa es menos adecuada. Esta técnica es propensa a la obstrucción y se necesita cierto grado de mantenimiento para sostener un buen rendimiento de inyección. La inyección de acuíferos tiene un mayor requerimiento de energía para mantener una presión de agua adecuada para inyección.

2. Recarga en el lugar.

En algunas áreas, la recarga se puede lograr proporcionando una fuente alternativa de agua para los usuarios que normalmente usan agua subterránea, dejando el agua subterránea en su lugar y aumentando el potencial para mejorar los niveles de agua subterránea, o para su uso posterior. En este documento no se está considerando la recarga permanente.

Capacidad de recuperación de agua subterránea recargada

Para ser considerada beneficiosa la recarga de agua, esta debe ser recuperable. Para recuperarla, deben estar presente suficientes pozos cerca de los sitios para extraer el agua de los acuíferos. Alguna porción de agua recargada no será recuperable. Determinar el porcentaje de agua recargada recuperable requiere desarrollo de herramientas de contabilidad, redes de monitoreo de aguas subterráneas y herramientas de modelado de aguas subterráneas. Los costos para recuperar el agua recargada también deben considerarse en la planificación del proyecto.

Proyectos piloto y análisis de viabilidad

Se requerirán proyectos piloto y estudios de factibilidad confiables para probar e ilustrar los beneficios e impactos potenciales de proyectos Flood-MAR. Los aspectos económicos, ambientales y operativos de los proyectos de Flood-MAR deben ser bien entendidos para asegurar asociaciones exitosas y aprovechar las múltiples fuentes de financiamiento. Los proponentes del proyecto necesitarán entender:

- Las operaciones de recursos hídricos y condiciones socioeconómicas, de ecosistemas y de calidad del agua, con y sin el proyecto.
- Los cambios físicos causados por el proyecto y si los cambios son beneficiosos o perjudiciales.
- Cómo se pueden monetizar los beneficios e impactos.
- Costos para construir, así como para operar y mantener proyectos.
- Cómo asignar costos a los beneficiarios y comparar los beneficios con los costos.

Se deben considerar las siguientes preguntas para implementar con éxito los proyectos de Flood-MAR:

- ¿Cómo se coordinarán las necesidades del proyecto?
- ¿Cómo se financiará el proyecto y se compensará a los propietarios?
- ¿De dónde provendrá el agua de superficie y cuánto estará disponible?
- ¿Cómo llegará el agua superficial al sitio?
- ¿Cuáles son los buenos sitios potenciales para la recarga (incluida la idoneidad del cultivo)?
- ¿Cómo entrará el agua en el suelo?

¿Cómo se contabilizará, recuperará o utilizará el agua recargada?

¿Es factible el proyecto?

Existe un gran interés en todo el estado para responder las preguntas anteriores y comprender los beneficios, limitaciones y preocupaciones, costos y oportunidades de financiamiento para proyectos de Flood-MAR.

Anexo 2.5.3.- Experiencias importantes de MAR en California

En California, los proyectos de MAR se encuentran en terrenos urbanos, agrícolas y áreas costeras. Dependiendo de su ubicación, estos poseen requerimientos específicos y limitaciones en su funcionamiento. En áreas urbanas donde la principal limitante es el espacio, son los pozos y piscinas de infiltración los proyectos más comunes. Estos funcionan con aguas superficiales, aguas recicladas, infraestructura específica y de escorrentía dependiendo del sitio. En zonas costeras, la principal limitante es la prevención y mitigación de intrusión de aguas salinas al acuífero. En terreno agrícolas la principal limitante es la disponibilidad de agua superficial, la cual es esporádica dependiendo de la zona. Sin embargo, su mayor ventaja es la extensión de superficie a inundar y la utilización de la infraestructura de riego existente.

Tabla 10. Resumen de proyectos principales de MAR en California. Fuente: Elaboración propia.

	Kern Water Bank (KWB)	Semitropic Groundwater	Distrito de agua de Arvin-Edison (AEWSD)	Montebello Forebay y San Gabriel (Los Angeles)	Distrito de Agua del condado de Orange (OCWD)
Año de implementación	1988 se inicia el proyecto con la adquisición de los terrenos	Operación comienza a principio de los años 90'	Se forma en 1942	Establecida en 1959 y en funcionamiento desde 1962	Desde 1976
Origen de las aguas	Aguas de deshielo de Sierra Nevada, y arroyos superficiales Nativas e importadas	Exceso de aguas de sus socios Nativas e importadas	Nativas e importadas	Recicladas/ recuperadas Nativas e Importadas	Recicladas/ recuperadas Nativas e Importadas

Capacidad de almacenamiento/recuperación (Máx. aprox.)	Almacenamiento: Aprox. 12,5 billones de m ³ Recuperación: en 85 pozos se recuperan 8517 l/min.	Almacenamiento: 802 millones de m ³ Recuperación: 247 millones de m ³	Almacenamiento: 290 millones de m ³ /año Recuperación: 169 millones de m ³	Almacenamiento: 962 millones de m ³ Recuperación: 40.2 millones de m ³ /año, equivalente al 50% de la demanda total del condado	Almacenamiento: 308 millones de m ³ (2014) Recuperación: 339 millones de m ³ /año
--	--	--	---	--	--

Banco de agua del condado de Kern (KWB)

Históricamente, la agricultura en el condado de Kern (valle de San Joaquín) se ha basado en el uso de aguas subterráneas para el riego de sus cultivos. Esta dependencia condujo a un uso insostenible y al sobreuso del acuífero. Esto desencadenó en la creación de programas de usos conjuntos.

El Banco de Agua de Kern (KWB) comienza su construcción en 1988 después de la escasez de agua del Proyecto Estatal (SWP) en el condado de Kern a principios de los años 80's. El KWB almacena agua tanto de fuentes nativos/locales como también importadas, siendo su principal recurso las aguas del Acueducto de California y algunas de las descargas de inundaciones del río Kern y el canal Friant-Kern (Kern Water Bank, 2011).

El KWB posee una ubicación estratégica debido a la proximidad que tiene de sus fuentes de agua. Este se encuentra en el valle de San Joaquín, en el cruce entre el Acueducto de California y el Río Kern, que converge río arriba con el Canal Friant-Kern. La geología y la hidrología del subsuelo del banco subyacente permiten altas tasas de percolación (hasta 15.24 cm / día) y una capacidad de almacenamiento de acuíferos más que suficiente (aproximadamente 12 billones de m³) con una capacidad de recarga anual estimada de 555 millones de m³ (Thomas, 2001).

La configuración conceptual de la operación del KWB es simple, los participantes pagan al KWB para almacenar agua en el acuífero, que luego utilizan como fuente de suministro de agua cuando las fuentes superficiales no son suficientes. De esta forma, el costo de la recarga de agua es cubierto por los participantes. Los participantes son otros distritos de agua o irrigación del mismo Condado de Kern, quienes entregan agua de superficie al KWB para su posterior recuperación. Por supuesto, el acuífero subyacente no es de exclusivo uso de KWB y sus participantes; usuarios no participantes de KWB también tienen acceso a él. Para abordar este problema y prevenir impactos adversos mutuos, el KWB entró en negociaciones con estos usuarios (Thomas, 2001). Los acuerdos fueron consistentes con la premisa básica del proyecto: "todas las operaciones de KWB no afectarán los derechos de quienes usan o podrían usar el agua subterránea nativa" (Kletzing, 1987).

Para cumplir con los requisitos operacionales, las instalaciones de KWB incluyen 2.833 hectáreas aproximadas de estanques de recarga, 85 pozos de recuperación, 36 millas de tuberías y un canal de 6 millas de largo (Kern Water Bank, 2010). Los costos de construcción fueron cubiertos a través de préstamos estatales y privados. El KWB también tiene la capacidad de vender agua a usuarios externos a través de sus participantes. Un participante puede elegir vender (o transferir) su agua a un tercero, pero solo después de notificar a los demás participantes que puedan estar interesados en comprar dicha agua. De esta manera el programa permite la exportación de agua, pero da prioridad a los socios.

A pesar de todos los desafíos y la oposición inicial de los usuarios de agua subterráneas, el proyecto avanzó a por medio de la participación de los interesados y del público, la alineación con la ley, el cumplimiento de los requisitos ambientales y un apropiado modelo financiero. Desde su creación el KWB opera exitosamente abasteciendo de agua para usos agrícolas y municipales. El proyecto también creó humedales intermitentes y mejoró el hábitat de las tierras altas para proporcionar hábitats críticos de anidación y forraje para más de

40 especies de aves acuáticas y otras especies (Kern Water Bank, 2012). Además, el KWB sirve como enlace entre los participantes proyecto y los contratos de SWP; representa los intereses locales de los participantes a nivel estatal y asegura la continuidad de las operaciones alentando a una mayor participación de usuarios al programa, ya que cuenta con las capacidades de almacenamiento y transporte para entregar agua a vastas áreas.

Semitropic Groundwater Banking Program

El programa Semitropic Groundwater Banking comenzó sus operaciones a principios de los años 90'. Se encuentra ubicado en el condado de Kern, en un distrito principalmente Agrícola. Hasta el día de hoy es uno o el mayor, programa de almacenamiento de agua subterránea en el mundo (Semitropic, 2004b). Su funcionamiento es similar al KWB, ya que utiliza el exceso de agua de sus socios o participantes durante los años húmedos para recargar el acuífero y luego para su posterior recuperación.

En contraste con el KWB, Semitropic recarga el acuífero a través de una operación in-lieu (en el sitio), lo que significa que durante los años húmedos el exceso de agua superficial se entrega a los usuarios en lugar de suministrar desde el acuífero. La recarga in-lieu también se conoce como pasiva o indirecta debido a que el agua superficial es usada en vez de recargar el acuífero, así el agua subterránea se ahorra para los años secos donde las fuentes de agua superficial podrían reducirse. Esto implica que la recarga real del acuífero depende de los procesos naturales y el exceso de riego de la agricultura; el primero varía significativamente con el clima y los patrones de uso de la tierra (Healy, 2010), mientras que el segundo se ve afectado por la eficiencia de los sistemas de riego. Uno de los desafíos que posee este tipo de operaciones es la aceptación pública; ya que implica detener la extracción de agua del acuífero en los años húmedos con el fin de acumularla en el acuífero, mientras que, en sistemas de recarga activos o directos, la extracción de agua subterránea está regulada. El Semitropic también almacena agua a través de piscinas de infiltración, pero en menor medida. Estas instalaciones podrían expandirse en el futuro como parte de los planes del distrito (Semitropic, 2004a).

El distrito del Semitropic depende de la votación de propietarios de tierras, principalmente agricultores. Y ya los que sus miembros comparten intereses comunes, la aprobación de las operaciones fueron rápidas (97% favorable en las elecciones de 1991) (Thomas, 2001). Además, su modelo financiero, ha influido para que el distrito sea uno de los programas de almacenamiento de agua subterránea más grandes del mundo (Semitropic, 2004b). El programa se compensa totalmente por los costos operativos y de capital de sus socios, y son los ingresos de las operaciones almacenaje los que reducen los costos de bombeo de agua debido a los mayores niveles de agua subterránea. Hasta 2010, la mayoría de las operaciones de recuperación de agua en Semitropic eran para el Departamento de Recursos Hídricos de California (DWR) (Semitropic, 2018). Aún están por probarse las capacidades que posee el programa para la recuperación y entrega de agua en el caso de que muchos socios las soliciten simultáneamente (Thomas, 2001).

Distrito de almacenamiento de Arvin-Edison (AEWSD)

El AEWSD se organizó en 1942 bajo la ley de Almacenamiento por distritos de aguas del estado de California. A nivel operativo, AEWSD funciona de la misma manera que el ejemplo anterior (KWB), en la cual existe una participación activa de los participantes del distrito, pero además participan otras agencias, como Westside Mutual Water Company y el Distrito de Almacenamiento de Agua Rosedale-Río Bravo (USBR, 2012). Con desafíos similares, AEWSD ha logrado mantener sus operaciones con aparente éxito. Thomas (2001) enumera las siguientes razones para su éxito:

- a) La geología de la región es excelente para la percolación y la cuenca está relativamente aislada de otras cuencas, lo que minimiza la interacción y los impactos negativos de otros distritos.
- b) Casi la mitad del agua acumulada permanece en el acuífero (es decir, no se recupera) esto ayudar a reducir la sobre extracción del agua subterránea, e incluso en tiempos de bombeo extremo (sequías), los

impactos en el acuífero han sido sostenibles.

- c) El programa ha dado como resultado la reducción de la sobre extracción anual y un suministro de agua confiable para los usuarios del distrito.

Condado de Los Ángeles

El departamento de Obras Públicas del Condado de Los Ángeles (LAPW) recarga activamente el acuífero subyacente con agua reciclada en 27 instalaciones de distribución. LAPW también importa agua de superficie y utiliza la escorrentía local para la recarga del acuífero. San Gabriel Canyon (SGC) y el área de Montebello Forebay (MF) son las dos mayores instalaciones en el condado. Combinados, estos proyectos recargan aproximadamente 185 Millones de m³ de agua local, importada y recuperada anualmente (County of Los Angeles; Department of Public Works, 1999).

En California, los proyectos de recarga de agua reciclada están regulados por el Departamento de Salud Pública de California (CDPH) y la Junta Regional de Control de Calidad del Agua (RWQCB) (Johnson, 2009). Estas dos agencias han determinado umbrales máximos específicos para el uso de agua reciclada en las instalaciones de recarga de MF (CDPH, 2008). La cantidad de agua reciclada utilizada a) no puede exceder el total de 185 Millones de m³ durante tres años consecutivos; b) 74 Millones de m³ en un año dado; c) 35% del total del agua recargada en el MF durante tres años consecutivos; o d) 50% del total del agua recargada en el MF en un año. Existen limitaciones similares para otras instalaciones de recarga en el Condado de Los Ángeles (Johnson, 2009). Debido a estas y otras limitaciones como escorrentía pluvial y mantenimiento de piscinas de percolación; la cantidad de agua reciclada utilizada para la recarga de acuíferos varía significativamente de un año a otro. Además, existe una tendencia creciente al uso directo de agua reciclada para el paisaje, riego agrícola, proyectos ambientales y fines industriales.

Con la creciente demanda de uso directo de agua reciclada, los programas MAR han tenido éxito ya que aumentan significativamente la confiabilidad del suministro de agua local cuando otras fuentes no están disponibles. En lugares como el condado de Los Ángeles, donde las precipitaciones son muy limitadas (~10 in/año), el uso de agua reciclada para aumentar la confiabilidad del suministro y minimizar la dependencia del agua importada, ha sido un elemento clave para un sistema de suministro de agua local casi autosuficiente.

Montebello Forebay se ubica en el centro-sur del condado de Los Ángeles. El proyecto demuestra la reutilización potable indirecta a través de la distribución superficial del agua recuperada. Ha estado en funcionamiento desde 1962 y ha sido objeto de una extensa investigación por problemas relacionados con la salud (National Research Council, 1994).

Distrito de Agua del Condado de Orange (OCWD)

Desde los años 1930, el condado de Orange County ha implementado distintas tecnologías para asegurar el abastecimiento de agua para su población. Los primeros proyectos de MAR incrementaron la capacidad natural de infiltración del río Santa Ana, y como la demanda por agua aumentó y la recarga natural no fue suficiente se comenzó a importar agua desde el río Colorado en 1949 para recargar en 26 ha en el lago Anaheim, la cual en 1958 se convirtió en la primera piscina de recarga de OCWD (2019). Desde ese año a la actualidad, el río Colorado aporta aguas para la recarga de 25 cuencas de infiltración en el condado de Orange. En total el OCWD cuenta con una superficie superior a los 404.7 ha de terrenos inundables con una capacidad de 32 millones de m³ de almacenamiento.

El OCWD utiliza la recarga activa mediante la inyección de aguas residuales recicladas en su acuífero desde 1976. En 2008, se creó el Sistema de Reposición de Aguas Subterráneas (GRS), donde aproximadamente 132.000 m³/día de agua reciclada se inyectan en el acuífero para evitar la intrusión de agua de mar. Otros 132.000 m³ se bombean a las piscinas de percolación de OCWD donde el agua de GRS se filtra a través de la arena y la grava al

acuífero profundo, y finalmente, se bombea desde el acuífero para el suministro de agua potable (OCWD, 2019). El agua subterránea recuperada se bombea desde más de 400 pozos operados por agencias locales, ciudades y usuarios de agua subterránea (OCWD, 2019). En general, OCWD produce 339.207m³ de agua tratada por día, lo que es suficiente para satisfacer las necesidades de agua de 600,000 personas en el Condado de Orange. El proyecto también es energéticamente eficiente, ya que utiliza menos de la mitad de la energía requerida para bombear agua importada al sistema (OCWD, 2019).

La construcción costó \$481 millones, que se pagó a través de subvenciones y subsidios de agencias federales, estatales y locales. Los costos anuales de operación y mantenimiento son de aproximadamente \$34 millones, de los cuales \$7.5 millones (por 12 años) están subsidiados por el Distrito Metropolitano de Agua del Sur de California. El resto se paga con los ingresos de las entregas de agua (OCWD, 2019). Un componente clave del éxito de GRS es la estrecha colaboración entre la OCWD y el Distrito de Saneamiento del Condado de Orange (OCWD, 2019). El proyecto ha logrado demostrar una asociación efectiva entre agencias públicas.

Anexo 3 Recarga de acuíferos en Chile

Anexo 3.1 Notas de entrevistas

Tabla 11. Notas de entrevistas realizadas

Fecha	Institución	Entrevistados	Participantes	Notas
24/04/19	Comisión Nacional de Riego (CNR)	<ul style="list-style-type: none"> Manuel Jara Jaime Yañez Gastón Valenzuela Monica Rodriguez Wilhelm Gruss 	<ul style="list-style-type: none"> Gabriella Bennison Edmundo Claro Igor Aguirre Constanza Burrull Sandra Gandolfo 	<ul style="list-style-type: none"> El financiamiento de proyectos de CNR viene de i) propio- \$13 mil M; ii) adjudicado \$65 mil M; Se funciona a través del reembolso del dinero a la entidad ejecutor, una vez que la obra está construida. Se estima que el dinero se adjudica de la siguiente manera: 45% tecnificación; 45% obras civiles (70% obras de conducción / 30% acumulación); 10% telemetría. En enero 2019 de CNR abrió el primer concurso nacional específicamente para proyectos de recarga artificial de acuíferos y de acumulación que estuvo abierto durante 2-3 meses. Sin embargo, no recibió postulaciones. Incertidumbre con respecto a la responsabilidad de contaminación de acuíferos con proyectos de recarga artificial. Por ejemplo, en la cuenca del río Copiapó, un área de recarga considerado fue cerca de actividad minera, y, por ende, no hay claridad si la empresa minera o la entidad responsable de la recarga (los agricultores) será responsable en caso de una contaminación del acuífero. Esto es una motivación por no hacer proyectos de recarga artificial de acuíferos. La motivación de CNR para impulsar proyectos de recarga artificial de acuíferos es dado a la necesidad de almacenar más agua, dado a los cursos cortos del país, lo cual significa que el agua superficial mantiene poco tiempo en la superficie antes de salir al mar. Tienen un programa de obras de acumulación (ej. embalses) pero entre el primer estudio y construcción de la obra normalmente se demora 20 años. En 2011 se realizó estudios preliminares de embalses que pasaron al MOP para su evaluación. 2 están en construcción, 2 en etapa de factibilidad y 26 precalificados. En primer lugar, CNR realizó visitas a Australia, Israel y California y entendió que MAR es parte de la solución para regular y usar el agua

				<ul style="list-style-type: none"> • subterránea porque hay menos agua disponible en Chile hoy en día. Se empezó entender el uso y aplicabilidad de MAR. • Uno de los mayores problemas / barreras para incentivar proyectos de MAR en Chile es que uno no cree que tiene agua hasta que sale agua del pozo (poca seguridad/ confianza). Además, no hay una visión clara de los acuíferos geomorfológicamente, como se conectan, su comportamiento etc. Hay muy pocos estudios, son muy puntuales y poco conocidos. • CNR entendió que no se puede hacer proyectos MAR sin tener información, así que su primera intención fue encontrar zonas donde se puede hacer recarga. Desarrolló un estudio de idoneidad de sitios entre las regiones de Arica y Maule para poder seleccionar pilotos. Los pilotos tenían por objetivo tomar datos, entender diferentes métodos de recarga e identificar tasas de infiltración. La contaminación del acuífero no fue un tema importante porque inyectaron poca agua. • Los pilotos no fueron experiencias muy destacables para obtener información utilizable, fueron proyectos de microescala, presupuesto agotado y con tiempo limitado de recarga. Tenían problemas relacionados con la gestión de los sitios y la calidad de agua. El tiempo de medición fue solamente 8 meses y no alcanzaron el año como fue esperado. La construcción de pozos en terreno demoró más tiempo que esperaban. • En el nuevo piloto que CNR está planificando para la subcuenca Cachapoal, la selección y aprobación del sitio elegido fue hecho fuera de la consultoría, para disminuir problemas y tiempos. Será un piloto más grande que los anteriores y contempla la recarga a través de canales y una piscina de infiltración. Fue difícil encontrar personas con derechos superficiales de agua para recargar, al mismo tiempo con derechos subterráneos de agua para sacar/utilizar el agua recargado. Esto para que sea un incentivo para los agricultores hacerlo. • Los agricultores no ven los beneficios de hacer recarga, si no pueden utilizar el agua recargado. Una solución es fomentar las comunidades de agua subterránea porque los beneficios serán
--	--	--	--	---

mayores si se realiza la recarga en un grupo organizado en lugar de individualmente.

- Hay una buena experiencia de piloto en Petorca, pero el problema es que no tiene agua para recargar.
- En Cachapoal, exploraron 4 zonas en la 2° Sección de Junta de Vigilancia. Encontraron que San Vicente en Doñihue tiene la superficie óptima y es muy probable que será ese lugar seleccionado. La FJVSr está apoyando CNR con su gestión y han comprometido proporcionar un caudal permanente. Hay demanda de la FJVSr porque entienden el problema que viene fuerte a su región (falta de agua para satisfacer la demanda). El proyecto es importante para promover que funciona el técnico; la tecnología, crear sin ver, el base metodológico (como se encuentra acuíferos, como se mide), beneficios para agricultura, confianza.
- Lecciones: En la mesa pública para la recarga artificial de acuíferos que creyó CNR se han aprendido mucho. Hay un tema importante que es de los derechos de agua. Antes proyectos fue uno a uno: Una persona recarga y la misma persona extraje. Difícil encontrar lugares para hacer recarga; la caja del río es bueno pero dado a la normativa, solamente MOP puede intervenir en esta zona.
- En Copiapó se implementó un sistema sencillo y barato, pero implicó intervenciones en el cauce natural y entonces la DGA tuvo que intervenir.
- La planificación de la CNR es la siguiente:
 - a. Corto plazo: Ejecuta proyectos, públicos - sencillos y rápidos en la caja del río; privados - zonas fuera de la caja del río con derechos de agua superficiales existentes y con usuarios con derechos de agua subterránea.
 - b. Mediano/largo plazo: Generación de estudios. Muchos estudios realizados anteriormente han faltado información. Hay que generar un base común para que los estudios sirven (estandarizar) y que sea lo mismo para diferentes actores (DGA/DOH, etc.). Hay que estudiar los acuíferos, a calidad de agua, zonas potenciales cruzadas con la demanda (por lo menos en lugares donde quieren recarga de acuíferos). Si se entrega dinero público para las nuevas iniciativas de

			<p>recarga, su mantención tiene que ser asegurada. Los encargados necesitan saber los beneficios para incentivar su mantención e inversión a largo plazo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hay presión importante por parte de la sociedad civil y organizaciones interesadas sobre la disponibilidad de agua, notando que hay que hacer algo en invierno. Siguen hablando de que se "pierde agua en el mar", pero se han notado un cambio en los últimos 10 años, particularmente con respecto al manejo integrado del recurso sub/sup. • Barrera: La normativa de la DGA no es clara. Quién será culpable si se infiltra agua contaminado, por ejemplo, en una zona minera como Copiapó. Esto desincentiva los agricultores a participar. • Barrera: El desconocimiento de agua subterránea. Si no vean el agua no sienten que está disponible. • Hay 2 tipos de proyectos de recarga de acuíferos: 1) aumentar el nivel de agua subterránea y 2) 1 a 1: "yo quiero infiltrar y extraer el agua infiltrado". La normativa no permite el segundo, se requiere estudio hidrogeológico. Se puede incentivar proyectos más simples que no requieran nuevos derechos de agua. De todos modos, la guía que CSIRO desarrollo será más técnico. • La nueva circular de la DGA facilita los agricultores gestionar el agua en invierno a través de los canales y así aumentar la recarga natural del acuífero, teniendo más disponibilidad en la estación de riego. • En la guía, les gustarían ver ejemplos de buenas prácticas internacionales y nacionales. La guía será una referencia para el concurso de la Ley de Riego. <p><u>Conclusiones CNR de sus pilotos ejecutados:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Baja continuidad de los recursos superficiales disponibles, ya que estos se vieron afectados por decisiones operativas de los usuarios regantes, pero no era un recurso con disposición permanente ya que a medida que avanzaba la temporada de riego, los regantes debieron utilizar el agua en el riego de sus predios. Lo anterior provocó una alta variabilidad en la entrada del sistema, impidiendo un monitoreo permanente y dificultando el análisis de los datos.
--	--	--	---

- la mayoría de los pilotos de recarga ejecutados, el tiempo durante el cual se ejecutó la recarga fue muy reducido (máximo tiempo de recarga de aproximadamente tres meses), lo que sesga en cierta forma los resultados obtenidos.
- Se observó que resulta fundamental realizar este tipo de proyectos trabajando en conjunto con las asociaciones de regantes que son las que administran los recursos. Esto cobra mayor relevancia en los ámbitos de disponibilidad y operación de los canales que abastecerían los sistemas de recarga. La mayoría de los pilotos ejecutados con anterioridad, se realizaron con agua dispuesta por un regante, que contaba con recursos limitados aún en temporada de no riego, ya que las Organizaciones de Usuarios de Aguas, responsables de los canales, restringen el paso del agua por los canales, por indicación de la DGA (por el cierre de bocatomas en invierno). Una operación conjunta con las organizaciones permitiría definir un caudal constante de paso por el canal en todo el período de la recarga.
 - De los seis pilotos ejecutados con anterioridad por parte de la CNR, cuatro se realizaron en base a pozos de infiltración, uno en base a balsas de recarga, pero de muy pequeño tamaño (aprox. 200 m²) y uno en el cauce. Estos diseños se consideraron apropiados para la información con que se contaba al momento de la construcción del piloto y a los recursos disponibles. El único proyecto ejecutado con balsas de infiltración (Ligua-Petorca) además de su limitado tamaño, dispuso de tiempos para la recarga muy cortos, porque se vio afectado por los turnos de riego en el sector, y el inicio de la temporada de riego. Por lo tanto, las técnicas como balsas de infiltración aún han sido poco estudiadas por parte de la CNR.
 - La escala a la que se realizaron los proyectos, en particular los desarrollados con pozos de infiltración, fue muy pequeña, no observándose resultados relevantes tanto en el volumen de recarga, como en la operación de las obras. Se tuvo casos como el de la recarga de Popeta, donde no fue posible obtener recursos hídricos superficiales, por lo que para implementar el piloto se extrajo agua de un pozo, para recargar el pozo de infiltración. Por lo

				<p>tanto, el aporte que se obtuvo respecto a la viabilidad técnica de implementar este tipo de iniciativas fue limitado.</p>
<p>25/4/19</p>	<p>CRHIAM, Universidad de Concepción</p>	<p>José Luis Arumi</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Gabriella Benmison • Igor Aguirre • Constanza Burrull • Sandra Gandolfo 	<ul style="list-style-type: none"> • Tener en consideración: ¿En un futuro las Recargas Artificiales serán evaluadas por su impacto ambiental? • Se mencionó Verónica Delgado, abogado de la Universidad de Concepción con experiencia en temas de medioambiente, derechos de agua y calidad de agua. • Gobernanza del agua subterránea: esta semana artículo escrito por Delgado y Arumi sobre las modificaciones que se vienen. • Se mencionó un proyecto de recarga en Itata de la Junta de Vigilancia, pero no realizó mediciones, José Arumi colaborará a partir de mayo 2019 para estimar tasa de recarga. • Se recomendó investigar sobre un proyecto de recarga artificial de acuíferos de Soquimich, utilizando pozos en Pampa Hermosa, en el Salar de Llamara en la Región de Tarapacá. Es un proyecto que comenzó hace varios años (se estimo de 2013) y dijo que es el único proyecto que conozca de recarga con pozos de inyección que ha funcionado en Chile. Se estimo que se pudo extraer 30 l/s. El consultor de la obra fue Arcadis. • Arumi menciona proyectos de Aguas de Pacifico, en Temuco, donde se usa tecnología de pozos de Titanió. • Hay una nueva idea de proyecto de CASUB, con José Arumi para utilizar agua de canales de riego para infiltrar con pozos. • José Arumi está postulando al FIC de Talca 2019 con Roberto Pizarro para recargar cosechas de agua de lluvia con pozos. • En su opinión la principal motivación de la recarga artificial de acuíferos en Chile actualmente es debido al cambio climático y la disponibilidad de almacenamiento de las napas subterráneas. A pesar de la mega sequía que hubo en Chile recientemente, no se notaron mucho debido a que se utilizó el agua subterránea, pero los niveles del agua han bajado y la capa nival a se ha retraído, debido a esto estamos sobregirados. • En su opinión las principales barreras son i) el desconocimiento de los acuíferos y ii) el marco legal (código de aguas) - tiene que ser simplificado, pero hay señales que la modificación que están

				<p>trabajando en este gobierno está apuntando a eso. iii) Problemas con consultores (reacios al riesgo, no quieren ver su nombre involucrado en algo que no conocen y que podría no funcionar) iv) Parámetros de calidad de agua que sean fáciles de ejecutar (PH, T°, redox, conectividad eléctrica...)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se sugiere opción de combinar la recarga de acuíferos con obras de revestimiento de canales de riego al complementarlos con canales de infiltración que serían alimentados y controlados por compuertas. (muy factible de realizar) • Se destacó que la DGA debería facilitar el proceso de Gestión de Recarga de Acuíferos y ya está conversando con las otras instituciones públicas relevantes. • Aspecto muy importante a considerar es el tema de la presión de agua de inyección, cuantas PSI se requieren. • Para la Guía, se surgió incluir: i) propuesta de manejo de canales (revestimiento con recarga) y ii) Calidad de agua (Lagunas de infiltración + Xenobacterias) • Importante explorar como la recarga artificial de acuíferos afectará el drenaje natural. Muerte de radicular de las plantaciones y/o arboles por disminución de drenaje natural causando asfixia radicular. • Otra consideración importante es el área de protección de agua subterránea; solo se protege en función de los derechos, no la calidad de agua. ¿Qué pasaría con pozos de agua potable que están cerca de la obra recarga?
<p>29/4/19</p>	<p>Comité Asesor del proyecto</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Jaime Yañez - CNR • Pamela García - DGA • Orlando Acosta - CORFO - Alhsud • Patricio Crespo - Federación de Juntas de Vigilancia de la Sexta Región (FJVSR) 	<ul style="list-style-type: none"> • Gabriella Bennison • Igor Aguirre • Constanza Burrull • Sandra Gandolfo 	<ul style="list-style-type: none"> • CNR objetivo: que los usuarios de agua se puedan integrar en este tipo de proyectos de recarga, hacer amigable la entrada y que se cree una base para que puedan empezar. <p><u>Motivaciones:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • En la agricultura hay una necesidad de manejar los excedentes de agua no utilizados. • Alternativa más económica en comparación a otros sistemas de acumulación de agua, lo que se traduce en menos riesgo financiero.

		<ul style="list-style-type: none"> • Santiago Matta - JV 3° Sección Aconcagua • Roberto Pizarro - Universidad de Talca 	<ul style="list-style-type: none"> • Edmundo Claro 	<ul style="list-style-type: none"> • Recarga tiene menor impacto ambiental vs creación de embalses. Hay una creciente conciencia medioambiental. • Sequía extrema, receptiva en términos hidrológicos, acuíferos empiezan a descender. • No hay recarga a veces, aunque llueva, las operaciones consumen casi toda el agua, no habiendo infiltración. Hay que complementar la recarga natural. • Tener un complemento de agua para el agricultor en verano. • Actualmente los derechos de aguas otorgados son mayores a la recarga natural. • Sobreuso de los recursos. <p><u>Barreras/desafíos:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Gestión acertada de las aguas tratadas y del invierno. • Monitorear de forma correcta el uso de los acuíferos. • Falta de estudios hidrológicos de los acuíferos de Chile. Desconocimiento muy potente de nuestros acuíferos, como funciona la roca, como interactúan con la vegetación circundante. • Malentendidos en conceptos hidrológicos, hidrogeológicos, lo que se traduce en evaluaciones erradas. • Contexto y marco legal. • La lógica individual hace inviable los proyectos. • Problemas de área: limitaciones en las posibilidades de recarga, para recargar más, necesito más área. • Por falta de información las autoridades no quieren ser apuntadas de irresponsables. • ¿Qué pasa con los que aportan agua superficial y lo que aprovechan el agua subterránea? <p><u>Consejos y datos útiles:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Ver las barreras como oportunidades. • Derechos de aprovechamiento: si quitamos el ir a buscar nuevos derechos, quitamos una barrera de entrada.
--	--	--	---	---

<ul style="list-style-type: none"> • Pensar y crear estructuras colectivas de forma sustentable, no pensar solo en derechos 1 a 1. Entes colectivos, acuerdos entre instituciones como solución. • Arizona y otros de USA: casos emblemáticos de MAR. • DGA debería obligar a cerrar los canales el 1 de mayo lo que causaría recarga e infiltración natural. • El cauce mejor lugar para empezar proyectos de MAR. Las obras fusibles tales como modificación del cauce del río, a través de movimiento de tierra y acumulación en balsas, tienen la ventaja de no ser susceptible a derechos de aguas porque no tienen que medir la calidad de agua. • Hablar en términos correctos, gestión de la recarga, recarga gestionada. • Río Aconcagua: <ul style="list-style-type: none"> a) 1ra y 3ra sección más relevantes (afloresamiento en 2da sección) b) Acuíferos se están secando c) 18% 10 L/S d) 82% del agua 2 L/S e) En verano, los pozos se están secando a los 20 días f) 580 km de canales en matrices (recolectan agua de invierno) g) El 2015 y 2016 fueron años buenos y se midió la escurriencia superficial: 800 millones de metros cúbicos se fueron al mar. <p><u>Nuevos proyectos:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Inyección de agua a los acuíferos a través de pozo y decantación por gravedad a través de tubo en forma de caracol. Hernandez posible problema: colmatación del pozo. 2. Acuíferos de Pan de Azúcar, proyecto Deltas en Chile. 			<p><u>Piloto DOH:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Se fueron a Estados Unidos para ver método de recarga con piscinas y para entender cómo funcionan.
<p>9/5/19</p>	<p>Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) - Departamento de Riego</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ivan Rojas • Rafael Vallebuona (Bachebolla) • Karen Canales 	<ul style="list-style-type: none"> • Gabriella Bennisson • Constanza Burrull

			<ul style="list-style-type: none"> • Sandra Gandolfo 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizó estudios en la cuenca Aconcagua para buscar potenciales lugares de recarga y hacer piloto. Encontraron que la parte baja de la 1º Sección y la 3º Sección del río Aconcagua están aptas en general. En la 2º Sección hay afloramiento. • Objetivo de piloto fue para demostrar su operación y analizar resultados. • El lugar de piloto fue en el sector de Curimón de la 1º Sección (1 hectárea). Se consistió en 1 piscina decantadora y 2 piscinas de infiltración. • Karen Canales fue la inspectora fiscal en piscinas del proyecto piloto. • El problema fue que se realizó el proyecto durante el peak de la sequía, entonces no tenían agua para infiltrar. Los regantes de la 1º Sección prestaron agua durante un fin de semana (habían planificado realizar recarga durante 5 / 6 meses). • Se utilizó los pozos de extracción para el monitoreo de la recarga que tuvo una duración de 30 días. Se probó que la infiltración subió el nivel de la napa, pero no saben cuánto tiempo se mantuvo. • Tienen intenciones seguir con la recarga, pero se encuentra parado de momento. Han hecho una limpieza de las piscinas y potencialmente podrían tener el piloto funcionando este invierno. • Están investigando donde más pueden hacer un piloto en la región y comentaron que Aconcagua presenta problemas al tener una pendiente subterránea muy fuerte, lo que no dar seguridad que puede entregar lo que infiltran (agua prestada). También mencionaron que el pendiente significa que pozos de inyección no son muy adecuados en esta zona porque los sedimentos hacen que sean muy difícil a mantener /limpiar. Comentaron que cada región es muy diferente. • En la piscina sacaron capa de 2 cm de sedimentos finos. • Dado a que el proyecto fue un piloto, no tenían que pasar por el procedimiento de la DGA. • Se notaron una mejora en cuánto a la calidad de agua de la napa (a través de mediciones antes y después).
--	--	--	---	---

<ul style="list-style-type: none"> • Ofrecieron a visitar el piloto durante la visita de los investigadores de CSIRO a Chile en agosto. 			
<p><u>Motivaciones</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Sequia (emergencia). • Alternativas a los embalses (sufren evapotranspiraciones importantes). • Si extraen agua, hay que infiltrar (hacer sustentable la operación). 			
<p><u>Barreras/desafíos</u></p>			
<ul style="list-style-type: none"> • Beneficio social que no es muy tangible, el no poder cuantificar el beneficio. • El código de aguas - derechos de aprovechamiento de aguas. El postulante debería tener derechos para usar el agua e infiltrar. • Hay que recargar en invierno, ya que en verano no hay agua (Aconcagua). • La operación en sí misma y la mantención de las obras, ¿quién sea responsable? • La DGA no tiene mucha capacidad para fiscalización de los pozos; hay 1 o 2 personas quién fiscaliza por Región. La DGA tiene un presupuesto muy limitada, más que otros servicios del MOP. • No hay entendimiento ni comprensión del comportamiento del acuífero. • Políticas sobre la calidad de agua, que obligan a limpiar el agua a recargar (aunque sea de lluvia). • Obras de infiltración: pozos de inyección, problemas con pendientes muy fuertes y arrastre de sedimentos, lo que produce colmatación e inviabilidad del proyecto. Se comparó a Estados Unidos, que en general es muy plano. • No hay espacio para implementar grandes obras de recarga, hay pequeñas obras de los privados, pero las de DOH son obras para ayudar a los niveles de las napas en general y están en zonas fiscales que no son muy grandes. 			

