

DESARROLLO DE LA NUEVA ERA DEL LITIO / HIDROGEOLOGÍA

Transición hacia *Extracción* *Directa de Litio*

Jorge García

Gerente de Hidrogeología

Marzo 2024

Proyectos de litio en salmuera de Albemarle

1. SALAR DE ATACAMA (operación)
2. SILVER PEAK (operación)
3. ANTOFALLA (exploración)



1 Salar de Atacama (Chile)



2 Silver Peak (Nevada, USA)



3 Salar de Antofalla (Argentina)

Historia de Albemarle en el Salar de Atacama

La Sociedad Chilena de Litio (SCL) -hoy día Albemarle- fue creada el 13 de agosto, 1980.

Junto a CORFO, SCL desarrolló la producción de litio y, por lo tanto, la industria del litio en Chile.

La primera producción de salmuera fue en 1984

En 2016 se obtuvo la RCA21/2016 para aumentar el bombeo de salmuera en 300 L/s, hasta los 442 L/s actuales

El área de hidrogeología de Albemarle se formó en 2018, actualmente somos 28 profesionales.



Standing knee-deep amidst jagged salt outcroppings, Dr. Ihor Kunasz, Foote's Chief Geologist, provides dramatic proof of the impassability of the Salar's rough, unforgiving terrain.

All photos by Dr. Ihor Kunasz, except where otherwise noted.

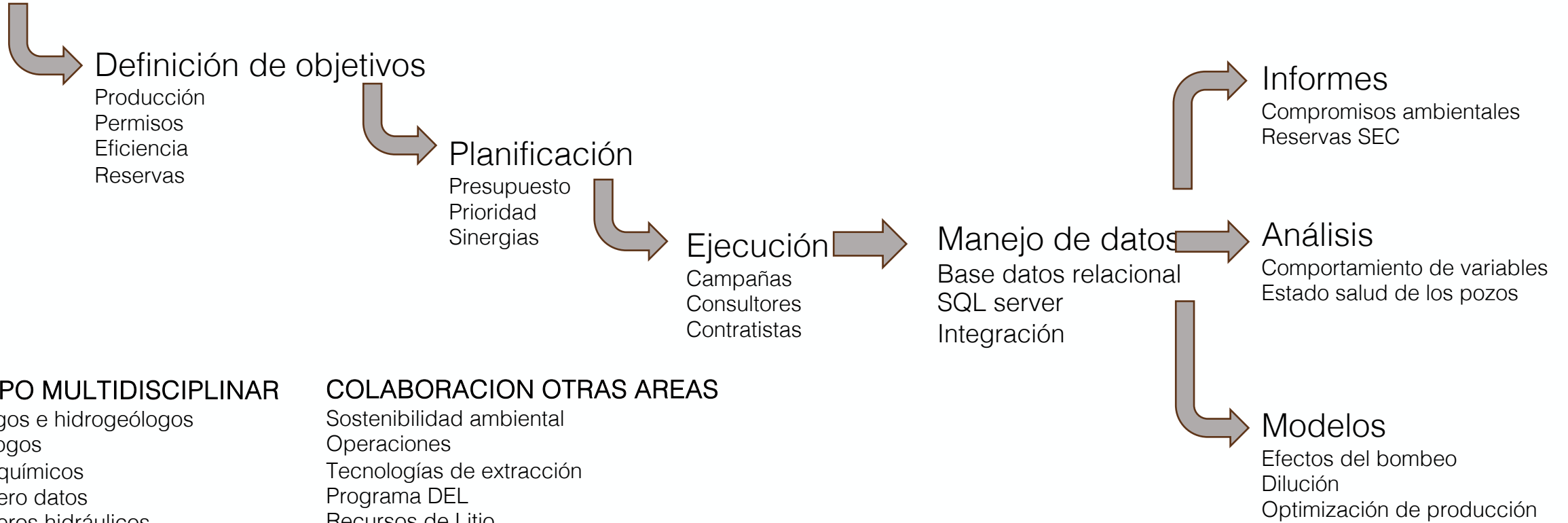


Among other things, Foote needed to know how much brine lay underground. In a test that would help answer that question, brine, here shown gushing from the pipe, was pumped out of one well at the rate of a thousand gallons per minute without letup for three months. Even after all that drain, the level in the well had declined only slightly.

