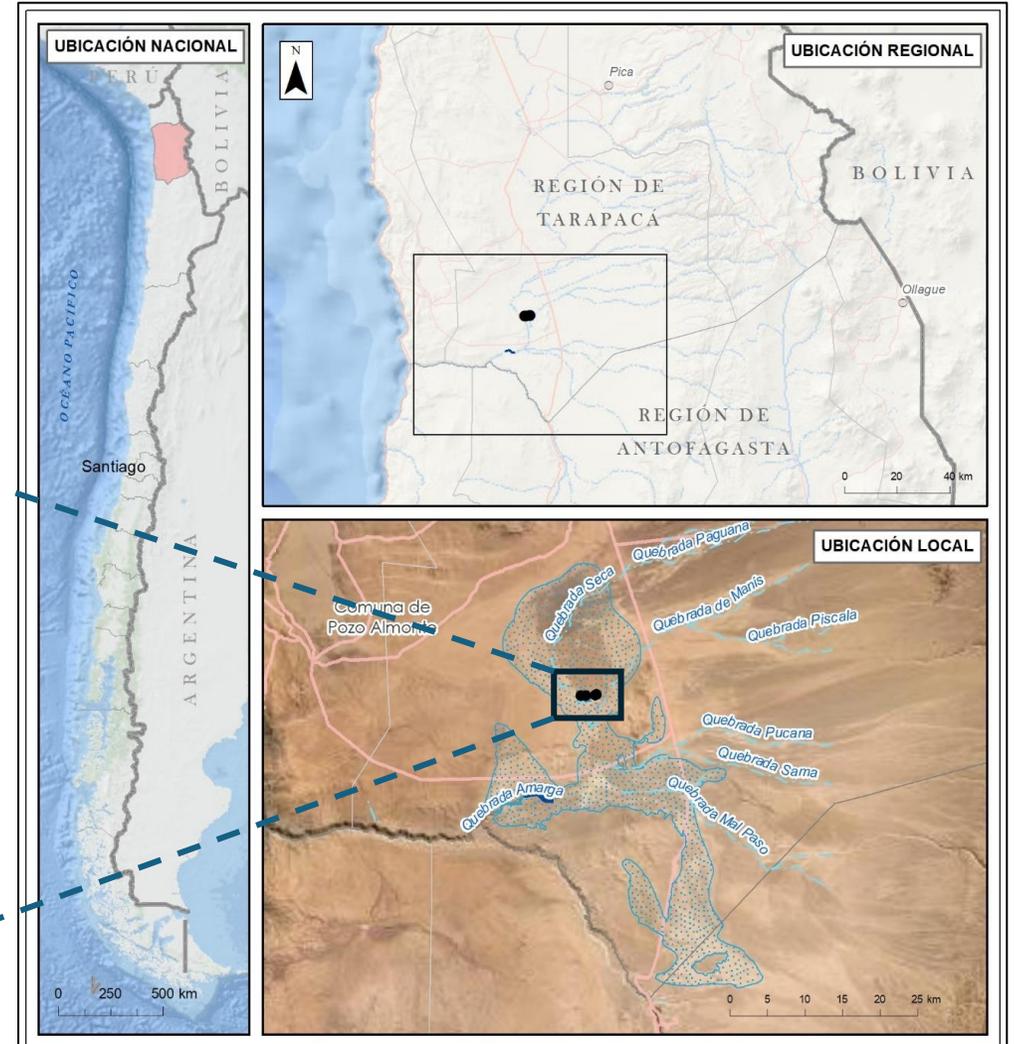
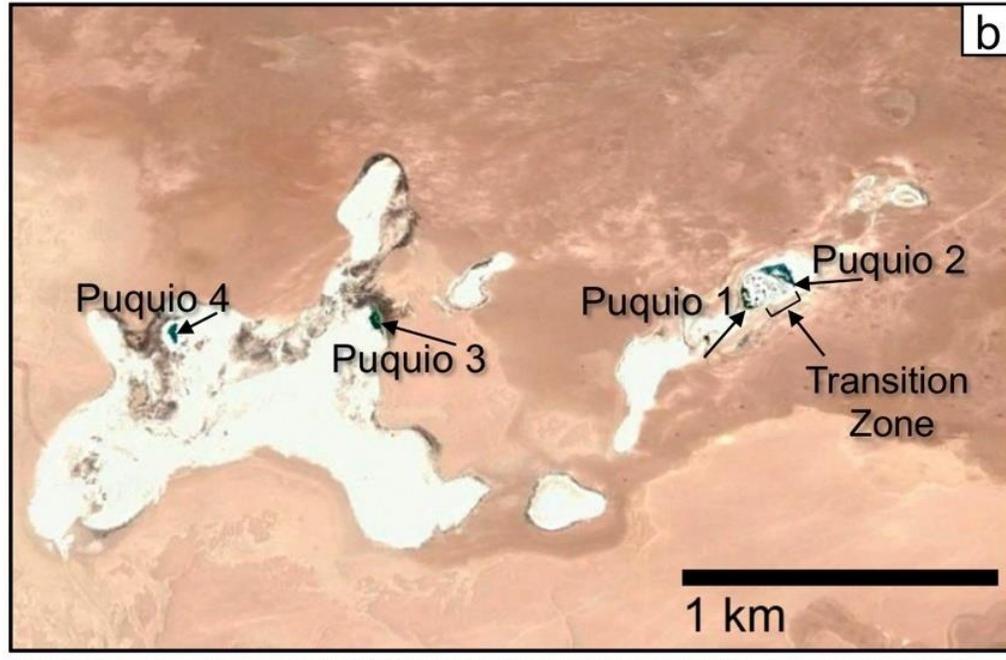


