



COLECCIÓN

Selección de prácticas de recarga
gestionada de acuíferos en América Latina

Estudio de casos

Selección de prácticas de recarga gestionada de acuíferos en América Latina

Selección preparada por:

Grupo de investigación INOWAS, Departamento de Hidrociencias, Facultad de Ciencias Medioambientales, Technische Universität Dresden (TUD), Alemania

Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad (CEAB), Universidad del Valle de Guatemala (UVG), Guatemala

Dresden, Alemania
Diciembre 2021

Sobre este reporte

El objetivo general del proyecto DIGIRES (en español "Infraestructura verde habilitada digitalmente para la gestión sostenible de los recursos hídricos en América Latina y el Caribe") es el desarrollo y la utilización de herramientas basadas en las TIC, junto con observaciones de ciencia ciudadana, para el diseño y la implementación de la recarga gestionada de acuíferos (MAR) como solución basada en la naturaleza para la gestión sostenible de los recursos hídricos en América Latina y el Caribe (ALC). Esta técnica se define como una "recarga intencionada de un acuífero para su posterior recuperación o para obtener beneficios ambientales" y, a pesar de su conocida capacidad para suministrar agua de forma viable y sostenible en zonas urbanas y periurbanas, su implementación es todavía muy limitada en muchas regiones.



Foto: Valparaiso, Chile (Loic Mermilliod, unsplash.com)

De hecho, se reconoce principalmente a la recarga gestionada de acuíferos como una herramienta para mejorar la disponibilidad de agua para la productividad agrícola o el suministro de agua potable. Sin embargo, la recarga de agua subterránea también puede contribuir a alcanzar muchos otros objetivos, como el apoyo a los hábitats ribereños, la mitigación de las inundaciones, la reducción de la escorrentía y la erosión, el control de la subsidencia del terreno, la mejora de la calidad del agua costera y el aumento del caudal mínimo en los ríos. Desde esta perspectiva, la recarga gestionada debe considerarse como una solución no convencional e innovadora cada vez más relevante para la futura planificación de la gestión integrada del agua en ALC con el objetivo de mantener, mejorar y reponer los sistemas de aguas subterráneas bajo presión y, al mismo tiempo, garantizar el mantenimiento de los procesos ecológicos para mitigar el cambio climático y preservar la biodiversidad.



Para ello, este informe pretende demostrar el potencial de la recarga gestionada de acuíferos a través de la identificación y difusión de varios casos exitosos en la región de ALC, mostrando la gran diversidad de aplicaciones, fuentes de agua y técnicas de recarga involucradas.

Agradecimientos

Este informe se ha publicado en el marco del proyecto DIGIRES, un proyecto ERANet-LAC financiado por el Ministerio alemán de Educación y Tecnología (BMBF), Alemania; el Fondo Nacional de Investigación Científica (FNRS), Bélgica; el Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq), Brasil; el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYT), Guatemala y el Fondo Financiero para la Ciencia y la Innovación (FONCI), Cuba.



Más información: <https://www.digires.inowas.com>



Federal Ministry
of Education
and Research



Reporte elaborado por:

Catalin Stefan¹, Miguel Moreno Gómez¹, Catalina Zapata Barra¹, Margarita Alonso Asencio², Jackeline Brinker Palomo²

¹Grupo de investigación INOWAS, Technische Universität Dresden (TUD), Alemania; ²Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad (CEAB), Universidad del Valle de Guatemala (UVG), Guatemala.

Cómo citar este reporte

Stefan, C.; Moreno Gómez, M; Zapata Barra, C.; Alonso Asencio, M.; Brinker Palomo, J. (2021) Selección de las mejores prácticas en la gestión de la recarga de acuíferos en América Latina. Dresden, Alemania, Noviembre 2021.

Fuente de las fotografías: www.unsplash.com (si no se especifican otras).

Los autores desean expresar su agradecimiento a Andreea Stefan por la realización de los esquemas de las intervenciones de recarga gestionada de acuíferos y a Karen G. Villholth por las revisiones del manuscrito.

Contenido



7

Adaptación de técnicas ancestrales para la recarga de aguas subterráneas en Manglaralto, Ecuador. *Proyecto de colaboración social para recargar el acuífero y asegurar el suministro de agua en las zonas rurales*



9

Aplicación de la recarga de aguas subterráneas para contrarrestar la salinización de acuíferos en Paraguay. *Captación urbana de aguas lluvia para recargar el acuífero y minimizar los problemas de abastecimiento y calidad del agua*



11

Recuperando los niveles de agua subterránea en el acuífero de Rímac, Perú. *La recarga gestionada para recuperar el nivel del acuífero y asegurar el suministro de agua en las zonas urbanas*



13

La recarga gestionada de acuíferos como una solución económicamente adecuada y sostenible para la disposición de las aguas residuales tratadas. *Exitoso plan de recarga gestionada en México para contrarrestar el agotamiento de los acuíferos y la contaminación de los ríos*



15

Recarga de aguas subterráneas para aumentar la disponibilidad hídrica para riego en zonas rurales de Brasil. *Los beneficios de maximizar el almacenamiento de agua subterránea para mejorar la producción de alimentos*



17

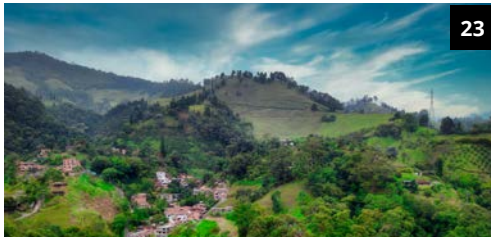
Aplicación de recarga gestionada para potenciar la infiltración y prevenir las inundaciones urbanas en San Luis Potosí, México. *La integración de la recarga de aguas subterráneas en la gestión urbana para recuperar los niveles del acuífero y minimizar los daños por eventos de precipitaciones intensas*



Aplicación de recarga de aguas subterráneas para recuperar los niveles del acuífero en el valle de Ica, Perú. *Implementación de la recarga gestionada para superar el agotamiento del agua causado por el riego extensivo*



La recarga gestionada de acuíferos como medida para reducir los costes de producción de agua potable en Valparaíso, Chile. *Técnicas de recarga de acuíferos para potenciar la infiltración natural*



Un camino gradual hacia la recarga de acuíferos para enfrentar los problemas relacionados con el agua en el Departamento de Sucre, Colombia. *La recarga gestionada como una solución viable para hacer frente a la sobreexplotación de las aguas subterráneas*



La recarga de aguas subterráneas como herramienta para minimizar los riesgos de inundación y mejorar la infiltración en Natal, Brasil. *Integración de estanques de detención e infiltración en el sistema de drenaje urbano*



Adaptación de técnicas ancestrales para la recarga de aguas subterráneas en Manglaralto, Ecuador

Proyecto de colaboración social para recargar el acuífero y asegurar el suministro de agua en las zonas rurales

- Sobreexplotación del agua subterránea
- Seguridad hídrica / seguridad alimentaria / medios de subsistencia
- Calidad de las aguas subterráneas / salud humana
- Degradación de los ecosistemas
- Problemas de salinidad / intrusión salina

“La participación social y el conocimiento local beneficia la aplicación de estrategias de recarga gestionada para asegurar el suministro de agua a las comunidades rurales en riesgo.”

MOTIVACIÓN

La creciente demanda de suministro de agua (debido al crecimiento de la población y el turismo) en la parroquia rural de Manglaralto, en Ecuador, y la reciente tendencia a la escasez de lluvias han sometido a las comunidades locales a un importante estrés hídrico. En esta zona costera semiárida, la única fuente de agua dulce es el acuífero subyacente, que además corre el riesgo de sufrir una intrusión de agua salobre debido a su continua extracción.



Uno de los cuatro diques artesanales construidos en el río Manglaralto (foto: Niurka Alvarado Macancela).

