



VI CONFERENCIA
LATINOAMERICANA
DE SANEAMIENTO

BOLIVIA 2022

SaneamientoUn
LlamadoALaAcción



Carlos Alberto

ALVA HUAPAYA

Ingeniero Ambiental, Licenciado en Educación con Especialidad en Biología y Química, Grado de MBA - Maestría en Administración de Negocios, Grado de MSc. en Ingeniería de Recursos Hídricos, con 18 años de experiencia en el Sector Público: DIGESA, Ministerio del Ambiente, Ministerio de Vivienda-Construcción-Saneamiento, Autoridad Nacional del Agua, Ministerio de Transportes y Comunicaciones. La experiencia laboral está relacionada con evaluación y análisis de Instrumentos de Gestión Ambiental, Saneamiento Ambiental, Gestión Ambiental, Protección y Conservación de los Recursos Hídricos, Muestreo y Evaluación de Calidad de Aguas. Consultor Ambiental. Conferencista y Panelista. Docente investigador de la Universidad Privada del Norte.





Modelamiento de simulación de transporte contaminante de una presa relavera a las aguas subterráneas en la microcuenca del río Yuracyacu



VI CONFERENCIA
LATINOAMERICANA
DE SANEAMIENTO
BOLIVIA 2022



Cuidemos

el

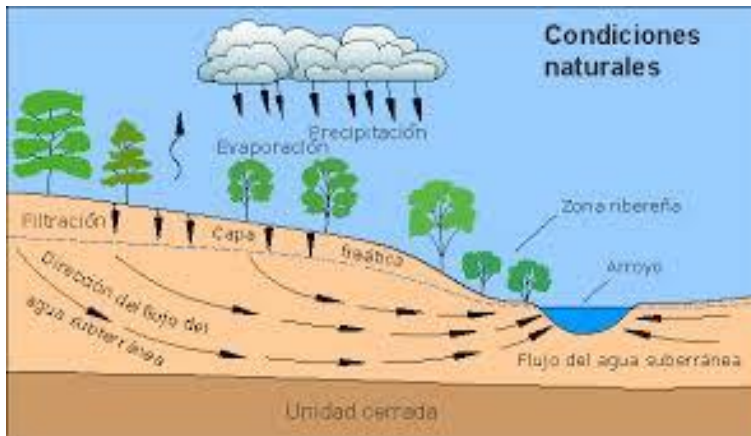
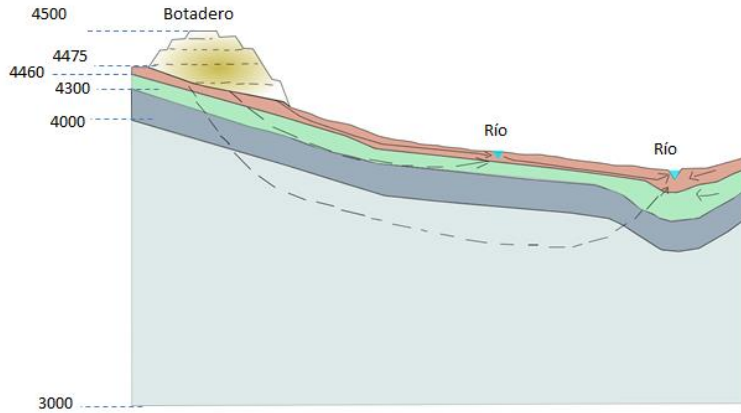
Agua

invisible



VI CONFERENCIA
LATINOAMERICANA
DE SANEAMIENTO
BOLIVIA 2022

INTRODUCCIÓN



La contaminación desde un depósito de relaves mineros es un problema sensible para el país por la cantidad de pasivos ambientales mineros (PAM) que tiene el Perú.



Es indispensable predecir el flujo del contaminante en las aguas subterráneas con el apoyo de modelos de simulación, con el fin de prevenir y mitigar los impactos de la contaminación y sus consecuencias.

DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

Tmáx promedio anual: 19.8°C

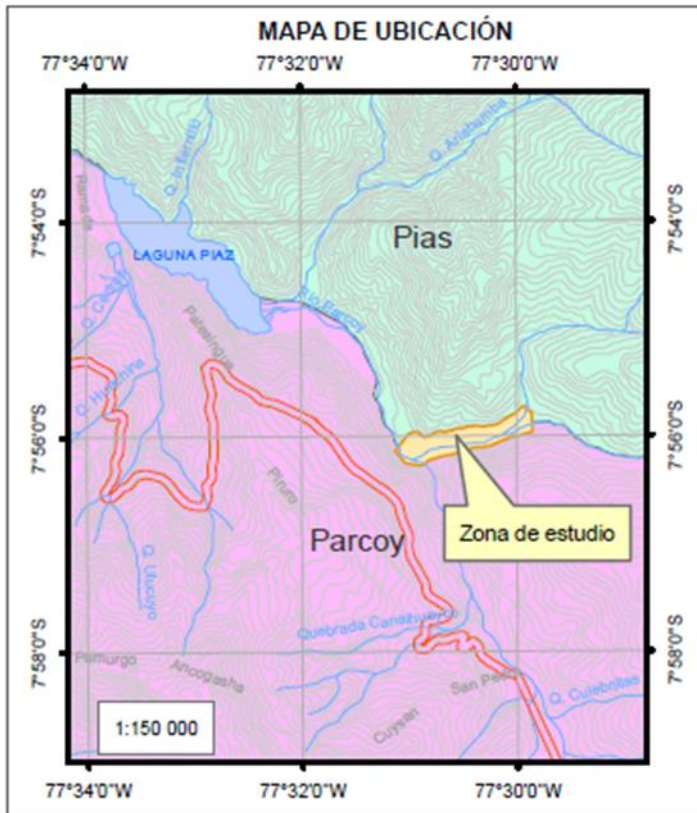
Tmín promedio anual: 19.2°C

HR: 37% (Julio y agosto) y 81% (Enero)

Precipitación total anual: 515 mm/año

Ubicada en la margen derecha del río Yuracyacu. Políticamente se ubica en el distrito Parcoy, provincia de Pataz, departamento de la Libertad.

Hidrográficamente se ubica en la microcuenca del río Yuracyacu, subcuenca del río Parcoy, afluente del río Marañón.



INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA



Piezómetro	Este	Norte	Cota(msnm)	N.E/pr	pr(m)	N.E./s	H(m)	Profundidad(m)	D(")
PI-01	222858.34	9122070.04	2008.456	26.42	0.82	25.60	1982.86	100.70	4
PI-04	223765.85	9122165.45	2085.704	24.80	0.68	24.12	2061.58	105.20	4
PI-06	223676.99	9122310.95	2086.474	39.53	0.73	38.80	2047.67	95.00	4
PI-08	222787.16	9122149.77	2000.419	25.48	0.73	24.76	1975.66	60.20	4

N.E/pr= profundidad del nivel estático medido desde el punto de referencia

Pr= punto de referencia (m), N.E/s = profundidad del nivel estático medido desde el suelo (m)

H= Carga hidráulica, D(*) = diámetro de perforación (pulgadas)



Profundidad del techo del estrato permeable: 14.0 m y 29.0 m

Profundidad de la base del estrato permeable: 22m – 77m

Espesor del estrato permeable: 10m – 75m

Profundidad del basamento impermeable: 46m – 86m

Espesor impermeable: 17m – 62m

EL ACUÍFERO

Espesor saturado es variable

Techo: permeable

Base: impermeable

Recarga:

