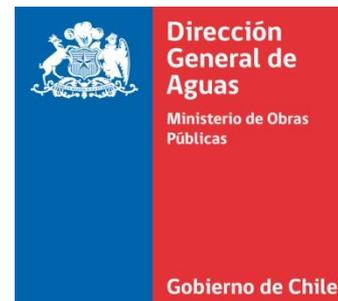




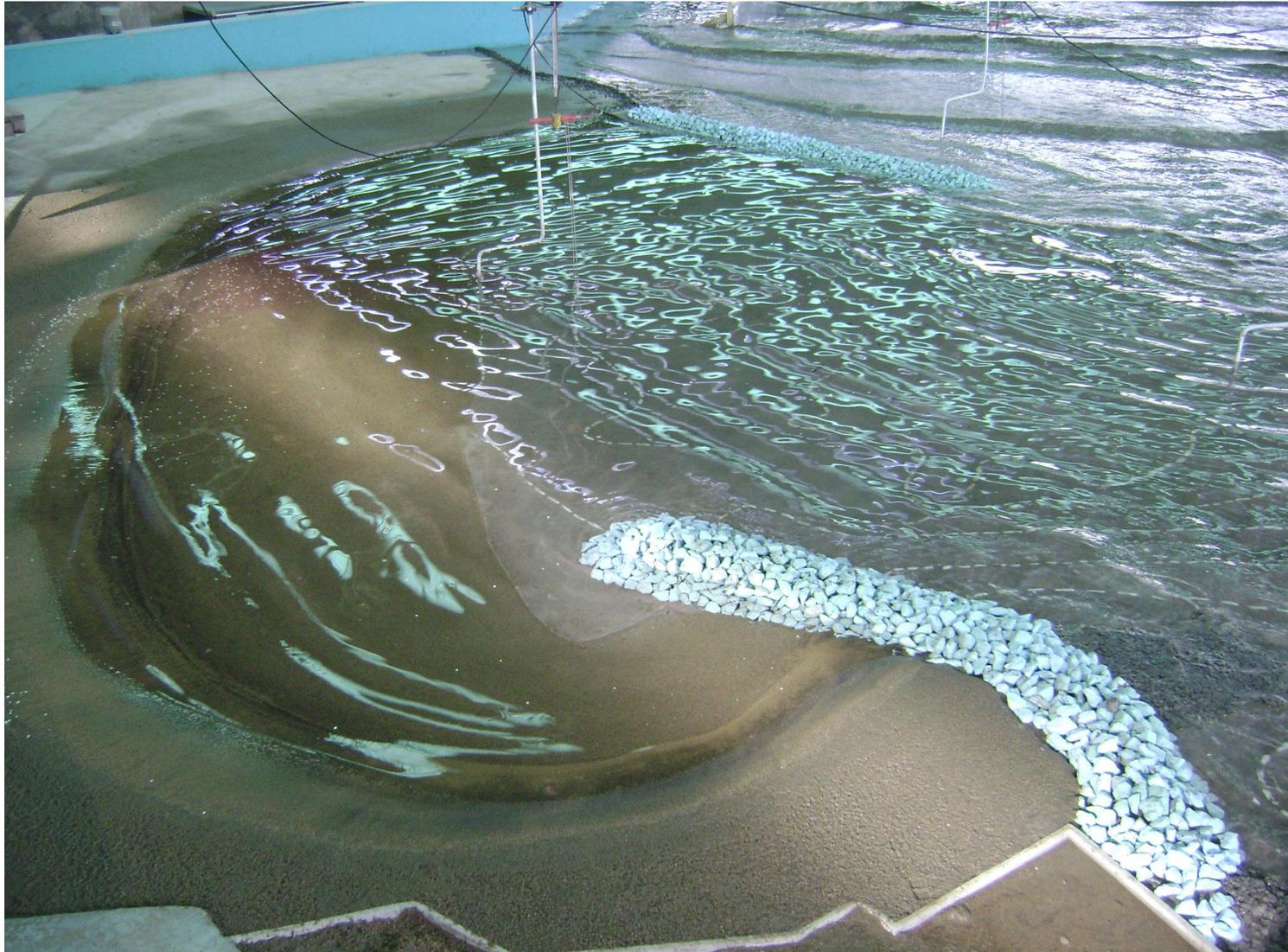
CARACTERIZACION DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JOSÉ PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUIFEROS



ARICA Y PARINACOTA
G O B I E R N O R E G I O N A L



LABORATORIO INSTITUTO NACIONAL DE HIDRÁULICA



Proyectos Relevantes Instituto Nacional de Hidráulica

R1. Contribuir mediante la investigación aplicada al diseño de proyectos de infraestructura que aporten al desarrollo del país

Proyecto Modelos Físicos
Parque La Aguada

Proyecto Riesgo Volcánico

Modelo físico y matemático
Río Mapocho

Mediciones Marítimas de
campo

Quebradas de Valparaíso

Modelo matemático Canal
de Chacao

Evaluación de la inundación
rotura de presas

Modelo Físico, rápido de
descarga Embalse Ancoa

Construcción Canal de Olas
Bidimensional

R2. Contribuir a la mitigación de los desastres naturales, efectos de la sequía y el cambio climático.

Sistema de
Información para
monitorear cambio
climático en Lluta

Recarga artificial
de acuíferos Río
San José

Evaluación de la
vulnerabilidad de recurso
hídrico subterráneo para
uso agropecuario, Río
Changaral

Implementación de
un Laboratorio
Simulación Tsunami

R3. Contribuir al aprovechamiento de nuevas fuentes de energías renovables no convencionales.

Proyecto Catastro
recurso energético
Undimotriz zona
centro-sur

Proyecto Catastro
recurso energético
Mareomotriz Canal
de Chacao

R4. Difundir el conocimiento que posee el Servicio.

En estudio
implementar
iniciativas de
capacitación y
formación
profesional.

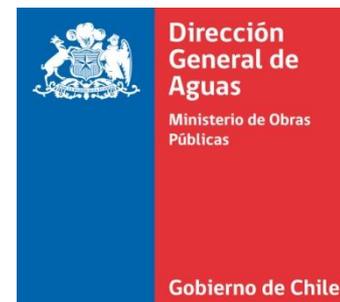
Implementar
biblioteca y archivo
técnico digital para
consulta online



CARACTERIZACION DE LA CUENCA DEL RÍO SAN JOSÉ PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUIFEROS



ARICA Y PARINACOTA
G O B I E R N O R E G I O N A L

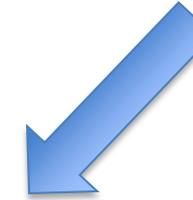


Contenido

- 1. Marco Inicial**
- 2. Descripción proyecto**
- 3. Desarrollo y resultados**
 - 1. Trabajos de Terreno**
 - 2. Zonas de recarga y resultados de modelación**
 - 3. Propuesta de planta piloto para la recarga.**

Aumento de solicitud
de recurso hídrico

Limitada disponibilidad
de agua superficial



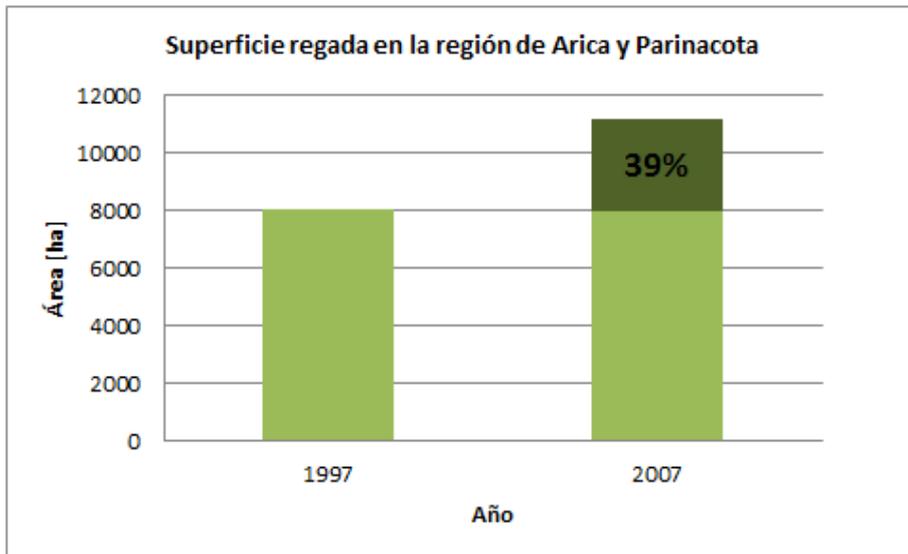
Aumento de la extracción subterránea



Sobreexplotación del acuífero



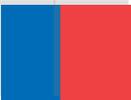
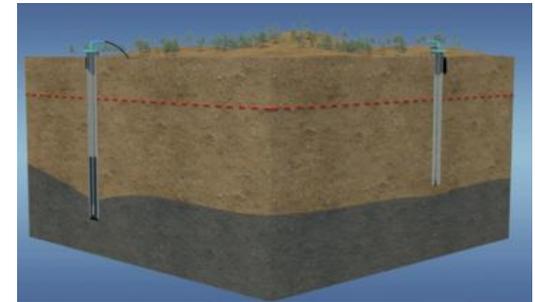
Zona de prohibición, para nuevas
explotaciones subterráneas



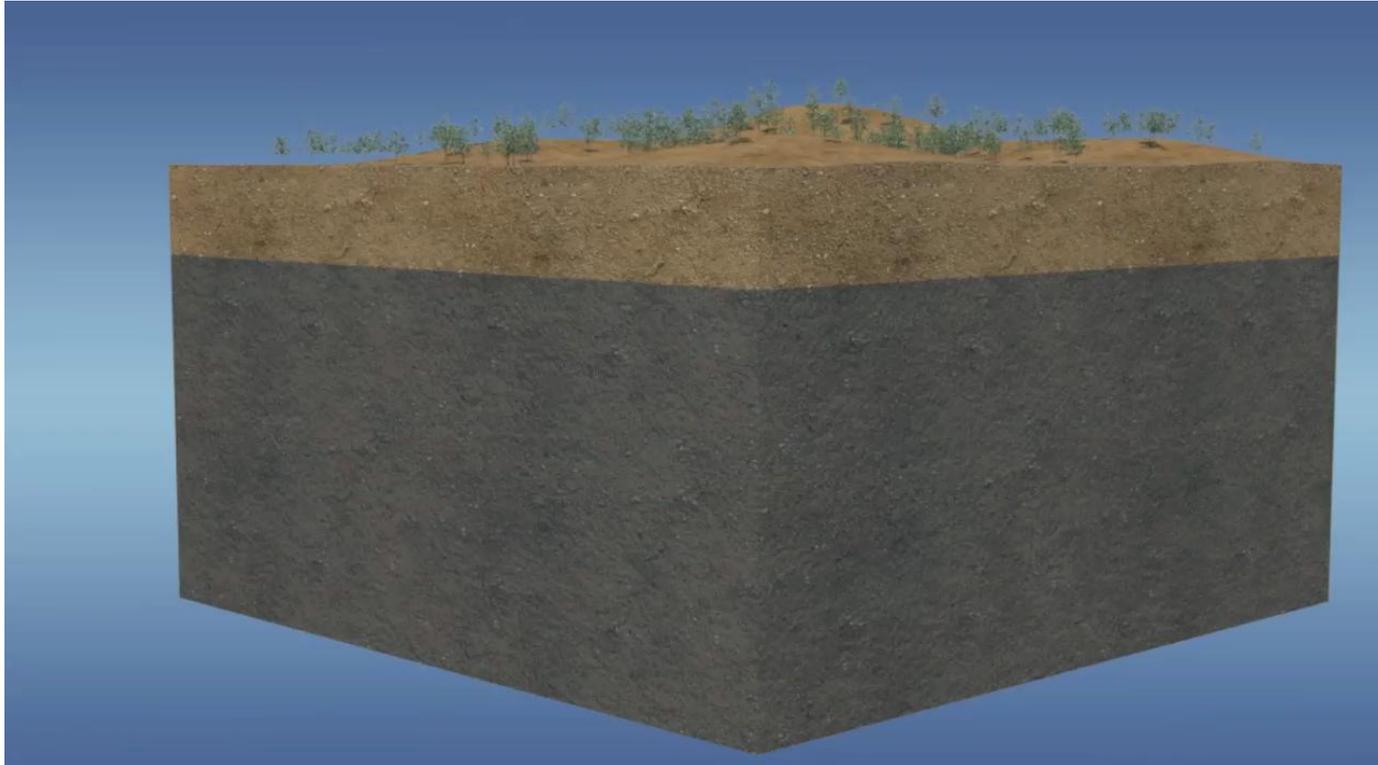
Fuente: INE 1997, 2007

Efectos potenciales de la sobreexplotación

- **Disminución de Caudal de Explotación**
- **Degradación de Calidad de Agua**
- **Salinidad de Suelos**
- **Aumento del valor de las acciones de Agua**
- **Aumento Inversión**



¿Qué es la Recarga Artificial de Acuíferos?



