

“El desarrollo de la ciencia hidrogeológica en el contexto de la minería en el Perú – Análisis de casos mineros – Caso Minera Yanacocha

Por:
Saul Montoya M.Sc.

Que es la hidrogeología?

Es la rama de la hidrología que estudia la disponibilidad, movimiento y calidad del agua debajo de la superficie terrestre.

- Medio poroso
- Flujo laminar
- No visible
- Mayor calidad pero la más vulnerable
- Agua “fresca” y agua “fósil”

Rocas cercanas a la superficie: sólidos y vacíos.

Rocas con agua: Acuíferos: no-consolidados (tipo suelo) o consolidadas.

No consolidado

Los depósitos no consolidados: centímetros hasta 12000m

La mayoría de depósitos no consolidados provienen de la desintegración de rocas consolidadas

Consolidado

Partículas minerales unidas por el calor o presión.

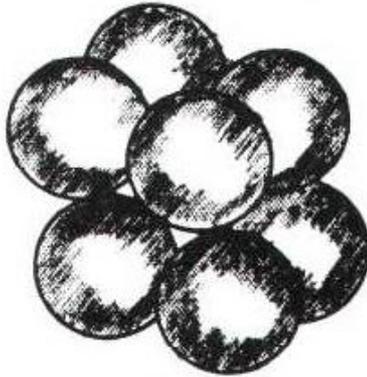
Naturaleza de vacíos (tufos, alteraciones).

Tipos

Sedimentarias: calizas, dolomitas, lutitas, areniscas y conglomerados.

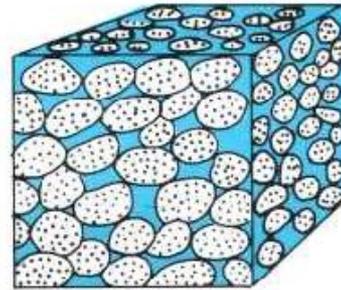
Igneas: granitos y basaltos.

Metamórficas: No son buenos acuíferos

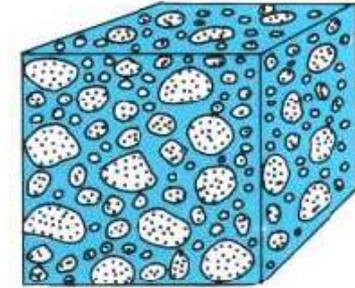


POROUS MATERIAL

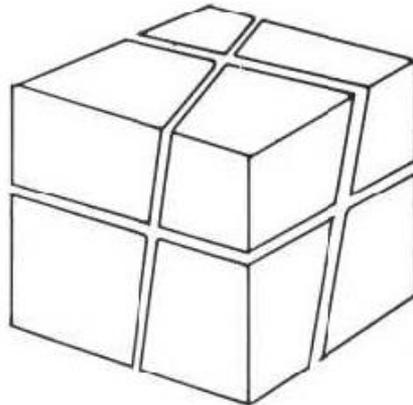
PRIMARY OPENINGS



WELL-SORTED SAND



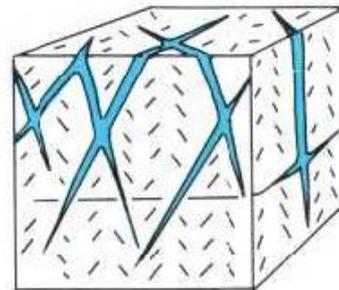
POORLY-SORTED SAND



FRACTURED ROCK

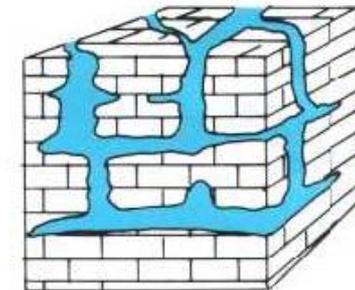
(1)

SECONDARY OPENINGS



FRACTURES IN
GRANITE

(2)

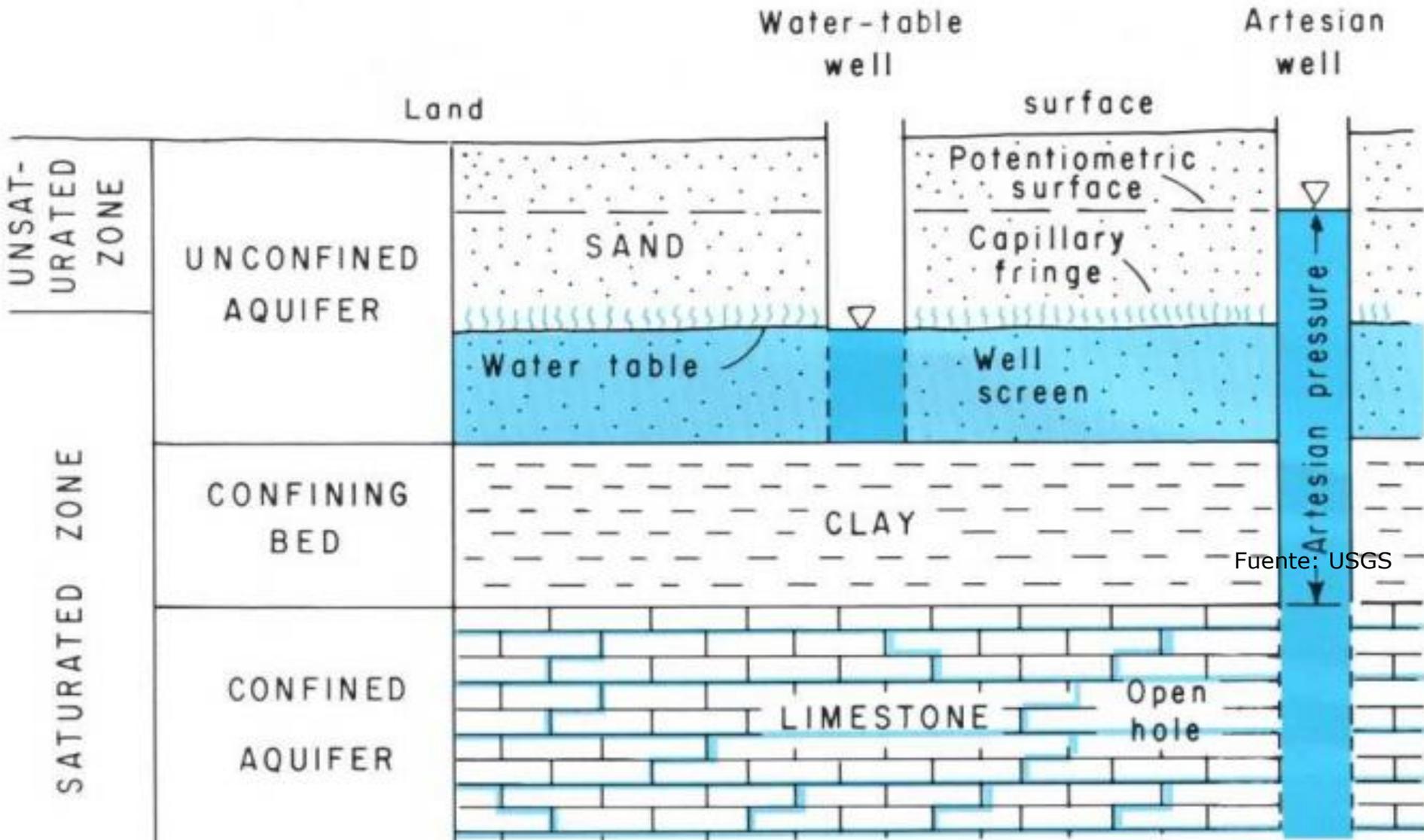


CAVERNS IN
LIMESTONE

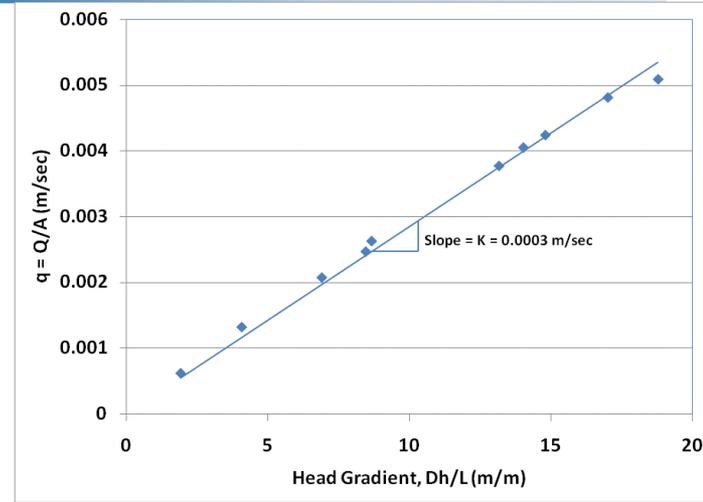
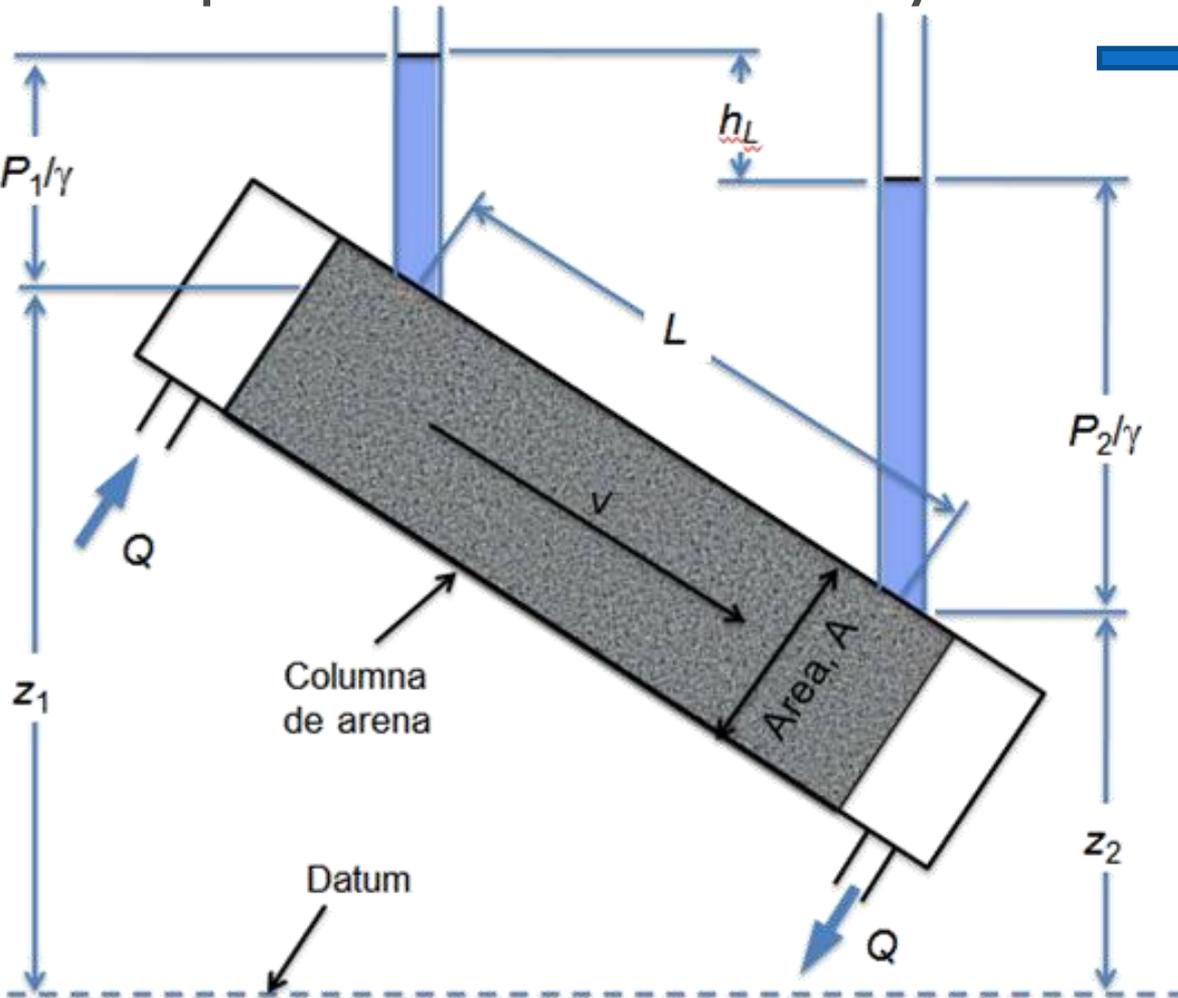


