



Nuevos recursos hídricos y tratamiento innovador de las aguas residuales en regiones urbanas áridas tomando el ejemplo de Lima/Perú

Supported by:



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

based on a decision of
the German Bundestag



❖ Taller de cierre, 22 de octubre del 2024, Lima



Universität Stuttgart



TZW
Technologiezentrum
Wasser

BRENTWOOD

ENEXIO



Zweckverband
Landeswasserversorgung

MKB

Datos del proyecto

- Inicio: Enero 2022
- Duración: 34 meses
- Socios alemanes:
 - ZIRIUS Universidad de Stuttgart (**coordinación**)
 - ISWA Universidad de Stuttgart (**aguas residuales**)
 - TZW Centro Tecnológico del Agua (**infiltración**)
 - BRENTWOOD Industries (**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



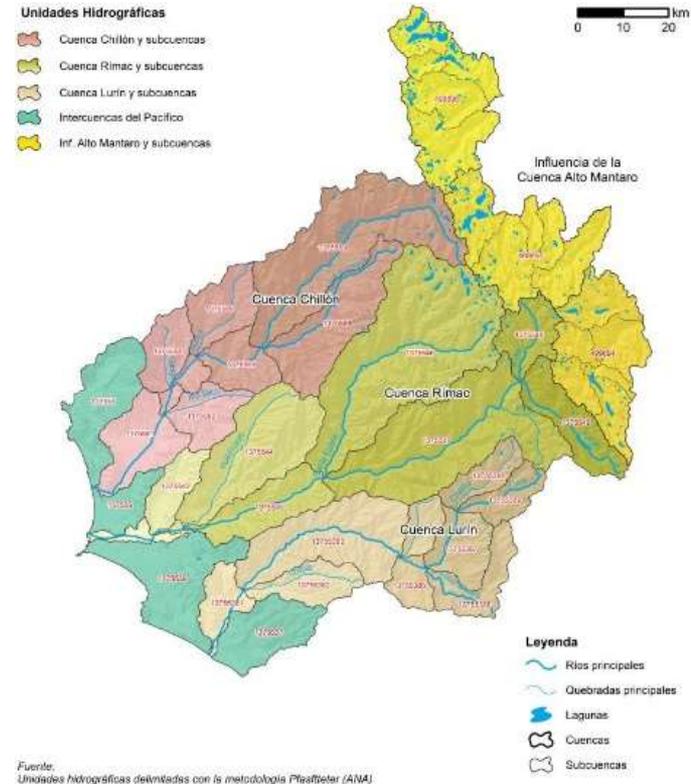
Supported by:



DESAFÍOS DE SUMINISTRO DE AGUA EN LIMA Y CALLAO

Desafíos en la cuenca ChiRiLu

- Aumento de la demanda
- Diversos actores (población, agricultura, industria)
- Dependencia de fuentes de agua externas (ríos, represas)
- Ríos regulados y estacionales
- Sobreexplotación de acuíferos, descenso de los niveles freáticos y secado de pozos
- Impacto del cambio climático: variabilidad en la precipitaciones, sequías prolongadas
- Fenómeno “El Niño”



Situación en el Valle del Lurín

Cuenca baja del Río Lurín:

- No hay precipitaciones
- Río alimenta al acuífero (calidad y cantidad)
- Efluente PTAR vertido al río y/o al mar
- Época de avenida: agua del río “se pierde” en el mar
- Época de estiaje: alto porcentaje de aguas residuales en el río

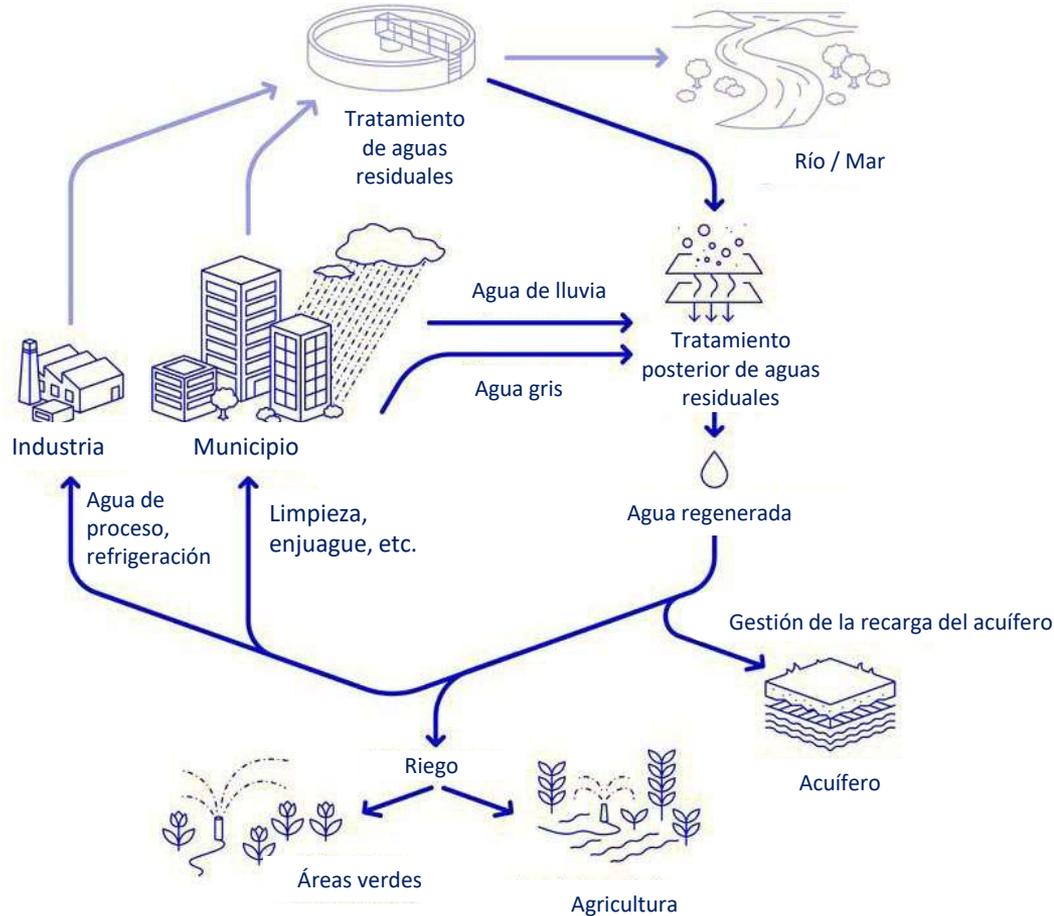


Río Lurín en época de estiaje (21.9.22)