Recargar un acuífero

- Herramienta de gestión hídrica y de gran efectividad con respecto a las grandes obras hidráulicas.
- Aumentar los recursos hídricos subterráneos disponibles.
- La recargar un acuífero pueden agruparse en aquellos que recargan en superficie, así como en métodos de recarga profunda.
- Métodos dependerá de las condiciones particulares de la zona a recargar, la factibilidad técnica, así como de las características del agua de recarga





Descripción del Proyecto





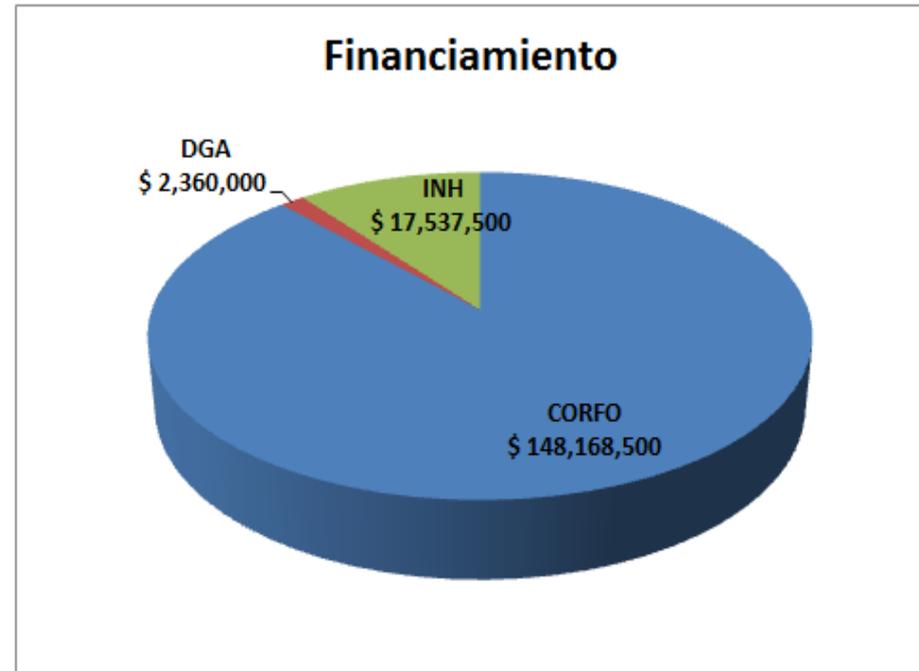
INSTITUCIONES PARTICIPANTES

- Mandante: Gobierno Regional de Arica y Parinacota
- Desarrollador: Instituto Nacional de Hidráulica (INH)
- Co-Desarrollador: Dirección General de Aguas, Arica y Parinacota (DGA)

FINANCIAMIENTO

Monto Total Proyecto
\$168.066.000

Línea de Financiamiento: Bienes Públicos para la Competitividad



OBJETIVO PRINCIPAL

- **Desarrollar un bien público** en caracterizar la Cuenca del Río San José para **identificar las potenciales zonas** para implementar un programa de recarga de acuífero.
 - Generar información técnica respecto a la calidad y la disponibilidad del recurso hídrico disponible para recarga, metodologías de recarga e identificación de zonas de infiltración.
 - Desarrollar modelo hidrogeológico que permita una mejor conceptualización del comportamiento del acuífero en el largo plazo bajo un escenario de recarga artificial.
 - Proponer un diseño a nivel de perfil de planta de recarga a implementar.

Etapas del Proyecto Recarga

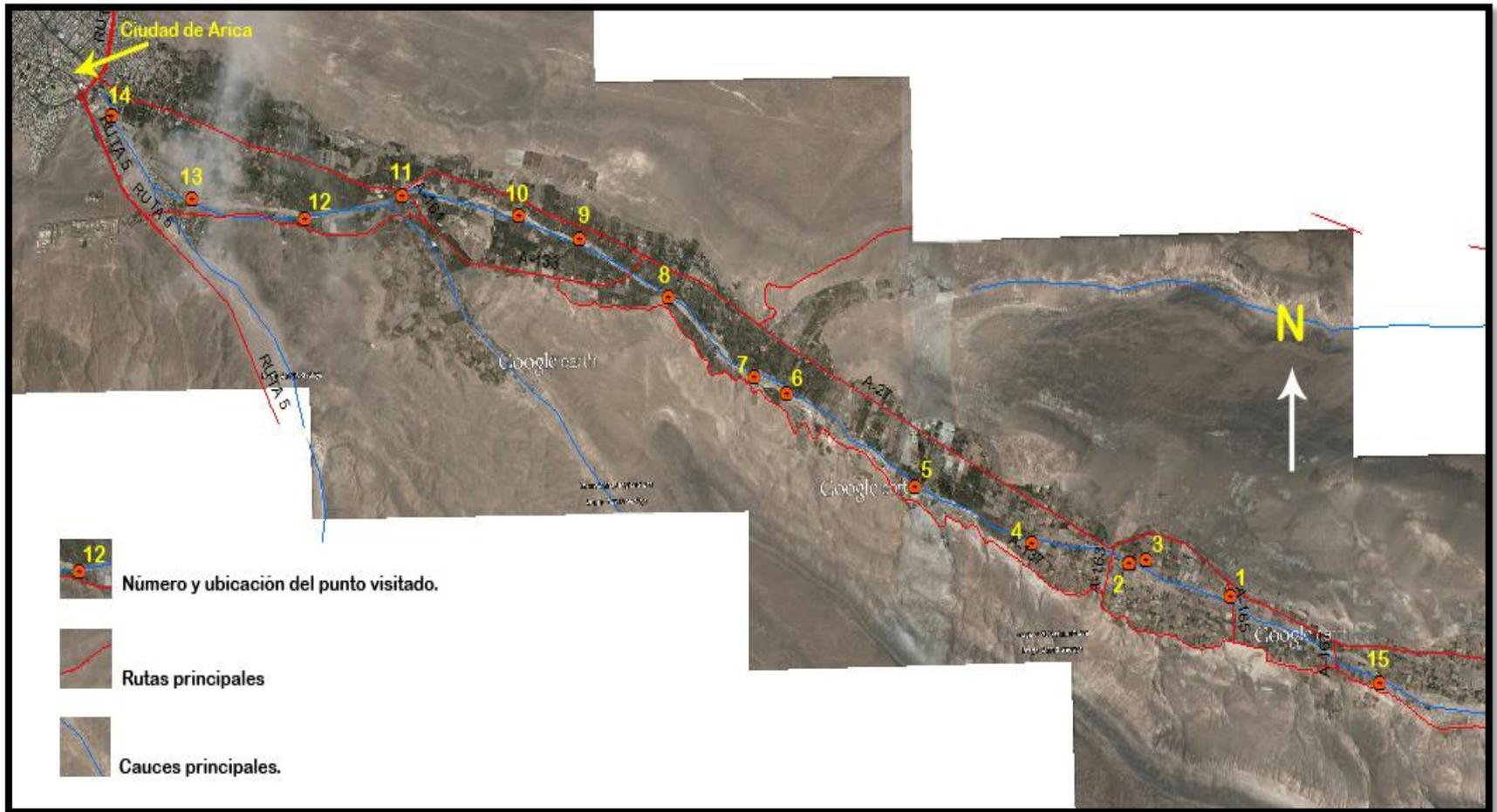




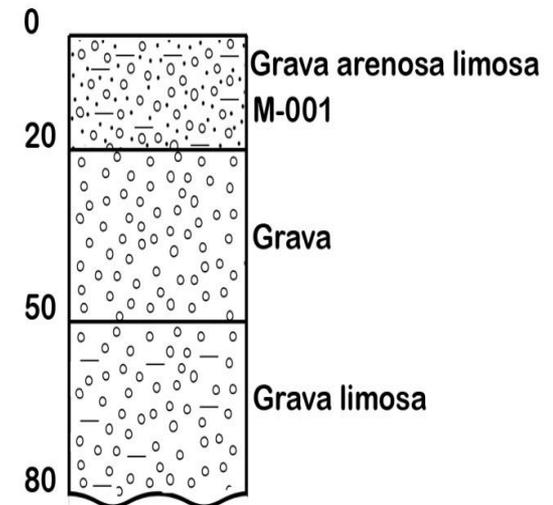
Desarrollo del Proyecto y Resultados



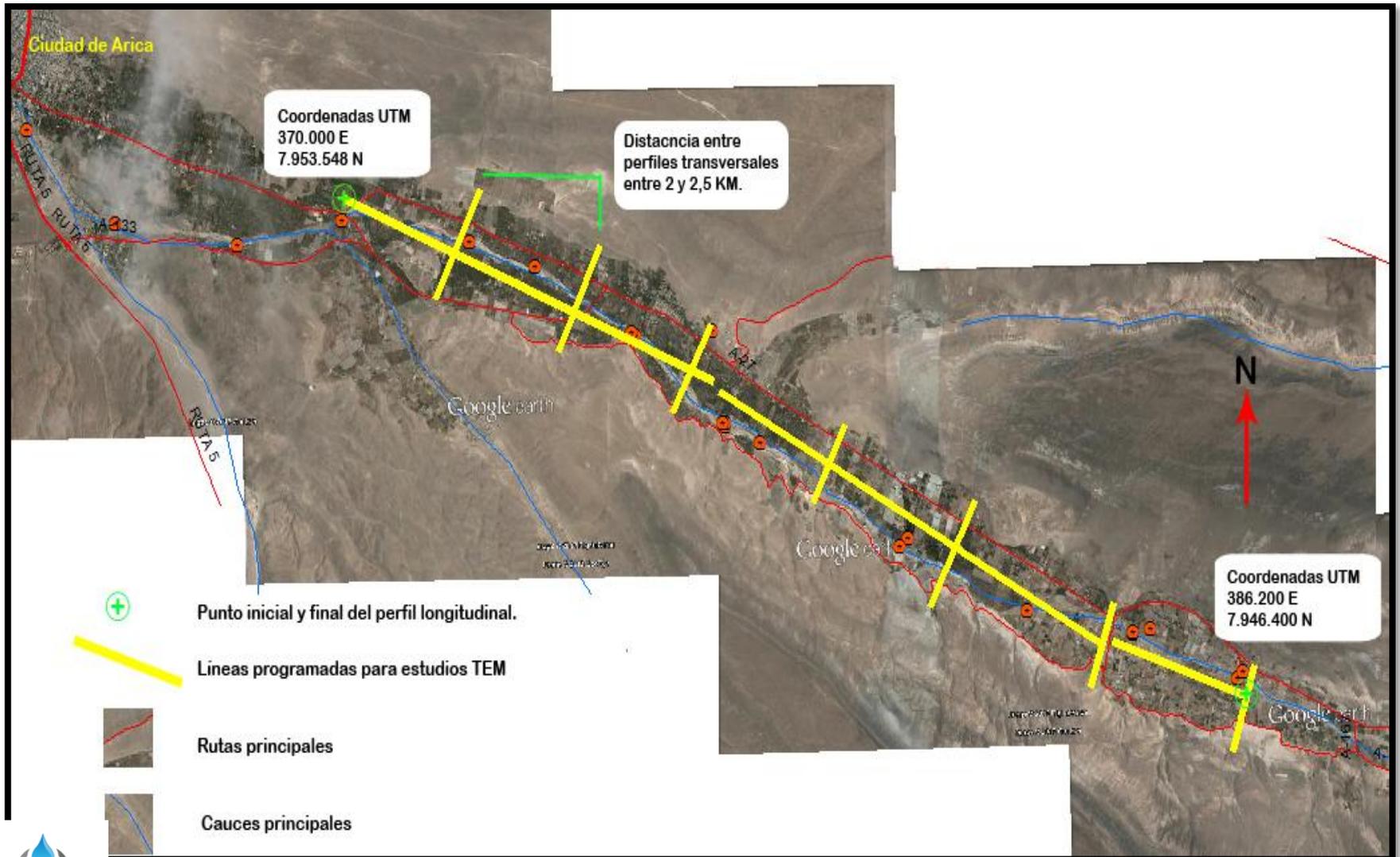
CAMPAÑA RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO EXPLORATORIO



