



La Gestión de la Recarga de Acuíferos (MAR) como solución basada en la naturaleza para la seguridad hídrica

Proyecto NEWA-LIMA

Supported by:



Federal Ministry
for the Environment, Nature Conservation,
Nuclear Safety and Consumer Protection

based on a decision of
the German Bundestag



❖ Taller en Lima, 6 de junio del 2024



Universität Stuttgart



BRENTWOOD

ENEXIO
WATER TECHNOLOGIES



Zweckverband
Landeswasserversorgung



Contenido

- Motivación
- Tecnología MAR (Managed Aquifer Recharge) y su aplicación en el mundo
- Proyecto NEWA-LIMA
 - Metodología
 - Resultados
 - Potencial MAR en el valle de Lurín



Datos del proyecto

- Inicio: Enero 2022
- Duración: 30 meses
- Socios alemanes:
 - ZIRIUS Universidad de Stuttgart (**coordinación**)
 - ISWA Universidad de Stuttgart (**aguas residuales**)
 - TZW Centro de Tecnologías del Agua (**infiltración**)
 - BRENTWOOD Europe (**filtro percolador**)
 - Asociación de Servicios de Agua (**análisis del agua**) (Landeswasserversorgung)
- Socios y aliados peruanos:
 - SEDAPAL
 - UNI-FIA
- Página web del proyecto: www.newalima.de



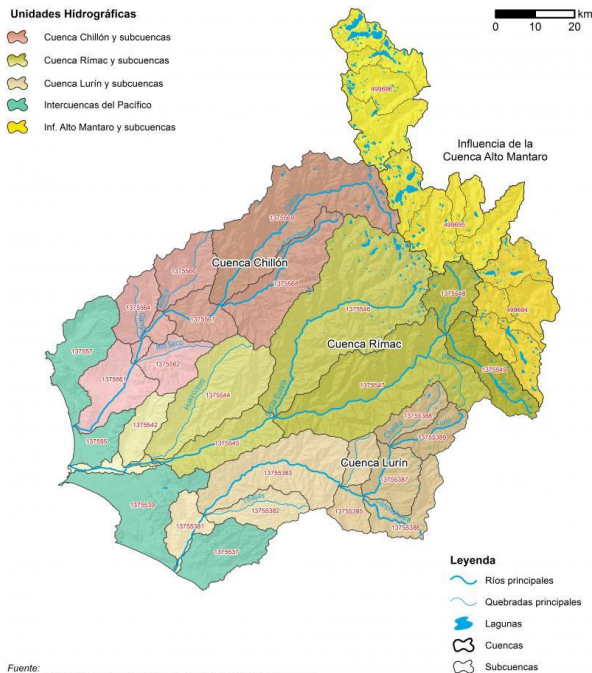
Motivación

Situación y problemática

- Segunda ciudad desértica más grande
- Abastecimiento de agua:
 - Tres ríos Chillón, Rímac y Lurín (CHIRILU)
 - Temporada de estiaje → agua subterránea
- Extracción del agua subterránea supera la cantidad de extracción sostenible → impactos negativos

Soluciones y oportunidades

- Reservorios y trasvase de agua
- Recarga gestionada (MAR) con aguas fluviales o agua residual tratada



Fuente:
Unidades hidrográficas delimitadas con la metodología Pfafstetter (ANA)

GESTIÓN DE LA RECARGA DEL ACUÍFERO (MAR) Y SU APLICACIÓN EN EL MUNDO



Gestión de la recarga del acuífero (MAR)

- **Propósito general:**

Recarga intencionada y almacenamiento de agua al acuífero para su posterior extracción y/o beneficio medioambiental

- **Objetivo específico:**

- Aumentar cantidad de las aguas subterráneas
- Barrera contra la intrusión de agua marina
- Almacenar agua en el subsuelo
- Depuración efectiva del agua infiltrada
- Mejorar calidad del agua del acuífero