Río Lurín, descarga de aguas residuales de la PTAR Cieneguilla

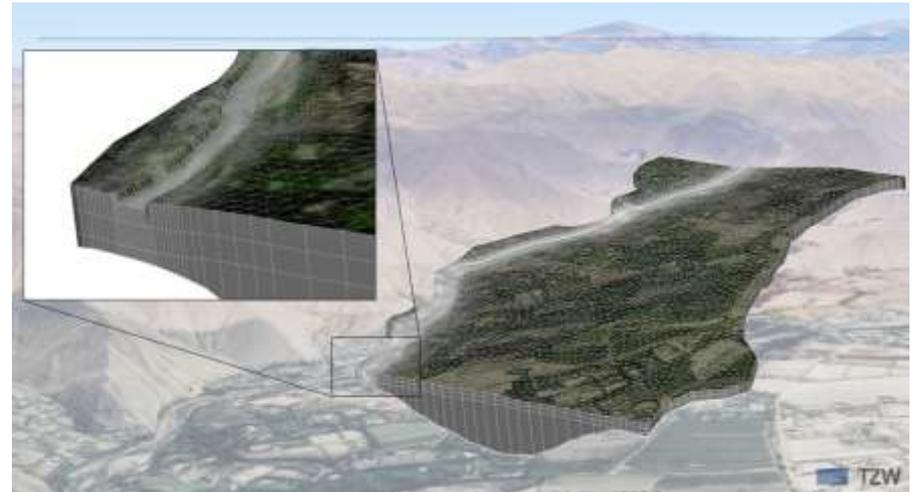
Reúso de agua



Adaptado de: Kompetenzzentrum Wasser Berlin (KWB)

- **Represas** para almacenar aguas superficiales
- **Trasvases** de agua de otras cuencas hidrográficas
- **Gestión de la recarga del acuífero** (MAR = Managed Aquifer Recharge): recarga controlada de aguas superficiales y/o aguas residuales tratadas en el acuífero

El acuífero es un reservorio natural de agua (no visible) para el suministro de agua a largo plazo



Propósito general:

Recarga controlada de agua y almacenamiento en el acuífero para su posterior extracción y/o beneficio medioambiental

Objetivos específicos:

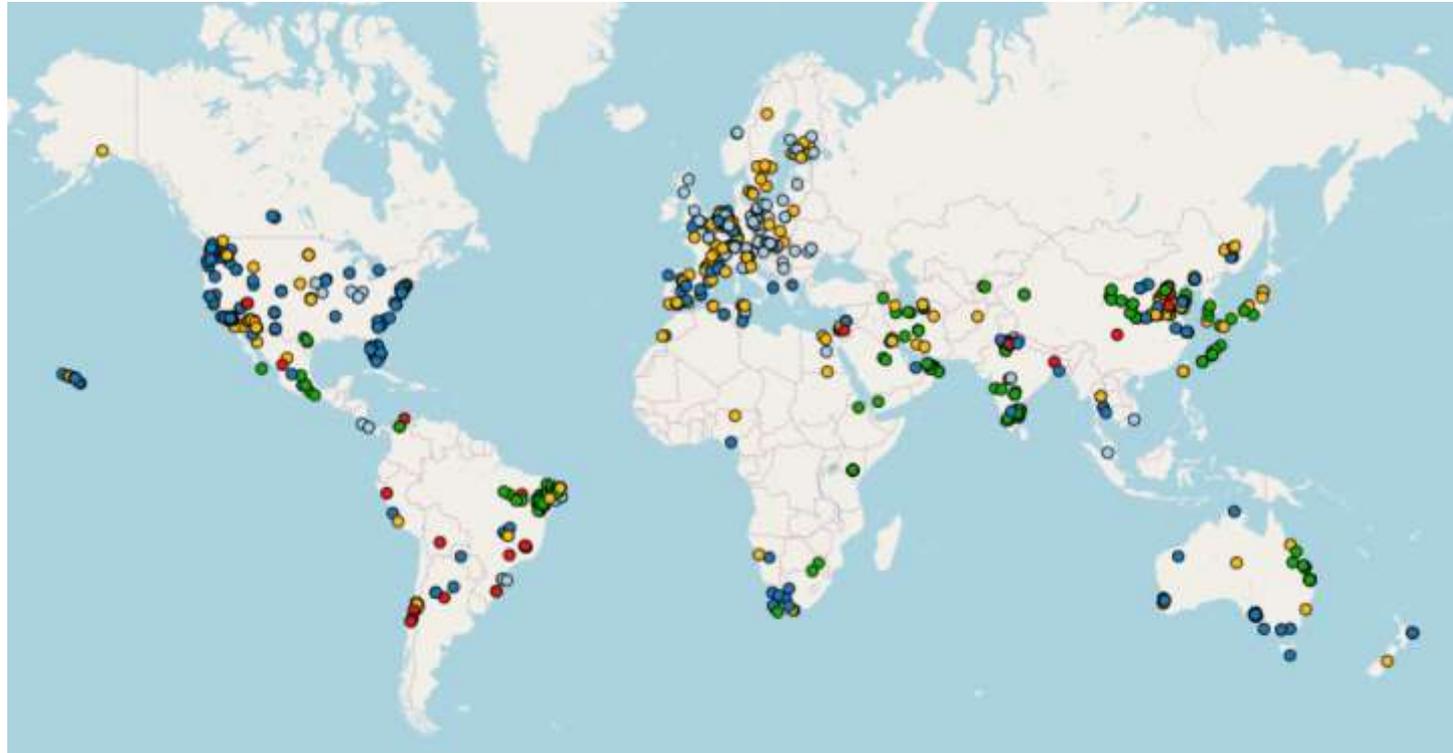
- Aumentar cantidad de las aguas subterráneas
- Barrera contra la intrusión de agua marina
- Almacenar agua en el subsuelo
- Depuración efectiva del agua infiltrada
- Mejorar calidad del agua del acuífero



© Marco Scheurer

EXPERIENCIAS EXITOSAS DE APLICACIÓN EN EL MUNDO

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 Perú (ejemplos)

Lima

- Pantallas Río Rímac
- Operado por Sedapal
- Infiltración de agua fluvial

Ica

- Pozas de infiltración
- Operado por la Junta de Usuarios
- Infiltración de agua fluvial



