



Colegio de Ingenieros del Perú

CONSEJO NACIONAL

CIP VIRTUAL
V1.0

"AGUA Y MINERÍA" APORTES DESDE LA HIDROGEOLOGÍA AL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL PAÍS

Juan Antonio Navarro láñez
Ingeniero de Minas
Hidrogeólogo senior

12 DE ABRIL 2018, LIMA (PERÚ)

CONTENIDO DE LA PRESENTACIÓN

1. Minería y estudios hidrogeológicos. Acercamiento a la realidad de Perú.
2. Hidrogeología del área operativa de Yanacocha y estimación del área máxima de afección.

**MINERÍA Y ESTUDIOS
HIDROGEOLÓGICOS.
ACERCAMIENTO A LA REALIDAD DE
PERÚ-PAÍS MINERO**

BALANCE DE AGUA E HIDROGEOLOGÍA

Una conceptualización del funcionamiento hidrogeológico que no incluya todos los aspectos que intervienen en el funcionamiento del sistema puede arrojar resultados inexactos, por tanto:

- Es necesario **rigor científico en los estudios hidrogeológicos**, usando la tecnología desarrollada y aplicada durante los últimos 40 años en miles de operaciones mineras internacionales y la experiencia acumuladas en los últimos 25 años de experiencia en hidrogeología minera en el Perú (estándares y procedimientos).
- Es imprescindible que los **modelos numéricos y cálculos hidrogeológicos** estén fundamentados en suficientes datos, una correcta comprensión del medio simulado (a veces muy complejo), sean desarrollado por profesionales expertos y estén soportados en software (herramientas de simulación) suficientemente documentados y acreditados por la comunidad científica (validación científica).
- Las **infraestructuras y resto de operaciones mineras deben incorporarse a los modelos y cálculos hidrogeológicos considerando una conceptualización adecuada** de las mismos (cambios en las condiciones de infiltración respecto a la condición natural, modificación en gradientes y flujos por drenajes), para que las simulaciones predictivas sean objetivables. Y deben existir redes de control monitoreo adecuadas que permitan una actualización continuada en el tiempo (cada 2 años).
- Es preciso **mejorar el grado de formación de los profesionales peruanos en hidrogeología**: no hay suficientes cursos en la Universidad, no hay un master de hidrogeología en Perú acreditado por la universidad; los equipos de hidrogeología de la administración (ANA, SENACE, INGEMMET) están en fase de desarrollo y no cuentan con los presupuestos, medios y planes de asesoramiento suficientes.

HIDROGEOLOGÍA Y MINERÍA EN PERÚ

La Hidrogeología Minera en Perú se enfrenta a los siguientes retos:

- Un **medio hidrogeológico en ocasiones muy complejo** que debe ser simplificado, pero atendiendo a todos los factores que intervienen y condicionan el funcionamiento de los sistemas (medios multicapa, fracturados o karstificados constituyen un reto continuo para las operaciones mineras: control de impactos, drenaje minero, seguridad en las operaciones –presiones, flujos, etc.-).
- La **operación minera debe considerar la relevancia del recurso agua** en el contexto de los sistemas de explotación de recursos hídricos (legislación, usuarios, planificación y gestión, ecología, etc.), considerar que es un recurso compartido con el resto de actividades humanas y con el medio natural, y debe aspirar a minimizar el impacto de la operación sobre el balance hidrológico. Esto es crítico en Perú, puesto que muchas operaciones mineras están ubicadas en zonas de cabecera de cuenca o la parte alta de las cuencas, donde se genera la mayor parte del recurso hídrico (>2,500 msnm).
- Es necesario que los profesionales expertos tengan la **capacidad de comunicar e informar**, participando en los procesos de diálogo con las administraciones y agentes sociales, e incluso profesionales de otras disciplinas que se interesan por la hidrogeología.

HIDROGEOLOGÍA DEL ÁREA OPERATIVA DE YANACOCHA Y ESTIMACIÓN DEL ÁREA MÁXIMA DE AFECCIÓN

LIMA, 12 DE ABRIL DE 2018

MODELO CONCEPTUAL.

Régimen Natural



Recursos renovables (recarga) (R)

Nivel piezométrico
(oscilación estacional)

Variación almacenamiento (ΔS)

Recursos

Reservas

Cuerpos de sílice

Nivel base de descarga

Roca regional

Piezómetro

Descarga natural (D)

Manantial

Quebrada

Flujo

Ecuación del
balance

$$D = R - \Delta S$$

El Sistema Hidrogeológico de Yanacocha reúne unas condiciones específicas que deben consideradas en cualquier análisis sobre balance de aguas.