<p>9/5/19</p>	<p>Dirección General de Aguas (DGA-MOP)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pamela García (División Estudios y Planificación) 	<ul style="list-style-type: none"> • Gabriella Bemison 	<ul style="list-style-type: none"> • Se revisó la Minuta 56: Circular n°4, 2016, lo cual se estableció para sistematizar algunos acuerdos técnicos, ej. Cuáles son las aguas válidas para recarga.
<ul style="list-style-type: none"> • Ojalá que cualquier proyecto de recarga va con su monitoreo. Hay mejores obras de recarga, pero no midieron, se utilizó supuestos/estimaciones. • Se comentó sobre el concurso de CNR para proyectos de recarga: hay desmotivación a postular porque no conocen los beneficios y no tienen seguridad que pueden recuperar los derechos que infiltran. Deberían postular grupalmente, no individualmente - por ejemplo, a nivel de Organización de Usuarios - Junta de Vigilancia, Asociación de Canalistas etc. Un problema es que los ríos están seccionados, el Aconcagua está dividido en secciones con sus respectivas Juntas de Vigilancia, lo que hace difícil llegar a acuerdo. • El marco regulatorio es muy burocrático y de difícil aprobación. • Proyectos estatales de recarga deberían beneficiar a todos (con fines sociales). Deberían apuntar a aumentar la disponibilidad de agua/seguridad hídrica para todos - APR, minería, agricultura etc. <p><u>Consejos para la guía:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • La guía debe considerar las diferencias hidrológicas, geográficas, etc. entre regiones, sectores, ríos y cuencas • Tiene que incorporar aspectos ambientales, no tiene que hacer SEIA. • Realización de las guías en conjunto con las juntas de vigilancias. • Que la DGA mejore la regulación, cambio de códigos, medición y monitoreo. <p><u>Otros comentarios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Hay un caso de recarga en Mendoza muy linda. Tiene una buena gestión de la cuenca con mucha fiscalización. • Copiapó: piscinas de infiltración con JIRC • DOH está considerando hacer una obra de recarga en Arica /Iquique (idea de perfil). 				

<ul style="list-style-type: none"> • La Guía Metodológica de la DGA fue establecida para presentar proyectos de recarga y para ayudar a la DGA en su evaluación. No saben si la guía es muy consensuada internamente. Hay 2 etapas principales para presentar proyectos de recarga: 1) Presentar la obra propuesta - revisar/evaluar qué tan eficiente/buena es; 2) Vuelve a la DGA para solicitar aguas provisionales para extraer agua recargada. • La motivación principal de recarga debería ser para aumentar la disponibilidad de agua. • Se recomendaron hablar con la Sociedad del Canal de Maipo con respecto a su experiencia de recarga. Se nombró los profesionales: José Luis fuerte, Dino Bonatici y Víctor Cruz. • Se preguntó sobre el caso de la Quebrada blanca, proyecto de minera para inyectar agua como medida de mitigación ambiental, funcionando desde 2016 informalmente y querían regularizar el proyecto a través de recibir permiso de DGA. Se entregaron información requerida y en primer lugar fue evaluado ambientalmente por la DGA que aprobó la obra, dando el PAS 158. Pero el proyecto fue rechazado/quedó vacío por la evaluación sectorial (Departamento de Administración de los recursos hídricos de la DGA), mencionando que no corresponde/aplica a la DGA dado a que no se requiere permiso porque no pidieron nuevos derechos de aprovechamiento de agua. • Un proyecto recarga no tiene que ser evaluado por sí mismo. Si la obra es muy grande o si es un área protegida, tiene que pasar por la SEIA. Se podría contar, cuántos proyectos han sido entregados y cuántos aprobados. • Se preguntó sobre las motivaciones de las circulares que salieron de la DGA este año. Se recomendó hablar con Luís Ulloa, jefe del Departamento Legal de la DGA. • En potenciales casos de contaminación de acuífero dado a un proyecto de recarga, denuncias llegarían a la oficina regional para fiscalizar. Se comentó que, de acuerdo a la Guía de la DGA, la persona encargada del proyecto de recarga debería reportar anualmente sobre la calidad de agua, pero podrían reportar que está bien si nadie lo revisa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Carlos Quintana (Depto. Conservación y Protracción de RHH) • Álvaro Marín (Depto. Conservación y Protracción de RHH: jefe de unidad de Evaluación ambiental) 	<ul style="list-style-type: none"> • Constanza Burrull • Sandra Gandolfo • Igor Aguirre 	<ul style="list-style-type: none"> • La Guía Metodológica de la DGA fue establecida para presentar proyectos de recarga y para ayudar a la DGA en su evaluación. No saben si la guía es muy consensuada internamente. Hay 2 etapas principales para presentar proyectos de recarga: 1) Presentar la obra propuesta - revisar/evaluar qué tan eficiente/buena es; 2) Vuelve a la DGA para solicitar aguas provisionales para extraer agua recargada. • La motivación principal de recarga debería ser para aumentar la disponibilidad de agua. • Se recomendaron hablar con la Sociedad del Canal de Maipo con respecto a su experiencia de recarga. Se nombró los profesionales: José Luis fuerte, Dino Bonatici y Víctor Cruz. • Se preguntó sobre el caso de la Quebrada blanca, proyecto de minera para inyectar agua como medida de mitigación ambiental, funcionando desde 2016 informalmente y querían regularizar el proyecto a través de recibir permiso de DGA. Se entregaron información requerida y en primer lugar fue evaluado ambientalmente por la DGA que aprobó la obra, dando el PAS 158. Pero el proyecto fue rechazado/quedó vacío por la evaluación sectorial (Departamento de Administración de los recursos hídricos de la DGA), mencionando que no corresponde/aplica a la DGA dado a que no se requiere permiso porque no pidieron nuevos derechos de aprovechamiento de agua. • Un proyecto recarga no tiene que ser evaluado por sí mismo. Si la obra es muy grande o si es un área protegida, tiene que pasar por la SEIA. Se podría contar, cuántos proyectos han sido entregados y cuántos aprobados. • Se preguntó sobre las motivaciones de las circulares que salieron de la DGA este año. Se recomendó hablar con Luís Ulloa, jefe del Departamento Legal de la DGA. • En potenciales casos de contaminación de acuífero dado a un proyecto de recarga, denuncias llegarían a la oficina regional para fiscalizar. Se comentó que, de acuerdo a la Guía de la DGA, la persona encargada del proyecto de recarga debería reportar anualmente sobre la calidad de agua, pero podrían reportar que está bien si nadie lo revisa.
--	---	--	--

				<p><u>Recomendaciones:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluación debería realizar en tiempo razonable, actualmente demora demasiado tiempo, no son proyectos prioritarios en general. • Generar una agenda / hoja de ruta dentro de la DGA para facilitar proyectos de recarga / evaluación. • Hay poca claridad entre los departamentos de la DGA involucrados en la evaluación de los proyectos de recarga. No hay un protocolo claro todavía. Se podría hacer una recomendación.
--	--	--	--	--

<p>14/5/19</p>	<p>ALHSUD</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pablo Rengifo (presidente de Alhsud; Gerente General de SGA Gestión Ambiental S.A) • José Luis Delgado (Comité asesor Alhsud, especialista en recursos hídricos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Gabriella Bennison • Constanza Burrull • Igor Aguirre 	<p><u>Motivaciones:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Motivación de guardar agua utilizando la capacidad /regulación de los acuíferos. • Aprovechar el recurso hídrico de manera más amplia, eficiente y sustentable posible. • Tener un resguardo para los estados de emergencia. • Lograr una combinación entre embalses y acuíferos para lograr la sustentabilidad del acuífero (explotación máxima sustentable del acuífero). <p><u>Barreras/desafíos:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Derechos provisionales constitutivos: con esto hay una pérdida de esencia de la recarga. • Como se aseguran los derechos que ya existen, si no se sabe bien la capacidad de regulación de los acuíferos. • Si infiltró agua, ¿quién está beneficiando de esa infiltración? • La esencia de la recarga no se ha podido experimentar, ya que, debido a los decretos de la DGA sobre recarga de acuíferos, esta recarga se transforma en nuevos derechos, en vez de garantizar el recurso a los actuales. • Salir del paradigma de recuperar exactamente lo que se recarga. • Necesita espacio para recargar. <p><u>Observaciones y consejos:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Para pequeñas obras de recarga se debería simplificar el tema administrativo. • Guías deben ser para cada caso, por ejemplo: 1) para conseguir derechos 2) para la sustentabilidad 3) para la calidad (no exagerar en estos términos, no es lo mismo recarga con agua de lluvia que con aguas tratadas de relaves). • Decreto de zona de escasez, otra figura legal que se ha experimentado. Por ejemplo: La DGA permite a la DOH en el río Aconcagua a suministrar agua en época de sequía a través de los pilotos.
-----------------------	---------------	---	---	--

- La guía debe contener todos los consensos actuales sobre el tema.
- MAR ha sido un tema para la DGA. Para esta administración, es una prioridad.
- La DGA es la administración que controla los acuíferos, por ende, debería monitorear todos los pozos existentes y sus índices de calidad de agua. Se comentó sobre una idea para un proyecto: Red de monitoreo de las Junta de Vigilancia, propuesto por la DGA para monitorear la calidad y el nivel de los pozos y acuíferos, con aporte fiscal y privado.
- Se aconseja y se espera que las Junta de Vigilancia o las CASUB tuvieran la administración y autogestión de sistemas de recarga y obtener recursos para esta tarea. Las obras de cierto tamaño (pequeñas) deberían ser administradas a nivel local, a través de acreditación a las CASUB / Junta de Vigilancia, y que incluyan: cantidad de agua que se recarga e índices de calidad razonables. Mientras más injerencia (poder) tengan estas entidades, habrá mayor posibilidad de concretar estos tipos de obras.
- La guía debería incluir: La presentación del proyecto y la motivación para la recarga. La decisión de aprobación del proyecto debería pasar solamente por las Junta de Vigilancia o CASUB. Crear un check-list registrado por estas entidades para infiltración por parte de privados de su propia agua para sus propios pozos.

Recomendaciones con quien se debería hablar:

- Confederación de canalistas de Chile (CONCA): Tiene varias experiencias (ejemplos: en Diguillin los canalistas están alineados y en invierno cierran los canales para infiltrar agua de forma natural con compuertas. Toman mediciones de las entradas y salidas. Contactar a Fernando Peralta, presidente de CONCA.
- Universidad de Católica: Francisco Suarez, Ingeniero Hidráulico Ambiental con alta experiencia, que puede otorgar una mirada transversal y académica.
- DGA: Juan José Crocco, que puede dar una mirada más administrativa, desde los que autorizan actualmente los proyectos de recarga.

				<ul style="list-style-type: none"> • Hidroestudios: Cristian Ortiz (antes Arcadis), dirigió los pilotos de CNR en su momento.
<p>16/05/19</p>	<p>INDAP</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Luis Bravo Montes (Subdirector Nacional) • Javier Prat-Corona (Jefe de Gabinete) 	<ul style="list-style-type: none"> • Gabriella Bennisson • Constanza Burrull 	<p><u>Motivaciones:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • INDAP representa un gran porcentaje de los usuarios que pueden implementar sistemas de recarga. • Muchas cuencas están cerradas, es decir, no se puede inscribir más pozos y hay menos agua superficial. Deberíamos utilizar los excedentes de agua superficial en invierno para recargar, la lluvia ya no permite la recarga natural como antes y el nivel freático está bajando. • La administración actual quiere dejar un sello en temas de recarga. • Permitir descargar los ríos en caso de sobreagua. <p><u>Barreras/desafíos:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Definir una política de recarga de acuíferos que sea validada por la institucionalidad. • Actualmente existen diferentes calidades de usuarios (las CASUB tienen mucho que decir, hay que formalizarlas). • Tenemos que ser sumamente responsables, es necesario tener claro las implicancias y consecuencias que puede traer la recarga con respecto a la contaminación y alteraciones químicas del agua subterránea. • Capacidades existen en Chile, pero hemos perdido mucho tiempo, no hay mucha implementación de sistemas de recarga. • Actualmente en Chile se discute que el uso de las napas freáticas es para mantener el nivel freático constante, en otros países se usa todo el poder freático de la napa y se gestiona su recarga, dentro de un sistema sustentable (si se hiciera lo mismo en Chile aumentaría el agua disponible para riego, etc.). <p><u>Ideas para la recarga:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • El estado ha implementado sistemas de riego, deberían ser utilizados durante invierno con excedentes de agua para recargar los acuíferos. Esto permitiría bajar las caudales de los ríos durante invierno, es decir, disminuir el riesgo de inundaciones.

<ul style="list-style-type: none"> • Chile no tiene problemas de capacidades, tenemos grandes profesionales. Hay que juntar estos actores y obtener un equipo de primera calidad para abordar estos temas. • Estas iniciativas tienen que estar acompañadas de una campaña publicitaria y comunicacional muy fuerte para la sociedad civil sienta la necesidad de recarga y que trascienda mucho más allá de cada gobierno. 					
<p><u>Acciones que INDAP está realizando actualmente:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Zanjias de infiltración y tranques menores para acumular agua de lluvia. • INDAP financia a los usuarios para generar proyectos. Se puede pedir más detalle de los proyectos adjudicados a través de la Plataforma de Transparencia. • Tiene aproximadamente \$25 mil M anuales para proyectos de riego (concursos regionales), dinero principalmente para: i) construcción y habilitación de pozos profundos; ii) riego tecnificado; iii) recuperación de pozos y sistemas de riego en caso de desastres; y iv) zanjias de infiltración. 					

<p>30/5/19</p>	<ul style="list-style-type: none"> Confederación de Canalistas de Chile (CONCA) Sociedad del Canal de Maipo (SCM) 	<ul style="list-style-type: none"> Fernando Peralta (Presidente de CONCA) José Luis Fuentes (Jefe del Departamento de Estudios y Desarrollo de SCM) 	<ul style="list-style-type: none"> Gabriella Bennison Constanza Burrull 	<p>Motivaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> No dejar escurrir el agua. Se debe almacenar el agua para tenerlo cuando se necesita. Se comentó que Chile, dado sus condiciones geográficas, es uno de los mejores países para realizar recarga. Proyectos de recarga deberían ser posible, por lo menos para mejorar la salud del acuífero. <p>Desafíos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Actualmente se solicita mantener el nivel freático estable, aunque realmente hay una bajada de los niveles anualmente sin recarga. Se comentó que esto traduce en mantener la pobreza en vez de aumentar la riqueza. Si se permite la recarga y luego la extracción de esta agua de forma sustentable, se permitiría el acceso a agua a gente que podría producir en sus tierras y que actualmente se encuentran en escasez. Cuando se habla de aguas subterráneas, no hay el mismo nivel de entendimiento como para las aguas superficiales; dado a que no se ve el agua subterránea. Por esta razón hay para aprender sobre este tema, hay que hacer proyectos y experimentar. Se comentó que el Estado está muy presente en el tema de recarga, lo que genera conflictos, porque los usuarios esperan tener mayor poder de decisión y de acción, mientras que el Estado espera ser el ente que resuelva los problemas. En este caso la DGA no tiene las herramientas, ni la gente, ni el dinero. Se agregó que se deberían facilitar los proyectos de recarga. Actualmente el proceso para hacer recarga es un sistema muy burocrático y la serie de requisitos que piden hace imposible para su realización. La Guía Metodológica de la DGA (2014/2016) solicita el monitoreo de la obra de recarga durante 1 año para ver si funciona. ¿Qué pasa en el caso de que no sea aceptada/aprobada, donde va toda la inversión? Es muy cara para realizar pozos, lo que frena los proyectos dado a que los agricultores no pueden pagar.
-----------------------	---	---	---	--

<ul style="list-style-type: none"> • Chile es muy restrictivo porque no quiere equivocarse, por lo que se inspira en leyes de otros países, en vez de generar una regulación que se ajuste a las necesidades del país. 	<ul style="list-style-type: none"> • En su experiencia personal, la DGA aún no les da respuestas sobre proyectos de recarga ya en ejecución y con obras funcionando. A pesar de que se entregó todos los requisitos solicitados, aún no han recibido respuesta para regularizar las obras: i) Se hizo referenciar a un proyecto en el valle Choapa de 200 ha donde se realizó geofísica, pruebas de bombeo, estudios geológicos, todo que fue presentado a la DGA en 2002, pero aún no ha recibido respuesta. ii) La sociedad también realizó el proceso completo de la solicitud de la DGA, después que su obra comenzó a operar, pero aún no reciben respuesta. Más aún, se ofreció a la DGA utilizar la obra como caso de piloto /validación y se presentó 5 años de muestreos de la obra. • Se agrega que la razón que no recibieron respuestas es porque la DGA aún no sabe bien como evaluar los proyectos, a pesar de la Guía Metodológica que la DGA se generó para la evaluación de dichos proyectos. Por esta razón, muchos actores deciden hacer proyectos sin permiso. 										

Consejos y opinión sobre la Guía:

- En su opinión, no hay necesidad de una guía para la recarga, lo que se necesita son cambios del proceso de la DGA y un real interés para hacer proyectos de recarga en Chile.
- La guía debería apuntar a usuarios y a autoridades para que "sacan el pie del freno". Las autoridades, tienen muy buenas intenciones (particularmente de esta administración) pero estamos en un marco estatal que no permite recarga.
- El Estado debería retirar del proceso, solo deberían involucrarse a nivel de supervisor. Se deberían dejar a los usuarios de agua, en particular las CASUB / Junta de Vigilancia para autogestionarse.
- Debería ser un protocolo simple, se pierde mucho tiempo en el proceso de solicitud y evaluación. No hay tiempo para programar y proyectar, estamos contra el tiempo, el agua disponible está disminuyendo.

			<ul style="list-style-type: none"> • Se debe recargar los acuíferos a través de permitir el riego en invierno, sin pensar que <u>ya</u> ocurrir o quien va aprovechar el agua recargada. • Actualmente existe el registro de 50.000 pozos de los cuales sabemos su geología, deberíamos aprovechar esta información. <p><u>Proyectos de recarga:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Se comentó que, a pesar de que no son muy conocidos, los privados han realizados muchos proyectos de recarga en Chile hace más de 7 años. Son proyectos no regularizados que no se hablan por miedo a la fiscalización de la DGA. Por esta razón no se puede compartir información específica. • Desde el 1969 el EEUU (California / Arizona) ha experimentado con recarga debido a la necesidad de tener agua disponible. No necesitaban autorización o modelos, resolvieron su problema y han logrado implementar la recarga con éxito. • Diguillín, Chillan: En invierno en el pasado se cerraban los canales para que no se inundará el pueblo, pero en consecuencia las APR quedaban sin agua en sus pozos. Estamos con una sequía meteorológica por más de siete años, por lo que se adoptó la medida de abrir los canales para permitir una recarga de 7 m³/s. No realizaron estudios, ni mediciones previas. • La Junta de Vigilancia de la 3º Sección del río Aconcagua (Santiago Matta): tiene informes con información relevante (2018). • Si se abre los canales de riego, se podría recargar 40-60 millones de m³/año a través de 500 km de canales ya existentes. La infiltración medio chileno es mayor que 1 m³/día. En general los pozos bajan entre 6-10 metros anuales y luego son recargados. • Fernando trabajó con Carlos Araya (CASUB: Copiapó-Piedra Colgada-Desembocadura) entre 2010-2012 y estudiaron la cuenca de Copiapó con respecto a la factibilidad de recarga y la identificación de potenciales zonas. Se contabilizaron obras de recarga, con respecto al costo de su operación y mantenimiento. Llegaron a un costo de entre 15-20 \$/m³ infiltrado (muy barato).
--	--	--	--

10/06/2019	Ministerio del Medio Ambiente (MMA)	<ul style="list-style-type: none"> Carmen Verónica Drollmann (Departamento de Sistemas Acuáticos) 	<ul style="list-style-type: none"> Gabriella Bennisson Constanza Burrull 	<p><u>Barreras/desafíos:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Falta de regulación ante riesgo de contaminar el acuífero, o alterarlo de manera peor. La institucionalidad de los recursos hídricos en Chile es muy compleja. Hay varias instituciones públicas potencialmente relevantes a la recarga y su fiscalización, dependiendo al tipo de proyecto: i) La Dirección General de Agua (DGA) es la entidad natural responsable de la fiscalización de los recursos hídricos, pero tiene muy pocos recursos para fiscalizar efectivamente y miden poco la calidad de agua subterránea; ii) Para que el Superintendente de Medio Ambiente (SMA) involucre, tiene que tener una Resolución de Calificación Ambiental (RSA), si el proyecto no la tiene, no será fiscalizado; iii) El Ministerio de Salud (MINSAL) eventualmente podría pedir muestras de calidad, si reporta de un potencial efecto en la salud de las personas; iv) Las empresas sanitarias reportan la calidad de agua potable al Superintendente de Sanitaria (SISS), pero solo miden algunos parámetros y con proyectos de recarga que sean cercanos a fuentes de agua potable, podrían tener impactos negativos en el agua (y subsecuentemente la salud de las personas) que no son medidos. En fin, falta un liderazgo en el tema. Falta información sobre los acuíferos y se requiere mayor monitoreo y fiscalización. A lo largo de Chile las características de los acuíferos son diferentes. En algunas partes hay rocas naturalmente altas en arsénico y si se realizase una recarga con mucho oxígeno puede ser problemático para el acuífero. Se asusta que, dado a la poca fiscalización existente en el país, si dan más herramientas y poder a los privados para hacer estos tipos de proyectos, se puede hacer mucho daño. Las Organizaciones de Usuarios (OUA) no deberían estar encargadas de la fiscalización, tiene sus propios intereses/ objetivo. Además, en mayor parte, las OUA no tienen las capacidades técnicas que se requiere para controlar los proyectos adecuadamente y no se puede exigirlos. Se comentó sobre el proyecto de recarga de CASUB en Copiapó (Copiapó-Piedra Colgada-Desembocadura) que estaba infiltrando agua de color verde y tenían problemas con el crecimiento de algas.
------------	-------------------------------------	--	--	--

			<ul style="list-style-type: none"> • Carlos Araya 	<ul style="list-style-type: none"> • Gabriella Bennisson • Igor Aguirre 	<p>17/06/19</p> <p>Comunidad de Agua Subterránea (CASUB): Copiapó-Piedra Colgada-Desembocadura</p> <p>Motivaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • En la zona representada por la CASUB (sectores acuíferos 5 y 6), normalmente no ocurre agua superficial. Sin embargo, cada ciertos años ocurre un evento meteorológico (generalmente asociada al invierno altiplánico) que resulta en una abundancia de agua superficial, incluyendo aguas abajo de Copiapó. • Con el fin de aprovechar esta agua abundante para recargar los acuíferos, se comentó que está intentando impulsar la generación de un decreto de abundancia, lo cual permitiría la recarga de excedentes de agua, particularmente en zonas de escasez hídrica. Ya se ha planteado esta idea a varios actores relevantes, por ejemplo, a la DGA y a José Arumí de CRHIAM. • Considerando las condiciones actuales (disponibilidad de agua y demanda/usos), vamos a llegar a un momento en algunos años más que los pozos van a secar que significaría una extinción de muchas hectáreas plantados. Hay que implementar soluciones ahora.
--	--	--	--	---	--

Barreras/desafíos

- Para que el decreto de abundancia funciona, se comentó que hay que analizar cuánto agua correspondería a "excedentes", manteniendo un flujo mínimo (caudal corriente) que descarga en el mar. Actualmente el agua sobrante (no utilizado) no está medido, no hay estaciones de monitoreo robustas en el cierre de la cuenca.
- Hay que definir los roles y las obligaciones de los actores involucrados, no hay claridad sobre la regulación. Hay que alinear los organismos del estado, actualmente se están complicando el tema, debería ser más simple.
- Falta capacitación y conciencia de los usuarios con derechos de aprovechamiento de aguas (particularmente los agricultores). Capacitación ayudaría que entienden porque se requiere ser más eficiente con el agua y porque se deben realizar obras de recarga.
- Hay que realizar una gestión colaborativa del agua. La CASUB representa diferentes usuarios de aguas subterráneas: i) agricultores pequeños y grandes; ii) la sanitaría; y iii) la minería.
- Hay que identificar donde son las mejores zonas de recarga.

Proyectos de recarga

Piscinas de infiltración:

- Los problemas asociados al agotamiento del agua subterránea comenzaron a ser comprendido alrededor del año 2007. En los años siguientes se logró financiamiento de la CNR para desarrollar un estudio con el objetivo de identificar zonas potenciales de recarga. El estudio fue publicado en 2012, lo cual propuso el desarrollo de obras de recarga en el río (sector acuífero 5). Finalmente, la obra construida utilizó el mismo lugar propuesto en el estudio, pero fue simplificado para reducir la inversión requerida y para dar pasadizo al río. La obra fue construida en el lecho sur del río, orientación lateral.
- La obra de recarga está compuesta de 3 piscinas. Se construyó las piscinas gradualmente, comenzando con la piscina más grande donde llega el agua desviada del río a través de un canal serpenteo,

			<ul style="list-style-type: none"> • lo cual fue construido para detener la mayor cantidad de sedimento posible. • La tercera piscina tuvo una tasa de infiltración más eficiente, por una parte, dado a la mayor inversión gastada en su construcción y también dado a que llegó una menor cantidad de sedimento (menor obstrucción de la infiltración). La recarga promedio de las tres piscinas fue calculada como alrededor de 320 l/s. • Se realizó un monitoreo de los niveles freáticos de diferentes pozos aguas abajo de la obra (distancia: 1) 200 m; 2) 2.500 m y 3) 2.000 m - 6 pozos de aguas chañar). Se instaló instrumentación telemétrica en situ para medir la cantidad de agua infiltrada, sin embargo, el equipo fue robada después de 3 semanas de su instalación. • Se comenzó la construcción de la obra en 2017 y se empezó a infiltrar agua en junio del mismo año hasta septiembre de 2018, dado a que se agotó el excedente de agua en el río. • Se observó que el nivel freático subió en el sector ladera sur, beneficiando los usuarios de esta zona, sin embargo, la recarga no tuvo un afecto en el sector ladera norte. • De acuerdo con la normativa, se requiere un permiso para hacer modificaciones en el lecho del río, lo cual ha causado conflictos con la DOH, por construir en el lecho del río. Sin embargo, se comentó que no existe una delimitación oficial del cauce. Actualmente se está intentando negociar con la DOH para definir el lecho del río y así reducir el tamaño de las piscinas para que se queden más lejos del lecho principal del río. A pesar de que la DOH ha acusado la CASUB por modificar el cauce, se comentó que hasta la fecha no han recibido una multa. • A pesar del conflicto con la DOH, la mayoría de los actores han celebrado la iniciativa de la CASUB, evidenciado por visitas a la obra de alta perfil de Santiago (Ministros y Director General de la DGA etc.). • Algunos actores de la cuenca culpan a la CASUB por la muerte de los camarones (dado a la obra de recarga), sin embargo, dado a que normalmente no escurre agua superficial (aguas debajo de Copiapó) el hecho de que había camarones en el río fue excepcional, es decir, el excedente de agua que llegó a la zona fue una condición temporal
--	--	--	---

<p>que en un momento habría parada con o sin la obra y entonces tarde o temprano los camarones habrían muerto.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Además, algunos han manifestado preocupaciones sobre la potencial contaminación del acuífero, mencionando problemas asociados con la formación de algas en las piscinas. Sin embargo, se comentó que se utilizó agua del río, la misma agua que infiltraría naturalmente. Se agregó que la sanitaria no notaba una diferencia en la calidad de agua del acuífero (2 km aguas abajo). Se estimó el valor de m³ infiltrado de aproximadamente \$5 pesos. 	<p><i>Pozos de infiltración</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> Actualmente se está desarrollando un proyecto con financiamiento de CORFO para desarrollar una investigación piloto sobre la efectividad de pozos (superficiales) de infiltración en el sector ladera norte del río. UC Davis fue contratado como la contraparte técnica para medir, analizar y validar los resultados. El proyecto tiene una duración de 18 meses y debería terminar en octubre de 2019. 	<p><u>Otras iniciativas impulsadas por la CASUB</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> Está estableciendo un programa de prorrata sobre los derechos de aguas subterráneas (considerando el volumen m³, no por caudal nominal). Programas de eficiencia en el uso de agua. Plataforma de monitoreo de los pozos, accesible por los socios de CASUB. Están trabajando en conjunto con la Universidad de Atacama y la Escuela de Programación. Trabajan con ingenieros recién graduados. Van a tener un ingeniero joven quien trabajará en conjunto con los agricultores y ayudaría para dar conciencia y conocimiento sobre los desafíos de la gestión de agua.
--	--	-------------------------------------	---	---	---

Anexo 3.2 Descripción de proyectos de recarga de acuíferos en Chile

Los proyectos mencionados en esta sección se encuentran digitalizados, y pueden ser consultados a través del archivo "PilotosMAR_EPSG-32719.shp" en la siguiente ruta del Anexo Digital: GuíasGRA_AnexoDigital\Cap4.4\1. Datos Generados\1. ProyectosPilotos_Chile

Estudio básico "análisis alternativas piloto recarga artificial Ligua - Petorca, V Región" (2013)

El proyecto de recarga mandado por la Comisión Nacional de Riego (CNR) consistió en la utilización de piscinas de infiltración en la localidad de Bartolillo (Región de Valparaíso), durante junio y julio de 2013, recargando en total 12.055 m³, y cuyo objetivo fue rescatar indicadores y resultados que sirvan para extrapolar la experiencia en futuros proyectos.

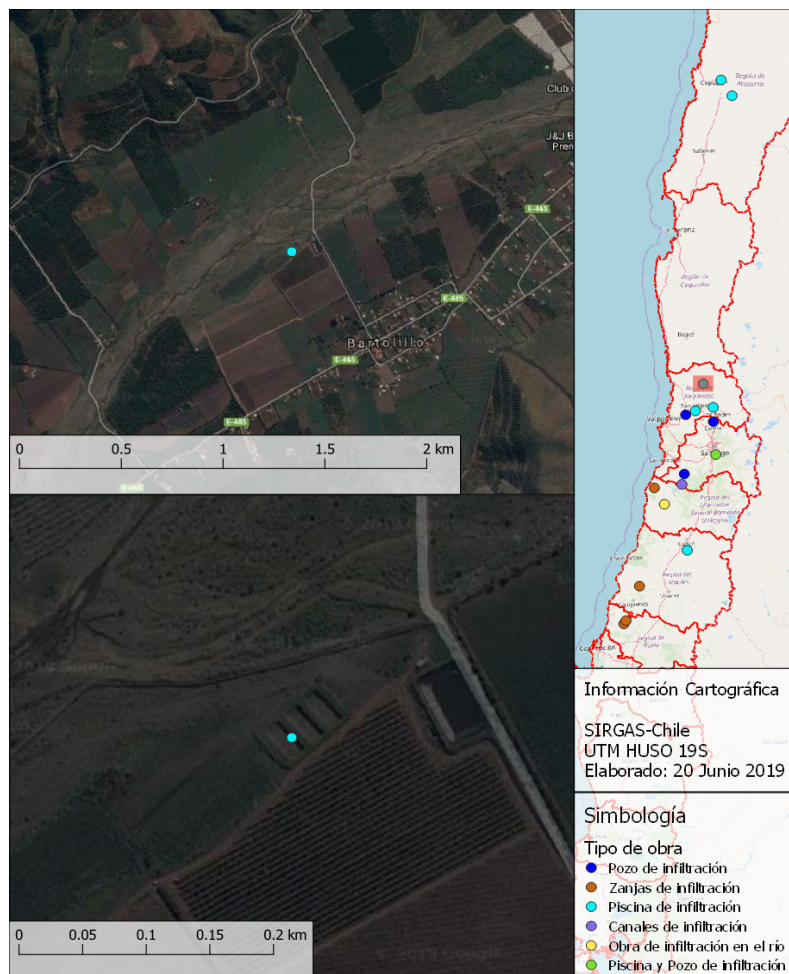


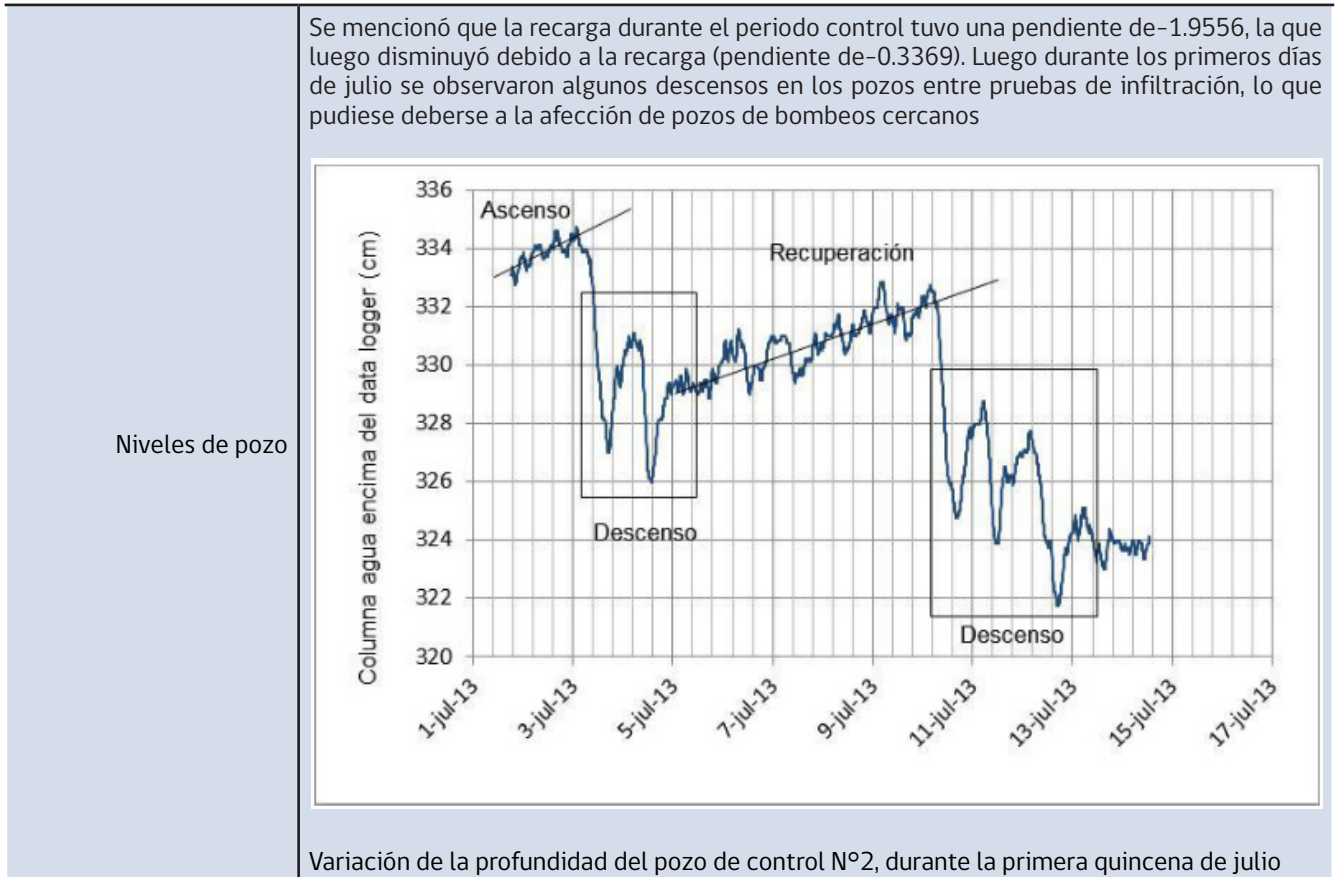
Figura 13. Ubicación geográfica Piloto Ligua-Petorca.