***Doce años de reinyección  
en el acuífero del Salar de  
Llamara, lecciones para  
los proyectos futuros***

*Cristian Ortiz (Hidroestudios)  
Jacques Wiertz (SMI-ICE-Chile)*

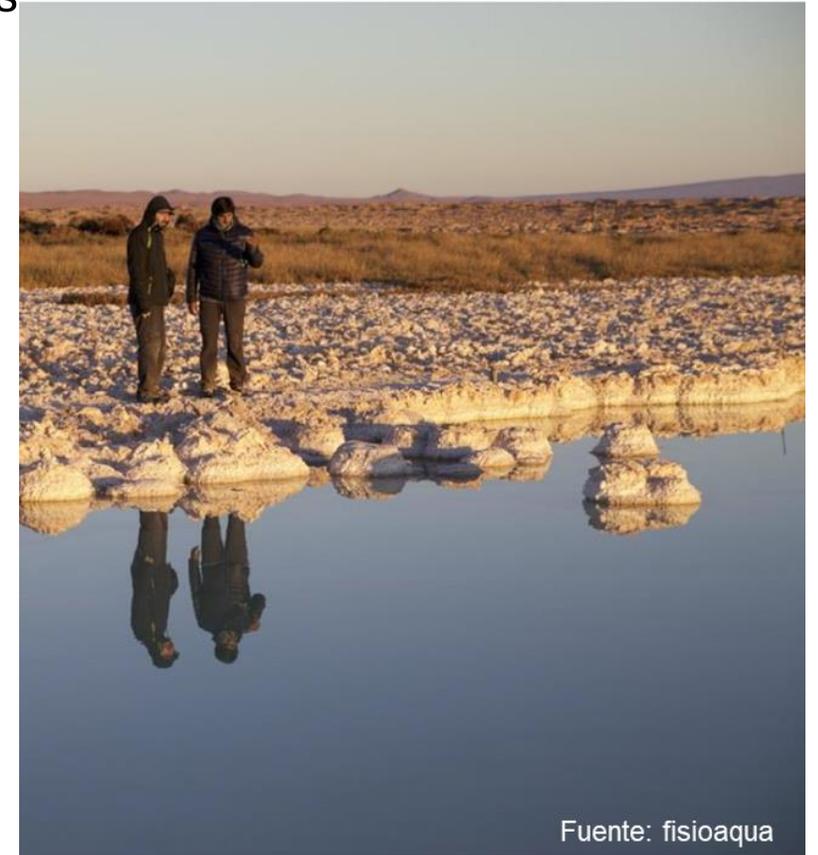
# Contexto

- Salar de Llamara, Región de Tarapacá
- Bombeo de agua desde el acuífero para operaciones mineras
- Potencial afectación de los Puquios



# Puquios del Salar de Llamara

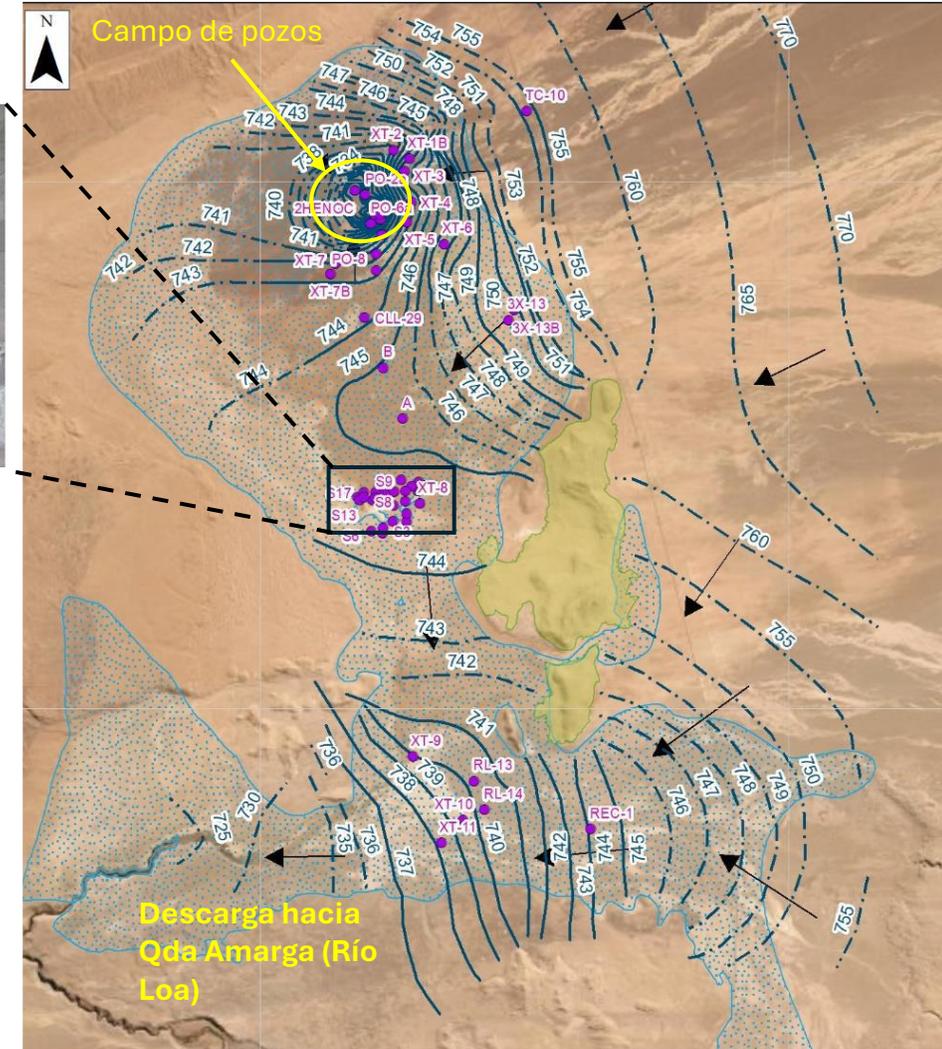
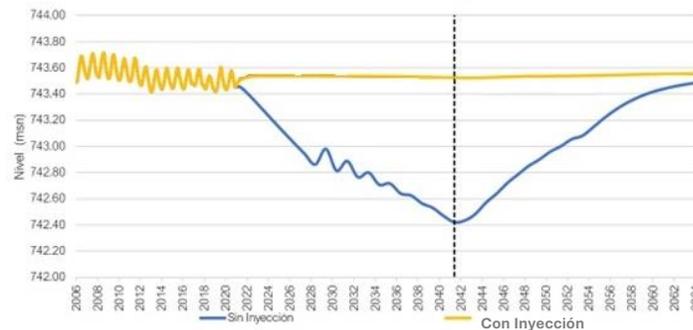
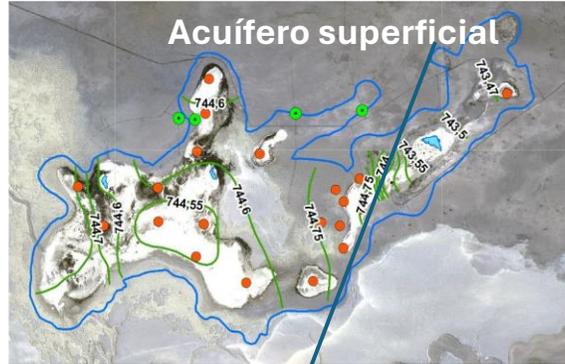
- Son hundimientos de la superficie del terreno, expresión del acuífero
- Lagunas hipersalinas que constituyen un importante ecosistema para la biota, especialmente para microorganismos que viven en el agua y al fondo de los puquios
- Microorganismos extremófilos, con formaciones de estructuras denominadas Bioevaporitas