- Precipitación
- Escorrentía superficial

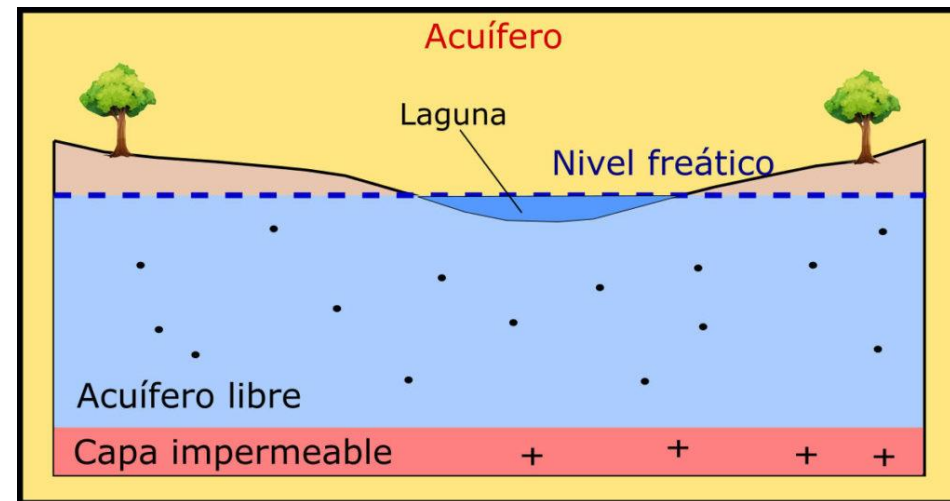
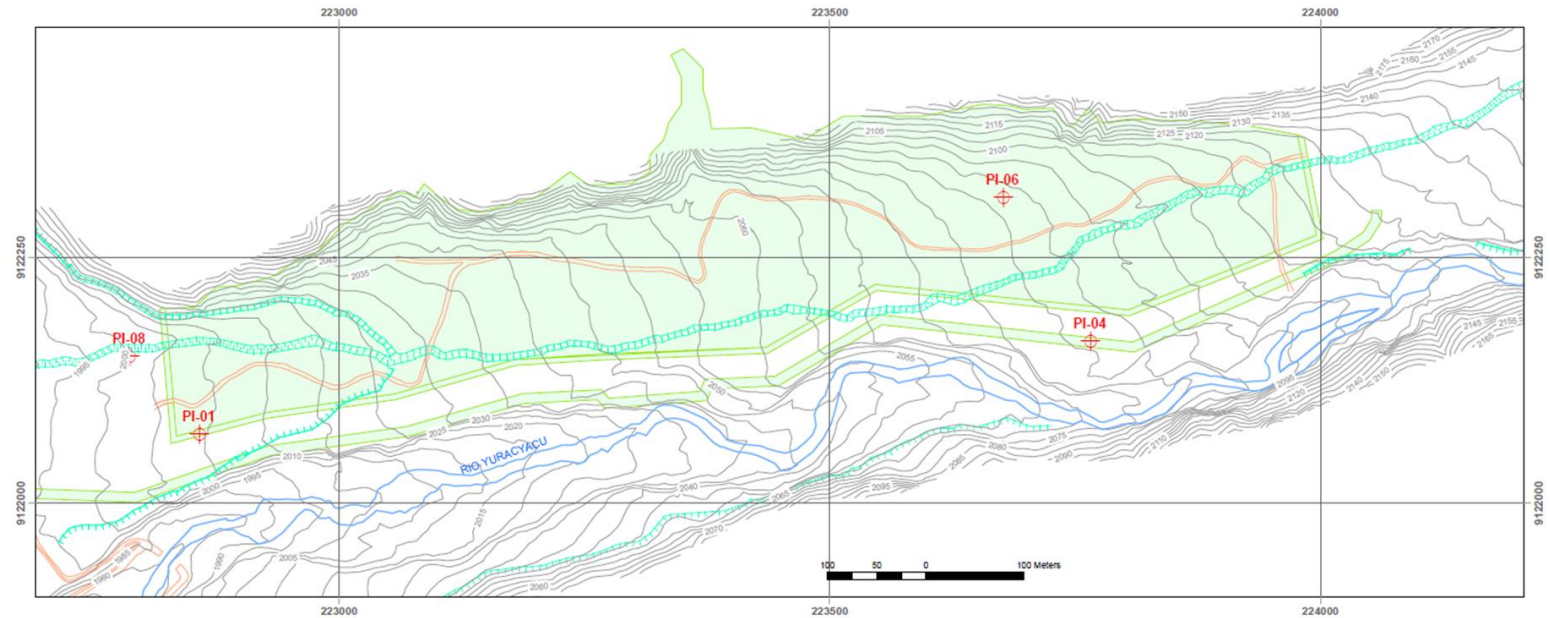
Profundidad de la napa:

24.12 m (PI-04) - 38.80 m (PI-06) zona Este

Sentido de flujo: NorEste a SurOeste

Gradiente hidráulico promedio: 9.6%

Cargas hidráulicas: 1982m – 2061m



VI CONFERENCIA
LATINOAMERICANA
DE SANEAMIENTO
BOLIVIA 2022

PROFUNDIDAD DE LA NAPA Y SU HIDROGEOQUÍMICA

Piezómetro	Coordenadas		Cota (msnm)	pH	C.E (μS/cm)
	Este	Norte			
PI-01	222858	9122070	2008	7.00	163.6
PI-04	223766	9122165	2086	7.81	132.3
PI-06	223677	9122311	2086	7.26	179.3

Fecha de medición: 22 de Agosto del 2014.

Datum: WGS84 Zona 18 Sur

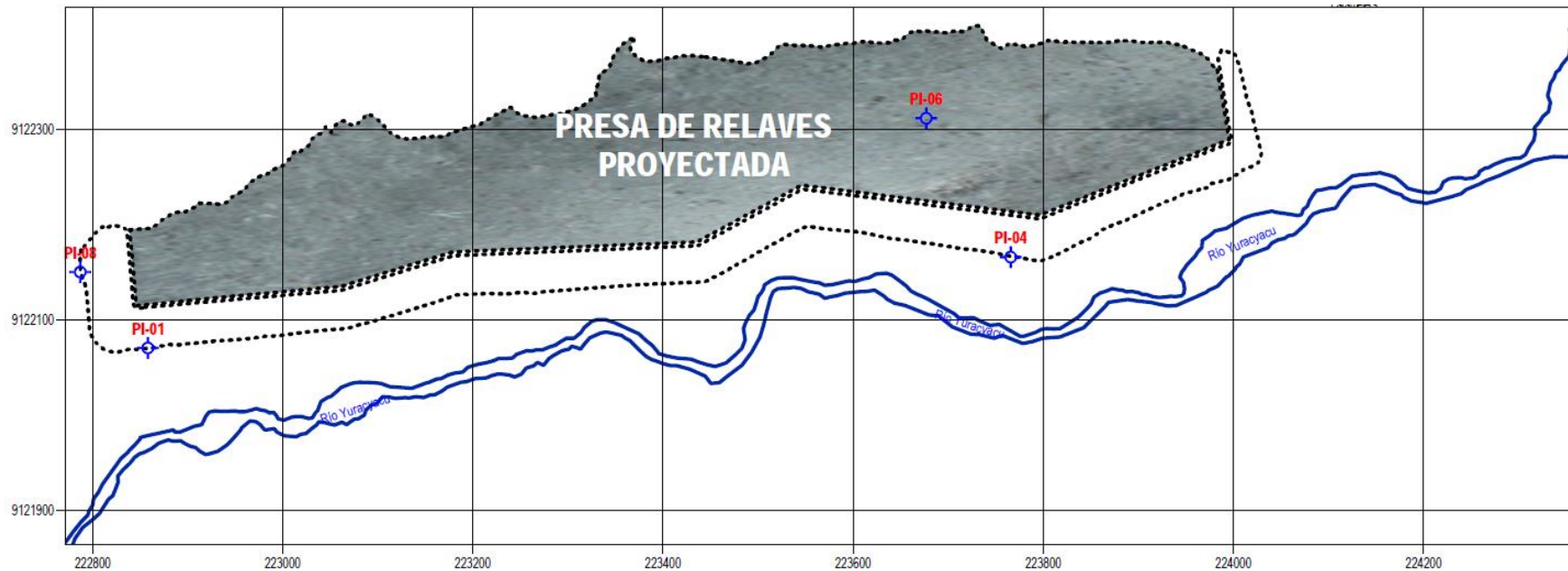
Profundidad del nivel de agua subterránea en los piezómetros