Laguna Mamacocha al costado de rocas Calizas-Cajamarca

Tipos de acuíferos



Experimento de Darcy



$$Q \propto cte * A \frac{h_1 - h_2}{L}$$

De donde se define la siguiente expresión:

$$Q = K * A * \left(\frac{dh}{dl} \right)$$

Donde:

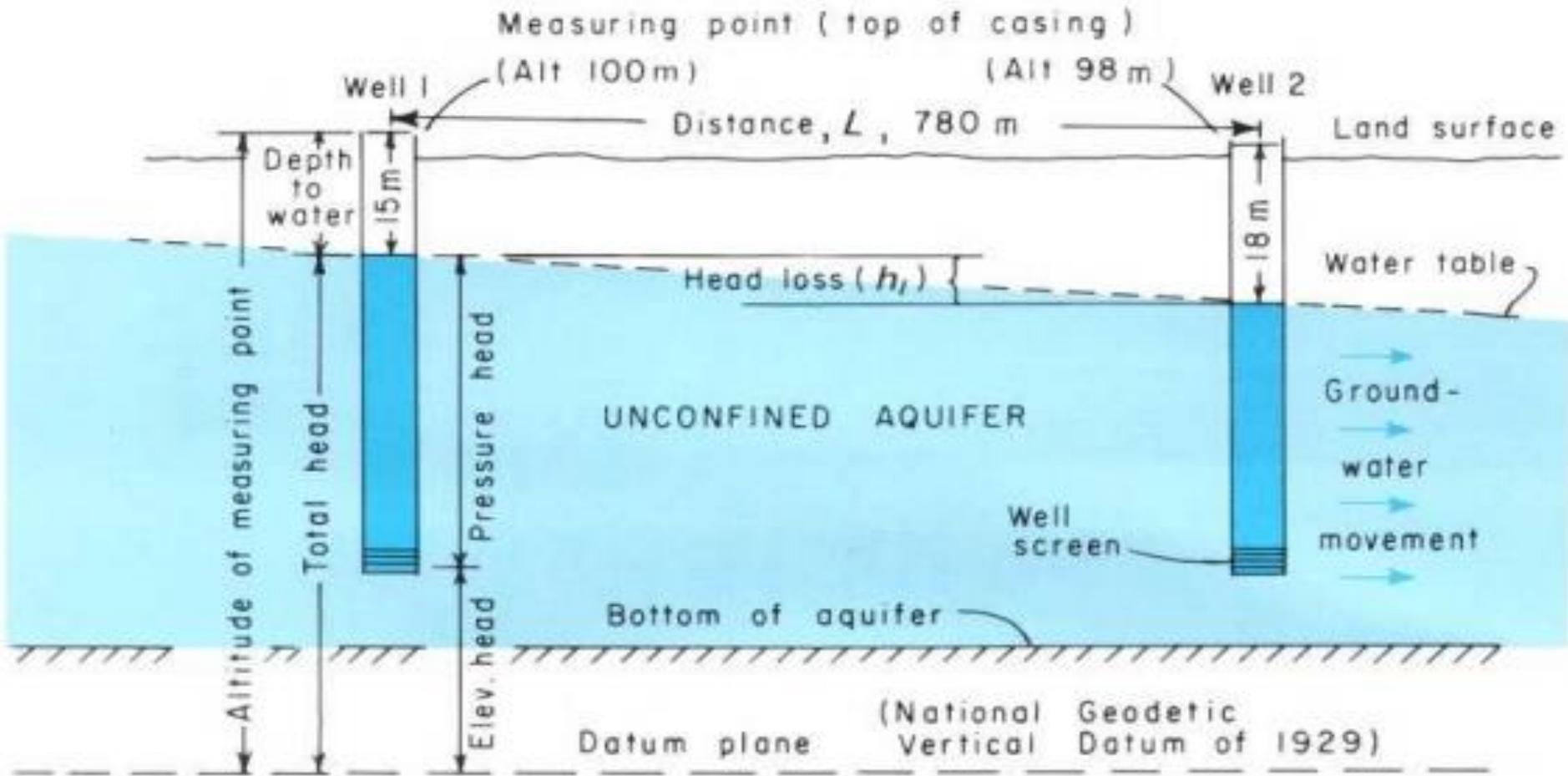
Q = volumen de agua por unidad de tiempo

K = conductividad hidráulica

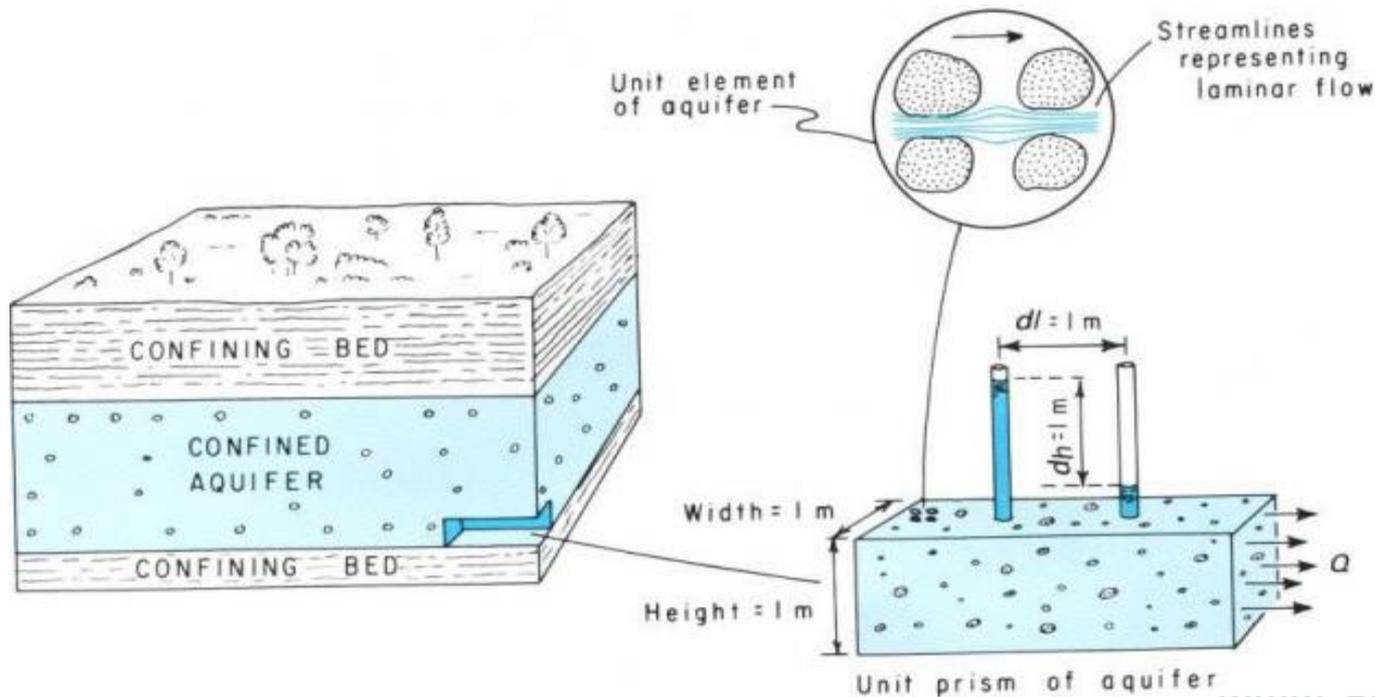
A = área transversal en la dirección del flujo

$\frac{dh}{dl}$ = gradiente hidráulico

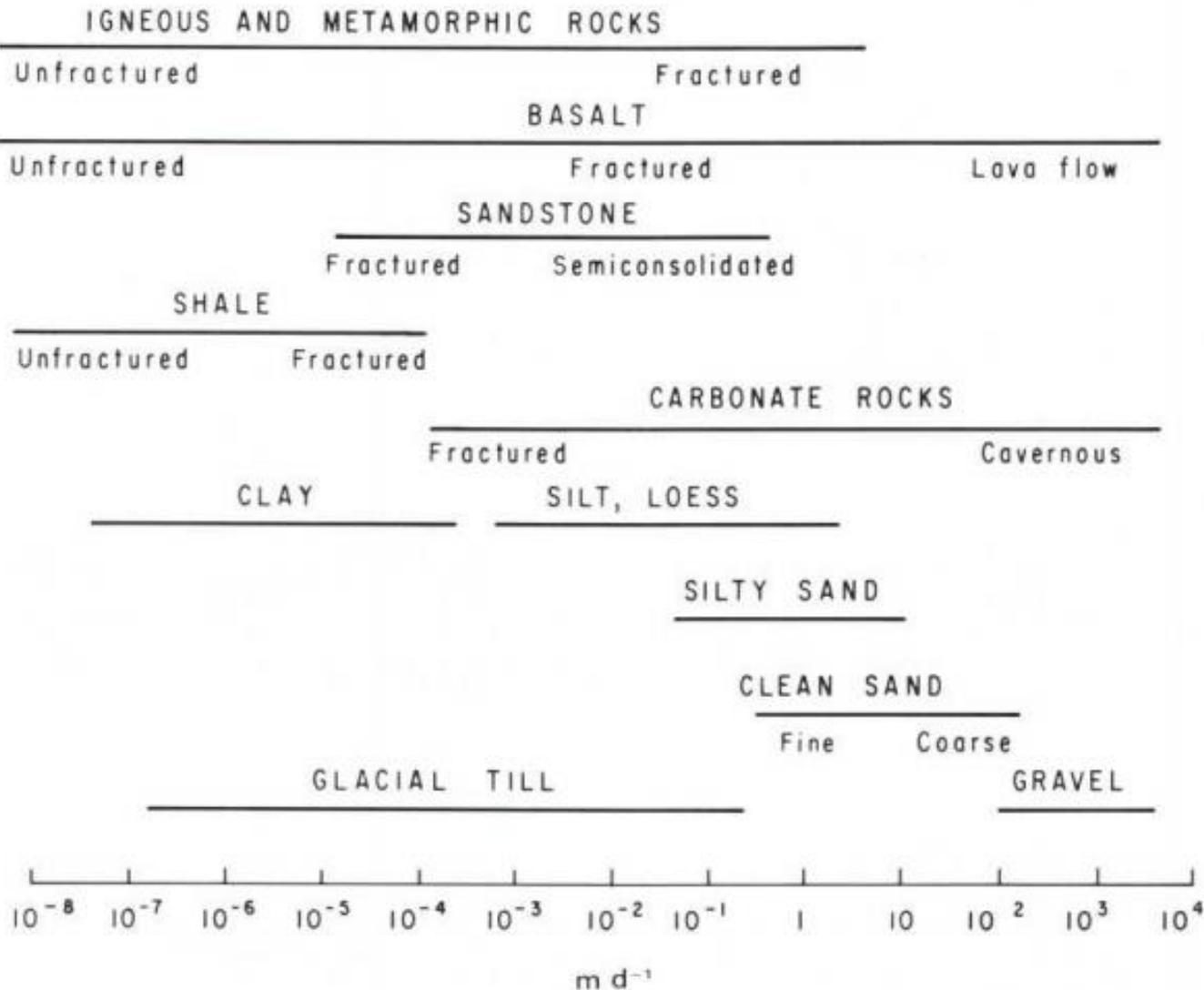
Ley de Darcy más aplicada



Propiedad que mide la facilidad de desplazarse de un fluido específico, a través de un medio poroso; dependiendo de las propiedades del fluido y la matriz sólida.