Tabla 12. Información Proyecto Ligua-Petorca

Información general	
Mandante	Comisión Nacional de Riego
Consultor	Aqualogy Medioambiente Chile S.A.
Tipo de obra	Piscina de infiltración
Periodo de ejecución	Recarga efectuada entre 11 de junio de 2013 y 13 de julio del mismo año.
Objetivos	<p>General:</p> <p>Desarrollar un proyecto piloto para recarga artificial de los acuíferos de los Valles de La Ligua y Petorca, mediante lagunas de infiltración</p> <p>Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analizar la información hidrológica, hidrogeológica y topográfica existente para los cinco (5) sitios identificados en el estudio "Mejoramiento de Aguas Subterráneas para Riego Ligua y Petorca". • Analizar los aspectos legales del aprovechamiento de excedentes superficiales recargados artificialmente. • Seleccionar el sitio para el piloto entre las cinco (5) alternativas identificadas en el estudio "Mejoramiento de Aguas Subterráneas para Riego Ligua y Petorca". • Construir las obras necesarias para el desarrollo del piloto. • Realizar las pruebas de recarga. • Determinar las tasas de infiltración del sistema. • Evaluar el impacto en los niveles de los pozos cercanos al sistema.
Entorno local	
Terreno utilizado	El proyecto se desarrolla en la localidad de Bartolillo (valle de Alicahue, Cuenca del río Petorca, La Ligua, Región de Valparaíso), en el predio de Don José Luis Oyandel, Presidente de la Asociación de Canalistas del Canal Alicahue.

<p>Características del acuífero</p>	<p>El sector se ubica sobre sedimentos fluviales asociados a los cauces actuales, depositados sobre una capa de sedimentos fluvio-torrenciales de terrazas cuaternarios recientes y antiguas. En los márgenes del valle, sobre las laderas de cerros, se observan capas de sedimentos coluviales.</p> <p>El conjunto aluvial - coluvial se encaja sobre una homogénea y potente secuencia vulcano-sedimentaria.</p> <p>Los espesores del conjunto aluvial - coluvial se ha determinado en estudios previos por geofísica TEM y en los sectores A3-L3 y -L3 se asignan espesores de 200 y hasta 250 m, mientras que en el sector A4-L6 se reduce a 100-150 m.</p> <p>En este espesor se incluyen dos capas, una superior resistiva y otra inferior conductora, que se asignan a sedimentos de gravas, arenas y bolones, en el primer caso y a arcillas o roca alterada, en el segundo. Con esta asignación litológica, el espesor de los sedimentos permeables y, por consiguiente, del acuífero se reduce a 40 - 70 m, mientras que la información que ofrece la geofísica, presenta espesores mayores de 100 m. Los espesores obtenidos con la reinterpretación mostrada en las figuras de estudios previos, son coherentes con las profundidades de los sondeos existentes, de 80 m de profundidad máxima, cuya traza se ha incluido en los perfiles.</p> <p>Tabla con parámetros hidrogeológicos asociados.</p> <table border="1" data-bbox="472 982 1458 1205"> <thead> <tr> <th>Sector</th> <th>Prof. de la napa m</th> <th>Gradiente hidráulico %</th> <th>Transm. m²/día</th> <th>Perm. m/s</th> <th>Coef. de almac. %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SPB</td> <td>30</td> <td>2,0</td> <td>1 (laderas de cerros) y 500 (relleno sedimentario)</td> <td>2,5x10⁻⁵ y 5x10⁻⁴ ; 5x10⁻⁷ hasta 1x10⁻⁸ (laderas de los cerros)</td> <td>1 y 5,5</td> </tr> </tbody> </table>	Sector	Prof. de la napa m	Gradiente hidráulico %	Transm. m ² /día	Perm. m/s	Coef. de almac. %	SPB	30	2,0	1 (laderas de cerros) y 500 (relleno sedimentario)	2,5x10 ⁻⁵ y 5x10 ⁻⁴ ; 5x10 ⁻⁷ hasta 1x10 ⁻⁸ (laderas de los cerros)	1 y 5,5
Sector	Prof. de la napa m	Gradiente hidráulico %	Transm. m ² /día	Perm. m/s	Coef. de almac. %								
SPB	30	2,0	1 (laderas de cerros) y 500 (relleno sedimentario)	2,5x10 ⁻⁵ y 5x10 ⁻⁴ ; 5x10 ⁻⁷ hasta 1x10 ⁻⁸ (laderas de los cerros)	1 y 5,5								
<p>Características del suelo</p>	<p>En relación a la geología, la zona en estudio se caracteriza por presentar rocas ígneas efusivas, con sedimentos marinos y continentales, cuyas edades fluctúan entre el Mioceno Superior - Cretácico Superior y Terciario Inferior.</p> <p>Los sedimentos marinos están restringidos al Jurásico y Cretácico Inferior, distribuyéndose en el sector occidental de la cordillera de la costa y en la frontera con Argentina en la Cordillera de los Andes.</p> <p>Geomorfológicamente, la zona típica aquella zona que se ubica en la región denominada de los valles transversales, que se extiende entre los ríos Aconcagua por el sur y Copiapó por el norte. Esta región se caracteriza por la ausencia de la depresión central, intercalada entre la cordillera de los Andes y de la Costa.</p>												
<p>Sistema de recarga</p>													
<p>Dimensiones</p>	<p>3 piscinas de 250 m² c/u.</p>												

Método	<p>La recarga se ejecutó en tres ciclos divididos en cinco periodos totales.</p> <ul style="list-style-type: none"> El primer ciclo consiste en 8 operaciones diarias de una hora de duración cada una, entregando un caudal de 110 l/s (430 m³), realizado entre el 11 y 19 de Junio. El segundo ciclo se realizó en dos operaciones (20 de Junio y 1 de Julio), estabilizando caudal de entrada a la balsa 1 para evitar el trasvase a la segunda balsa, manteniendo la operación hasta utilizar todo el volumen disponible. El tercer ciclo consideró estabilizar el caudal de entrada a la balsa 1 y 2 evitando el trasvase a la tercera balsa. Esto a través de 2 operaciones (2 de Julio y 11-12 de Julio) 																														
Periodos de recarga	<p>Ciclo 1: Operaciones diarias entre el 11 y 19 de junio</p> <p>Ciclo 2: Operación única el día 20 de junio y Operación única el día 1 de julio</p> <p>Ciclo 3: Operación única el día 2 de julio y Operaciones diarias entre el 12 y 13 de julio</p>																														
Sistema de monitoreo	<p>El caudal de entrada se monitoreó mediante un contador tipo Woltman instalado en la tubería de alimentación (DN 250 mm y Qn = 400 m³/h). El nivel del agua en la balsa se monitoreo mediante dos jalones graduados y dos sensores en balsas (Mini-Diver DI501, rango de medida de 10m, precisión ± 0.25%, registro cada 10 minutos) en senos 1 y 2 de las balsas. Mientas el acuífero fue monitoreado a través de un pozo (con seguimiento semanal manual con hidro nivel, se esperaba utilizar 2 pozos) y dos sondajes (Mini-Diver DI505, rango de medida de 50m y precisión ± 0.25%).</p>																														
Cantidad recargada	<p>Tasa de infiltración estimada de 10 m/d, rango [6.0 - 11.8 m/d] y tiende a estabilizarse en 6 m/d</p> <p>La cantidad total recargada corresponde a 12.055 m³.</p>																														
Fuente de agua	<p>El agua utilizada proviene del canal Alicahue, de origen pluvial, con capacidad superior a 200 l/s. El agua es transportada desde el canal a un tranque mediante un camino de tierra, gracias a su pendiente natural, siendo el tranque quien alimenta a las obras de recarga.</p>																														
Calidad de agua	<p>El análisis químico indicó que el pozo es recargado directamente por agua superficial de bajo recorrido, y que no sufre mayor variación estando dentro del acuífero, siendo esto indicador de recarga local.</p> <p>Tabla con resultados de calidad de aguas medido in-situ</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestra</th> <th>Fecha</th> <th>Conductividad (µS/cm ref. 25°C)</th> <th>T (° C)</th> <th>pH</th> <th>Sedimentación (mg/L)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>14/06/2013</td> <td>290</td> <td>9,2</td> <td>7,6</td> <td>0,0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>20/06/2013</td> <td>325</td> <td>10,4</td> <td>10,7</td> <td>0,0</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>01/07/2013</td> <td>202</td> <td>9,8</td> <td>9,9</td> <td>0,0</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>13/07/2013</td> <td>315</td> <td>8,4</td> <td>8,4</td> <td>0,0</td> </tr> </tbody> </table>	Muestra	Fecha	Conductividad (µS/cm ref. 25°C)	T (° C)	pH	Sedimentación (mg/L)	1	14/06/2013	290	9,2	7,6	0,0	2	20/06/2013	325	10,4	10,7	0,0	3	01/07/2013	202	9,8	9,9	0,0	4	13/07/2013	315	8,4	8,4	0,0
Muestra	Fecha	Conductividad (µS/cm ref. 25°C)	T (° C)	pH	Sedimentación (mg/L)																										
1	14/06/2013	290	9,2	7,6	0,0																										
2	20/06/2013	325	10,4	10,7	0,0																										
3	01/07/2013	202	9,8	9,9	0,0																										
4	13/07/2013	315	8,4	8,4	0,0																										



Económico

Inversión inicial	No mencionado
Mantenimiento	No mencionado

El sitio elegido permitiría mayor disponibilidad hídrica debido a la posesión de un tranque, sin embargo, el agua no fue exclusiva para la recarga. Peso a esto, se obtuvo información requerida por el piloto (tasas de infiltración asociada a cargas de agua y a volúmenes aportados). Es importante considerar que los pozos pueden no estar ubicados lo suficientemente cerca de los pilotos, y por ende, no se pudo contar con toda la información considerada inicialmente.

Recomendaciones técnicas para futuros proyectos piloto:

- ◆ Establecer una línea base con bastante antelación a la entrada en operación del proyecto.
- ◆ En el dimensionamiento de las balsas, se deberá privilegiar la profundidad por sobre el área, ya que queda establecido que la tasa de infiltración depende de la carga, y son directamente proporcionales.
- ◆ Si no se dispone de fuentes de control, se debe contemplar la construcción de piezómetros
- ◆ Se debe privilegiar la profundidad sobre el área, con lo cual las unidades podrían construirse más pequeñas, considerar una de ellas con carpetas impermeables que sirva de almacenamiento para las pruebas.
- ◆ Ya que interesa el caudal por sobre los volúmenes, es totalmente recomendable, que la alimentación del Piloto también posea un mecanismo de registro continuo de caudales.

Estudio básico “análisis de alternativas piloto de recarga artificial 3 sección Aconcagua” (2015b)

El proyecto piloto mandado por la Comisión Nacional de Riego (CNR) consistió en un pozo de infiltración sin presión ubicado en el sector La Palma dentro del campus experimental de la Universidad Católica de Valparaíso, y cuyo objetivo consistió en obtener resultados que permitan ampliar la experiencia en proyectos de mayor escala. Las pruebas de infiltración se efectuaron entre el 16 de octubre y 22 de noviembre del año 2014, resultando en bajas tasas de infiltración (0,25 L/s).

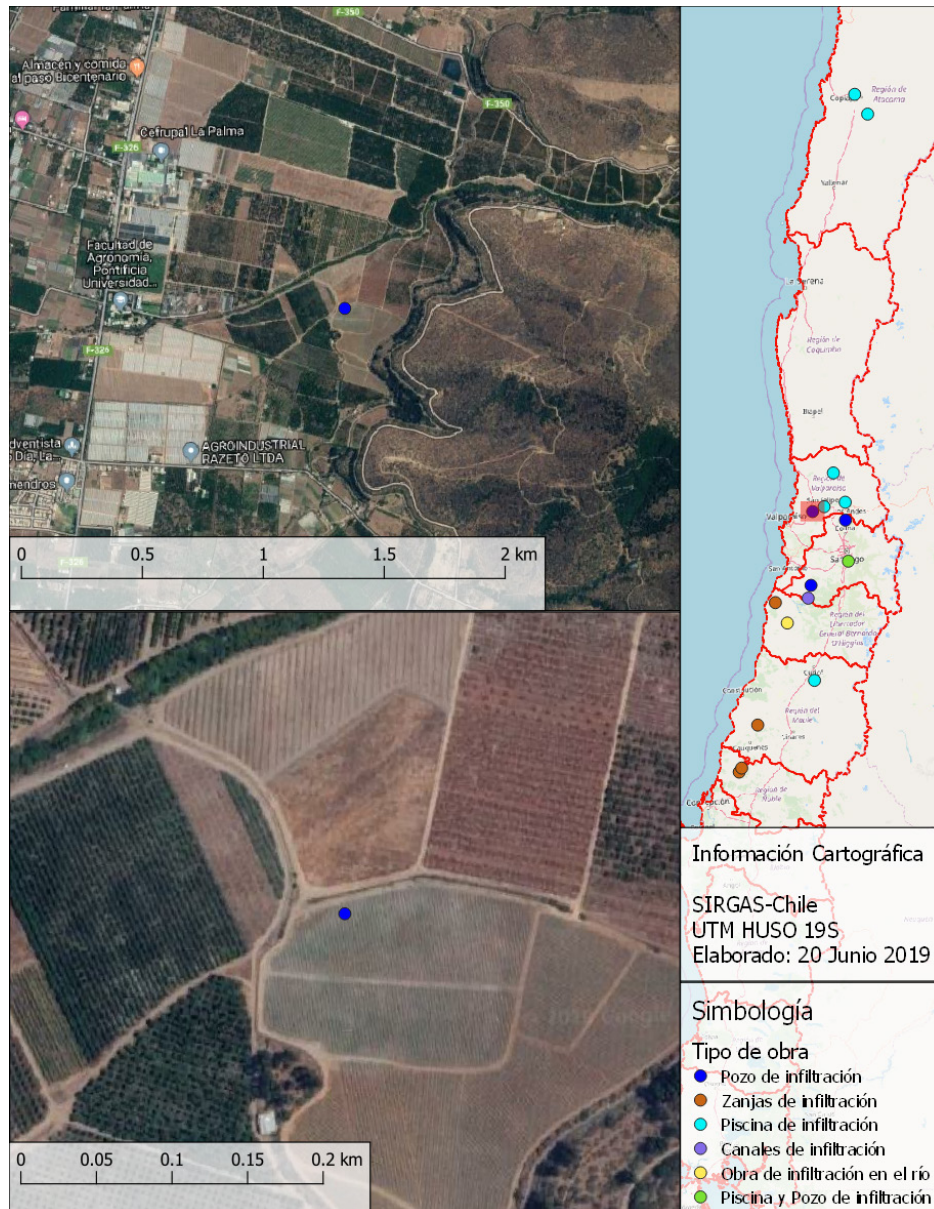


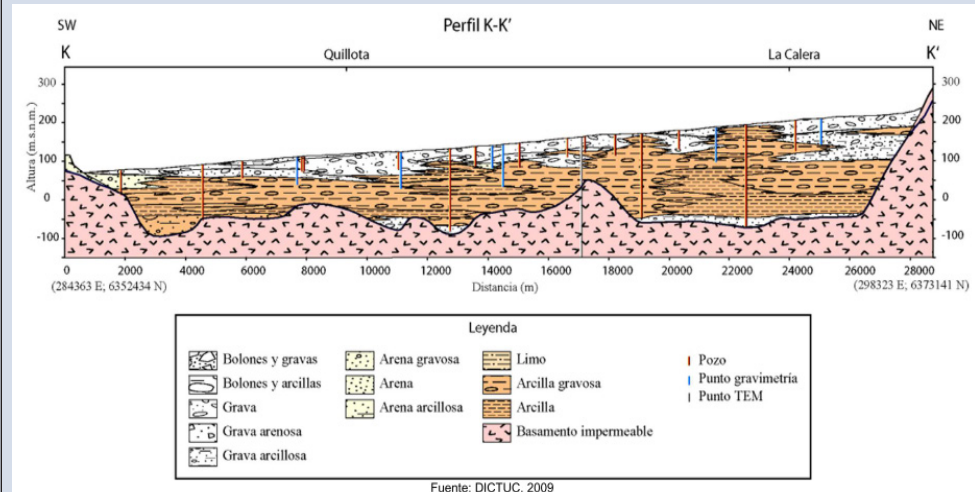
Figura 14. Ubicación geográfica piloto ubicado en La Palma.

Tabla 13. Información Proyecto Aconcagua Sección 3.

Información general	
Mandante	Comisión Nacional de Riego
Consultor	GeoHidrología Consultores
Tipo de obra	Pozo de infiltración
Periodo de ejecución	Pruebas de infiltración entre el 16 de octubre de 2014 y 22 de noviembre de 2014
Objetivos	<p>General:</p> <p>Desarrollar un estudio para la recarga artificial del acuífero en la 3ª Sección del Aconcagua, proponiendo una metodología para identificar las posibles zonas de recarga y realizar un Proyecto Piloto de Recarga Artificial de sus Acuíferos (PPRAA).</p> <p>Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analizar la información topográfica, geomorfológica, edafológica, geológica, hidrológica e hidrogeológica existente para la identificación de sitios de emplazamiento para un PPRAA. • Identificar la disponibilidad de aguas superficiales para las pruebas de recarga del piloto y estudiar la viabilidad legal de su utilización. • Determinar la compatibilidad de la calidad del agua superficial a recargar con la del acuífero receptor. • Identificar zonas potenciales de recarga y seleccionar el sitio para el PPRAA. • Definir la metodología a utilizar en el PPRAA de acuerdo con las condiciones hidrogeológicas existentes. • Determinar las constantes elásticas del acuífero a recargar. • Diseñar las obras hidráulicas necesarias para el desarrollo del PPRAA. • Registrar las fluctuaciones del nivel estático (N.E.) del acuífero en forma continua durante 1 mes previo al inicio de las experiencias de recarga artificial. • Realizar las experiencias en el PPRAA. • Determinar las tasas de infiltración en el PPRAA. • Evaluar el impacto proyectado a los niveles estáticos del acuífero en estudio. • Generar conclusiones y recomendaciones para un eventual Proyecto de Recarga Artificial de mayor escala en la zona.
Entorno local	
Terreno utilizado	Sector La Palma (Centro Experimental de la Universidad Católica de Valparaíso)

Características del acuífero

El perfil K-K' muestra un basamento de topografía irregular, sobre el cual se deposita un relleno con espesores máximos de 250 m hacia el noreste, en la zona de La Calera. Este espesor disminuye aguas abajo, a valores de 180 m en el límite oeste de la zona de estudio. El relleno que se muestra en el perfil K-K' se caracteriza por un predominio de arcilla gravosa hacia la base, sobre yacida por grava. La arcilla gravosa se interdigita con numerosos lentes de arcilla.



La prueba de bombeo arroja una transmisividad de 11 m²/d en el pozo de infiltración y de 43 m²/s en el de observación.

El coeficiente de almacenamiento S corresponde a 1,45·10⁻⁵ medida en el pozo de observación.

Características del suelo

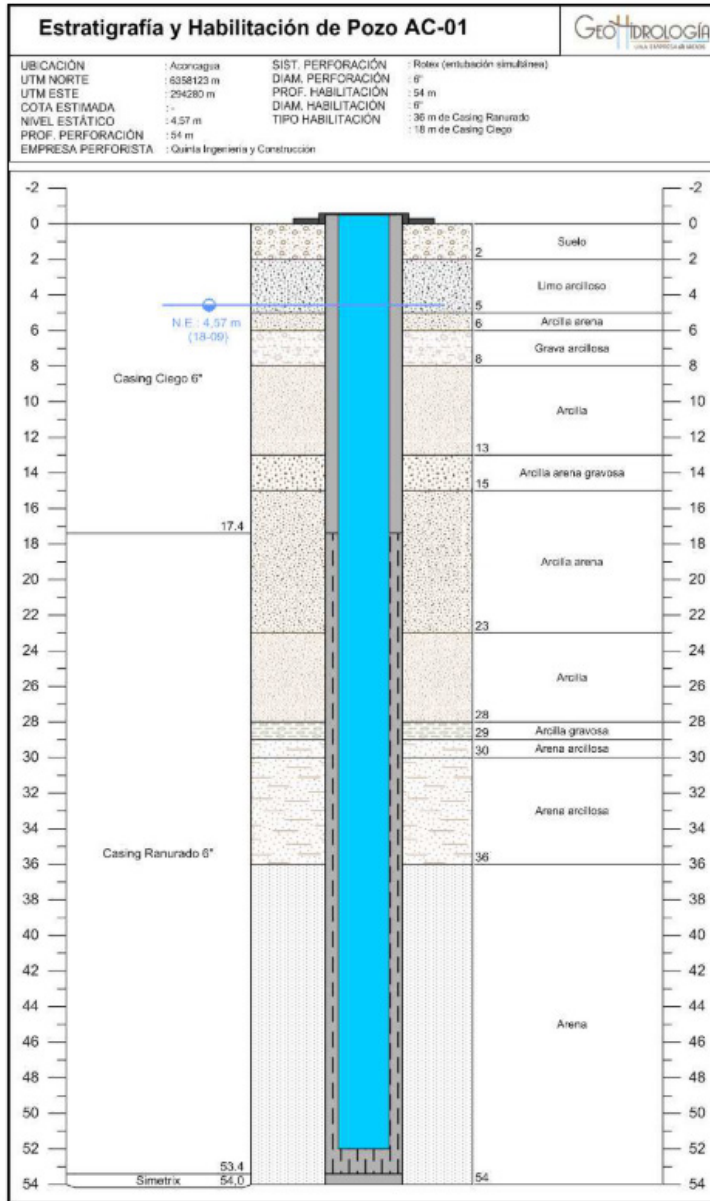
Unidad morfológica denominada Llanos de sedimentación fluvial o aluvional. Su geología está compuesta principalmente por rocas volcánicas y volcano-sedimentarias intercaladas con sedimentos marinos y continentales, depositadas entre el triásico superior y plioceno, además de cuerpos intrusivos del jurásico-cretácico. Gran parte de estas rocas fueron cubiertas por sedimentos principalmente cuaternarios y en menor proporción por rocas sedimentarias semi-consolidadas de edad neógena, asociados principalmente a procesos fluvio-aluviales.

Todos los sectores propuestos presentaron valores bajos para realizar infiltración a través de balsas (0,44; 0,07; 0,61 m/d) y por lo tanto lo recomendado fue utilizar pozos de infiltración.

Sistema de recarga

Pozo de 6" de diámetro y 54 m de profundidad. Figura a continuación:

Figura 6-14: Estratigrafía y habilitación Pozo infiltración AC-1



Dimensiones

Infiltración gravitacional.

Método

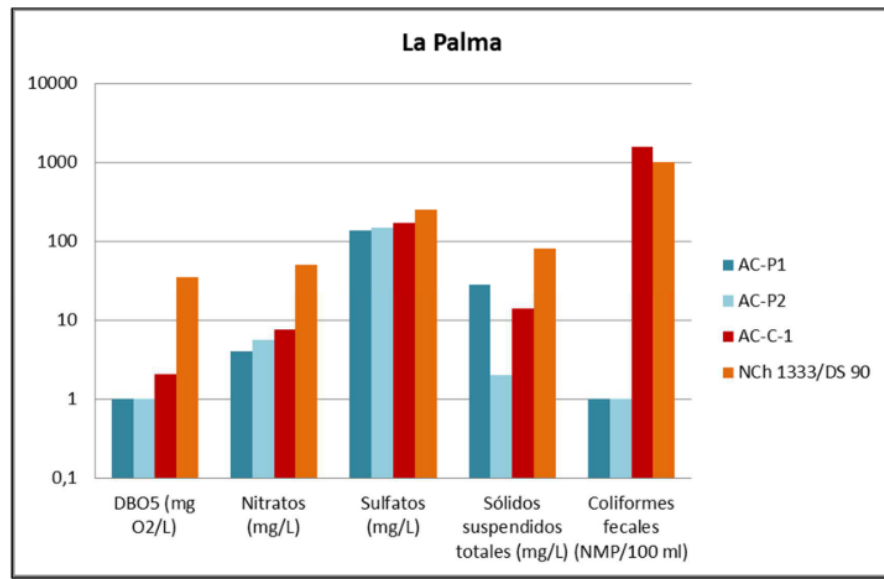
Marcha blanca con inyección de diferentes caudales entre 1 y 4 L/s.

3 pruebas de infiltración con caudales variables (0,25; 0,45 y 0,17 L/s respectivamente).

Periodos de recarga	<p>3 pruebas de infiltración entre los días 26 de octubre de 2014 y 17 de noviembre de 2014, y una marcha blanca entre el 16 de octubre de 2014 y 22 de noviembre de 2014.</p> <p>Prueba 1 entre 27/10 y 06/11; Prueba 2 entre 07/11 y 10/11; Prueba 3 entre 11/11 y 17/11.</p>																																																																										
Sistema de monitoreo	<p style="text-align: center;">Tabla 6-7: Cuadro resumen de medición de variables.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Objetivo asociado</th> <th>Parámetro</th> <th>Lugar de medición</th> <th>Equipo</th> <th>Marca/modelo</th> <th>N° Equipos instalados</th> <th>Frecuencia</th> <th>Telemetría</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Estimación de Balance Hídrico</td> <td rowspan="3">Caudal</td> <td>Vertedero triangular al ingreso del cajón de aforo</td> <td rowspan="2">Transductor de presión</td> <td rowspan="2">Leeg. Sensor de niveles hidrostático capacitivo Rango de medición de 0 a 5 m</td> <td>1</td> <td rowspan="3">Continuo</td> <td rowspan="3">Si</td> </tr> <tr> <td>Vertedero triangular de rebose del cajón de aforo</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Tubería alimentación pozo infiltración.</td> <td>Manómetro</td> <td>-</td> <td>1</td> <td>Semanal</td> <td>No</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Respuesta del acuífero</td> <td rowspan="3">Niveles</td> <td>Pozo de observación 1 (AC-02)</td> <td rowspan="3">Transductor de presión</td> <td rowspan="3">HOBO. U20L water level logger</td> <td>1</td> <td rowspan="3">Continuo</td> <td rowspan="3">No</td> </tr> <tr> <td>Tubería alimentación pozo infiltración.</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Atmósfera (superficie)</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Control de variables críticas</td> <td>Turbidez</td> <td>Cajón de aforo</td> <td>Turbidímetro</td> <td>SOLITAX scSS Wiper with sc200 Controller</td> <td>1</td> <td>Continuo</td> <td>Si</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Control de los efectos de la infiltración</td> <td rowspan="2">Parámetros químicos (Set B)</td> <td>Cajón de aforo</td> <td rowspan="2">Análisis de laboratorio</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>Mensual</td> <td>No</td> </tr> <tr> <td>Pozo de observación 1</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>Mensual</td> <td>No</td> </tr> <tr> <td>Parámetros físico-químicos (pH, T°, DO, Cond. Eléc.)</td> <td>Cajón de aforo</td> <td rowspan="2">Medidor multiparámetros portátil</td> <td rowspan="2">Hanna instrument HI9829</td> <td>-</td> <td rowspan="2">Semanal</td> <td rowspan="2">No</td> </tr> <tr> <td>Tubería alimentación pozo infiltración</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Variables meteorológicas</td> <td>Precipitación</td> <td>Estación de la DGA: Río Aconcagua en Chacabuco</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>Continuo</td> <td>Si de la página de la DGA</td> </tr> </tbody> </table>	Objetivo asociado	Parámetro	Lugar de medición	Equipo	Marca/modelo	N° Equipos instalados	Frecuencia	Telemetría	Estimación de Balance Hídrico	Caudal	Vertedero triangular al ingreso del cajón de aforo	Transductor de presión	Leeg. Sensor de niveles hidrostático capacitivo Rango de medición de 0 a 5 m	1	Continuo	Si	Vertedero triangular de rebose del cajón de aforo	1	Tubería alimentación pozo infiltración.	Manómetro	-	1	Semanal	No	Respuesta del acuífero	Niveles	Pozo de observación 1 (AC-02)	Transductor de presión	HOBO. U20L water level logger	1	Continuo	No	Tubería alimentación pozo infiltración.	1	Atmósfera (superficie)	1	Control de variables críticas	Turbidez	Cajón de aforo	Turbidímetro	SOLITAX scSS Wiper with sc200 Controller	1	Continuo	Si	Control de los efectos de la infiltración	Parámetros químicos (Set B)	Cajón de aforo	Análisis de laboratorio	-	-	Mensual	No	Pozo de observación 1	-	-	Mensual	No	Parámetros físico-químicos (pH, T°, DO, Cond. Eléc.)	Cajón de aforo	Medidor multiparámetros portátil	Hanna instrument HI9829	-	Semanal	No	Tubería alimentación pozo infiltración	-	Variables meteorológicas	Precipitación	Estación de la DGA: Río Aconcagua en Chacabuco	-	-	-	Continuo	Si de la página de la DGA
Objetivo asociado	Parámetro	Lugar de medición	Equipo	Marca/modelo	N° Equipos instalados	Frecuencia	Telemetría																																																																				
Estimación de Balance Hídrico	Caudal	Vertedero triangular al ingreso del cajón de aforo	Transductor de presión	Leeg. Sensor de niveles hidrostático capacitivo Rango de medición de 0 a 5 m	1	Continuo	Si																																																																				
		Vertedero triangular de rebose del cajón de aforo			1																																																																						
		Tubería alimentación pozo infiltración.	Manómetro	-	1			Semanal	No																																																																		
Respuesta del acuífero	Niveles	Pozo de observación 1 (AC-02)	Transductor de presión	HOBO. U20L water level logger	1	Continuo	No																																																																				
		Tubería alimentación pozo infiltración.			1																																																																						
		Atmósfera (superficie)			1																																																																						
Control de variables críticas	Turbidez	Cajón de aforo	Turbidímetro	SOLITAX scSS Wiper with sc200 Controller	1	Continuo	Si																																																																				
Control de los efectos de la infiltración	Parámetros químicos (Set B)	Cajón de aforo	Análisis de laboratorio	-	-	Mensual	No																																																																				
		Pozo de observación 1		-	-	Mensual	No																																																																				
	Parámetros físico-químicos (pH, T°, DO, Cond. Eléc.)	Cajón de aforo	Medidor multiparámetros portátil	Hanna instrument HI9829	-	Semanal	No																																																																				
Tubería alimentación pozo infiltración	-																																																																										
Variables meteorológicas	Precipitación	Estación de la DGA: Río Aconcagua en Chacabuco	-	-	-	Continuo	Si de la página de la DGA																																																																				
Cantidad recargada	<p>De la operación de las pruebas de infiltración del proyecto piloto se obtiene que la capacidad de infiltración del acuífero es reducida, ya que sólo se logra infiltrar un caudal medio de 0,25 L/s, utilizando un pozo de infiltración de 54 m de profundidad.</p>																																																																										
	<p>No se documenta la cantidad total recargada.</p>																																																																										
Fuente de agua	<p>Canal UCV desde Canal Ovalle, el cual es abastecido por la tercera sección del río Aconcagua.</p>																																																																										

Calidad de agua

Figura 4-15: Elementos mayores y parámetros de calidad en el sector de La Palma

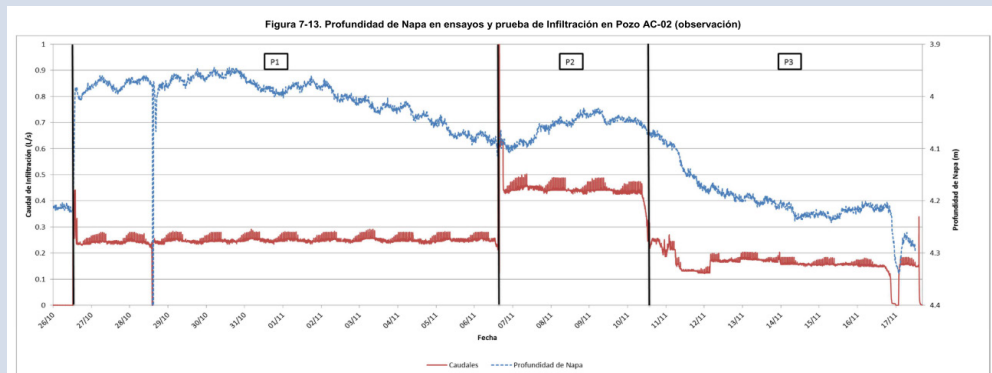


Se calculó el decaimiento/muerte de coliformes fecales del sector, concluyéndose que existe un rápido decaimiento y por ende, el agua del canal en el sector de La Palma sería apta para infiltración, al menos con este parámetro.

Niveles de pozo

Nivel estático: 4.57m

El comportamiento del pozo de observación durante las pruebas de infiltración es el siguiente:



Económico

		Tabla 6-9: Costos de inversión PPRAA 3 Sección Aconcagua		
		Tipo de obra	Metros perforados	Costo total (\$)
		Trabajos terreno implementación obras	-	410.550
		Pozo Infiltración (AC-01)	54	16.434.495
		P. Observación 1 (AC-02)	36	10.956.330
		Pruebas de bombeo	-	3.387.930
		Pruebas de infiltración	-	1.723.800
		Obras civiles	-	6.711.431
		Total (IVA Incluido)		39.624.536

Respecto a las obras civiles, éstas consideran la construcción de: 1) un sistema de captación, 2) un canal de aducción, 2) un dispositivo de medición, compuesto por un cajón aforador y una cámara de carga, 3) una canal de conducción, 4) un pozo de infiltración y 5) un pozo de observación.

		Tabla 6-10: Costos de instrumentación PPRAA 3 Sección Aconcagua				
		Equipo	Variable monitoreada	PU (\$)	Cantidad	Costo total (\$)
Inversión inicial		Sensor de niveles hidrostático marca LEEG	Altura en vertedero	410.550	2	821.100
		Turbidímetro Solitax Marca Hach	turbiedad	4.782.971	1	4.782.971
		Transductor de presión marca HOBO	Nivel en pozos	294.224	3	882.672
		Cable de comunicación	Traspaso de datos de nivel	125.592	1	125.592
		Telemetría: Sistema WiseAccess	Telemetría	2.149.075	1	2.149.075
		Telemetría: Tarjeta de datos	Telemetría	128.000	1	128.000
		Telemetría: B&V electricidad (Instalación)	Telemetría	309.400	1	309.400
		Total (IVA Incluido)				9.198.810

Tabla 6-11: Valor referencial de agua infiltrada	
Total (IVA Incluido) (\$)	49.233.896
Q máximo infiltrado (L/s)	0,25
Costo \$/(L/s infiltrado)	196.935.583

Mantenimiento | No mencionado

Es importante contar con estratigrafía localizada en el área de estudio donde se plantea realizar el piloto de recarga, debido a que las características del suelo pueden variar respecto de estratigrafías cercanas. Además, es importante considerar que los pozos podrían funcionar de mejor manera inyectando el agua a presión, lo cual no pudo ser implementado durante el piloto en Las Palmas, pues la construcción del pozo no fue diseñada para esto.

Se espera que en el futuro los proyectos de recarga realicen el diseño del sistema de infiltración después de haber realizado todos los trabajos de terreno, incluyendo la perforación de pozos exploratorios que permitan obtener muestras inalteradas de suelo. Esto permitirá corroborar las aptitudes del sitio, preparar un diseño

especial o bien buscar otro sitio con mejores cualidades para el proyecto de recarga.