Piezómetro	Este	Norte	Cota(msnm)	N.E/pr	pr(m)	N.E.(m)
PI-01	222858.34	9122070.04	2008.456	26.42	0.82	25.60
PI-04	223765.85	9122165.45	2085.704	24.80	0.68	24.12
PI-06	223676.99	9122310.95	2086.474	39.53	0.73	38.80
PI-08	222787.16	9122149.77	2000.419	25.48	0.73	24.76

NE/pr= profundidad del nivel estatico desde el punto de referencia

pr= punto referencia

N.E= profundidad del nivel estatico



MODELO CONCEPTUAL DEL SISTEMA ACUÍFERO

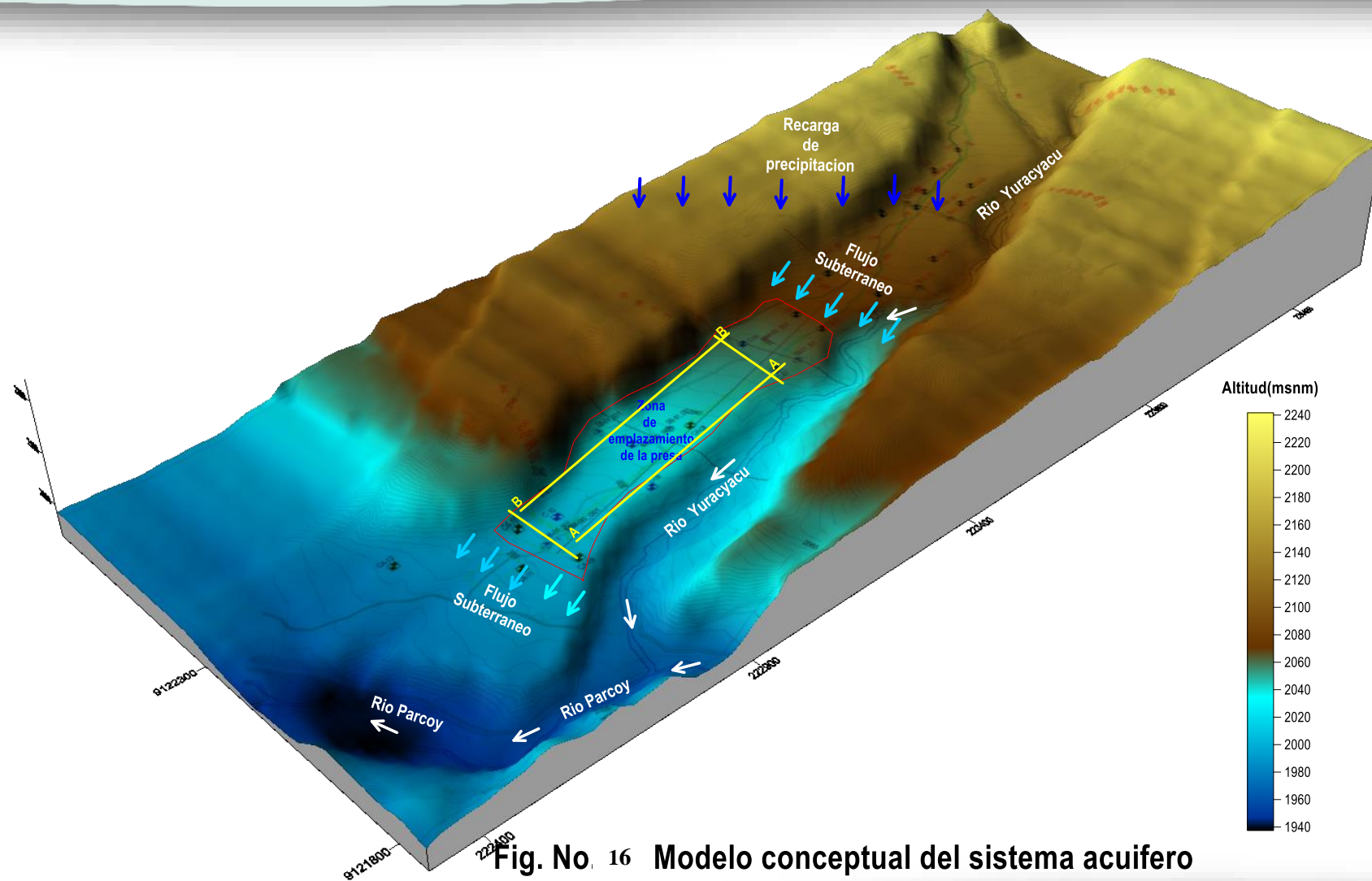
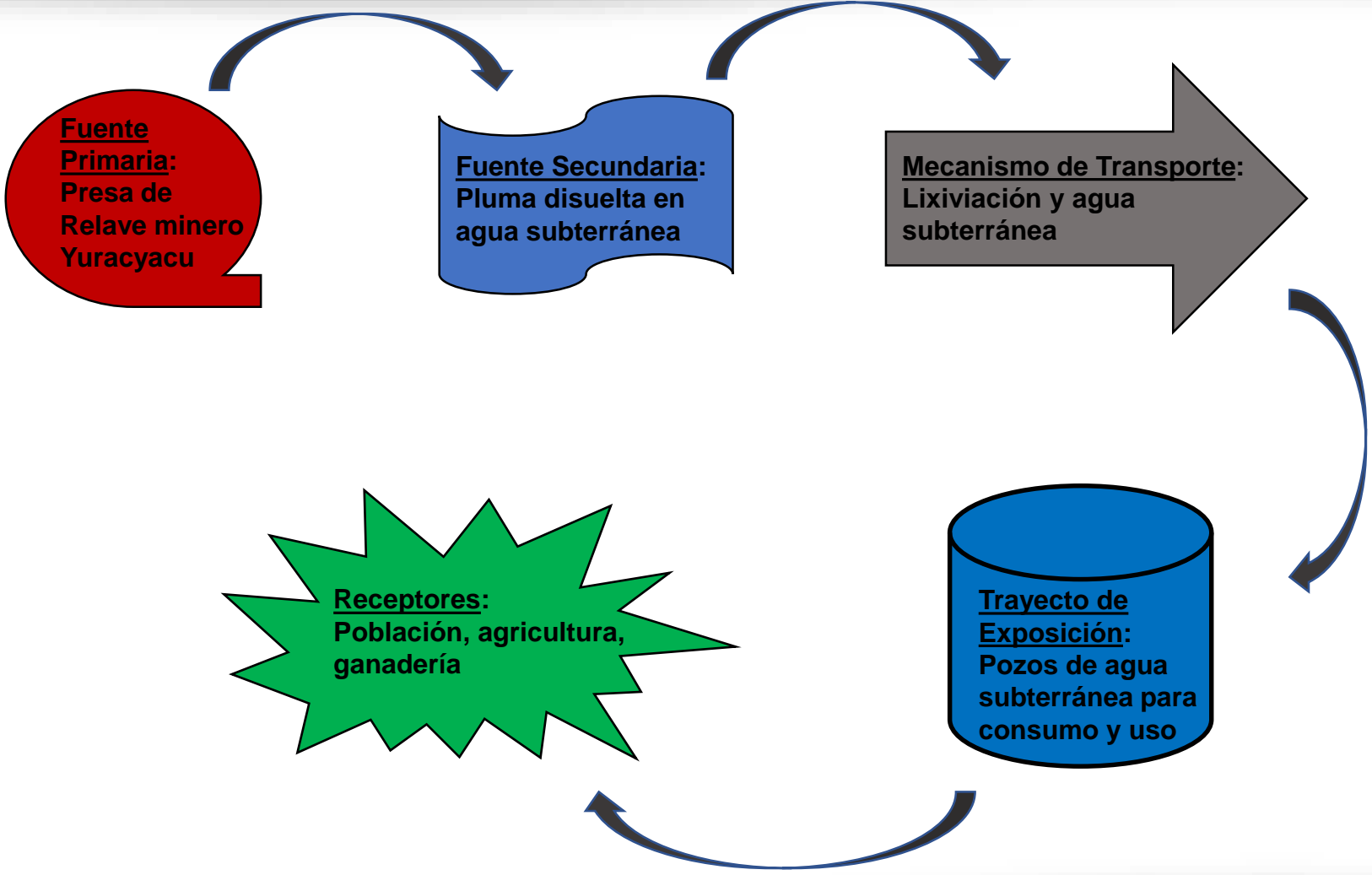