ENFOQUE

Se realizaron actividades participativas entre las comunidades rurales y las autoridades para evaluar el problema y desarrollar acciones para asegurar el suministro de agua. Las soluciones incluían adaptaciones de prácticas ancestrales que utilizan diques artesanales para retener el agua superficial y promover la infiltración.

Desde 2013, se han construido estos diques artesanales (conocidos localmente como “tapes”) siguiendo un método de ensayo y error. El diseño de los tapes en el río Manglaralto está en constante evolución, promoviendo la recarga adicional de aguas subterráneas para asegurar el suministro y detener la intrusión salina.

DESAFÍOS

El método de ensayo y error ha hecho que los diques fallen durante los periodos con altas precipitaciones y que la intrusión de agua de mar sea difícil de controlar durante las estaciones extremadamente secas.

Aunque la demanda local de agua aumenta continuamente, la construcción de más tapes requeriría más mano de obra y un mayor presupuesto.



Diagrama de la recarga gestionada de acuífero

- Zona de captura 1 Río Manglaralto
- Pre-tratamiento 2 Sin pre-tratamiento
- Recarga 3 Diques artesanales
- Subsuelo 4 Depósitos aluviales (gravilla, arena y limo)
- Recuperación 5 Pozos de extracción
- Post-tratamiento 6 Sin post-tratamiento
- Uso final 7 Suministro de agua potable / ecosistemas



RESULTADOS

Los niveles piezométricos del agua subterránea en los pozos muestran una tendencia al alza, lo que también ha beneficiado a los ecosistemas asociados.

Las acciones participativas de la comunidad ayudaron a mejorar el diseño de los diques y a aumentar su eficacia.

QUÉ SIGUE?

Para los futuros diseños de los tapes, se proyecta el uso de compuertas en los aliviaderos para evitar la falla de los diques durante rprecipitaciones extremas.



Hábitat de aves en el río Manglaralto (foto: Turismo Santa Elena).



Fase de construcción de un dique de concreto en el río Manglaralto (foto: I. Fajardo).

LEA MÁS

Herrera-Franco, G., Carrión-Mero, P., Aguilar-Aguilar, M., Morante-Carballo, F., Jaya-Montalvo, M., & Morillo-Balsera, M. C. (2020). Groundwater Resilience Assessment in a Communal Coastal Aquifer System. The Case of Manglaralto in Santa Elena, Ecuador. Sustainability, 12(19), 8290. doi: 10.3390/su12198290.

Aplicación de la recarga de aguas subterráneas para contrarrestar la salinización de acuíferos en Paraguay

Captación urbana de aguas lluvia para recargar el acuífero y minimizar los problemas de abastecimiento y calidad del agua

- Sobreexplotación del agua subterránea
- Seguridad hídrica / seguridad alimentaria / medios de subsistencia
- Calidad de las aguas subterráneas / salud humana
- Degradación de los ecosistemas
- Problemas de salinidad / intrusión salina

“Cómo aumentar el almacenamiento de agua subterránea y detener la intrusión salina, maximizando la infiltración en lugares estratégicos.”

MOTIVACIÓN

Las características climáticas y topográficas de la región del Chaco Central, Paraguay, producen una alta evaporación y una menor precipitación, lo que promueve un déficit en el balance hídrico regional. Además, debido a la ausencia de cursos de agua superficial, la única otra fuente de agua en la zona son capas subterráneas de agua dulce (lentes) que flotan sobre agua salobre. El continuo agotamiento de estas lentes de agua dulce tiene graves impactos en la calidad general de las aguas subterráneas, como la creciente salinización.

ENFOQUE

Dadas las características de la región y aprovechando las experiencias de recarga gestionada de los indígenas locales (quienes usaban pozos de recarga rodeados de anillos de infiltración), se decidió construir Tajamares (estanques de infiltración), cuya fuente de agua es la precipitación.

En primer lugar, drenajes urbanos de lluvia recogen las precipitaciones, redirigiendo el flujo hacia las lagunas de infiltración a través de canales laterales a lo largo de las ciudades. Luego, estas promueven una rápida infiltración de las precipitaciones recogidas, minimizando las pérdidas por evaporación y aumentando el volumen de agua dulce en el subsuelo, deteniendo así el ingreso de agua salobre al suministro de agua potable.

DESAFÍOS

Falta de espacio suficiente en las zonas urbanas para la construcción de nuevos tajamares.

Dada la falta de asfalto en muchas calles, sedimentos finos son arrastrados por la escorrentía formando capas en el fondo de los estanques. Al cabo de un tiempo, esto afecta a las tasas de infiltración, por lo que es necesario adoptar medidas correctoras.



Tajamar “La aguada” en la ciudad de Filadelfia (foto: M. Duerksen).

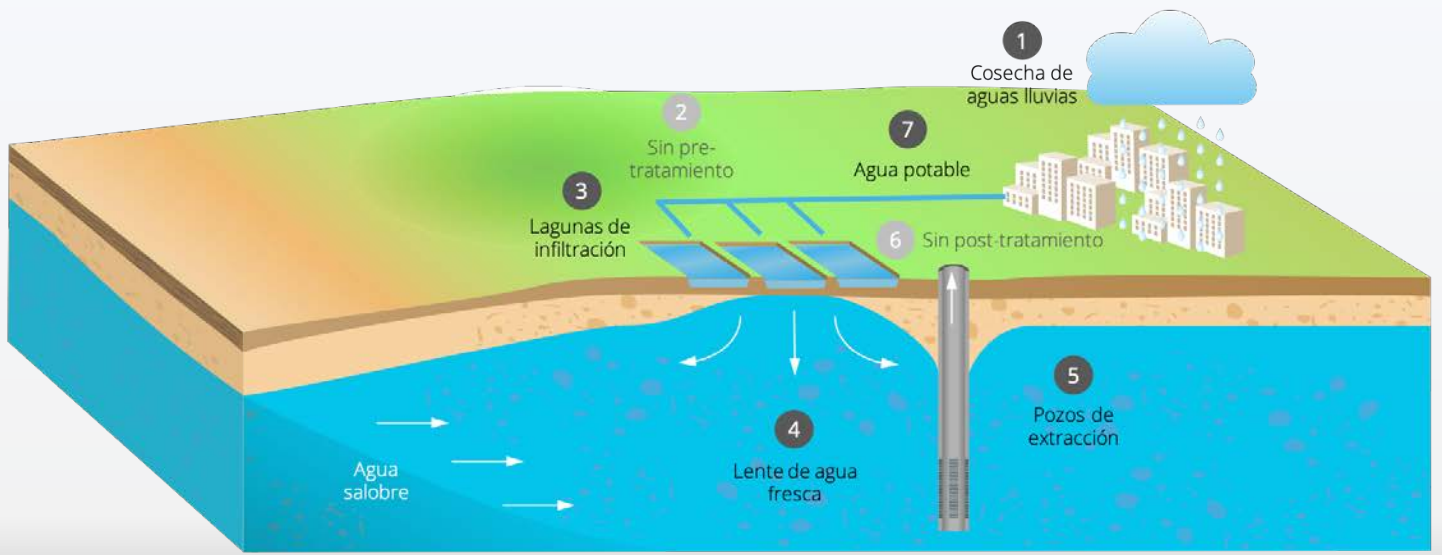


Diagrama de la recarga gestionada de acuífero

- Zona de captura 1 Captación urbana de aguas de lluvias
- Pre-tratamiento 2 Sin pre-tratamiento
- Rrecarga 3 Lagunas de infiltración
- Subsuelo 4 Franco arenoso
- Recuperación 5 Pozos de extracción
- Post-tratamiento 6 Sin post-tratamiento
- Uso final 7 Suministro de agua urbano



RESULTADOS

En los estanques de infiltración se pueden almacenar grandes volúmenes de agua. Por ejemplo el tajamar Serenidad infiltró 12.800 m³ de agua durante 1990-1993.