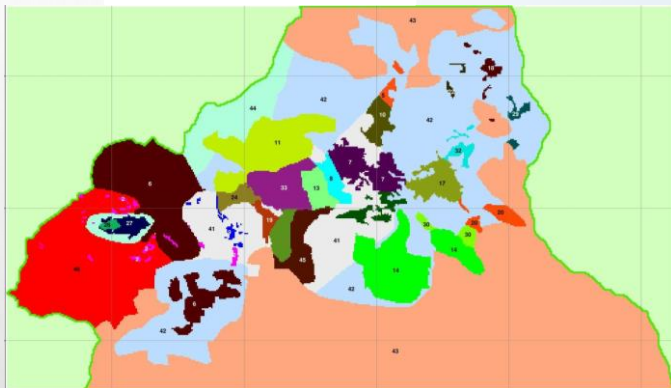
El agua subterránea se acumula, principalmente, en los cuerpos de sílice (donde está alojado el mineral) que poseen mayor permeabilidad y porosidad que la roca encajante (roca regional).

MODELO NUMERICO DE FLUJO SUBTERRÁNEO

El modelo numérico tridimensional que aplica en la Minera Yanaccha y que ha servido para establecer los drenajes mineros y los impactos sobre el medio hídrico (fijar las compensaciones), ha sido desarrollado en MODFLOW (USGS), viene siendo periódicamente re-calibrado y actualizado desde 2010 y ha permitido predecir los impactos del LoM (2035 / SIE V).