Estudio e implementación de un plan piloto de recargas artificiales a los acuíferos del valle del Aconcagua (2016)

Este proyecto piloto mandado por la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) consistió en dos piscinas de infiltración, ubicadas en el sector Curimón en la primera sección del río Aconcagua (Región de Valparaíso). La recarga se realizó entre el 5 de julio de 2014 y el 30 de agosto de 2015, infiltrando un total de 190.928 m³. El objetivo del proyecto consistió en estudiar la posibilidad de realizar proyectos de recarga de acuíferos que permitan almacenar agua para ser extraída cuando se requiera.

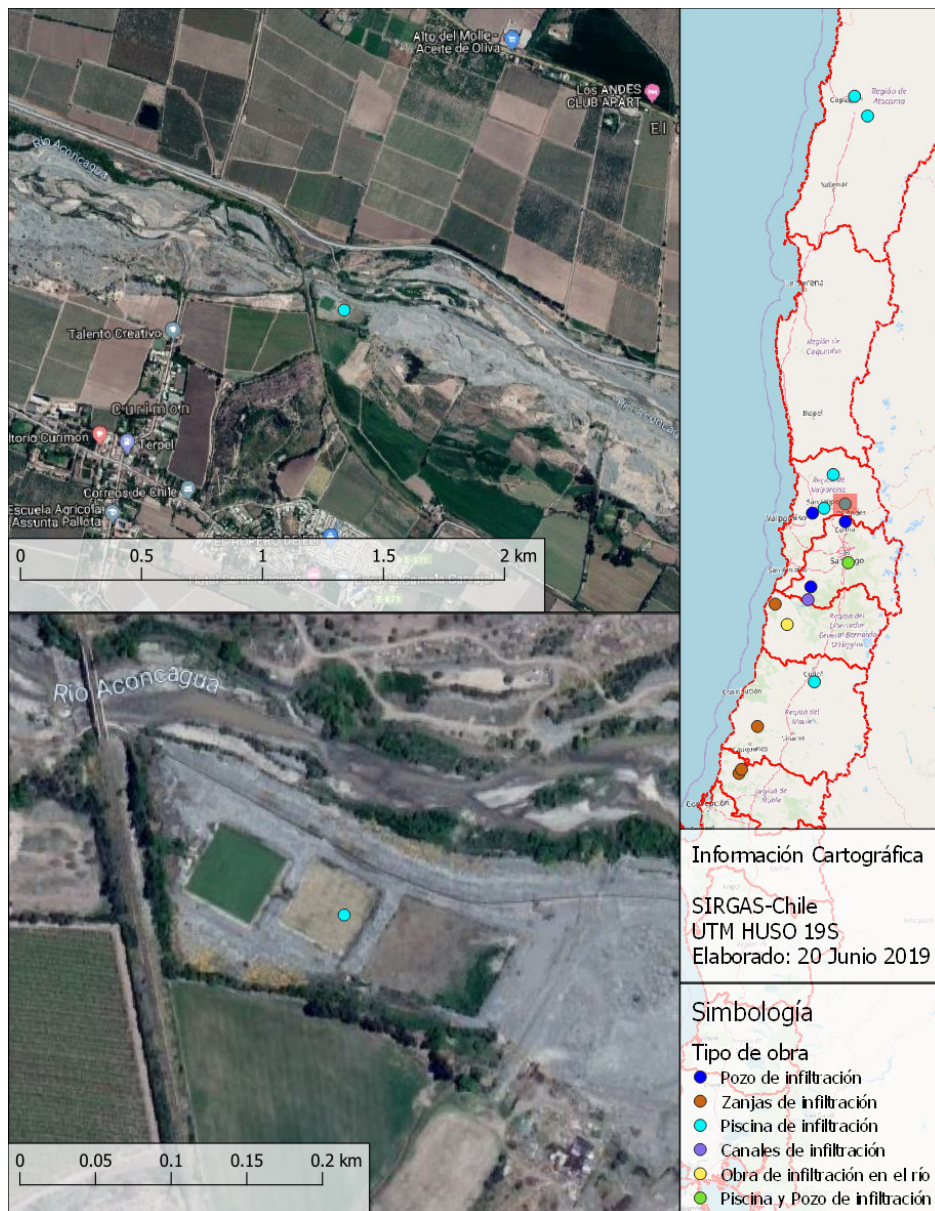


Figura 15. Ubicación geográfica piloto de Curimón.

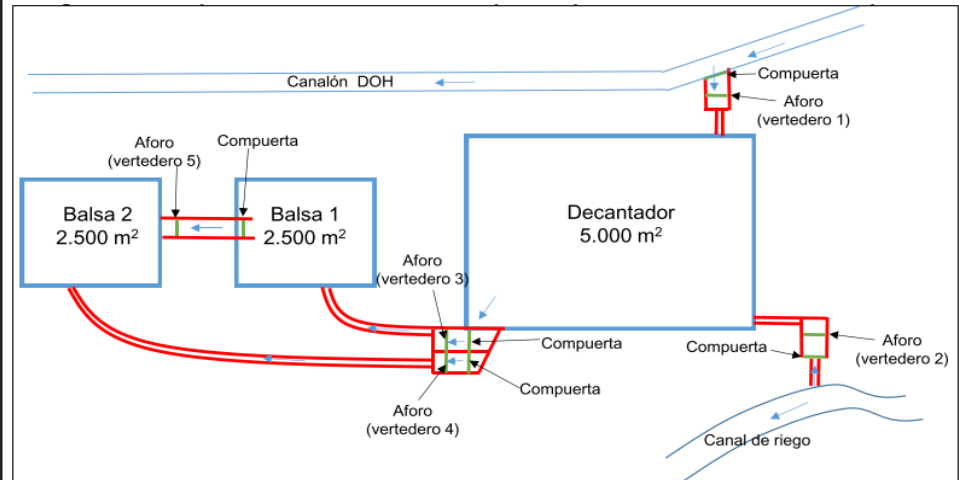
Tabla 14. Información Proyecto Valle Aconcagua

Información general	
Mandante	Dirección de Obras Hidráulicas
Consultor	GeoHidrología Consultores
Tipo de obra	Piscinas de infiltración
Periodo de ejecución	Periodo de recarga entre el 5 de julio de 2014 y el 30 de agosto de 2015.
Objetivo	Estudiar la potencialidad de realizar proyectos de recarga en la 1a y 3a sección del río Aconcagua y, en el sector seleccionado, estudiar la capacidad de almacenamiento del acuífero para almacenar agua en períodos de años normales y húmedos, para luego aprovecharlos en los períodos que se requieran.
Entorno local	
Terreno utilizado	Sector Curimón.
Características del acuífero	Basamento estimado a 200 metros en promedio, rango desde 360m hasta sectores de afloramientos en múltiples cerros islas.
	Conductividad hidráulica desde 66 a 481 m/d para el estrato de depósitos fluviales (obtenida mediante permeámetro de carga constante (PCC), y conductividades hidráulicas saturadas entre 1,6 y 16,1 m/d con un promedio de 6,2 m/d (obtenida mediante prueba de anillo doble a carga constante). El acuífero presenta una potencia variable entre 60 y 80 m, su carácter es freático y el nivel estático fluctúa entre los 50 y 100 m con unas permeabilidades estimadas entre 0,3 y 430 m/d.
Características del suelo	La geología del sector, específicamente entre Los Andes y San Felipe, se encuentra marcada por depósitos de gran cantidad de sedimentos gruesos debido al cambio de energía del río Aconcagua al pasar de un dominio cordillerano de alta energía a uno de baja energía y al aporte de esteros al norte y sur del río. En esta zona el basamento se encuentra a unos 200 m de profundidad en promedio, alcanzando en algunas zonas hasta los 360 m de profundidad y aflorando en otras, en numerosos cerros islas.
	La zona no vadosa en el sector donde se ubicaron las balsas corresponde a una unidad de depósitos fluviales que abarca desde la superficie hasta los 50 m de profundidad. Esta unidad está compuesta de sedimentos de tamaños variables desde grava gruesa a arcillas y que corresponden a fragmentos redondeados a subredondeados principalmente de origen volcánico tales como lavas y tobas andesíticas. Bajo ella se encuentra roca meteorizada y fracturada (6 m), para luego dar paso en profundidad a 4 m de roca fresca que corresponde a una granodiorita de grano fino, siendo catalogado como basamento. La unidad de depósitos fluviales identificada se presenta homogénea en el subsuelo (profundidad) y se puede clasificar como un suelo gravo-arenoso. La humedad saturada es menor a un 20% lo cual es consistente con la granulometría gruesa del suelo y al mismo tiempo la humedad residual es inferior al 5%, lo que indica la poca capacidad de retención de humedad del suelo. La conductividad hidráulica estimada para este estrato mediante permeámetro de carga constante (PCC), va desde 66 a 481 m/d (duración de ensayo de 3 horas), estos resultados son conductividades altas consistentes con la naturaleza gruesa del suelo y su procedencia (lecho del río). Por otra parte, mediante el ensayo de infiltración en terreno mediante doble anillo a carga constante, se determinaron valores de conductividades hidráulicas saturadas entre 1,6 y 16,1 m/d.
Sistema de recarga	

Diseño para un caudal de 500 l/s, compuesto de tres unidades: un decantador rectangular (80 x 62,5 m) y dos balsas de infiltración (50 x 50 m). Estas unidades tienen un área cada uno de 4.500 m², 2.113 m² y 2.203 m² respectivamente.

El esquema presentado a continuación representa el proyecto cuyas dimensiones son aproximadas.

Dimensiones



Método	<p>Durante las 3 primeras operaciones el sistema funcionó de manera intermitente durante su extensión, con ingreso de caudal sólo de 8:30 a 18:30 hrs. o bien de manera continua durante el fin de semana. En la cuarta y última operación, el sistema funcionó de manera continua por largos periodos de tiempo, permitiendo estabilizar las condiciones de caudal de ingreso y niveles de las balsas, escenario óptimo para determinar tasas de infiltración.</p> <p>En las distintas operaciones realizadas se utilizaron diferentes configuraciones posibles del sistema de infiltración, es decir, se utilizó el decantador sólo, el decantador junto con la Balsa N°2, el decantador con las balsas en paralelo y el decantador con las balsas en serie:</p>																																																																										
	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">N°</th> <th colspan="3">Periodo de operación</th> <th rowspan="2">Unidades utilizadas</th> <th rowspan="2">Caudal de entrada al sistema (decantador) (*) (l/s)</th> <th rowspan="2">Funcionamiento</th> <th rowspan="2">Mediciones</th> <th rowspan="2">Observación</th> </tr> <tr> <th>Inicio</th> <th>Fin</th> <th>Duración (días)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-</td> <td>15/11/2013</td> <td>23/11/2013</td> <td>9</td> <td>Decantador, Balsa 1 y Balsa 2</td> <td>-</td> <td>Continuo</td> <td>No</td> <td>Funcionamiento previo al inicio de la operación: Funcionamiento de emergencia del sistema general debido a rebosa del canal de regadío</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>04/07/2014</td> <td>24/07/2014</td> <td>21</td> <td>Decantador</td> <td>90 (**)</td> <td>Discontinuo. 8:30 a 18:30</td> <td>Niveles en pozo 2 y 3, unidades y vertederos (frecuencia horaria)</td> <td>Inicio entrada en operación: Entrada en operación del sistema, ingreso de agua por Canalón DOH (río Aconcagua) y dos días por canal de regadío (simultáneo). Pozo 1 y 4 obstruidos</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>26/07/2014</td> <td>30/07/2014</td> <td>5</td> <td>Decantador y Balsa 2</td> <td>61</td> <td>Discontinuo. 8:30 a 18:30</td> <td>Niveles en pozo 2 y 3, unidades y vertederos (frecuencia horaria)</td> <td>Ingreso de agua por Canalón DOH (río Aconcagua). Pozo 1 y 4 obstruidos</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">3</td> <td>a</td> <td>23/08/2014</td> <td>24/08/2014</td> <td rowspan="3">Decantador, Balsa 1 y Balsa 2</td> <td>89</td> <td rowspan="3">Discontinuo - Sábado 8:00 a Domingo 20:00 hrs</td> <td rowspan="3">Niveles en pozos, unidades y vertederos (frecuencia horaria)</td> <td>Ingreso de agua por Canalón DOH (río Aconcagua)</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>30/08/2014</td> <td>30/08/2014</td> <td>165</td> <td>Ingreso de agua por canal de riego.</td> </tr> <tr> <td>c</td> <td>06/09/2014</td> <td>07/09/2014</td> <td>2</td> <td>70</td> <td>Ingreso de agua por Canal de riego.</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>28/07/2015</td> <td>30/08/2015</td> <td>34</td> <td>Decantador y Balsa 1</td> <td>31</td> <td>Continuo</td> <td>Niveles en pozos (frecuencia horaria), unidades y vertederos (frecuencia a minuto)</td> <td>Ingreso de agua por Canalón DOH (Pozos Curimón). Balsa 2 en operación debido a excedente de agua proveniente de la Balsa 1</td> </tr> </tbody> </table> <p><small>Nota: (*) Caudal promedio continuo desde el inicio hasta el final del periodo de operación. (**) Medición manual. Fuente: elaboración propia.</small></p>								N°	Periodo de operación			Unidades utilizadas	Caudal de entrada al sistema (decantador) (*) (l/s)	Funcionamiento	Mediciones	Observación	Inicio	Fin	Duración (días)	-	15/11/2013	23/11/2013	9	Decantador, Balsa 1 y Balsa 2	-	Continuo	No	Funcionamiento previo al inicio de la operación: Funcionamiento de emergencia del sistema general debido a rebosa del canal de regadío	1	04/07/2014	24/07/2014	21	Decantador	90 (**)	Discontinuo. 8:30 a 18:30	Niveles en pozo 2 y 3, unidades y vertederos (frecuencia horaria)	Inicio entrada en operación: Entrada en operación del sistema, ingreso de agua por Canalón DOH (río Aconcagua) y dos días por canal de regadío (simultáneo). Pozo 1 y 4 obstruidos	2	26/07/2014	30/07/2014	5	Decantador y Balsa 2	61	Discontinuo. 8:30 a 18:30	Niveles en pozo 2 y 3, unidades y vertederos (frecuencia horaria)	Ingreso de agua por Canalón DOH (río Aconcagua). Pozo 1 y 4 obstruidos	3	a	23/08/2014	24/08/2014	Decantador, Balsa 1 y Balsa 2	89	Discontinuo - Sábado 8:00 a Domingo 20:00 hrs	Niveles en pozos, unidades y vertederos (frecuencia horaria)	Ingreso de agua por Canalón DOH (río Aconcagua)	b	30/08/2014	30/08/2014	165	Ingreso de agua por canal de riego.	c	06/09/2014	07/09/2014	2	70	Ingreso de agua por Canal de riego.	4	28/07/2015	30/08/2015	34	Decantador y Balsa 1	31	Continuo	Niveles en pozos (frecuencia horaria), unidades y vertederos (frecuencia a minuto)
N°	Periodo de operación			Unidades utilizadas	Caudal de entrada al sistema (decantador) (*) (l/s)	Funcionamiento	Mediciones	Observación																																																																			
	Inicio	Fin	Duración (días)																																																																								
-	15/11/2013	23/11/2013	9	Decantador, Balsa 1 y Balsa 2	-	Continuo	No	Funcionamiento previo al inicio de la operación: Funcionamiento de emergencia del sistema general debido a rebosa del canal de regadío																																																																			
1	04/07/2014	24/07/2014	21	Decantador	90 (**)	Discontinuo. 8:30 a 18:30	Niveles en pozo 2 y 3, unidades y vertederos (frecuencia horaria)	Inicio entrada en operación: Entrada en operación del sistema, ingreso de agua por Canalón DOH (río Aconcagua) y dos días por canal de regadío (simultáneo). Pozo 1 y 4 obstruidos																																																																			
2	26/07/2014	30/07/2014	5	Decantador y Balsa 2	61	Discontinuo. 8:30 a 18:30	Niveles en pozo 2 y 3, unidades y vertederos (frecuencia horaria)	Ingreso de agua por Canalón DOH (río Aconcagua). Pozo 1 y 4 obstruidos																																																																			
3	a	23/08/2014	24/08/2014	Decantador, Balsa 1 y Balsa 2	89	Discontinuo - Sábado 8:00 a Domingo 20:00 hrs	Niveles en pozos, unidades y vertederos (frecuencia horaria)	Ingreso de agua por Canalón DOH (río Aconcagua)																																																																			
	b	30/08/2014	30/08/2014		165			Ingreso de agua por canal de riego.																																																																			
	c	06/09/2014	07/09/2014		2			70	Ingreso de agua por Canal de riego.																																																																		
4	28/07/2015	30/08/2015	34	Decantador y Balsa 1	31	Continuo	Niveles en pozos (frecuencia horaria), unidades y vertederos (frecuencia a minuto)	Ingreso de agua por Canalón DOH (Pozos Curimón). Balsa 2 en operación debido a excedente de agua proveniente de la Balsa 1																																																																			
Periodos de recarga	<p>El piloto comenzó el 5 de julio de 2014 y terminó el 30 de agosto de 2015, utilizando 4 periodos de operación</p>																																																																										

<p>Sistema de monitoreo</p>	<p>El proyecto contempló la construcción de 4 pozos de monitoreo, con el objetivo principal de realizar un seguimiento al nivel del acuífero, antes y durante las pruebas de infiltración, para estimar su respuesta ante la recarga artificial.</p> <p>El pozo P1 se construyó en el sector de las balsas de infiltración, específicamente alejado a la Balsa 2. Fue habilitado en 12" con una profundidad de 60 m, a los 54 metros presentó nivel de agua. Los pozos P2, P3 y P4 se ubicaron en los alrededores de las obras a una distancia de 150 y 550 metros al Oeste y a 1400 al Norte de las obras, respectivamente. Estos pozos fueron habilitados en 8" y alcanzaron una profundidad de 70 m.</p> <table border="1" data-bbox="527 562 1469 1100"> <thead> <tr> <th>Objetivo asociado</th> <th>Parámetro</th> <th>Lugar de medición</th> <th>Frecuencia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="7">Desempeño del sistema de infiltración</td> <td rowspan="5">Caudal y nivel</td> <td>Vertedero 1: Canalón DOH a Decantador</td> <td>Continuo</td> </tr> <tr> <td>Vertedero 2: Canal de riego a Decantador</td> <td>Continuo</td> </tr> <tr> <td>Vertedero 3: Decantador a Balsa 1r</td> <td>Continuo</td> </tr> <tr> <td>Vertedero 4: Decantador a Balsa 2</td> <td>Continuo</td> </tr> <tr> <td>Vertedero 5: Balsa 1 a Balsa 2.</td> <td>Continuo</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">nivel</td> <td>Decantador</td> <td>Continuo</td> </tr> <tr> <td>Balsa 1</td> <td>Continuo</td> </tr> <tr> <td>Balsa 2</td> <td>Continuo</td> </tr> <tr> <td>Precipitación</td> <td>Estación DGA Aconcagua en San Felipe (CBNA 05410005-1).</td> <td>Continuo</td> </tr> <tr> <td>Evaporación</td> <td>Estanque de evaporación</td> <td>Diaria</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Respuesta del acuífero</td> <td>Niveles</td> <td>Pozos de observación: P1, P2, P3 y P4</td> <td>Continuo</td> </tr> <tr> <td>Niveles</td> <td>Pozo de observación DOH 68</td> <td>Horaria</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">Control de los efectos de la infiltración</td> <td rowspan="3">Parámetros químicos</td> <td>Agua de alimentación</td> <td>Mensual</td> </tr> <tr> <td>Balsas de infiltración</td> <td>Mensual</td> </tr> <tr> <td>Pozos de observación P1, P2, P3, P4 y DOH 68)</td> <td>Mensual</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Parámetros físico- químicos (pH, T°, Cond. Eléc, turbidez.)</td> <td>Agua de alimentación</td> <td>Diario</td> </tr> <tr> <td>Balsas de infiltración</td> <td>Diario</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Pozos de observación P1, P2, P3, P4 y DOH 68)</td> <td>Mensual</td> </tr> </tbody> </table>	Objetivo asociado	Parámetro	Lugar de medición	Frecuencia	Desempeño del sistema de infiltración	Caudal y nivel	Vertedero 1: Canalón DOH a Decantador	Continuo	Vertedero 2: Canal de riego a Decantador	Continuo	Vertedero 3: Decantador a Balsa 1r	Continuo	Vertedero 4: Decantador a Balsa 2	Continuo	Vertedero 5: Balsa 1 a Balsa 2.	Continuo	nivel	Decantador	Continuo	Balsa 1	Continuo	Balsa 2	Continuo	Precipitación	Estación DGA Aconcagua en San Felipe (CBNA 05410005-1).	Continuo	Evaporación	Estanque de evaporación	Diaria	Respuesta del acuífero	Niveles	Pozos de observación: P1, P2, P3 y P4	Continuo	Niveles	Pozo de observación DOH 68	Horaria	Control de los efectos de la infiltración	Parámetros químicos	Agua de alimentación	Mensual	Balsas de infiltración	Mensual	Pozos de observación P1, P2, P3, P4 y DOH 68)	Mensual	Parámetros físico- químicos (pH, T°, Cond. Eléc, turbidez.)	Agua de alimentación	Diario	Balsas de infiltración	Diario			Pozos de observación P1, P2, P3, P4 y DOH 68)	Mensual
Objetivo asociado	Parámetro	Lugar de medición	Frecuencia																																																			
Desempeño del sistema de infiltración	Caudal y nivel	Vertedero 1: Canalón DOH a Decantador	Continuo																																																			
		Vertedero 2: Canal de riego a Decantador	Continuo																																																			
		Vertedero 3: Decantador a Balsa 1r	Continuo																																																			
		Vertedero 4: Decantador a Balsa 2	Continuo																																																			
		Vertedero 5: Balsa 1 a Balsa 2.	Continuo																																																			
	nivel	Decantador	Continuo																																																			
		Balsa 1	Continuo																																																			
Balsa 2		Continuo																																																				
Precipitación	Estación DGA Aconcagua en San Felipe (CBNA 05410005-1).	Continuo																																																				
Evaporación	Estanque de evaporación	Diaria																																																				
Respuesta del acuífero	Niveles	Pozos de observación: P1, P2, P3 y P4	Continuo																																																			
	Niveles	Pozo de observación DOH 68	Horaria																																																			
Control de los efectos de la infiltración	Parámetros químicos	Agua de alimentación	Mensual																																																			
		Balsas de infiltración	Mensual																																																			
		Pozos de observación P1, P2, P3, P4 y DOH 68)	Mensual																																																			
	Parámetros físico- químicos (pH, T°, Cond. Eléc, turbidez.)	Agua de alimentación	Diario																																																			
		Balsas de infiltración	Diario																																																			
		Pozos de observación P1, P2, P3, P4 y DOH 68)	Mensual																																																			
<p>Cantidad recargada</p>	<p>Tasa de infiltración de 6,2 m/d (DOH, 2012b; a), mientras el presente estudio documentó un rango entre 1,6 y 16,1 m/d, con un promedio de 6,2 m/d.</p> <p>La cantidad recargada fue de 190.928 m³</p>																																																					
<p>Fuente de agua</p>	<p>Tres posibles fuentes: Agua subterránea de los Pozos de Curimón (DOH), río Aconcagua (derechos eventuales DOH) y agua superficial del canal de regadío (excedentes de regantes).</p>																																																					

<p>Calidad de agua</p>	<p>En cuanto a la calidad de las aguas superficiales y subterráneas de la zona, al comparar la mediana de los parámetros medidos en las muestras de agua superficial y de agua subterránea, se aprecia que la calidad del agua subterránea es similar al agua superficial en la mayoría de los parámetros, salvo ciertos metales como aluminio, cobre, fierro y manganeso cuya concentración es mayor en el agua superficial. La razón de las bajas concentraciones de estos metales en el agua subterránea, a pesar de que la fuente de recarga del acuífero de la primera sección del río Aconcagua es el agua superficial, radica en la capacidad de filtración que posee la zona no saturada del suelo, la que mediante reacciones físicas (absorción, adsorción), químicas (redox) y biológicas (bacterias) es capaz de mejorar la calidad del agua a su paso.</p> <p>El parámetro físico-químico de mayor relevancia corresponde a la turbidez, variable que permite relacionar el efecto entre la cantidad de sedimentos que ingresa al sistema y la colmatación del subsuelo. En general los valores de turbiedad estuvieron por sobre lo recomendado (10 NTU) la mayor parte del tiempo.</p> <p>Se compararon los parámetros de Conductividad Eléctrica (CE), Sólidos Disueltos Totales (SDT), Carbón Orgánico Total (COT), alcalinidad, RAS, sodio porcentual, boro, sodio, cloruro, nitrato y pH, con los valores de referencia de la Norma Chilena 1333. Todos los compuestos con valores de referencia se encuentran dentro de lo recomendado por la norma. En términos generales, el agua del acuífero presenta buenas condiciones para el riego de cultivos y su calidad no se ve mermada por el agua de alimentación debido a que presentan la misma calidad. Los analitos analizados en su mayoría se encuentran por debajo de la norma de riego (NCh 1333/87) con excepción de algunas muestras puntuales de agua superficial que sobrepasan los compuestos de manganeso y molibdeno, y algunas muestras puntuales de agua subterránea que supera la norma en hierro y manganeso y molibdeno.</p> <p>El monitoreo realizado de coliformes fecales durante el proyecto tanto en el agua de alimentación como en el agua receptora (acuífero), arroja que si bien se encontró la presencia de coliformes fecales en un rango entre 2 y 26000 NMP/100 ml (Número Más Probable) en el agua superficial, estas bacterias no se detectaron en el agua subterránea a lo largo del proyecto.</p>
<p>Niveles de pozo</p>	<p>Se perforaron 4 pozos, de los cuales 3 de ellos presentaron unidad de depósitos fluviales no consolidados por sobre 70 metros sin basamento encontrado (pozos P2, P3, y P4), y uno de ellos hasta los 50 metros con basamento encontrado a partir de esa profundidad, con agua encontrada a partir de los 54 metros en el pozo P1.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estratigrafía <p>La unidad de depósitos fluviales identificada se presenta homogénea en el subsuelo (profundidad) y se puede clasificar como un suelo gravo-arenoso. La humedad saturada es menor a un 20% lo cual es consistente con la granulometría gruesa del suelo y al mismo tiempo la humedad residual es inferior al 5%, lo que indica la poca capacidad de retención de humedad del suelo. La conductividad hidráulica estimada para este estrato mediante permeámetro de carga constante (PCC), va desde 66 a 481 m/d (Duración de ensayo de 3 horas), estos resultados son conductividades altas consistentes con la naturaleza gruesa del suelo y su procedencia (lecho del río). Por otra parte, mediante el ensayo de infiltración en terreno mediante doble anillo a carga constante, se determinaron valores de conductividades hidráulicas saturadas entre 1,6 y 16,1 m/d.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Perfil de construcción • Parámetros obtenidos en pruebas de bombeo

Económico		
Inversión inicial	Obras:	\$198.451.597
	Instrumentación:	\$5.225.826
Mantenimiento	Operación:	\$1.439.900 mensual

La cuenca se encuentra bien estudiada por la DGA y representada por modelos hidrogeológicos a escala regional. Sin embargo, los resultados de estos proyectos tienen un carácter local, debido a la heterogeneidad existente en el suelo.

Resulta fundamental realizar este tipo de proyectos trabajando en conjunto con la junta de vigilancia, quien es la que administra los recursos hídricos en esa zona. Esto cobra relevancia en el diseño del sistema para no sobre o sub dimensionar las obras y ajustarse en las dimensiones tanto a la disponibilidad de agua como a la tasa de infiltración preliminar estimada.

En cuanto al dimensionamiento del sistema, su diseño se basó en una tasa de infiltración del orden de 500 L/s / ha, obtenida de los resultados de los ensayos de infiltración realizados y de bibliografía (DOH, 2012). Sin embargo, este valor es superior a las tasas de infiltración obtenidas del piloto (30 y 50 L/s / ha).

Las obras se emplazaron en un sector de la cuenca donde existe una particularidad geológica marcada por su cercanía al cerro Curimon. En esta zona hay un levantamiento del basamento y un aumento de los finos (pozo P1) con respecto a sectores cercanos a las obras (pozos P2, P3 y P4). Esto podría implicar, que el mismo proyecto ubicado en un sector cercano, por ejemplo, donde se perforaron los otros pozos, podría tener tasas de infiltración mayores a las obtenidas.

Las mediciones de turbidez realizadas previas y posteriores al decantador, denotan que el tiempo de retención del agua en esta unidad no fue suficiente para decantar las partículas mayores y disminuir el parámetro a rangos menores o igual a 10 NTU, valor que recomienda la bibliografía para evitar colmatación temprana en el subsuelo de las balsas. La mayor parte del tiempo el sistema funcionó con valores por sobre los 10 NTU afectando la capacidad de infiltración del sistema.

Se recomienda verificar la reversibilidad de la colmatación de la Balsa N 2, mediante la limpieza de esta y la realización de pruebas posteriores. Este antecedente es importante para tener en cuenta en futuros proyectos en la zona.

Estudio básico “Análisis de alternativas piloto de recarga artificial Chacabuco–Polpaico” (2015a)

El proyecto piloto mandado por la Comisión Nacional de Riego (CNR) consistió en un pozo de infiltración ubicado en el sector Casas de Chacabuco (Región Metropolitana). El piloto se ejecutó entre el 28 de agosto y 9 de octubre de 2014 recargando un total de 3.217 m³.

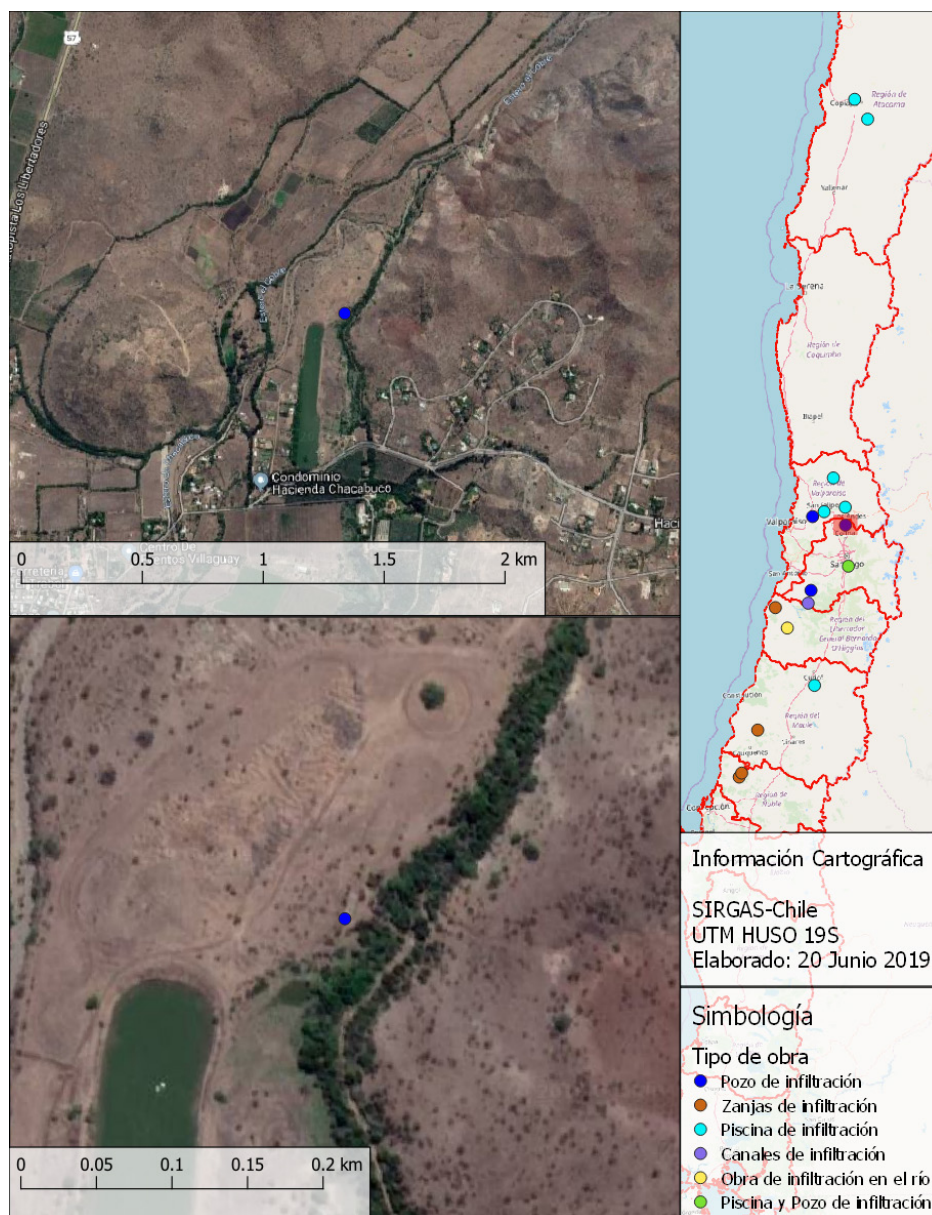


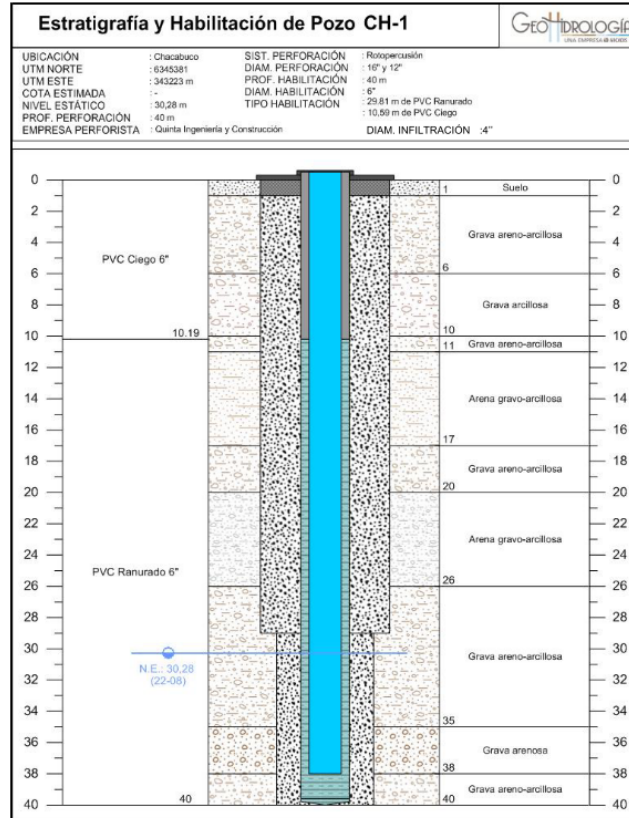
Figura 16. Ubicación geográfica piloto Chacabuco-polpaico.

Tabla 15. Información Proyecto Chacabuco-Polpaico.

Información general	
Mandante	Comisión Nacional de Riego
Consultor	GeoHidrología Consultores
Tipo de obra	Pozos de infiltración
Periodo de ejecución	Pruebas de infiltración ejecutadas entre el 28 de agosto y 9 de octubre de 2014.
Objetivo	Caracterizar de mejor forma el acuífero de Chacabuco-Polpaico, identificar posibles zonas de recarga artificial y finalmente realizar un Proyecto Piloto de Recarga Artificial de Acuíferos (PPRAA).
Entorno local	
Terreno utilizado	En sector Casas de Chacabuco (Hacienda de Chacabuco), cuyo dueño es Sebastián Lira o Rodrigo Andai (ambos mencionados en el documento).
Características del acuífero	El acuífero en el sector Chacabuco-Polpaico está asociado a la cuenca hidrográfica del Estero Chacabuco (Figura 3-15). Las unidades acuíferas principales están asociadas en su cabecera a depósitos coluviales y conos de deyección. En la zona media se distinguen los depósitos del abanico aluvial del Estero Chacabuco, formados por arenas y arenas gravosas. Finalmente, en su parte baja, se encuentran depósitos lacustres formados por sedimentos limo-arenosos-arcillosos intercalados con depósitos fluviales actuales y antiguos formados por gravas arenosas y arenas. Sin embargo, no existe un entendimiento detallado de la geometría y composición de los distintos estratos del subsuelo.
Características del suelo	50 cm de suelo vegetal seguido de 3 metros de arenisca fina a media arcillosa, arena arcillosa pasa a arcilla arenosa en algunos sectores, con buena compactación, sin cementación. El pozo CORFO N°18 Hacienda Chacabuco muestra 34 m de greda con arenisca debajo, donde se albergaría el acuífero. La permeabilidad es baja, de aproximadamente 0,2 m/d a nivel del suelo y a 3,5 m de profundidad, los que indican la baja capacidad de infiltración del suelo vegetal y la capa de arena arcillosa respectivamente. A 0,5 m de profundidad, hacia la parte alta de la capa de arenisca arcillosa, mejora la tasa de infiltración a 1,7 m/d.
Sistema de recarga	

3 pozos de 40, 39 y 38 m, el primero corresponde al pozo de infiltración (CH-1) y el resto de monitoreo (CH-2 y CH-3). Figura del pozo de infiltración realizado a continuación:

Dimensiones



Método

El agua tomada desde un canal pasa por un PVC, llegando a un decantador, desde el cual se toma el agua y se ingresa en el pozo.