Debajo de los estanques de infiltración se han medido lentes de agua dulce de unos 7 metros de grosor, que empujan hacia abajo el agua salobre.

Además de la recarga, los estanques de infiltración pueden considerarse intervenciones multifuncionales, cumpliendo tareas como el mantenimiento de ecosistemas y medios de vida (piscicultura) y la mejora del paisaje urbano (parques recreativos).



Remoción de sedimentos en un estanque de infiltración (foto: E. Iglesias).

QUÉ SIGUE?

Optimizar las balsas de infiltración tradicionales (aumentar los volúmenes de infiltración) en lugares estratégicos para satisfacer la demanda de agua durante las estaciones secas prolongadas.

LEA MÁS

Godoy, E., Garcia, D., & Fariña, S. (1994). Recarga artificial de acuífero freático en Filadelfia, chaco central paraguayo [Artificial recharge of phreatic aquifer in Filadelfia, central chaco Paraguay]. *Águas Subterrâneas*, 385-394.

Recuperando los niveles de agua subterránea en el acuífero de Rímac, Perú

Aplicar la recarga gestionada para recuperar el nivel del acuífero y asegurar el suministro de agua en las zonas urbanas

- Sobreexplotación del agua subterránea
- Seguridad hídrica / seguridad alimentaria / medios de subsistencia
- Calidad de las aguas subterráneas / salud humana
- Degradación de los ecosistemas
- Problemas de salinidad / intrusión salina

“Cómo la inclusión de la recarga gestionada, junto a acciones integradas, ayuda a contrarrestar la sobreexplotación de las aguas subterráneas en regiones de rápido crecimiento.”

MOTIVACIÓN

La creciente demanda de agua en la ciudad de Lima debido al crecimiento demográfico ha ido agotando progresivamente los niveles de agua subterránea. La escasez de agua superficial y la disminución de la infiltración, debido al cambio de uso del suelo por la constante urbanización, han creado un problema de seguridad hídrica en el acuífero de Lima en términos de cantidad y calidad.



Intervenciones en el cauce del Rímac para mejorar la infiltración al acuífero (foto: Revista Perú Construye).

ENFOQUE

Durante los períodos de crecida del río Rímac, hay un excedente de hasta 400 Mm³ de agua al año. Este volumen de agua se utiliza en el proyecto de recarga inducida, que consiste en aumentar el ritmo de recarga del acuífero desde el lecho del río.

El proyecto incluye la adecuación de 22 km del cauce del río para mejorar las condiciones de infiltración y la construcción de pozos a lo largo del río con el objetivo de extraer agua subterránea de buena calidad para su uso en el suministro público de agua, y, asimismo, crear las condiciones necesarias para garantizar la reposición inmediata del acuífero, sin afectar negativamente a las reservas existentes. Las obras de infiltración en el cauce del río se integran también con otras medidas como las campañas de monitoreo y el uso integrado del agua.

DESAFÍOS

Son necesarias estrategias exhaustivas de limpieza para mantener la parte alta del río libre de sedimentos en suspensión que puedan ser arrastrados por el flujo.

La conexión hidráulica entre el río y el nivel freático no es óptima. El nivel freático está muy por debajo del lecho del río.



Diagrama de la recarga gestionada de acuífero

- Zona de captura 1 Río Rimac
- Pre-tratamiento 2 Sin pre-tratamiento
- Recarga 3 Filtración a través del banco de un río
- Subsuelo 4 Depósitos aluviales (gravilla, arena y arcilla)
- Recuperación 5 Pozos de extracción para inducir la infiltración
- Post-tratamiento 6 Sin post-tratamiento
- Uso final 7 Agua potable para la ciudad de Lima



RESULTADOS

En un lapso de cinco años, el nivel de las aguas subterráneas se ha recuperado entre 1 y 15 m (aprox. 2 m/a) en la mayor parte del acuífero. Sin embargo, todavía existen algunas zonas con tendencia a la baja, pero con menor intensidad.

Durante los tres primeros años de funcionamiento, se ha estimado un volumen de recarga de 10,8 Mm³.

La tasa actual de extracción llega a 9 m³/s, 1 m³/s más que la tasa máxima estimada de extracción sustentable. Este déficit se podría eliminar progresivamente mediante la continuación de los proyectos.



Monitoreo de la red de piezómetros del acuífero de Lima (foto: SEDAPAL S.A.).

QUÉ SIGUE?

Evaluar y aplicar más medidas en secciones críticas del acuífero para detener el agotamiento de las aguas subterráneas, como continuar y reforzar el monitoreo y promover otros proyectos de uso integrado del agua.

LEA MÁS

Quintana Albalat, J. y Tovar Pacheco, J. 2002. Evaluación del acuífero de Lima (Perú) y medidas correctoras para contrarrestar la sobreexplotación [Evaluation of the Lima aquifer (Peru) and corrective actions to counteract overexploitation]. Boletín Geológico y Minero, 113 (3): 303-312. ISSN: 0366-0176.



La recarga gestionada de acuíferos como una solución económicamente adecuada y sostenible para la disposición de las aguas residuales tratadas

Exitoso plan de recarga gestionada en México para contrarrestar el agotamiento de los acuíferos y la contaminación de los ríos

- Sobreexplotación del agua subterránea
- Seguridad hídrica / seguridad alimentaria / medios de subsistencia
- Calidad de las aguas subterráneas / salud humana
- Degradación de los ecosistemas
- Problemas de salinidad / intrusión salina

“Cómo el tratamiento de las aguas residuales junto con la recarga de agua subterráneas minimizan la contaminación en las riberas y mantienen el balance hídrico en las regiones semiáridas.”

MOTIVACIÓN

La sobreexplotación del acuífero en la región semiárida de la ciudad de San Luis Río Colorado (SLRC) requirió de medidas urgentes para mantener su balance hídrico. Tradicionalmente, las aguas residuales urbanas se vertían directamente en los ríos, contaminando la zona.

La construcción y operación de una planta de tratamiento de aguas servidas resolvió ese problema, pero aún así grandes volúmenes de aguas residuales tratadas requerían un enfoque sostenible y económico para su reutilización.



Cuencas de infiltración en operación de 0,014 km² cada una. Coste total aproximado de la infraestructura es 660.000 dólares (foto: H. Hernandez).

ENFOQUE

Tras la realización de estudios económicos e hidrológicos, la infiltración de las aguas residuales tratadas resultó ser la solución más adecuada en esta zona, frente al uso directo para riego.

El sistema de infiltración consiste en un canal de suministro desde la planta de tratamiento, 12 estanques de infiltración (4 de los cuales sólo se utilizan en eventos extremos) y pozos de monitoreo. Los estanques se llenan a diferentes alturas en verano y en invierno en función de las tasas de evaporación.

Los estanques se inundan en pares y se alternan para evitar retrasos en la infiltración causados por el exceso de humedad del subsuelo. El mantenimiento se realiza una vez que los estanques están fuera de servicio y se han secado, y consiste en la eliminación de la capa de algas en el fondo de las lagunas de infiltración.

DESAFÍOS

Un mejor control de la concentración de sólidos en suspensión en la afluencia y de los protocolos de funcionamiento y mantenimiento para retrasar el proceso de colmatación.