Fuente: fisioaqua

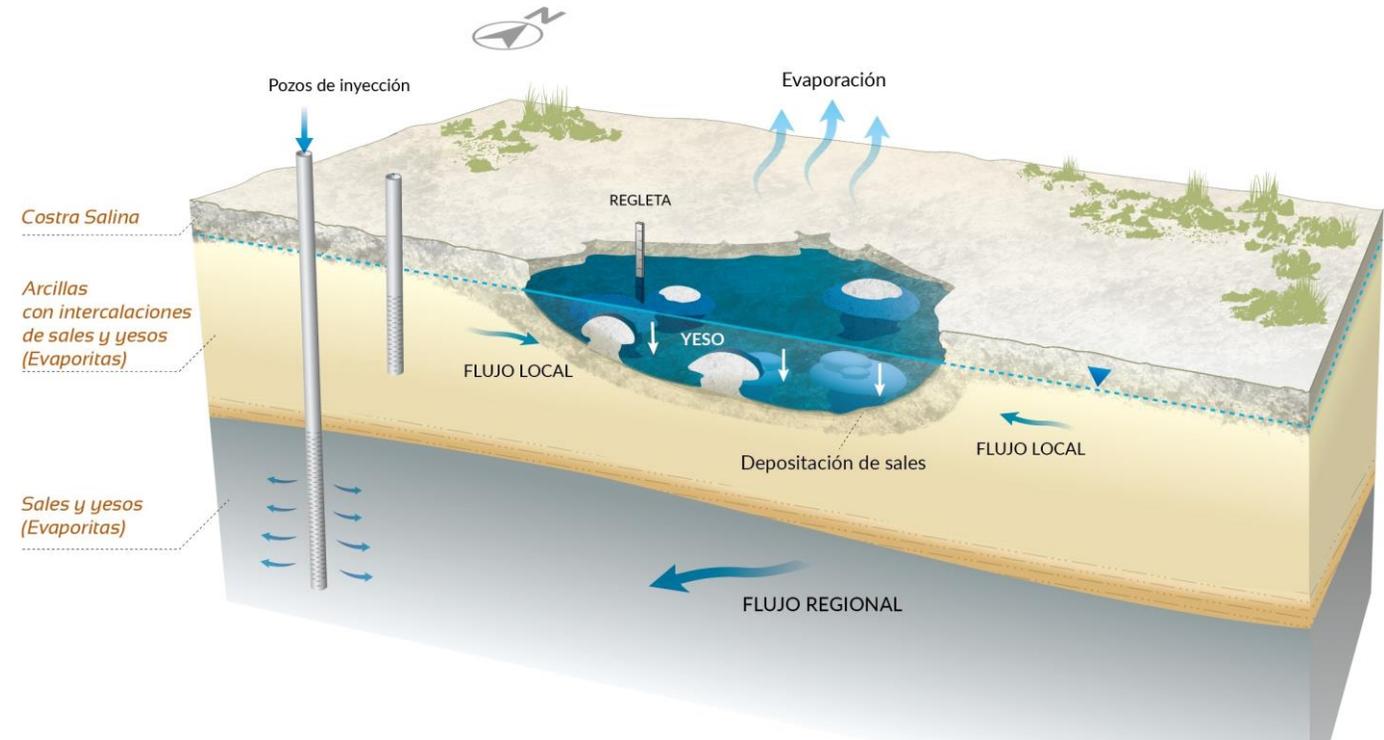
# Modelo conceptual y medida de mitigación

- Recarga proviene desde lluvias en la cordillera de Domeyko
- Flujo subterráneo NE → SO
- Descarga por evaporación y afloramientos en la Quebrada Amarga
- **Medida de mitigación:** pozos de inyección:
  - Mantener el nivel de agua en los Puquios
  - No afectar la calidad del agua de los Puquios
- Agua subterránea será reemplazada por agua de mar el 2028, se espera la recuperación de los niveles