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

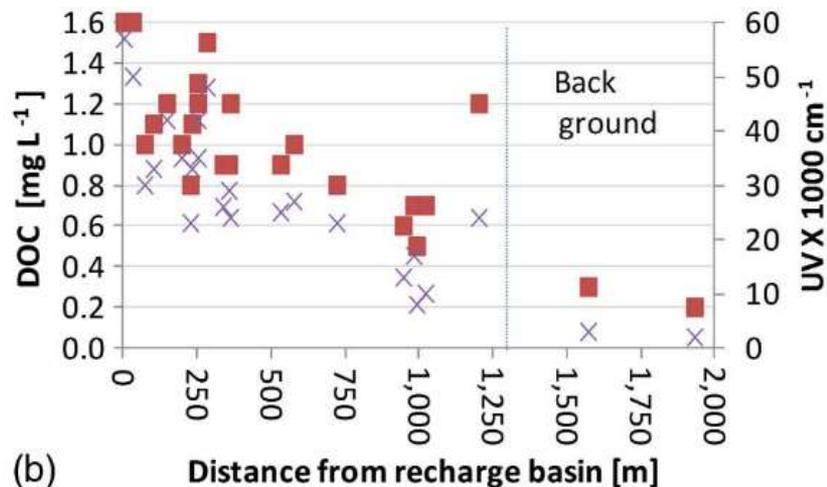
Operación

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



©Marco Scheurer

- COD disminuye con la distancia a las pozas de infiltración
- Muy buena calidad microbiológica del agua recuperada



(b)

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

San Luís Río Colorado, México

San Luís Río Colorado, México *Zheng et al. 2021*

Fuente del agua infiltrada Efluente PTAR

Tipo de infiltración Pozas

Cantidad infiltrada 10.5 M. m³ (2017)

Reúso Riego agrícola



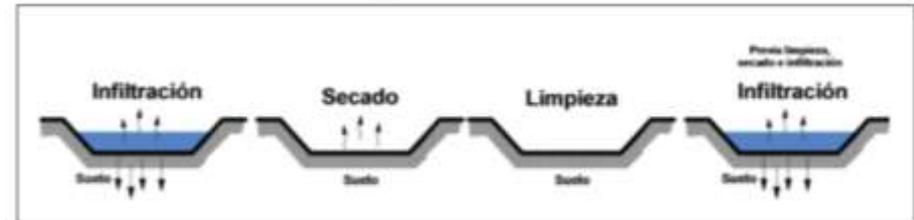
Fuente: Zheng et al. 2021

Operación

- Infiltración → Secado → Limpieza

Resultados

- Mejora significativa en calidad del efluente PTAR
- Calidad del agua → NOM-014

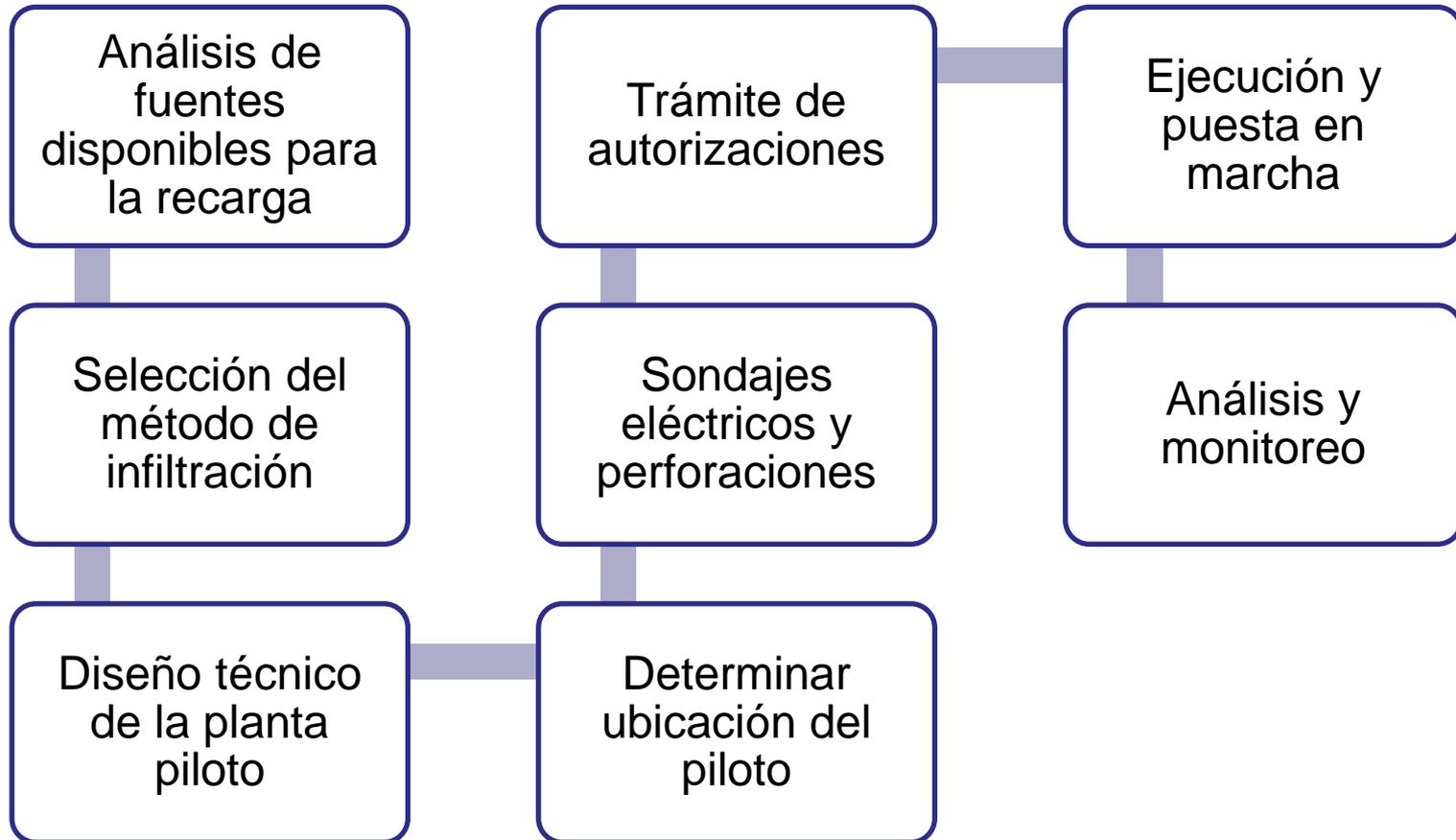


Fuente: Escolero Fuentes et al. 2017

PROYECTO PILOTO NEWA-LIMA

- Evaluar la viabilidad técnica y el impacto ambiental de la recarga del acuífero
 - Monitoreo del impacto en las aguas subterráneas
 - Capacidad depurativa del suelo
 - Optimización de los parámetros de operación
 - Opciones de tratamiento posterior
- Evaluar el potencial para la recarga del acuífero (modelo hidrogeológico)
- Revisar el marco normativo
- Difundir el conocimiento con actores sociales
- Desarrollar recomendaciones para su aplicación a gran escala