Fig. No. 16 Modelo conceptual del sistema acuífero



MODELO CONCEPTUAL DEL TRANSPORTE CONTAMINANTE



SELECCIÓN DEL CÓDIGO DE MODELAMIENTO

Software: Visual ModFlow 2011.1

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

Solución matemática analítica para todo estudio de procesos de transporte contaminantes en las aguas subterráneas

$$\frac{C(x, t)}{C_o} = \frac{1}{2} * \left(\operatorname{erfc} \left[\frac{(x - vt)}{2(Dt)^{\frac{1}{2}}} \right] + \exp \left(\frac{vx}{D} \right) \operatorname{erfc} \left[\frac{(x + vt)}{2(Dt)^{\frac{1}{2}}} \right] \right)$$

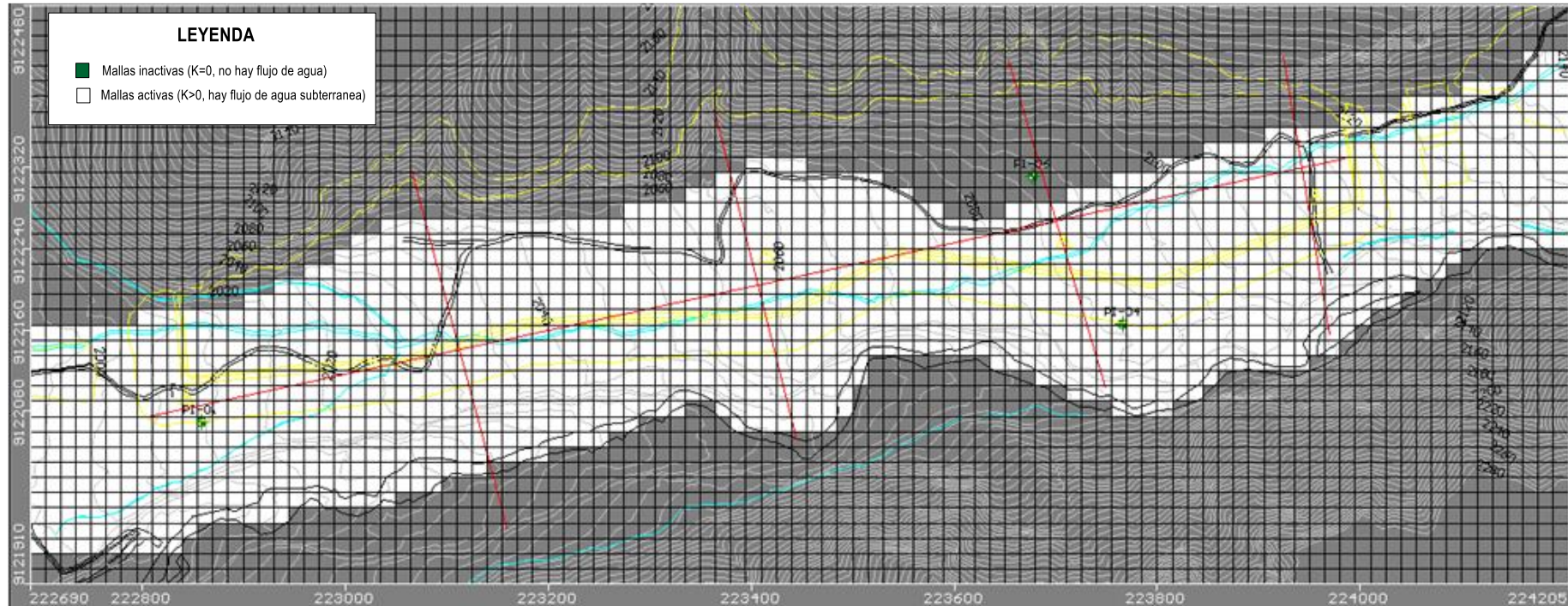
Donde:

D: coeficiente de dispersión hidrodinámica.

erfc: función del error complementario.

v: velocidad lineal del agua subterránea.