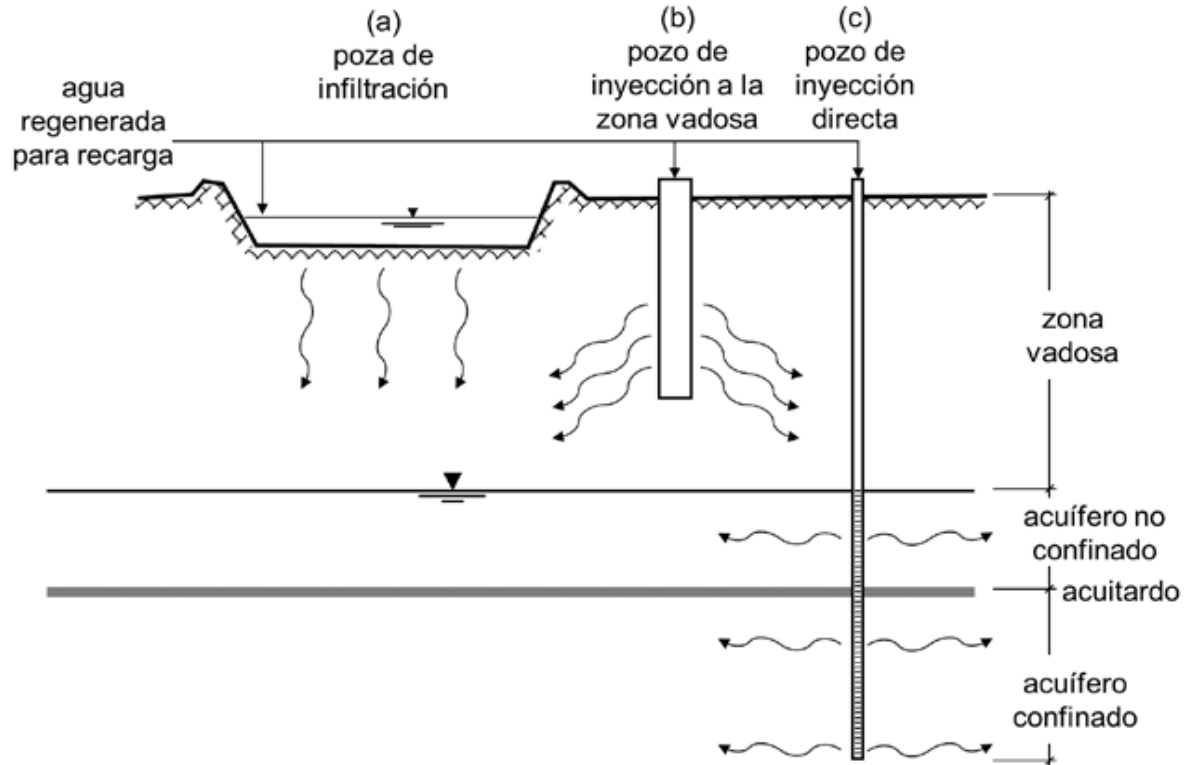
©Marco Scheurer

MAR – Fuentes de agua

- Dependiendo de la disponibilidad, la calidad y el tipo del reúso
- Aguas pluviales almacenadas en presas
- Aguas fluviales (ríos)
- Aguas residuales tratadas (efluente PTAR)