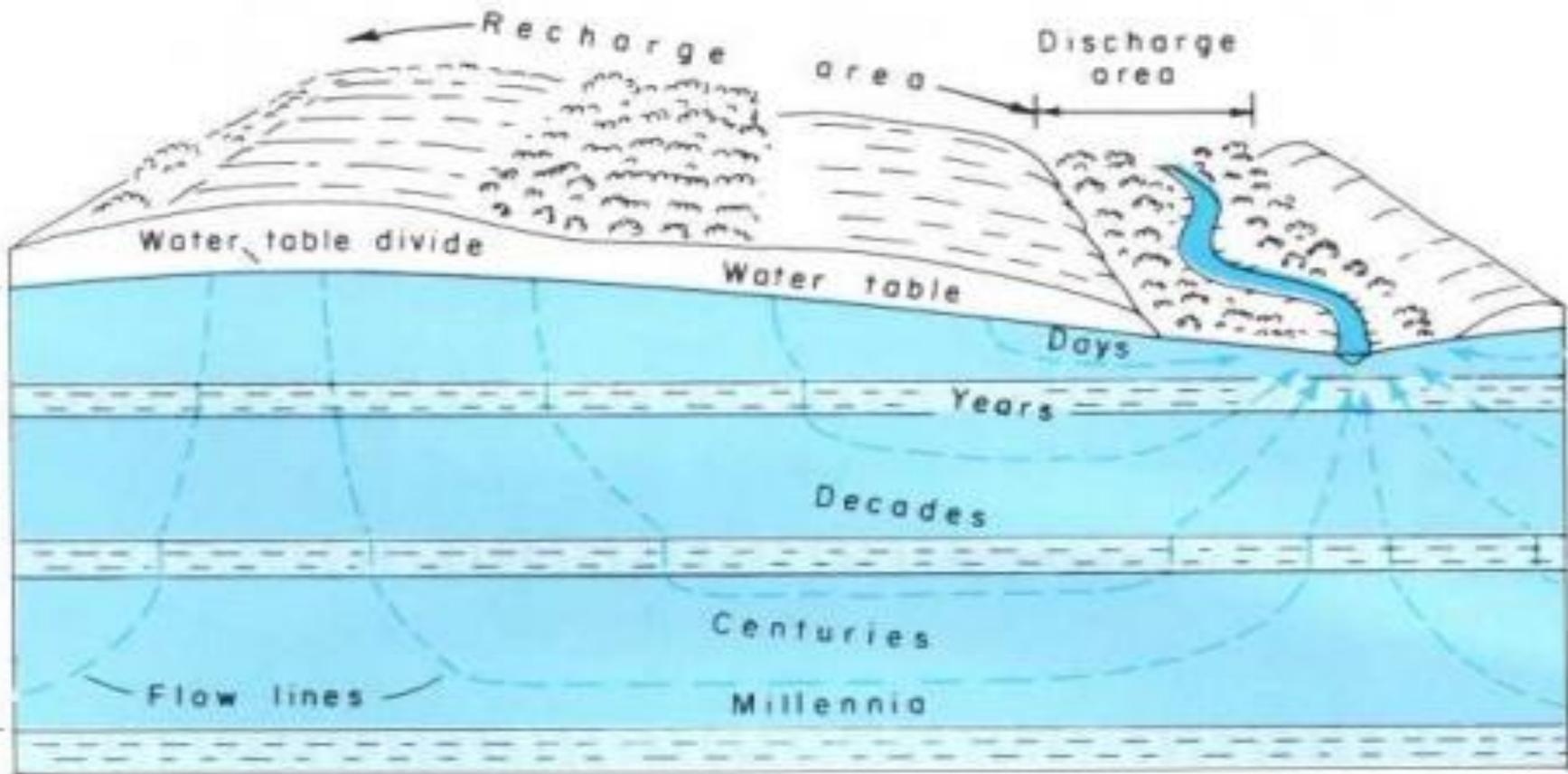
Conductividad Hidráulica (K)



Podemos diferenciar hasta 12 órdenes de magnitud en los valores de conductividad hidráulica entre las rocas.

Sistema de Aguas Subterráneas

gidahatari



Sistema de Aguas Subterráneas

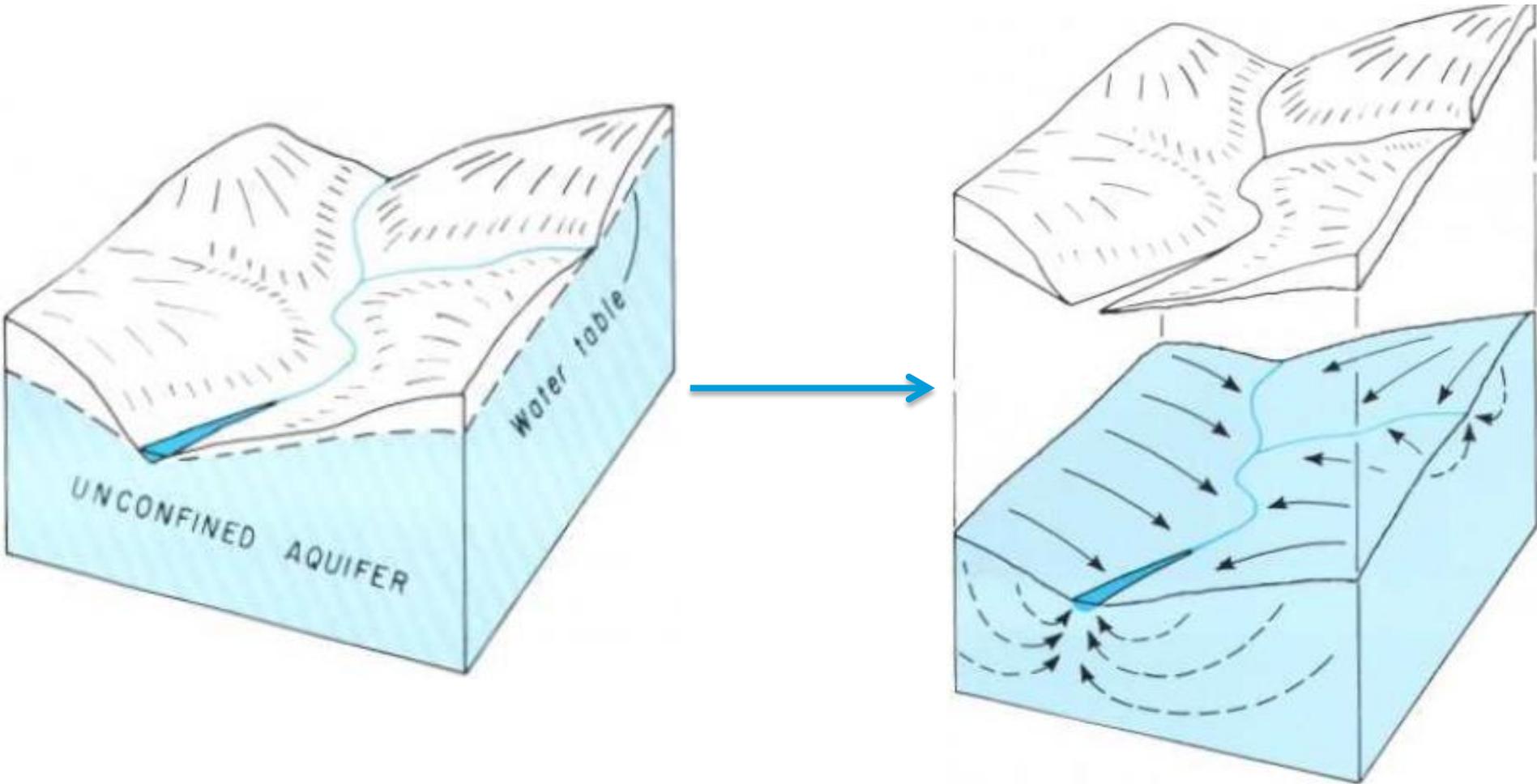
gidahatari

Descarga

- Ocurre en las zonas de cursos de agua y en las llanuras húmedas.
- Se da de manera continua.

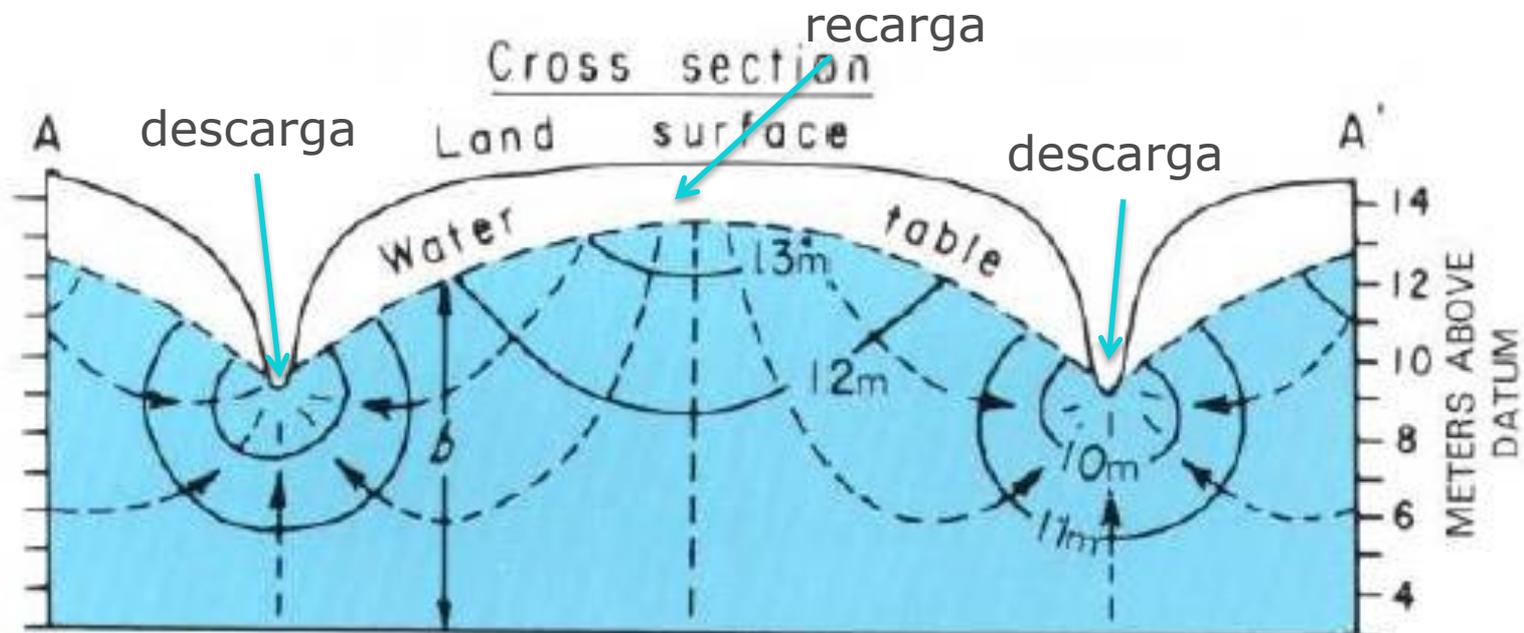
Recarga

- Ocurre en las áreas que se encuentran entre los cursos de agua.
- Se da de manera intermitente

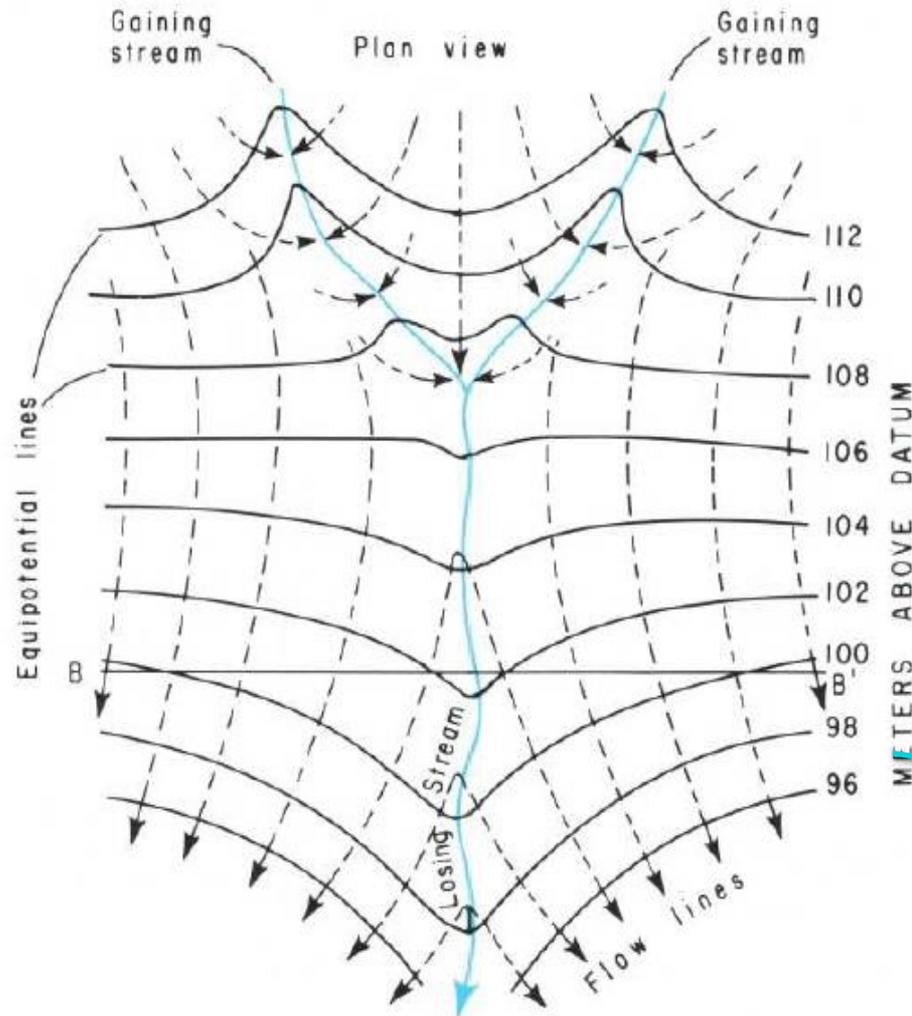


Si perforamos un pozo en:

- La **zona de recarga**: mientras más profundo, el nivel del agua se encontrara debajo del nivel de la superficie.
- El **zona de descarga**: mientras más profundo, el nivel del agua podría estar más arriba del nivel de la superficie.