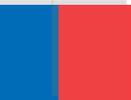
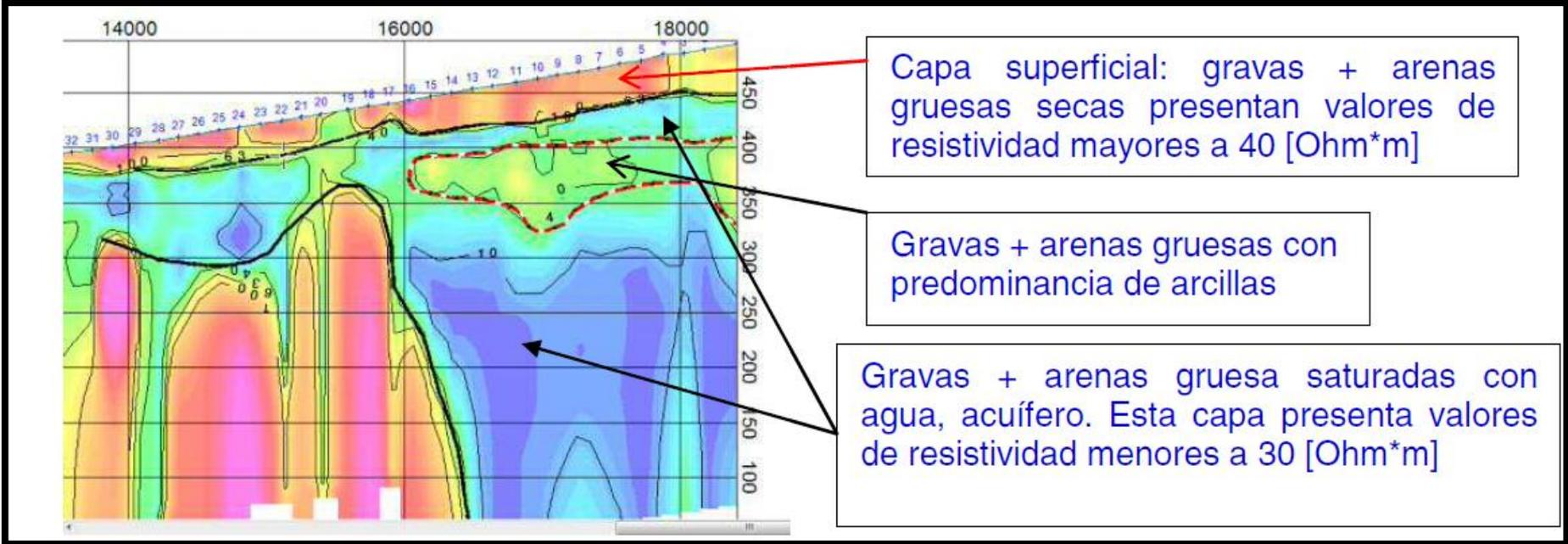
CAMPAÑA RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO EXPLORATORIO



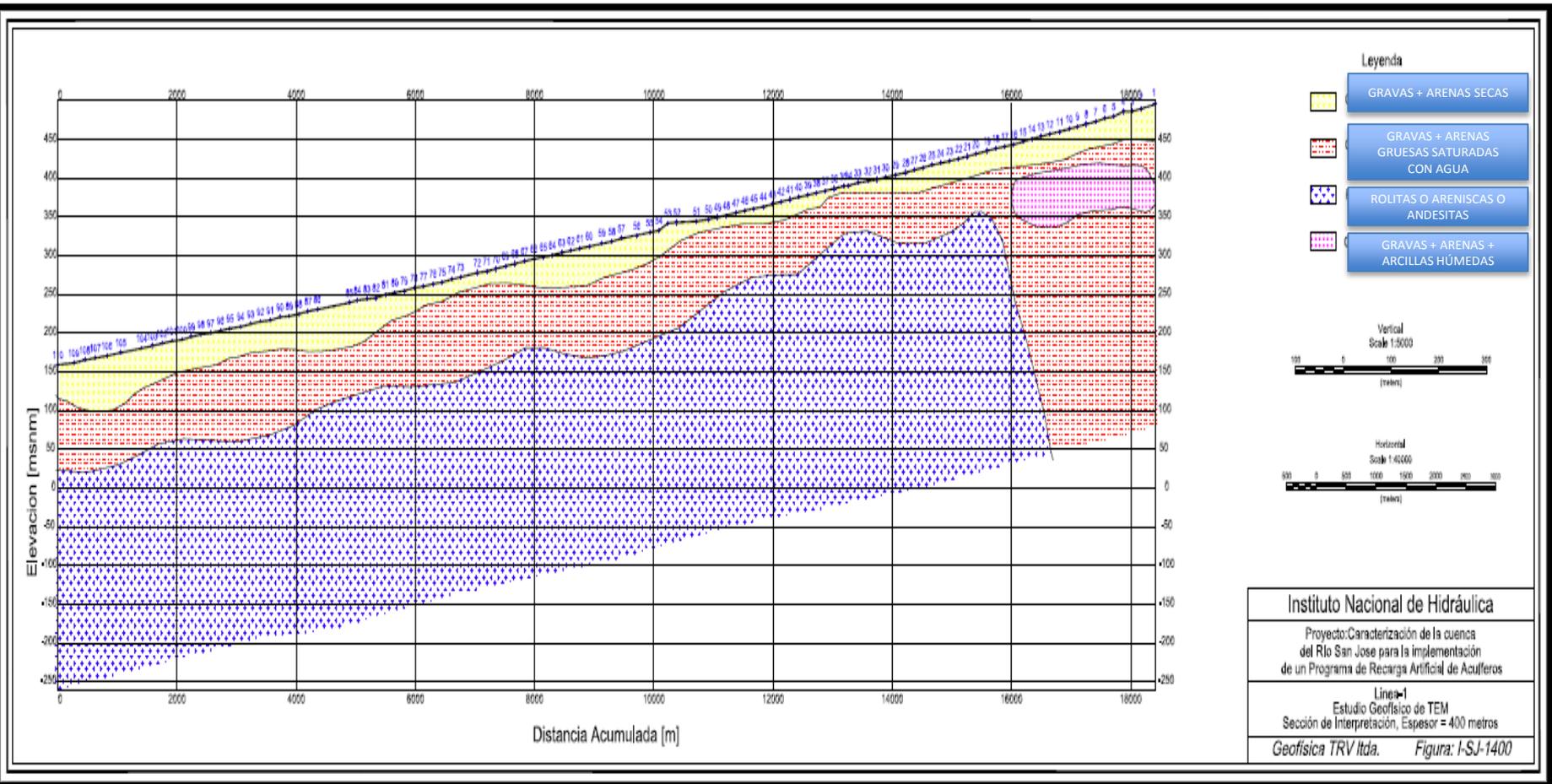
TRAZADO PERFILES TEM (transiente electromagnético)



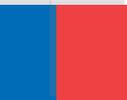
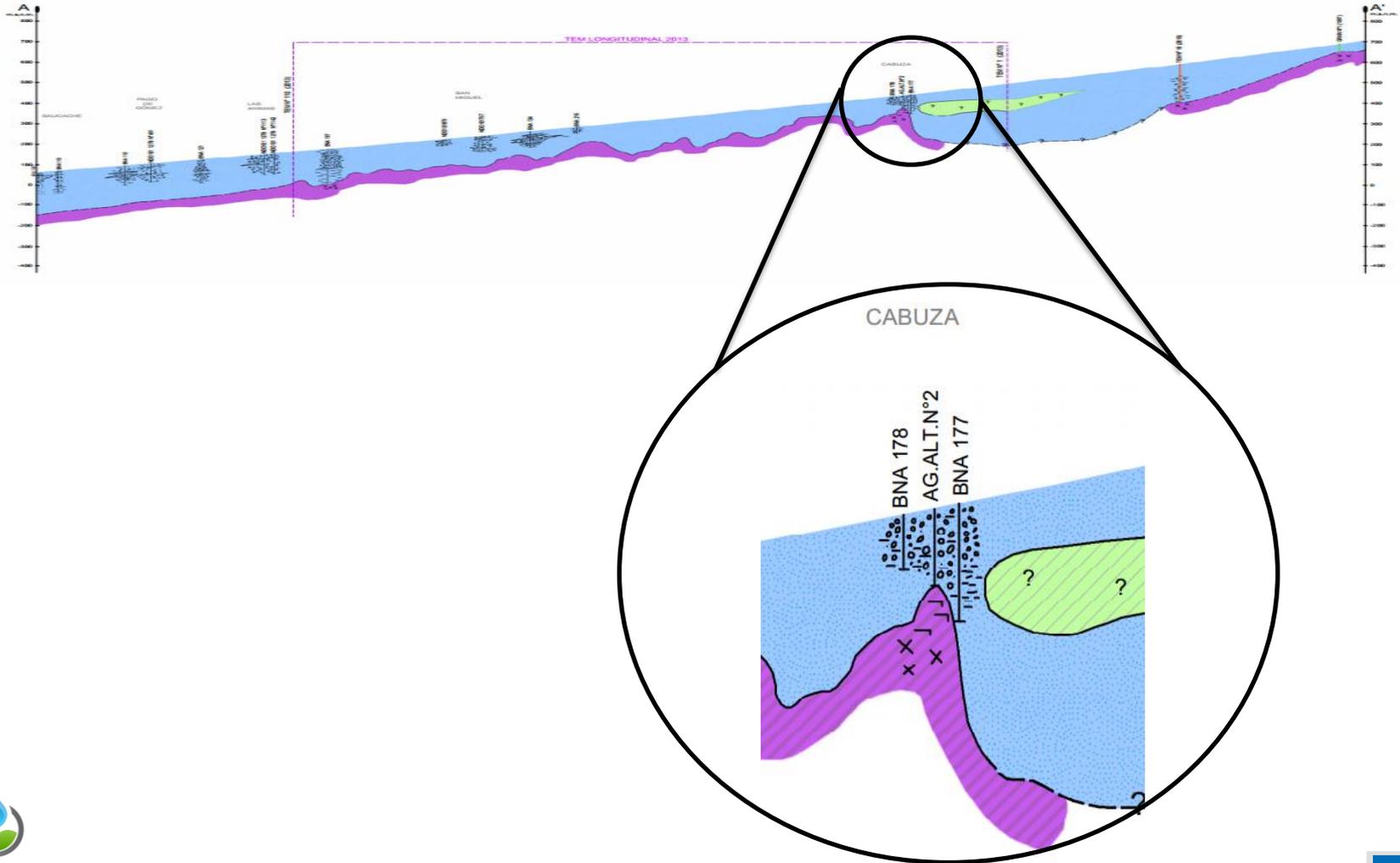
RESULTADOS