Dave Coghlan photo

Metodología de trabajo

ESTRATEGIA
ALBEMARLE

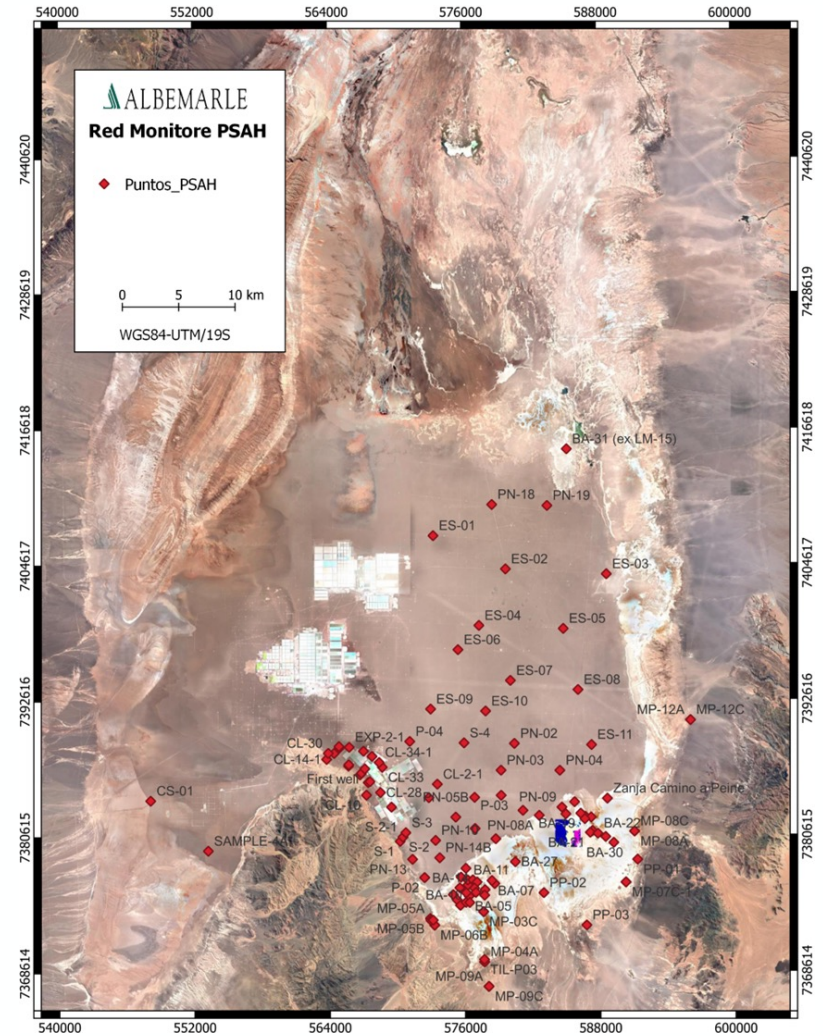


Monitoreo de variables hídricas

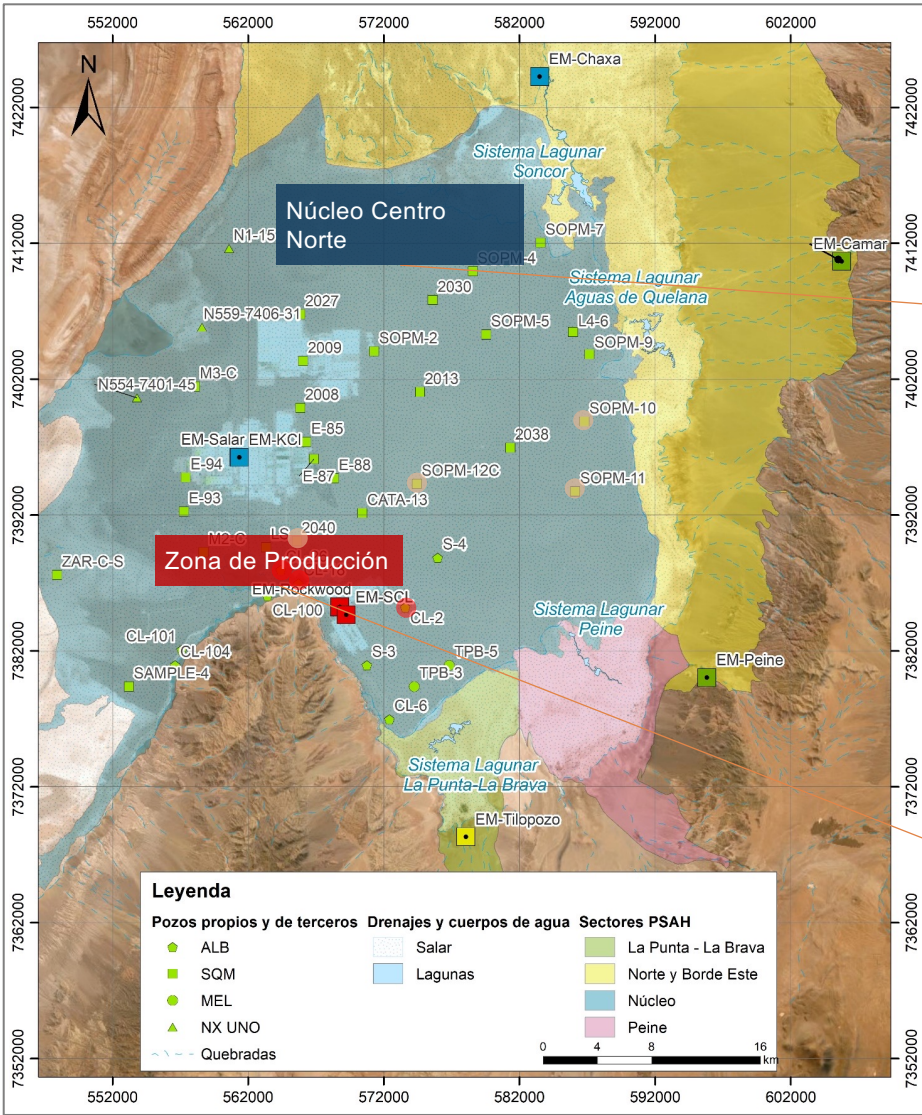
El monitoreo de las variables ambientales del componente hídrico se compila en un informe anual, de acceso público.