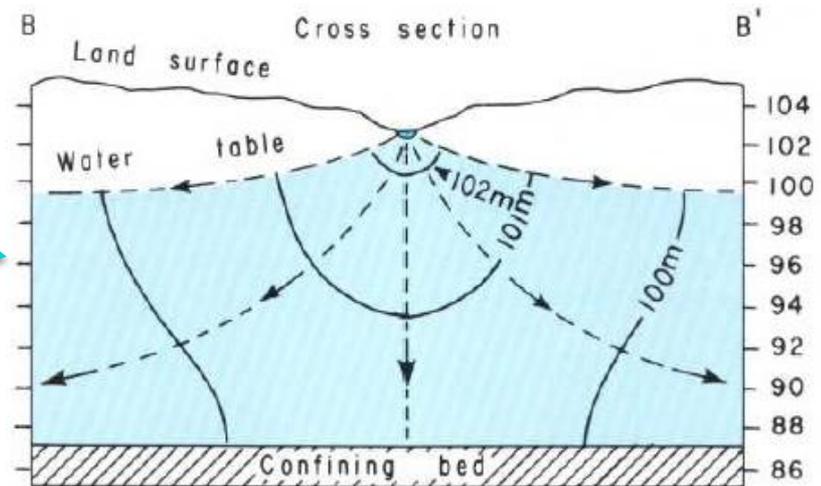


Ríos que pierden



Aguas arriba el agua drena los cursos de agua; se observa las líneas equipotenciales en forma de '^' en la dirección de flujo.

Aguas abajo el curso de agua aporta a las aguas subterráneas; se observa las líneas equipotenciales en forma de 'v' en la dirección de flujo.



La Hidrogeología en Minería



1. Delimitación del área de estudio
2. Levantamiento de cartografía detallada
3. Inventario de cuerpos de agua superficial posiblemente influenciados por el agua subterránea
4. Inventario de pozos existentes
5. Inventario de fuentes potenciales de sustancias de origen antrópico
6. Diseño de la red de piezómetros
7. Perforación de Pozos y Toma de Muestras

Modelo

Calibrado

Calibración Estática | Análisis de Sensibilidad
Calibración Dinámica



Impacto a la cantidad



Impacto a la calidad

Tipo de simulación:



Modelo de flujo:
Dinámico

Aspecto a simular

Tajos

Plan de mina
Impacto en flujo base
Extensión de cono de depresión
Impactos en bofedales

Tipo de simulación:



Modelo de flujo:
Estático

Fin de mina + 80 años

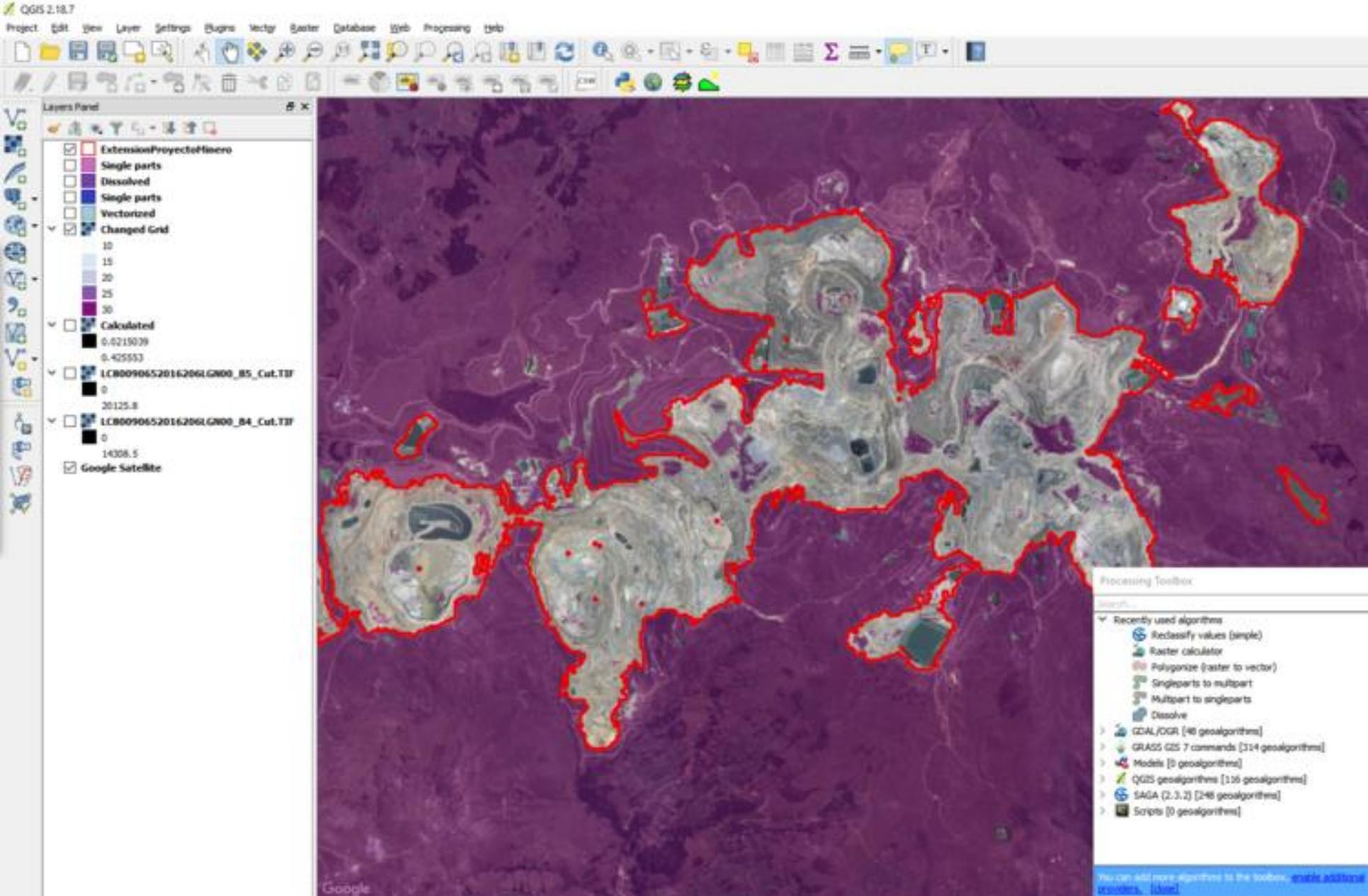


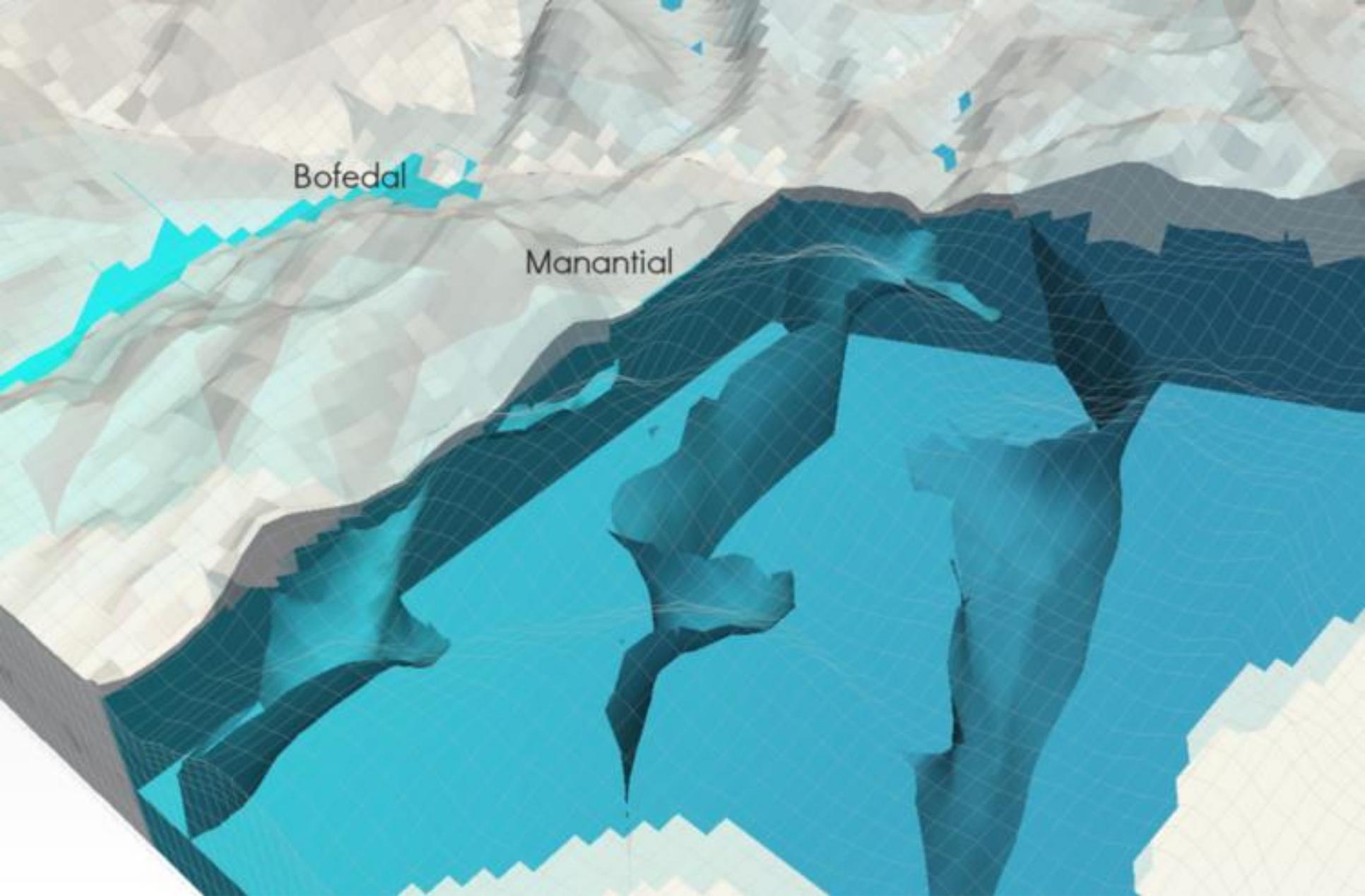
Modelo de transporte:
Dinámico

Aspecto a simular

Botadero y depósitos de relaves

Esquematizar a 300 años geometría de ingeniería
Tasa de filtraciones de lixiviado
Extensión de pluma de contaminante