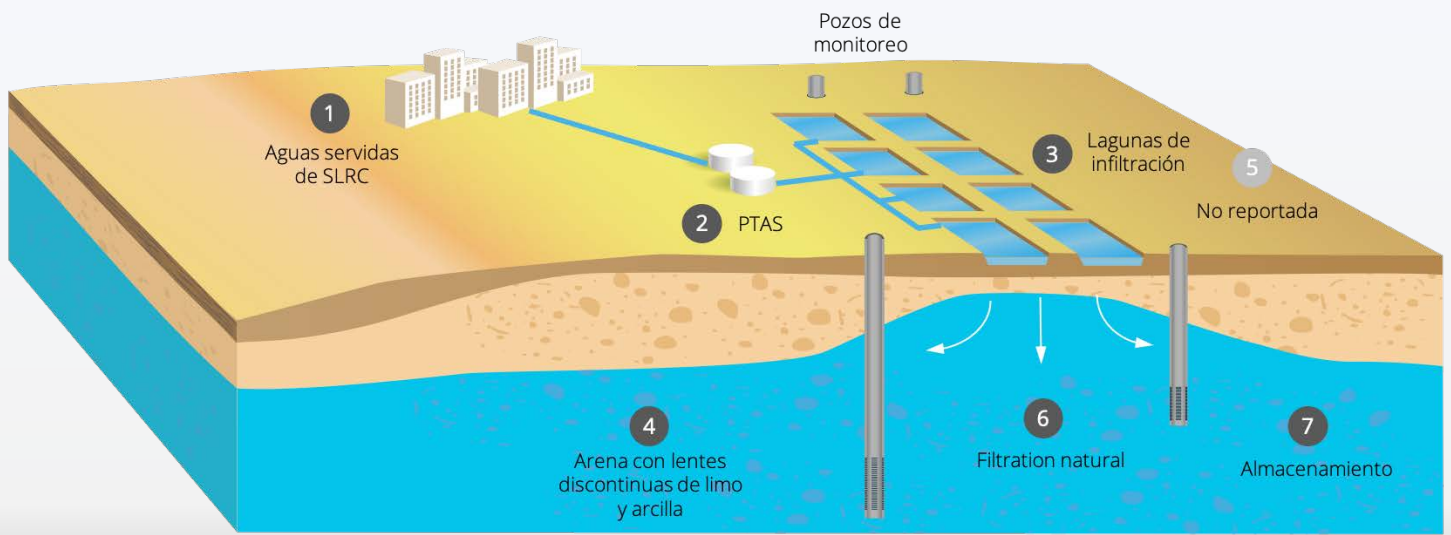


Diagrama de la recarga gestionada de acuífero

- Zona de captura** 1 Aguas servidas domésticas de SLRC
- Pre-tratamiento** 2 PTAS (procesos anaeróbicos)
- Recarga** 3 Lagunas de infiltración
- Subsuelo** 4 Arena con lentes discontinuas de limo y arcilla
- Recuperación** 5 No reportada
- Post-tratamiento** 6 Filtración natural
- Uso final** 7 Almacenamiento



RESULTADOS

La tasa de infiltración de 8,2 Mm³/año de la infraestructura de recarga supera el volumen anual de extracción del acuífero de 7,5 Mm³.

Las aguas residuales tratadas infiltradas mostraron una disminución significativa de los parámetros microbiológicos tras 20 m de tránsito por la zona vadosa.

Después de 10 años de funcionamiento, la cantidad de contaminantes eliminados se mantiene estable; sin embargo, se ha producido una disminución considerable de la tasa de infiltración.

Los beneficios ecológicos se derivan de que las aguas residuales ya no se vierten en el lecho del río, minimizando el riesgo para la salud de los consumidores aguas abajo y los impactos ecológicos negativos.

QUÉ SIGUE?

A pesar de que el proceso de infiltración cumple las normas mexicanas, es necesario un proceso de seguimiento continuo para identificar las variaciones de la calidad del agua que puedan afectar a la composición inherente del agua subterránea.

Las balsas deben rasparse después de dos o tres periodos de secado en húmedo para restablecer la tasa de infiltración.



Colmatación del fondo de la laguna de infiltración, lo que provoca una reducción de la infiltración y la pérdida de la homogeneidad de la superficie (foto: Humberto, H. A. M., Raúl, C. C., Lorenzo, V. V., & Jorge, R. H. 2018).

LEA MÁS

Humberto, H. A. M., Raúl, C. C., Lorenzo, V. V., & Jorge, R. H. (2018). Aquifer recharge with treated municipal wastewater: long-term experience at San Luis Río Colorado, Sonora. Sustainable Water Resources Management, 4(2), 251-260. doi: 10.1007/s40899-017-0196-2.



Recarga de aguas subterráneas para aumentar la disponibilidad hídrica para riego en zonas rurales de Brasil

Los beneficios de maximizar el almacenamiento de agua subterránea para mejorar la producción de alimentos

- Sobreexplotación del agua subterránea
- Seguridad hídrica / seguridad alimentaria / medios de subsistencia
- Calidad de las aguas subterráneas / salud humana
- Degradación de los ecosistemas
- Problemas de salinidad / intrusión salina

La recarga gestionada beneficia a las zonas rurales empobrecidas al apoyar el riego y aumentar la producción de alimentos como medida para contrarrestar el hambre y la pobreza.

MOTIVACIÓN

La escasez de precipitaciones en las regiones semiáridas brasileñas y el aumento de la demanda representan una amenaza para las comunidades rurales que dependen de la agricultura. Los periodos de sequía afectan gravemente no sólo a la producción en general, sino a la seguridad alimentaria y a los medios de vida de estas comunidades rurales, por lo que es prioritario contar con tecnologías sencillas, de bajo costo y de fácil aplicación.

ENFOQUE

En comunidades de los estados de Pernambuco, Paraíba, Bahía, Ceará y Rio Grande do Norte se han construido presas subterráneas en ríos y valles para maximizar el almacenamiento de agua subterránea. Estas permiten almacenar el agua lluvia en el subsuelo durante la estación lluviosa con una pared transversal impermeable para así elevar el nivel freático y luego recuperar el agua durante la estación seca.

Aunque son fáciles de aplicar, la construcción tiene que cumplir algunos requisitos técnicos. Por ejemplo, los sedimentos prevalentes deben ser arenosos para mejorar la infiltración, y cuando se construyen en un río, el lugar de construcción debe estar en la parte más estrecha del cauce, para maximizar la captación de agua y minimizar los costos.

DESAFÍOS

En algunos casos, dependiendo del agua aportada o de las condiciones locales, el agua almacenada podría resultar inadecuada para el riego debido a su alta salinidad. Las intervenciones en el flujo natural de las aguas subterráneas podrían tener un impacto negativo en las zonas aguas abajo. Asimismo, el control de la calidad del agua varía de un sitio a otro y los costes de la construcción de presas subterráneas pueden llegar a los 1.300 dólares si se utiliza maquinaria pesada.



Presas subterráneas luego de un evento de precipitación en Uricuri, estado de Pernambuco (foto: João Mello).



Diagrama de la recarga gestionada de acuífero

- Zona de captura 1 Precipitaciones
- Pre-tratamiento 2 Sin pre-tratamiento
- Recarga 3 Presas subterráneas
- Subsuelo 4 Variable
- Recuperación 5 Pozos de extracción
- Post-tratamiento 6 Sin post-tratamiento
- Uso final 7 Riego



RESULTADOS

La producción de maíz, frijoles y arroz ha aumentado en los lugares donde se ha aplicado esta técnica. En algunas zonas, se ha podido cosechar incluso durante la estación seca.

El aumento de la producción ha garantizado la provisión de alimentos para las familias, mejorando también sus ingresos tras la venta de los excedentes de producción. Además, los agricultores informaron sobre una mejora en la calidad de los frutos y una mayor seguridad alimentaria para sus animales.

Las presas subterráneas también promovieron beneficios medioambientales como la conservación/restauración del suelo, la recuperación de las cabeceras de cuenca y la recuperación de los niveles del agua subterránea.

QUÉ SIGUE?

Dadas las múltiples condiciones de los lugares donde se aplicó esta técnica de recarga, las estrategias de seguimiento deben ser apropiadas para mantener la eficacia de las presas.