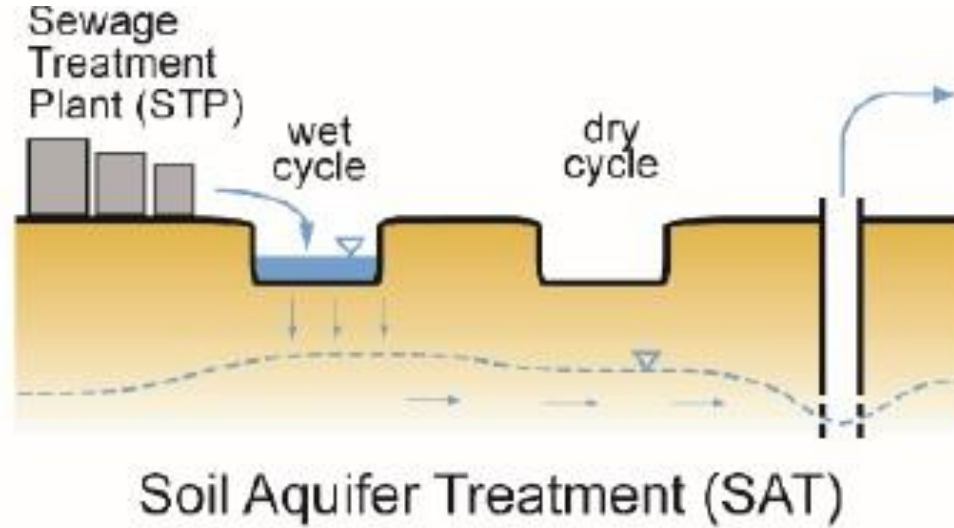


Métodos de infiltración



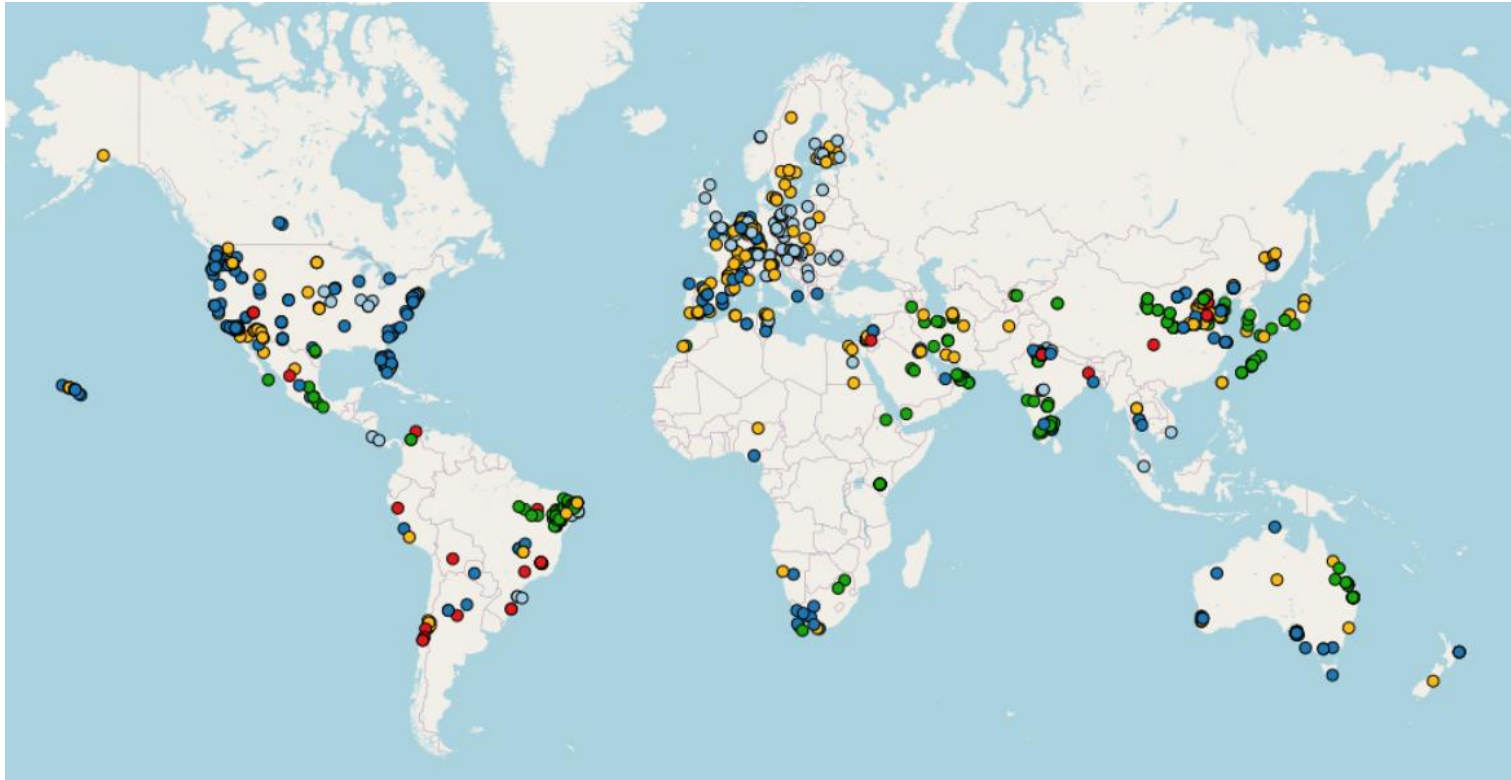
Fuente: León et al. 2021 adaptado de EPA/600/R-12/618 2012