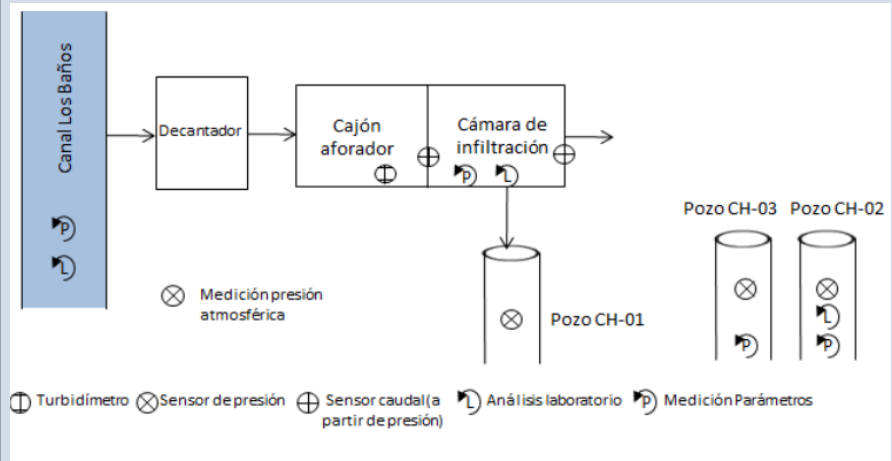
Periodos de recarga

Se ejecutaron 11 pruebas de infiltración ejecutadas entre el 28 de agosto y 9 de octubre de 2014.

Sistema de monitoreo

El piloto cuenta con cajones aforadores, antes y después de la cámara de infiltración. Cuando existe rebose, es decir, sale agua desde la cámara de infiltración, el caudal de infiltración se mide como la diferencia entre ambos vertederos.

Por otra parte, se instaló un sistema de telemetría para turbidímetro y caudales de infiltración.



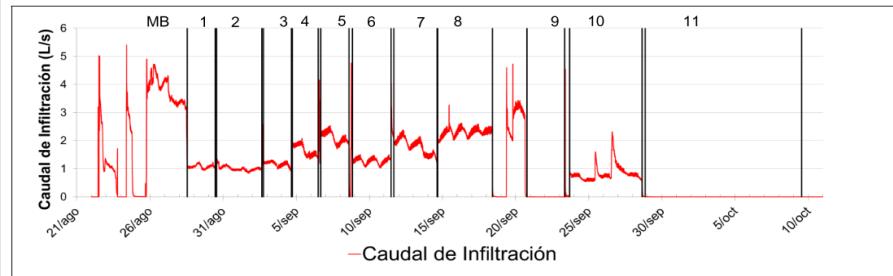
Objetivo asociado	Parámetro	Lugar de medición	Equipo	Marca/ modelo	Frecuencia	Telemetría
Estimación de Balance Hídrico	Caudal	Vertedero triangular al ingreso de la cámara de infiltración	Transductor de presión	Leeg. Sensor de niveles hidrostático capacitivo 0-5m	Continuo	Si
		Vertedero triangular de rebose de la cámara de infiltración				
Respuesta del acuífero	Niveles	Pozos de observación 1 y 2	Transductor de presión	HOBO. U20L water level logger	Continuo	No
		Pozo de infiltración				
		Presión atmosférica (Ambiental)				
Control de variables críticas	Turbidez	Cámara de infiltración	Turbidímetro	SOLITAX scSS Wiper with sc200 Controller	Continuo	Si
Control de los efectos de la infiltración	Parámetros químicos (Set B)	Canal alimentador antes de la toma	Análisis de laboratorio	-	Mensual	No
		Pozos de observación 1 y 2				
	Parámetros físico- químicos (pH, T°, DO, Cond. Eléc.)	Antes del decantador	Medidor multiparámetros portátil	Hanna Instrument HI9829	Una vez	No
		Después del decantador				
Variables meteorológicas	Precipitación	Canal alimentador antes de la toma	-	-	Continuo	Si (*)
		Estación de la DGA: Río Aconcagua en Chacabuco				

(*) Estación con telemetría de la DGA.

Cantidad recargada

Tasa de infiltración máxima sostenible: 3,5 L/s

El volumen total infiltrado durante las pruebas fue de 3.217 m³ distribuidos en 11 pruebas (con pruebas 9 y 11 con caudales nulos para evaluar recuperación y respuesta al volver a infiltrar).



Fuente de agua

Desde un ramal del canal Chacabuco

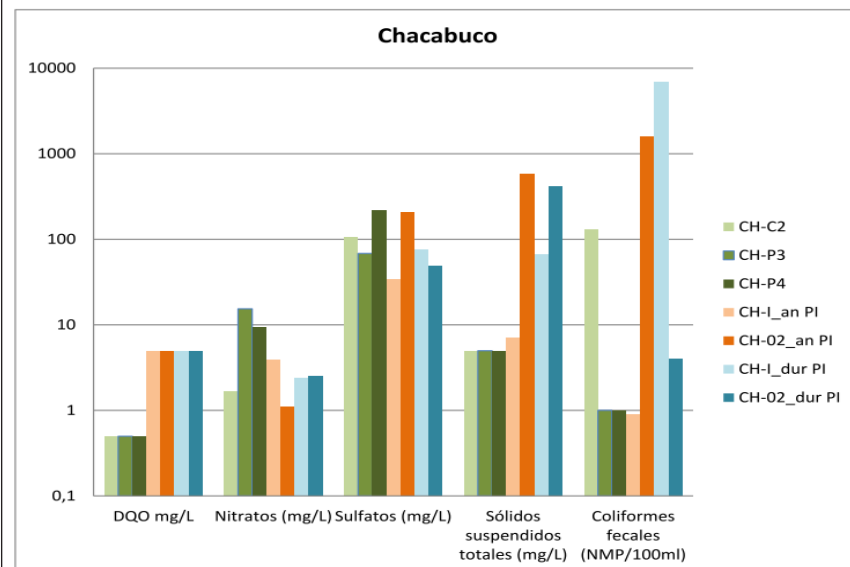
Calidad de agua

El análisis se realizó según 3 criterios: 1) parámetros físico-químicos, 2) parámetros relevantes y normados y 3) composición química de las aguas.

No se observan variaciones claras en las aguas subterráneas (CH-02) atribuibles a las pruebas de infiltración en pH, mientras la turbidez no influyó de mayor manera debido a que se monitoreo que se encontrara bajo 10 NTU para ser infiltrada. Del mismo modo, los valores de solidos disueltos se mantuvieron en general bajo 200 ppm. Los valores de temperatura son en torno a 15°C con leves variaciones.

Respecto a los parámetros relevantes y normados, las aguas del canal e infiltración se encontraron con valores bajo el límite de detección en DQO, por ende, las aguas son limpias de materia orgánica. En cambio, el nitrato se encuentra en algunas muestras por sobre los 10 mg/L, sin embargo, estos valores no se encuentran reflejados en los pozos, ni presentaron mayores variaciones durante las pruebas de infiltración. Por otra parte, el contenido de sulfato presenta valores sobre 200 mg/L en los pozos CH-02 y CH-P4 previo a la prueba de infiltración, mientras el agua de canal se encontraba con bajas concentraciones de sulfato. La concentración de sulfato disminuyó durante las pruebas en el pozo CH-02, pero el pozo CH-P3 presenta leves concentraciones de sulfato, por ende, este químico podría ser dependiente de la estacionalidad y/o ubicación del pozo. Los sólidos disueltos se encuentran en concentraciones bajas (<70 mg/L) con excepción a CH-02 (400 mg/L), el cual se considera como remanente de la perforación que no pudo ser extraído. Mientras que los coliformes fecales se destaca solo CH-I con 7000 NMP/100ml atenuándose al entrar al acuífero (4 NMP/100ml en CH-02).

Los resultados del análisis químico indica que no es posible asegurar que las variaciones en calidad y concentraciones encontradas sean producto de las pruebas de infiltración desarrolladas.

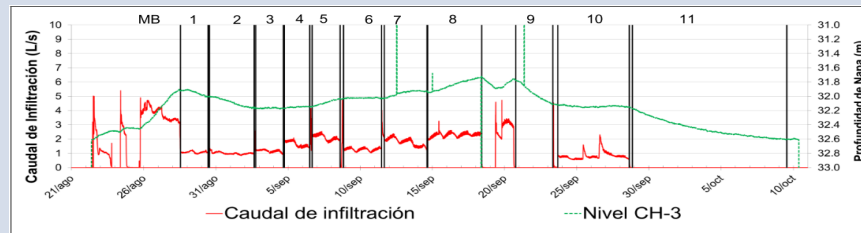
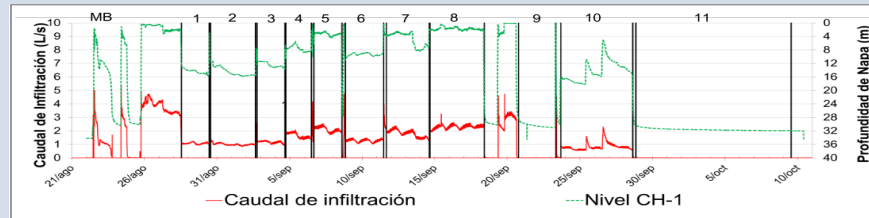


Estático: 30,28 m en CH-1

No hubo pruebas de bombeo.

Pruebas de infiltración:

Niveles de pozo



Económico

Inversión inicial	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo de obra</th> <th>Metros perforados</th> <th>Costo total (\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pozo Infiltración (CH-01)</td> <td>40</td> <td>16.065.000</td> </tr> <tr> <td>P. Observación 1 (CH-02)</td> <td>38</td> <td>9.835.350</td> </tr> <tr> <td>P. Observación 2 (CH-03)</td> <td>37</td> <td>9.576.525</td> </tr> <tr> <td>Pruebas de infiltración</td> <td>-</td> <td>6.153.966</td> </tr> <tr> <td>Obras Civiles</td> <td>-</td> <td>2.722.551</td> </tr> <tr> <td>Total (IVA Incluido)</td> <td></td> <td>44.353.392</td> </tr> </tbody> </table>			Tipo de obra	Metros perforados	Costo total (\$)	Pozo Infiltración (CH-01)	40	16.065.000	P. Observación 1 (CH-02)	38	9.835.350	P. Observación 2 (CH-03)	37	9.576.525	Pruebas de infiltración	-	6.153.966	Obras Civiles	-	2.722.551	Total (IVA Incluido)		44.353.392																									
	Tipo de obra	Metros perforados	Costo total (\$)																																														
	Pozo Infiltración (CH-01)	40	16.065.000																																														
	P. Observación 1 (CH-02)	38	9.835.350																																														
	P. Observación 2 (CH-03)	37	9.576.525																																														
	Pruebas de infiltración	-	6.153.966																																														
	Obras Civiles	-	2.722.551																																														
Total (IVA Incluido)		44.353.392																																															
	Obras Civiles: bocatoma, canal de aducción, decantador, revestimiento de canales y decantador, sistema de medición (cajón aforador y cámara de infiltración) y canal de despiche																																																
	Instrumentación:																																																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Equipo</th> <th>Variable monitoreada</th> <th>PU (\$)</th> <th>Cantidad</th> <th>Costo total (\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sensor de niveles hidrostático marca LEEG</td> <td>Altura en vertedero</td> <td>410.550</td> <td>2</td> <td>821.100</td> </tr> <tr> <td>Turbidímetro Solitax Marca Hach</td> <td>turbiedad</td> <td>4.782.971</td> <td>1</td> <td>4.782.971</td> </tr> <tr> <td>Transductor de presión marca HOBO</td> <td>Nivel en pozos</td> <td>294.224</td> <td>4</td> <td>1.176.896</td> </tr> <tr> <td>Cable de comunicación</td> <td>Traspaso de datos de nivel</td> <td>125.592</td> <td>1</td> <td>125.592</td> </tr> <tr> <td>Telemetría: Sistema Wise Access</td> <td>Telemetría</td> <td>2.149.075</td> <td>1</td> <td>2.149.075</td> </tr> <tr> <td>Telemetría: Tarjeta de datos</td> <td>Telemetría</td> <td>128.000</td> <td>1</td> <td>128.000</td> </tr> <tr> <td>Telemetría: B&V electricidad (Instalación)</td> <td>Telemetría</td> <td>309.400</td> <td>1</td> <td>309.400</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Total (IVA Incluido)</td> <td>9.493.034</td> </tr> </tbody> </table>				Equipo	Variable monitoreada	PU (\$)	Cantidad	Costo total (\$)	Sensor de niveles hidrostático marca LEEG	Altura en vertedero	410.550	2	821.100	Turbidímetro Solitax Marca Hach	turbiedad	4.782.971	1	4.782.971	Transductor de presión marca HOBO	Nivel en pozos	294.224	4	1.176.896	Cable de comunicación	Traspaso de datos de nivel	125.592	1	125.592	Telemetría: Sistema Wise Access	Telemetría	2.149.075	1	2.149.075	Telemetría: Tarjeta de datos	Telemetría	128.000	1	128.000	Telemetría: B&V electricidad (Instalación)	Telemetría	309.400	1	309.400	Total (IVA Incluido)				9.493.034
Equipo	Variable monitoreada	PU (\$)	Cantidad	Costo total (\$)																																													
Sensor de niveles hidrostático marca LEEG	Altura en vertedero	410.550	2	821.100																																													
Turbidímetro Solitax Marca Hach	turbiedad	4.782.971	1	4.782.971																																													
Transductor de presión marca HOBO	Nivel en pozos	294.224	4	1.176.896																																													
Cable de comunicación	Traspaso de datos de nivel	125.592	1	125.592																																													
Telemetría: Sistema Wise Access	Telemetría	2.149.075	1	2.149.075																																													
Telemetría: Tarjeta de datos	Telemetría	128.000	1	128.000																																													
Telemetría: B&V electricidad (Instalación)	Telemetría	309.400	1	309.400																																													
Total (IVA Incluido)				9.493.034																																													
Mantenimiento	No mencionado																																																

Se requiere de mayor detalle (registro continuo de niveles por al menos 5 años, estratigrafía y mayor número de pozos a nivel regional, entre otros) para realizar tanto un proyecto piloto de recarga artificial, como un proyecto de recarga a nivel industrial. Por otra parte, la metodología fue considerada adecuada para descartar áreas inapropiadas para desarrollar este tipo de proyectos.

Se considera que el acuífero superficial está extinto y que debiese analizar el comportamiento de sistemas de infiltración con pozos a presión. Además, se destaca la importancia de diseñar las obras de infiltración luego de terminados los trabajos de terreno, incluyendo la caracterización de pozos exploratorios, y de contar con pozos de mayor profundidad para realizar pruebas de bombeo.

Estudio básico "Análisis de alternativas piloto de recarga artificial Popeta". (2015d)

El proyecto de recarga mandado por la Comisión Nacional de Riego (CNR) utilizado en este piloto se realizó a través de pozos de infiltración en el año 2014, donde la infiltración se llevó a cabo durante los meses de Agosto y Septiembre, en la localidad de San Miguel de Popeta. El sitio idóneo para la obra se seleccionó tomando en cuenta cercanía y conexión a una fuente de agua, conductividad hidráulica, profundidad del nivel freático, disponibilidad de terreno, disponibilidad de derechos, calidad de agua competente, distancia fuente de contaminación, la estratigrafía de pozos, las tasas de infiltración obtenidas, las calicatas y calidad del agua.



Figura 17. Ubicación geográfica piloto Popeta.

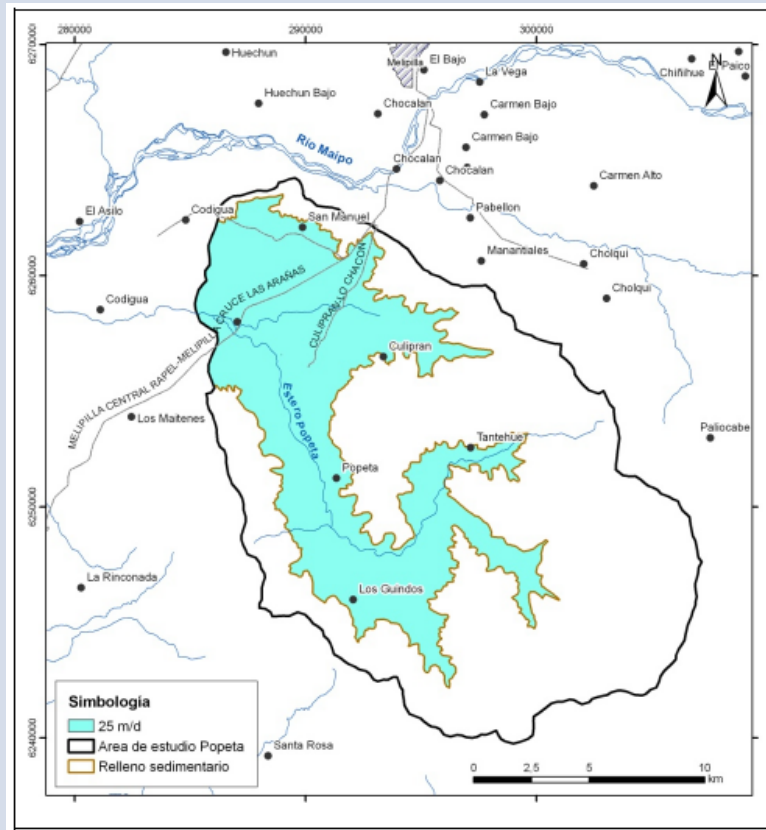
Tabla 16. Información Proyecto Popeta.

Información general	
Mandante	Comisión Nacional de Riego
Consultor	GeoHidrología Consultores
Tipo de obra	Pozos de infiltración
Periodo de ejecución	Se realizaron nueve pruebas de infiltración con caudales diferentes, incluyendo una prueba con caudal nulo, entre los días 14 de agosto y 18 de septiembre de 2014. Se debe notar que las pruebas no son continuas y presentan cortes de aproximadamente 6 horas que corresponden a una restricción de utilización del pozo durante un horario definido debido a recargas en la tarifa de electricidad del predio
Objetivo	Caracterizar de mejor forma el acuífero del estero Popeta, identificar posibles zonas de recarga artificial y finalmente realizar un Proyecto Piloto de Recarga Artificial de Acuíferos (PPRAA).
Entorno local	
Terreno utilizado	Predio de Angélica Barrera ubicado en la localidad de San Miguel de Popeta

Río Maipo entre estero Puangue y bajo junta estero Popeta, superficie total de 331,2 km².

El valor de la permeabilidad de la zona de Popeta sería de 25 m/d.

Características del acuífero



Relleno sedimentario: La estratigrafía de pozos presentada en estudios anteriores indica que el relleno sedimentario en la zona de estudio alcanzaría un espesor máximo de 100 m. Este relleno estaría compuesto por un nivel superficial de arcillas y limos infrayacido por un estrato de arenas, grava y gravillas, con mayor contenido de arcillas hacia su base (DGA, 2006). Esta información concuerda con la estratigrafía de pozos extraída de los expedientes DGA

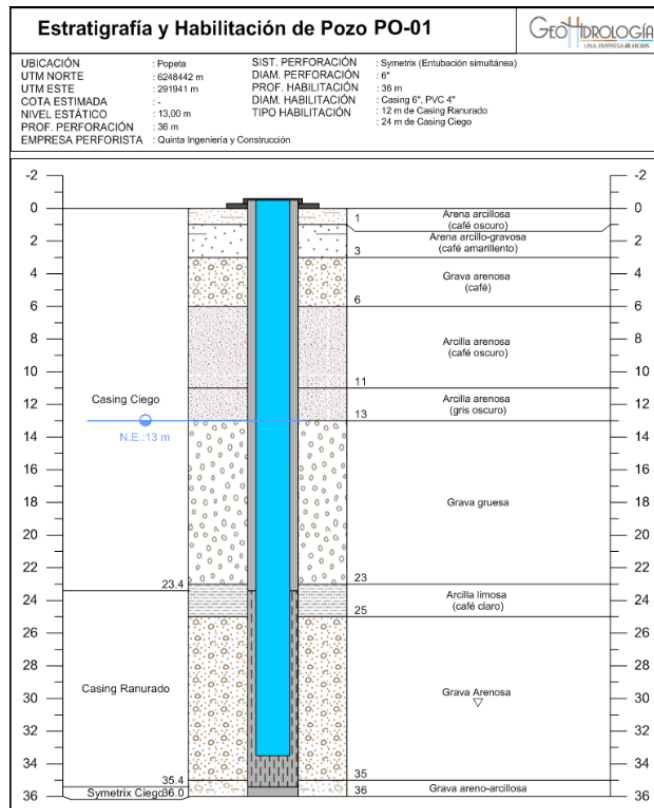
revisados para este estudio, donde se observan capas someras con abundante contenido de arcilla y capas de granulometrías mayores que suelen aparecer por bajo los 20 m de profundidad.

Coefficiente de almacenamiento: Respecto de los parámetros de almacenamiento y porosidad no se tiene información, por lo que, se consideraron valores iniciales para describir el almacenamiento y posteriormente se analiza el efecto en los resultados de este parámetro mediante un análisis de sensibilidad.

Se impuso un coeficiente de almacenamiento (S_s) de 0,001; un almacenamiento específico (S_y) de 0,08 y una porosidad de 0,1. El modelo al ser de una sola capa actúa como acuífero no confinado.

El relleno en este sector se caracteriza por la abundancia de arcillas y limos, con intercalaciones de conglomerados y arenas con contenido variable de arcillas. Presenta un espesor no saturado dominado por arcillas, este espesor alcanzaría valores de entre 11 y 19 m (15 m promedio) (según la piezometría realizada con información de los últimos 5 años).

Características del suelo



Sistema de recarga

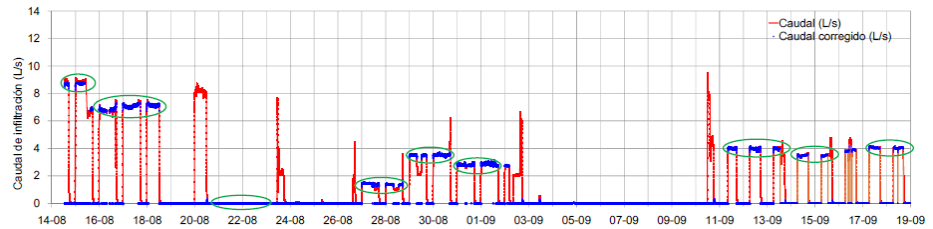
Pozos de infiltración:

Dimensiones 3 pozos de 36, 30 y 30 m, el primero corresponde al pozo de infiltración (PO-01) y el resto de monitoreo (PO-02 y PO-03).

Método El agua es captada desde un pozo de bombeo existente en el predio, desde donde se puede regular el caudal que ingresa desde las tuberías que portean el agua bombeada. Para conducir el caudal se hizo a través de la acequia existente que se alongo mediante un canal y luego llega a un decantador, desde el cual se toma el agua y se ingresa en el pozo.

Periodos de recarga

Figura 7-6: Caudales de las pruebas de infiltración

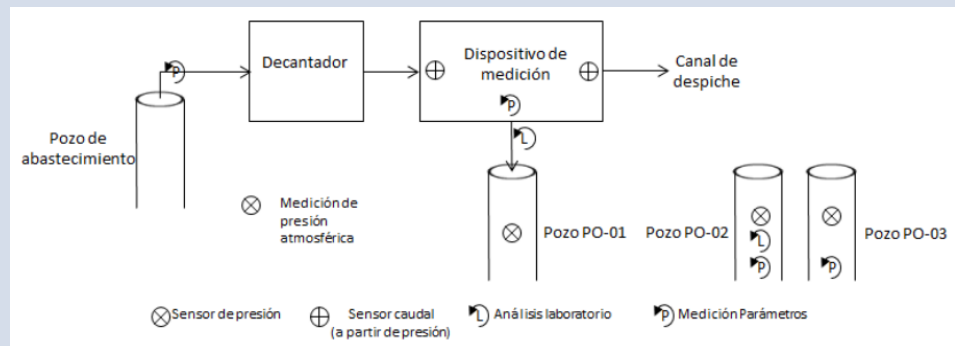


Nota. Los óvalos verdes indican los periodos para cada una de las pruebas

Seguimiento continuo del nivel del acuífero, en 5 pozos de monitoreo habilitados por la DGA en el área de estudio. (2 realizados para el piloto y otros 3 pozos cercanos al predio)

Para los 2 pozos de monitoreo del piloto las variables monitoreadas fueron: a) caudal de ingreso (a través de medición del nivel), b) caudal de rebalse (a través de medición del nivel), d) nivel del acuífero, y e) la calidad química del agua de infiltración y del acuífero. Las dos primeras fueron medidas de manera continua y transmitidas a través de telemetría a un servidor que permitió ver su comportamiento en línea. El nivel del acuífero fue también medido de manera continua, pero sin transmisión telemétrica, mientras que la calidad química fue medida de manera puntual a través de la medición de parámetros fisicoquímicos y toma de muestra para análisis de laboratorio.

Sistema de monitoreo



Objetivo asociado	Parámetro	Lugar de medición	Equipo	Marca/ modelo	Frecuencia	Telemetría
Evaluación de efectividad	Caudal	Vertedero triangular al ingreso de la cámara de infiltración	Transductor de presión	Leeg. Sensor de niveles hidroestático capacitivo 0-5m	Continuo	Si
		Vertedero triangular de rebalse de la cámara de infiltración				
Respuesta del acuífero	Niveles	Pozos de observación 1 y 2	Transductor de presión	HOBO. U20L water level logger	Continuo	No
		Pozo de infiltración				
Control de los efectos de la infiltración	Parámetros químicos (Set B)	Ambiental: presión atmosférica	Análisis de laboratorio	-	Mensual	No
		Pozo alimentador antes de la toma				
		Pozos de observación 1 y 2				
	Parámetros fisico- químicos (pH, T°, DO, Cond. Eléc.)	Cámara del pozo de infiltración	Análisis de laboratorio	-	Una vez	No
		Antes del decantador				
		Después del decantador				
Parámetros fisico- químicos (pH, T°, DO, Cond. Eléc.)	Decantador antes de la toma	Medidor multiparámetros portátil	Hannainstrument HI9829	Semanal	No	
	Pozos de observación 1 y 2					
	Cámara del pozo de infiltración					

Caudal máximo teórico: 15 L/s

Cantidad recargada

Caudal máximo sostenible infiltrado: 4.5 L/s

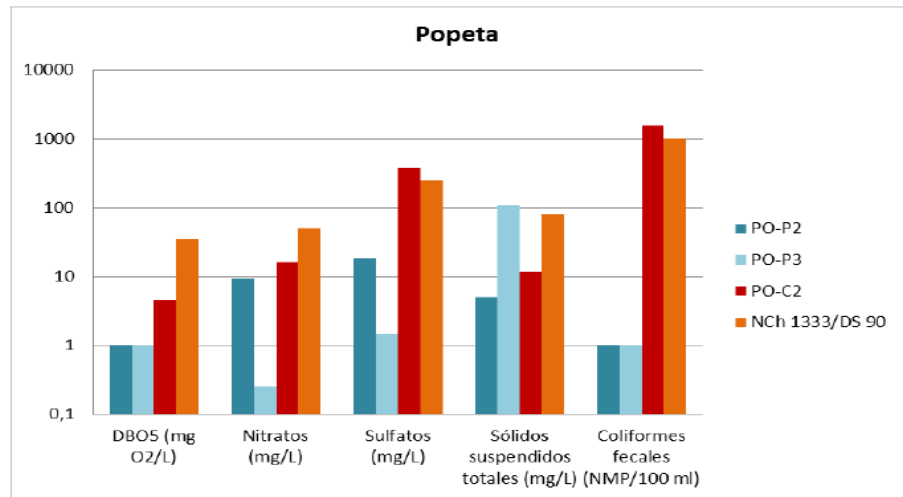
Fuente de agua Agua subterránea del acuífero de Popeta, bombeada por pozo. (Acuífero declarado zona de restricción por la DGA, mediante resolución N° 241 del 31 de Julio de 2008)

Se toman muestras para cada pozo 1) Parámetros fisicoquímicos: pH, sólidos disueltos totales (SDT) y temperatura (T°). 2) Parámetros relevantes y normados: Demanda Química de Oxígeno (DQO), nitratos, sulfatos, sólidos suspendidos totales (SST) y coliformes fecales. 3) Composición química: a través de diagrama de Piper.

Resultados: Después de analizar la calidad de las aguas subterráneas a lo largo del tiempo, antes y después de las pruebas de infiltración, no se observa una afectación del acuífero, producto de estas actividades.

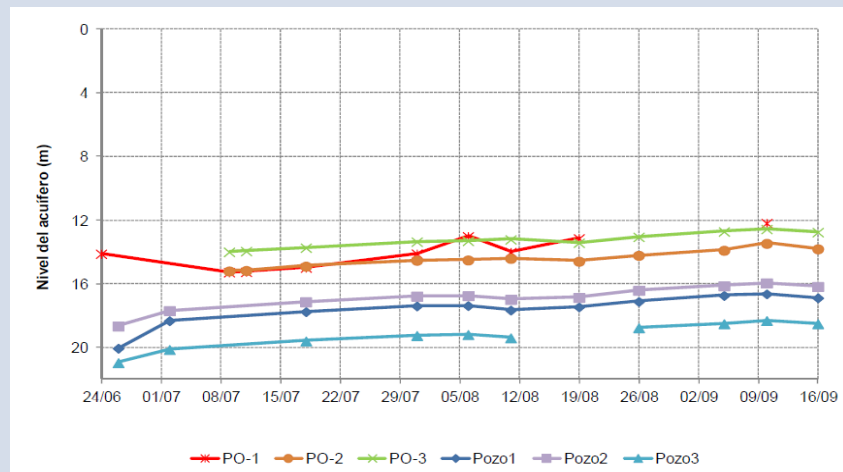
Calidad de agua

Figura 4-16: Elementos mayores y parámetros de calidad en el sector de Popeta



Niveles estáticos por pozo: PO-01= 12.17 m; PO-02 =13.45 m y PO-03= 12.54 m. Adicional se monitorearon otros 3 pozos (pozo 1, pozo 2 y pozo 3) cercanos para ver como la infiltración afectaba el nivel freático.

Niveles de pozo



Económico

Costos de inversión:

Tipo de obra	Metros perforados	Costo total (\$)
Trabajos de construcción de acceso y plataforma para perforar	-	148.750
Pozo Infiltración (PO-01)	36	10.631.460
P. Observación 1 (PO-02)	30	12.757.752
P. Observación 2 (PO-03)	30	10.631.460
Pruebas de bombeo	-	3.155.880
Stand By Maquinas de Perforación (*)	-	3.213.000
Obras Civiles	-	11.602.331
Total (IVA Incluido)		52.140.633

(*) Tiempo de detención de perforaciones ocurrida por imprevistos.

Inversión inicial

Respecto a las obras civiles, éstas consideran la construcción de: bocatoma, canal de aducción, decantador, revestimiento de canales y decantador, sistema de medición (cajón aforador y cámara de infiltración) y canal de despiche.

Costos de instrumentación:

Equipo	Variable monitoreada	PU (\$)	Cantidad	Costo total (\$)
Sensor de niveles hidroestático marca LEEG	Altura en vertedero	410.550	2	821.100
Turbidímetro Solitax Marca Hach	turbiedad	4.782.971	0	-
Transductor de presión marca HOBBO	Nivel en pozos	294.224	4	1.176.896
Cable de comunicación	Traspaso de datos de nivel	125.592	1	125.592
Telemetría: Sistema Wise Access	Telemetría	2.149.075	1	2.149.075
Telemetría: Tarjeta de datos	Telemetría	128.000	1	128.000
Telemetría: B&V electricidad (Instalación)	Telemetría	309.400	1	309.400
Total (IVA Incluido)				4.710.063

Mantenimiento No se cuenta con información

Conclusiones:

- La caracterización de cuenca realizada se vio dificultada por el bajo número de pozos de monitoreo de la DGA que se encuentran habilitados (sólo 5) en el área de estudio. Se requiere de mayor detalle (registro continuo de niveles por al menos 5 años, estratigrafía localizada en el área de estudio, mayor número de pozos a nivel regional, entre otros) para realizar tanto un proyecto (Ramirez, 2014) piloto de recarga artificial, como un proyecto de recarga a nivel industrial.
- La elaboración de la metodología de identificación de sitios constituye una primera aproximación para la elección de lugares en donde realizar proyectos de recarga artificial. De acuerdo al estudio realizado, la metodología es adecuada para descartar áreas que no presentan condiciones apropiadas para desarrollar este tipo de proyectos.
- Se observa que resulta fundamental realizar este tipo de proyectos trabajando en conjunto con las asociaciones de regantes que son las que administran los recursos. Esto cobra mayor relevancia en los

ámbitos de disponibilidad, ya que resulta difícil estimar los recursos efectivamente disponibles a nivel predial, debido a que en general no existe información de aforos a través del tiempo en los canales matrices y menos aún en canales que son ramales de un canal más importante.



De la operación de las pruebas de infiltración del proyecto piloto se obtiene que la capacidad de infiltración del acuífero es promisoría, ya que se logra infiltrar un caudal medio de 4 L/s, utilizando un pozo de infiltración de 36 m de profundidad. Adicionalmente se debe considerar que los niveles estáticos de la napa son menores en invierno, esto permitiría realizar recarga a un acuífero libre y coincide con el periodo cuando se dispondría de mayores recursos hídricos superficiales para realizar recarga artificial.

Estudio básico análisis alternativas piloto recarga artificial Marchigüe, VI Región. (2014)

El piloto mandado por la Comisión Nacional de Riego (CNR) consistió en una laguna de infiltración ejecutada mediante la instalación de un Dique en el estero Las Cadenas (Región del Libertador Bernardo O'Higgins). La recarga se efectuó entre el 13 de julio y 17 de noviembre de 2014, recargando un volumen estimado de 46.550 m³. A pesar de que el objetivo era la realización de dos obras piloto (Pozo y Piscinas) los sitios pre-seleccionados no fueron aptos y se decidió por realizar este proyecto piloto en su lugar.

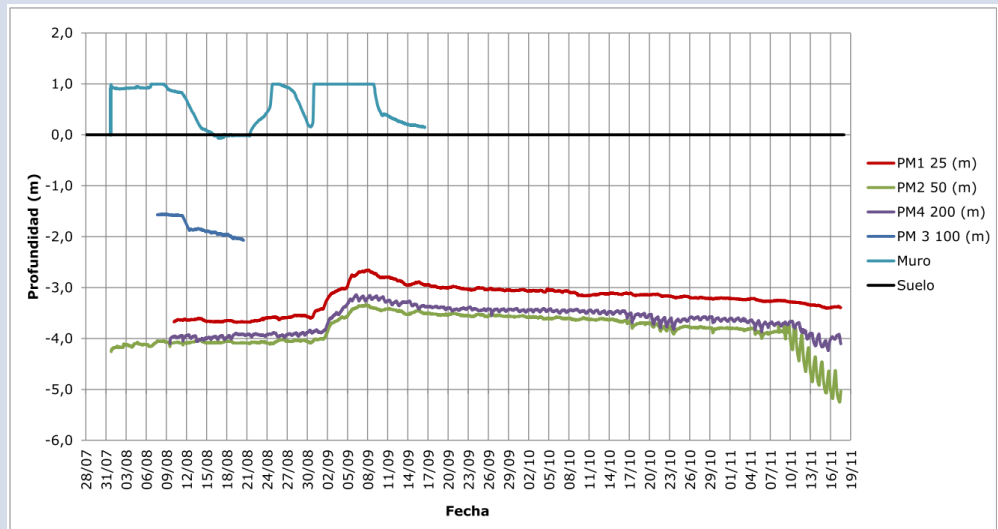


Figura 18. Ubicación geográfica piloto Marchigüe.

Tabla 17. Información Proyecto Marchigüe, VI Región.