Ha sido calibrado en régimen estacionario y transitorio haciendo uso de numerosa

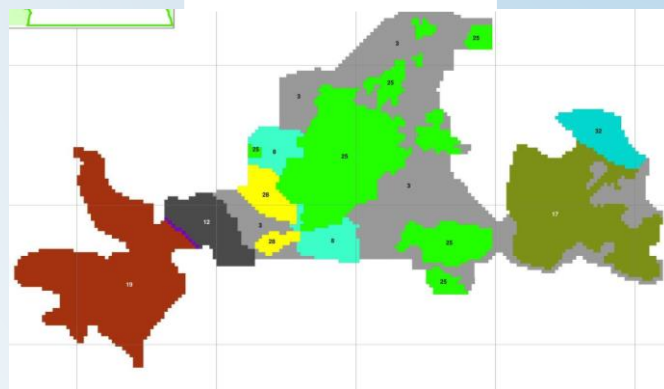
Capa 1



Capa 2



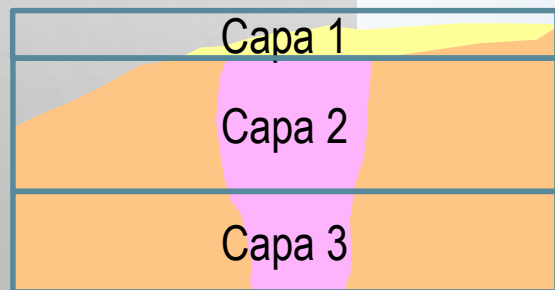
Capa 3



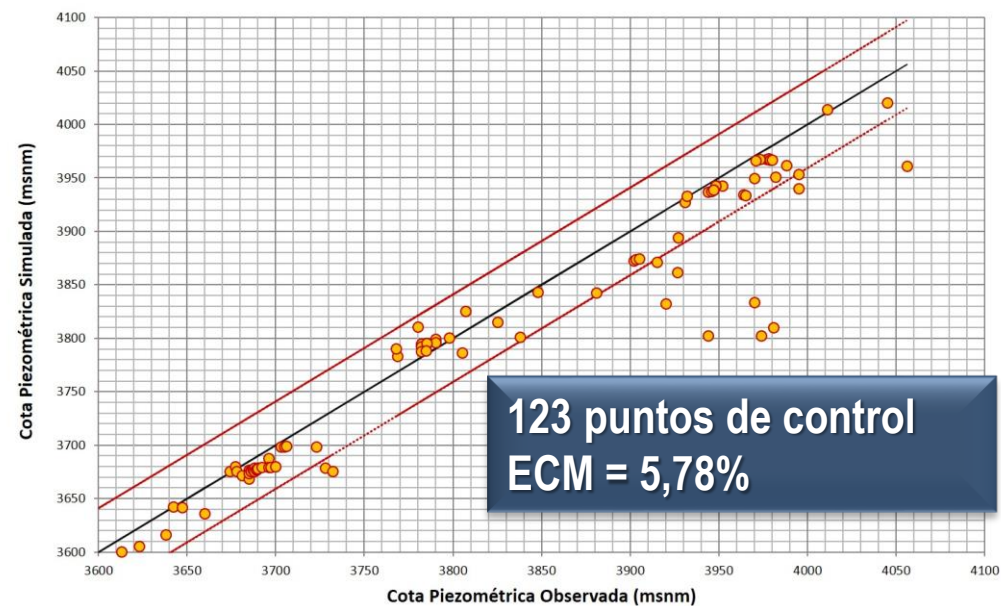