DISCRETIZACIÓN DEL SISTEMA ACUÍFERO



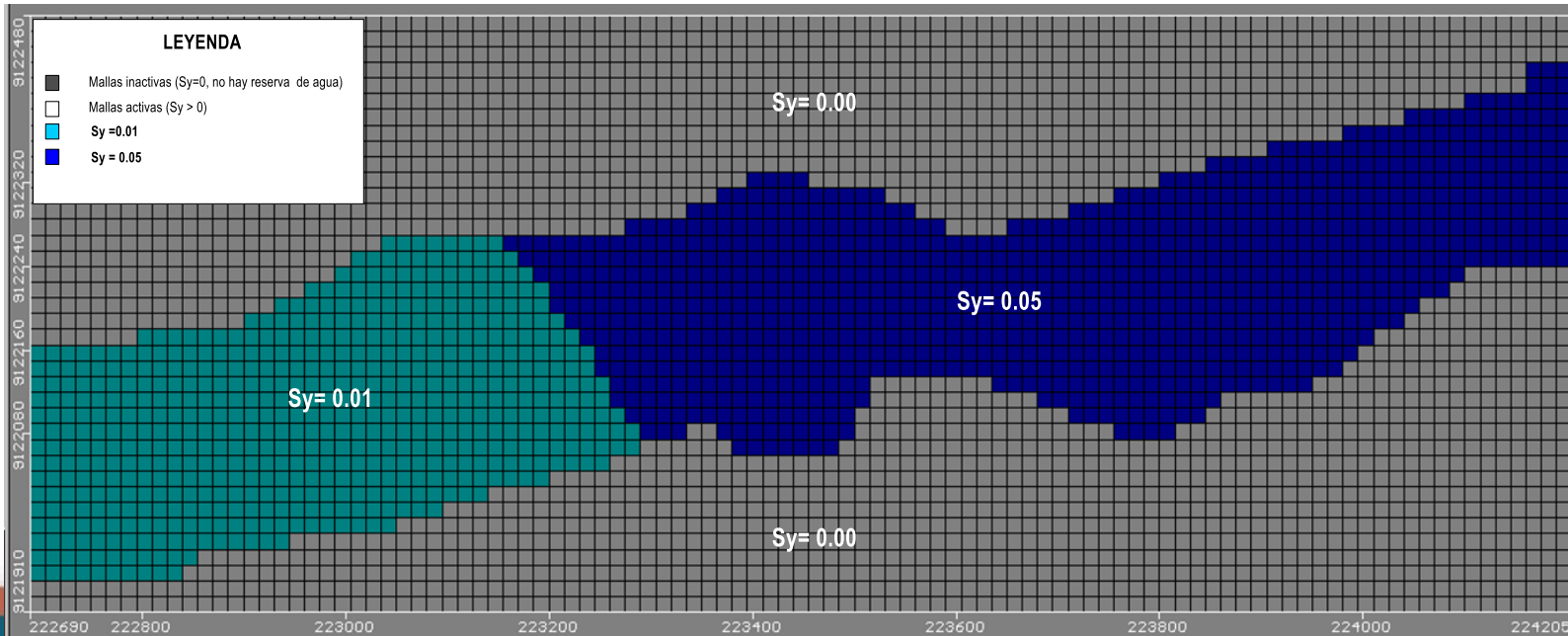
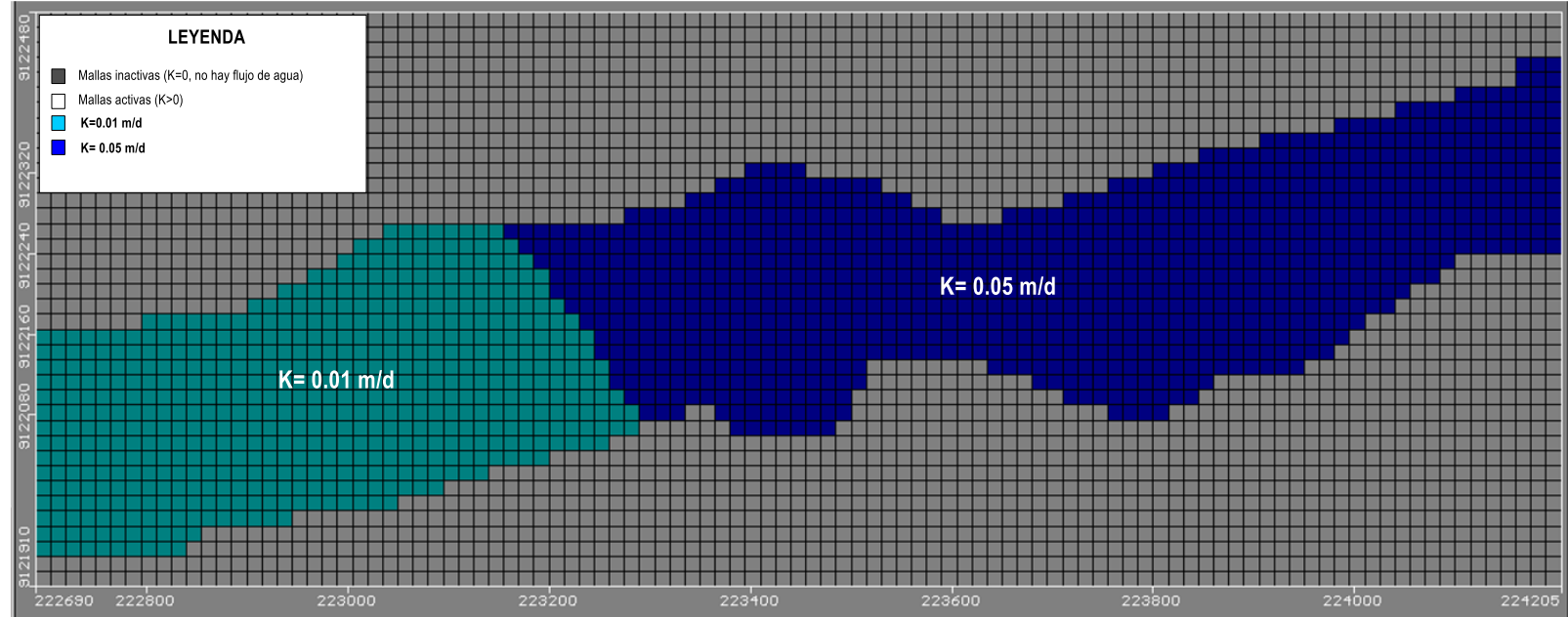
50 Filas