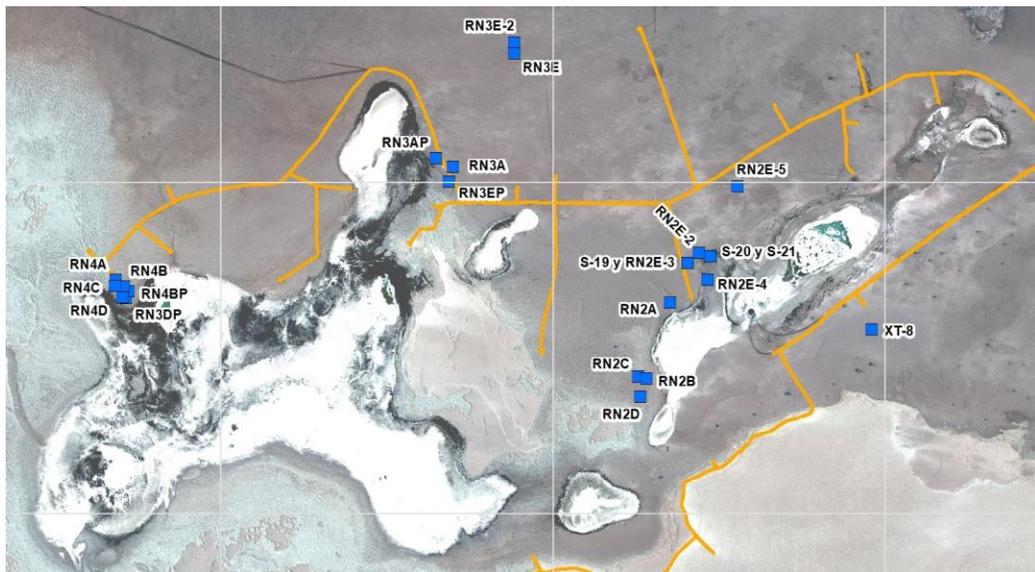
# Medida de mitigación

- Inyección de agua para mantener los Puquios y su biota
- Principales desafíos:
  - El agua de inyección presenta concentraciones menores que el agua de los Puquios
  - Se requiere mantener el nivel de agua, sin alterar la calidad hidroquímica de los Puquios
- Modelos:
  - Numéricos hidrogeológicos
  - **Hidrogeoquímicos**
  - Estocásticos

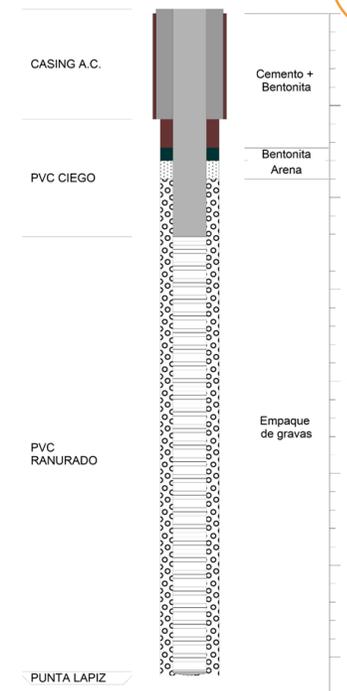
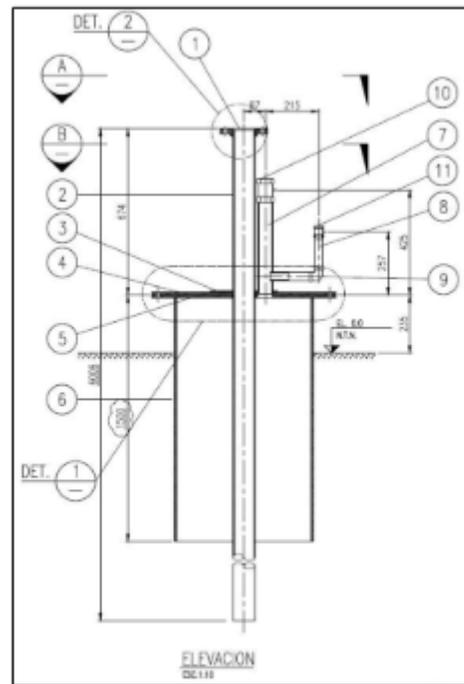


# Pozos de reinyección

- Existen actualmente 13 pozos de inyección de profundidades variables entre 20 y 40 metros
- Ubicados aguas arriba de cada uno de los puquios
- Diseño especial de los pozos → Manifold de inyección