Las variables ambientales se describen mediante un análisis histórico e integrado en el que se analiza la evolución del Sistema y se verifica el comportamiento previsto por la evaluación ambiental según la RCA 21/2016

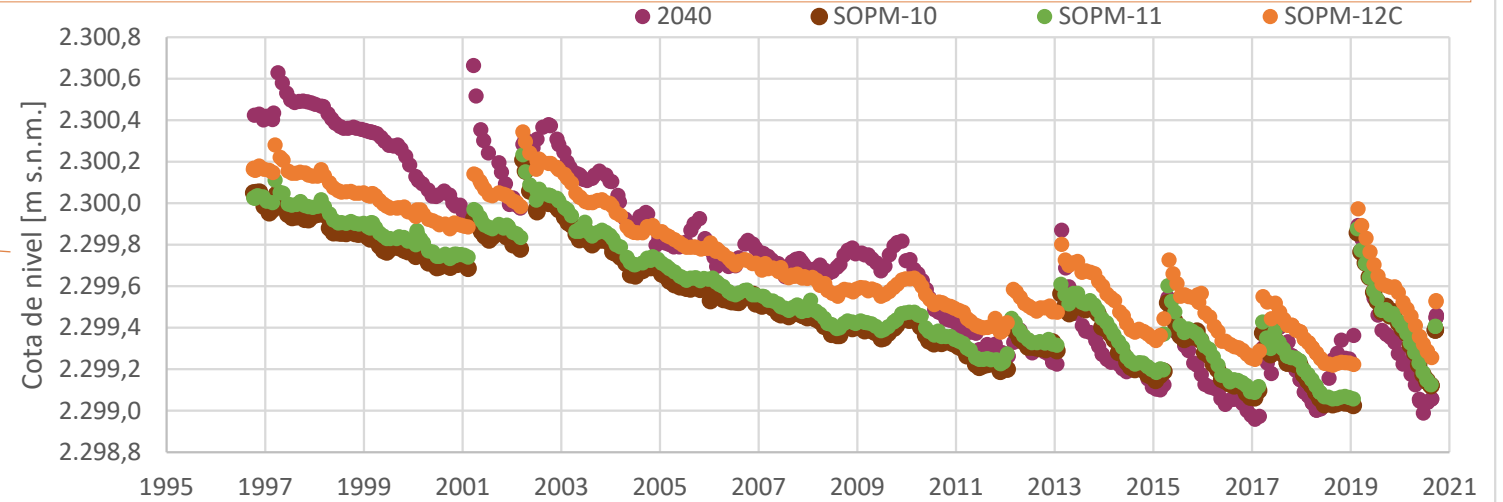
Componente Ambiental	Variable Ambiental	Parámetros	Nº de puntos medidos	Frecuencia de Medición
FISICO Clima y Meteorología	Variables Meteorológicas	Precipitación diaria en [mm] Temperatura atmosférica en [°C] Evaporación en lámina libre en [mm] Presión atmosférica en [mbar]	1	Diaria (Continuo)
FISICO Hidrología	Superficie Cubierta por Lagunas	Superficie en [m ²] de sistemas lagunares	4	Semestral
	Nivel Limnimétrico de las Lagunas	Nivel en [m s.n.m.]	20 ⁽¹⁾	Mensual
	Aforo de Caudales superficiales	Caudal en [L/s]	6	Trimestral
FISICO Hidrogeología	Evapotranspiración	Flujo de evaporación en [mm/día]	22	Trimestral
	Niveles Freáticos en Salmuera y en Agua dulce-salobre	Profundidad Nivel en [m s.n.m.]	124 ⁽²⁾	Mensual
	Posición de la Interfase Salina	Conductividad Eléctrica [μ S/cm] v/s Profundidad [m s.n.m.]	13 ⁽³⁾	Trimestral
	Caudales bombeados de Salmuera y de Agua dulce-salobre	Caudal de salmuera en [L/s]	81 Pozos ⁽⁴⁾	Mensual
FISICO Calidad del Agua	Calidad química del agua en agua superficial y subterránea	- Parámetros Físicos <i>in situ</i> : pH, C.E., T°, TDS y Oxígeno Disuelto. - Parámetros físico-químicos laboratorio: pH, C.E., TDS y Densidad. - Elementos mayoritarios disueltos: Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , HCO ₃ ⁻ , NO ₃ ⁻ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , y K ⁺ . - Elementos mayoritarios totales: Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , y K ⁺ .	2 y pozo Peine	Mensual
		40 ⁽⁵⁾	Trimestral	



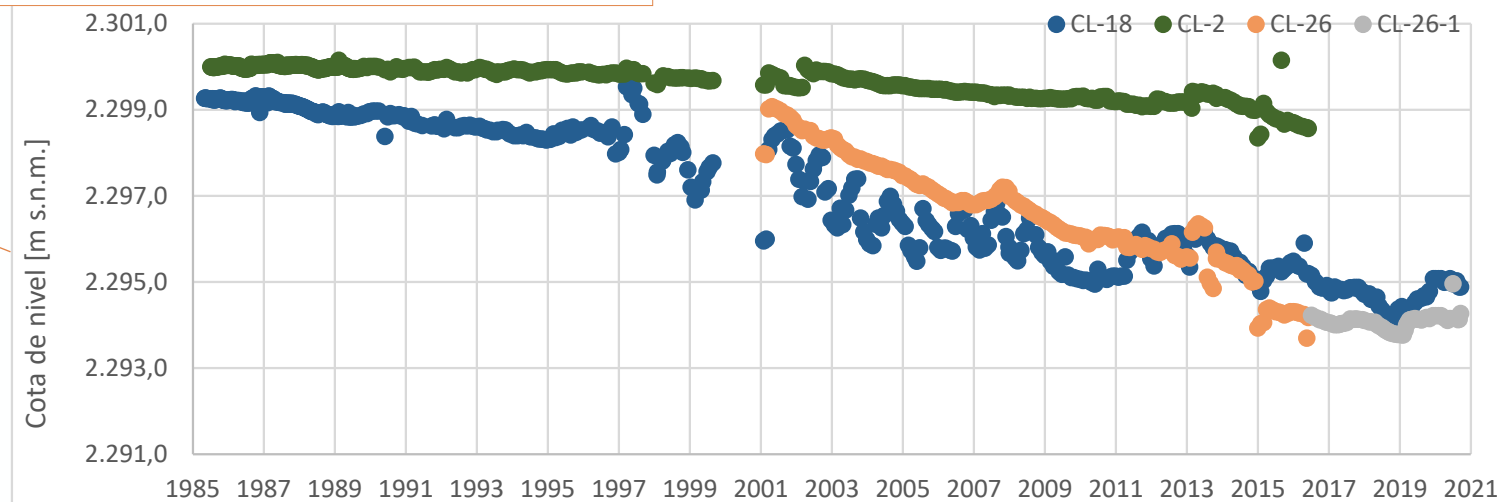
Evolución de niveles en la salmuera del Núcleo