Infiltración de agua residual tratada



Fuente: Xanke 2017; adaptado de Dillon 2005

MAR en el mundo



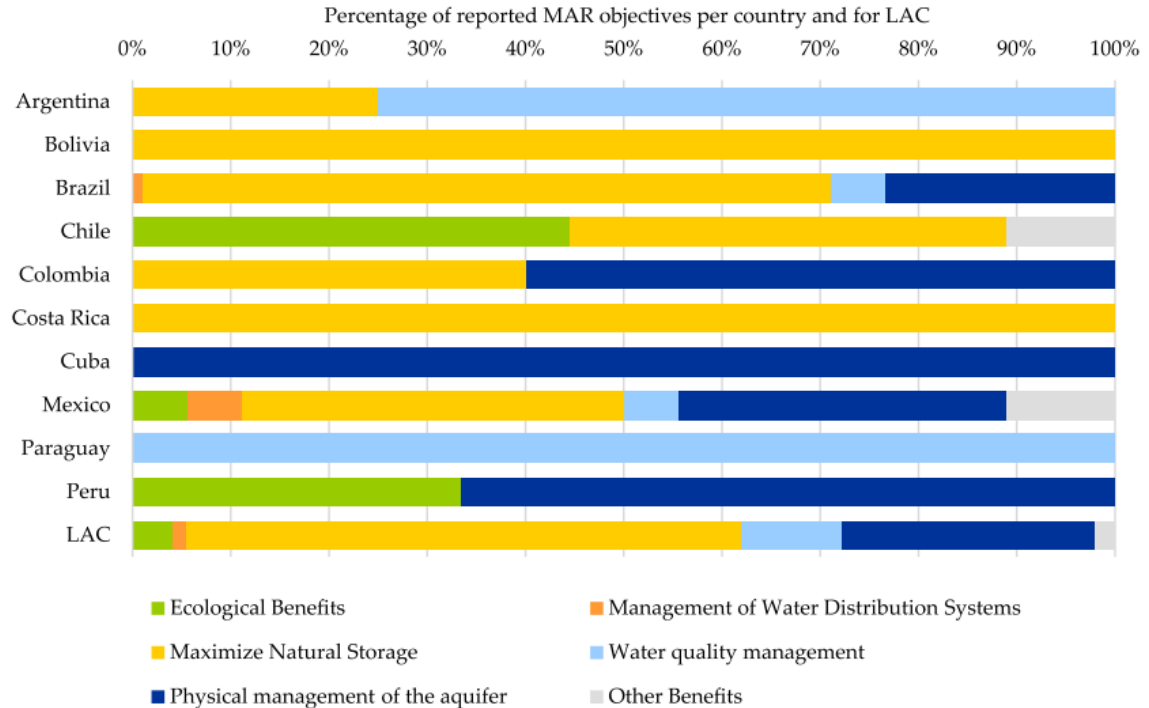
Fuente: MAR Portal (<https://ggis.un-igrac.org/view/marportal>)

- Spreading Methods
- Induced Bank Filtration
- Well, Shaft & Borehole Recharge
- In-Channel Modification
- Rainwater & Run-off Harvesting



MAR en Latinoamérica *(Bonilla Valverde et al 2018)*

- Aguas de recarga: aguas fluviales y pluviales
- Objetivos de MAR



Ej. 1: Shafdan, Israel

Shafdan, Israel

Zheng et al. 2021

Fuente del agua infiltrada	Efluente PTAR
Tipo de infiltración	Pozas (área: 101 ha)
Cantidad infiltrada	135 M. m ³ /a
Reúso	Riego agrícola

Operación

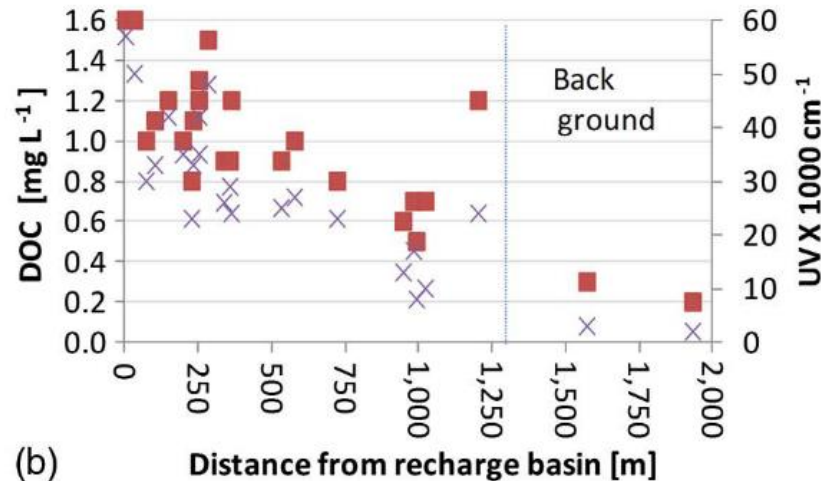
- Ciclos: Inundación → Percolación → Secado
- Influencia del medio ambiente



