

Reseña Sobre la Exploración de Salmueras y Estimación de Recursos y Reservas

Camilo de los Hoyos

Doctor en Ciencias Geológicas

Consultor Senior (Geoquímica & Hidrogeología)

cdeloshoyos@srk.com.ar

SRK Consulting Argentina



**AUSTRALIAN
INSTITUTE OF
GEOLOGICAL
SCIENTISTS**

One Day Seminar on Lithium & Graphite

15 August 2016

Burswood on Swan, Perth

Colaboradores



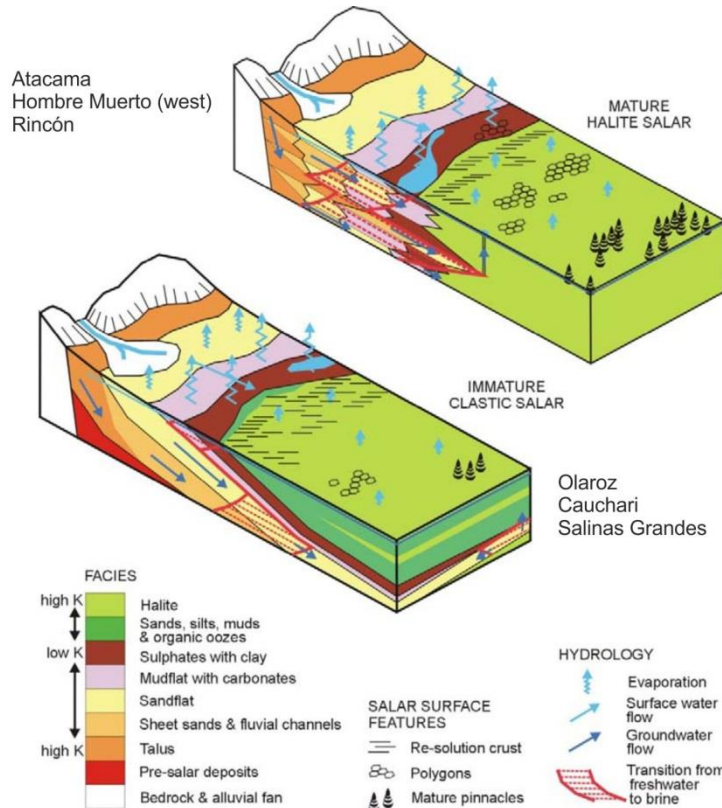
- J. Aiken, R-SME (Tucson USA)
- R. Bowell, Ph.D. (Cardiff UK)
- T. Braun, M.S. (Denver USA)
- P. Cortegoso, M.S. (Denver USA)
- I. Ezama, B. Sc. (Perth AU)
- R. Howell, M.S. (Denver USA)
- B. Labarca (Santiago CL)
- B. Luinstra. Ph.D (Perth AU)
- D. Sánchez (Salta AR)
- V. Ugorets, Ph.D. (Denver USA)

Yacimientos de Litio en Salmuera



Bradley et al., 2013

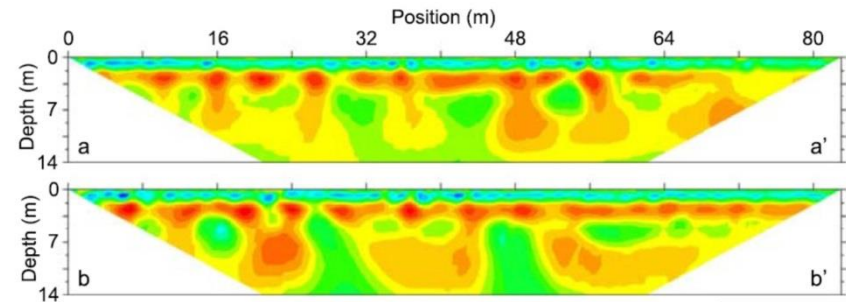
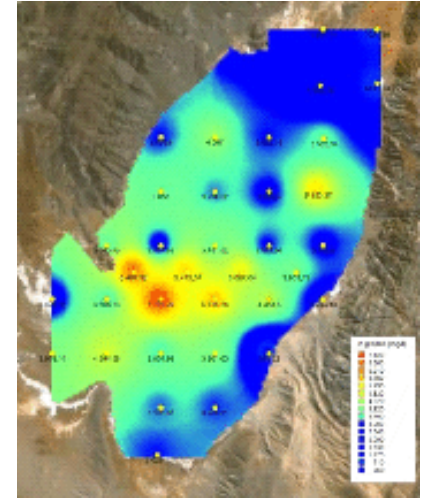
Geología de Salares: Maduros e Inmaduros