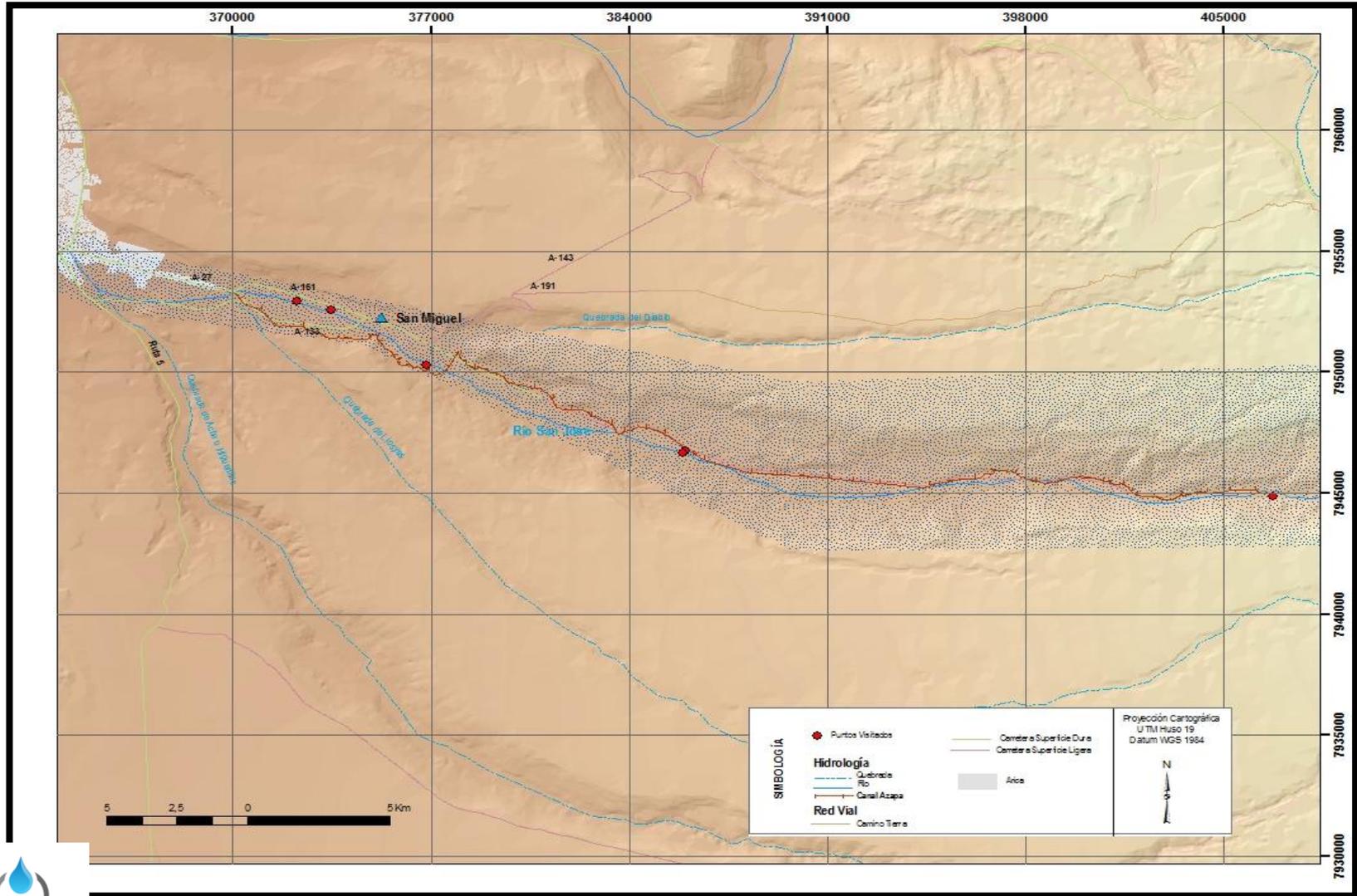
Secciones interpretadas



Perfil hidrogeológico



PRUEBAS DE INFILTRACIÓN



PRUEBAS DE INFILTRACIÓN

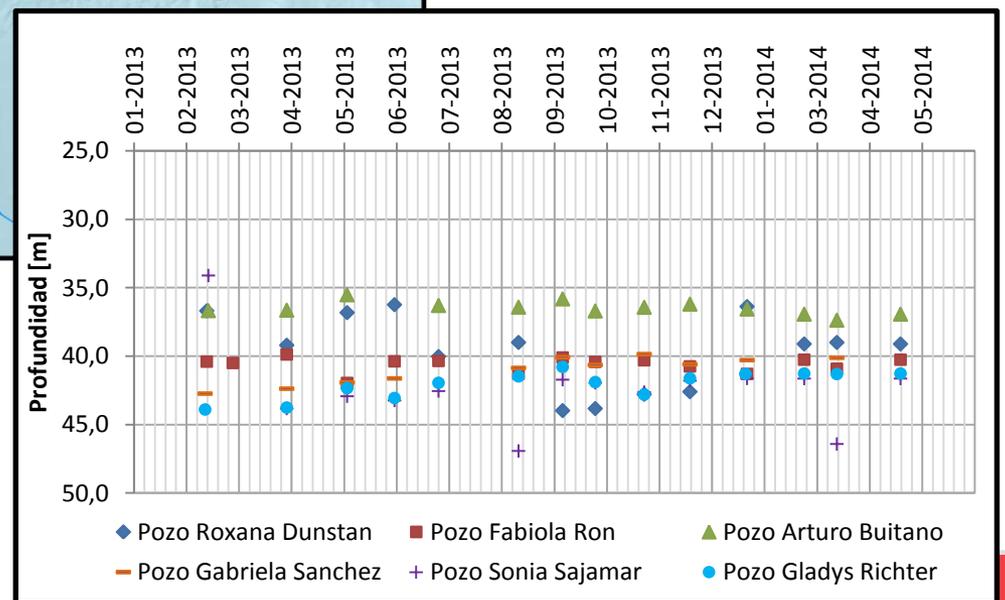
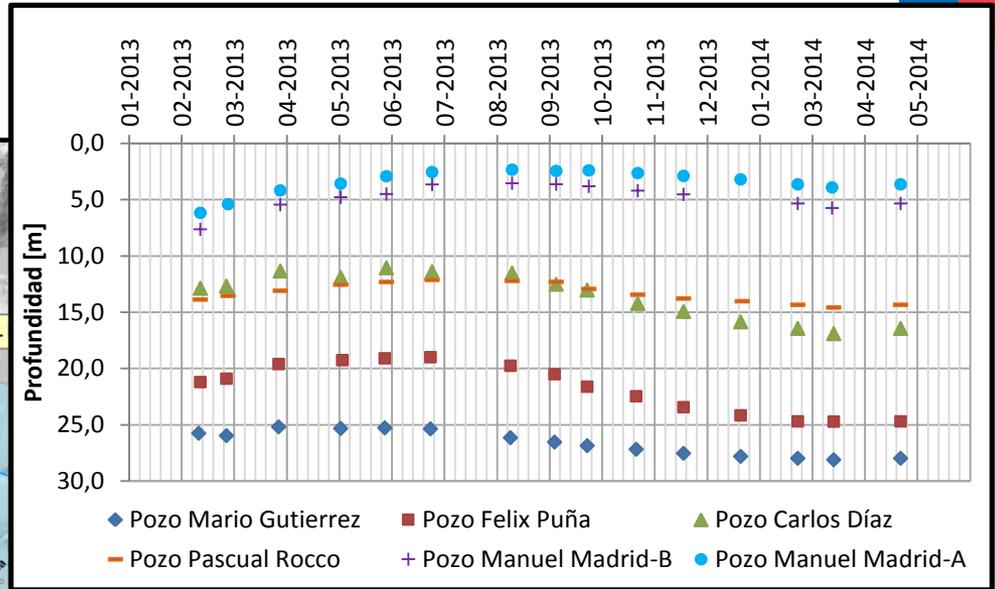
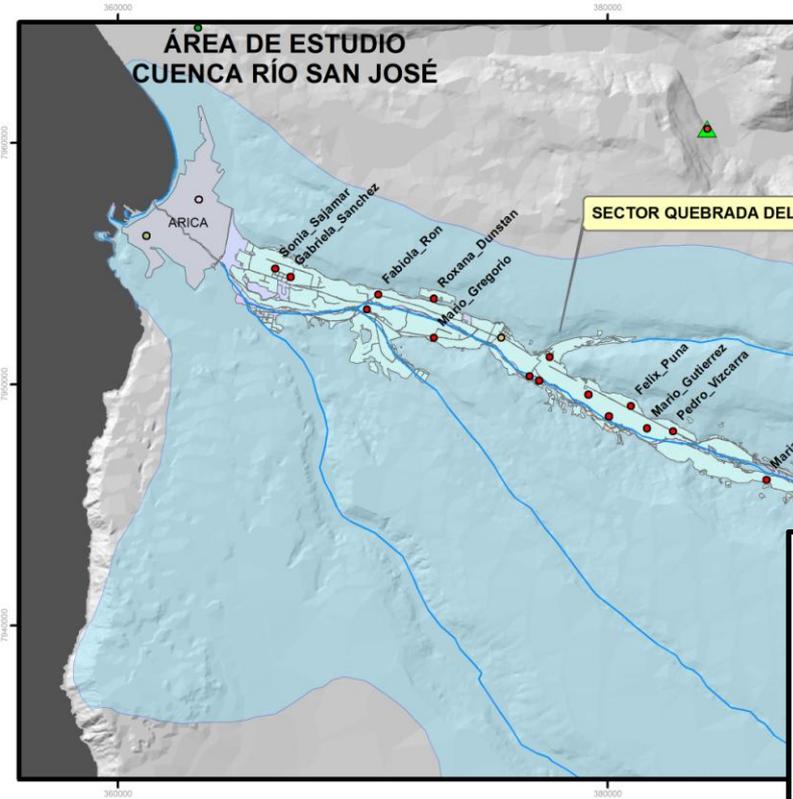


- Tasa infiltración medida es 3.18 [m\dia] zona no saturada.

- Factor de reducción por colmatación

- Tasa infiltración a largo plazo es 0.48 [m\dia]

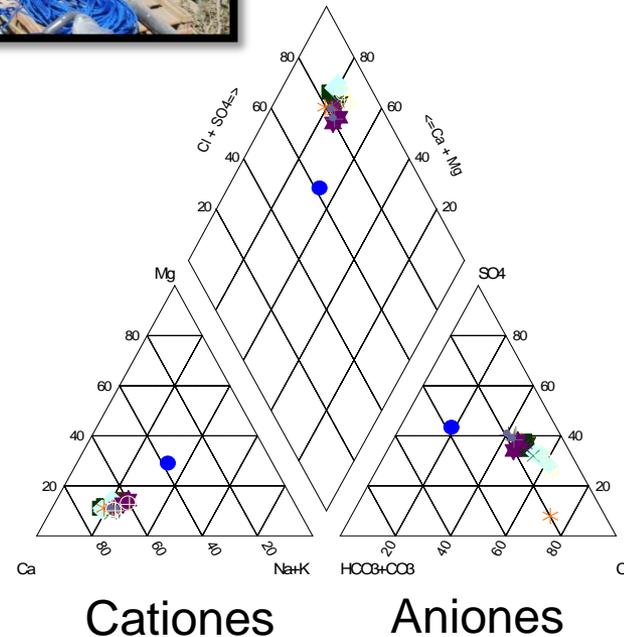
Medición de Niveles



CAMPAÑAS TOMA DE MUESTRAS ANÁLISIS CALIDAD DE AGUAS



- Alta conductividad eléctrica
- Aguas subterráneas se clasifican como Clorurada cálcica.
- Existen concentraciones altas de Boro, Cloruros, Manganeso y sulfatos según norma Nch 1333 of 78



PÁGINA WEB



Desarrollado por



Apoyado por



Mandante

Este sitio web fue desarrollado por el proyecto 12BPC2-13304 "Caracterización de la Cuenca del Río San José para la implementación de un programa de Recarga Artificial de Acuíferos".



PROYECTO INNOVA
RECARGA ARTIFICIAL
Cuenca del Río San José

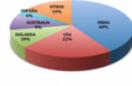
[Inicio](#) [Quiénes Somos](#) [Proyecto](#) [Recarga Artificial](#) [Noticias](#) [Documentos](#) [Galería](#) [Contactenos](#)

RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS

Un operación de recarga artificial de acuíferos (RAA) se puede practicar, en principio, en cualquier tipo de formación permeable que tenga condiciones para almacenar y transmitir agua. La viabilidad de implementar un proyecto recarga artificial de acuíferos dependerá desde el punto de vista técnico, cuando confluyan al menos los siguientes tres factores:

- Que exista capacidad de almacenamiento.
- Que exista disponibilidad hídrica.
- Que exista una demanda del recurso.

De acuerdo al inventario de instalaciones de Recarga Artificial que ha realizado el International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC) existen 376 instalaciones en 57 países, entre los cuales destacan India, Estados Unidos, Holanda, Australia y España quienes concentran un 85% de las instalaciones en operación a nivel mundial.



PAIS	Nº OPERACIONES
INDIA	116
USA	82
AUSTRALIA	54
ESPAÑA	51
HOLANDA	43

Distribución Especial de Operaciones RAA en el Mundo
Fuente: IGRAC 2013



ULTIMAS NOTICIAS

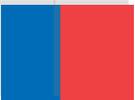
- Proyecto busca recargar de forma artificial el acuífero Azapa
- Con recargas artificiales buscarán soluciones hídricas al acuífero del valle de Azapa
- Aprueban reglamento de aguas subterráneas
- MOP: Proyecto busca recargar de forma artificial el acuífero Azapa
- Con recargas artificiales buscarán soluciones hídricas al acuífero del valle de Azapa

OBJETIVOS Y BENEFICIOS DE LA RAA

- Almacenar agua en los acuíferos, especialmente en zonas de escasa disponibilidad de terreno en superficie o sin posibilidad de otras formas de embalsamiento.
- Suavizar fluctuaciones en la demanda y reducir el descenso del nivel de agua por sobrebombeo.