©Marco Scheurer

Ej. 1: Shafdan, Israel – Resultados (Elkayam et al. 2018)

- COD disminuye con la distancia a las pozas de infiltración



- Muy buena calidad microbiológica del agua recuperada

	Eliminación [%]
Virus	99.99
Colifagos	99.999
Indicadores bacterianos	99.9
Indicadores MST	99.9

Ej. 2: Ica, Perú *(Escolero Fuentes et al. 2017)*

Ica, Perú

Fuente del agua infiltrada	Agua del río Ica
Tipo de infiltración	Pozas
Cantidad infiltrada	17 M. m ³ (2017)
Reúso	Riego agrícola



Fuente: Escolero Fuentes et al. 2017



Ej. 2: Ica, Perú – Operación *(Escolero Fuentes et al. 2017)*

- Derivación de agua del río → decantación → infiltración en las pozas
- Tasa de infiltración: 49 mm/día



Fuente: Escolero Fuentes et al. 2017

PROYECTO NEWA-LIMA



Planta Piloto MAR

- Ubicación: PTAR Cieneguilla
- Infiltración de agua residual tratada (efluente de la PTAR)
- Construcción y operación de tres pozas de infiltración (3x15m²)
- Monitoreo permanente (→ 4 piezómetros)
- Objetivos:
 1. Evaluación la capacidad depurativa del suelo
 2. Optimización de los parámetros de operación
 3. Opciones de tratamiento posterior
 4. Recomendaciones para su aplicación en gran escala
 5. Modelo hidrogeológico



Análisis y monitoreo

Evaluación básica

- Parámetros en campo
 - Conductividad, pH, oxígeno disuelto, nivel freático
- Parámetros básicos químico-físicos y microbiológicos → [laboratorio peruano](#)

Evaluación extensa → TZW

- Parámetros microbiológicos específicos
- Sustancias trazas antropogénicas

Evaluación holística → TZW

- Análisis relacionado con el impacto
- Evaluación cuantitativa del riesgo químico y microbiológico



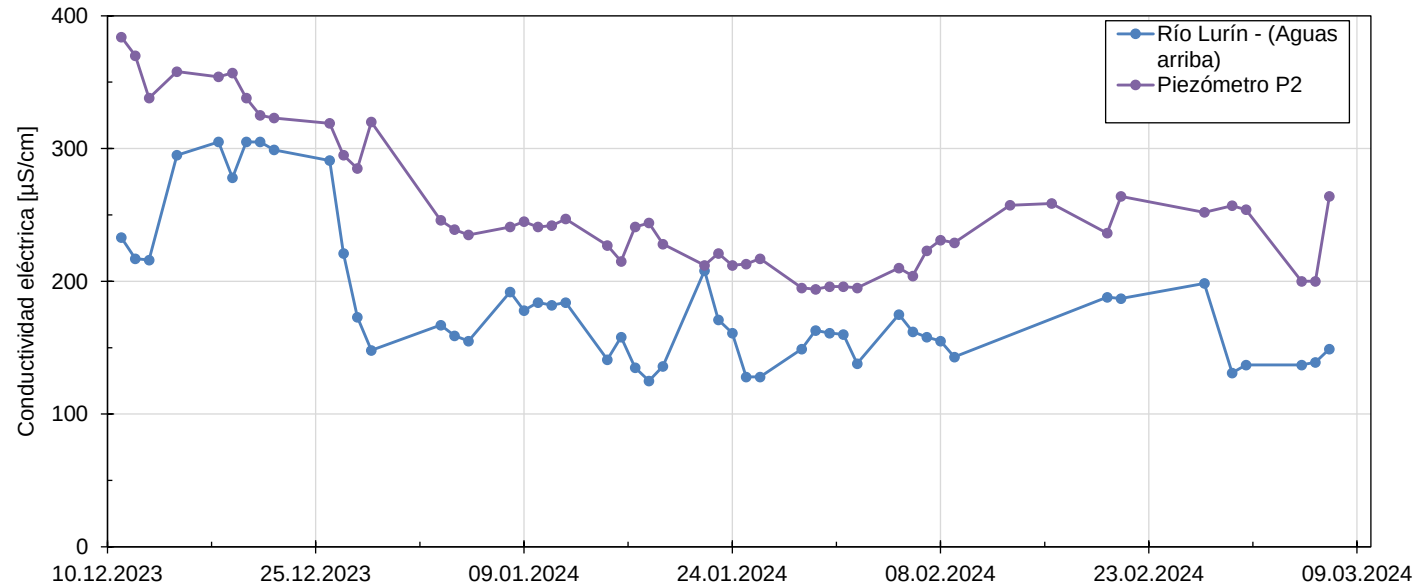
Evaluación cuantitativa del riesgo químico y microbiológico