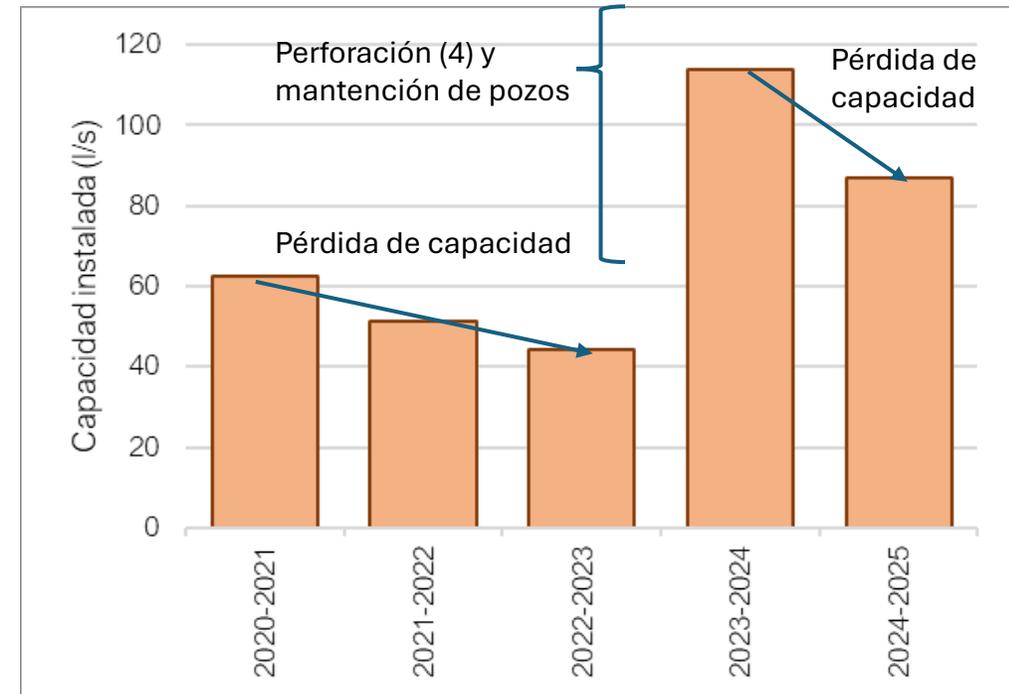
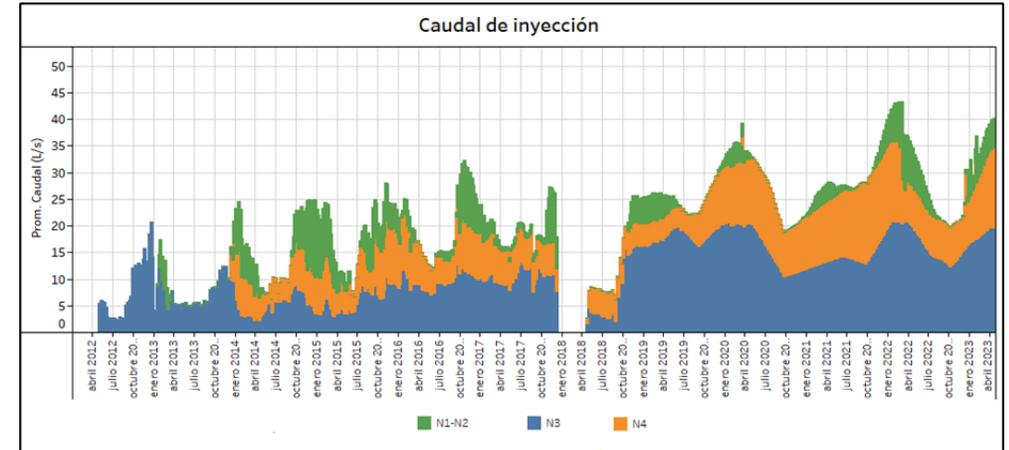