Niveles afectados por el bombeo de salmuera que responden a eventos de recarga por precipitaciones.



Niveles afectados por el bombeo de salmuera.



Caracterización geológica e hidrogeológica

Perforaciones diamantinas y de aire reverso

Geofísica de superficie (TEM, sísmica, tomografía eléctrica)

Geofísica de pozo (gamma, resistividad, NMR, tele-viewer, spinner-log)

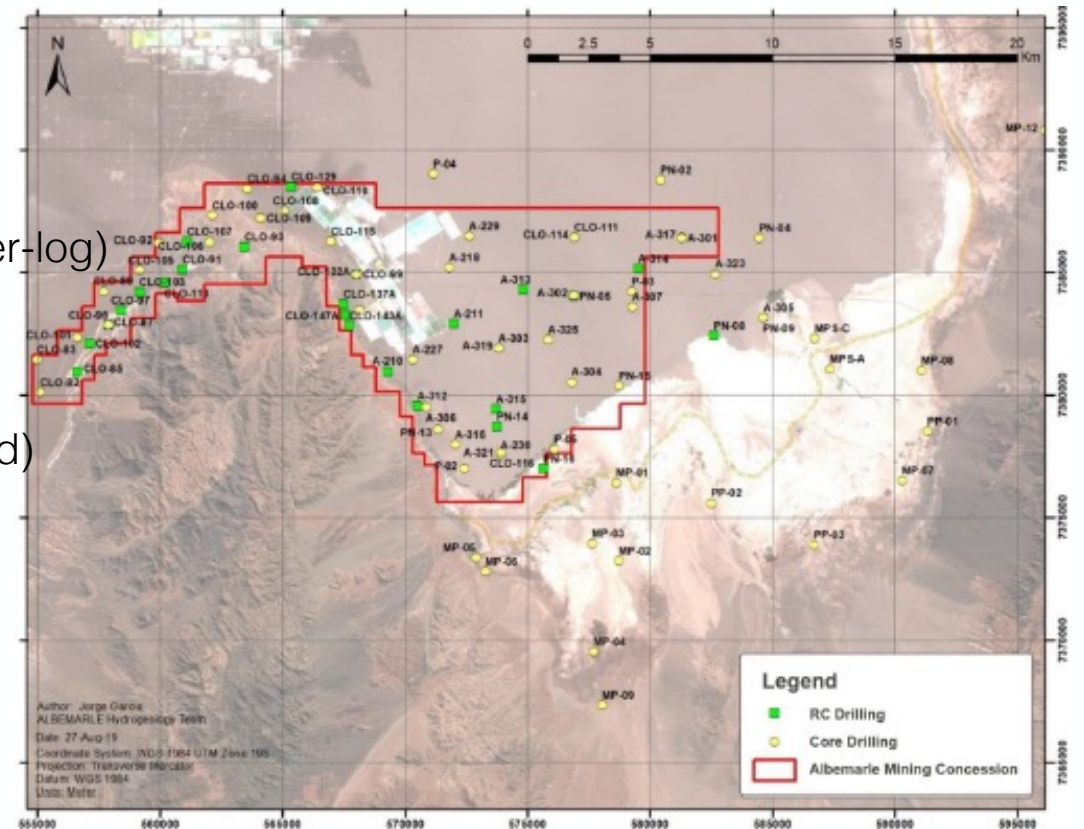
Pruebas doble packer

Análisis de muestras en laboratorio (química, isótopos, porosidad)

Pruebas de bombeo

Seguimiento con imágenes satelitales

Piezómetros de control niveles



Control del campo de pozos

2 áreas de bombeo autorizadas (A1: 360 L/s, y A2 82L/s)

442 L/s máximo promedio anual de bombeo autorizado

120 L/s máximo promedio anual de bombeo bajo 50m en área A1

80 pozos de bombeo disponibles

550 L/s de capacidad máxima de bombeo

30 a 100 m profundidad de pozos

3 tipos de química de salmuera (sulfato, calcio, neutra)

2 to 30 L/s por pozo



Gestión del campo de pozos de extracción de salmuera

Degradación por salamiento, disminución nivel estático, colmatación

Programa de recuperación y reemplazo de pozos

Monitoreo operacional

Recomendaciones de caudal y nivel de operación

Mejora y optimización de la química, maximizando Litio y optimizando la relación sulfato/calcio

Integración de información



Starting in 2012
 Country: USA (Anchorage/Boston)
 Type: Scientific research
 People profile: Researchers and PhD students (5)
 Head of team: Lee Ann Munk / David Boutt
 Targets: Atacama, Silver Peak, Antofalla, others

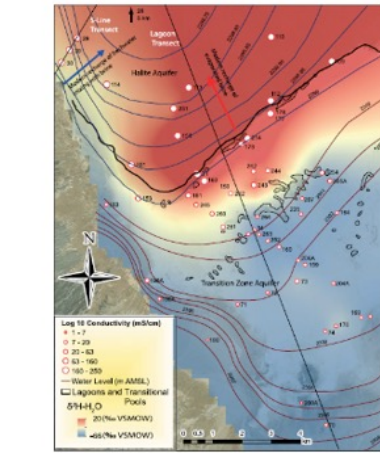


Figure 11. Observed conductance map of average 2011-2013 VSMW flow at sampling routes in the region of the transition zone and halite aquifer. Sample location symbols are used by color and numerical values to indicate the average 2011-2013 conductance map of halite saturation measured in January 2014. Surface water features are indicated by open outlined polygons.