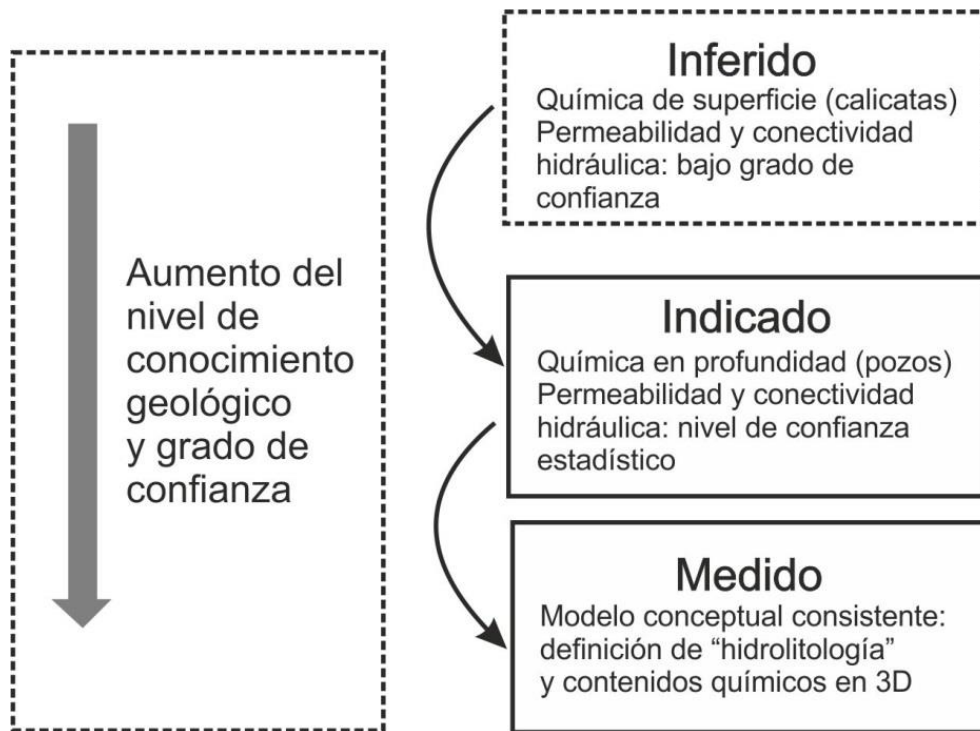
Houston et al.
(2011)

Recurso en Salmuera: Desafíos

- Recurso dinámico: se mueve naturalmente o por bombeo
- Clima: las lluvias pueden afectar las concentraciones
- Volumen del recurso
 1. ¿Cómo definir los límites laterales?
 2. ¿Cómo vincular litología con contenido de litio?
 3. ¿Porosidad efectiva, S_y o S_s ?
- Dilución: ingreso de agua “fresca” (recarga)



Recurso en Salmuera: Clasificación



Recurso en Salmuera

Volumen / distribución de concentraciones

- Mapeo geológico
- Muestreo superficial: calicatas
- Geofísica (e.g. geoelectrica, CSAMT)
- Diamantina: muestreo de testigos y salmuera
- Registro litológico / perfilaje geofísico