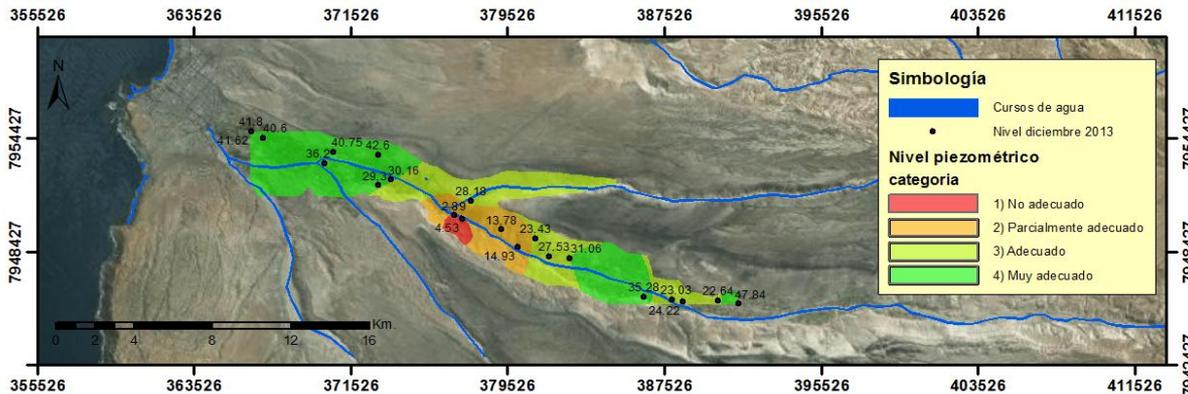
Zonas de recarga y resultados de modelación



Aplicación en el valle de Azapa

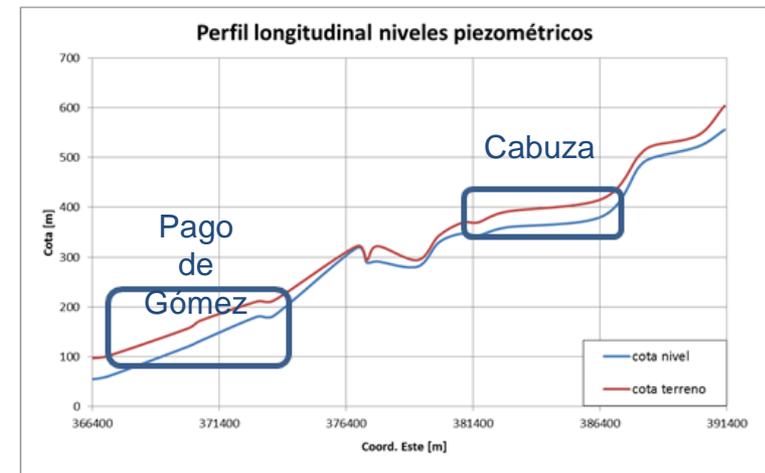
Zona no saturada

- Niveles piezométricos campaña 2013-2014
- 2 zonas con gran potencial de almacenamiento



Clasificación	NE [m]
Muy adecuado	>30
Adecuado	20 – 30
Parcialmente adecuado	10 – 20
No adecuado	0 – 10

- Sector Cabuza: 35 [m]
- Sector Pago de Gómez: 40[m]
- Sector Cabuza se perfila como alternativa para zona de recarga artificial



Aplicación en el valle de Azapa

Permeabilidad y tasa de infiltración

➤ Permeabilidad acuífero

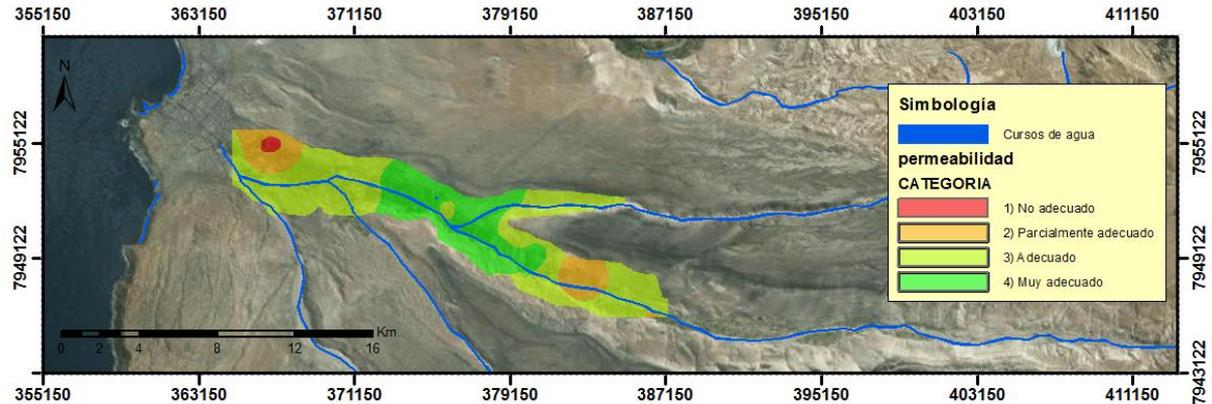
Análisis de pruebas de bombeo (expedientes DGA)

➤ Permeabilidad en zona no saturada

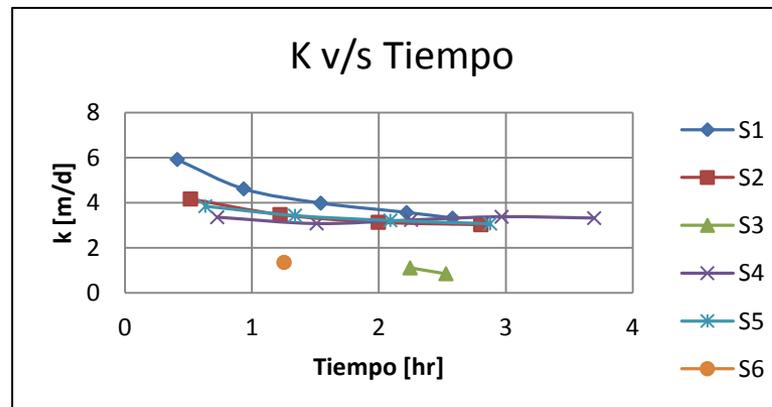
Ensayos de infiltración en superficie: 3.18 [m/d]

Infiltración estimada a largo plazo: 0.48 [m/d]

Valor considerado homogéneo en la zona



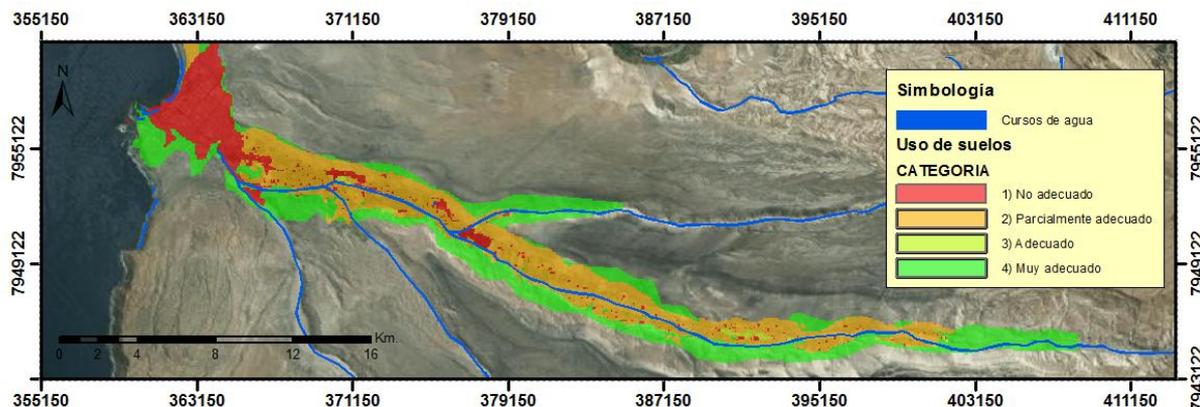
Clasificación	Clase K [m/d]
Muy adecuado	>15
Adecuado	8 - 15
Parcialmente adecuado	4 - 8
No adecuado	<4



Aplicación en el valle de Azapa

Uso de suelos

- Principal: Uso agrícola concentra 42 % de la superficie disponible en el valle de Azapa



Clasificación	Uso de suelo
Muy adecuado	Matorrales y s/vegetación
Adecuado	Suelos estériles
Parcialmente adecuado	Uso agrícola
No adecuado	Ciudades, playas, dunas, caja del río

- Los suelos disponibles representan el 43%





Resultados

➤ Sistema de información geográfico (SIG)

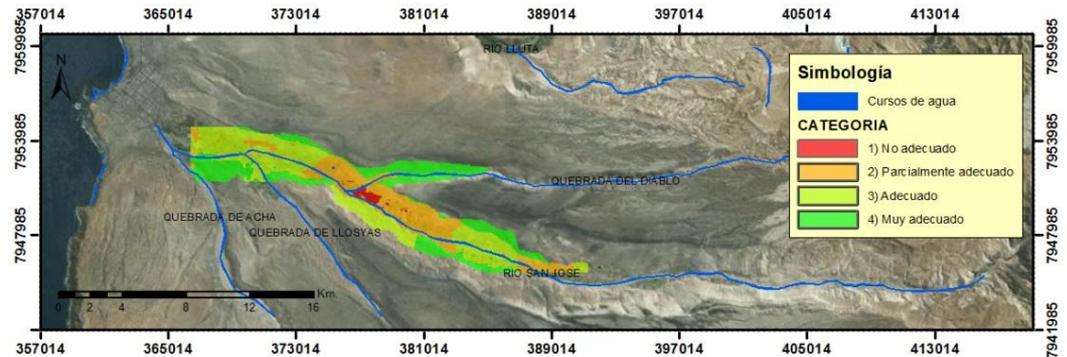
➤ Factores a considerar

- Tasa de infiltración (homogénea)
- Profundidad ZNS (40%)
- Uso de suelo (60%)
- Sector Cabuza: Agua de recarga tarda alrededor de 2 meses en llegar al acuífero

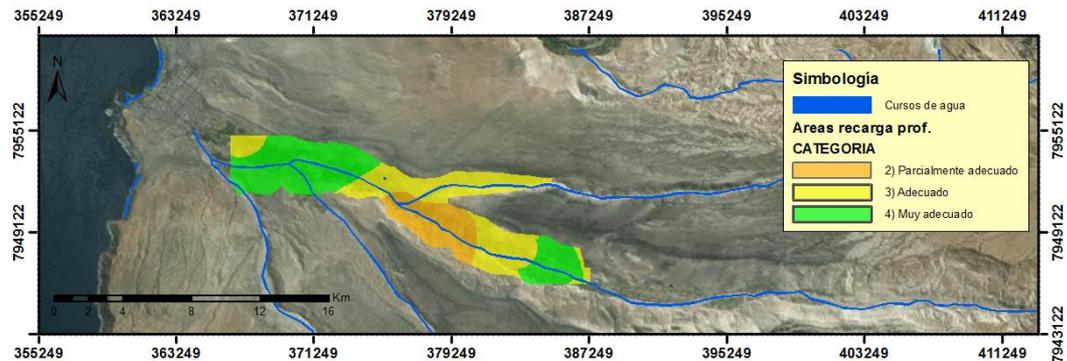
➤ Factores a considerar

- Permeabilidad acuífero (45%)
- Profundidad ZNS (55%)
- Uso de suelo no es relevante
- Agua de recarga se inyecta directamente al acuífero
- En ambas zonas se encuentran estratos de gravas y arenas

Superficie para recarga en superficie



Superficie para recarga en profundidad



Sector Cabuza tiene mayor influencia aguas abajo sobre el valle

Disponibilidad del recurso hídrico

➤ Crecidas río San José

- En la zona de interés no existe disponibilidad del recurso cerca del 90% del tiempo

➤ Aguas residuales

- Proyección al año 2018: 800 [l/s]
- Sólo tiene tratamiento primario
- Se debe impulsar el agua hasta el punto de recarga



Modelación numérica

Modelo modflow DGA (2009)

➤ Antecedentes

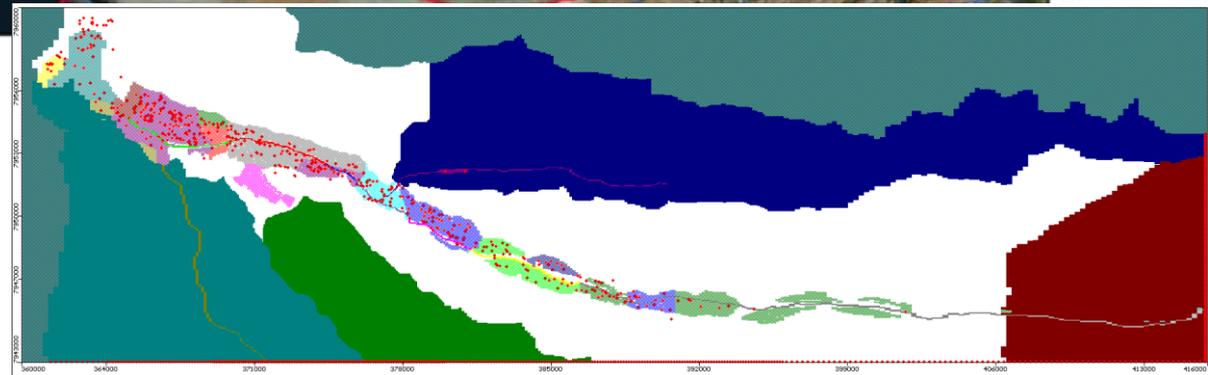
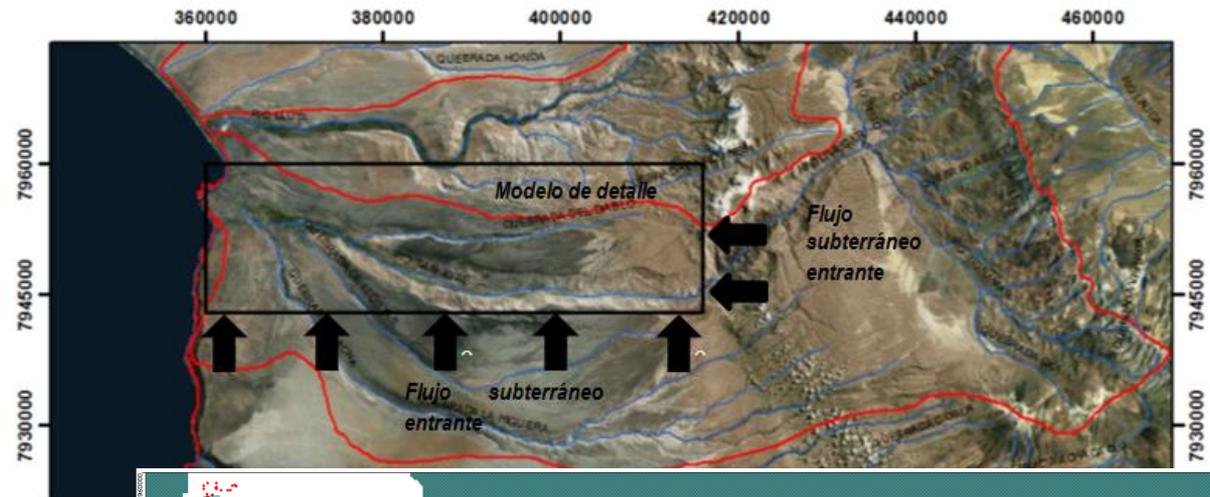
- Modelo actualizado por AC Ingenieros
- Parámetros a actualizar: Recarga, explotación, rellenos permeables