Implementación del piloto



Fuentes de agua para la recarga

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

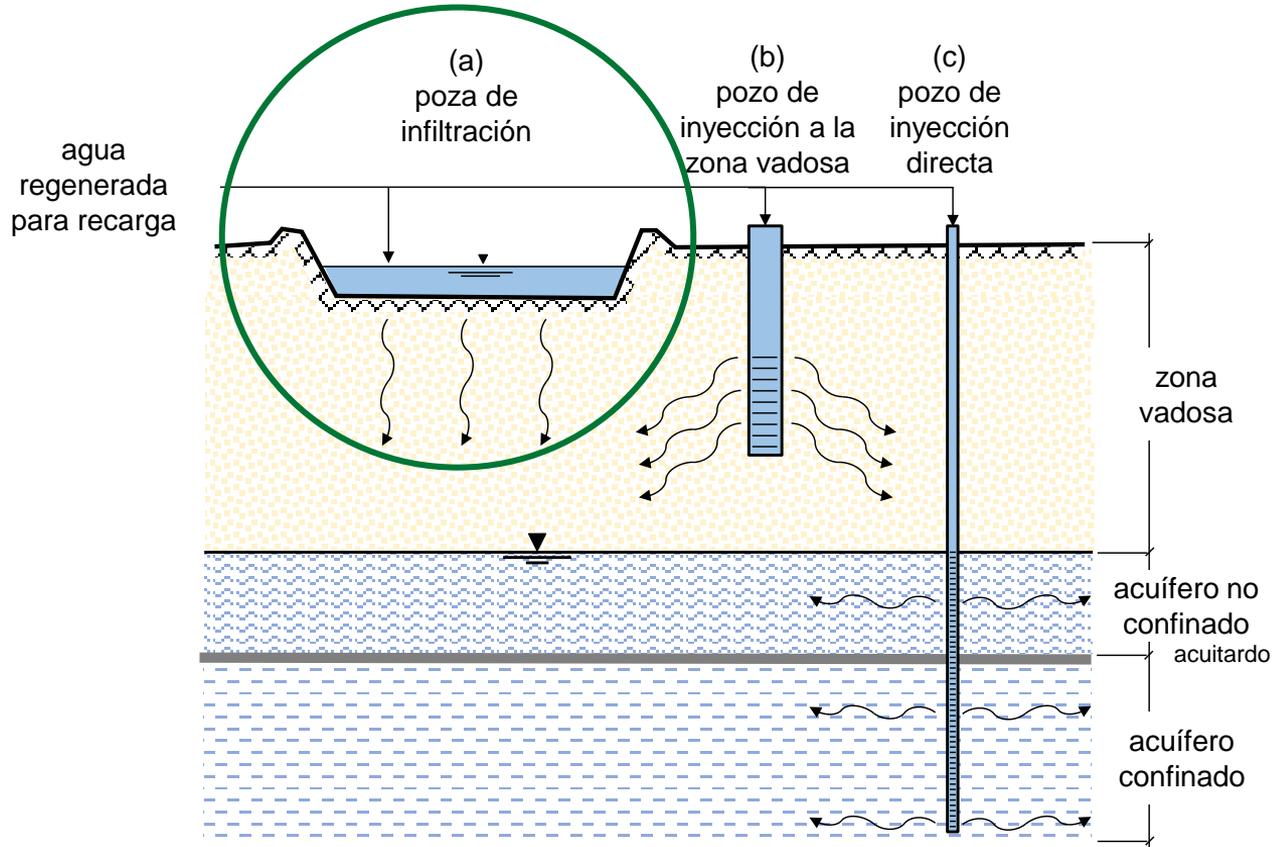


Río Lurín



Descarga de la PTAR Cieneguilla al río Lurín

Métodos de infiltración



Posibles ubicaciones



- Requisitos:
 - 1) Fuente de agua → Calidad efluente PTAR adecuada
 - 2) Terreno → Espacio para pozas de infiltración
 - 3) Presencia de un acuífero y subsuelo adecuado
 - 4) Punto de extracción
 - 5) Autorización

PTAR Cieneguilla – Calidad del efluente



Parámetro	Unidad	Promedio Efluente PTAR	Valor deseado para MAR*	ECA A2**
Conductividad	μS/cm	1,247	2,500	1,600
pH	-	7.3	5.5 - 9	5.5 - 9
DQO	mg/L	14	40	20
Nitratos	mg/L	36	50	50
Turbidez	NTU	5	10	100
Oxígeno	mg/L	4	> 3	≥ 5

* Valores deseados basado en experiencia científica

** ECA para agua, Categoría 1, Subcategoría A2 (Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional)

Investigaciones preliminares (1)

- Sondajes eléctricos verticales (SEV)

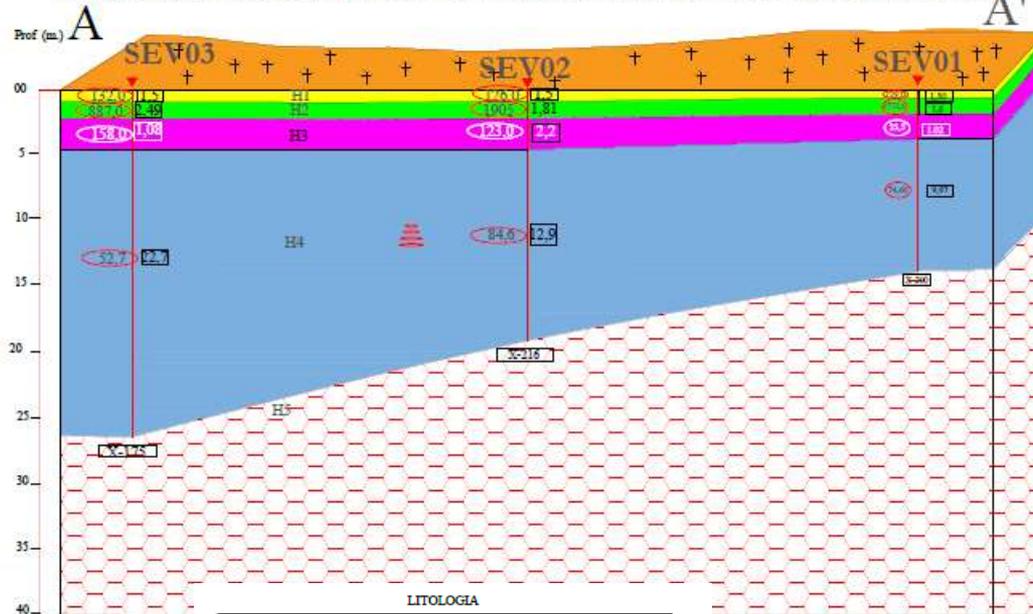


Investigaciones preliminares (2)