## Manifold de inyección



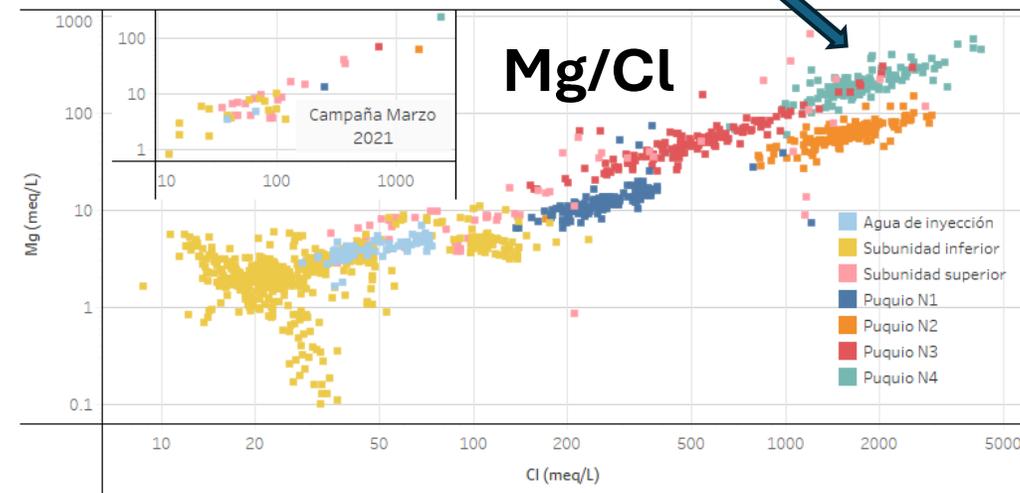
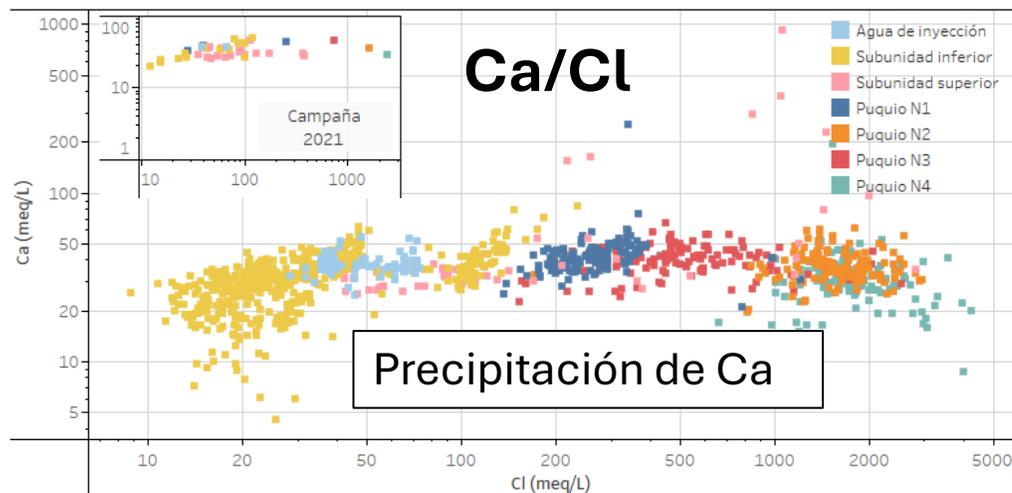
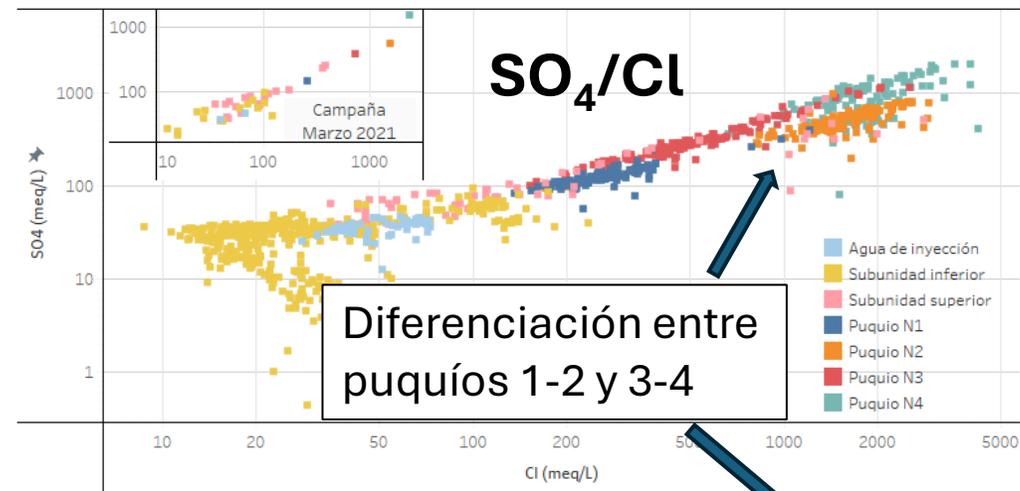
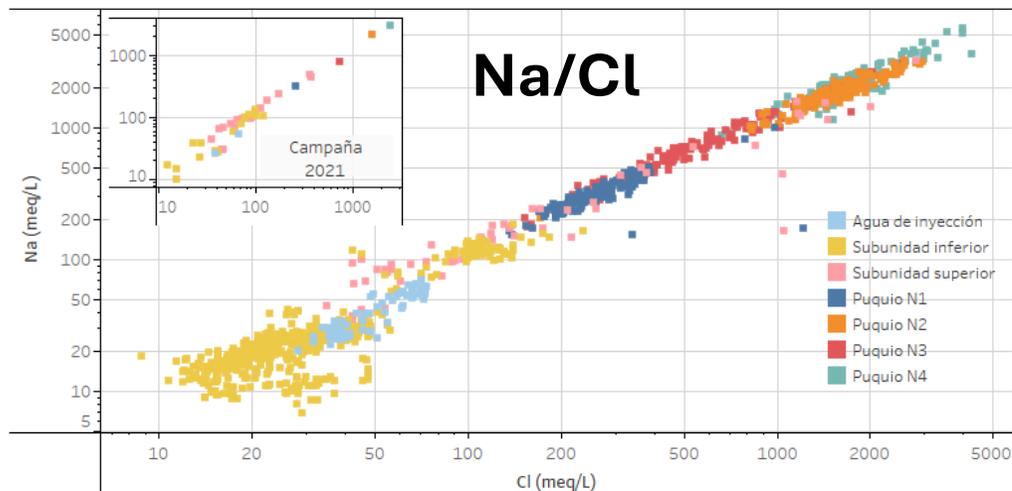
# Operación y mantenimiento de la reinyección

- El caudal de inyección es variable en función de regla de operación:
  - Determinado en función de la evaporación y del nivel predicho del acuífero (descensos)
  - Se predice la calidad química esperada en los puquios
- Existe pérdida en la capacidad de inyección, por colmatación de las cribas
- Principalmente debido a la precipitación de sales
- Se requieren mantener y reperforar pozos



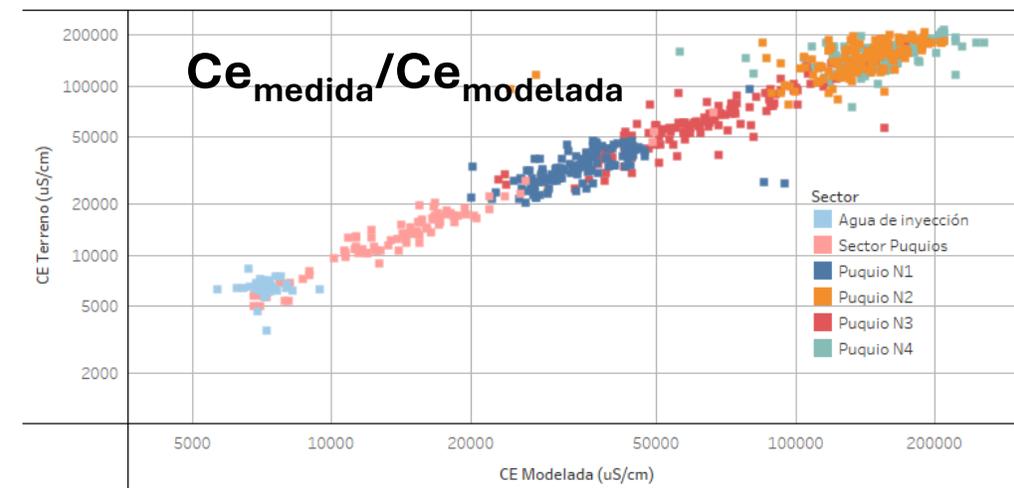
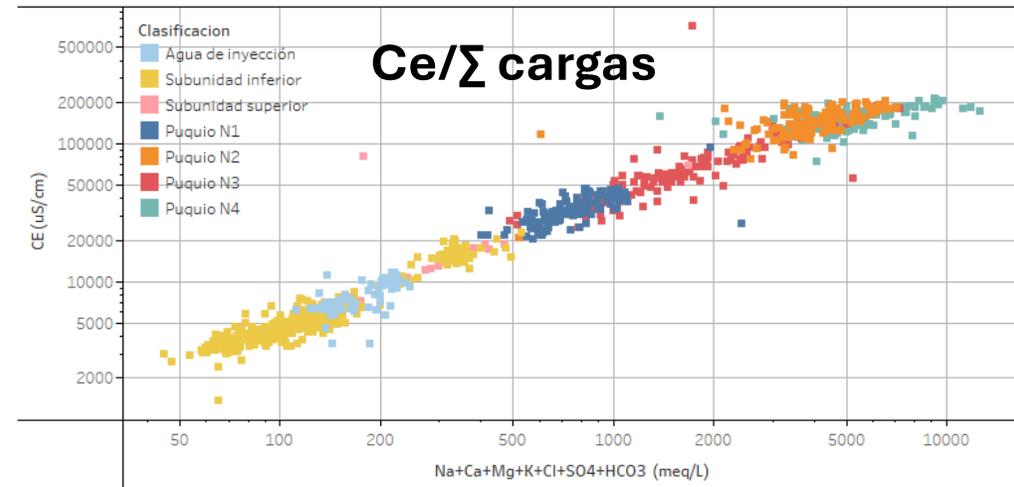
# Hidroquímica