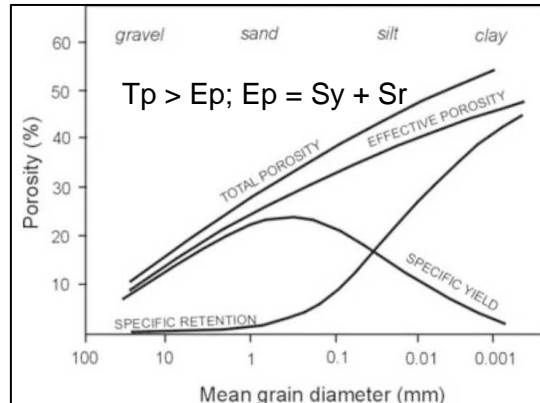


Recurso en Salmuera

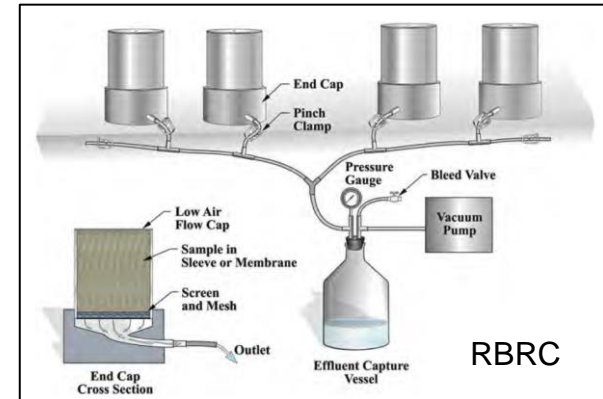
Caracterización del acuífero de salmuera

- Sy: pruebas ex-situ (laboratorio) en testigos (e.g. Relative Brine Release Capacity, RBRC)
- Conductividad hidráulica, Ss, anisotropía: ensayos hidráulicos en terreno
- Dispersividad: ensayos con trazadores en terreno
- Potencial de dilución: balance hídrico

Houston et al.,
2011



Stormont et al.,
2011



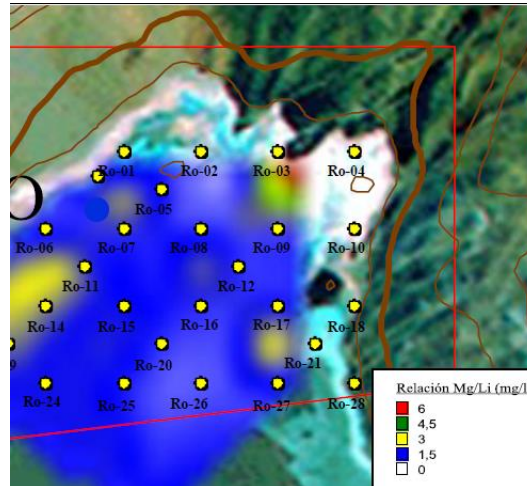
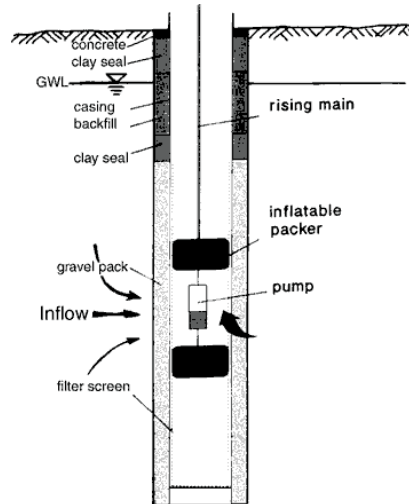
Recurso en Salmuera

Química / calidad de la salmuera

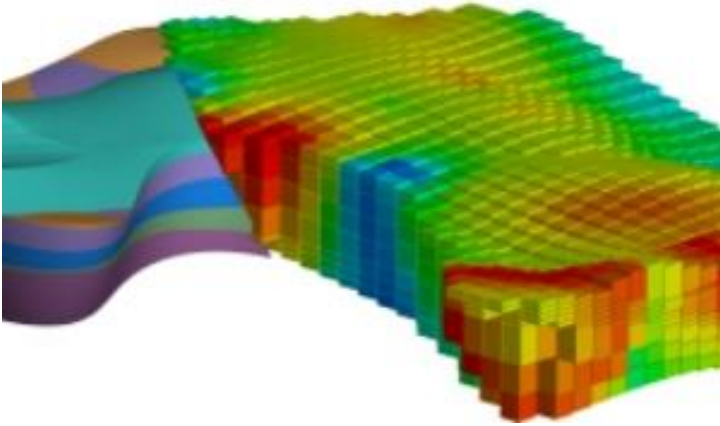
Distribución de contenidos en 3D: Li, K, Mg, B; SO₄, CO₃ etc.