- Estimar el riesgo de exposición a microorganismos o sustancias químicas
- Ejemplos de vías de exposición a tener en cuenta



Resultados: Influencia Río Lurín

- Conductividad eléctrica rio y agua subterránea



Resultados: Influencia Río Lurín

- Nivel de agua en el río Lurín durante el experimento

26.12.2023 (291 $\mu\text{S/cm}$)



02.02.2024 (138 $\mu\text{S/cm}$)



Resultados: Influencia Río Lurín

- Variación del nivel del río Lurín en general

13.10.2023



20.10.2023

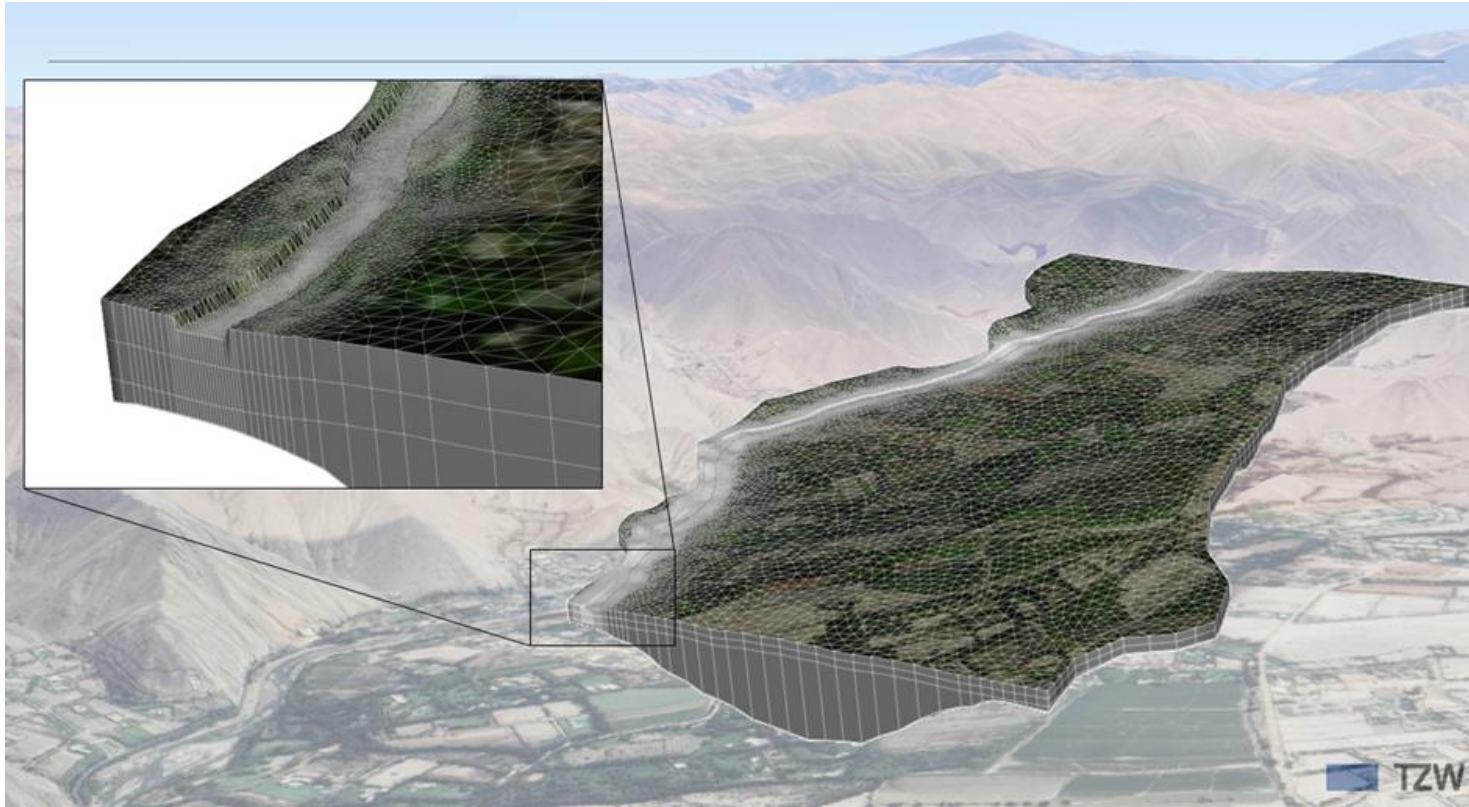


Resultados: Experimentos de infiltración

- Experimentos de infiltración en 3 pozas, 200 L/min, 24h
- Variaciones de la conductividad eléctrica y de la concentración del endulzante sucralosa en los puntos de monitoreo indican que el agua infiltrada (= efluente PTAR) llega al acuífero
- Monitoreo de parámetros microbiológicos (coliformes, rotavirus, etc.) confirma la capacidad depurativa del suelo
- Análisis adicionales pendientes para confirmar los resultados



Modelo hidrogeológico



Potencial en el valle de Lurín

- MAR (gestión de la recarga del acuífero) como posible solución para garantizar la seguridad hídrica
- Requisitos para aplicación a gran escala

1) Fuente de agua	2) Terreno	3) Acuífero adecuado	4) Punto de extracción	5) Demanda
• Aguas del río Lurín • Efluentes PTAR	• Disponibilidad de un terreno	• Características acuífero • Subsuelo adecuado	• Distancia mínima	• población, agricultura, industria

- Marco legal en Perú
- Participación de actores y los usuarios



Resumen

- Aprovechar la capacidad depurativa del suelo para mejorar la calidad del agua
 - Alternativa a bajo costo (energía, inversión, operación / mantenimiento, huella de carbono)
- Posibles fuentes de agua: Aguas fluviales y aguas residuales tratadas
- Aplicación exitosa en muchos países
- Potencial en el valle de Lurín para ampliar los recursos hídricos
- Monitoreo permanente → evaluación básica, extensa y holística

Gestión de la recarga del acuífero es una tecnología prometedora para mitigar la escasez de agua en el mundo y con eso, garantizar la seguridad hídrica.





Ing. Christian D. León

Telf. +49 711 685-83974

correo electrónico: christian.leon@zirus.uni-stuttgart.de



M.Sc. Katharina Fesch

Telf. +49 721 9678-228

correo electrónico: katharina.fesch@tzw.de



Dr. Michael Hügler

Telf. +49 721 9678-222

correo electrónico: michael.huegler@tzw.de

Bibliografia