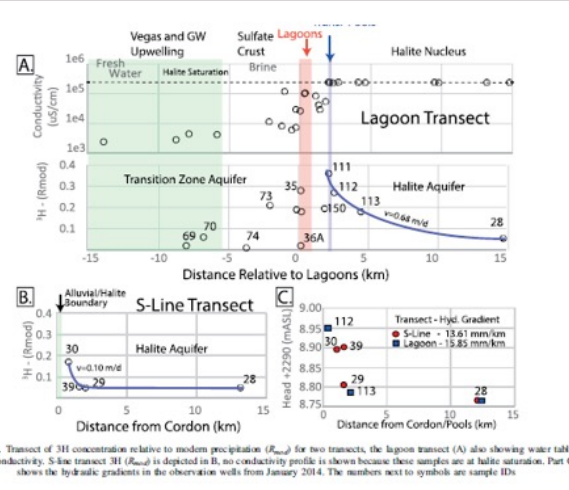
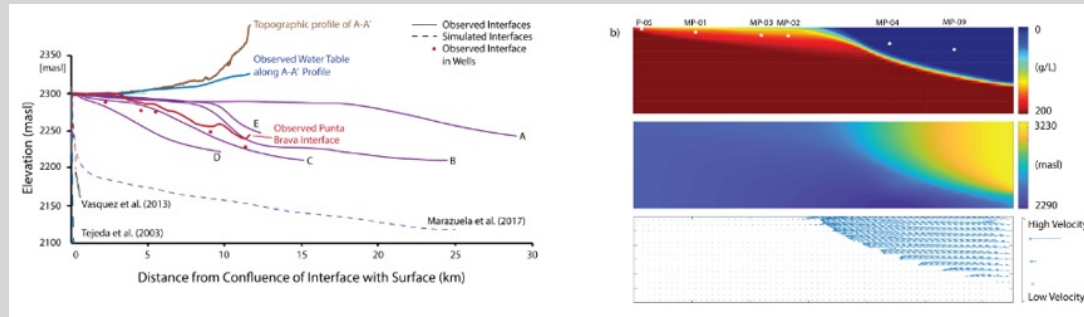


Figure 12. Transect of 3H concentration relative to modern precipitation (R_{mod}) for two transects, the lagoon transect (A) also showing water table specific conductivity. S-Line transect 3H (R_{mod}) is depicted in B, no conductivity profile is shown because these samples are all halite saturation. Part C shows the hydraulic gradients in the observation wells in January 2014. The numbers next to symbols are sample IDs.