Programa QA/QC: representatividad, comparabilidad, reproducibilidad, precisión

Relaciones iónicas: Mg/Li (<10), SO₄/Li (<30), B/Li (<3)



Recurso en Salmuera: Modelo Geológico



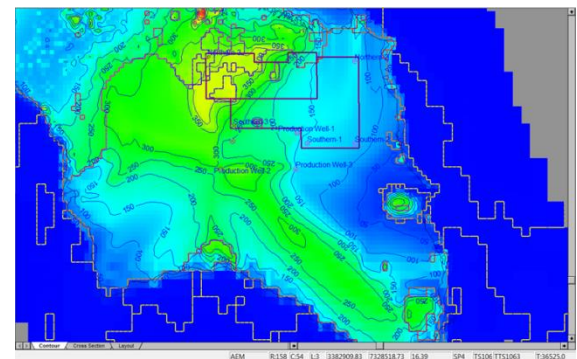
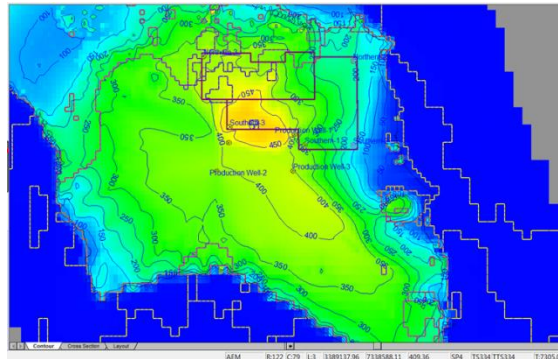
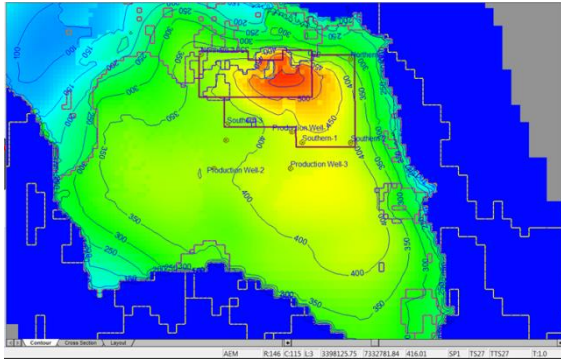
Modelo de recurso drenable *in-situ*:

- Geología + geofísica
- Litología de testigos + perfilajes
- Sy, Ss en laboratorio y terreno
- Unidades hidroestratigráficas
- Química de la salmuera
- Geoestadística

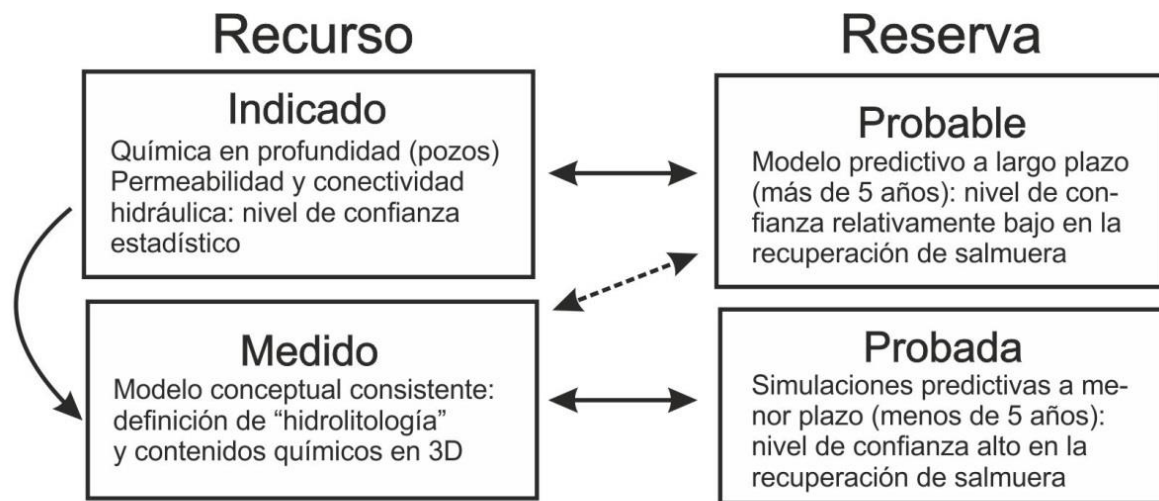
Tenemos recurso. ¿Tenemos reserva?