León et al 2021	León, C. D.; Brauer, F.; Hügler, M.; Keller, S.; Kosow, H.; Krauss, M. et al. (2021): Soluciones para la gestión integrada del agua en la cuenca del río Lurín, Lima, Perú, en apoyo del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 de las Naciones Unidas. Versión en español del informe final del proyecto TRUST. Universidad de Stuttgart. Available online at http://dx.doi.org/10.18419/opus-11390 .
Fernández et al 2019	Fernández, A.; Ganoza, J.; Núñez, E.; Pantoja, G.; Yampufe, L. (2019): Estudio Hidrogeológico del Acuífero Lurín. Informe Final. Autoridad Nacional del Agua. Lima - Perú.
EPA/600/R-12/618 2012	EPA/600/R-12/618 (2012): Guidelines for Water Reuse.
Xanke 2017	Xanke, Julian (2017): Managed aquifer recharge into a karst groundwater system at the Wala reservoir, Jordan. Doktors der Naturwissenschaften. Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), Karlsruhe. Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften.
Bonilla Valverde et al 2018	Bonilla Valverde, José P.; Stefan, Catalin; Palma Nava, Adriana; Bernardo da Silva, Eduardo; Pivaral Vivar, Hugo L. (2018): Inventory of managed aquifer recharge schemes in Latin America and the Caribbean. In Sustain. Water Resour. Manag. 4 (2), pp. 163–178. DOI: 10.1007/s40899-018-0231-y.
Elkayam et al. 2018	Elkayam, R.; Aharoni, A.; Vaizel-Ohayon, D.; Sued, O.; Katz, Y.; Negev, I. et al. (2018): Viral and Microbial Pathogens, Indicator Microorganisms, Microbial Source Tracking Indicators, and Antibiotic Resistance Genes in a Confined Managed Effluent Recharge System. In J. Environ. Eng. 144 (3). DOI: 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001334.
Zheng et al. 2021	Zheng, Y.; Ross, A.; Villholth, K. G.; Dillon, P. (eds.) (2021): Managing Aquifer Recharge. A Showcase for Resilience and Sustainability. Paris: UNESCO.
Icekson Tal et al. 2009	Icekson Tal, Nelly; Michail, Medy; Kraitzer, Tomer; Sherer, Dov; Elkayam, Roy; Shoham, Gal (2009): Dan Region Reclamation Project. Groundwater Recharge with Municipal Effluent. Mekorot Water Company Ltd.
Goren et al. 2014	Goren, O.; Burg, A.; Gavrieli, I.; Negev, I.; Guttman, J.; Kraitzer, T. et al. (2014): Biogeochemical processes in infiltration basins and their impact on the recharging effluent, the soil aquifer treatment (SAT) system of the Shafdan plant, Israel. In Applied Geochemistry 48 (1), pp. 58–69. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2014.06.017.