Capa 1

Capa 2

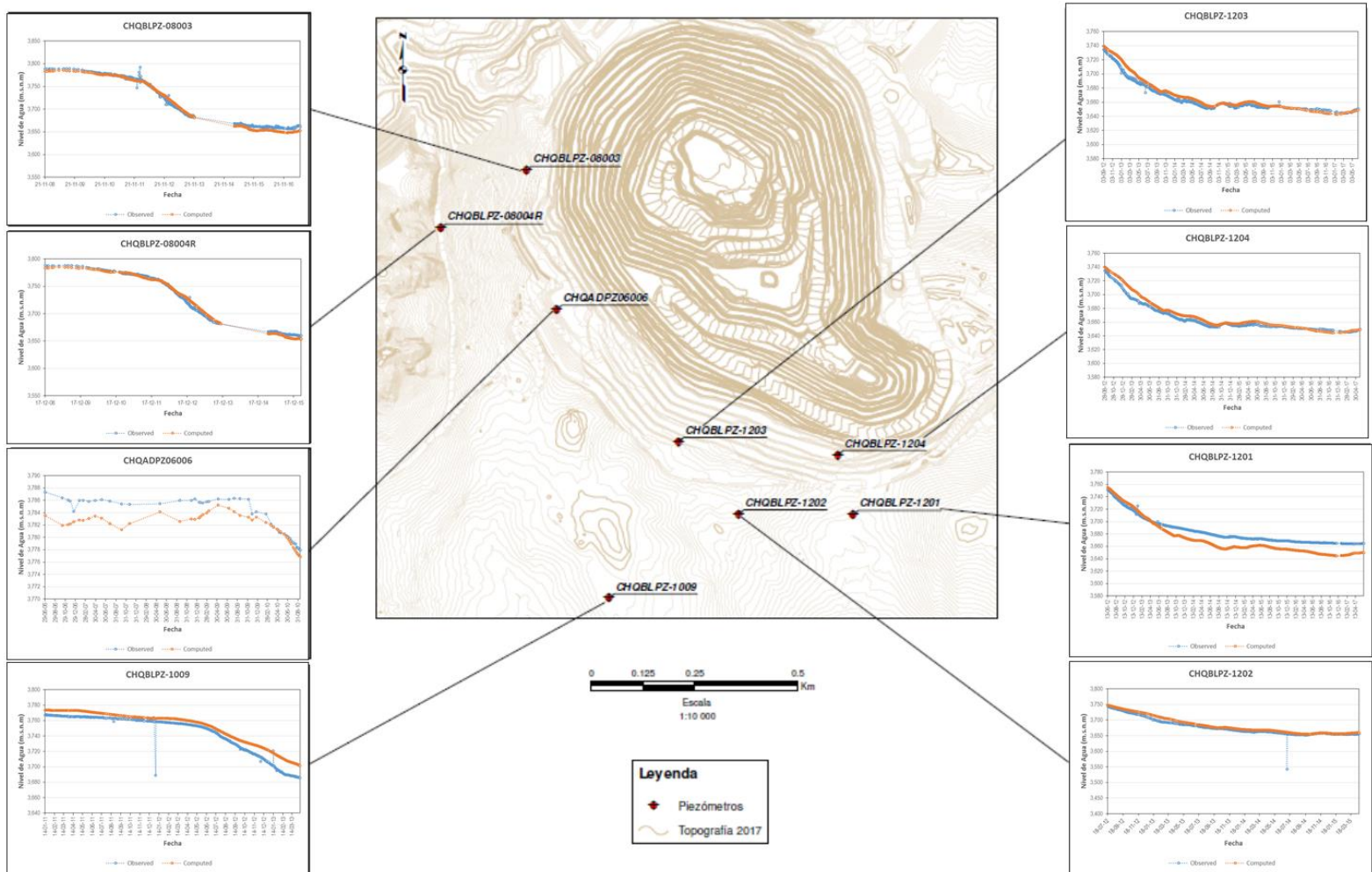
Capa 3



Error en la simulación numérica. Simulación Régimen Permanente



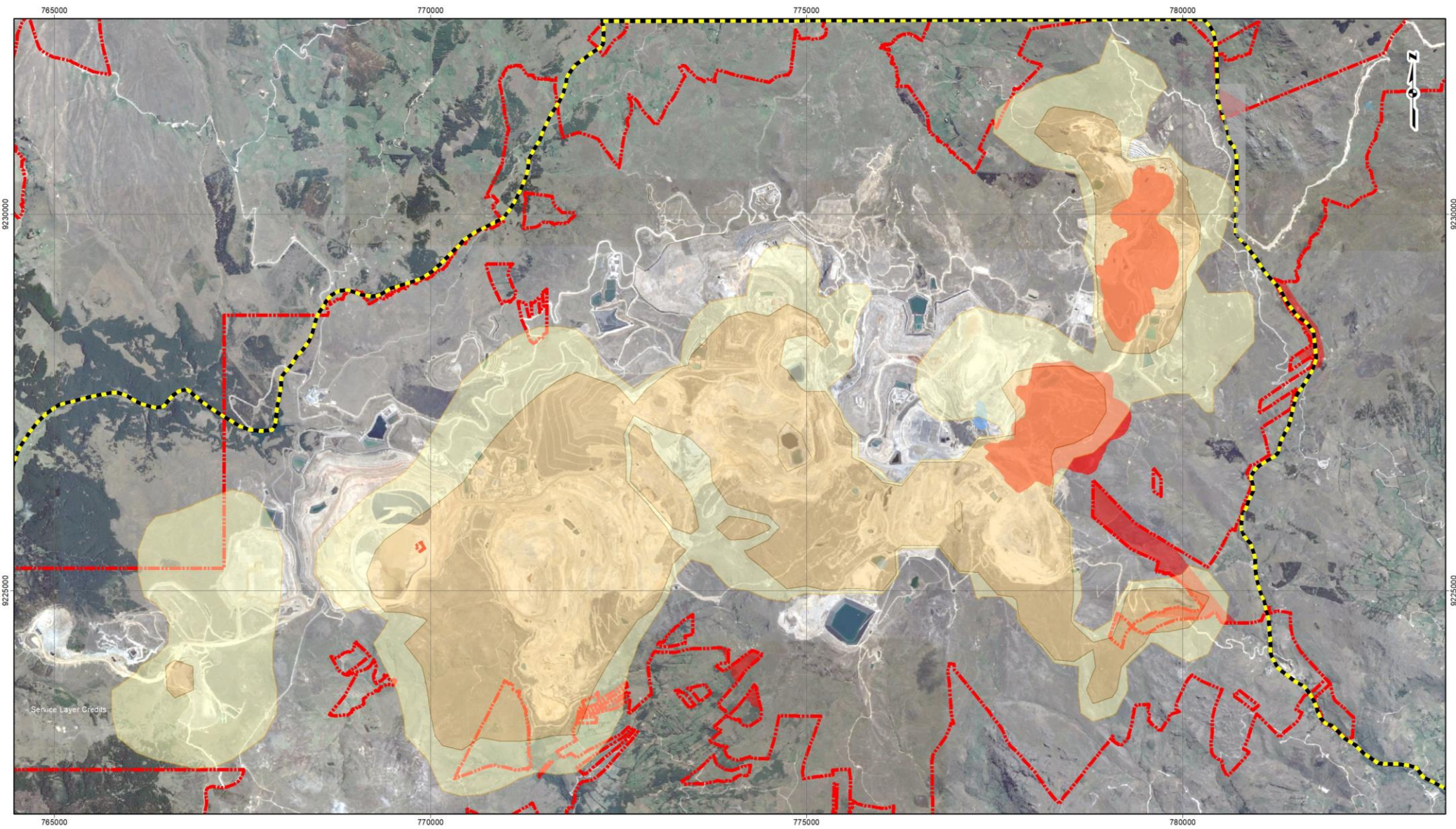
CALIBRACIÓN EN RÉGIMEN TRANSITORIO: Régimen Influenciado