Reserva en Salmuera: Desafíos

- Disponibilidad de agua: demanda de agua limitada a condiciones de extrema aridez
- Recuperación de salmuera: ¿Qué porción del recurso es económicamente extraíble?
- Manejo de la salmuera procesada y “estéril”
- Propiedades dentro del mismo salar, pero con distintos propietarios
- Variabilidad espacial y temporal de las concentraciones durante el bombeo
- Dilución: ingreso lateral de agua fresca durante bombeo prolongado



Reserva en Salmuera: Clasificación



Factores de conversión: consideraciones acerca de la extractabilidad y procesado, así como factores de mercado, legales, ambientales, sociales y políticos



Reserva en Salmuera: Extractabilidad

¿Qué porción del recurso drenable puede ser realmente extraída por bombeo?

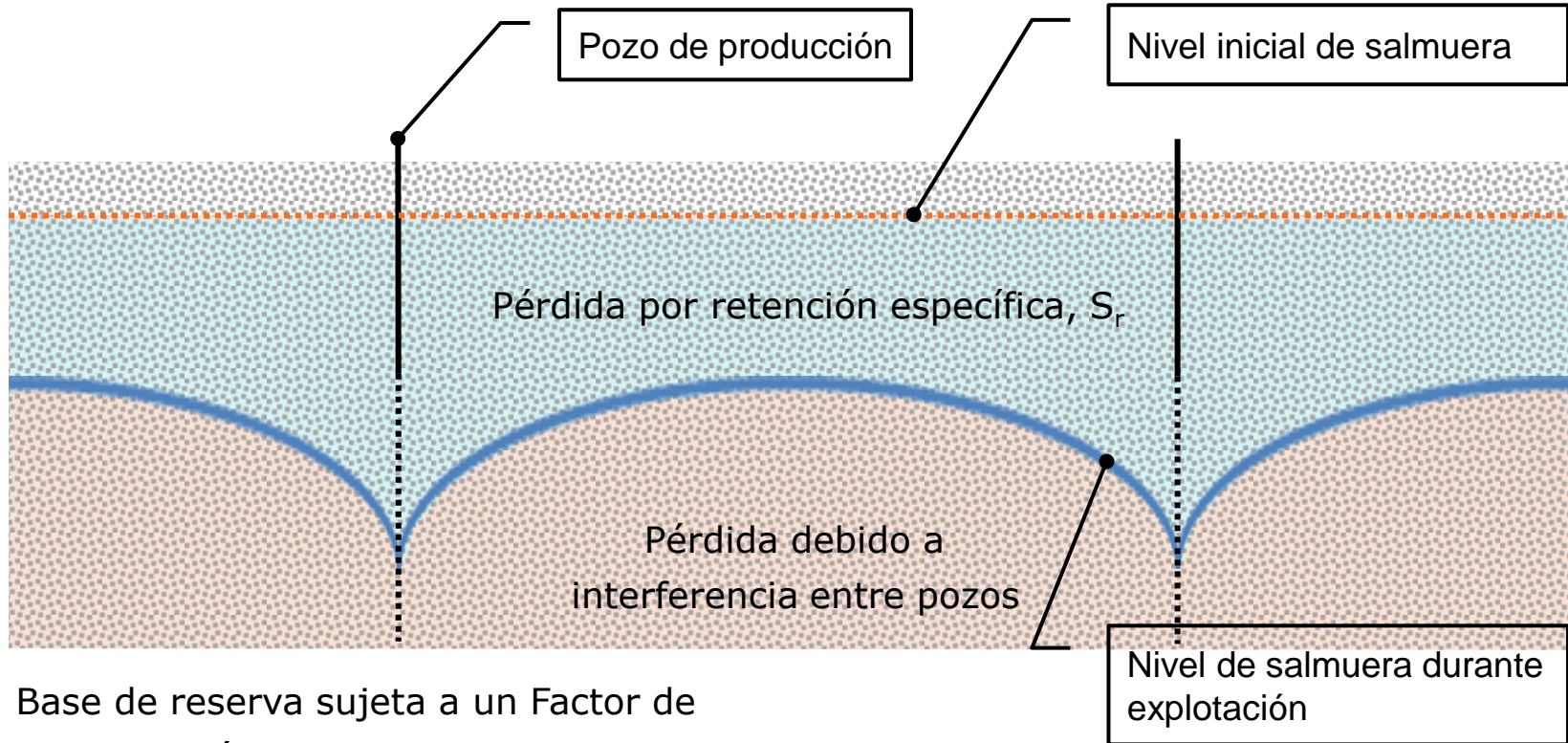


Nivel inicial de salmuera