➤ Recargas

- Riego
- Río San José
- Flujos subterráneos

➤ Descargas

- Bombeo
- Afloramientos
- Flujo subterráneo norte



Modelación numérica

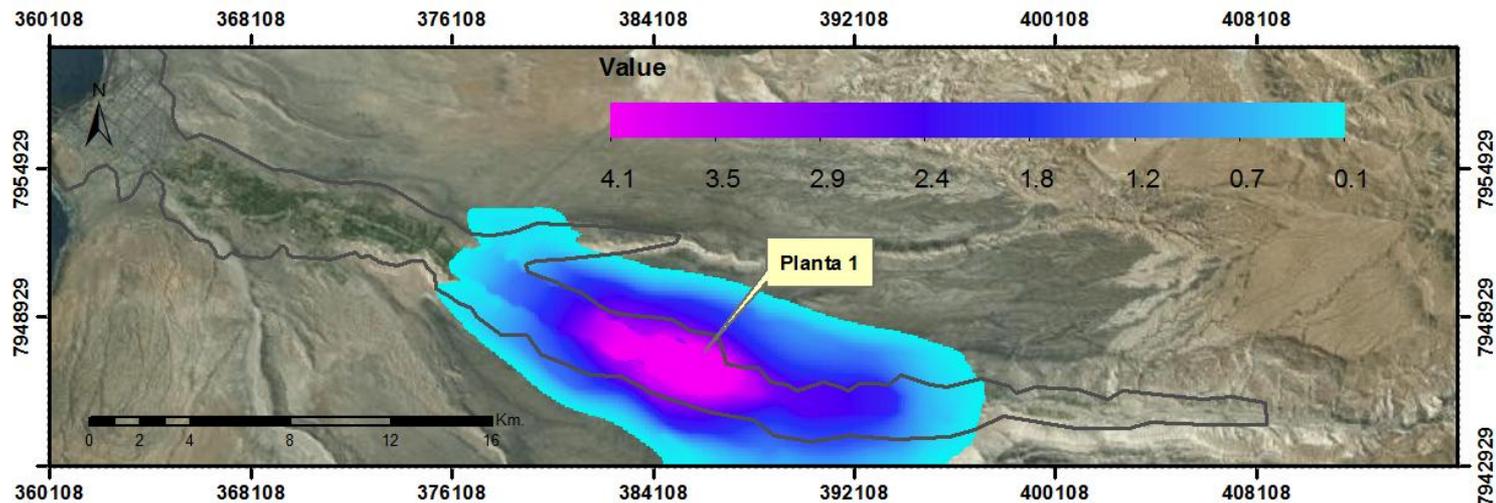
Modelo modflow DGA (2009)

➤ Resultados

Escenarios de simulación:

- 1) Base
- 2) Planta de recarga en sector cabuza. Caudal de operación 30 [l/s]

➤ 25 años de funcionamiento



Conclusiones



- 2 sectores calificados para implementar planta de recarga en profundidad. Sector Cabuza se perfila como la zona más adecuada para proyectar un sistema de recarga artificial
- Uso agrícola descarta aplicación de planta superficial de recarga, debido al gran requerimiento de área
- No existe disponibilidad de agua superficial en el punto de recarga. La recarga deberá hacerse con agua residual tratada





Propuesta de planta piloto para la recarga



Introducción

1. Caudal de recarga
2. Discusión del método de recarga en Azapa
3. Diseño de la planta de recarga artificial
4. Calidad del agua a inyectar
5. Experiencias



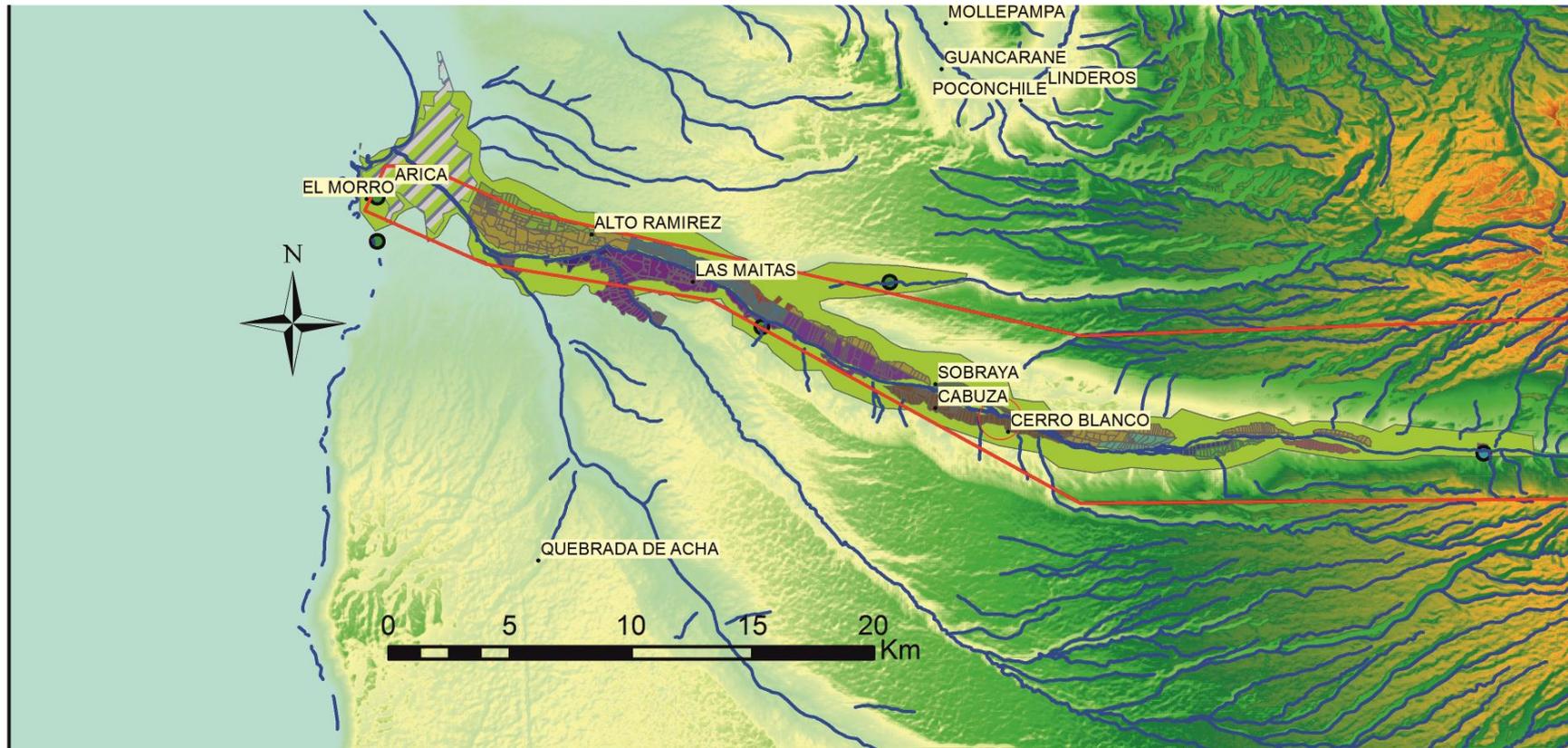
Régimen de recarga

Recarga 772 l/s (24346 Hm³/año)

Bombes 820 l/s (25860 Hm³/año)

Deficit 48 l/s (1515 Hm³/año)

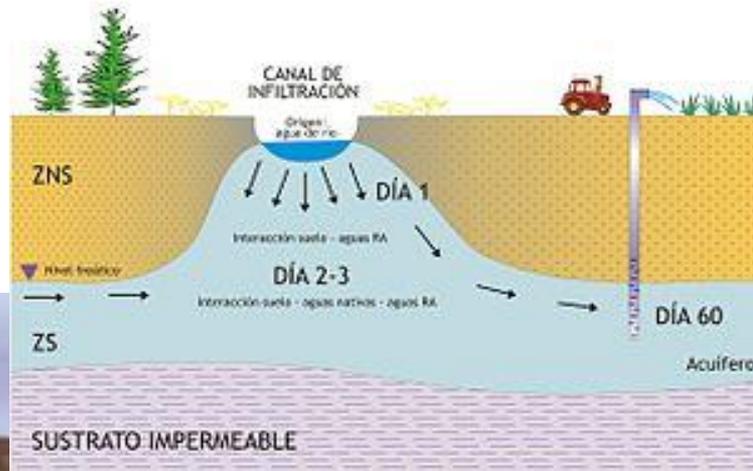
Piscinas de recarga y presas fluviales



- Espacio disponible (requerimiento 5,1 l/s/ha)
- Caudal del río
- Sedimentos de fondo y en suspensión

Piscinas de recarga

PERFIL TIPO DE UN DISPOSITIVO DE RECARGA ARTIFICIAL (CANAL) EN "CONTROL LATERAL" EN UNA ZONA REGABLE



Escarificado

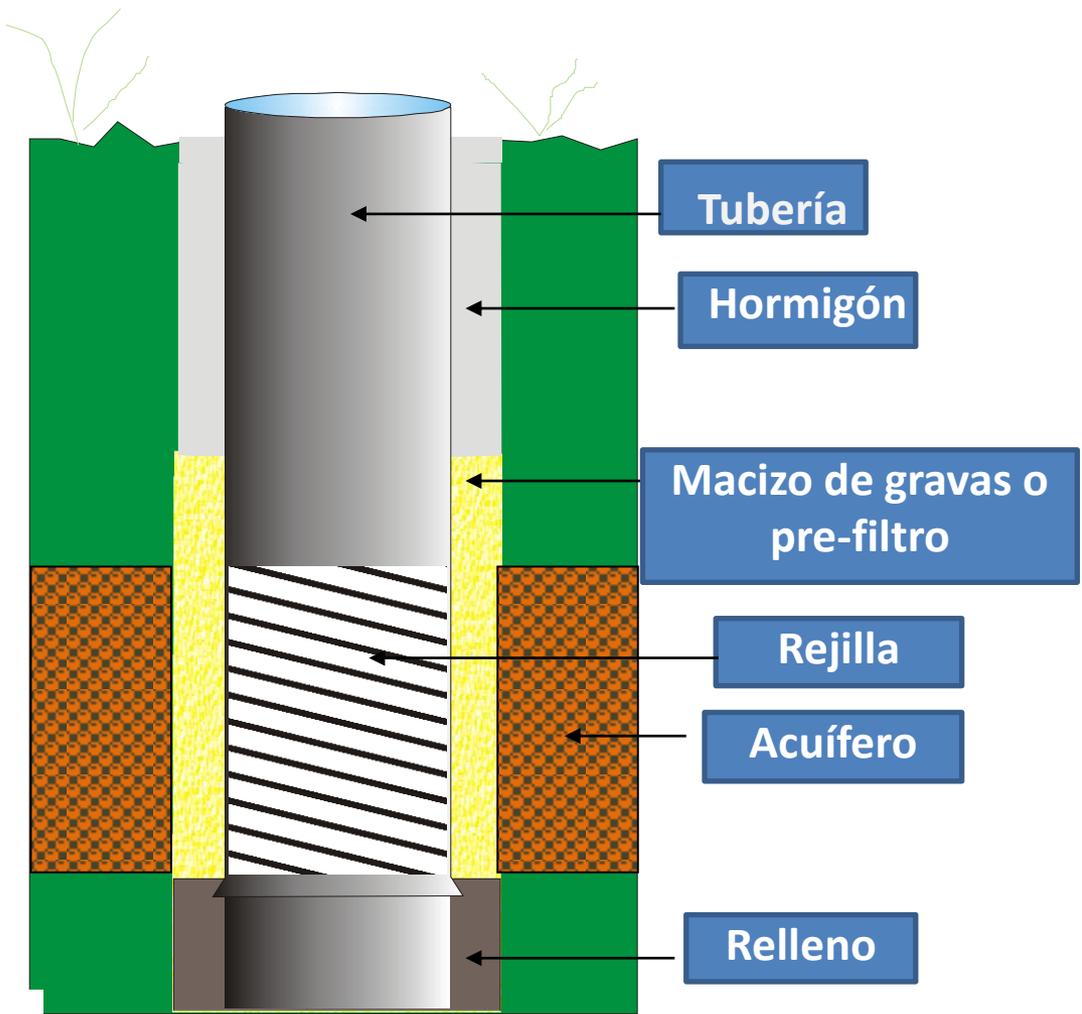
Caudal del río

Turbidez del agua < 100 NTU

Coste \$15,3 CLP/m³



Pozos de inyección (perfil constructivo)