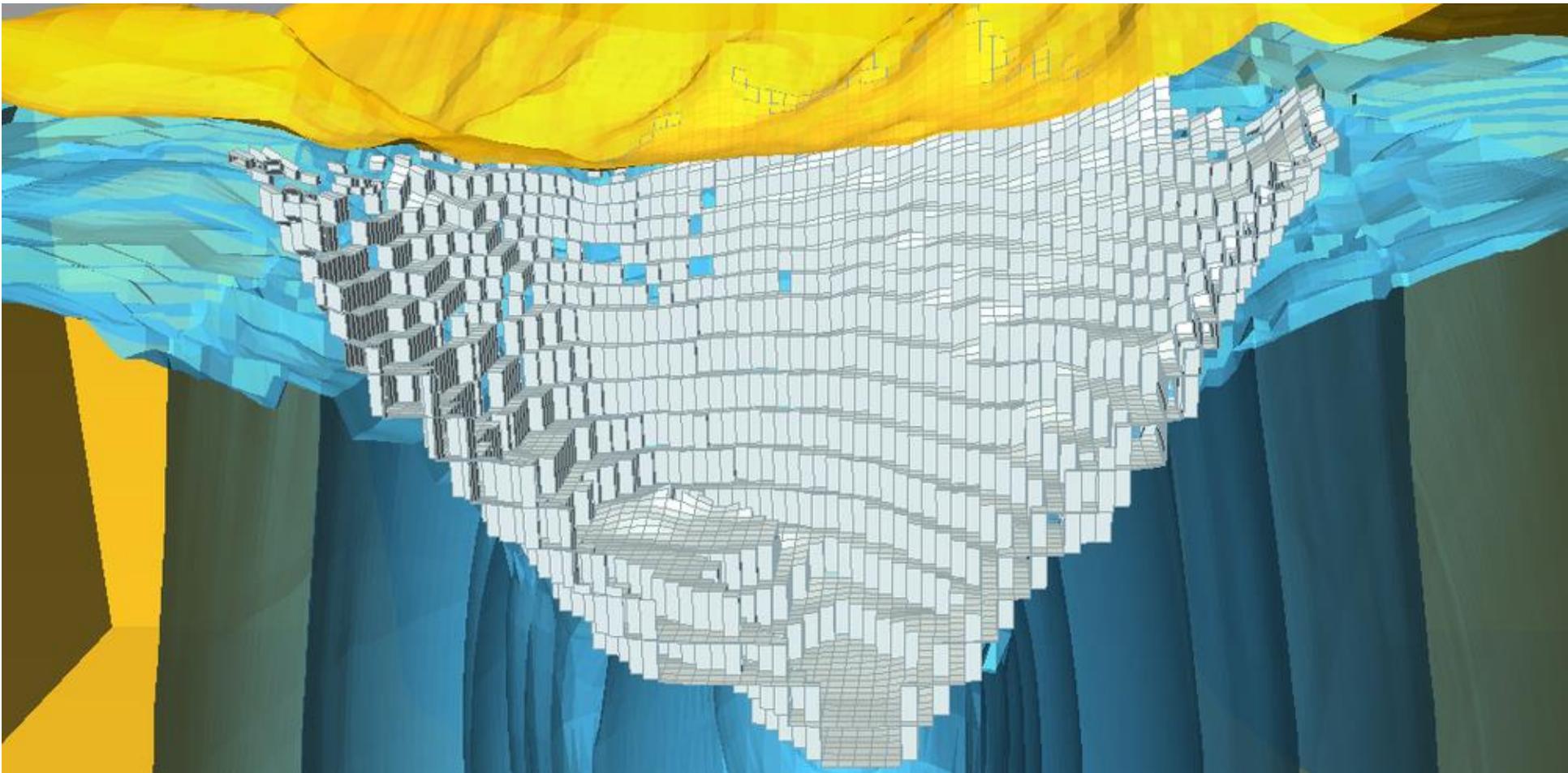


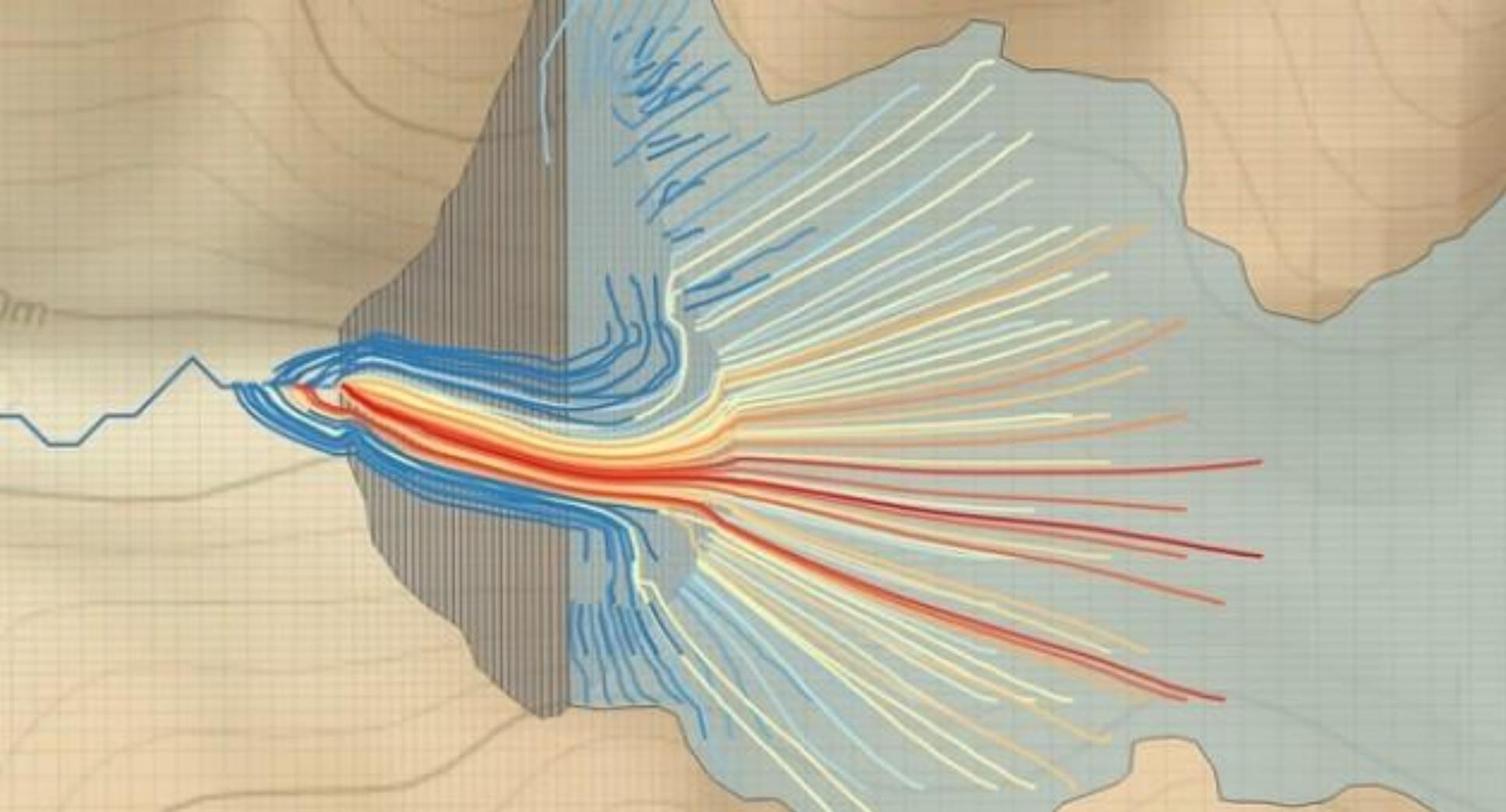


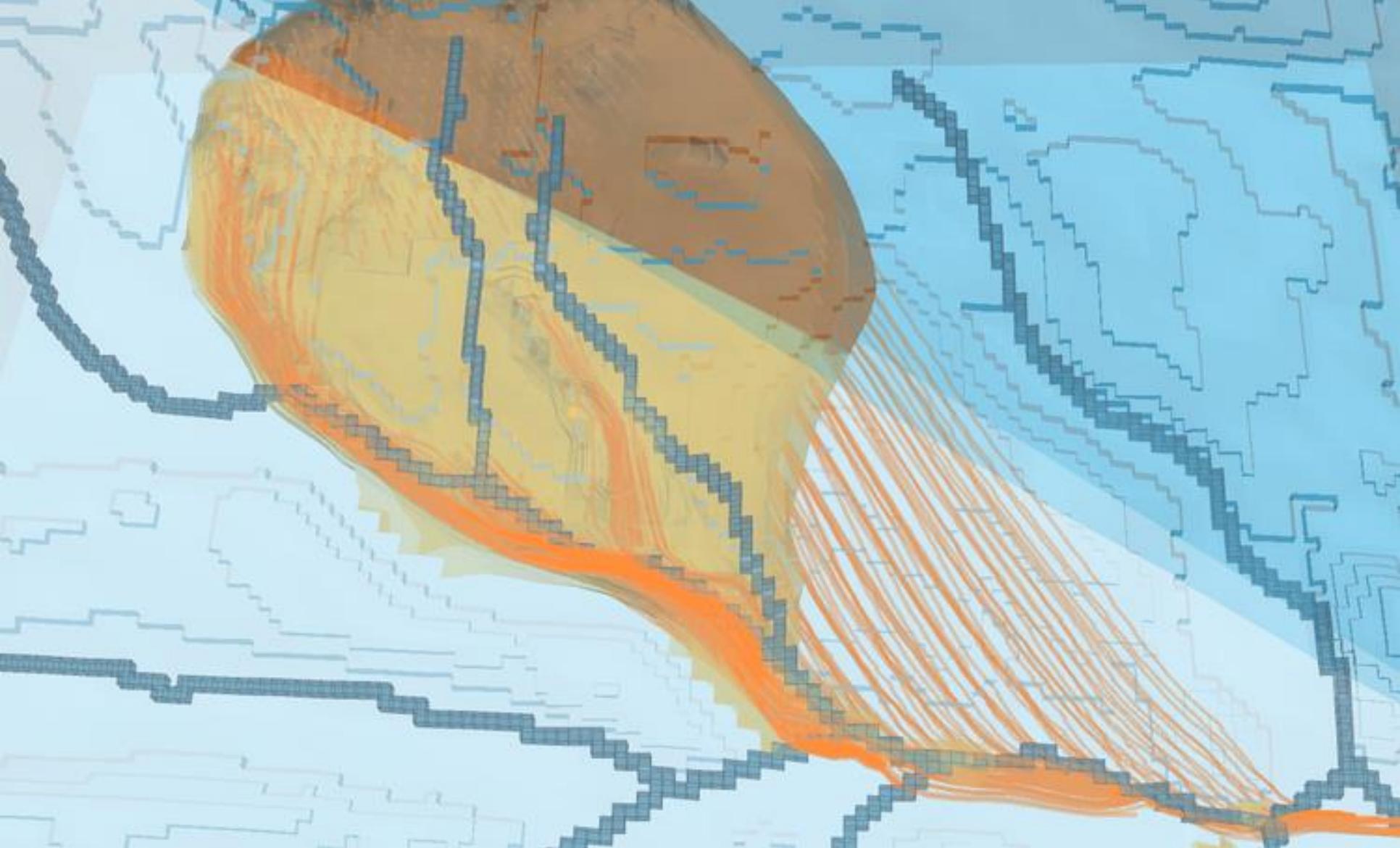
Bofedal

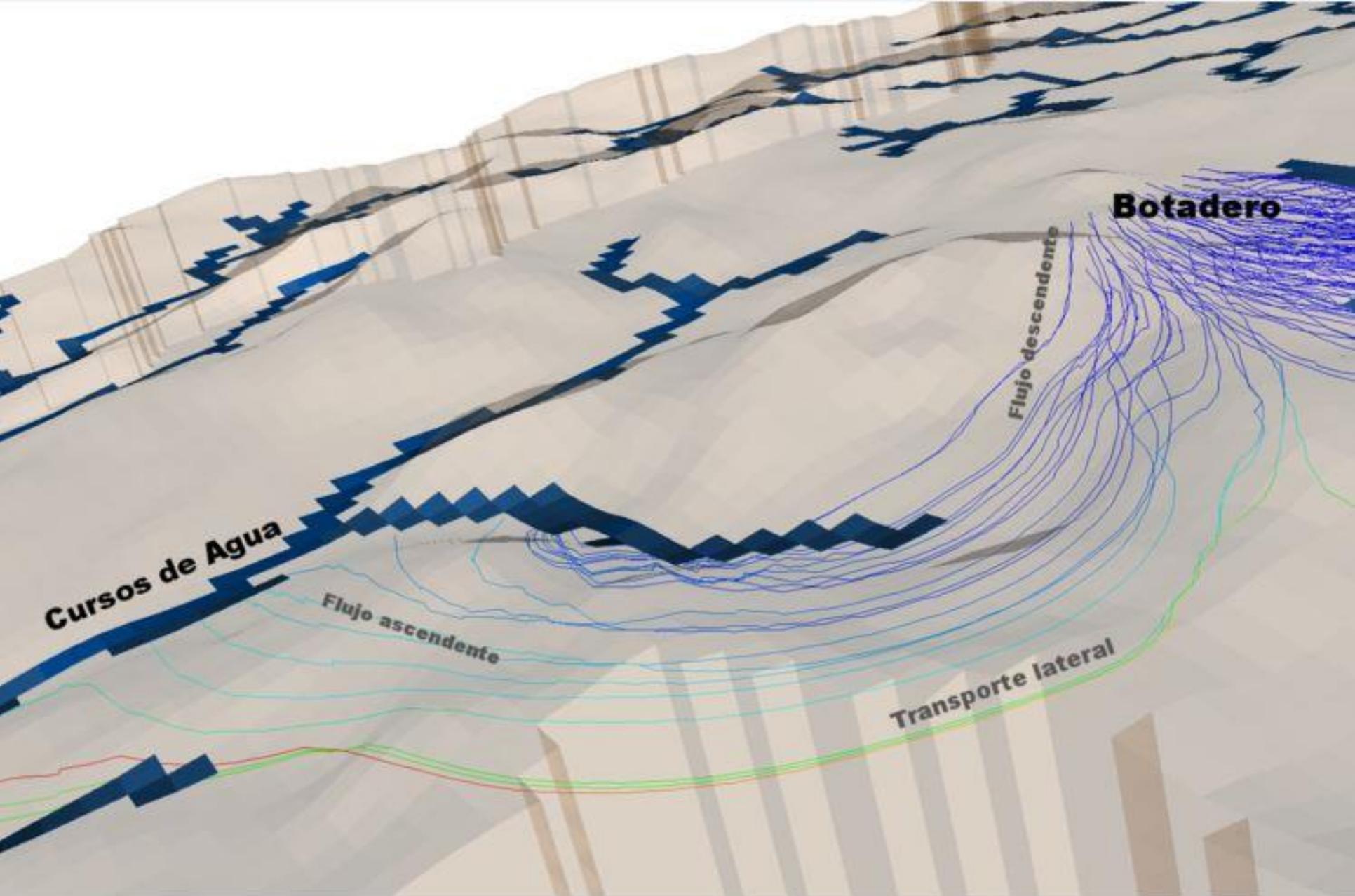
Manantial

Caracterización del Impacto Ambiental en Hidrogeología









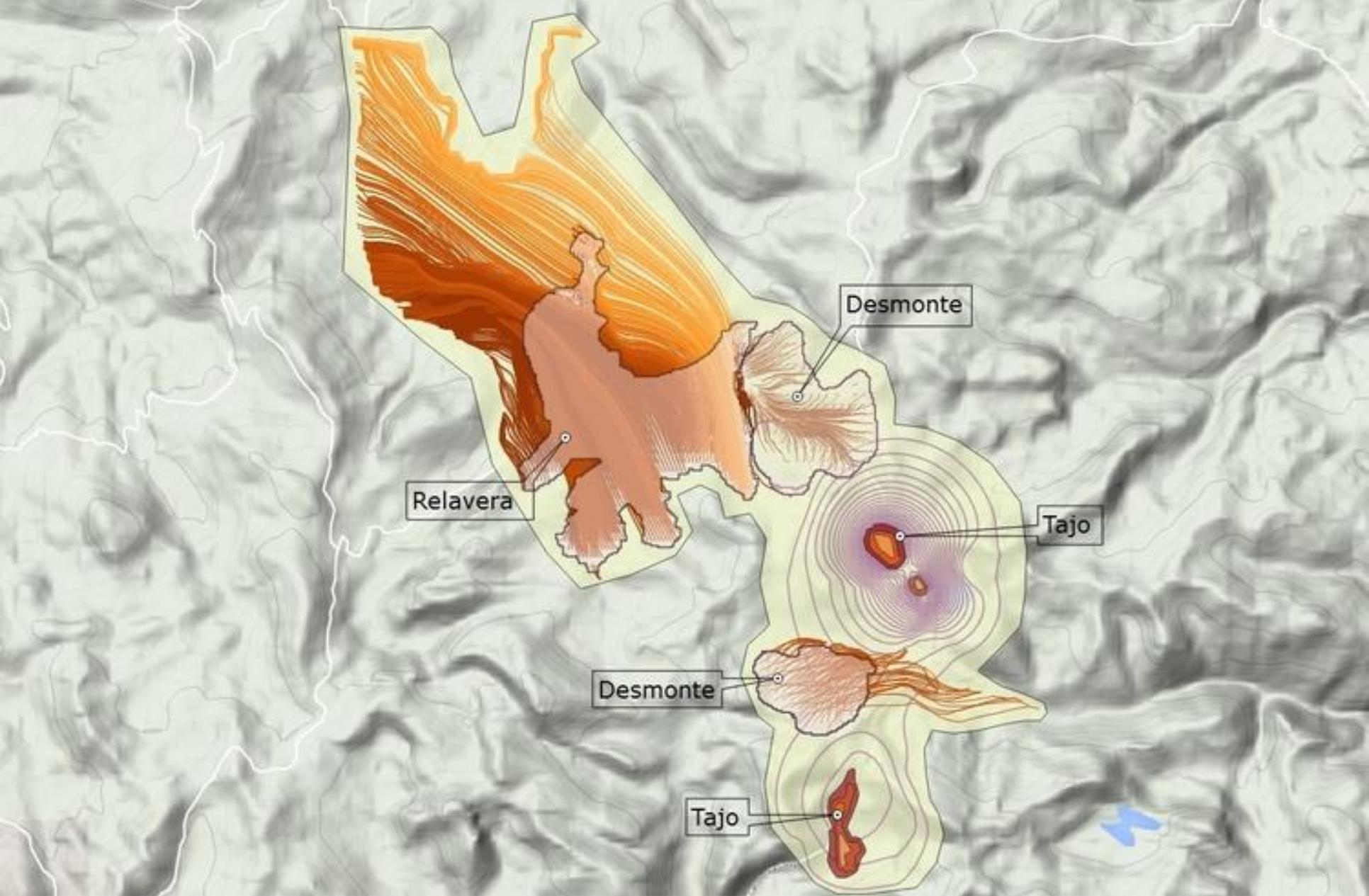
Cursos de Agua

Botadero

Flujo ascendente

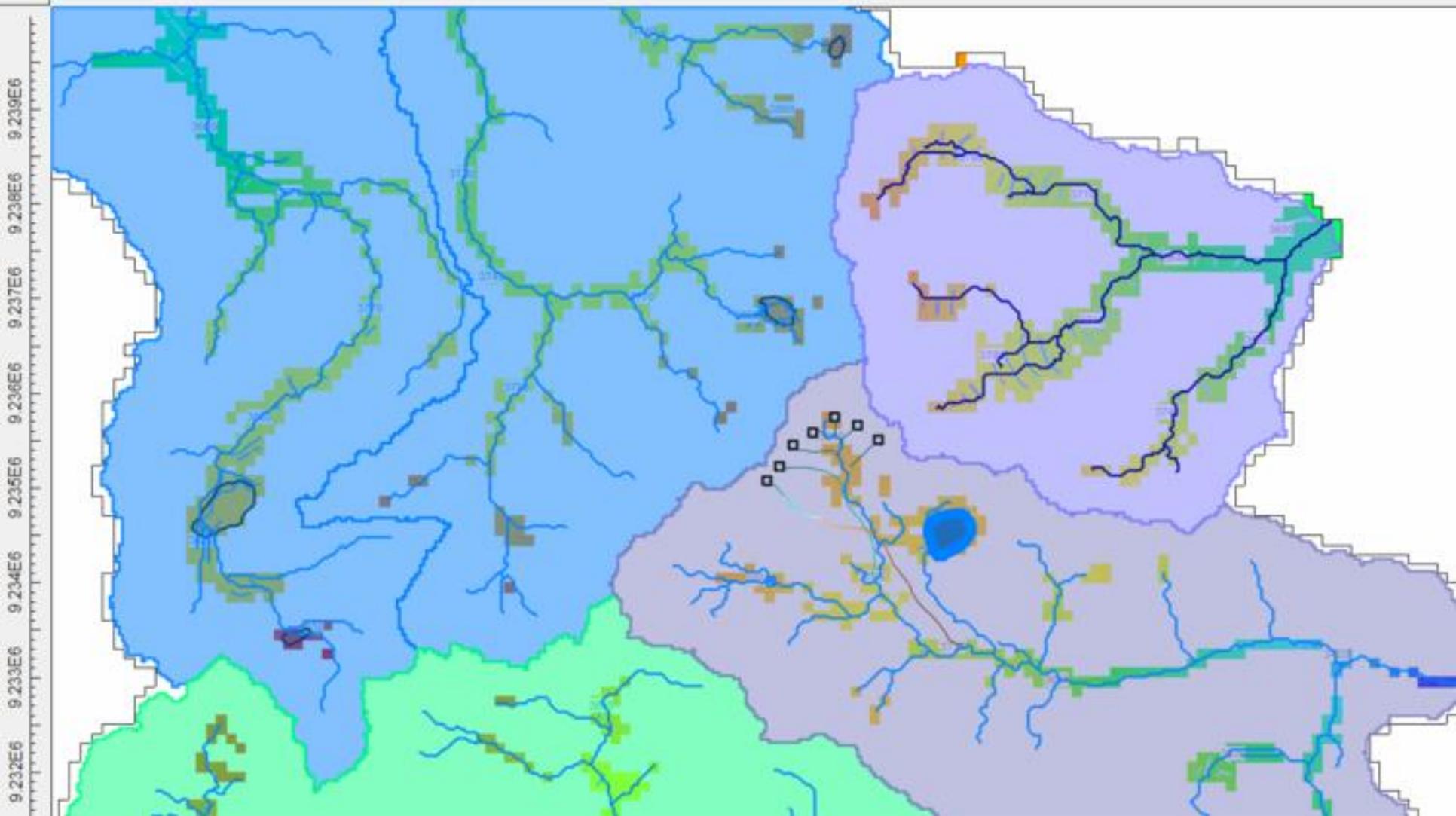
Flujo descendente

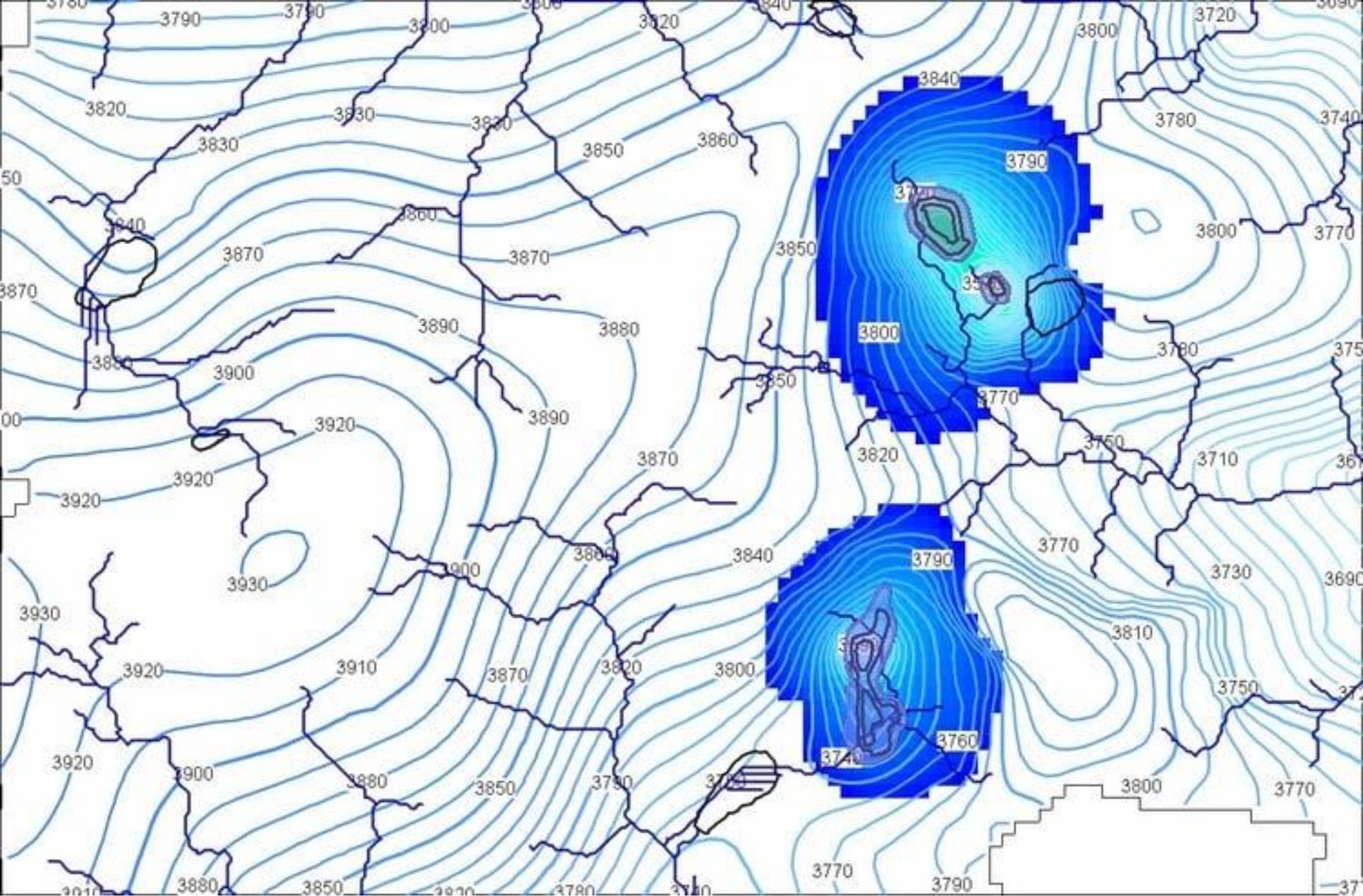
Transporte lateral



Caso Yanacocha o Caso Conga







Cuencas Toromacho - Alto Jadibamba