Información general	
Mandante	Comisión Nacional de Riego
Consultor	Con Potencial
Tipo de obra	Laguna de infiltración (Dique en estero Las Cadenas)
Periodo de ejecución	La recarga se ejecutó entre el 13 de julio y el 17 de noviembre de 2014.
Objetivo	Desarrollar un estudio para la recarga artificial del acuífero Las Cadenas- Marchigüe, desarrollando una metodología para identificar las posibles zonas de recarga y realizar dos proyectos piloto de recarga artificial de sus acuíferos (PPRAA)
Entorno local	
Terreno utilizado	Información no disponible. Lecho del estero Las Cadenas, se cuenca con coordenadas, pero no con información del propietario.
Características del acuífero	Conductividad hidráulica (K) de 5,1E-03 (cm/s) La obra se ubica en la unidad hidrogeológica Qfa (depósitos fluviales en cauces actuales) que se caracteriza por ser un depósito poroso de media a alta importancia hidrogeológica. Estos corresponden a acuíferos libres - semiconfinados continuos, de extensión semiregional. Los niveles estáticos que presenta están influenciados por el nivel de agua de ríos o esteros. Presenta buenos espesores y buenos rendimientos constantes. El método de explotación registrado corresponde a norias, pozos y drenes. Las aguas de esta unidad son sensibles a la contaminación orgánica.
Características del suelo	Se documenta arena gruesa con baja cantidad de finos.
Sistema de recarga	
Dimensiones	1 metro altura
	1.5 km de longitud
	25 metros de ancho
Método	Dique de 1 metro de altura en el estero para generar infiltración directamente en el lecho
Periodos de recarga	Comienza el 13 de Julio al 17 de noviembre de 2014.

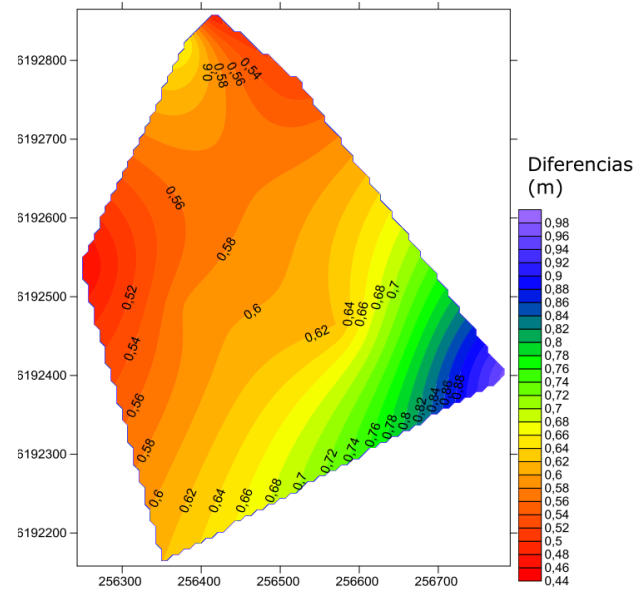
<p>Sistema de monitoreo</p>	<p>5 pozos para monitoreo nuevos</p> <p>5 pozos para monitoreo preexistentes</p> <p>3 sensores de presión hidrostática para altura de caudal (2 en esteros previos a Las Cadenas, 1 en el Dique)</p> <div data-bbox="630 478 1321 1356" style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p style="text-align: center;">ESQUEMA GENERAL DISPOSICIÓN DE INSTRUMENTAL Y POZOS DE MONITOREO</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>LEYENDA</p> <ul style="list-style-type: none"> ● PE1 Pozo de Monitoreo Existente (medición periódica) ● P1 Pozo de Monitoreo Habilitado para Proyecto ● n1 Sensor de Monitoreo de Niveles Superficie Libre en Esteros <p>← Dirección del Flujo en Esteros</p> </div> </div>
<p>Cantidad recargada</p>	<p>Caudal estimado de 15 L/s</p> <p>Volumen estimado de 46.550 m³</p>
<p>Fuente de agua</p>	<p>Estero Las Cadenas</p>
<p>Calidad de agua</p>	<p>Se realizaron análisis en dos sectores, Canal Población y Predio Santa Ana, luego no se menciona si estos se encontrarían en las cercanías de la ubicación definitiva de la obra.</p>



Aumento de 0.6m en promedio

Niveles de pozo

Figura 8.5 : Aumento Niveles en Polígono Monitoreado



Económico

Inversión inicial	No mencionado
Mantenimiento	No mencionado

Uno de los instrumentos para medir la altura del agua no funcionó según lo esperado (se esperaba un rango funcionamiento de hasta 2 m, pero solo funcionó hasta 1m).

Además, se recomienda involucrar más a la ciudadanía previa ejecución de las obras, para evitar problemas de accesos a predios u otros durante la ejecución del proyecto.

Estudio básico “Análisis de alternativas piloto de recarga artificial Lontué”. (2015c)

El proyecto de recarga mandado por la Comisión Nacional de Riego (CNR) consistió en la utilización de balsas de infiltración en la localidad de Lontué (Región del Maule), durante octubre de 2014, recargando en total 23.000 m³, y cuyo objetivo fue rescatar indicadores y resultados que sirvan para extrapolar la experiencia en futuros proyectos.

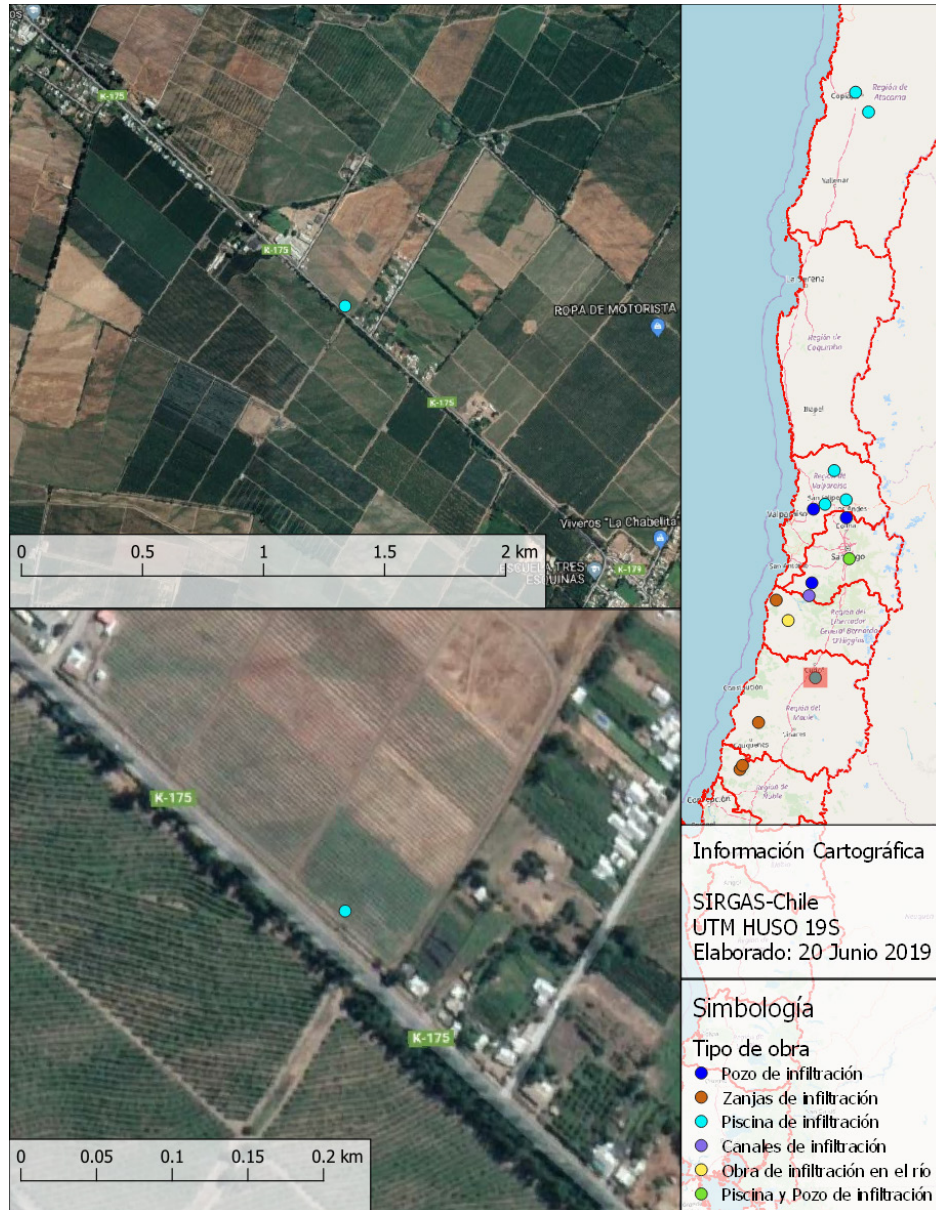
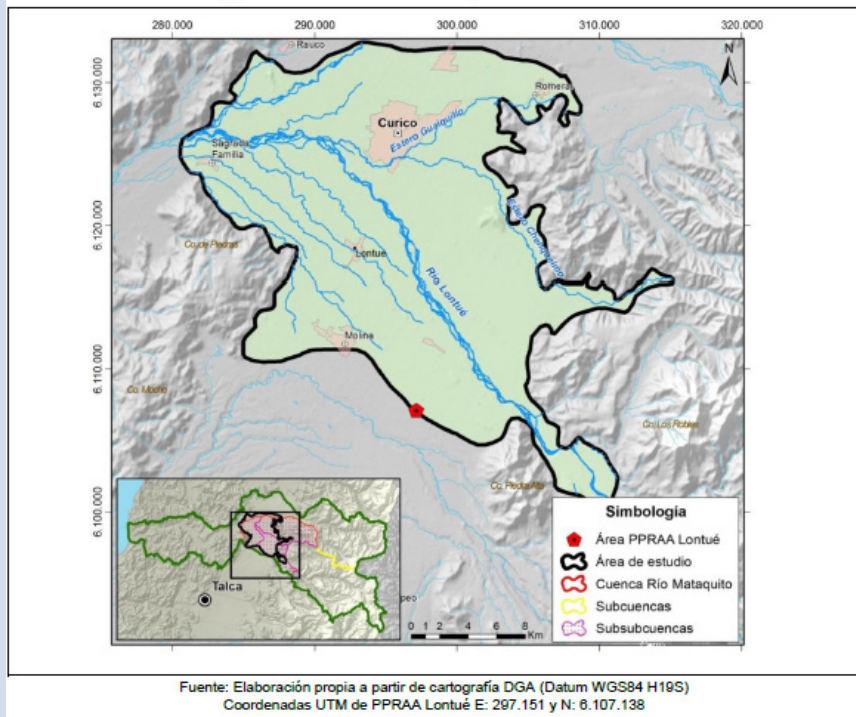


Figura 19. Ubicación geográfica piloto Lontué.

Tabla 18. Información Proyecto Lontué.

Información general																
Mandante	Comisión Nacional de Riego															
Consultor	GeoHidrología Consultores															
Tipo de obra	Piscina de infiltración															
Periodo de ejecución	<p>El funcionamiento del proyecto se paralizó entre el 17 y el 24 del mismo mes por disponibilidad hídrica por la demanda de agua de regadío. Esta detención en el agua de entrada separó la actividad entre el rango de fechas analizado en dos etapas distintas, la primera entre el 5 y el 17 de octubre, y la segunda entre el 24 y el 30 de octubre 2014.</p> <p>En la Tabla 7-2 se presenta el promedio de los caudales de entrada a la balsa e infiltración en cada uno de los periodos y los volúmenes correspondientes a la integración de los caudales. En los dos periodos se infiltraron del orden de 23.000 m³.</p> <table border="1" data-bbox="370 829 1328 1003"> <caption>Tabla 7-2: Resumen de los caudales y volúmenes de entrada e infiltración.</caption> <thead> <tr> <th>Duración</th> <th>Q vertedero prom. (L/s)</th> <th>Q infiltrado prom. (L/s)</th> <th>V vertedero total (m³)</th> <th>V infiltrado total (m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12 días etapa 1</td> <td>16,0</td> <td>16,0</td> <td>17.625,0</td> <td>17.626,0</td> </tr> <tr> <td>21 días etapa 2</td> <td>8,0</td> <td>7,8</td> <td>18.541,0</td> <td>18.704,0</td> </tr> </tbody> </table>	Duración	Q vertedero prom. (L/s)	Q infiltrado prom. (L/s)	V vertedero total (m ³)	V infiltrado total (m ³)	12 días etapa 1	16,0	16,0	17.625,0	17.626,0	21 días etapa 2	8,0	7,8	18.541,0	18.704,0
Duración	Q vertedero prom. (L/s)	Q infiltrado prom. (L/s)	V vertedero total (m ³)	V infiltrado total (m ³)												
12 días etapa 1	16,0	16,0	17.625,0	17.626,0												
21 días etapa 2	8,0	7,8	18.541,0	18.704,0												
Objetivo	Caracterizar de mejor forma el acuífero de Lontué, identificar posibles zonas de recarga artificial y finalmente realizar un Proyecto Piloto de Recarga Artificial de Acuíferos (PPRAA).															
Entorno local																
Terreno utilizado	Predio del Sr. Fernando Baile ubicado en Molina, sector Pichingal															

Figura 1-1: Área de estudio, acuífero río Lontué



Características del acuífero

La zona de estudio que corresponde al sector acuífero de Lontué tiene un área de 518 km² y es atravesada por el río Lontué junto a numerosos esteros.

La descripción estratigráfica de las muestras obtenidas en las perforaciones, sugieren la existencia de una única unidad hidrogeológica predominante, ya que todos los estratos identificados corresponden a clastos gruesos desde arenas a gravas. Sin embargo, el comportamiento del nivel observado en los dos pozos perforados (LO-01 y LO-02) indican la existencia de un estrato de menor permeabilidad que dividiría horizontalmente la unidad descrita anteriormente. Esta unidad divisoria no fue detectada durante las perforaciones por lo que se espera que sea muy delgada y se ubicaría en algún lugar bajo el fondo del pozo LO-02 (prof 15 m) y por sobre el fondo del pozo LO-01 (prof 25 m). En resumen, se plantea la existencia de 3 unidades hidrogeológicas, superior (UH-1) e inferior (UH-3) con conductividades medias a altas separadas por un estrato impermeable delgado (UH-2).

El valor de permeabilidad obtenido se sitúa dentro del rango 1-500 m/d categorizado por Custodio (1983) como valor permeable, acuífero de regular a bueno y granulometrías en materiales sedimentarios de arena limpia y/o gravas con arena.

El valor de coeficiente de almacenamiento obtenido se aproxima a los valores correspondientes a acuífero libre, de 0,05 a 0,3 según Custodio (1983), por lo que se podría corresponder el valor de la porosidad eficaz con el coeficiente de almacenamiento obtenido.

Relleno sedimentado:

El trabajo de DGA, 2012 presenta una serie de perfiles hidrogeológicos del sector de Lontué, elaborados a partir de datos geofísicos (gravimetría) y estratigrafía de pozos. Estos perfiles tienen una orientación este-oeste y de norte-sur (Figura 3-3).

Estos perfiles indican que el basamento rocoso reconocido por la geofísica bajo el relleno sedimentario es considerablemente irregular con desniveles de hasta 500 m en una distancia de 5 km (Figura 3-3, perfil DD¹). El espesor del relleno tiene un valor típico de entre 100 y 200 m, con un máximo de 500 m hacia la zona norte del área de estudio.

El área de estudio se ubica principalmente en la unidad morfológica Depresión Intermedia.

Tabla 4-8: Resultados del ensayo de permeabilidad en Pichingal

	A nivel del suelo	Profundidad 0,9 m (Calicata 0-0,9 m)	Profundidad 2 m (Calicata 0-2 m)
Tasa de infiltración (K_s) (m/d)	1,34	6,53	3,29

Fuente: Elaboración propia

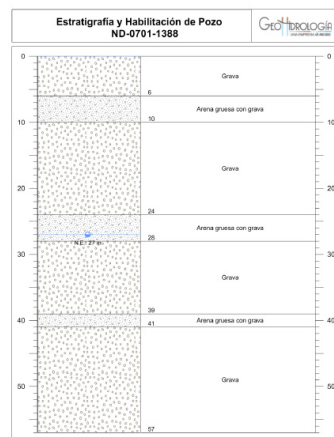
En el predio pichingal el suelo muestra un espesor de relleno sobre la napa de 27 m. Este relleno consiste principalmente en gravas intercaladas con arenas gruesas gravosas. Destaca la ausencia de contenido de arcilla. Por lo que se encuentra no saturado.

Calicata resultados de base a techo: (1) 70 cm de grava arenosa con una matriz de arena gruesa y arcilla en menor proporción, (2) 1 m de grava areno arcillosa con una matriz arena arcillosa y (3) 20 cm de suelo vegetal compuesto por arcilla limosa y material orgánico.

Características
del suelo

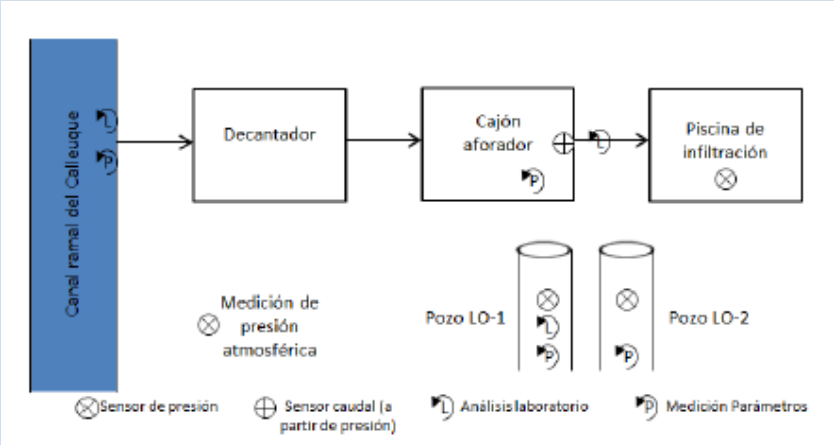


Pozo usado para evaluar:



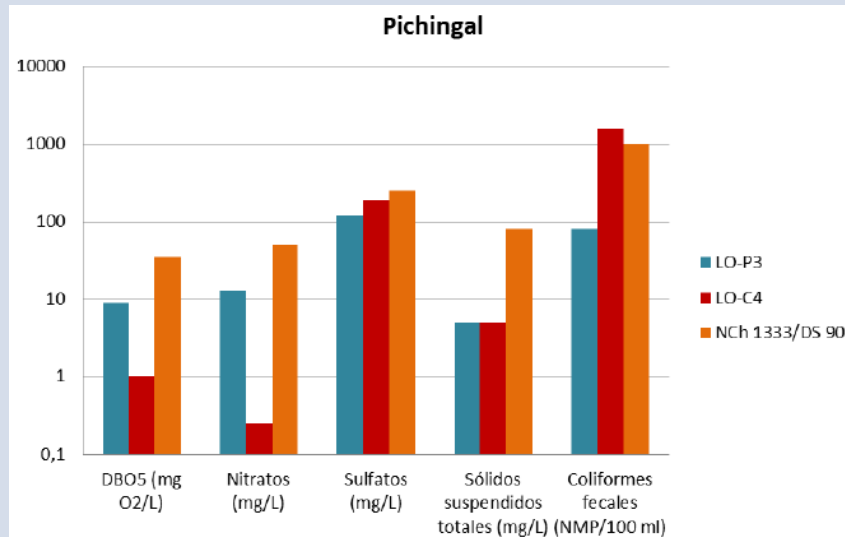
Sistema de recarga

Dimensiones | Balsa de infiltración: 17,0 m de ancho; 26,5 m de largo y 1,7 m de profundidad.

<p>Método</p>	<p>El método seleccionado para la prueba es de balsa de infiltración. Consistente en canal de aducción, un estanque decantador, un canal aforador, una piscina de infiltración y dos pozos de observación.</p> 																																													
<p>Sistema de monitoreo</p>	<p>Las variables monitoreadas fueron: a) caudal de ingreso (a través de medición del nivel), b) altura de agua en balsa de infiltración, c) turbiedad, d) nivel del acuífero, y e) la calidad química del agua de infiltración y del acuífero. Las tres primeras fueron medidas de manera continua y transmitidas a través de telemetría a un servidor que permitió ver su comportamiento en línea.</p> <p>El nivel del acuífero fue también medido de manera continua a través de transductores de presión, se instalaron 5 en el sistema de infiltración (1 por cada pozo de observación,, 1 en la balsa de filtración , 1 en el cajón aforador y otro para medir la presión ambiental y así conocer la presión absoluta) pero sin transmisión telemétrica, mientras que la calidad química fue medida de manera puntual a través de la medición de parámetros físico-químicos y toma de muestra para análisis de laboratorio.</p> <table border="1" data-bbox="386 1150 1386 1696"> <thead> <tr> <th>Objetivo asociado</th> <th>Parámetro</th> <th>Lugar de medición</th> <th>Equipo</th> <th>Marca/ modelo</th> <th>Frecuencia</th> <th>Telemetría</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Estimación de Balance Hídrico</td> <td>Caudal</td> <td>Vertedero triangular al ingreso de la balsa de infiltración</td> <td>Transductor de presión</td> <td>Leeg. Sensor de niveles hidroestático capacitivo 0-5m</td> <td>Continuo</td> <td>Si</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Respuesta del acuífero</td> <td rowspan="2">Niveles</td> <td>Pozos de observación 1 y 2</td> <td rowspan="2">Transductor de presión</td> <td rowspan="2">HOBO. U20L water level logger</td> <td rowspan="2">Continuo</td> <td rowspan="2">No</td> </tr> <tr> <td>Presión atmosférica (Ambiental)</td> </tr> <tr> <td>Control de variables críticas</td> <td>Turbidez</td> <td>Cajón aforador</td> <td>Turbidímetro</td> <td>SOLITAX scSS Wiper with sc200 Controller</td> <td>Continuo</td> <td>Si</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Control de los efectos de la infiltración</td> <td rowspan="2">Parámetros químicos (Set B)</td> <td>Pozos de observación 1 (LO-01)</td> <td rowspan="2">Análisis de laboratorio</td> <td rowspan="2">Set B de laboratorio ALS</td> <td rowspan="2">Mensual</td> <td rowspan="2">No</td> </tr> <tr> <td>Agua a infiltrar (antes de entrar a piscina de infiltración)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Parámetros físico-químicos (pH, T°, DO, Cond. Eléc.)</td> <td>Canal alimentador antes de la toma</td> <td rowspan="3">Medidor multiparámetros portátil</td> <td rowspan="3">Hanna instrument HI9829</td> <td rowspan="3">Semanal</td> <td rowspan="3">No</td> </tr> <tr> <td>Pozos de observación 1 y 2</td> </tr> <tr> <td>Balsa de infiltración</td> </tr> </tbody> </table>	Objetivo asociado	Parámetro	Lugar de medición	Equipo	Marca/ modelo	Frecuencia	Telemetría	Estimación de Balance Hídrico	Caudal	Vertedero triangular al ingreso de la balsa de infiltración	Transductor de presión	Leeg. Sensor de niveles hidroestático capacitivo 0-5m	Continuo	Si	Respuesta del acuífero	Niveles	Pozos de observación 1 y 2	Transductor de presión	HOBO. U20L water level logger	Continuo	No	Presión atmosférica (Ambiental)	Control de variables críticas	Turbidez	Cajón aforador	Turbidímetro	SOLITAX scSS Wiper with sc200 Controller	Continuo	Si	Control de los efectos de la infiltración	Parámetros químicos (Set B)	Pozos de observación 1 (LO-01)	Análisis de laboratorio	Set B de laboratorio ALS	Mensual	No	Agua a infiltrar (antes de entrar a piscina de infiltración)	Parámetros físico-químicos (pH, T°, DO, Cond. Eléc.)	Canal alimentador antes de la toma	Medidor multiparámetros portátil	Hanna instrument HI9829	Semanal	No	Pozos de observación 1 y 2	Balsa de infiltración
Objetivo asociado	Parámetro	Lugar de medición	Equipo	Marca/ modelo	Frecuencia	Telemetría																																								
Estimación de Balance Hídrico	Caudal	Vertedero triangular al ingreso de la balsa de infiltración	Transductor de presión	Leeg. Sensor de niveles hidroestático capacitivo 0-5m	Continuo	Si																																								
Respuesta del acuífero	Niveles	Pozos de observación 1 y 2	Transductor de presión	HOBO. U20L water level logger	Continuo	No																																								
		Presión atmosférica (Ambiental)																																												
Control de variables críticas	Turbidez	Cajón aforador	Turbidímetro	SOLITAX scSS Wiper with sc200 Controller	Continuo	Si																																								
Control de los efectos de la infiltración	Parámetros químicos (Set B)	Pozos de observación 1 (LO-01)	Análisis de laboratorio	Set B de laboratorio ALS	Mensual	No																																								
		Agua a infiltrar (antes de entrar a piscina de infiltración)																																												
	Parámetros físico-químicos (pH, T°, DO, Cond. Eléc.)	Canal alimentador antes de la toma	Medidor multiparámetros portátil	Hanna instrument HI9829	Semanal	No																																								
Pozos de observación 1 y 2																																														
Balsa de infiltración																																														
<p>Cantidad re-cargada</p>	<p>Caudal medio infiltrado de 16 y 8 L/s, utilizando una piscina de infiltración de 450 m²</p>																																													
<p>Fuente de agua</p>	<p>Agua de canal Ramal Calleuque</p>																																													

Se toman muestras del sistema 1) Parámetros físico-químicos: fueron medidos in situ, periódicamente fueron: pH, conductividad eléctrica (C.E.) y temperatura. 2) Parámetros relevantes y normados: Demanda Química de Oxígeno (DQO), nitratos, sulfatos, sólidos suspendidos totales (SST) y coliformes fecales. 3) Composición química: a través de diagrama de Piper.

Calidad de
agua



Resultados: Los análisis químicos realizados en distintas etapas del proyecto sugieren que tanto las aguas a infiltrar como las aguas subterráneas provienen de una misma fuente. Junto con lo anterior se observa que las variaciones en calidad y concentraciones encontradas en los análisis químicos en los pozos de observación cercanos a la balsa de infiltración probablemente son producto de las pruebas de infiltración desarrolladas.

Niveles de pozo

Niveles estáticos por pozo: LO-01= 11.45 m; LO-02 = 5.5 m. Para la balsa de infiltración se monitorea caudal que ingresa y caudal de rebose (el caudal de agua que no fue posible infiltrar)

Económico

Inversión inicial	Costos de Inversión:																																													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo de obra</th> <th>Metros perforados</th> <th>Costo total (\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Limpieza sector de emplazamiento de obras</td> <td>-</td> <td>1.071.000</td> </tr> <tr> <td>P. Observación 1 (LO-01)</td> <td>25</td> <td>6.742.838</td> </tr> <tr> <td>P. Observación 2 (LO-02)</td> <td>15</td> <td>6.742.838</td> </tr> <tr> <td>Pruebas de bombeo</td> <td>-</td> <td>3.852.030</td> </tr> <tr> <td>Obras Hidráulicas</td> <td>-</td> <td>8.460.244</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Total (IVA Incluido)</td> <td>26.868.949</td> </tr> </tbody> </table> <p>* Obras Hidráulicas: bocatoma, canal de aducción, decantador, revestimiento de canal y decantador, cajón aforador y piscina de infiltración</p>	Tipo de obra	Metros perforados	Costo total (\$)	Limpieza sector de emplazamiento de obras	-	1.071.000	P. Observación 1 (LO-01)	25	6.742.838	P. Observación 2 (LO-02)	15	6.742.838	Pruebas de bombeo	-	3.852.030	Obras Hidráulicas	-	8.460.244	Total (IVA Incluido)		26.868.949																								
Tipo de obra	Metros perforados	Costo total (\$)																																												
Limpieza sector de emplazamiento de obras	-	1.071.000																																												
P. Observación 1 (LO-01)	25	6.742.838																																												
P. Observación 2 (LO-02)	15	6.742.838																																												
Pruebas de bombeo	-	3.852.030																																												
Obras Hidráulicas	-	8.460.244																																												
Total (IVA Incluido)		26.868.949																																												
	Costos de instrumentación:																																													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Equipo</th> <th>Variable monitoreada</th> <th>PU (\$)</th> <th>Cantidad</th> <th>Costo total (\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sensor de niveles hidroestático marca LEEG</td> <td>Altura en vertedero</td> <td>410.550</td> <td>2</td> <td>821.100</td> </tr> <tr> <td>Turbidímetro Solitax Marca Hach</td> <td>turbiedad</td> <td>4.782.971</td> <td>1</td> <td>4.782.971</td> </tr> <tr> <td>Transductor de presión marca HOBO</td> <td>Nivel en pozos</td> <td>294.224</td> <td>4</td> <td>1.176.896</td> </tr> <tr> <td>Cable de comunicación</td> <td>Traspaso de datos de nivel</td> <td>125.592</td> <td>1</td> <td>125.592</td> </tr> <tr> <td>Telemetría: Sistema Wise Access</td> <td>Telemetría</td> <td>2.149.075</td> <td>1</td> <td>2.149.075</td> </tr> <tr> <td>Telemetría: Tarjeta de datos</td> <td>Telemetría</td> <td>128.000</td> <td>1</td> <td>128.000</td> </tr> <tr> <td>Telemetría: B&V electricidad (Instalación)</td> <td>Telemetría</td> <td>309.400</td> <td>1</td> <td>309.400</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Total (IVA Incluido)</td> <td>9.493.034</td> </tr> </tbody> </table>	Equipo	Variable monitoreada	PU (\$)	Cantidad	Costo total (\$)	Sensor de niveles hidroestático marca LEEG	Altura en vertedero	410.550	2	821.100	Turbidímetro Solitax Marca Hach	turbiedad	4.782.971	1	4.782.971	Transductor de presión marca HOBO	Nivel en pozos	294.224	4	1.176.896	Cable de comunicación	Traspaso de datos de nivel	125.592	1	125.592	Telemetría: Sistema Wise Access	Telemetría	2.149.075	1	2.149.075	Telemetría: Tarjeta de datos	Telemetría	128.000	1	128.000	Telemetría: B&V electricidad (Instalación)	Telemetría	309.400	1	309.400	Total (IVA Incluido)				9.493.034
Equipo	Variable monitoreada	PU (\$)	Cantidad	Costo total (\$)																																										
Sensor de niveles hidroestático marca LEEG	Altura en vertedero	410.550	2	821.100																																										
Turbidímetro Solitax Marca Hach	turbiedad	4.782.971	1	4.782.971																																										
Transductor de presión marca HOBO	Nivel en pozos	294.224	4	1.176.896																																										
Cable de comunicación	Traspaso de datos de nivel	125.592	1	125.592																																										
Telemetría: Sistema Wise Access	Telemetría	2.149.075	1	2.149.075																																										
Telemetría: Tarjeta de datos	Telemetría	128.000	1	128.000																																										
Telemetría: B&V electricidad (Instalación)	Telemetría	309.400	1	309.400																																										
Total (IVA Incluido)				9.493.034																																										
Mantenimiento	No se cuenta con información																																													

Conclusiones:

La información existente es insuficiente para desarrollar una correcta caracterización hidrogeológica de la cuenca a la escala requerida. Un ejemplo de esto es el bajo número de pozos de monitoreo de la DGA que se encuentran habilitados (sólo 10) en el área de estudio. Se requiere de mayor detalle (registro continuo de niveles por al menos 5 años, estratigrafía y mayor número de pozos a nivel regional, entre otros) para realizar tanto un proyecto piloto de recarga artificial, como un proyecto de recarga a nivel industrial.

El diseño del piloto de recarga artificial en base a una piscina de infiltración se consideró apropiado para la información con que se contaba al momento de su construcción y a los recursos disponibles. Tras realizar las pruebas se pudo corroborar que el diseño propuesto fue apropiado

Proyecto Recarga de Acuífero de Santiago Sociedad del Canal de Maipo (2013)

Este proyecto ejecutado por la Sociedad del Canal de Maipo consistió en múltiples piscinas y pozos de infiltración. Se estima una recarga de más de 2 millones de m³ durante más de dos años y medio de operación.

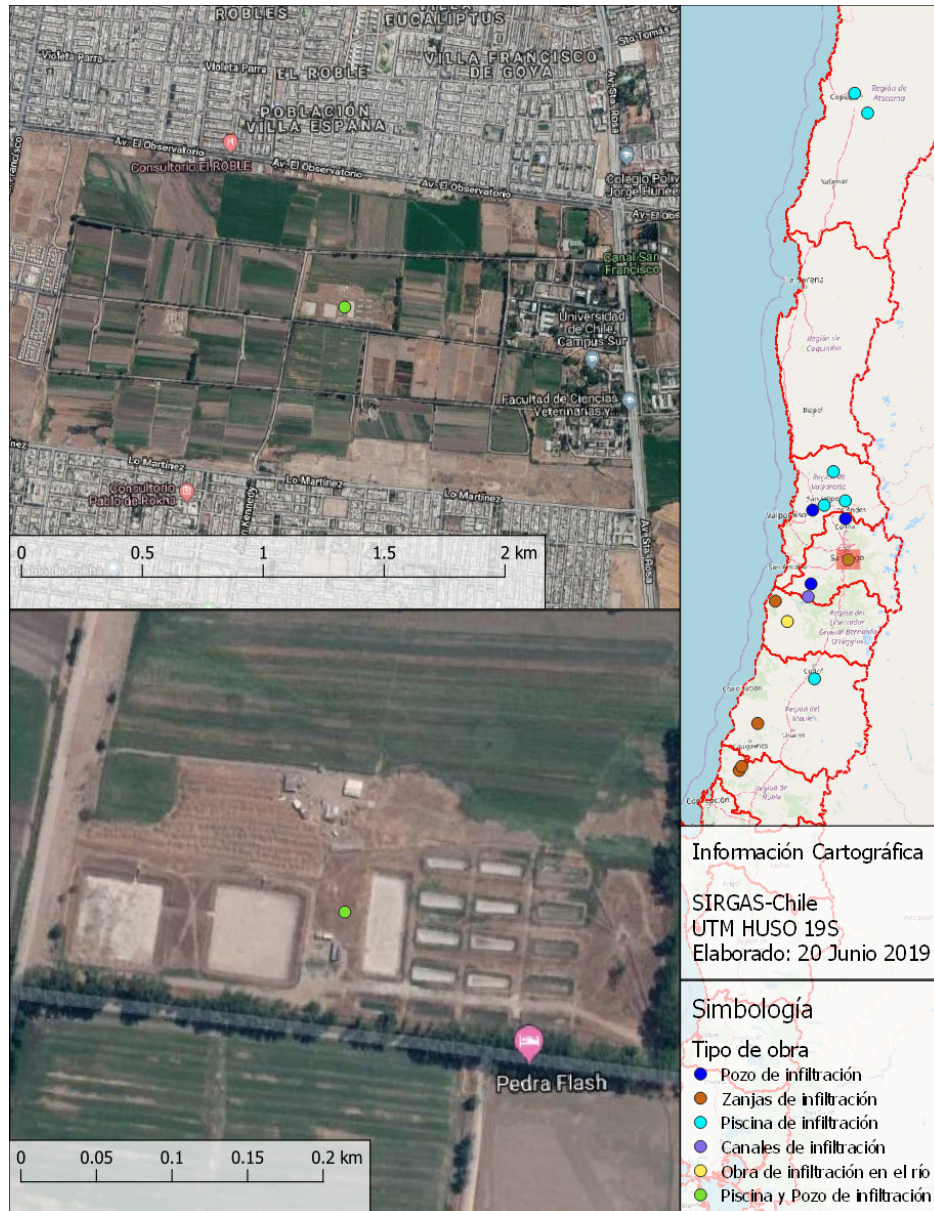


Figura 20. Ubicación geográfica piloto Sociedad del Canal de Maipo.