■ Sondajes eléctricos verticales (SEV)



SECCION GEOELECTRICA ESQUEMATICA A - A' 18 - 10 - 2022 NEWA - LIMA - PTAR SEDAPAL - CIENEGUILLA



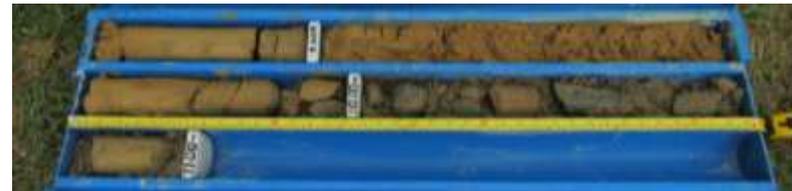
	Material Superficial Permeable
	Material Superficial Duro Altamente Resistente
	Material Superficial Húmedo
	Acuífero Explotación de Agua Subterránea
	Impermeable Rocoso

Javier Walter Ortiz Torres
 Consultor en Aguas Subterráneas
 Reg. 119-2019-ANA-DARH

LEYENDA	
SEV	SONDAJE ELECTRICO VERTICAL
01	SEV Y NUMERO
	RESISTIVIDAD EN OHM-M.
	ESPESORES EN M.
	DIRECCION DE INVESTIGACION
H1	HORIZONTE SUPERFICIAL
H2	HORIZONTE POCO PROFUNDO
H3	HORIZONTE MUY PROFUNDO
H4	HORIZONTE MUY PROFUNDO
H5	HORIZONTE IMPERMEABLE

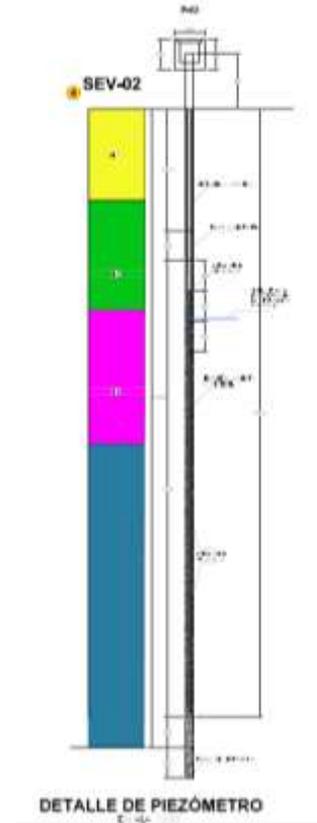
Investigaciones preliminares (3)

- Perforación diamantina, ej. P02



Profundidad (m)	Tipo de suelo
0 - 5	Aluvial
5.0 - 5.8	Bloques aislados (13")
5.8 - 7	Limo arenoso
7 - 8.6	Limo arcilloso
8.6 - 9.75	Limo arenoso
9.75 - 11	Grava

Nivel freático: ~3.30 m



- PTAR Cieneguilla
- Infiltración de agua residual tratada (efluente PTAR)
- 3 pozas de infiltración (IP)
- 4 piezómetros (P)

- Área de recarga: 45 m²
- Caudal de infiltración:
1 - 3 L/s (4-12 m³/h)
- Taza de infiltración:
0.1 - 1 m/h



Ejecución de las obras



Puesta en marcha: 25 de mayo del 2023



Evaluación básica

- Parámetros en campo
 - Conductividad, pH, oxígeno disuelto, nivel freático
- Parámetros básicos químico-físicos y microbiológicos