Cuenca Chugarmayo

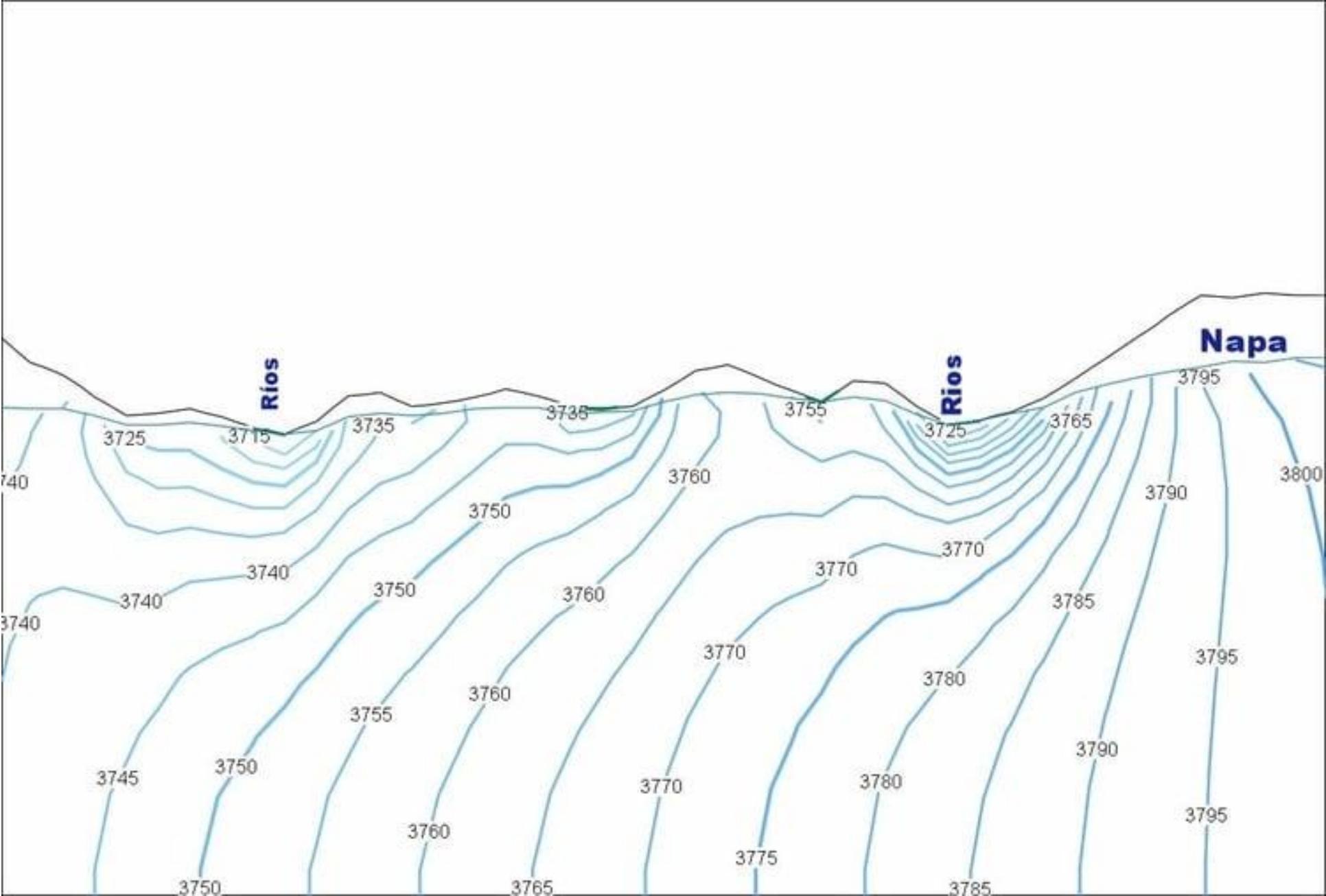
Tajo Perol

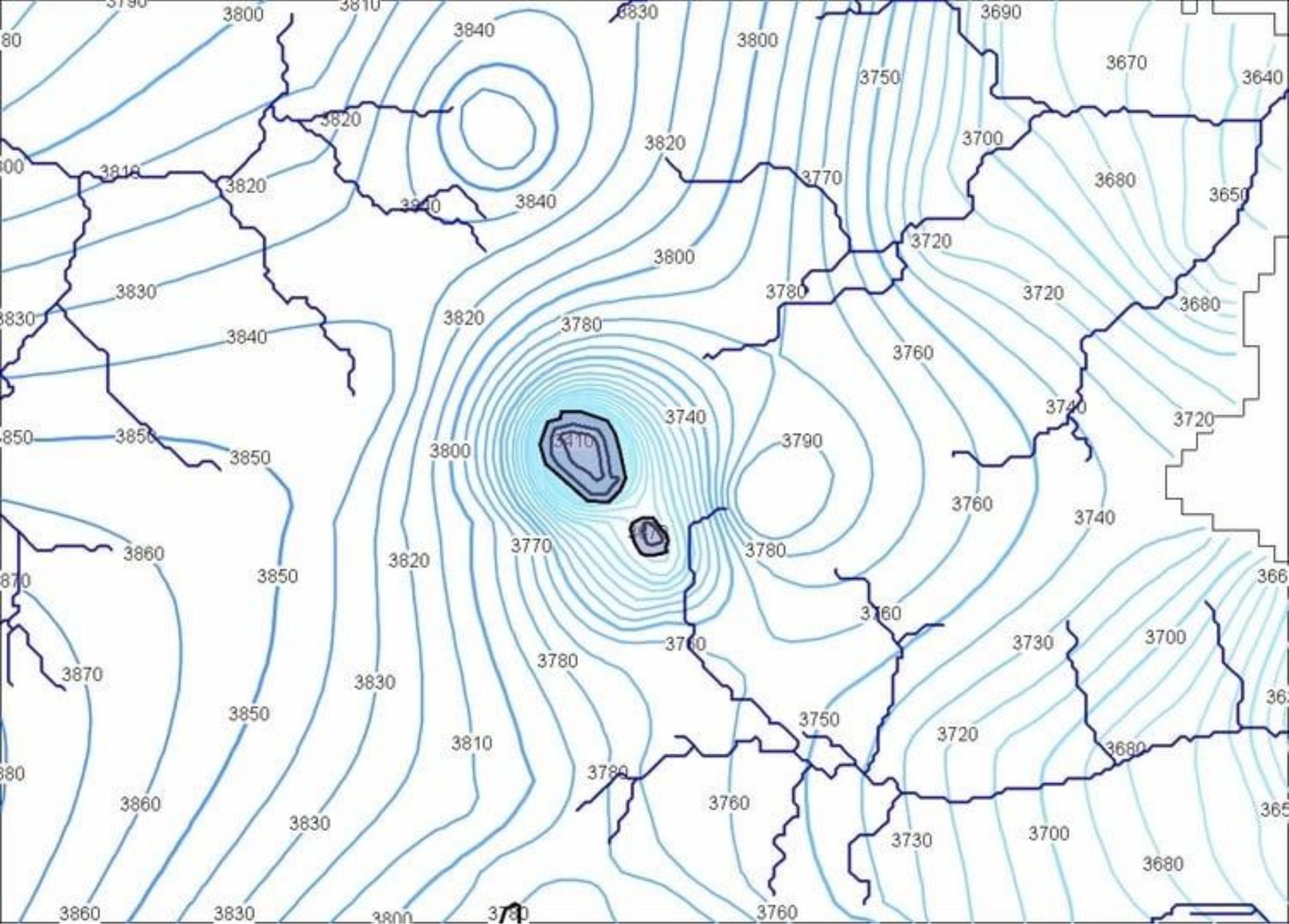
Cuenca Alto Chirimayo

Tajo Chailhuagon

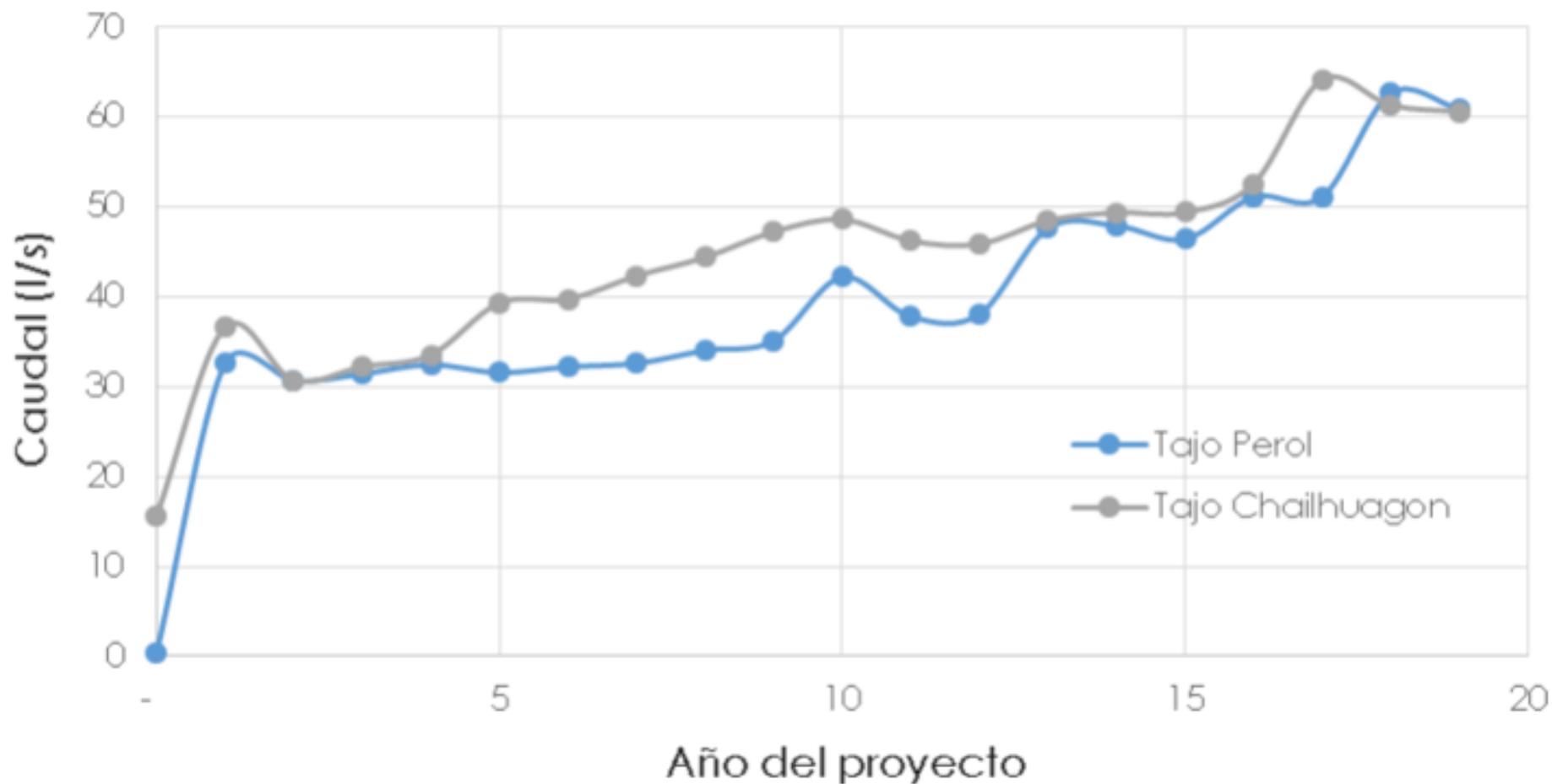
Cuenca Chailhuagon



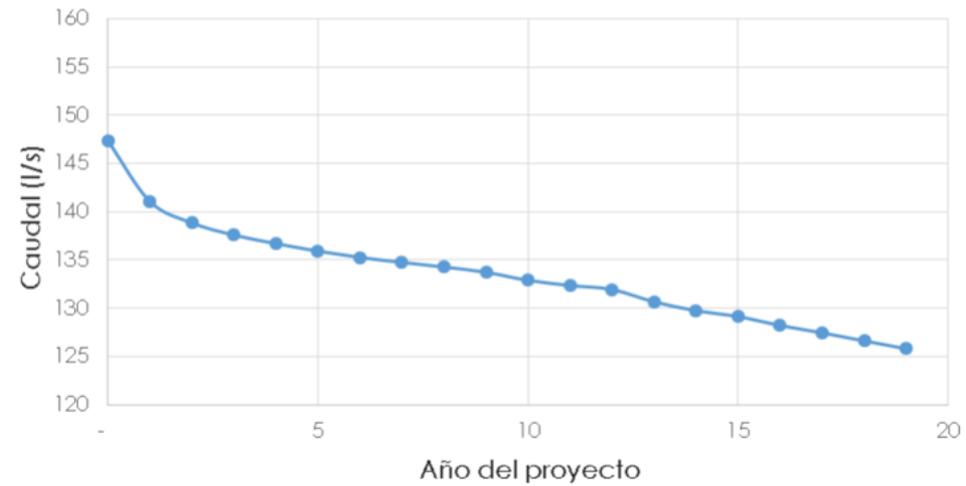




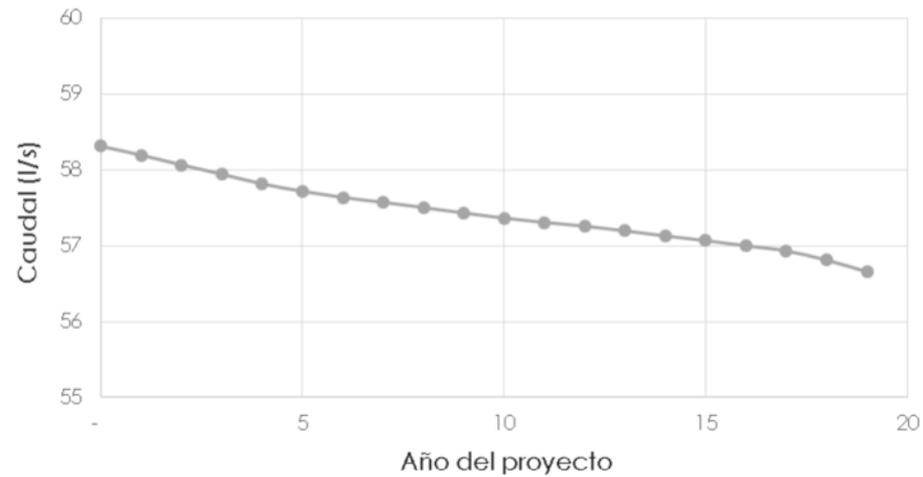
Ingreso a los Tajos



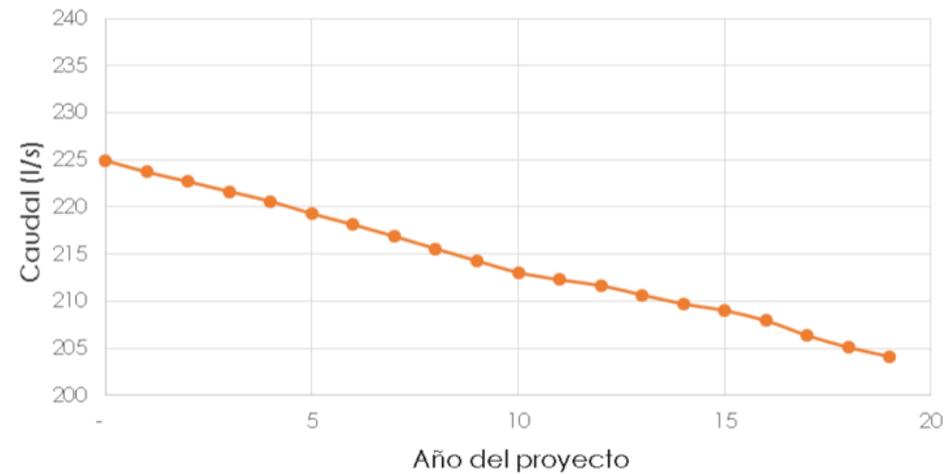
Flujo Base - Alto Chirimayo



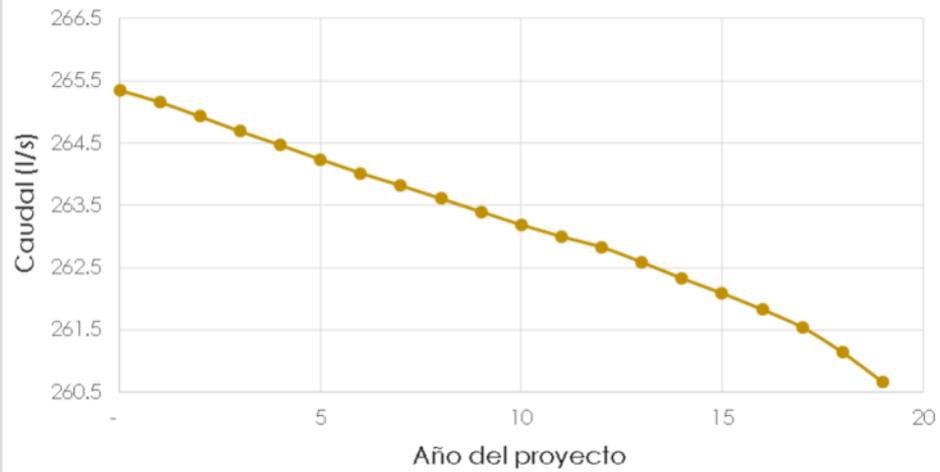
Flujo Base - Chugumayo



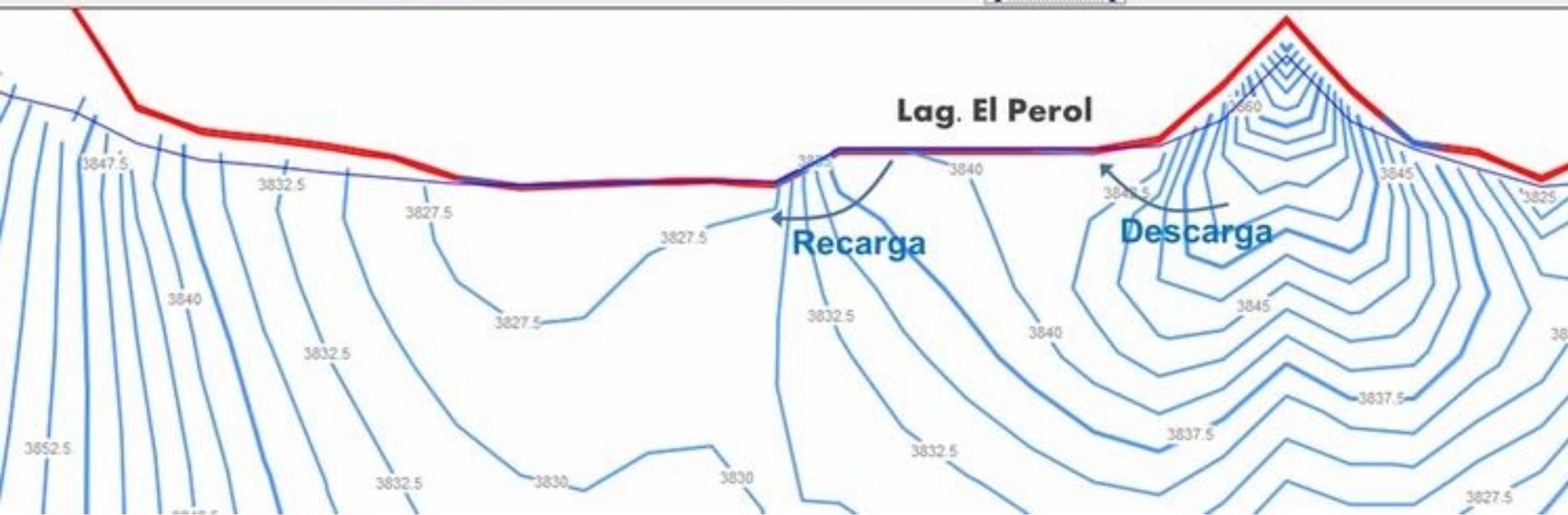
Flujo Base - Chailhuagon