SCIENTIFIC PUBLICATIONS
 8 papers in high impact scientific journals

SUPPORT IN GEOLOGICAL MODEL DEVELOPEMNT


Modelos de terceros
 SQM
 CORFO
 MEL
 CMZ
 CPA
 Otros

Publicaciones científicas

Guías de organismos del estado

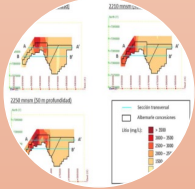
Procesos ambientales

Modelo conceptual y Modelo Numérico



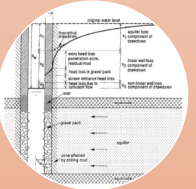
Environmental Model

Flow + Variable density



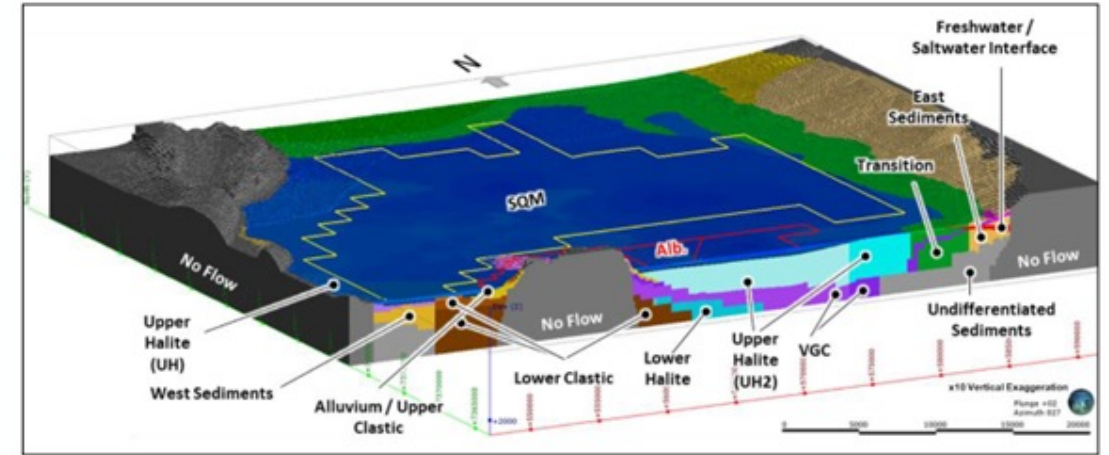
Mineral Reserves Model

Flow + Particle transport

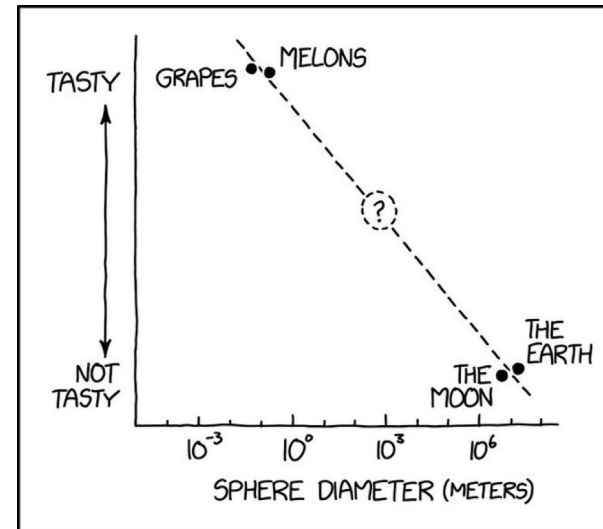
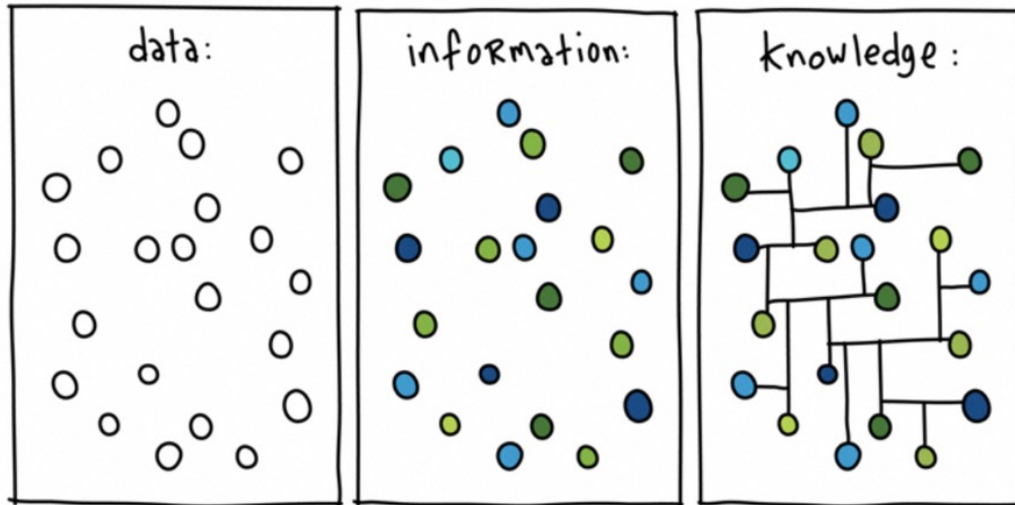


Operational Model

Flow + Particle transport



Source: SRK, 2021



MY RESEARCH SUGGESTS THE EXISTENCE OF AN 800-METER SPHERE THAT TASTES OKAY.

Evaporación Solar vs Extracción Directa

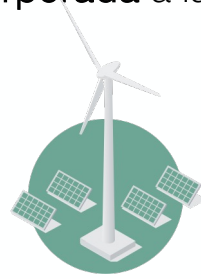
- El porcentaje de recuperación de litio a través de un sistema de extracción directa es **más eficiente y sostenible** que la extracción a través de pozas de evaporación utilizado actualmente.
- Esta tecnología presenta una **menor huella ambiental**, dado que la **salmuera generada puede ser reincorporada** a la cuenca.



Mayor recuperación de litio.



El mayor consumo de agua fresca se hará con agua desalada de mar, la que puede ser reutilizada.



Planta Salar está conectada al Sistema Eléctrico Nacional por lo que el proceso se hará con energías limpias.



Menor uso de superficie.



Menor generación de residuos del proceso.

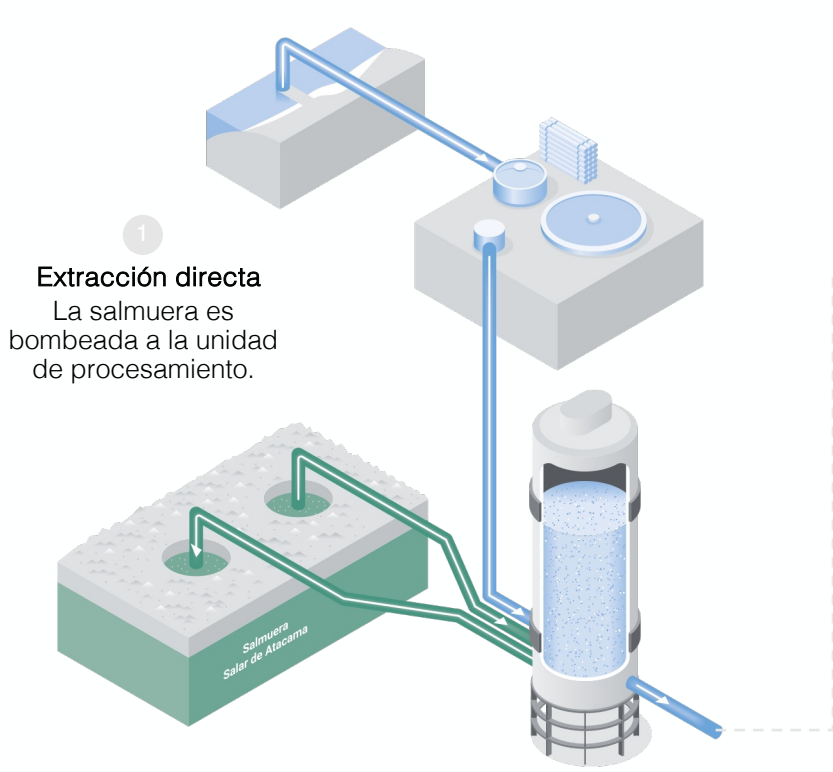


Más del 95% de reincorporación de salmuera.