Evaluación extensa

- Parámetros microbiológicos específicos
- Sustancias trazas antropogénicas

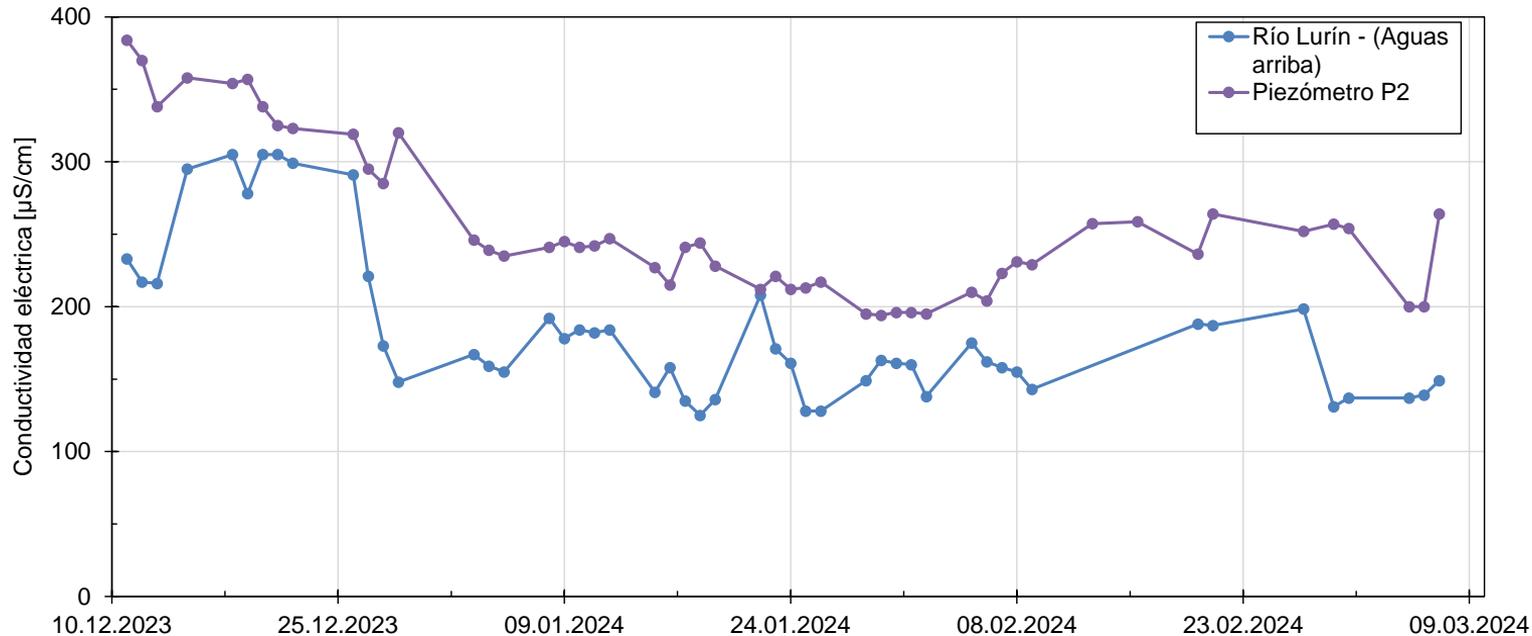
Evaluación holística

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

RESULTADOS

Conductividad eléctrica

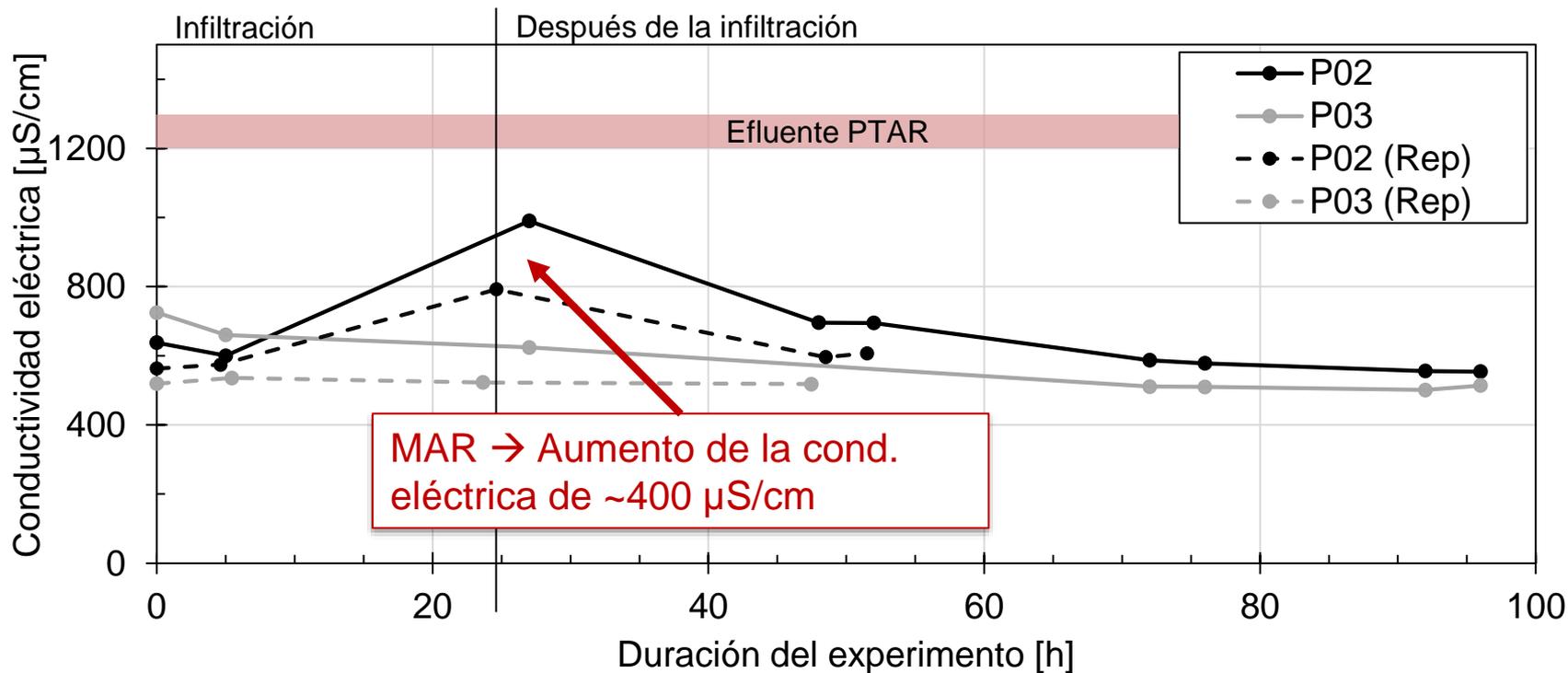
- Infiltración de 1 L/s (continua, 2 pozas)



→ Río Lurín alimenta el agua subterránea (calidad y cantidad), sin efecto de la infiltración (1 L/s)

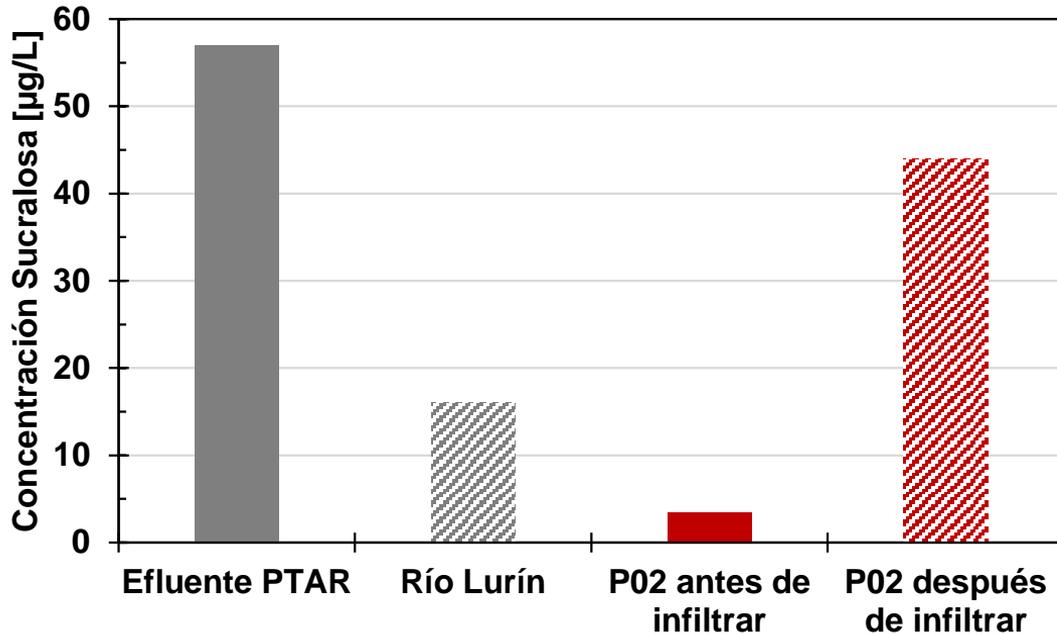
Conductividad eléctrica

- Infiltración de **3.3 L/s** (24h, 3 pozas)