Datos que han sido utilizados para la calibración en régimen transitorio (validación del modelo numérico y asegurar una correcta predicción):

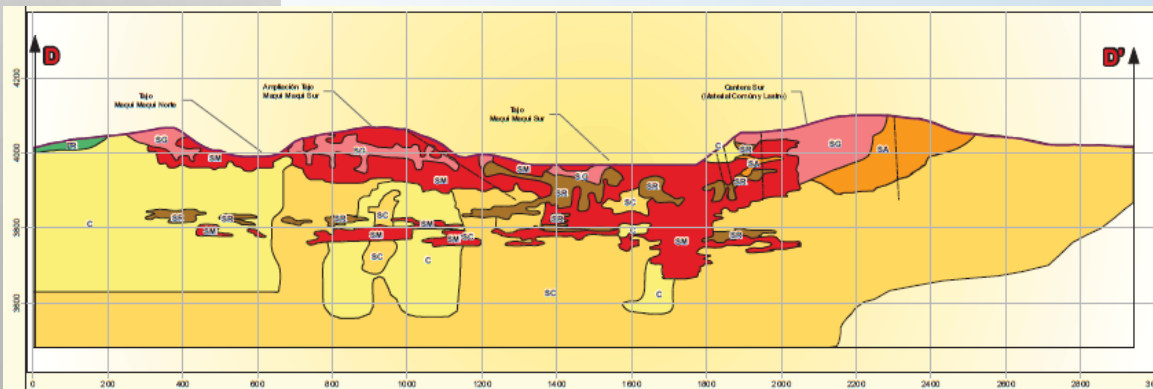
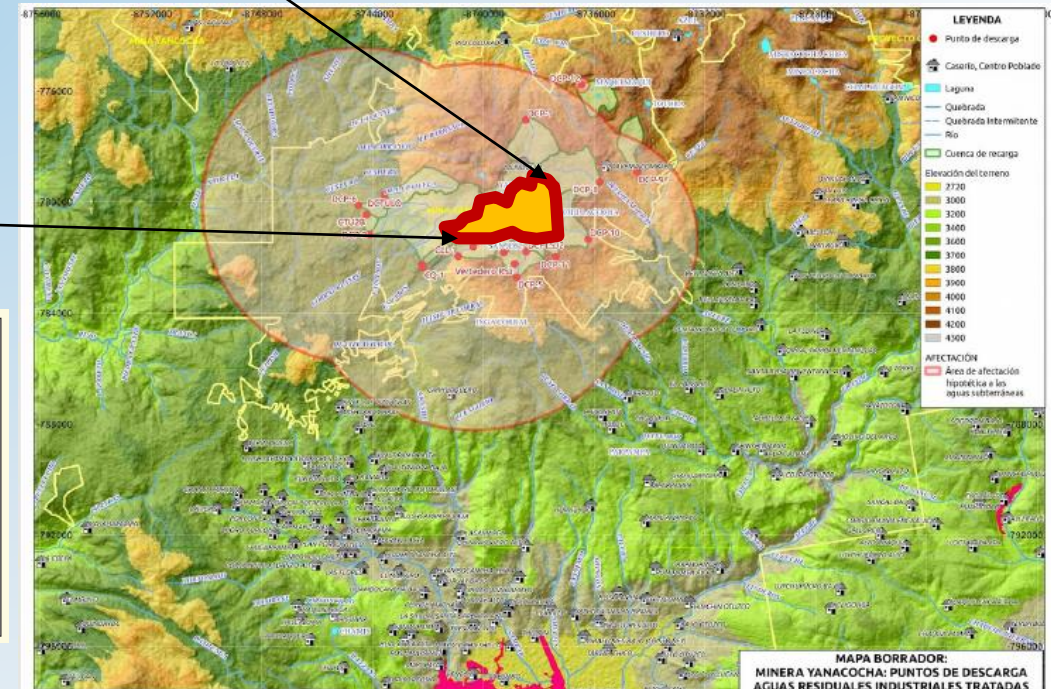
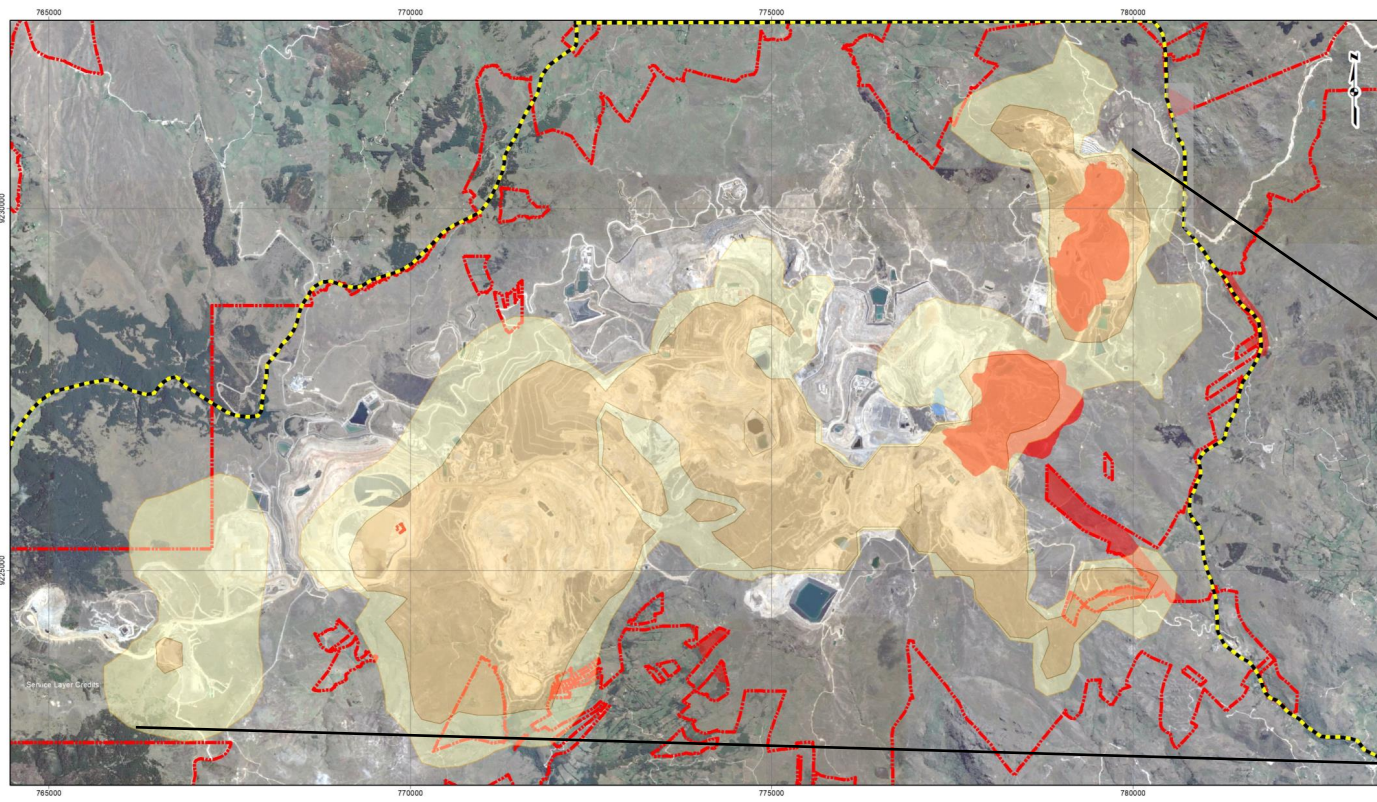
- 146.561 registros de piezometria tomados entre enero de 1995 y la actualidad, correspondiente a un total de 1144 puntos de control.
- 146.767 datos de caudales de bombeo instantáneo y 167.299 datos de volumen de bombeo, registrados entre julio de 1998 y la actualidad, correspondientes a 184 pozos de bombeo.

ÁREA MÁXIMA DE AFECCIÓN: Zona de influencia Directa por drenajes mineros



DISTRIBUCIÓN DE LOS CUERPOS DE SÍLICE

La extensión de los cuerpos de sílice, donde se ubican los drenajes mineros se circunscriben a los límites de las actividad minera y la zonas de influencia directa queda incluida en estos límites, como ha sido informado y aprobado en los sucesivos EIA y MEIAs que Minera Yanacocha ha desarrollado.



Geología	
C	: Clay
FR	: Fresh Rock
PRO	: Propylitic
SA	: Alunite Silica
SC	: Clay Silica
SG	: Granular Silica
SM	: Massive Silica
SR	: Residual Silica
SV	: Vuggy Silica