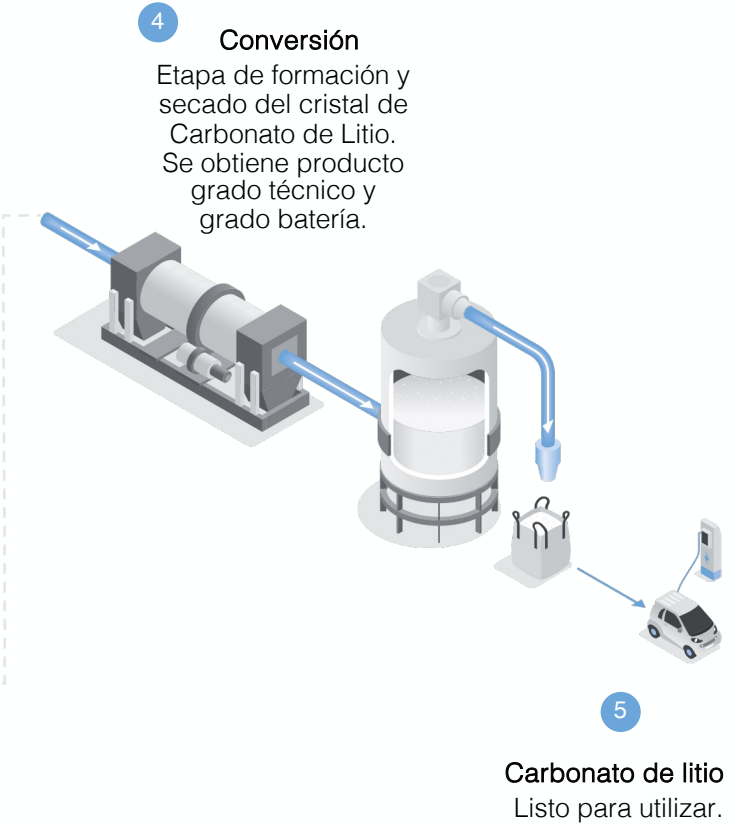
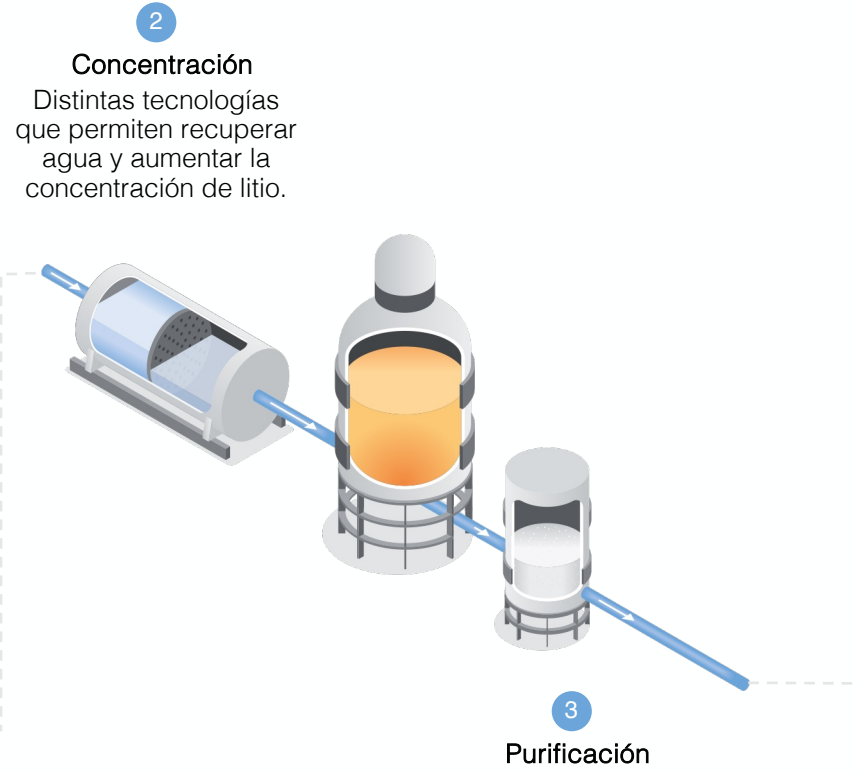