Características del pozo de inyección

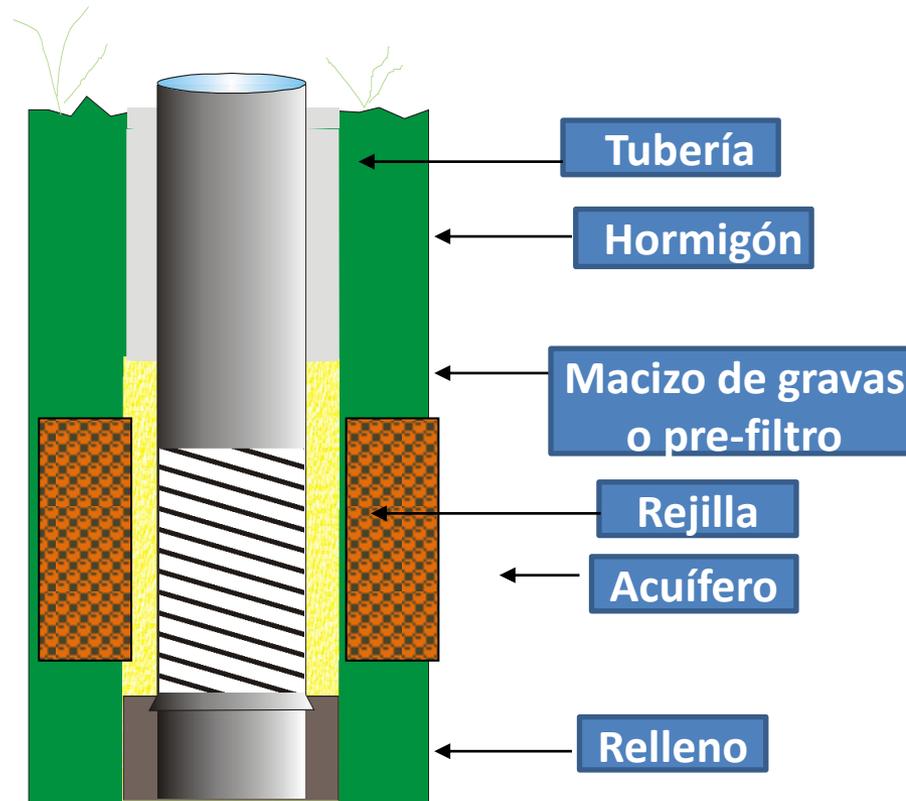
- Eficiencia
- Medio ambiente
- Vida útil



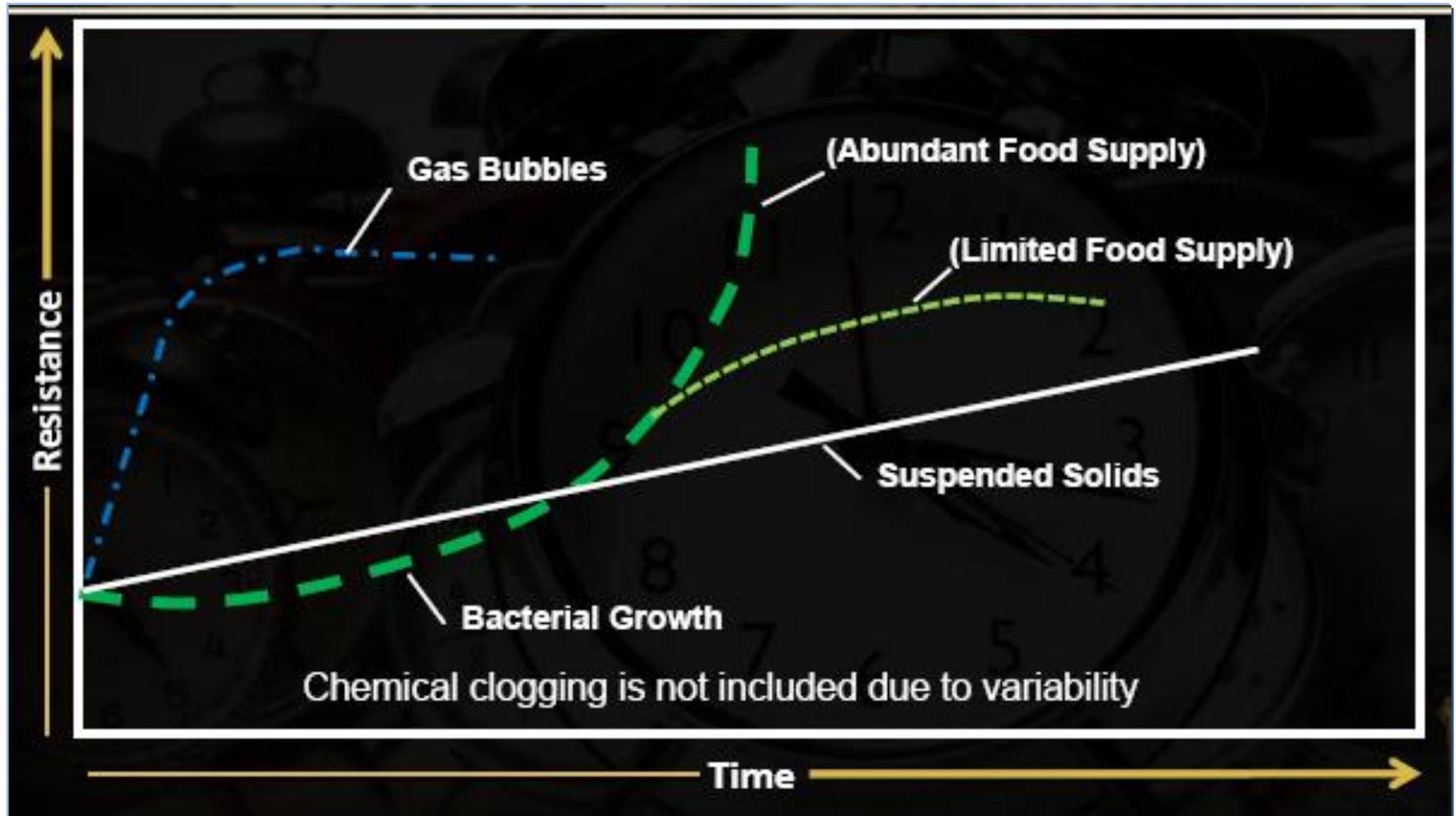


Pozos de inyección (eficiencia)

- Pérdidas de carga
- Colmatación (Química, mecánica, biológica o aire)

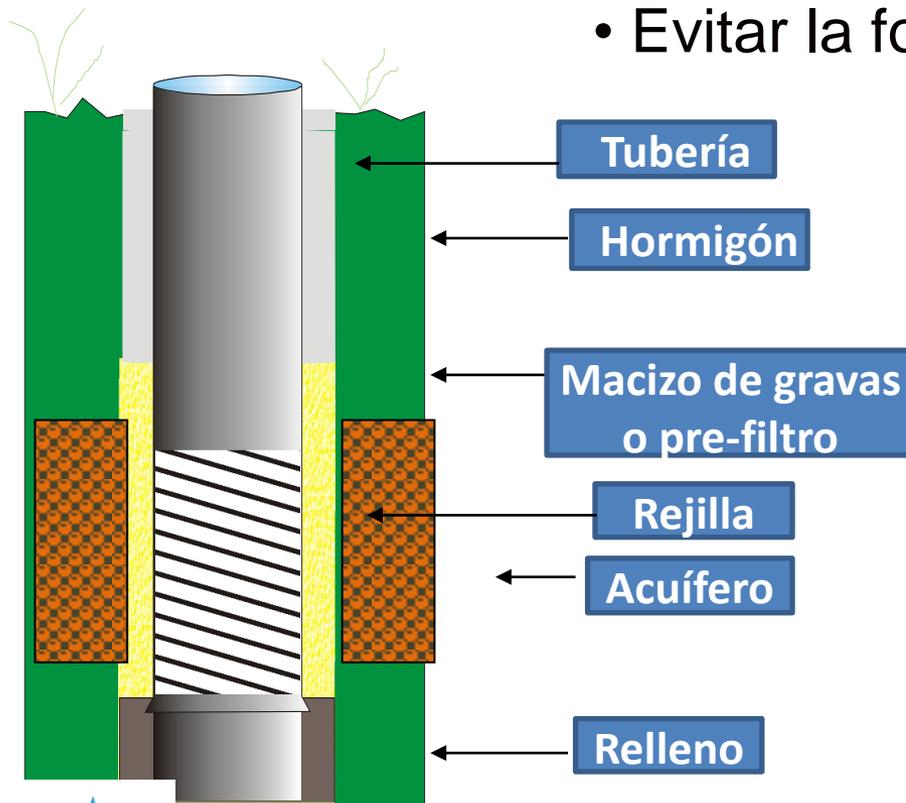


La Colmatación



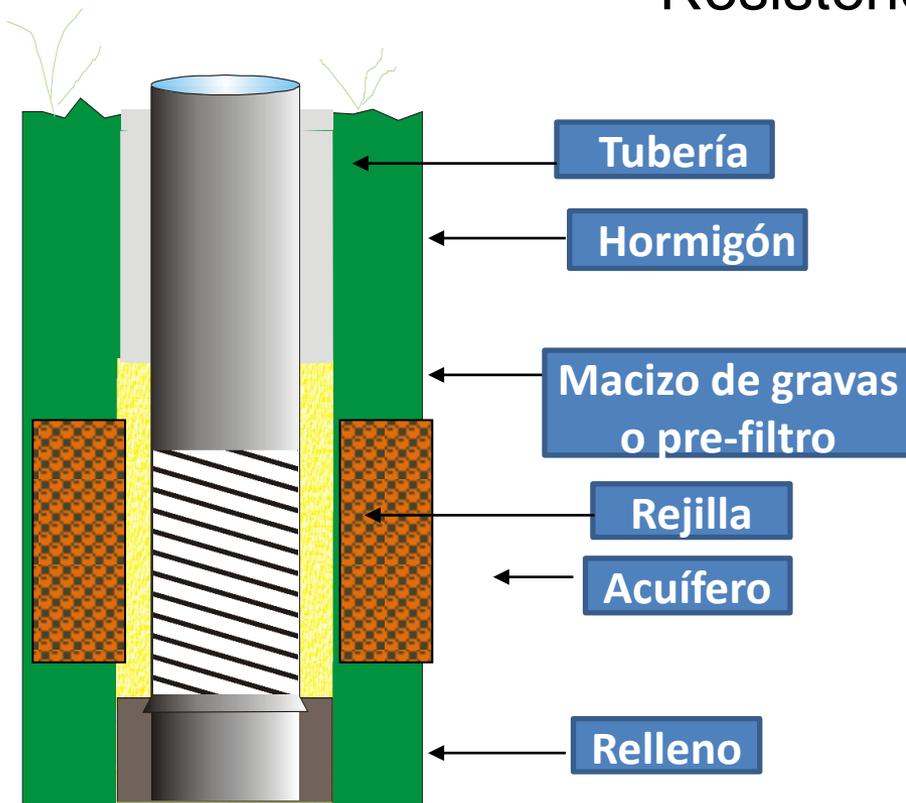
Pozos de inyección (ambientales)

- La calidad del agua de inyección
- Evitar movilización de metales
- Evitar la formación de compuestos nocivos