Sucralosa

- Infiltración de **3.3 L/s** (24h, 3 pozas)
- **Sucralosa** (representante de sustancias antropogénicas)



Aumento de la concentración de Sucralosa en el agua subterránea después de la infiltración

→ Agua infiltrada llega al piezómetro

Microbiología

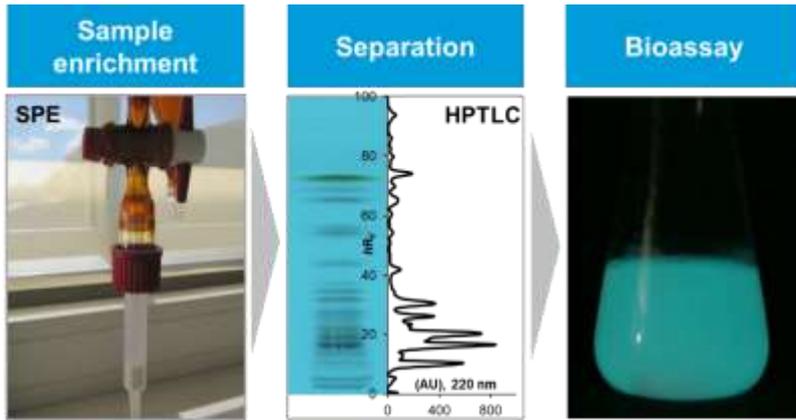
- Infiltración de **3.3 L/s** (24h, 3 pozas)
- Selección de parámetros microbiológicos

Parámetro (por 100 mL)	Efluente PTAR antes de Cl ₂	Efluente PTAR después de Cl ₂ (=agua infiltrada)	Agua subterránea P02 (=agua exfiltrada)
Coliformes	61,310	313	19
Rotavirus	41	23	< L.C.
Giardia	75	75	< L.C.

Cl₂: Solamente reducción de bacterias y virus

Remoción efectiva de patógenos resistentes al Cl₂ durante paso por el suelo

Análisis relacionado con el impacto (1)



SPE = Solid phase enrichment

HPTLC = High performance thin-layer chromatography

AF: *Alivibrio fischeri*

BS: *Bacillus subtilis*

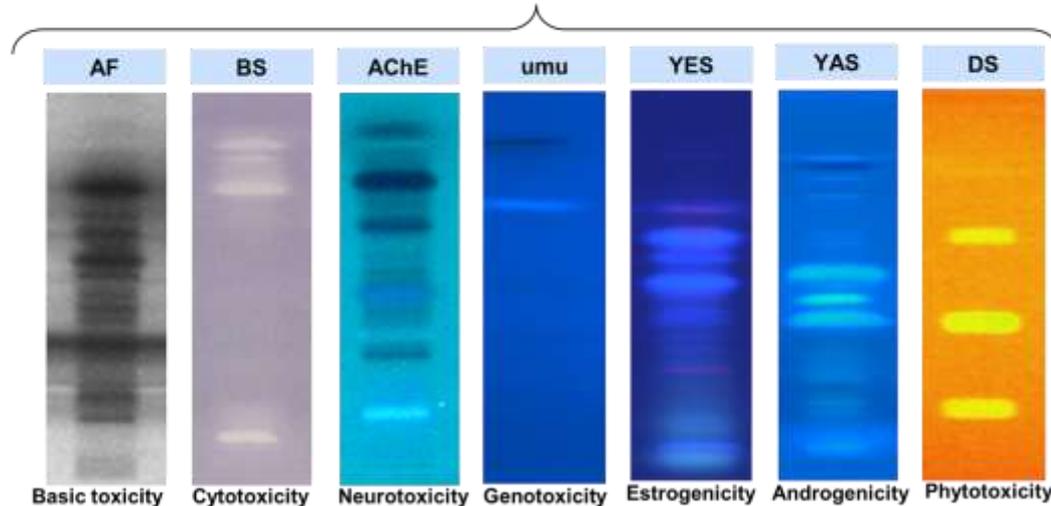
AChE: Acetylcholinesterase

YES: Yeast Estrogen Screen

YAS: Yeast Androgen Screen

umu: umuC-Assay

DS: *Desmodemus subspicatus*



→ Detectar efectos

- Tóxicos básicos
- Antibióticos
- Estrogénicos
- Neurotóxicos
- Genotóxicos

Análisis relacionado con el impacto (2)



- Resultados:
 - Efluente PTAR: diferentes impactos detectados (señal significativo)
 - Típico para aguas residuales tratadas
 - Agua subterránea del piloto MAR (después del paso por el suelo)
 - Eliminación / reducción significativa de los impactos
 - Atenuación del impacto debido a procesos depurativos naturales
 - Coherente con los resultados microbiológicos

Comparación: Osmosis inversa (OI)

- Agua residual tratada (piloto OI)¹:
 - 5 USD/m³
- Desalinización (gran escala):
 - ~1.0 USD/m³
- MAR con agua residual tratada²:
 - **0.02 USD/m³**



¹Fuente: Tesis Alexandra Bolívar „Mejoramiento de la calidad del efluente de una PTAR de lodos activados mediante un reactor piloto de osmosis inversa para fines de reuso“ (por publicar)

²Zheng, Y.; Ross, A.; Villholth, K. G.; Dillon, P. (eds.) (2021): Managing Aquifer Recharge. A Showcase for Resilience and Sustainability. Paris: UNESCO.

Modelo hidrogeológico Valle del Lurín

- Modelo numérico de flujo estacionario (FEFLOW)
 - Infiltración, por ejemplo 1 M. m³/a por pozas (~150 m²)
 - Modelamiento cuantitativo
- Hidráulica local muy favorable → Potencial alto en el valle del Lurín
 - Alta tasa de infiltración
 - Amplio espacio en zona vadosa para almacenar el agua (sobre todo en el centro del valle)



→ Valle de Lurín: gran potencial para recarga de acuífero (cuantitativo)

ASPECTOS SOCIALES Y LEGALES

Taller con actores sociales

- Fecha: 6 de junio 2024
- 39 participantes: ANA, municipalidades Lurín y Cieneguilla, centros poblados, asociaciones de propietarios de vivienda, Junta y Comisiones de Usuarios, JASS, entre otros
- Objetivo: **Identificar y analizar los aspectos que implicaría la introducción de la Gestión de la Recarga de Acuíferos con agua del río y/o aguas residuales en la cuenca baja del Río Lurín**
- Metodología: Análisis PESTEL, Mesas de trabajo (“world café”)