Tabla 19. Información Proyecto Sociedad del Canal de Maipo

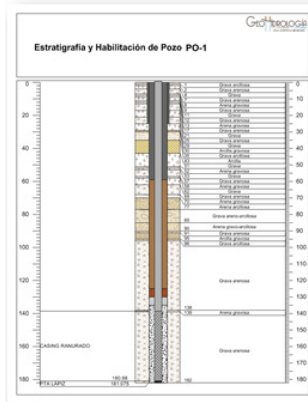
Información general	
Mandante	Sociedad del Canal de Maipo
Consultor	GeoHidrología/Arcadis/VAI
Tipo de obra	Piscinas de infiltración y Pozos de infiltración en zona no saturada.
Periodo de ejecución	29 de Febrero a la fecha (operativo sujeto a la disponibilidad de agua)
Objetivos	Realizar una experiencia de recarga artificial en el “acuífero de Santiago”. Establecer requerimientos operacionales en desarrollo de proyectos a mayor escala. Estudiar el impacto de la recarga sobre el acuífero. Poder replicar la experiencia a más bajo costo intra y extra predial.
Entorno local	
Terreno utilizado	5 hectáreas en un predio que arrienda a la Universidad de Chile, en el Campus Antumapu de la Facultad de Agronomía y Ciencias Forestales. Antumapu-La Pintana
Características del acuífero	Acuífero de Santiago (zona suroriente), acuífero libre dominado por depósitos aluviales en matriz areno-arcillosa. Nivel freático se ubica entre 140 y 150 m de profundidad. (ha bajado el último tiempo). Se realizaron estudios TEM y nanoTEM

Estudios de Geofísica evidencian la presencia de dos capas de material menos permeable a 40 y 100 m de profundidad. Lentas de arcilla 30-35 mt.

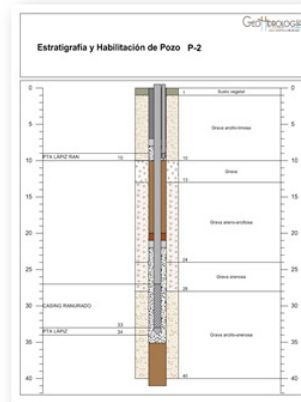


Características del suelo

PERFILAJES DE POZOS DE MONITOREO



180 metros en zona de pozos



40 metros en zona de piscinas

Sistema de recarga

Dimensiones

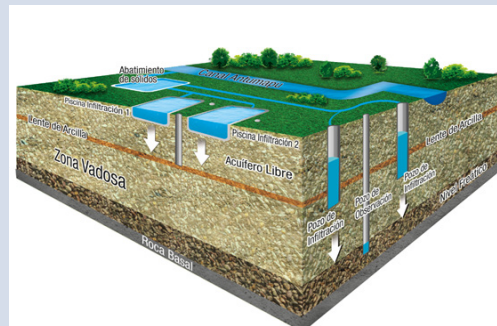
Un pozo de monitoreo de 182 metros de largo, dos piscinas de infiltración de 55 por 55 metros con una altura de 110 centímetros -junto a tres pozos de monitoreo de 40 metros- y a una distancia de 1.300 m se encuentran dos pozos de recarga gravitacional de 120 centímetros de diámetro cada uno con una profundidad de 62 m y 75 m respectivamente.

Contempla 2 sistemas de recarga:

- **Piscinas de infiltración (2)**
- **Pozos de infiltración que funcionan por gravitación** en la zona NO saturada a 62 m y 75 m

Diseñado para cargar 50 L/s de manera continua pero la carga real suministrada de manera constante fue de 150 L/s.

Contempla una planta de filtración de aguas (Decantadores y planta de abatimiento de solidos).



Método

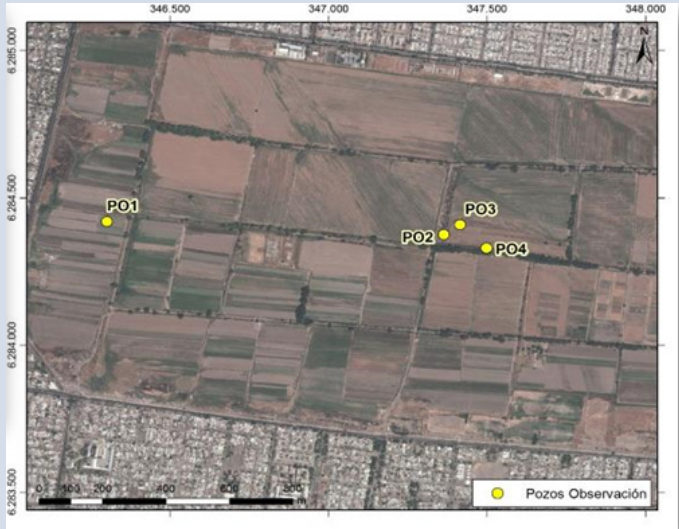
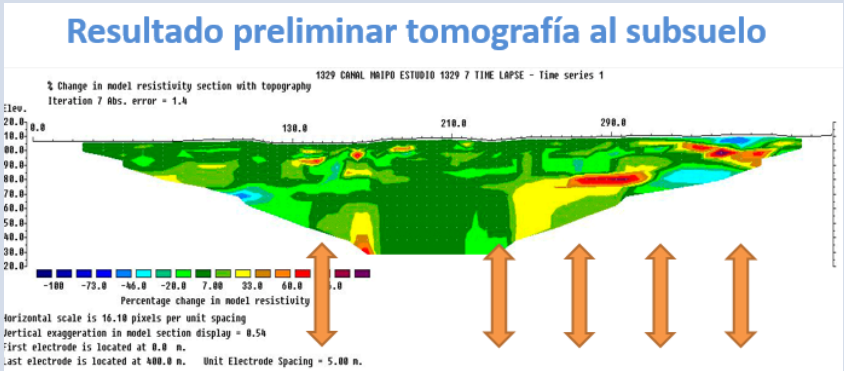
Diagrama de sistemas de Infiltración



Diagrama "Planta de recarga de acuíferos"



Periodos de recarga | Más de dos años y medio de operación con recarga constante

<p>Sistema de monitoreo</p>	<p>4 pozos de observación</p> 
<p>Cantidad recargada</p>	<p>Mayor a 2.000.000 de m³ recargados en 2 años y medio, piscinas 0.35 m³/día. No se cuenta con información sobre la recarga a través de los pozos.</p>
<p>Fuente de agua</p>	<p>Utiliza Aguas Superficiales del Río Maipo / Canal Antumapu</p>
<p>Calidad de agua</p>	<p>Se realizaron mediciones de calidad de la fuente y de las aguas subterráneas, principal problema de turbidez debido a sedimentos provenientes de la cordillera, estos solidos son abatidos a través de la planta de filtros para entrega de calidad máxima de 5 NTU para evitar la colmatación de los pozos.</p>
<p>Niveles de pozo</p>	<p>Pozos de infiltración que funcionan por gravitación en la zona NO saturada a 62 m y 75 m</p> 
<p>Económico</p>	
<p>Inversión inicial</p>	<p>\$ 600.000.000 (esta inversión considera: 4 pozos de monitoreo (Aprox. 180 Millones) y 2 de recarga (Aprox. 200 Millones), Piscinas de infiltración y de decantación, numerosas consultorías y estudios, monitoreo, guardias, cercado del recinto, planta de filtros, costos de mantención, entre otros. (Aprox. 320 Millones)</p>
<p>Mantenimiento</p>	<p>No mencionado</p>


Minuta: Área de recarga de acuífero sector Cerrillos (2018)

El proyecto mandatado y ejecutado por la Junta de Vigilancia del Río Copiapó (JVRC) consistió en tres piscinas de infiltración, y fue realizado debido a inusuales excedentes de agua en el río Copiapó, debido principalmente a la gran cantidad de agua precipitada durante el año 2017. Su objetivo consiste en infiltrar agua para recargar el acuífero sin extraer el agua posteriormente, además de la mejora del paisaje y la creación de un micro hábitat en beneficio de diferentes especies de aves principalmente.



Figura 21. Ubicación geográfica proyecto Cerrillos.

Tabla 20. Información Proyecto Cerillos

Información general	
Mandante	Junta de Vigilancia del Río Copiapó
Consultor	No mencionado
Tipo de obra	Piscina de infiltración
Periodo de ejecución	15 meses hasta la fecha de publicación de la minuta
Objetivo	Recargar el acuífero y contribuir a la recuperación de la biodiversidad y mejorar el entorno del sector, ocupando agua no utilizada debido a excesos de caudales.
Entorno local	
Terreno utilizado	Predio de don Hector Ronseco Pinchetti, ubicado en sector Cerillos, Comuna de Tierra Amarilla.
Características del acuífero	No mencionado
Características del suelo	No mencionado
Sistema de recarga	
Dimensiones	3 piscinas de 0,84, 1,25 y 1,69 ha respectivamente. 
Método	El caudal de ingreso a las áreas inundables es aproximadamente de 60 l/s por 6 días a la semana.
Periodos de recarga	No mencionado
Sistema de monitoreo	No mencionado
Cantidad recargada	Día: 5.184 [m3] Semana: 31.104 [m3] Mes: 124.416 [m3] Acumulado a la fecha: 1.866.240 [m3] (15 meses)
Fuente de agua	Canal Compuertas Negras

Calidad de agua	No mencionado
Niveles de pozo	No mencionado
Económico	
Inversión inicial	\$8.375.000+IVA Valor por metro cubico: \$ 4 pesos (metros cúbicos acumulados / inversión) considerando la recarga a 15 meses plazo.
Mantenimiento	No mencionado

En el área se ha creado un microhábitat que hoy permite albergar e identificar con la colaboración del Servicio Agrícola y Ganadero a más de 15 especies de aves, entre ellos, patos, taguas y aguiluchos, de igual forma, se ha transformado en un paseo familiar para los habitantes de las comunas de Tierra Amarilla y Copiapó, quienes mayoritariamente visitan el sector los fines de semana atraídos por la flora y fauna del lugar. Contribuye al turismo local y fomenta la creación de una futura ruta turística del valle de Atacama.

Presentación CASUB - Obra de recarga en Hacienda Toledo

El proyecto ejecutado por la Comunidad de Aguas Subterráneas de Copiapó-Piedra Colgada- Desembocadura (CASUB) consistió en tres piscinas de infiltración, y fue realizado debido a inusuales excedentes de agua en el río Copiapó, debido principalmente a la gran cantidad de agua precipitada durante el año 2017, que a la altura de la localidad de Toledo no cuenta con agua superficial en un año normal. Aun así, se mantiene la obra operativa para el próximo evento de intensas lluvias que trae abundancia de agua a la zona.

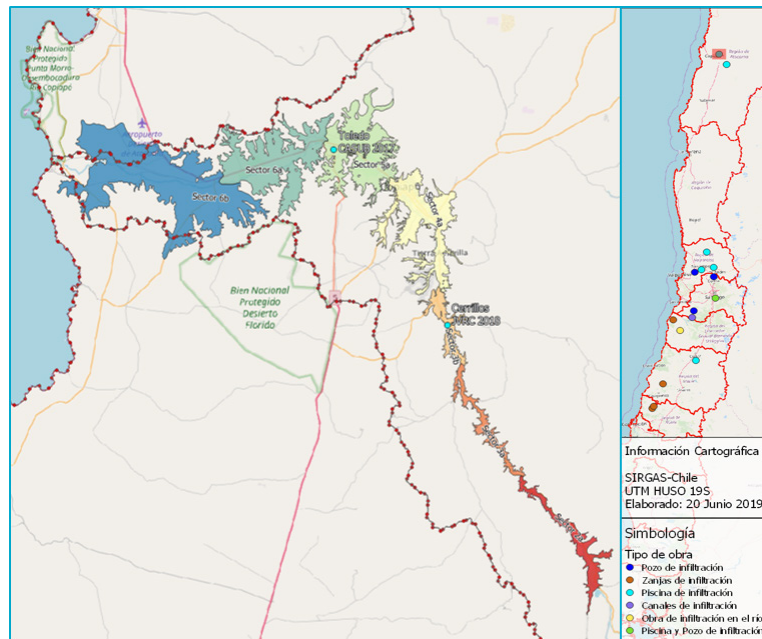


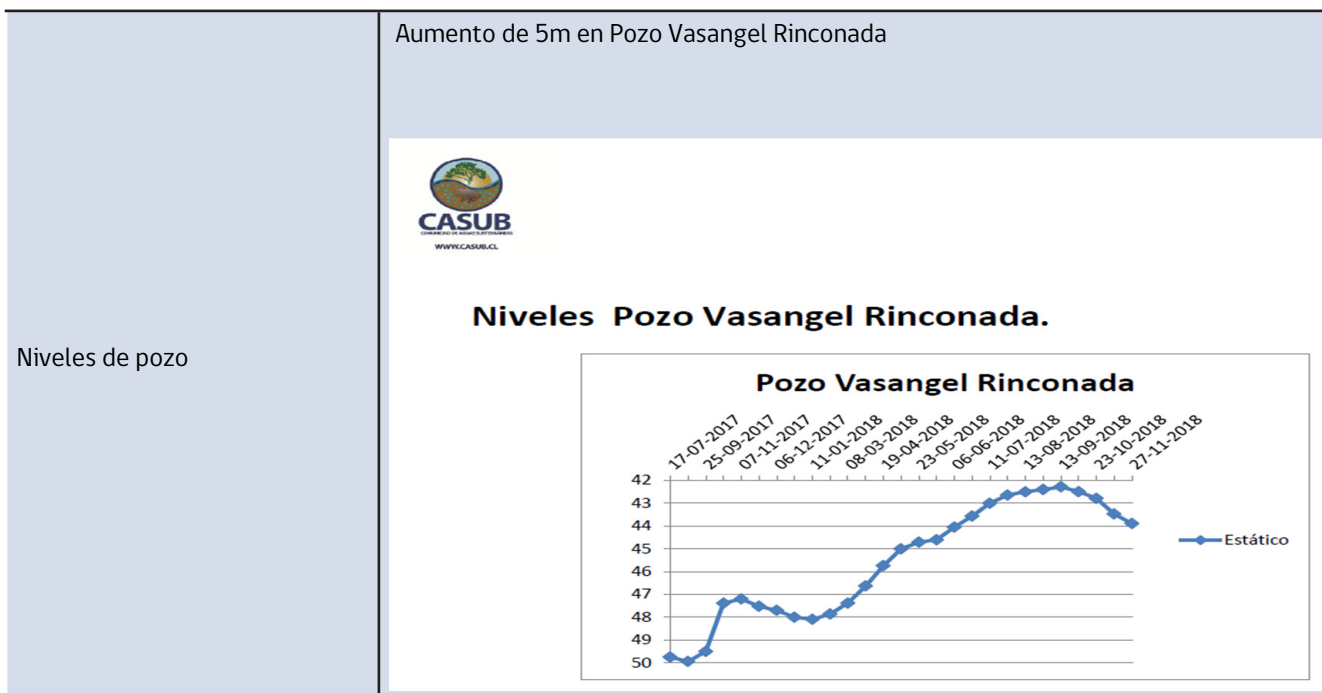
Figura 22. Ubicación geográfica proyecto Toledo.



Figura 23. Ubicación geográfica proyecto Toledo.

Tabla 21. Información Proyecto Hacienda Toledo.

Información general	
Mandante	Comunidad de Aguas Subterráneas de Copiapó- Piedra Colgada- Desembocadura
Consultor	Comunidad de Aguas Subterráneas de Copiapó- Piedra Colgada- Desembocadura
Tipo de obra	Piscina de infiltración
Periodo de ejecución	Junio 2017 - septiembre 2018 (aún queda operativa pero sin recarga)
Objetivo	Recargar excesos de agua superficial al acuífero.
Entorno local	
Terreno utilizado	Hacienda Toledo, entre Toledo y San Francisco, aguas abajo de la ciudad de Copiapó, Región de Atacama.
Características del acuífero	Documentado en estudio CNR y GORE Atacama (2012)
Características del suelo	Documentado en estudio CNR y GORE Atacama (2012)
Sistema de recarga	
Dimensiones	Piscina 1: ~5,24 ha
	Piscina 2: ~4,63 ha
	Piscina 3: ~2,72 ha
	Profundidad: entre 4 y 8 metros
Método	Piscinas de infiltración
Periodos de recarga	Continuo
Sistema de monitoreo	<p>Telemetría en tiempo real sustraída durante las primeras semanas del piloto. Aun así, las mediciones se realizan de forma manual durante el periodo de recarga.</p> <p>Monitoreo del agua subterránea y cambios en el nivel freático a través de pozos de observación aledaños con mediciones realizadas cada 15 días.</p> <p>Monitoreo del agua superficial recargada a través del caudal superficial de entrada y de salida en las piscinas realizado tres veces por día.</p>
Cantidad recargada	~11.826.000 m ³
Fuente de agua	Río Copiapó
Calidad de agua	No monitoreado, pero empresa sanitaria Aguas Chañar tiene pozos de agua potable 2 km más debajo de la obra e indica que durante el periodo de la recarga no se encuentran diferencias en términos de calidad de agua.



Económico

Inversión inicial	\$36.775.000
Mantenimiento	\$10.500.000 (año)

El proyecto de CASUB fue realizado en las cercanías al río Copiapó, generando problemas debido a que la normativa exige solicitar permiso a DGA en caso de modificaciones en el río, sin embargo, la definición de los límites del río no es clara, y, por ende, no es posible determinar si el proyecto cayó en un incumplimiento.

Este proyecto buscó infiltrar agua en periodos de abundancia, evitando que la totalidad de esta agua llegue a la desembocadura, sino que aumentando el tiempo de permanencia de esta en la cuenca, y por consecuencia, aumentando la infiltración del agua para recargar acuíferos. Otorgando mayor seguridad hídrica a los beneficiarios integrados en CASUB (Sectores agrícola, minero y sanitario).

Anexo 3.3 Zonificación hidrogeológica de acuíferos

Las imágenes aquí mostradas corresponden al archivo "ocurrencias de aguas subterráneas", el cual puede ser encontrado en la mapoteca de DGA dentro del Anexo Digital en la siguiente ruta: GuíasGRA_AnexoDigital\Cap4.4\2. Datos Recopilados\3. MapotecaDGA

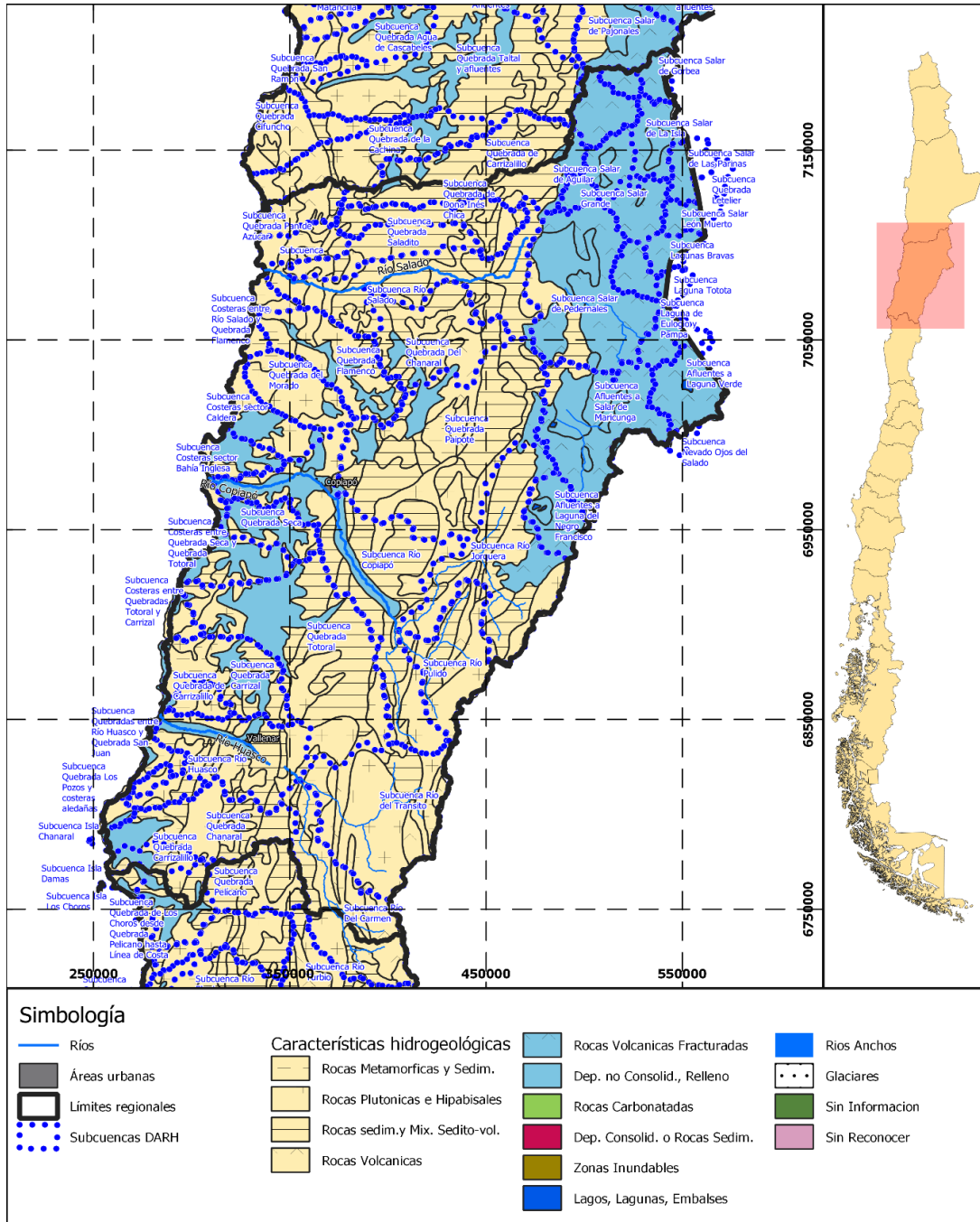


Figura 24. Zonificación hidrogeológica de la región de Atacama.

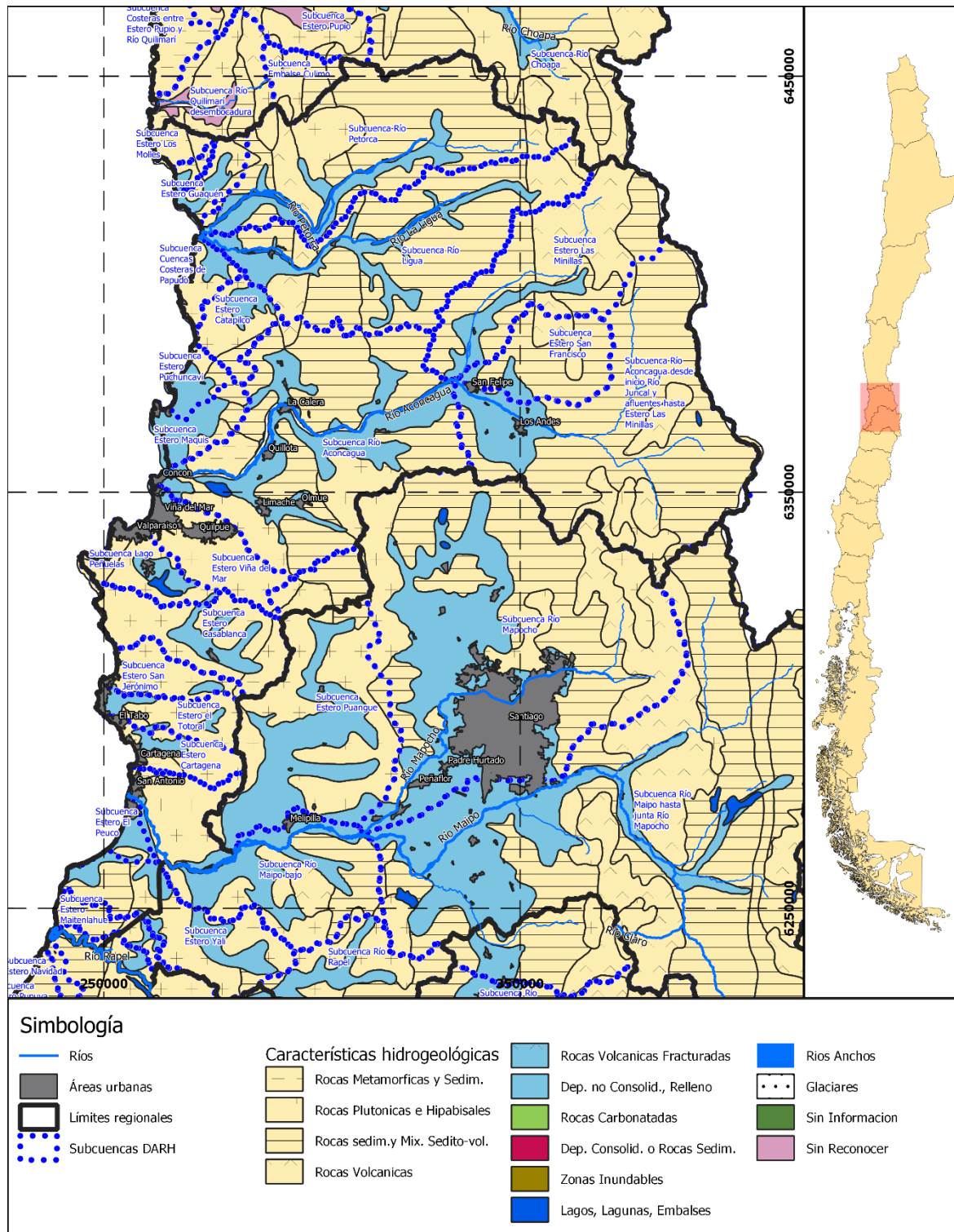


Figura 25. Zonificación hidrogeológica de la región de Valparaíso.

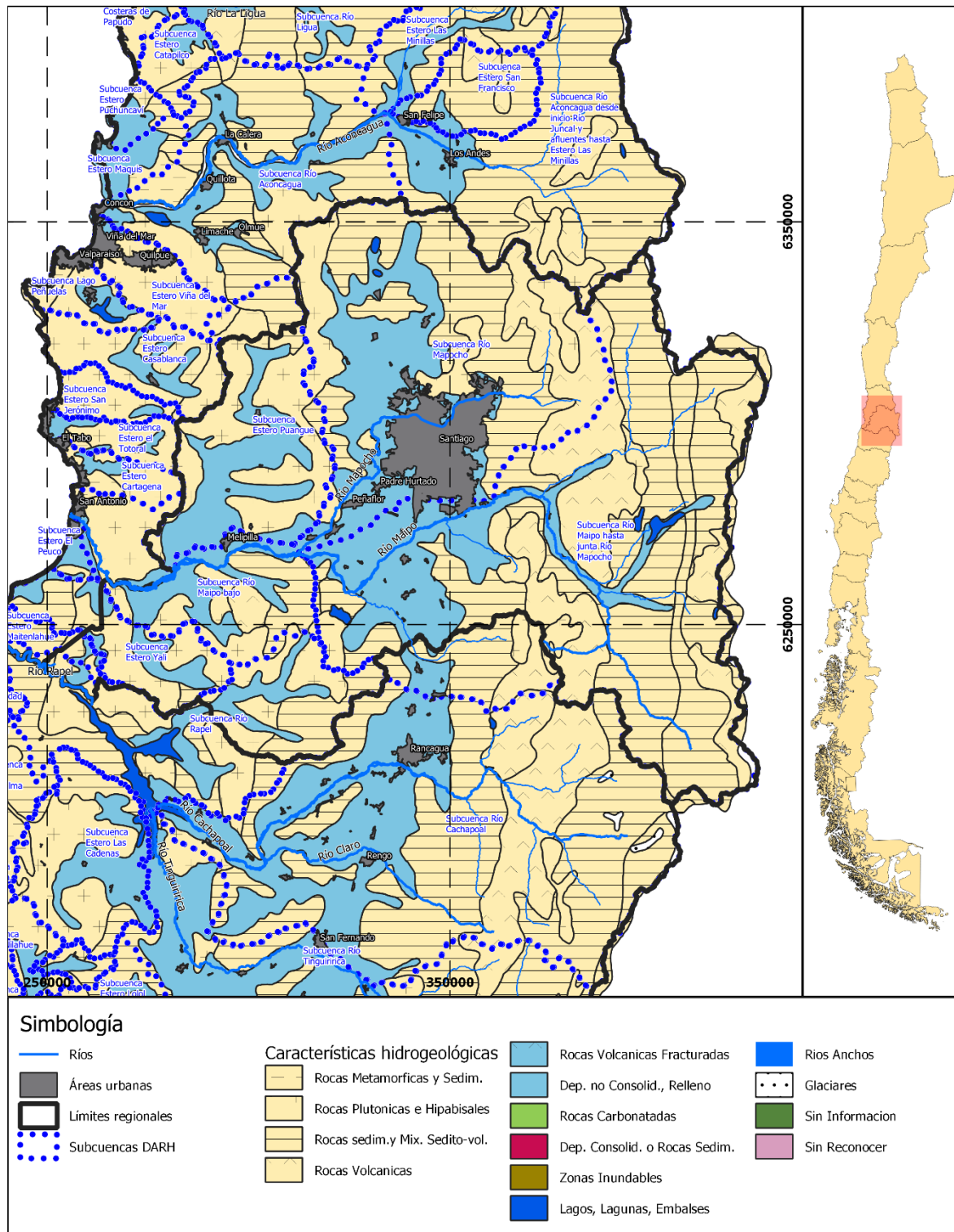


Figura 26. Zonificación hidrogeológica de la región Metropolitana.

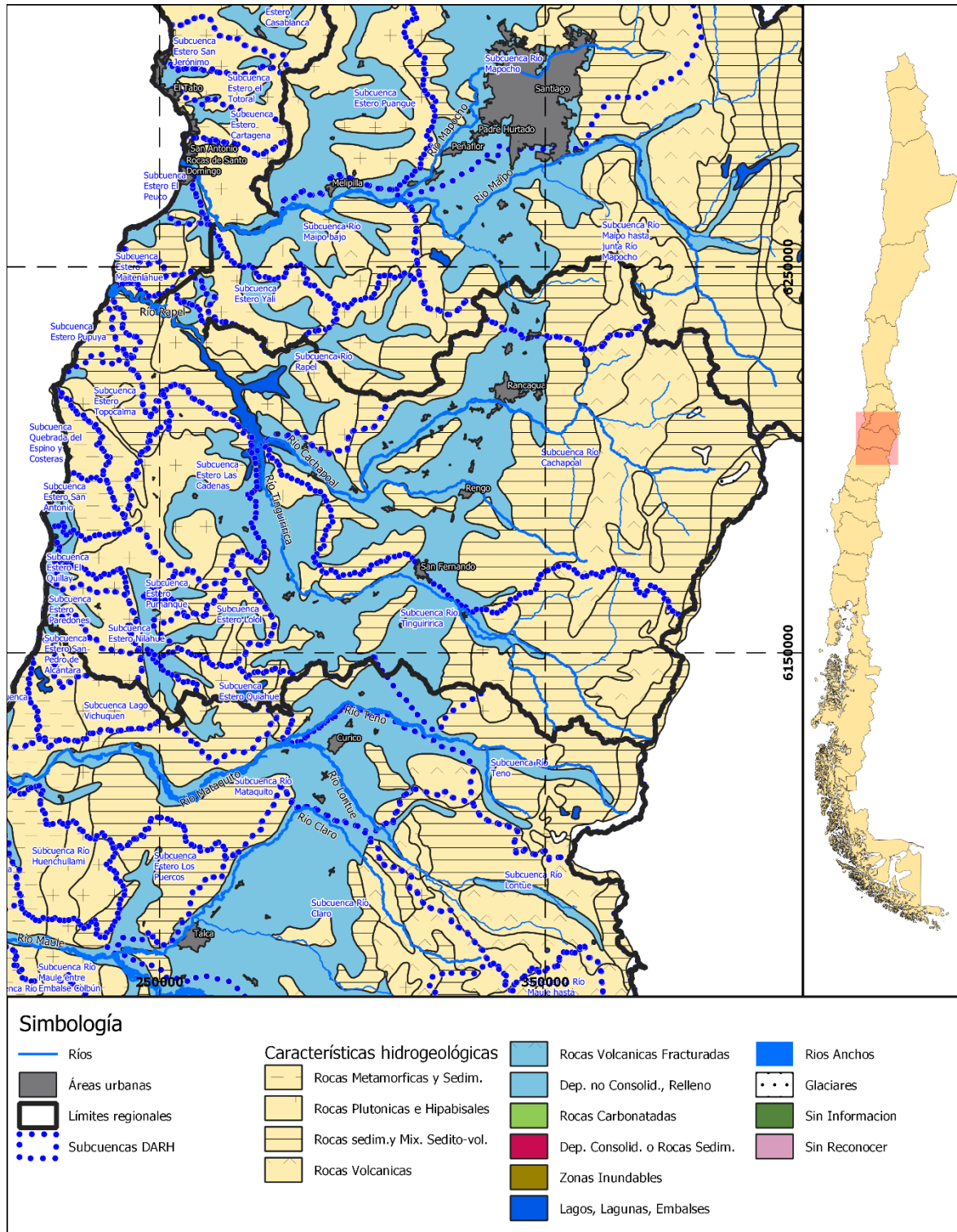


Figura 27. Zonificación hidrogeológica de la región del Libertador General Bernardo O'Higgins.

Anexo 3.4 Idoneidad de recarga de acuíferos

La información de idoneidad modificada puede ser encontrado en el archivo "Idoneidad.shp" contenido en el Anexo Digital en la siguiente ruta: GuíasGRA_AnexoDigital\Cap4.4\1. Datos Generados\2. IdoneidadPriorizada

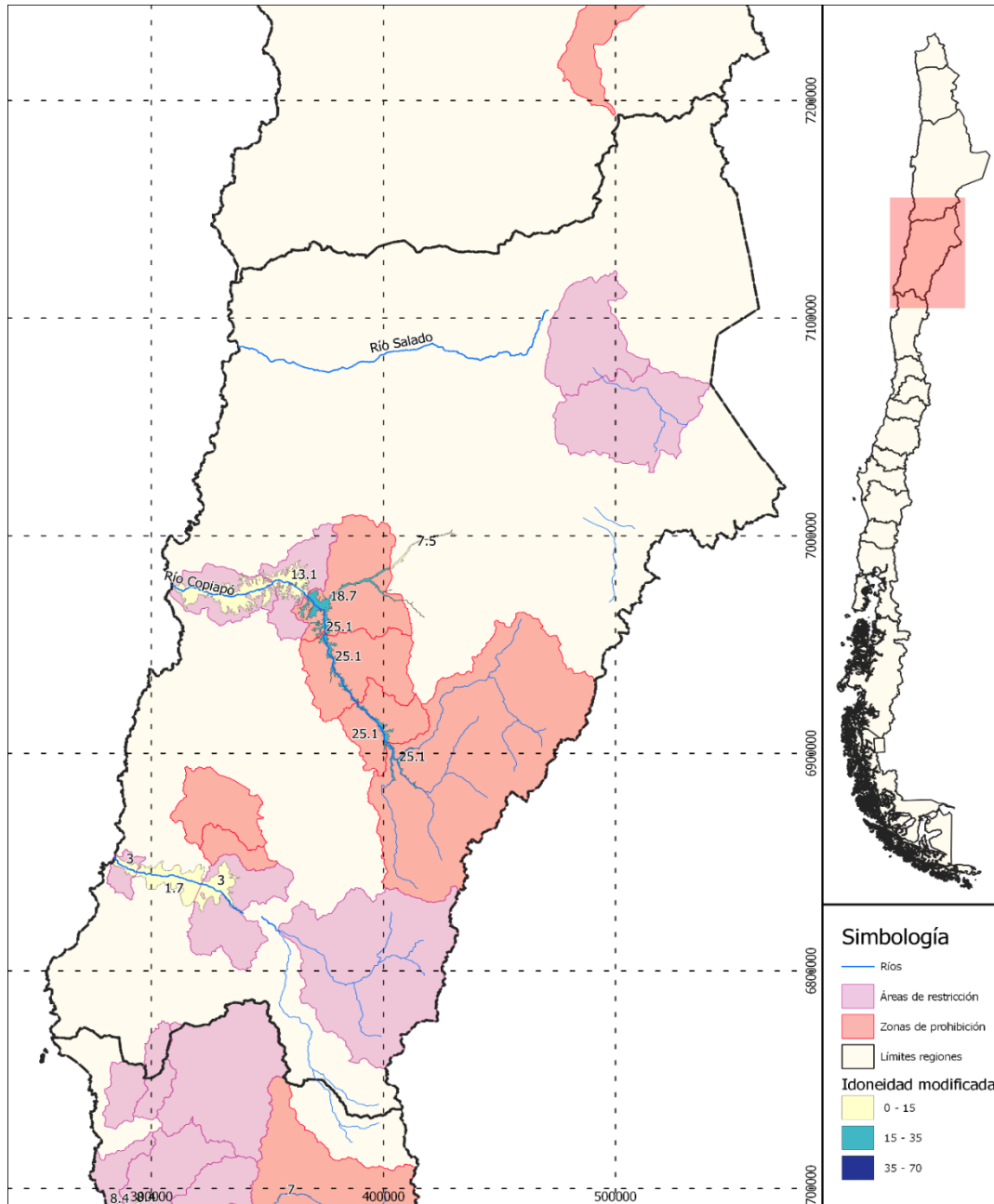


Figura 28. Idoneidad de sitios para gestión de recarga de acuíferos con un criterio priorizado de priorización en la región de Atacama.