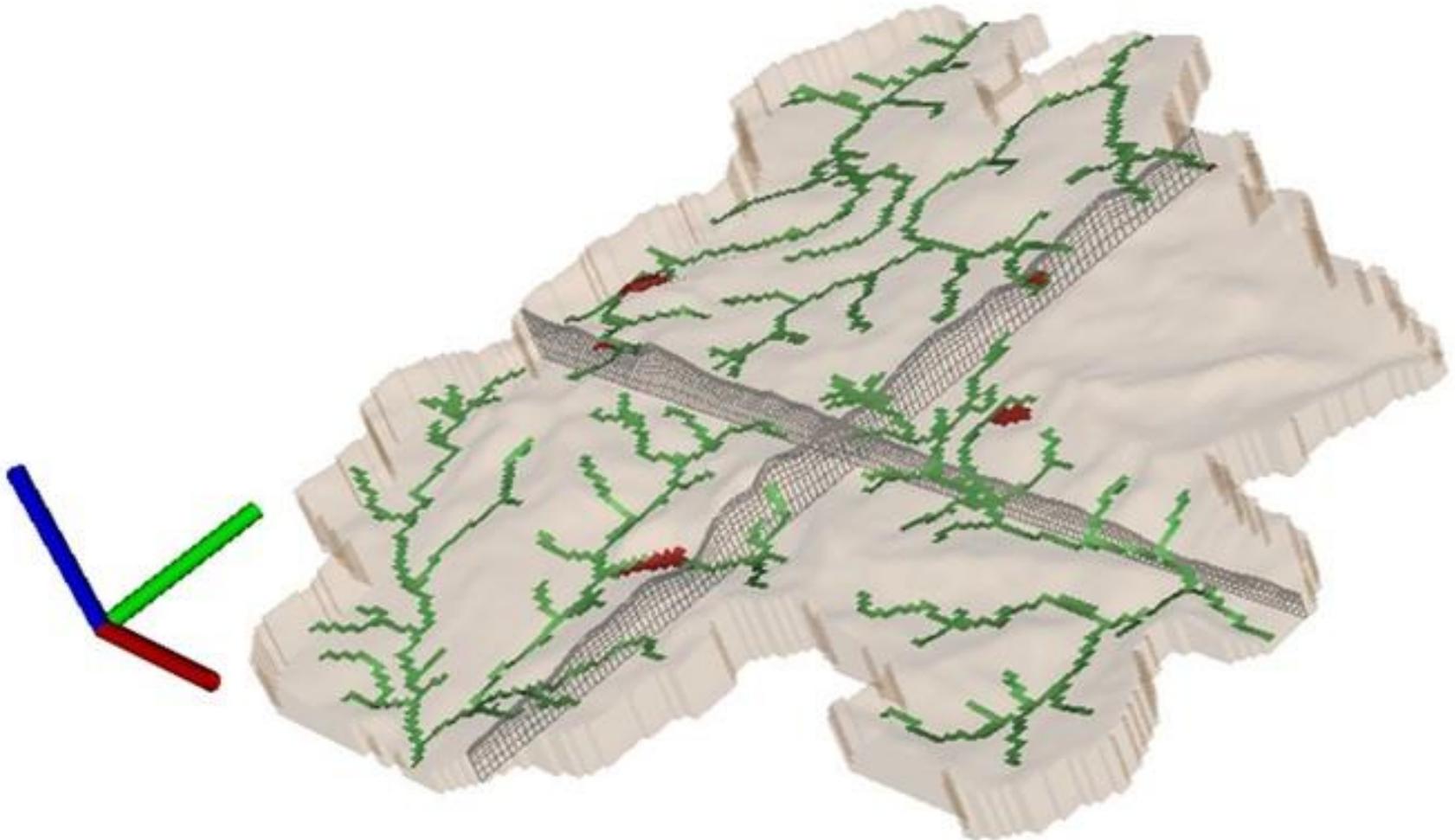


Flujo Base - Toromacho-Alto Jadibamba









```

186222 VOLUMETRIC BUDGET FOR ENTIRE MODEL AT END OF TIME STEP 1, STRESS PERIOD 1
186223 -----
186224
186225 CUMULATIVE VOLUMES L**3 RATES FOR THIS TIME STEP L**3/T
186226 -----
186227
186228 IN: IN:
186229 --- ---
186230 STORAGE = 0.0000 STORAGE = 0.0000
186231 CONSTANT HEAD = 5.6624E-02 CONSTANT HEAD = 5.6624E-02
186232 DRAINS = 0.0000 DRAINS = 0.0000
186233 ET = 0.0000 ET = 0.0000
186234 RECHARGE = 1.0520 RECHARGE = 1.0520
186235
186236 TOTAL IN = 1.1087 TOTAL IN = 1.1087
186237
186238 OUT: OUT:
186239 ---- ----
186240 STORAGE = 0.0000 STORAGE = 0.0000
186241 CONSTANT HEAD = 8.3317E-03 CONSTANT HEAD = 8.3317E-03
186242 DRAINS = 0.6869 DRAINS = 0.6869
186243 ET = 0.4134 ET = 0.4134
186244 RECHARGE = 0.0000 RECHARGE = 0.0000
186245
186246 TOTAL OUT = 1.1087 TOTAL OUT = 1.1087
186247
186248 IN - OUT = -7.1526E-07 IN - OUT = -7.1526E-07
186249
186250 PERCENT DISCREPANCY = -0.00 PERCENT DISCREPANCY = -0.00
186251

```

Ingresos

Lagunas

Recarga

Salidas

Lagunas

Drenes

Evapotranspiración