The diagram shows a cross-section of a saltwater aquifer. A horizontal dashed orange line represents the initial water table level. The area above this line is filled with a light gray stippled pattern, representing the water table above the aquifer. The area below the dashed line is filled with a darker gray stippled pattern, representing the saltwater aquifer. A black line with a dot at the end points from the dashed line to a text box labeled 'Nivel inicial de salmuera'.

Volumen del recurso = Almacenamiento (S_y/S_s) x Volumen del acuífero

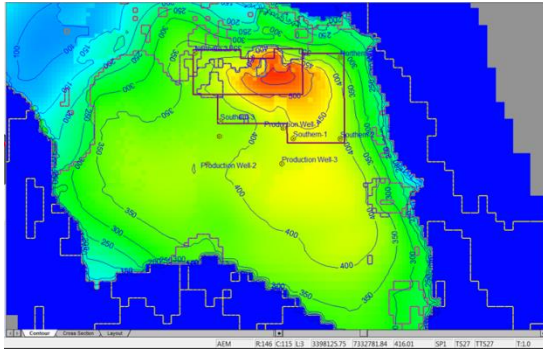
Reserva en Salmuera: Extractabilidad



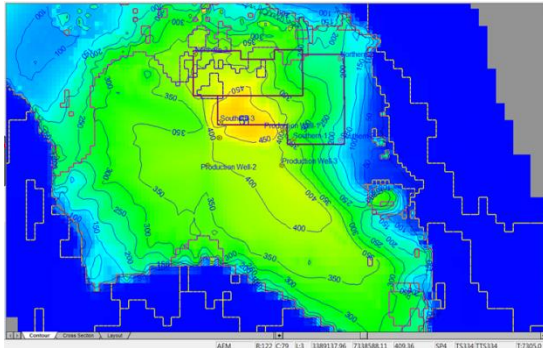
Base de reserva sujeta a un Factor de Recuperación *In-Situ*

Herramienta de Planificación Minera: Modelado Numérico de Flujo y Transporte de Solutos

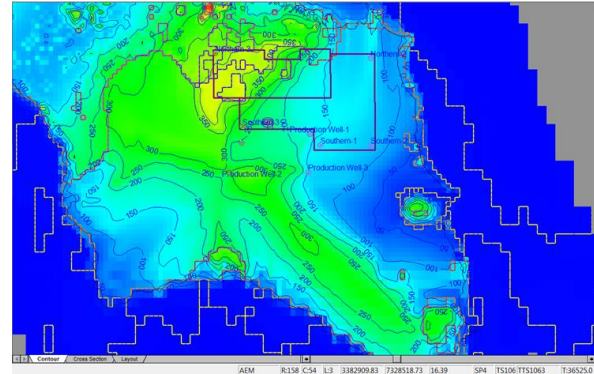
Predicción de la distribución de contenidos durante bombeo prolongado