122 Columnas

6100 mallas

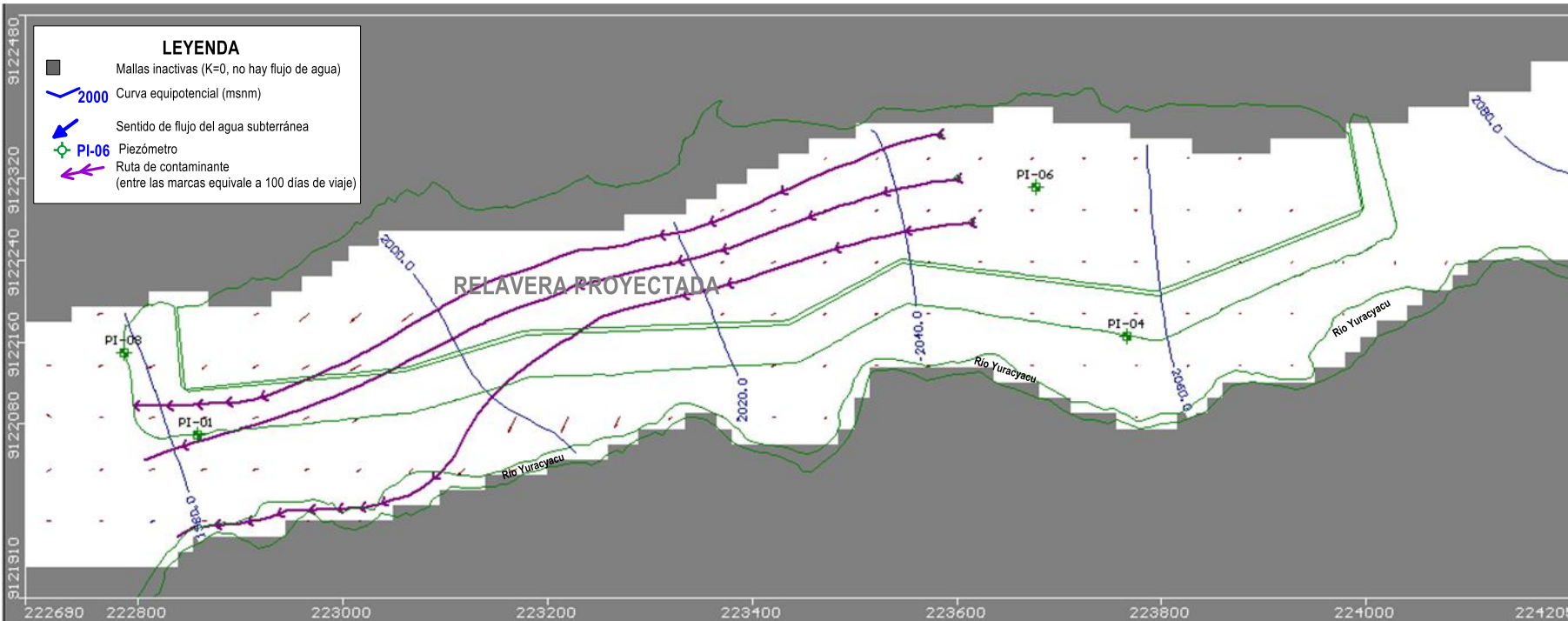
Dos capas con 30 m de espesor promedio

PARÁMETROS DE ENTRADA DEL MODELO



MODELO EN TRANSPORTE DE CONTAMINANTES

Variación temporal y espacial de la ruta de contaminantes



Pathline option

Tracking time

Steady state

Travel time

to 1825 day

Projection

Show all pathlines

Start in current layer

Pathline

Width 2

Time marker size 4

Time markers

Visible

Regular every 100 day

Custom

Color scheme

Direction highlight

Segments highlight

Above Purple

Below Purple

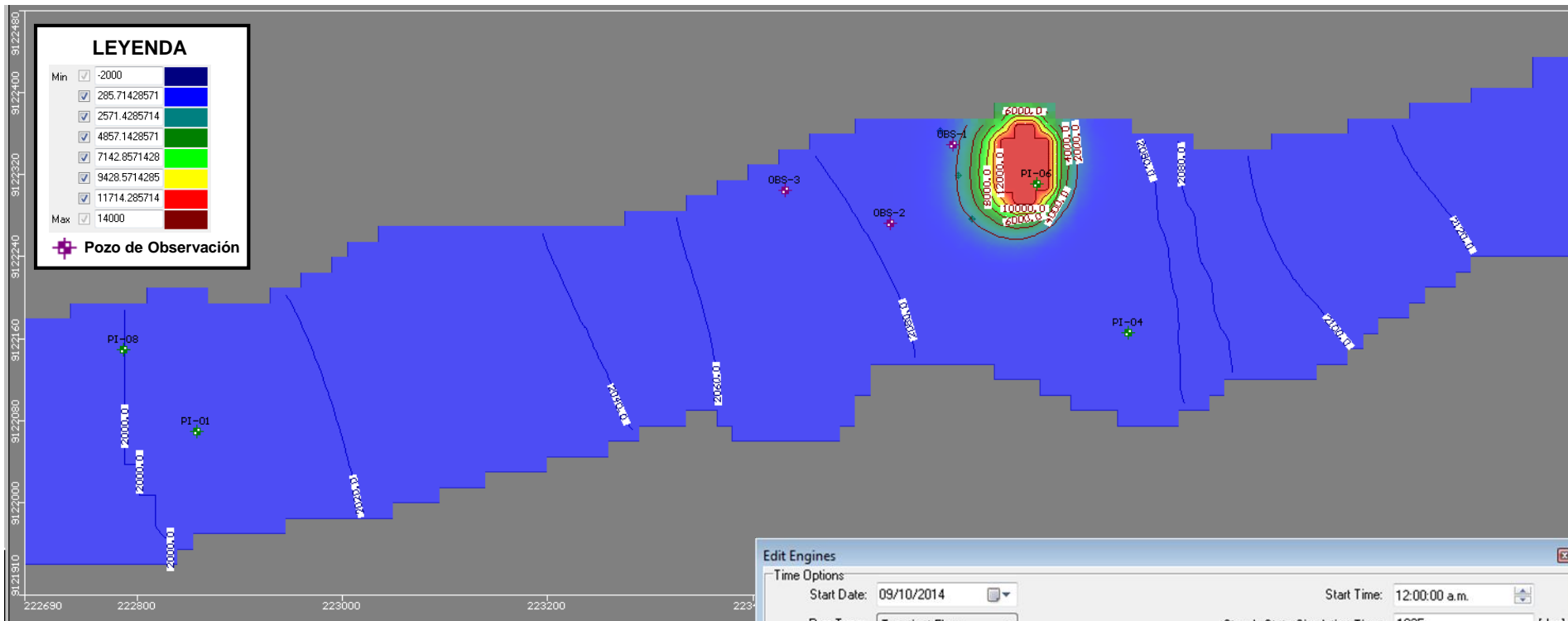
In Plane Purple

* Add X Delete Insert

Reset OK Cancel

MODELO EN TRANSPORTE DE CONTAMINANTES

Variación temporal y espacial del transporte contaminante para 150 días



Edit Constant Concentration

Zone #

Multiply values by:

Copy schedule from:

Start Time [day]	Stop Time [day]	Conc001 [mg/L]
0	1825	12500

Edit Engines

Time Options

Start Date: 09/10/2014 Start Time: 12:00:00 a.m.

Run Type: Steady-State Simulation Time: 1825 [day]

Flow Options

Flow Engine: USGS MODFLOW 2000 from SWS Simulation Type: Groundwater flow

Compatible Transport Variant

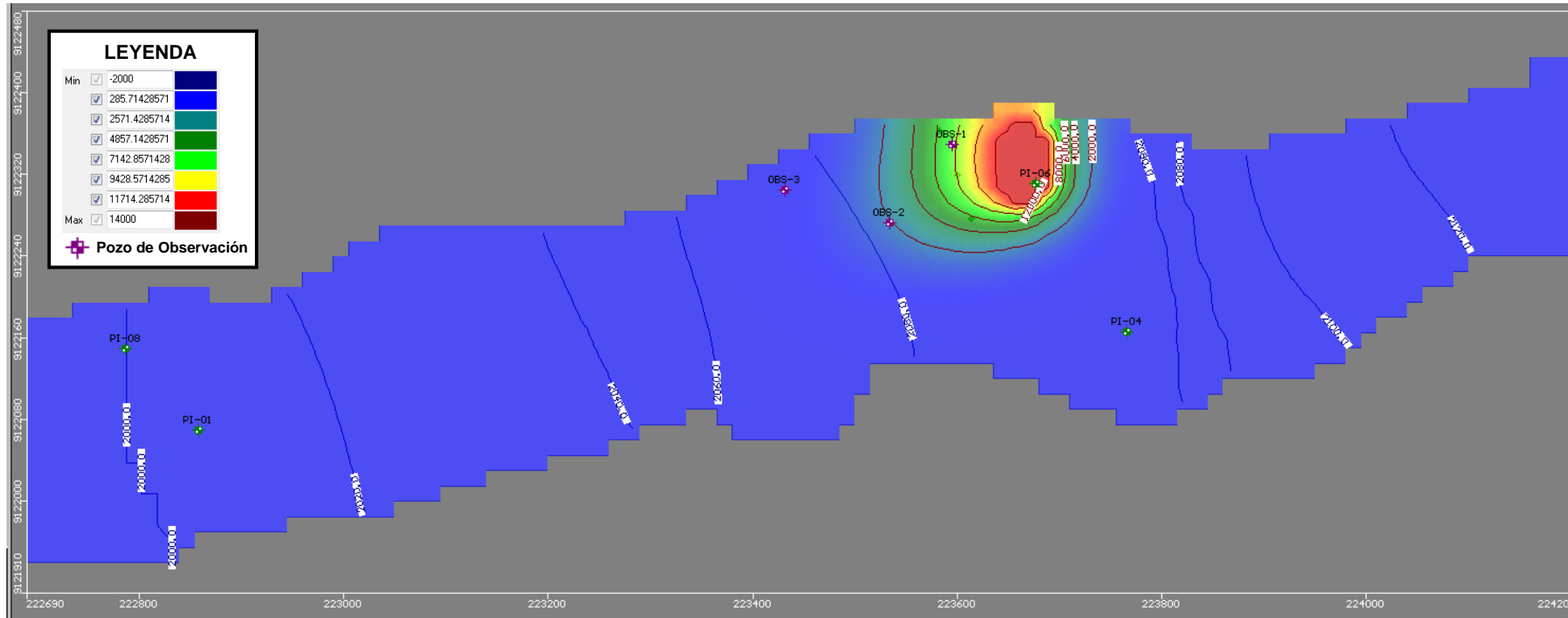
Relave[Var002]	Transport Engine: MT3D150	Total Number of Species: 1
	Sorption: Linear isotherm (equilibrium-con	Number of Mobile Species: 1
	Reactions: First-order irreversible decay	
	Reaction Parameters: N/A	
	Description: DoD MT3D, v. 1.5 (Public Domain)	