Es necesaria una comunicación constante entre las autoridades del agua y los agricultores para poner de manifiesto los problemas actuales y desarrollar soluciones sostenibles.



Construcción de una presa subterránea en Campina Grande, estado de Paraíba (foto: R. Diniz).

LEA MÁS

Shubo, T., Fernandes, L., & Montenegro, S. G. (2020). An Overview of Managed Aquifer Recharge in Brazil. *Water*, 12(4), 1072. doi:10.3390/w12041072.

Aplicación de recarga gestionada para potenciar la infiltración y prevenir las inundaciones urbanas en San Luis Potosí, México

La integración de la recarga de aguas subterráneas en la gestión urbana para recuperar los niveles del acuífero y minimizar los daños por eventos de precipitaciones intensas

- Sobreexplotación del agua subterránea
- Seguridad hídrica / seguridad alimentaria / medios de subsistencia
- Calidad de las aguas subterráneas / salud humana
- Degradación de los ecosistemas
- Problemas de salinidad / intrusión salina

“Cómo la integración de la recarga gestionada en los sistemas de drenaje urbano ayuda a contrarrestar el agotamiento de los acuíferos y a prevenir inundaciones.”

MOTIVACIÓN

En el centro de México, el acuífero que abastece al valle de San Luis Potosí (SLP) ha sido sobreexplotado para satisfacer las múltiples necesidades regionales de agua. Esta zona experimenta eventos de precipitación extrema debido a los cambios en el clima, pero la urbanización y las superficies impermeables no permiten que se produzca una infiltración natural, afectando a la recuperación del acuífero.

Además, las intensas precipitaciones y las altas pendientes afectan a las zonas pobladas con inundaciones, dañando las propiedades, lo que a su vez disminuye el bienestar y perjudica la economía.

ENFOQUE

Las medidas desarrolladas incluyen la protección frente a inundaciones en la ciudad de San Luis Potosí junto con la recarga de las aguas subterráneas para contrarrestar el actual agotamiento del acuífero.

La propuesta consistió en la construcción de nuevas represas para el control de inundaciones en la parte alta de la cuenca, la creación de un área protegida para la recolección de la escorrentía pluvial, así como interceptores y colectores de aguas lluvias en la zona conurbada.

El colector de Salk transporta la lluvia y la escorrentía generada en una cuenca de superficie de 8,2 km² y las conduce 1,4 km hasta una antigua excavación que se utiliza como zona de captación para permitir la infiltración en el acuífero.

DESAFÍOS

La falta de concienciación social sobre el funcionamiento del colector resulta en la acumulación de residuos en las calles. Este es un problema frecuente, ya que los residuos que entran en el colector minimizan su capacidad de transporte, lo que hace necesarias frecuentes labores de limpieza.

Construcción de desagües pluviales para desviar el agua lluvia y evitar inundaciones y anegamientos (foto: El Sol de San Luis, 27.02.2021).



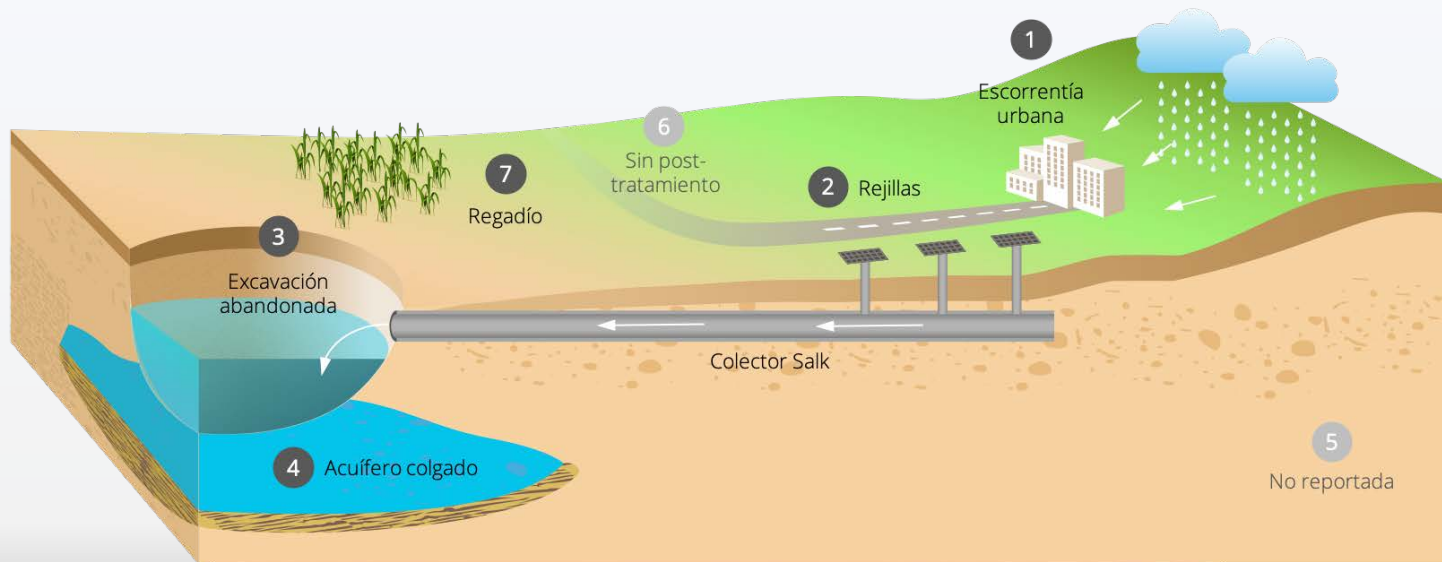


Diagrama de la recarga gestionada de acuífero

- Zona de captura ① Escorrentía urbana
- Pre-tratamiento ② Rejillas para remover sólidos > 1"
- Recarga ③ Excavaciones abandonadas
- Subsuelo ④ Acuífero colgado sobre arenas finas compactas
- Recuperación ⑤ Sin recuperación
- Post-tratamiento ⑥ Sin post-tratamiento
- Uso final ⑦ Múltiples usos



RESULTADOS

El colector de Salk puede drenar 22 m³/s, redirigiendo el agua capturada hacia un área de 1.140.000 m³ de capacidad de almacenamiento.

Las rejillas en las calles situadas por encima del colector separan eficazmente los sólidos y los residuos de tamaño superior a una pulgada.

La excavación abandonada proporciona una sedimentación natural.

El colector de Salk ha disminuido el riesgo de inundación de la zona suroeste de San Luis Potosí y ha mejorado la recarga del acuífero.

QUÉ SIGUE?

La construcción de pozos de observación permitiría determinar las tasas de recarga y los parámetros hidrodinámicos necesarios para apoyar el desarrollo de modelos de simulación y así determinar las interacciones químicas que podrían generarse dentro del acuífero por la calidad del agua inyectada. No obstante, el sistema de recarga se diseñó para que esta tenga una calidad similar a la que se extrae para abastecimiento de agua potable.

Estudiar otras zonas de la ciudad propensas a las inundaciones y evaluar la posibilidad de instalar colectores adicionales



Zona de recarga (excavación abandonada) del acuífero del valle de SLP (foto: Google Earth, Mayo 2019).

LEA MÁS

Briceño-Ruiz et al. 2017. Infiltración de agua de tormenta al acuífero de san Luis Potosí, México: colector Salk. En: "Manejo de la recarga de acuíferos: un enfoque hacia Latinoamérica". Pag:159-186.



Aplicación de recarga de aguas subterráneas para recuperar los niveles del acuífero en el Valle de Ica, Perú

Implementación de la recarga gestionada para superar el agotamiento del agua causado por el riego extensivo

- Sobreexplotación del agua subterránea
- Seguridad hídrica / seguridad alimentaria / medios de subsistencia
- Calidad de las aguas subterráneas / salud humana
- Degradación de los ecosistemas
- Problemas de salinidad / intrusión salina

La recarga gestionada como una herramienta fundamental para recuperar los acuíferos explotados y mantener el equilibrio en zonas bajo una alta presión antropogénica.