## Elementos y compuestos conservativos y no conservativos



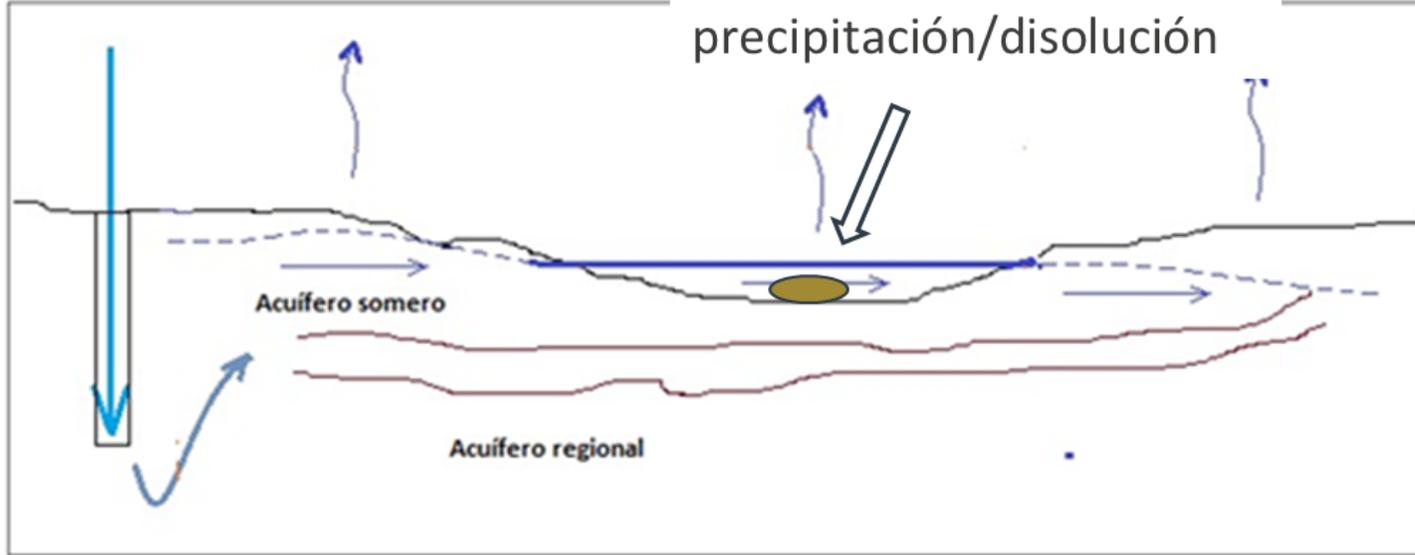
# Hidroquímica

- La composición de todas las aguas analizadas es ingresada en PHREEQC con sus iones mayoritarios.
- Se valida que los iones mayoritarios se pueden correlacionar con la Conductividad Eléctrica.
- Se valida además que el valor de conductividad eléctrica calculado por PHREEQC es similar al valor medido en terreno.



# Modelo Hidroquímico

Se incluyen procesos de precipitación/disolución

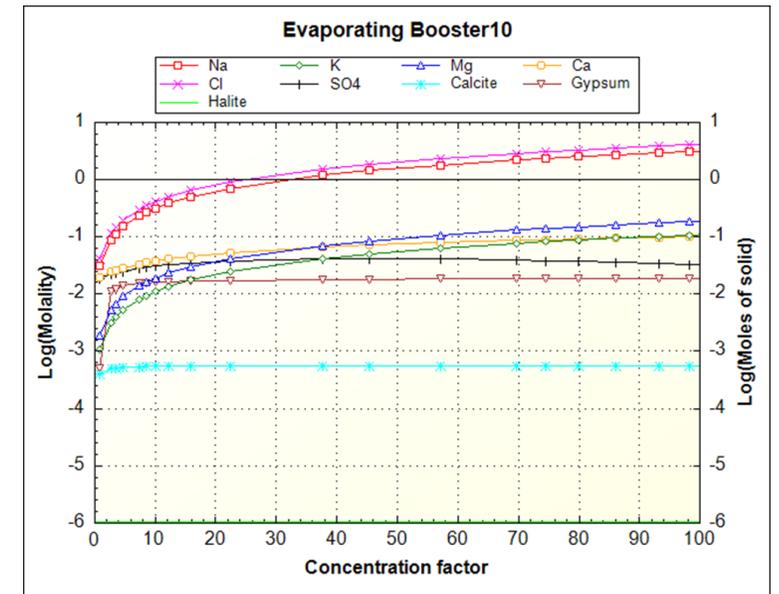


Fuente: Hidroestudios, 2020.