VI CONFERENCIA LATINOAMERICANA DE SANEAMIENTO BOLIVIA 2022

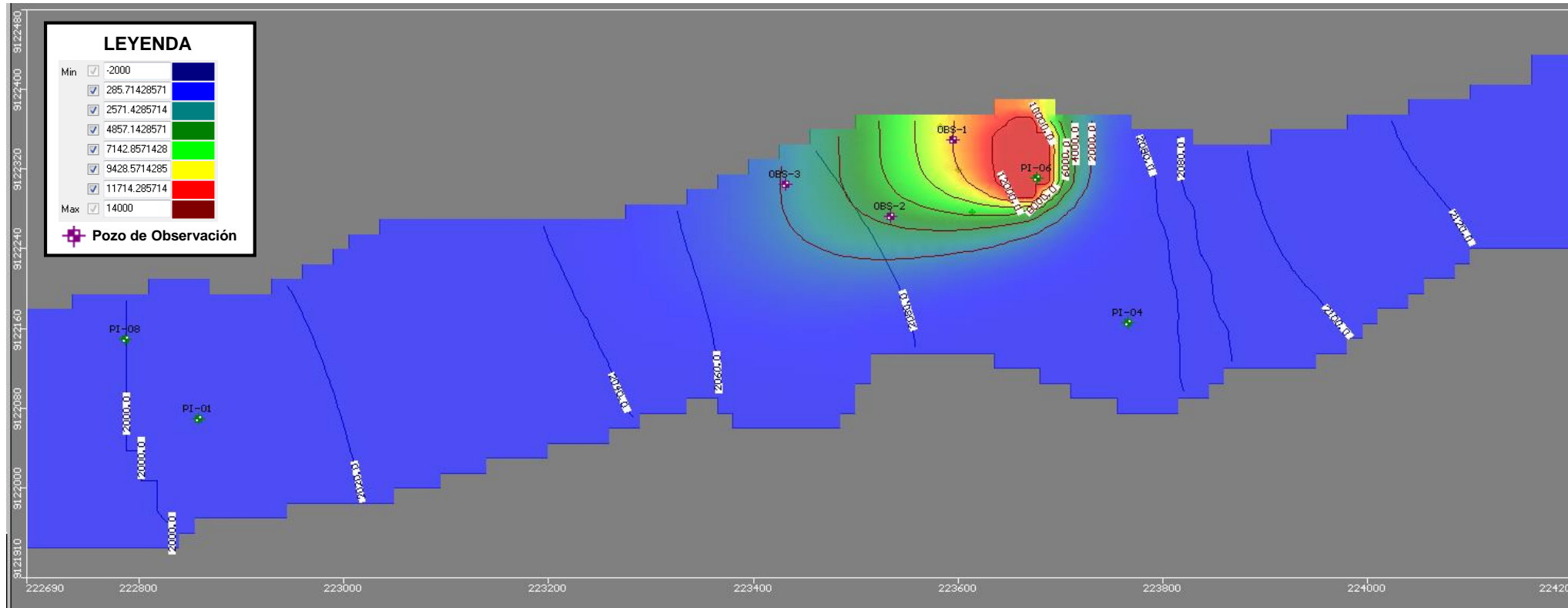
MODELO EN TRANSPORTE DE CONTAMINANTES

Variación temporal y espacial del transporte contaminante para 750 días



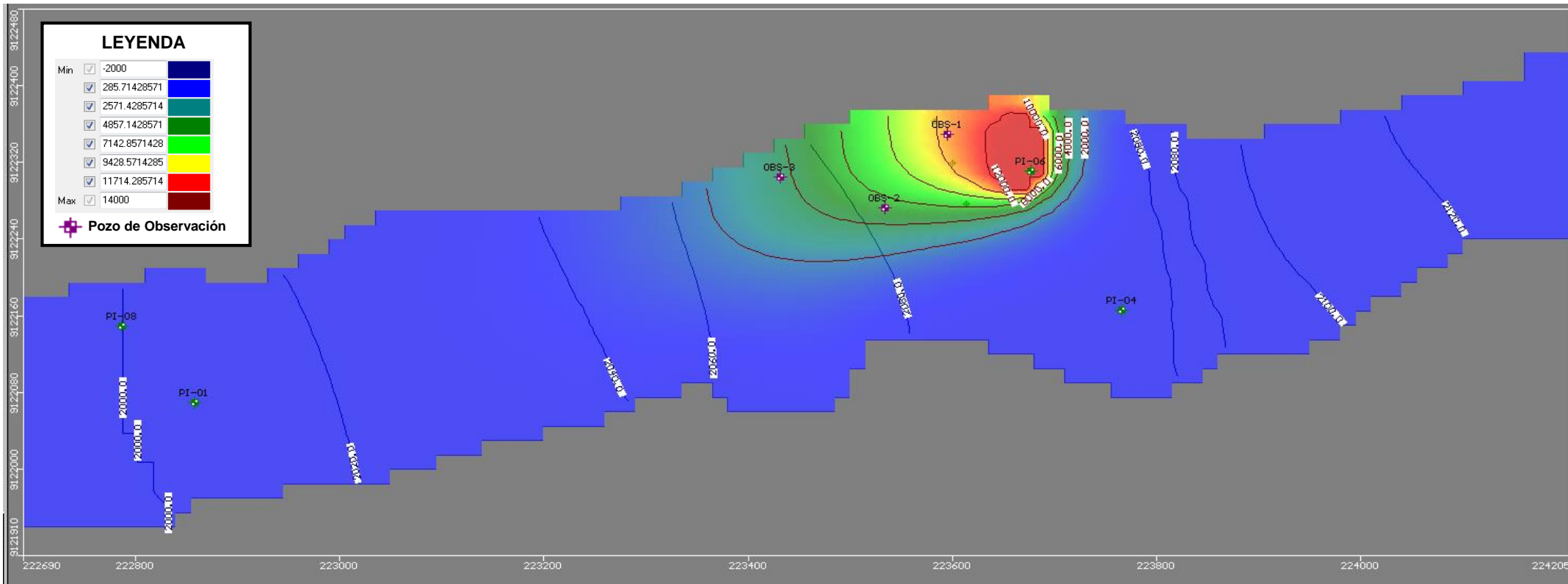
MODELO EN TRANSPORTE DE CONTAMINANTES

Variación temporal y espacial del transporte contaminante para 1450 días



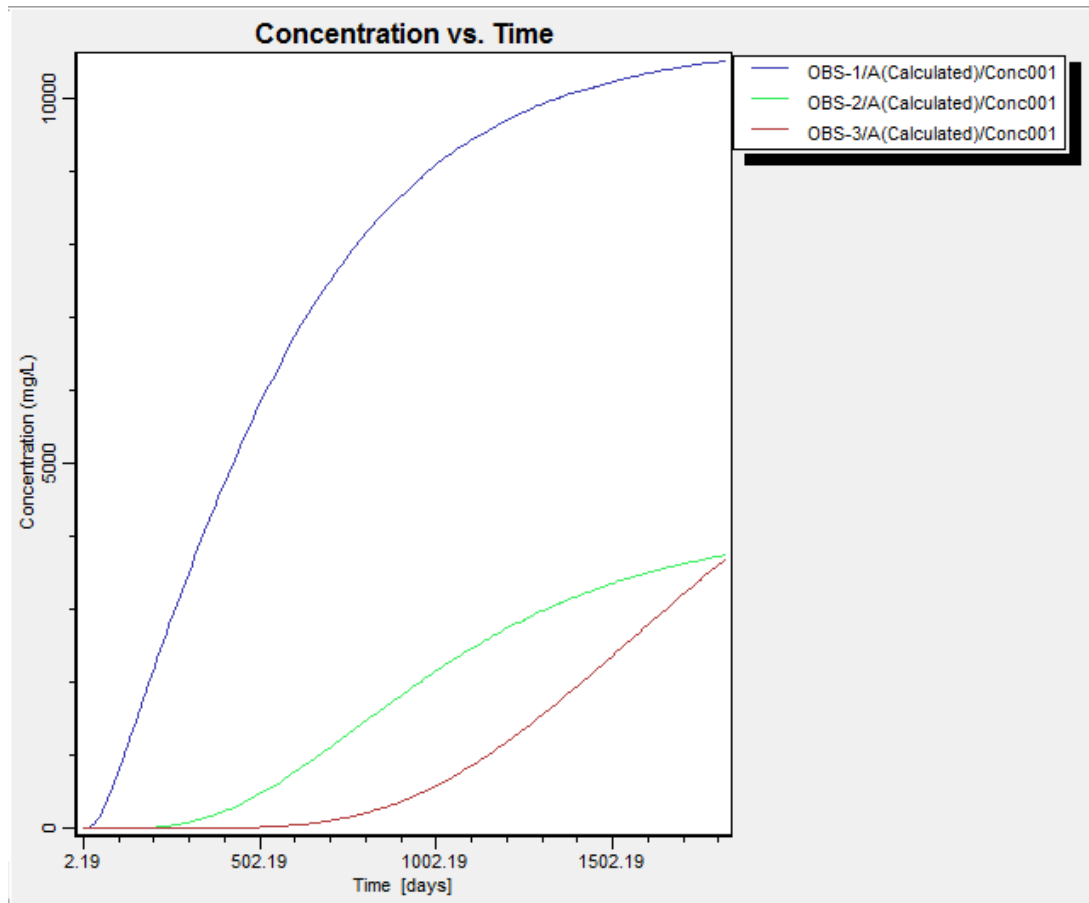
MODELO EN TRANSPORTE DE CONTAMINANTES

Variación temporal y espacial del transporte contaminante para 1825 días



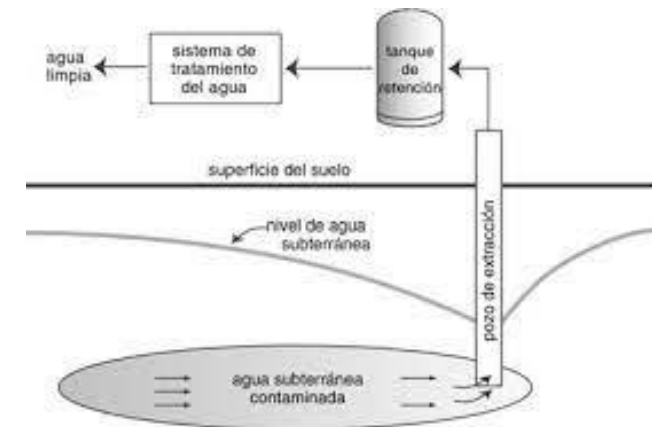
MODELO EN TRANSPORTE DE CONTAMINANTES

Grafico Concentración versus Tiempo



MEDIDAS DE REMEDIACIÓN DE LAS AGUAS CONTAMINADAS

- ✓ Aislamiento de las aguas subterráneas contaminadas por el lixiviado de los depósitos de relaves.
- ✓ El agua contaminada extraída se puede tratar utilizando tecnologías existentes tales como el método de la adsorción en carbón o tratamientos biológicos.
- ✓ El agua tratada podría ser reincorporada nuevamente en el acuífero donde fue extraído.
- ✓ Para el caso de aislamiento o confinamiento de las aguas subterráneas contaminadas, se puede proceder aplicando la técnica de barreras de lodo.
- ✓ Técnica de remediación in situ de carácter biológico que puede ser por biorremediación y fitorremediación.
- ✓ Recomendable utilizar como fitorremediación la especie vegetal *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty.



CONCLUSIONES

- El acuífero es libre. El espesor medio saturado del cuaternario varía de 20 m a 60 m en promedio. La profundidad de la napa freática varía entre 24 m y 38 m. El sentido de flujo es de NorEste a SurOeste con 9.6% de gradiente hidráulico.