Vista aérea de la operación actual de Albemarle en el Salar de Atacama

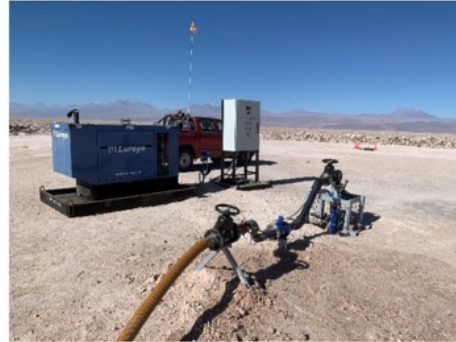
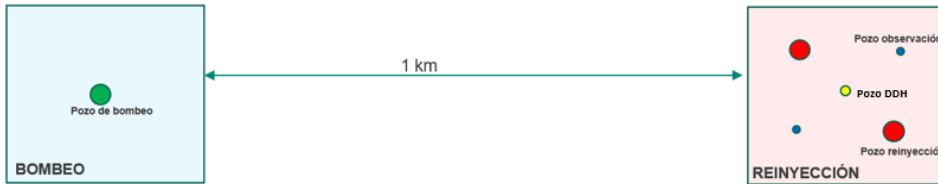
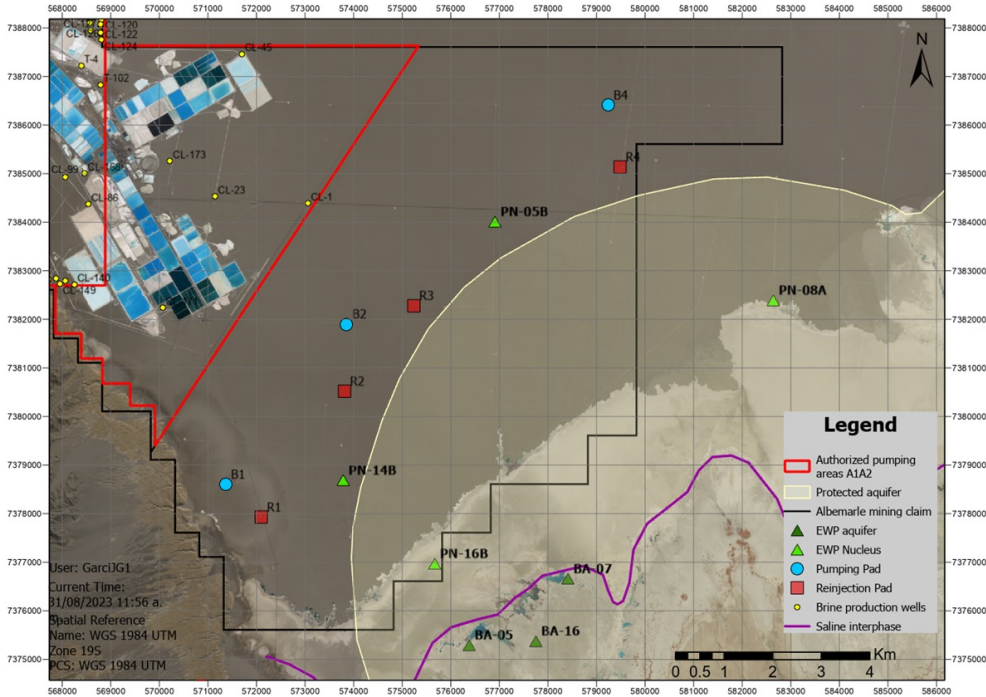
Extracción directa de litio



Esquema *general*



Pruebas de reincorporación 2023



Pozo de bombeo CL-189 (B2)



Línea flexible de descarga (B2 to R2)



Pozo de reinyección CL-194 (R2)

Bombeo	Reinyección	Fecha (inicio/final)	Tanteo (1 día en cada pozo de reinyección)	Gasto variable (1 día en cada pozo de reinyección)	Gasto constante 10 días (L/s, ascenso en pozo de reinyección)	Gasto constante 10 días (L/s, ascenso en pozo de reinyección)
B2 (CL-189)	R2 (CL-194)	07-08-23 22-08-23	1 to 9 L/s	3,5,6,7,8,9 L/s	7 L/s +7cm	9 L/s +8cm
B2 (CL-189)	R3 (CL-193)	29-08-23 13-09-23	1 to 9 L/s	3,6,9 L/s	7 L/s +8 cm	9 L/s +7cm
B4 (CL-191)	R4 (CL-199)	20-09-23 06-10-23	1 to 9 L/s	3,6,9 L/s	7 L/s +4 cm	9 L/s +7cm
B1 (CL-190)	R1 (CL-197)	06-10-23 09-10-23	1 to 9 L/s	3,6,9 L/s	7 L/s* +26 cm	N/A

* Prueba detenida luego de 2 días por robo y destroz de equipos ocurrido el 09-10-2023

CONCLUSIONES

Es posible reincorporar caudales de hasta 9 L/s en la zona seleccionada
 Infraestructura adecuada: pozos desnudos de 30m de profundidad y 20" de diámetro
 Los ascensos de nivel son compatibles con la posición del nivel freático en el sector
 No es posible determinar con precisión los parámetros hidráulicos
 No se observan cambios físico-químicos utilizando salmuera compatible químicamente

Reincorporación: desafíos

Factibilidad hidráulica

- Ubicación: zona y profundidad
- Tasa de reincorporación
- Volumen disponible

Compatibilidad química

Evaluación de efectos (tiempo y espacio)

- Alcance de la salmuera reincorporada
- Ascensos de nivel locales
- Cambios en las tasas de descenso
- Dilución pozos producción

Diseño infraestructura de infiltración

- Diseño
- Tuberías, estaciones de bombeo
- Acondicionamiento



Beneficios del proyecto: eficiencia y sostenibilidad



Asegurar una producción de carbonato de litio mediante incremento de eficiencia.



Eliminación del uso de agua continental. El consumo de agua se hará con agua desalada de mar, la que puede ser reutilizada.



El proyecto viabiliza la llegada de agua desalada a la cuenca del Salar a través del proyecto CRAMSA.



Menor generación de residuos del proceso.



Desarrollo de capital humano y profesionales más calificados. Oportunidad tanto para gente que trabaja en la compañía como para nuevos profesionales.

¡Muchas gracias!

¿Preguntas?

Jorge García
Gerente de Hidrogeología
Marzo 2024