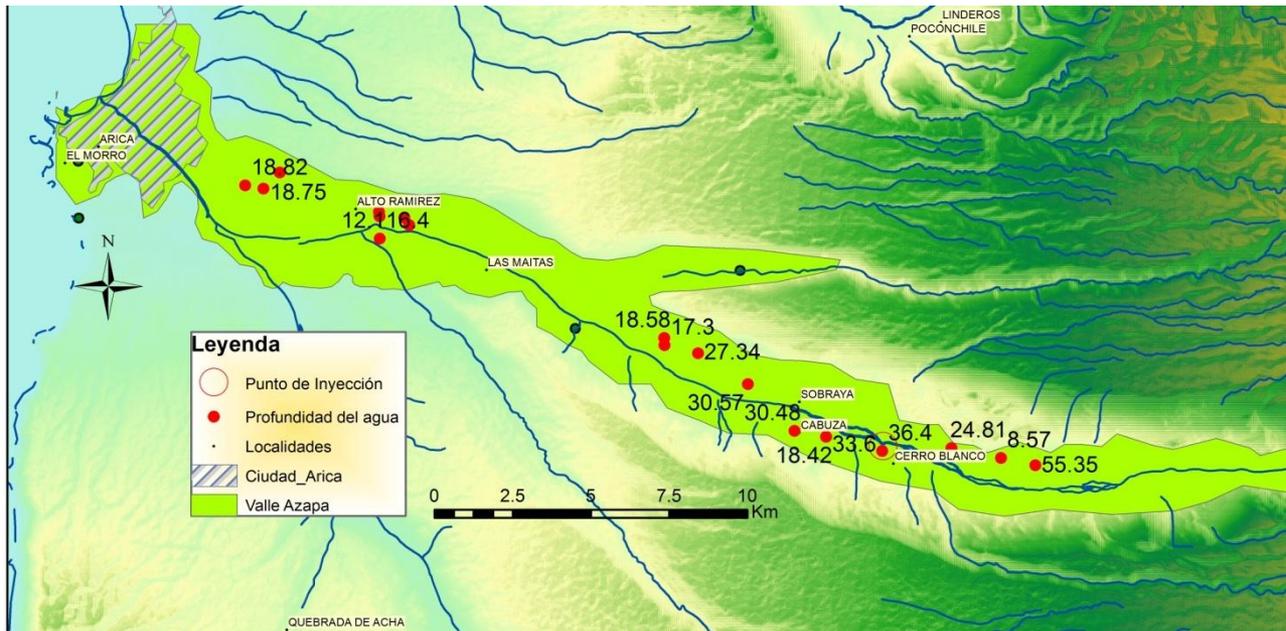
Pozos de inyección (vida útil)

- Esfuerzos mecánicos
- Resistencia a la química del acuífero



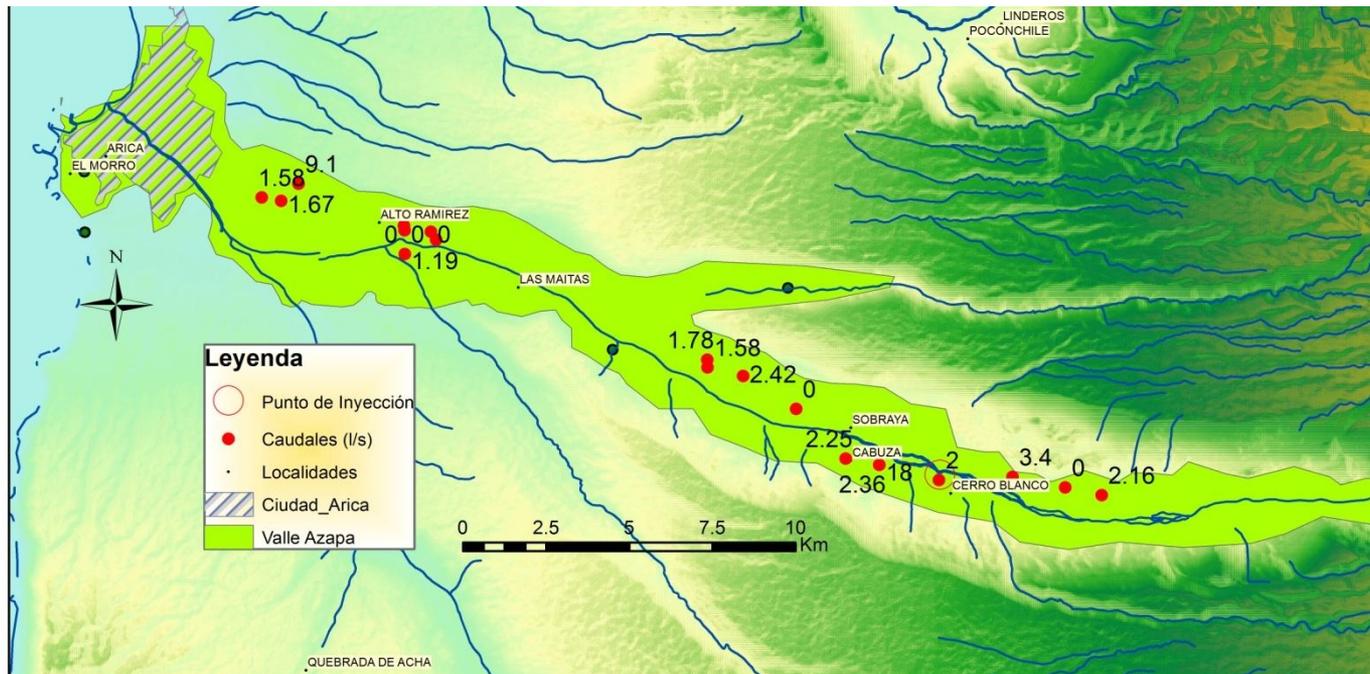
Ubicación del sistema de inyección

- Tener en cuenta espesor de ZNS
- Prever afecciones por inundaciones



Ubicación del sistema de inyección

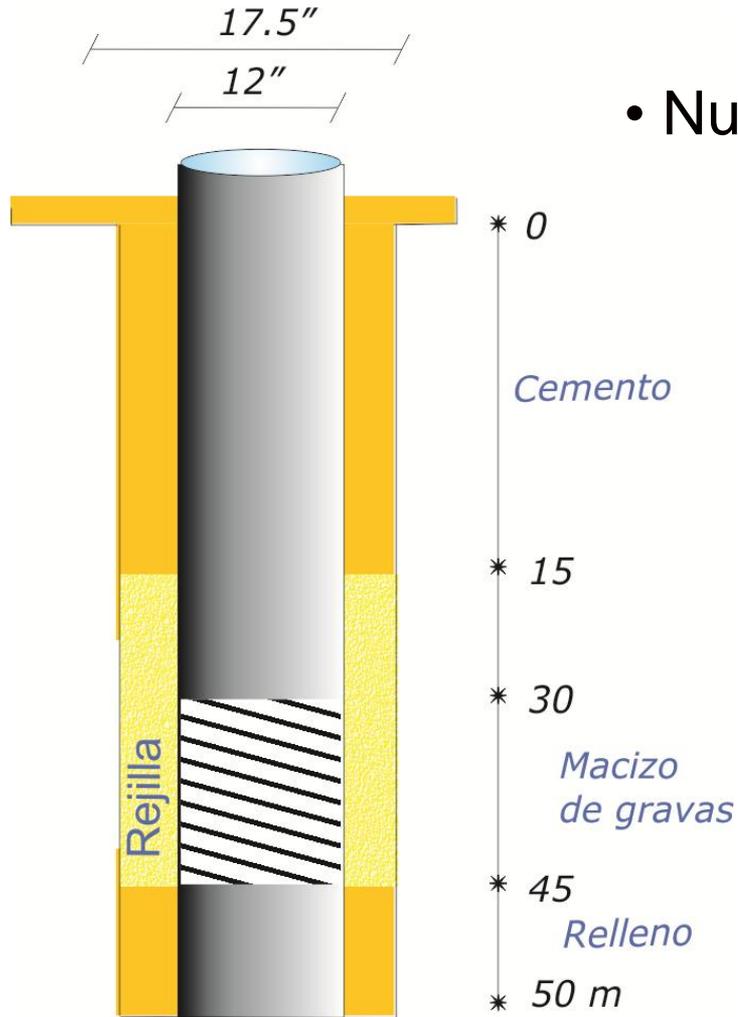
- Zona acuífera de permeabilidad posible





Diseño constructivo

- Nueve perforaciones de inyección





Calidad del agua a inyectar

- Artículos 66 y 67 del Código de aguas
- Reglamento de explotación A. Subt (DGA 2/2014), artículos 47 a 50
- Decreto Supremo N° 46 de 2003 (D.S.N°46) (Planta de tratamiento)

Parámetros mínimos a cumplir:

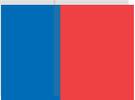
- Materia en suspensión (MES) < 1 mg/l
- Turbidez..... $\leq 0,1$ NTU
- Coliformes fecales..... 0
- Materia orgánica..... < 10 mg/l





Controles a realizar

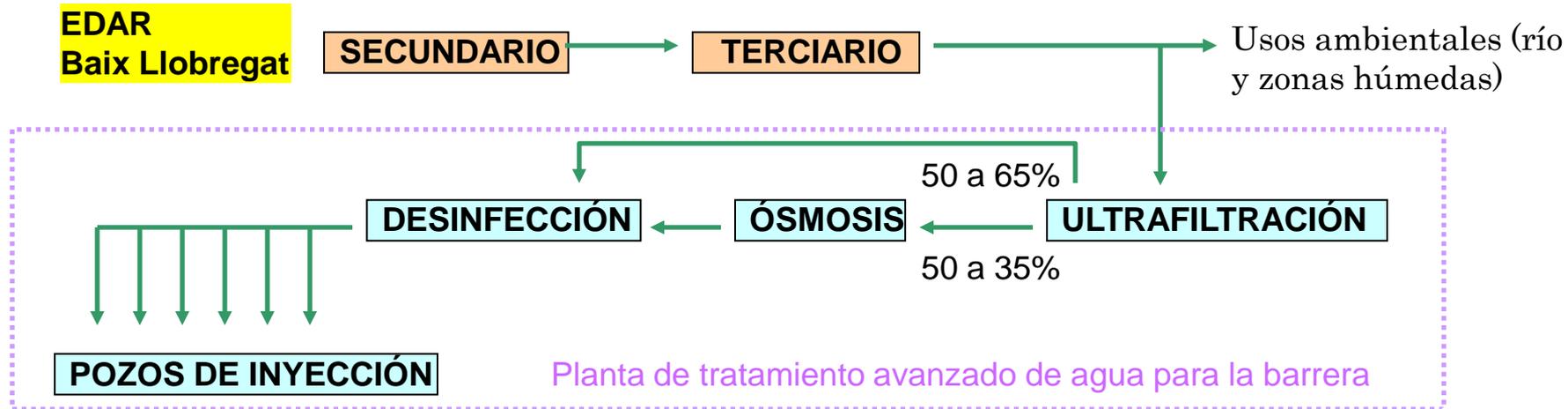
- Altura de la columna de agua
- Analíticas del agua (bacteriológico y fisicoquímico)



Experiencia en Cataluña

Agua de inyección

- El agua de inyección proviene de la EDAR de El Baix Llobregat, cerca de Barcelona, y pasa por diferentes tratamientos.
- El control de su calidad se hace de acuerdo con los requerimientos de la Agencia de Protección de la Salud, y cumple los parámetros sanitarios del RD 140/2003 de calidad de agua para consumo humano (más estricto que el uso ambiental 5.2 del RD 1620/2007).



Inversión total para la construcción de la barrera: 23 M€

Aportados por la Agencia Catalana del Agua y el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

- Planta de tratamiento avanzado para producir 15,000 m³/día de agua regenerada de alta calidad.
- Más de 7 Km. de tuberías de conducción de agua.
- 14 pozos de inyección (construcción y equipamiento).
- 17 nuevos piezómetros de control con sistemas remotos de control (construcción y equipamiento).

Coste de explotación actual (Q inyección: 8,300 m³/día): 0.19 €/m³ de agua inyectada

- Costes fijos (membranas, personal, ...): 0.09 €/m³
- Costes variables (reactivos): 0.04 €/m³
- Energía (0.63 Kw/h/m³): 0.05 €/m³
- Consultoría hidrogeológica y análisis hidroquímicos: 0.01 €/m³

➤ Para un caudal de inyección de 15,000 m³/día se estima un coste de explotación de 0.15 €/m³

Conclusiones

- **Todas las campañas de terreno se realizaron con éxito, recopilando nueva información en cuanto a niveles y calidad de aguas.**
- **Se logró identificar una zona adecuada para proyectar un sistema de recarga en base a la metodología propuesta**
- **Se identificó el método de recarga por pozos de inyección como la mejor alternativa y se presenta un diseño perfil**
- **Se estiman 9 pozos de 50 mts de profundidad**



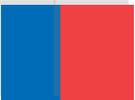


Trabajos propuestos a posterior

Identificación de nuevas líneas de trabajo: modelo conceptual y numérico de transporte de contaminantes

Proyecto de Innovación Agrícola para la implementación de TIC e instrumentación en riego participativo mediante aguas subterráneas

Asesoría Técnica en aguas subterráneas





Gracias

10 de septiembre de 2014