Bibliografia

Bugan et al. 2016	Bugan, Richard D.H.; Jovanovic, Nebo; Israel, Sumaya; Tredoux, Gideon; Genthe, Bettina; Steyn, Maronel et al. (2016): Four decades of water recycling in Atlantis (Western Cape, South Africa). Past, present and future. In WSA 42 (4), p. 577. DOI: 10.4314/wsa.v42i4.08.
Tredoux et al. 2009	Tredoux, G.; Genthe, B.; Steyn, M.; Engelbrecht, J. F. P.; Wilsenach, J.; Jovanovic, N. Z. (2009): An assessment of the Atlantis artificial recharge water supply scheme (Western Cape, South Africa). In C. A. Brebbia, M. E. Conti, E. Tiezzi (Eds.). RAVAGE OF THE PLANET 2009. Western Cape, South Africa, 15.12.2009 - 17.12.2009: WIT PressSouthampton, UK (WIT Transactions on Ecology and the Environment), pp. 403–413.
Jovanovic et al. 2017	Jovanovic, Nebo; Bugan, Richard D. H.; Tredoux, Gideon; Israel, Sumaya; Bishop, Rodney; Marinus, Vernon (2017): Hydrogeological modelling of the Atlantis aquifer for management support to the Atlantis Water Supply Scheme. In WSA 43 (1), p. 122. DOI: 10.4314/wsa.v43i1.15.
Toze et al. 2004	Toze, S.; Hanna, J.; Smith, T.; Edmonds, L.; Mccrow A. (Eds.) (2004): Determination of water quality improvements due to the artificial recharge of treated effluent. symposium HS04 held durinc IUGG2003. Sapporo, July 2003. 285 volumes: IAHS Publ.
Escolero Fuentes et al. 2017	Escolero Fuentes, Oscar; Gutiérrez Ojeda, Carlos; Mendoza Cázares, Edgar Yuri (2017): Manejo de la recarga de acuíferos: un enfoque hacia Latinoamérica.
Humberto et al. 2018	Humberto, Hernández Aguilar M.; Raúl, Campuzano Chávez; Lorenzo, Valenzuela Vásquez; Jorge, Ramírez-Hernández (2018): Aquifer recharge with treated municipal wastewater. Long-term experience at San Luis Río Colorado, Sonora. In Sustain. Water Resour. Manag. 4 (2), pp. 251–260. DOI: 10.1007/s40899-017-0196-2.
Dillon et al. 2009	Dillon, Peter; Pavelic, Paul; Page, Declan; Beringen, Helen; Ward, John (2009): Managed aquifer recharge: An Introduction. In Waterlines Report 13.
Dillon et al. 2022	Dillon, Peter; Alley, William; Zheng, Yan; Vanderzalm, Joanne (2022): Managed Aquifer Recharge: Overview and Governance.
Sharma et al. 2017	Sharma, Saroj K.; Kennedy, Maria D. (2017): Soil aquifer treatment for wastewater treatment and reuse. In International Biodeterioration & Biodegradation 119, pp. 671–677. DOI: 10.1016/j.ibiod.2016.09.013.