Condiciones
iniciales (año
0)



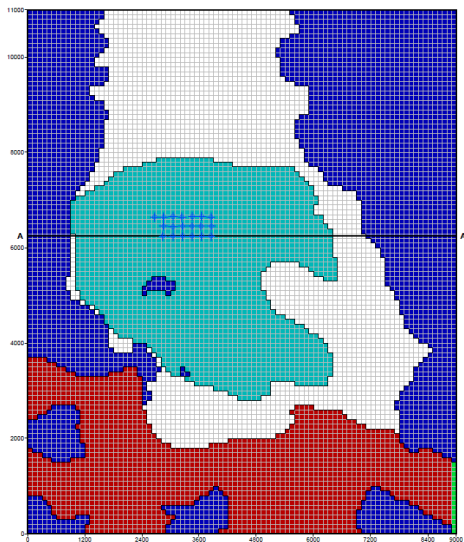
20 años de
producción



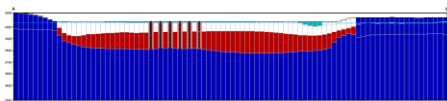
100 años
de
producción

Herramienta de Planificación Minera: Modelado Numérico de Flujo y Transporte de Solutos

Vista en planta

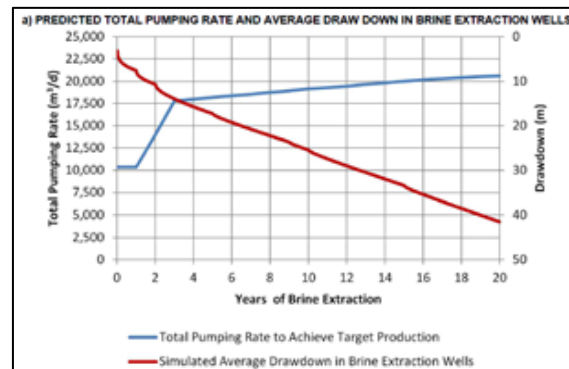


Vista en perfil

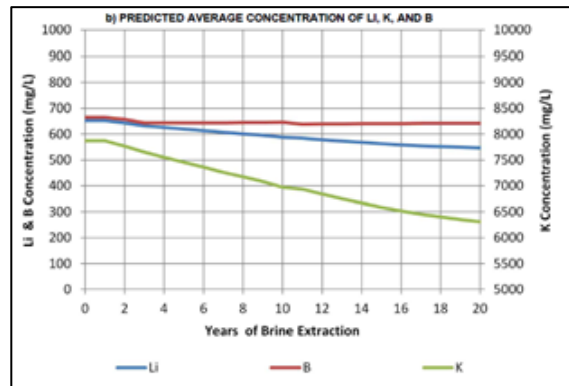


Predicción de:

Cantidad



Calidad



Recuperación de Salmuera: Ejemplo

Proyecto: Cauchari-Olaroz (Jujuy, Argentina)

Recurso Medido + Indicado: ~ 1 millón de toneladas de Li

Salmuera bombeada: 976 millones de m³

Concentración de Li en el acuífero: 650 mg/l

Li “bombeado”: ~ 643 kt

Li recuperado en la planta: 232,7 kt

Li recuperado luego del proceso: ~ 36%

Fracción del Recurso: ~ 23%

Tran & Luong,
2013

Minería de Salmueras: Puntos Clave

- Exploración con diamantina: el experto es el geólogo
- Hidrogeología clásica adaptada a soluciones hipersalinas
- Evaluación del reservorio basada en propiedades petrofísicas e hidráulicas
- Evaluación permanente de la química de la salmuera
- Principal ingeniero de minas “extractivista”: el hidrogeólogo
- Principal ingeniero de minas “procesista”: el ingeniero químico
- Principal herramienta de planificación minera: Modelo numérico de flujo y transporte de solutos
- Modelado dinámico: actualización y calibración permanente durante la explotación



Gracias por su atención