MOTIVACIÓN

La intensa extracción de aguas subterráneas para regar las aprox. 35.000 hectáreas de agricultura de exportación en el Valle de Ica en Perú han ejercido una importante presión sobre los recursos hídricos subterráneos (el 75% de los agricultores no dispone de agua suficiente). Otros factores que afectan a la sostenibilidad del recurso son los cambios en el uso del suelo para la agricultura y el aumento de la población.

Esta situación ha llevado a las autoridades y a las empresas privadas a buscar formas de mejorar la gestión de los recursos hídricos, como la promoción de la recarga gestionada de acuíferos, entre otras.

ENFOQUE

El exceso de caudal del río Ica en 2013-2017 se sitúa en torno a los 183 Mm³, que corresponde al presunto volumen máximo a captar por el esquema de recarga gestionada. Actualmente, el agua es retenida en el río por medio de presas durante la temporada andina de lluvias, posteriormente es desviada a estanques de sedimentación y luego a lagunas de infiltración (pozas) repartidos por el valle.

Los terrenos en los que se ubican los estanques fueron cedidos por propietarios privados, a los que se informó que el aumento del almacenamiento de agua subterránea favorecería el uso de sus pozos para el riego agrícola.

DESAFÍOS

La variabilidad mensual y anual del caudal del río es un desafío para la gestión. Además, durante 2013-2017 el flujo medio anual hacia el océano fue de 36,5 m³/a, mucho menor que la tasa actual de sobreexplotación del acuífero, de 52 Mm³/a.

En consecuencia, se necesitarían otras 120 ha de lagunas para lograr un balance hídrico, pero se carece de terrenos disponibles, y en años secos el menor caudal del río conlleva una menor infiltración.

Además, las malas condiciones ecológicas del río dan lugar a una gran carga de sedimentos, lo que afecta al funcionamiento de las lagunas.



Expansión de la frontera de la agricultura irrigada hacia el desierto (foto: Enrique Fernández-Escalante).

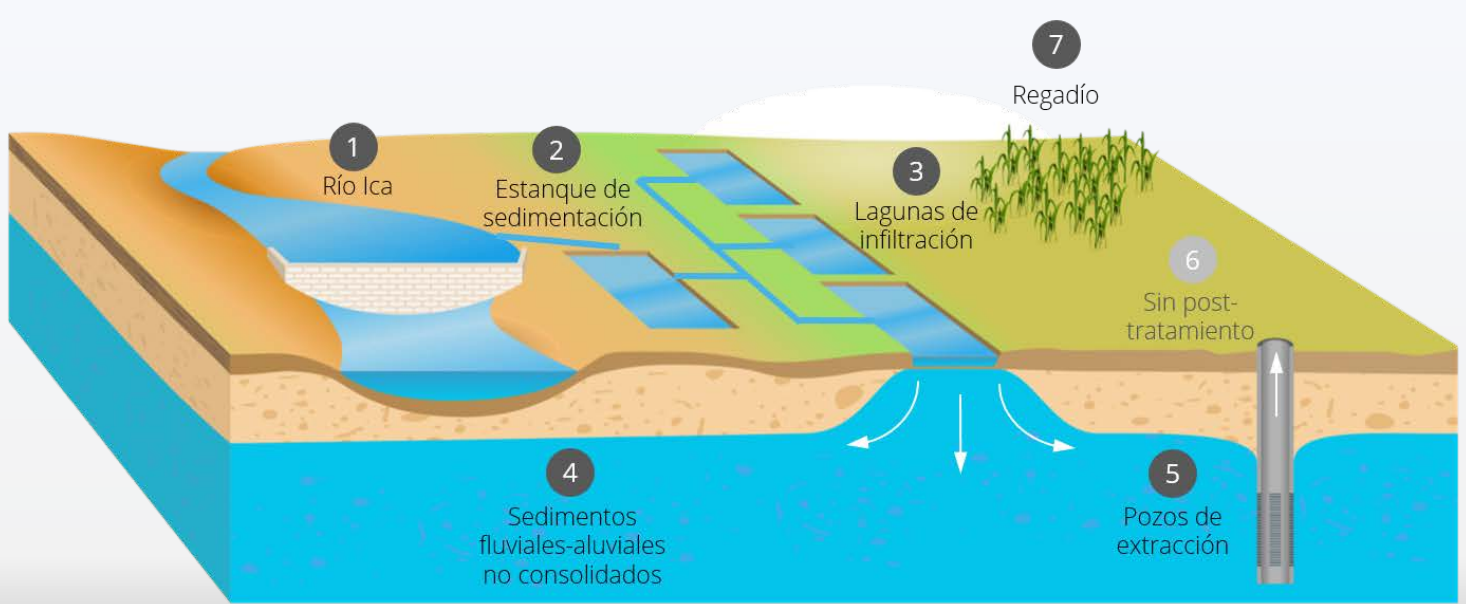


Diagrama de la recarga gestionada de acuífero

- Zona de captura 1 Río Ica
- Pre-tratamiento 2 Estanques de sedimentación
- Recarga 3 Lagunas de infiltración
- Subsuelo 4 Sedimentos fluviales-aluviales no consolidados
- Recuperación 5 Pozos de extracción
- Post-tratamiento 6 Sin post-tratamiento
- Uso final 7 Riego



RESULTADOS

Dados los numerosos beneficios de la recarga gestionada de acuíferos, en un periodo de cinco años (2012-2015) la superficie total destinada a la infiltración pasó de 22.000 a 300.000 m².

En 2017 fue posible una recarga artificial de 17,6 Mm³ a partir de 864 estanques que ocupan una superficie de 295 ha.

La limpieza y el mantenimiento anuales tanto de los canales como de los estanques han mantenido un aumento efectivo de los recursos hídricos subterráneos.

QUÉ SIGUE?

La falta de terrenos adecuados para la construcción de más estanques hace necesario considerar otras técnicas como los pozos o galerías de infiltración.

Es necesario realizar más estudios hidrogeológicos para determinar el flujo de aguas subterráneas y, por tanto, optimizar la ubicación de futuros lugares de infiltración.

Dado que el descenso de las aguas subterráneas aún continúa, se necesitan otras herramientas además de la recarga de acuíferos. Por ejemplo, la concesión de licencias y la medición de los pozos existentes y la reducción de la superficie cultivada. Todas estas medidas requieren una difusión y sensibilización proactivas para que tengan éxito.



Laguna de infiltración llena (arriba) y vacía (abajo) (foto: Enrique Fernández-Escalante).

LEA MÁS

Fernández-Escalante, E., Foster, S., & Navarro-Benegas, R. (2020). Evolution and sustainability of groundwater use from the Ica aquifers for the most profitable agriculture in Peru. *Hydrogeology Journal*, 28, 2601–2612. doi: 10.1007/s10040-020-02203-0.

La recarga gestionada de acuíferos como medida para reducir los costes de producción de agua potable en Valparaíso, Chile

Técnicas de recarga de acuíferos para potenciar la infiltración natural

- Sobreexplotación del agua subterránea
- Seguridad hídrica / seguridad alimentaria / medios de subsistencia
- Calidad de las aguas subterráneas / salud humana
- Degradación de los ecosistemas
- Problemas de salinidad / intrusión salina

La recarga gestionada de agua subterránea como una solución rentable para garantizar la producción de agua potable.

MOTIVACIÓN

En Chile, las empresas de agua potable están obligadas legalmente a adquirir derechos de agua suficientes para satisfacer la demanda de la población en todo momento. Sin embargo, en muchos casos no se pueden conceder nuevos derechos y el coste de adquirirlos a terceros puede ser muy elevado.