Resultados del taller con actores sociales

- Político-legal:
 - Marco legal para la infiltración de aa.rr.
 - Monitorear y fiscalizar el cumplimiento de las normas
- Económico:
 - Costo-beneficio
 - Mecanismos de financiación (MERESE)
- Social:
 - Comunicación transparente y difusión
 - Participación de los actores
- Tecnológico-ambiental:
 - Calidad del efluente de PTAR
 - Disponibilidad de terreno en la faja marginal



Evaluación del marco regulatorio peruano

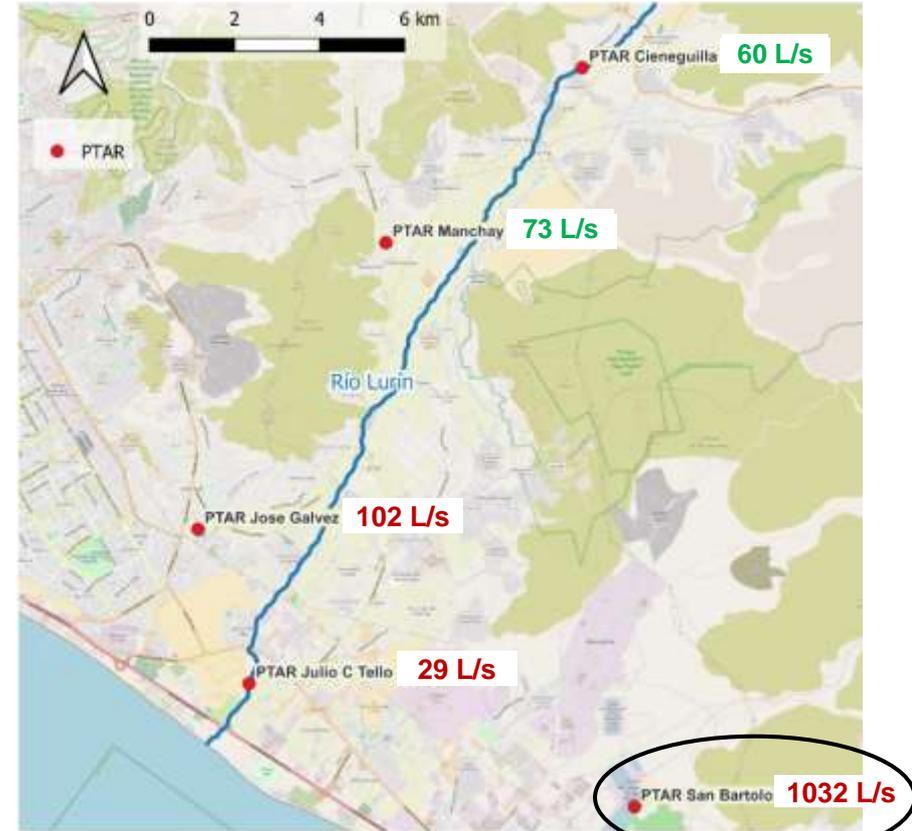


- La recarga de acuíferos está focalizada en la recarga **con excedentes de agua superficial**.
- La recarga de acuíferos **con agua residual tratada** no ha sido regulada por la normativa; no obstante, **no existe restricción** para su implementación.
- La recarga de acuíferos es considerada como **actividad de reúso** del agua residual tratada.
- **No regula los niveles de calidad del agua residual** requeridos para la recarga de acuíferos. → Guías OMS
- **No regula ECA-Agua** aplicables a **aguas subterráneas**. → definición previo análisis del ANA

RESUMEN Y CONCLUSIONES

Potencial Valle del Lurín

- Gran potencial en el valle del Lurín
- Posibles fuentes de agua:
 - Aguas fluviales
 - Río Lurín durante avenida
 - Efluente PTARs
- Espacio requerido para infiltración de aguas residuales tratadas:
 - Ejemplos internacionales:
 - Shafdan, IL <math>< 0,02 \text{ m/h}^*</math>
 - Sonora, MX: $0,2 \text{ m/h}^{**}</math>$
 - Potencial en Cieneguilla: $\sim 1 \text{ m/h}$



*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.

**Escolero Fuentes, Oscar; Gutiérrez Ojeda, Carlos; Mendoza Cázares, Edgar Yuri (2017): Manejo de la recarga de acuíferos: un enfoque hacia Latinoamérica.

Conclusiones generales



1. El **cambio climático** está afectando de manera pronunciada la seguridad hídrica.
2. Los **excedentes de agua de los ríos** y las **aguas residuales tratadas** son fuentes de agua valiosas que pueden y deben ser aprovechadas de manera más eficiente.
3. La **Gestión de la Recarga del Acuífero (MAR)** es una tecnología aplicada con éxito a nivel mundial.
4. MAR permite **almacenar los excedentes de agua (de ríos) y efluentes de PTARs** no aprovechados en el acuífero y de esta manera aumentar la disponibilidad de agua a largo plazo.
5. MAR es una solución **rentable en costos de inversión, operación y energía**; es una alternativa a la construcción de represas y/o conducciones de agua a larga distancia.
6. La **planta piloto NEWA-LIMA**, implementada con el apoyo de SEDAPAL, ha demostrado la viabilidad técnica y ambiental de MAR en el Valle del Lurín.
7. Las condiciones locales permiten **altas tasas de infiltración** (poco terreno requerido).
8. El paso por el suelo permite una **depuración efectiva** (sobre todo remoción de patógenos resistentes al Cloruro).

Conclusiones para el escalamiento

- El Valle del Lurín ofrece un **gran potencial** para la **Gestión de la Recarga de Acuíferos (MAR)**.
- Fuentes de agua disponibles son los **excedentes de agua del río** en la época de avenida y los **efluentes de las PTARs**.
- La **aceptación social** es un factor clave para el éxito de cualquier proyecto de gestión hídrica.
- Es necesario **considerar a la población aledaña** en todas las etapas de un proyecto.
- La normativa **no restringe la implementación** de proyectos de Recarga de Acuíferos con agua residual tratada.
- La normativa vigente **no regula los niveles de calidad** del agua residual requeridos para la Recarga de Acuíferos ni los **ECA-Agua** aplicables a las aguas subterráneas.





MUCHAS GRACIAS!

M.Sc. Katharina Fesch

Telf. +49 721 9678-228

correo electrónico: katharina.fesch@tzw.de

Dr. Stefan Stauder

Telf. +49 721 9678-122

correo electrónico: stefan.stauder@tzw.de

Ing. Christian D. León

Telf. +49 711 685-83974

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