- Con PHREEQC, se construyen curvas de concentración de las especies disueltas para distintos “factores de concentración”
- Se calcula para estos mismos factores de concentración la CE y se determinan las fases minerales precipitadas

Modelo de balance de masa con flujos, evaporación precipitación y disolución

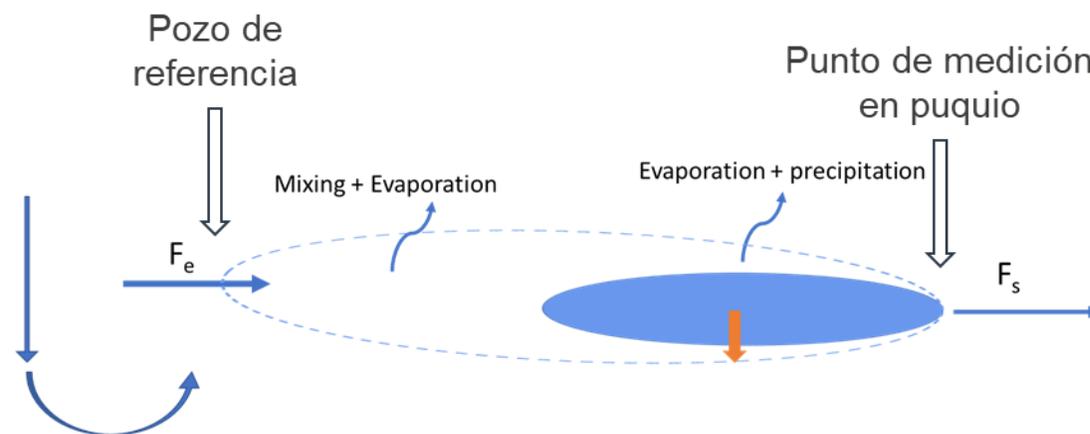
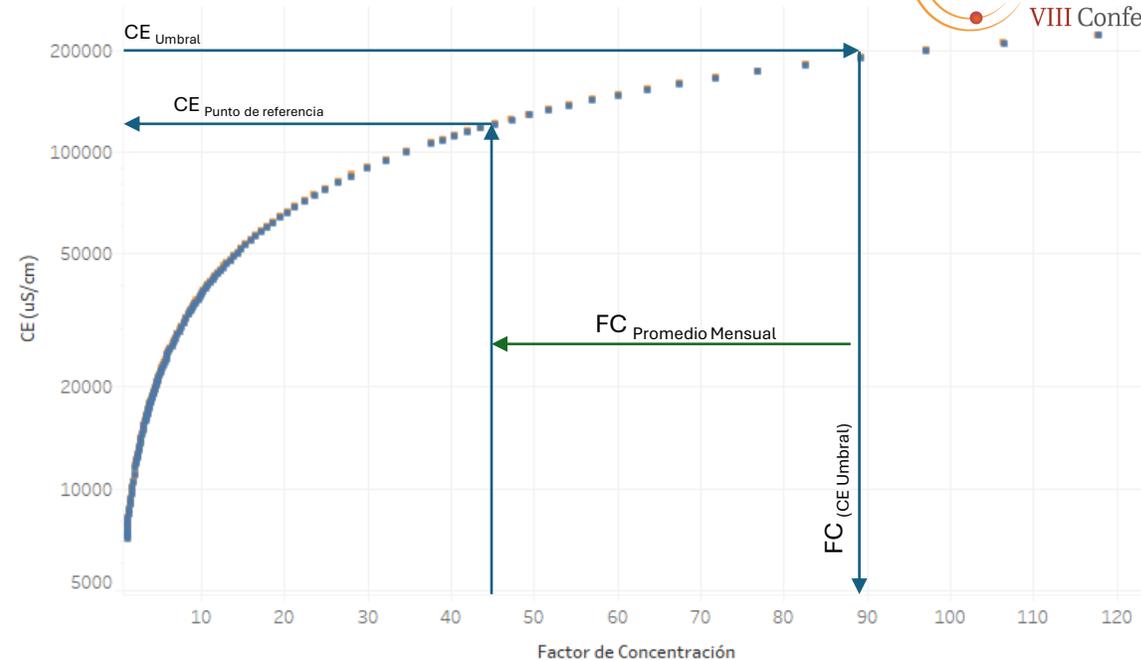
La modelación considera no solamente la conductividad sino también los principales iones que participan en las reacciones de precipitación/disolución



# Modelo Hidroquímico

- Se calculan los Factores de Concentración entre ambos puntos que permiten explicar las Conductividades Eléctricas históricas observadas.
- Previamente se determinaron los valores umbrales requeridos para mantener la biota.
- A través de los Factores de Concentración mensuales, se evalúa la Conductividad Eléctrica en el punto de referencia para asegurar que esta se mantenga dentro de los umbrales en los Puquios.

ZHENOC



# Comentarios finales

- La reinyección es un desafío relevante para futuros proyectos de litio
  - Operación, dilución de la mina, efectos ambientales
- Existe experiencia en Chile reinyectando soluciones salinas en acuíferos

## **Desafíos:**

### **Estudios previos:**

- Se deben desarrollar modelos numéricos hidrogeológicos que permitan optimizar la ubicación de los campos de pozos de inyección y que permitan evaluar efectos ambientales
- Se deben implementar modelos hidrogeoquímicos para evaluar problemas en la operación de los pozos (precipitación de sales) y sobre el acuífero (mezcla de salmueras de distintas calidades)

### **Diseño y construcción:**

- Requiere diseño y construcción de pozos especializados

### **Operación:**

- Se debe considerar la mantención periódica y el reemplazo de los pozos en el tiempo

Gracias