Por lo tanto, fue necesario buscar alternativas que permitieran incrementar el agua captada por la planta de tratamiento de agua potable Las Vegas, región de Valparaíso, para disminuir los costos de operación y aumentar la seguridad hídrica de la población servida.



Vista aérea del río Aconcagua, las lagunas de infiltración y la planta de tratamiento de aguas. La ubicación del dren Las Vegas está resaltada en rojo (foto: Google Earth, 2021).

ENFOQUE

El sistema de agua potable de Las Vegas cuenta con dos vías de captación de agua: En la superficie, dos tomas laterales derivan el agua del río Aconcagua, la cual es sometida a un tratamiento previo; y en el subsuelo, el desagüe Las Vegas, una estructura subterránea (30-40 m bajo la superficie) perpendicular al eje del río, capta aguas subterráneas de muy baja turbidez. Ambas fuentes de agua se redirigen hacia un acueducto conjunto que conduce a la etapa final de desinfección.

El objetivo del proyecto era aumentar la captación del dren subterráneo para aumentar la resiliencia global del sistema de agua potable y disminuir el uso directo de aguas superficiales que requieren más tratamiento y, por tanto, conllevan más costos.

Para ello, se crearon varias lagunas de infiltración que recogen el agua sobrante de las tomas superficiales que no pudo ser tratada por la planta. A continuación, esta agua infiltra hacia el dren donde se recoge para su posterior uso.

DESAFÍOS

El mantenimiento de las lagunas de infiltración debe ser óptimo para minimizar la colmatación y mantener una capacidad de infiltración aceptable. La colmatación también puede afectar al dren y, dada su ubicación, su mantenimiento puede suponer costes operativos adicionales.

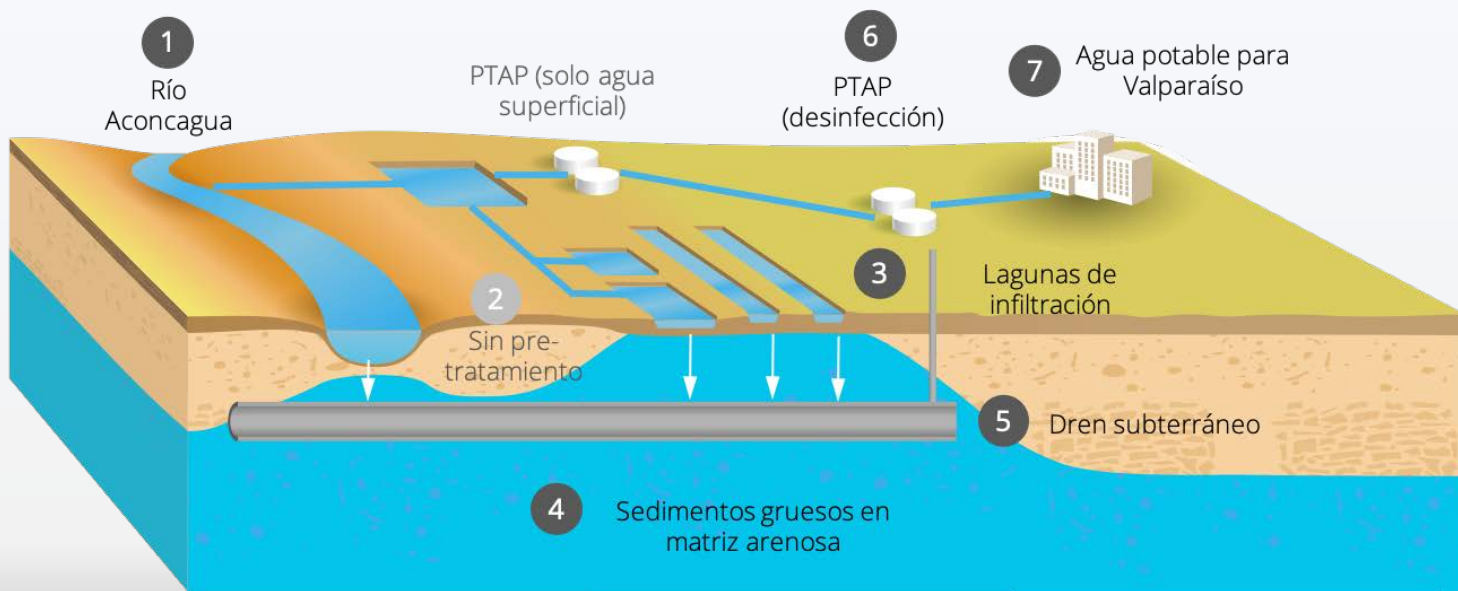


Diagrama de la recarga gestionada de acuífero

- Zona de captura ① Río Aconcagua
- Pre-tratamiento ② Sin pre-tratamiento
- Recarga ③ Lagunas de infiltración
- Subsuelo ④ Sedimentos gruesos en matriz arenosa
- Recuperación ⑤ Acueducto
- Post-tratamiento ⑥ Desinfección
- Uso final ⑦ Red de distribución del Gran Valparaíso



RESULTADOS

Dadas las propiedades naturales de filtración del acuífero, toda el agua procedente del dren necesita menos tratamiento, por lo que se reducen los costes operativos totales.

Los estanques en funcionamiento aportan alrededor del 15% del caudal total captado por el dren subterráneo Las Vegas y han aumentado su eficacia en aproximadamente un 17%, pasando de 85.000 m³/d a 101.000 m³/d.

A pesar del aumento de la infiltración, el esquema actual de estanques no proporciona suficiente agua para que el dren sea la fuente principal de agua para la planta de tratamiento de agua potable.

QUÉ SIGUE?

Modelos han demostrado que una zona de infiltración de unas 17 ha (30-70 lagunas de infiltración) aumentaría aún más los volúmenes de agua captados por el dren Las Vegas hasta alcanzar el óptimo de 1,3 m³/s.

Los temas de investigación futuros incluyen el análisis de la calidad del agua infiltrada y cómo afecta al acuífero, la precisión de los datos utilizados y el grado de influencia que tienen en el resultado, la viabilidad de establecer un régimen de mantenimiento riguroso y sus posibles implicaciones económicas.



Captación superficial que desvía el agua del río Aconcagua hacia la planta de tratamiento de agua de Las Vegas (foto: SISS, 2014).

LEA MÁS

Tobar Espinoza, E. A. (2009). Modelación del Efecto de la Recarga Artificial Sobre la Operación del Dren Las Vegas. Tesis de pregrado, Universidad de Chile. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103531>



Un camino gradual hacia la recarga de acuíferos para enfrentar los problemas relacionados con el agua en el Departamento de Sucre, Colombia

La recarga gestionada como una solución viable para hacer frente a la sobreexplotación de las aguas subterráneas

- Sobreexplotación del agua subterránea
- Seguridad hídrica / seguridad alimentaria / medios de subsistencia
- Calidad de las aguas subterráneas / salud humana
- Degradación de los ecosistemas
- Problemas de salinidad / intrusión salina

Sitios piloto de recarga gestionada para ayudar a diseñar estrategias sustentables en regiones que se enfrentan a la sobreexplotación de los acuíferos.

MOTIVACIÓN

En Colombia, las causas del agotamiento de las aguas subterráneas son el crecimiento demográfico, que implica la construcción de nuevas áreas urbanas impermeabilizando los suelos y alterando los ciclos naturales, disminuyendo así la recarga natural del acuífero; y la existencia de numerosos pozos ilegales que llevan a una explotación indiscriminada del recurso, amenazando el abastecimiento de agua.

Estos problemas han impulsado el análisis y la evaluación de la recarga gestionada como una solución factible para hacer frente a la disminución de los niveles del acuífero.