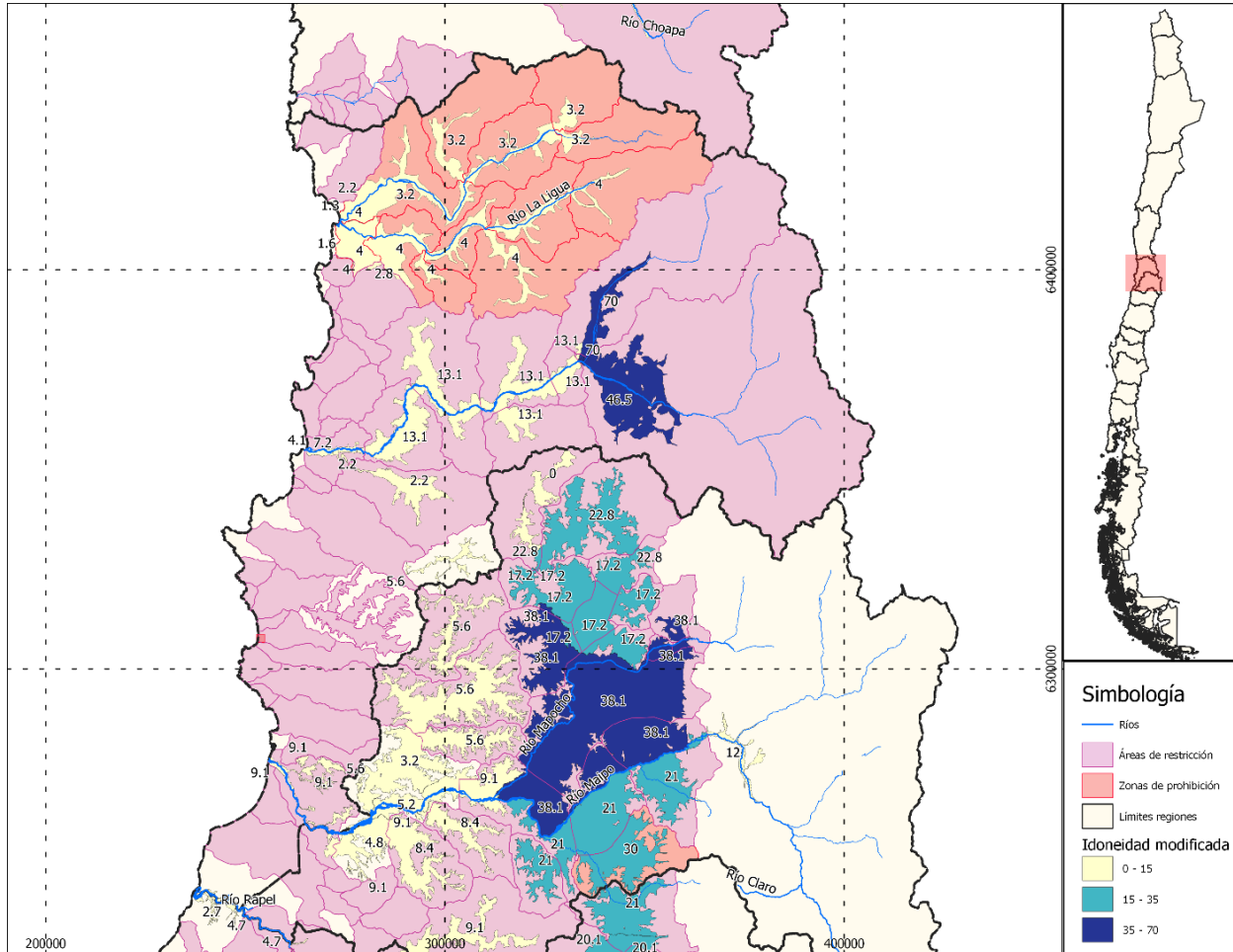


Figura 29. Idoneidad de sitios para gestión de recarga de acuíferos con un criterio priorizado de priorización en la región de Valparaíso.

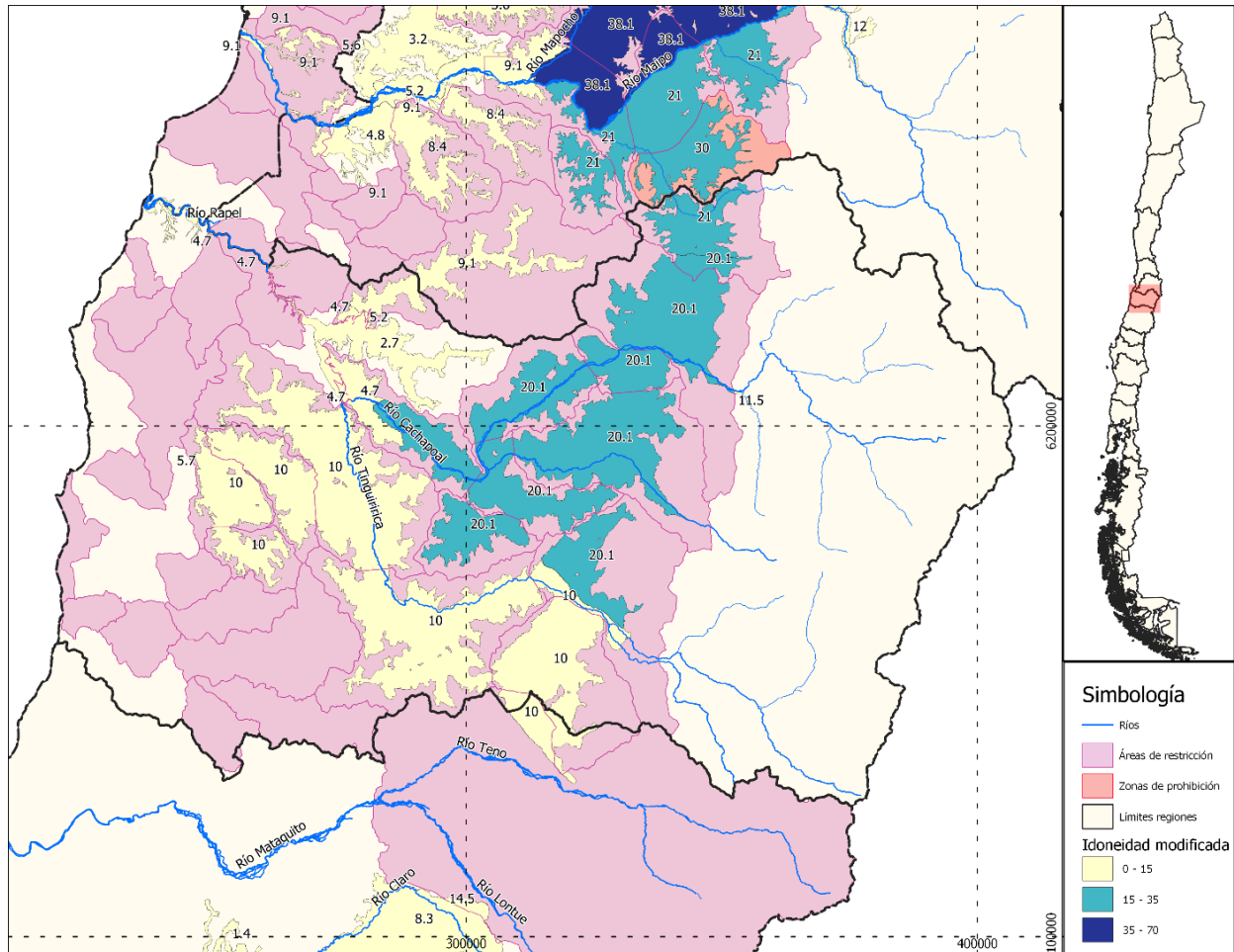


Figura 31. Idoneidad de sitios para gestión de recarga de acuíferos con un criterio priorizado de priorización en la región del Libertador General Bernardo O'Higgins.

Anexo 4 Aspectos financieros y económicos de la recarga de acuíferos

Tabla 22. Costos de esquemas RAG en proyectos internacionales. Fuente: Modificado de Ross y Hasnain (2018).

Esquema	País	Ubicación	Tipo de RAG	Fuente de agua	Objetivo del esquema	Costo capital US\$'000	Agua recargada '000 m3/año	costo capital por agua recargada (US\$/m3)	costo operacional por agua recargada (US\$/m3)	costo nivelado de recarga (US\$/m3)
1-ASR-NL-ND	Países bajos	Westland	Superficial	Agua natural	Almacenamiento estacional	293	67	4,35	0,19	0,53
2-ASR-NL-FM	Países bajos	Ovezande	Pozo	Agua natural	Almacenamiento estacional	56	6	9,35	0,85	1,58
3-RBF-IN-HD	India	Haridwar	Banco	Agua natural	Uso multi-propósito	13.529				
4-SPD-US-AF	USA	Surprise Arizona	Superficial	Agua natural	Seguridad hídrica	14.406	30.800	0,47	0,13	0,17
5-SPD-US-HM	USA	Surprise Arizona	Superficial	Agua natural	Seguridad hídrica	7.078	43.200	0,16	0,14	0,15
6-SPD-US-LSC	USA	Marana, Arizona	Superficial	Agua natural	Seguridad hídrica	5.345	51.800	0,10	0,14	0,14
7-SPD-US-PMR	USA	Sahurita, Arizona	Superficial	Agua natural	Seguridad hídrica	14.459	37.000	0,39	0,14	0,17
8-SPD-US-SMR	USA	Queen Creek, Arizona	Superficial	Agua natural	Seguridad hídrica	11.972	30.800	0,39	0,14	0,17
9-SPD-US-TD	USA	Tonopah, Arizona	Superficial	Agua natural	Seguridad hídrica	22.067	185.000	0,12	0,13	0,14
10-IB-AU-IBWA	Australia	Mandurah, Geraldton and Esperance, WA	Superficial	Agua reciclada	Suministro de agua/ reponer acuífero	403	29	14,14	0,93	2,03
11-IG-AU-PL	Australia	Perry Lakes and Floreat, WA	Superficial	Agua reciclada	Beneficio ecológico	1.363	1.825	0,75	0,91	0,97
12-SAT-AU-AS	Australia	Alice Spring, NT	Pozo	Agua reciclada	Calidad de agua (beneficio en salud)	11.608	600	19,35	1,16	2,67
13-ASR-AU-AS	Australia	Bolivar SA	Pozo	Agua reciclada	Suministro de agua	25.137	9.000	2,79	0,27	0,49
14-ASTR-AU-AG	Australia	Anglesea, VIC	Pozo	Agua reciclada	Seguridad hídrica	154.513	7.650	20,20	0,68	2,25
15-GR-AU-BYWA	Australia	Beenyup, WA	Pozo	Agua reciclada	Agua para beber	91.753	14.000	6,55	0,87	1,38
16-IB-NZ-HN	Nueva Zelanda	Near Ashbuton, Canterbury Plains	Superficial	Agua natural	Beneficio ecológico	682	4.000	0,17	0,02	0,04

Esquema	País	Ubicación	Tipo de RAG	Fuente de agua	Objetivo del esquema	Costo capital US\$'000	Agua recargada '000 m3/año	costo capital por agua recargada (US\$/m3)	costo operacional por agua recargada (US\$/m3)	costo nivelado de recarga (US\$/m3)
17-ASR-US-SAWS	USA	Texas - San Antonio water supply	Pozo	Agua natural	Agua para beber	269.147	82.900	3,25	0,01	0,26
18-ASR-US-Kerrville	USA	Texas - Kerrville	Pozo	Agua natural	Suministro de agua municipal	3.393	3.661	0,93		0,07
19-ASR-US-EPWU	USA	Texas - El Paso Water Utility	Pozo	Agua reciclada	Uso multi-propósito	38.037	13.817	2,75	0,29	0,50
20-ASR-US-OR	USA	California - Orange	Pozo	Agua natural	Suministro de agua municipal	722.667	294.486	2,45	0,06	0,25
21-ASR-US-FL	USA	Florida	Pozo	Agua natural	Agua para beber	3.349	6.908	0,48	0,05	0,09

Anexo 5 Formulario para el desarrollo de proyectos RAG

A continuación, se proporciona el formulario que puede ser utilizado por el ejecutor para el desarrollo de su proyecto RAG. Para facilitar su relleno se debería utilizar el Informe Final del proyecto y se puede usar las fichas descriptivas que se encuentran en la Guía Metodológica para los diferentes métodos de recarga (CNR, 2020).

Método de Recarga	
Descripción	
*Agregue una descripción general del esquema en consideración y el objetivo que se espera lograr (ej. aumentar nivel freático, provisión/almacenamiento adicional del agua, etc.):	
Evaluación de viabilidad- Fase 1 (Evaluación de escritorio)	
Tiempo estimado para completarse: 1-2 días.	
Disponibilidad de una fuente de agua	*Evaluar el volumen de agua disponible para la recarga en época deseada según cantidad de DAAs superficiales disponibles y disponibilidad de agua. Utilizar experiencia de la zona y/o revisar fuentes de datos: series de tiempo de datos pluviométricos/fluviométricos mensuales de la zona.
Cuenta con derechos de aprovechamiento de aguas (DAAs) superficiales existentes y disponibles de infiltrar.	

<p>Evaluación hidrológica simple</p> <p>Recarga a un acuífero libre (no confinado) y con espacio suficiente.</p>	<p>*Verifique que hay al menos un acuífero en el sitio propuesto capaz de recibir y almacenar agua adicional, y que no hay restricciones (ej. ambientales) en dicho acuífero. Si no hay espacio disponible en el acuífero en el momento de la recarga, el proyecto no es viable.</p> <p>(Si no hay suficiente conocimiento local sobre el acuífero, revisar mapas de geología de superficie o hidrogeología existentes a escala regional)</p>
<p>Espacio para capturar y tratar el agua</p> <p>Disponer de un lugar físico para la obra.</p>	<p>*Evaluar que haya suficiente espacio dentro del terreno disponible, a una distancia factible del agua fuente, para la infraestructura de captura, pretratamiento (ej: decantación de sólidos) e infiltración. Generalmente ocupan áreas de unas pocas hectáreas para esquemas de recarga de hasta alrededor de 10^6 m³ por año, hasta decenas o cientos de hectáreas para esquemas más grandes del orden de 10^8 m³ o 10^9 m³ por año.</p> <p>La permeabilidad del suelo debe permitir tasas de infiltración suficientes para recargar el volumen de agua deseado durante el tiempo que esté disponible, lo que podría afectar el espacio requerido. La permeabilidad requerida es típicamente alrededor de ≥ 0.5 m/día, pero depende de los volúmenes requeridos, el tiempo disponible para la recarga y el área de la superficie de infiltración.</p>

Capacidad y experiencia Cuenta con capacidad suficiente para diseñar, construir, operar y mantener el proyecto.	*Evaluar capacidad y/o experiencia relevante disponible. En caso de no contar con experiencia previa, se recomienda contratar un asesor para garantizar la viabilidad de la implementación y operación en el tiempo.
Gobernanza y sostenibilidad económica Disponer un modelo de gobernanza del esquema para su construcción, operación y mantenimiento.	*Definir fuentes de financiamiento suficientes para la inversión inicial, la operación y mantención del esquema. Definir quién estará a cargo y responsable de la obra cuando la inversión inicial se acabe para asegurar su sostenibilidad en el tiempo.

<p>Evaluación económica inicial</p>	<p>*Determine si la obra es económicamente viable a través de la comparación básica de costos y beneficios del esquema. Para esto analice lo siguiente:</p> <p>1) Estimar el costo aproximado del esquema. (Como modo de referencia Ross y Husnain (2018) informaron que los esquemas de RAG que usan obras superficiales (por ejemplo, piscinas, canales, etc.) para infiltración con agua no tratada son relativamente baratos, con costos nivelados de \$0.19USD/m³ recargado. (Ver Anexos 3 y 4 para ver ejemplos de esquemas de RAG en Chile y sus costos asociados).</p> <p>2) Beneficios/impactos cualitativos sociales y ambientales, según experiencia y situación local.</p>
<p>De acuerdo con lo respondido, ¿se determina que la obra es viable?</p>	<p>*Si la respuesta es sí, continua a la siguiente fase, si es no, hay que reevaluar el proyecto.</p>

Evaluación de dificultad y encuesta sanitaria- Fase 2 (Evaluación con muestreos o investigación adicional). Tiempo estimado para completarse: 1-2 meses.	
Calidad de la fuente de agua con respecto a la obstrucción (colmatación)	*Se recomienda realizar una campaña de muestreo básica para recopilar al menos datos de turbidez. (Las Guías Australianas de RAG sugieren que sólidos suspendidos totales >10 mg/L son indicativos de un alto riesgo de obstrucción. Si la turbidez es alta, considera medidas de mitigación y limpieza (ej. decantador, humedal, eliminación de la capa de obstrucción, etc.).
Capacidad de almacenamiento del acuífero	*Determine si el acuífero tiene suficiente espacio para almacenamiento para evitar riesgo de inundación y sodicidad del suelo. Examine las series de tiempo del nivel del agua de los pozos cercanos, especialmente aguas abajo del sitio de recarga propuesto. Esto determinaría cuánta agua se puede infiltrar sin pasar el límite de almacenamiento del acuífero y así evitar afectar vecinos circundantes.

Impactos en vecinos y ecosistemas

*Evaluar si otros usuarios de aguas subterráneas o ecosistemas conectados podrían verse perjudicados por una recarga adicional. Consulte los registros de pozos para obtener información sobre los usuarios de aguas subterráneas cercanos. Consulte a las agencias relevantes para obtener información sobre la presencia de ecosistemas sensibles dependientes de las aguas subterráneas.

<p>Roca reactiva, roca fracturada o acuíferos kársticos</p>	<p>Es importante entender si hay potencial peligro de i) movilizar metales peligrosos, ii) disolución de la matriz del acuífero que causa inestabilidad geotécnica, o iii) migración rápida de agua de recarga a través de rutas de flujo preferenciales a pozos de extracción de agua potable. De este modo, se sugiere averiguar la siguiente información:</p> <p>*1) Consulte las bases de datos relevantes para obtener datos sobre la calidad del agua y/o mida la calidad del agua subterránea para arsénico y hierro en los pozos cercanos.</p> <p>2) Determine la mineralogía del acuífero para piritas, calcitas, dolomitas a partir de registros hidro-estratigráficos y registros de perforación (determinar si tiene minerales reactivos o solubles).</p> <p>3) Consulte los registros hidro-estratigráficos de pozos para obtener información sobre la composición del acuífero (identificar si está compuesto de roca fracturada, caliza kárstica o dolomita).</p>
<p>Aprobación de desarrollo</p>	<p>*Verifique con las autoridades relevantes que el proyecto cumple con leyes o normas locales que rigen la seguridad, la ingeniería y otras normas que el proyecto puede necesitar cumplir.</p>

Encuesta Sanitaria

*Una encuesta sanitaria identifica los peligros y eventos peligrosos que puedan ocurrir en la cuenca que proporciona la fuente de agua para el esquema de RAG y en la instalación de recarga, así como en cualquier lugar donde se recupere el agua. La encuesta deberá identificar cualquier deficiencia o falta de integridad en el sistema propuesto que pueda conducir a la contaminación y al mismo tiempo determinar la medida de prevención relevante.

Utiliza la encuesta sanitaria que se encuentra en la Tabla 12 del informe final y responde a las siguientes preguntas:

¿Cuáles son los peligros identificados en la cuenca?:

¿Cuáles son las medidas para prevenir los peligros mencionados anteriormente?:

¿Cuáles son las barreras a la contaminación que consideras apropiadas?:

Diseño inicial de esquema

*Visualice qué debe considerar el esquema: N° de piscinas, tamaño de piscinas, sistema de tratamiento (decantador, humedal u otro), n° pozos de observación y su profundidad, entrada y salida de agua, captación del agua de la fuente, entre otros.

Evaluación económica

*Considerando los datos recolectados en esta Fase 2 (evaluación de dificultad), actualizar la evaluación económica realizada en la primera fase. El capítulo 5 del informe final recomienda una serie de metodologías para la evaluación económica de esquemas de RAG.

Determine si la obra es económicamente viable a través de la comparación de costos y beneficios del esquema:

- Considerando el Diseño Inicial, estimar el costo aproximado del esquema. Revisar ejemplos de esquemas similares (Anexo 3 y 4) y ajustar según el esquema propuesto para obtener un estimado de costo más real. Incluir un resumen cualitativo de los potenciales impactos negativos que puede tener su esquema:
- Beneficios cualitativos sociales y ambientales, según información recolectada:

Diseño y operación - Fase 3

Tiempo estimado para completarse: 6-18 meses. Una vez operacional: continua, con una revisión cada 5 años.

<p>Planificación de las actividades de la puesta en marcha</p> <p>Determine las actividades requeridas para asegurar la funcionalidad (técnica y económica) del esquema antes de su escalamiento a un nivel operacional / escala completa.</p>	<p>*Las investigaciones en terreno típicas pueden incluir una prueba de recarga o un esquema piloto, que generalmente incluye múltiples fases de recarga y recuperación. El enfoque del esquema de prueba / piloto es recopilar suficientes datos de monitoreo para permitir la verificación de los riesgos estimados y la validación de cualquier medida preventiva asociada. La fuente de agua preferida para la prueba de infiltración es el agua que se utilizará en el esquema final. Algunas veces se necesitará una fuente de agua alternativa, y los resultados se extrapolarán a la fuente de agua final propuesta.</p> <p>Los datos recopilados del trabajo en terreno se utilizarán para realizar evaluaciones similares a las descritas anteriormente (hidráulica de acuíferos, obstrucción, evaluación geoquímica, evaluación de eficiencia de recuperación); sin embargo, se involucrará un nivel de evaluación más detallado.</p> <p>La fase de puesta en marcha puede llevar toda una temporada operativa, dependiendo de la complejidad del sistema y el proceso de tratamiento.</p> <p>Se recomienda revisar ejemplos de métodos disponibles para investigaciones y monitoreo de validación, proporcionados en el Anexo 2.3.</p> <p>A continuación, detalle la planificación de actividades a realizar:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 2) 3)
<p>Resultados de pruebas / piloto</p>	<p>*Los resultados de la puesta en marcha permitirán la formación del diseño final del esquema, y un plan de operación y mantenimiento para la ejecución del esquema a largo plazo, así como un plan de gestión de riesgos.</p> <p>Resume los principales resultados de las pruebas realizadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - -

Evaluación económica

*El objetivo de la evaluación económica para el esquema a escala operacional (Fase 3) es decidir si proceder con el diseño y construcción del esquema de RAG a escala operacional después de una prueba piloto. Los resultados de las pruebas de recarga y/o el esquema piloto y la evaluación de riesgos residuales asociados se utilizan para refinar el diseño funcional y el costo del esquema de RAG. Esta evaluación se basará en la evaluación económica de la Fase 1 y/o la Fase 2 y todos los elementos levantados durante el proceso, implicando un mayor nivel de detalle y precisión.

Los costos de operación, mantenimiento y renovación deben determinarse para comprender el costo de toda la vida del esquema. Esto incluiría estimaciones del consumo de energía y materiales, requisitos de mano de obra, y renovación periódica de infraestructura como bombas y otra infraestructura mecánica y eléctrica.

Costos:

Beneficios:

Diseño funcional y detallado del esquema	<p>*Los resultados levantados durante esta fase determinan el diseño que tomará el esquema operacional.</p> <p><u>Diseño funcional:</u></p> <p>El diseño funcional debe documentar lo siguiente (ver sección 6.5.2 del informe final para más detalle):</p> <ul style="list-style-type: none">• Investigación detallada de los requisitos funcionales del esquema.• Especificaciones de la tubería.• Diseño de la estación de bombeo.• Nueva infraestructura requerida para energía/electricidad/control/comunicación.• El diseño de la planta de tratamiento propuesta.• La ubicación, número, diámetro y profundidad de los pozos de inyección / recuperación (o huella de la piscina de infiltración).• La ubicación, número, diámetro y profundidad de los pozos de observación.• Requisitos generales de obras de sitio.• Desarrollo de un plan de control preliminar. <p>Este método de RAG requiere un terreno suficiente para ubicar las estructuras de la piscina.</p> <p><u>Diseño detallado:</u></p> <p>El diseño detallado implica el desarrollo del diseño funcional a un nivel adecuado para que los contratistas construyan el esquema. Esto incluiría la preparación de planos de diseño detallados, cronogramas y fichas técnicas, especificaciones técnicas y de desempeño, y plan de control.</p>
---	--

Plan operacional preliminar

*El plan operacional es un documento iterativo preparado en la fase 3 y refinado durante la operación del esquema. Es posible que sea necesario realizar cambios de procedimiento cuando se introduce un nuevo equipo en el esquema o se realiza cambios a los procedimientos operativos.

La operación continua del esquema implica garantizar que existan los niveles apropiados de monitoreo y gestión, incluida calibración anual de instrumentación en línea. La frecuencia de monitoreo, además de la instrumentación en línea, se define en el plan operacional. El monitoreo generalmente implica recolectar muestras para un análisis detallado de la calidad del agua según el volumen específico de infiltración. Para los esquemas de desviación de ríos, se prefiere un muestreo según la frecuencia volumétrica en lugar de una frecuencia de muestreo mensual o bimensual, debido a la variabilidad en la precipitación.

Recomendaciones para la gestión del proyecto a escala operacional

Una vez que se ha construido el esquema de RAG y el proyecto puede pasar a una operación continua y deberá finalizar el plan operacional para garantizar la sostenibilidad y la protección de la salud humana y el medio ambiente.

Esto se puede lograr utilizando un marco de un plan de seguridad del agua (PSA) de la OMS. La PSA representa una evolución de la encuesta sanitaria y evaluación de vulnerabilidad, abarcando todo el sistema de suministro de agua de RAG. Se desarrolla un PSA a través de la interacción con la comunidad y la formación de un equipo. El PSA tiene tres componentes clave:

- 1.- Evaluación del sistema
- 2.- Identificación de medidas de control
- 3.- Planes de gestión y comunicación

En Tabla 13 del informe final se ha proporcionado un ejemplo de un plan de seguridad.

Bibliografía

- Bachand, P.A.M., Horwath, W.R., Roy, S.B., Choperena, J., Cameron, D. 2011. On-farm flood flow capture - addressing flood risks and groundwater overdraft in the kings basin, with potential applications throughout the central valley. Davis, CA, Bachand & Associates.
- Bachand, P.A.M., Roy, S.B., Choperena, J., Cameron, D., Horwath, W.R. 2014. Implications of using on-farm flood flow capture to recharge groundwater and mitigate flood risks along the Kings River, CA. Environmental Science and Technology 48: 13601-13609.
- Bachand, P.A.M., Roy, S.B., Stern, N., Choperena, J., Cameron, D., Horwath, W.R. 2016. On-farm flood capture could reduce groundwater overdraft in in Kings River Basin. California Agriculture 70: 200-207.
- Baram, S., Couvreur, V., Harter, T., Read, M., Brown, P.H., Hopmans, J.W., Smart, D.R. 2016. Assessment of orchard N losses to groundwater with a vadose zone monitoring network. Agricultural Water Management 172: 83-95.
- Burt, C., Monte, S. 2008. Conversion to Ground Water Pumping with Drip/Micro Irrigation Systems. PIER Report. Irrigation Training and Research Center, California Energy Commission.
- C. D. of Water Resources. 2019. California Water Plan: Update 2018.
- C. D. of Water Resources. 2017. Water available for replenishment.
- Carroll, R.W.H., Pohl, G., McGraw, D., Garner, C., Knust, A., Boyle, D., Minor, T. et al. 2010. Mason valley groundwater model: Linking surface water and groundwater in the walker river Basin, Nevada¹. Journal of the American Water Resources Association 46: 554-573.
- CDPH. 2008. Groundwater Recharge Draft Regulation. Sacramento, California.
- CNR. 2015a. Estudio básico "Análisis de alternativas piloto de recarga artificial Chacabuco-Polpaico". Elaborado por: GeoHidrología Consultores.
- CNR. 2013. Estudio básico "análisis alternativas piloto recarga artificial Ligua - Petorca, V Región". Elaborado por: Aqualogy Medioambiente Chile S.A.
- CNR. 2014. Estudio básico análisis alternativas piloto recarga artificial Marchigüe, VI Región. Elaborado por: Con Potencial Consultores Ltda.
- CNR. 2015b. Estudio básico «Análisis de alternativas piloto de recarga artificial 3 sección Aconcagua». Elaborado por: GeoHidrología Consultores.
- CNR. 2015c. Estudio básico «Análisis de alternativas piloto de recarga artificial Lontue». Elaborado por: GeoHidrología Consultores.
- CNR. 2015d. Estudio básico «Análisis de alternativas piloto de recarga artificial Popeta». Elaborado por: GeoHidrología Consultores.
- CNR (2020). Guía Metodológica: Marco Operativo para Proyectos de Recarga Artificial de Acuíferos. Disponible

- en: https://www.cnr.gob.cl/wp-content/uploads/2020/07/Guia-Methodologica-y-fichas-280720_ver_final_3.pdf
- County of Los Angeles; Department of Public Works. 1999. San Gabriel River and Montebello Forebay Water Conservation System. [En línea]. Disponible en <http://dpw.lacounty.gov/wrd/publication/system/> [Último acceso: 27 Mayo 2019].
- Dahlke, H.E., LaHue, G.T., Mautner, M.R., Murphy, N.P., Patterson, N.K., Waterhouse, H., Yang, F., Foglia, L. 2018. Managed aquifer recharge as a tool to enhance sustainable groundwater management in California: examples from field and modeling studies. *Advances in chemical pollution, environmental management and protection* 3: 215-275.
- DGA. 2019. Circular Dirección General de Aguas N°1 2019.
- Dillon, P., Vanderzalm, J., Sidhu, J., Page, D., Chadha, D. 2014. A Water Quality Guide to Managed Aquifer Recharge in India.
- DOH. 2016. Estudio e implementación de un plan piloto de recargas artificiales a los acuíferos del valle del Aconcagua: Elaborado por: GeoHidrología Consultores.
- DOH. 2012. Estudio Recarga artificial de acuíferos en el valle de Aconcagua usando derechos eventuales del FISCO. Elaborado por: Ernesto Brown.
- DWR. 2018. Flood-MAR – Using Flood Water for Managed Aquifer Recharge to Support Sustainable Water Resources.
- Hanak, E., Mount, J. 2015. Putting California’s latest drought in context. *ARE Update* 18: 2-5.
- Healy, R.W. 2010. Estimating groundwater recharge. Cambridge University Press.
- Howell, T.A. 2003. Irrigation efficiency. *Encyclopedia of water science* 467-472.
- Johnson, T.A. 2009. Ground water recharge using recycled municipal waste water in Los Angeles County and the California Department of Public Health’s draft regulations on aquifer retention time. *Groundwater* 47: 496-499.
- JVRC. 2018. Minuta: Área de recarga de acuífero sector Cerillos.
- Kern Water Bank. 2012. A Wild Habitat. [En línea]. Disponible en <http://www.kwb.org/index.cfm/fuseaction/Pages.Page/id/349> [Último acceso: 27 Mayo 2019].
- Kern Water Bank. 2010. Infrastructure. [En línea]. Disponible en <http://www.kwb.org/index.cfm/fuseaction/Pages.Page/id/369> [Último acceso: 27 Mayo 2019].
- Kern Water Bank. 2011. Recharge and Recovery. [En línea]. Disponible en <http://www.kwb.org/index.cfm/fuseaction/pages.page/id/368> [Último acceso: 27 Mayo 2019].
- Kletzing, R. 1987. Imported Groundwater Banking: The Kern Water Bank--A Case Study. *Pac. LJ* 19: 1225.
- Kocis, T.N., Dahlke, H.E. 2017. Availability of high-magnitude streamflow for groundwater banking in the Central

Valley, California. Environmental Research Letters 12: .

- Martin, R. 2013. Clogging issues associated with managed aquifer recharge methods. IAH Commission on Managing Aquifer Recharge, Australia.
- National Research Council. 1994. Ground Water Recharge Using Waters of Impaired Quality. The National Academies Press, Washington, DC.
- NRMMC-EPHC-NHMRC. 2009. Australian Guidelines for Water Recycling: Managing Health and Environmental Risks (Phase 2) Managed Aquifer Recharge. Australia.
- O'Geen, A.T., Saal, M.B.B., Dahlke, H., Doll, D., Elkins, R., Fulton, A., Fogg, G. et al. 2015. Soil suitability index identifies potential areas for groundwater banking on agricultural lands. California Agriculture 69: 75-84.
- OCWD. 2019. Groundwater Management Plan. [En línea]. Disponible en <https://www.ocwd.com/what-we-do/groundwater-management/groundwater-management-plan/> [Último acceso: 27 Mayo 2019].
- Ransom, K., Nolan, B., Traum, J., Faunt, C., Bell, A., Gronberg, J., Wheeler, D. et al. 2017. A hybrid machine learning model to predict and visualize nitrate concentration throughout the central valley aquifer, California, USA. Science of the Total Environment 601: 1160-1172.
- Ross, A., Hasnain, S. 2018. Factors affecting the cost of managed aquifer recharge (MAR) schemes. Sustainable Water Resources Management 4: 179-190.
- Rodriguez, J. 2015. Conceptual Framework to Estimate Economic Feasibility of Groundwater Banking on Agricultural Land. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/b194/d7ae3a72beb699c16b0a279e067f91d60f73.pdf> [último acceso: 05 Agosto 2020].
- SCM. 2013. Proyecto Recarga de Acuífero de Santiago Sociedad del Canal de Maipo.
- Semitropic. 2004a. Future Plans. [En línea]. Disponible en <http://www.semitropic.com/FuturePlans.htm> [Último acceso: 27 Mayo 2019].
- Semitropic. 2004b. Groundwater banking. [En línea]. Disponible en <http://www.semitropic.com/GroundwaterBanking.htm> [Último acceso: 17 Mayo 2019].
- Semitropic. 2018. Monitoring Committee. [En línea]. Disponible en <http://www.semitropic.com/MonitoringComm.htm> [Último acceso: 27 Mayo 2019].
- Thomas, G.A. 2001. Designing successful groundwater banking programs in the Central Valley: Lessons from Experience. Natural Heritage Institute.
- USB. 2012. Reclamation: Managing Water in the West. Arvin Edison Water Storage District and Rosedale-Río Bravo Water Storage District Exchange.
- Ward, F.A., Pulido-Velazquez, M. 2008. Water conservation in irrigation can increase water use. Proceedings of the National Academy of Sciences 105: 18215-18220.
- Weissmann, G.S., Zhang, Y., Fogg, G.E., Mount, J.F. 2004. Influence of incised-valley-fill deposits on hydrogeology of a stream-dominated alluvial fan.

WHO (2011). Guidelines for Drinking Water quality 4th edition. World Health Organisation, Geneva.

WHO (2012). Water safety planning for small community water supplies: step-by-step risk management guidance for drinking-water supplies in small communities. World Health Organisation, Geneva.

WHO (2014). Water safety plan: a field guide to improving drinking water safety in small communities (B. Rickett, O. Schmoll, A. Rinehold, E. Barrebberg). World Health Organisation, Regional Office for Europe, Copenhagen.

WHO (2017). Potable reuse: guidance for producing safe drinking-water. World Health Organization.

Yuan, J., Van Dyke, M.I., Huck, P.M. 2016. Water reuse through managed aquifer recharge (MAR): assessment of regulations/guidelines and case studies. Water Quality Research Journal 51: 357-376.

Elaborado por:

**Programa Agua y Territorio Fundación
CSIRO Chile Research**

Edmundo Claro

Ingeniero Civil Industrial, PhD

Director del proyecto

Gabriella Bennison

Ingeniera Civil, MEng.

Coordinadora del proyecto

Constanza Burrull

Ingeniera Agrónoma

Investigadora

Mauricio Caroca

Ingeniero Agrónomo y Forestal, Msc

Investigador y Analista de datos

Programa Agua y Territorio CSIRO

Dennis Gonzalez

Biólogo Marina

Especialista

Declan Page

Químico, PhD

Especialista

University California Davis

Samuel Sandoval

Ingeniero Civil, PhD

Especialista

Paulina Rojas

Investigadora

Daisy Guitron

Investigadora

Sandra Gandolfo

Asesor estratégico

Consultor Independiente

Igor Aguirre

Hidrogeólogo (Msc)

Especialista



**Mejor Riego
para Chile**

yo
cuido
el agua