ENFOQUE

La obra piloto de recarga gestionada de acuíferos en el acuífero de la Morroa, departamento de Sucre, se construyó para probar la viabilidad de esta técnica a mayor escala. Consiste en un muro de contención que desvía la escorrentía superficial de la cuenca hacia las obras.

El agua entra primero en un estanque de sedimentación antes de ir al sistema de recarga artificial. A continuación, pasa a la trinchera de infiltración N° 1, al pozo de gran diámetro y a la laguna de infiltración.

El agua que no se infiltra en la laguna pasa por unos filtros antes de llegar a una piscina, donde se trata para inyectarla en un pozo alimentado por gravedad. Posteriormente, se construyó una segunda zanja que recibe el agua excedente de la balsa de infiltración.

DESAFÍOS

Los efectos de algunos parámetros, como la evaporación, no están bien representados a escala piloto. Para las aplicaciones a gran escala, es necesario realizar mediciones y cálculos adicionales.

La falta de políticas y cultura medioambientales afecta en gran medida al estado de los cuerpos de agua y a las futuras aplicaciones de la recarga gestionada.



Infiltration trench N° 1 (photo: José Luis Navarro, 2020).



Diagrama de la recarga gestionada de acuífero

- Zona de captura ① Escorrentía superficial
- Pre-tratamiento ② Estanque de sedimentación, filtros de arena
- Recarga ③ Lagunas de infiltración, trincheras, pozos
- Subsuelo ④ Areniscas friables, conglomerados no consolidados
- Recuperación ⑤ No reportada
- Post-tratamiento ⑥ Variable
- Uso final ⑦ Múltiple (agua potable, agricultura, ganadería...)



RESULTADOS

Los estanques de infiltración son la técnica de recarga más adecuada para la región en términos de costes y volúmenes de agua infiltrada, que varían entre 52 y 622 m³/a.

El resto de las estructuras de infiltración (pozo de gran diámetro, trincheras N° 1 y N° 2) presentaron caudales de infiltración que oscilan entre 0,2 y 70 m³/a.

A pesar de ello, los valores de infiltración son insignificantes en comparación con el régimen de bombeo al que está sometido el acuífero de la Morroa.

Existe una relación entre las precipitaciones y los caudales de infiltración: Los años con mayor y menor caudal están directamente asociados a los años húmedos y secos.

QUÉ SIGUE?

La evaluación de estos sistemas piloto ha proporcionado parámetros indispensables para el diseño y desarrollo de obras de recarga a mayor escala (muchas de ellas actualmente en construcción), que junto con un adecuado uso del recurso y un mayor seguimiento pueden garantizar el futuro abastecimiento de la población en el departamento de Sucre.



Pozo de gran diámetro (foto: José Luis Navarro, 2020).

LEA MÁS

Navarro Mercado, J. L. (2020). Monitoreo de las obras piloto de recarga artificial en el acuífero Morroa, departamento de Sucre, Colombia. Tesis de pregrado, Universidad EAFIT.



La recarga de aguas subterráneas como herramienta para minimizar los riesgos de inundación y mejorar la infiltración en Natal, Brasil

Integración de estanques de detención e infiltración en el sistema de drenaje urbano

- Sobreexplotación del agua subterránea
- Seguridad hídrica / seguridad alimentaria / medios de subsistencia
- Calidad de las aguas subterráneas / salud humana
- Degradación de los ecosistemas
- Problemas de salinidad / intrusión salina

La recarga gestionada de acuíferos como una solución viable contra las inundaciones urbanas y como fuente de agua para múltiples usos.

MOTIVACIÓN

Las causas de las inundaciones son múltiples: la impermeabilización del suelo, la canalización de la escorrentía o la presión inmobiliaria en torno a las zonas verdes y de recarga natural de acuíferos. Todas ellas impactan directamente en el ciclo hidrológico y traen consecuencias negativas, como graves problemas para la seguridad de las viviendas, los bienes y las vidas humanas.

En particular, en la ciudad de Natal (Brasil), varias lagunas naturales han desaparecido para dar paso a plazas y edificios, pero a menudo vuelven a surgir durante los periodos de lluvia, provocando frecuentes inundaciones. Además, debido a la ausencia de planes de drenaje en algunas zonas de la ciudad, hay un impacto directo en los sistemas de saneamiento, contribuyendo a la propagación de enfermedades.



Vertido irregular de aguas residuales sin tratar en la Lagoa da Tarauca (Foto: MPRN-Informação Técnica N° 088/2018).

ENFOQUE

Para contrarrestar esta situación y aumentar el almacenamiento del acuífero, se construyeron en la ciudad varios reservorios de detención e infiltración. Su construcción en lugares públicos (calles o plazas) ayuda a evitar la formación de picos de caudal que pueden provocar inundaciones urbanas. Su objetivo es retener el agua temporalmente, regulando el caudal de salida, y por lo tanto, promoviendo la amortiguación de los caudales máximos aguas abajo.

A pesar de que el agua almacenada no puede ser utilizada directamente por el consumo humano (calidad pobre), otras áreas aprovechan de estos embalses como las actividades ecológicas, industriales y recreativas.

DESAFÍOS

La construcción de estructuras del tamaño de un embalse en medio de una zona urbana consolidada puede causar varios impactos, como mayores costes derivados de la expropiación, entre otros.

La ausencia de mantenimiento de las infraestructuras y de monitoreo de la calidad del agua impacta directamente en el funcionamiento de los embalses (reducción de la capacidad de retención, provocando desbordamientos hacia las vías adyacentes, exceso de vegetación, presencia de aguas residuales sin tratar...).



Diagrama de la recarga gestionada de acuífero

- Zona de captura 1 Escorrentía urbana
- Pre-tratamiento 2 Sin pre-tratamiento
- Recarga 3 Reservorios de detención e infiltración
- Subsuelo 4 Sedimentos aluviales y fluviales
- Recuperación 5 No reportada
- Post-tratamiento 6 Sin post-tratamiento
- Uso final 7 Almacenamiento



RESULTADOS

En 2011, un total de 35 reservorios urbanos estaban en funcionamiento en Natal. Se consideran equipos esenciales para el funcionamiento del sistema de drenaje urbano, siendo el principal destino de las aguas lluvias, evitando las inundaciones, además de participar en la reposición del acuífero a través de la infiltración.

A pesar de su uso generalizado, a menudo presentan problemas estructurales, como el deterioro de sus taludes, la acumulación de sedimentos en su interior y la descarga irregular de las aguas residuales.

Los embalses, además de mejorar la infiltración y disminuir los riesgos de inundación, también se utilizan como fuentes de agua para otros servicios urbanos como el riego de zonas verdes, la construcción, los sistemas de refrigeración, etc.

QUÉ SIGUE?

Se espera que la construcción de una estación de bombeo de aguas residuales disminuya o detenga el vertido de aguas residuales sin tratar en los embalses.

Los estudios en curso indican la posibilidad de utilizar el agua almacenada para el consumo humano en el futuro. Sin embargo, son necesarios procesos adicionales (pre y post-tratamiento) dados los actuales indicadores de calidad del agua.



Arena Mirassol "inundada" tras 48 horas de lluvia. En periodos de sequía, el embalse funciona como estadio de fútbol, balonmano y voleibol de playa (foto: Augusto Gomes/GloboEsporte.com).

LEA MÁS

Silva, Selma & Neto, Cícero & Ingunza, Maria. (2019). Potencialidade de uso não potável de água de lagoa de detenção. Engenharia Sanitaria e Ambiental. 24. 1061-1070. doi: 10.1590/s1413-41522019190821.



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

UVG
UNIVERSIDAD
DEL VALLE
DE GUATEMALA



**CENTRO DE ESTUDIOS
AMBIENTALES Y BIODIVERSIDAD · CEAB ·**
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES

INOWAS

Innovative Groundwater Solutions