- La conductividad eléctrica del agua subterránea varía entre 132 a 179 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El pH varía entre 7.0 a 7.81, tratándose de agua neutras a ligeramente básicas. El contaminante lograría alcanzar el piezómetro PI-01 y PI-08 entre 500 días a 700 días. El transporte contaminante ante una supuesta fuga de una concentración de 12500 mg/L de la presa relavera, se tendría que en 1825 días cubriría los pozos de observación.
- Aplicar la técnica de tratamiento en superficie. El agua tratada podría ser reincorporada nuevamente al acuífero donde fue extraído. También, se aplicaría la técnica de la fitorremediación a través de especies de plantas capaces de remover, transferir, estabilizar, concentrar y/o destruir sustancias químicas dañinas o compuestos contaminantes. El presupuesto referencial es de S/. 1 425 790,71 Soles.

RECOMENDACIONES

- Realizar una vigilancia de la calidad del agua subterránea en los piezómetros y pozos de observación.
- Obtener datos necesarios y requeridos para la realización de estudios hidrogeológicos y sanitarios, que cuantifiquen la disponibilidad de agua presente en el acuífero.
- Utilizar el software Visual MODFLOW y similares para realizar estudios de simulación de transportes contaminantes con el objetivo de predecir posibles puntos de alteraciones de calidad de aguas subterráneas.

SaneamientoUn
LlamadoALaAcción

GRACIAS
GRACIAS!

caahrrh@yahoo.es

car.alva@gmail.com



VI CONFERENCIA
LATINOAMERICANA
DE SANEAMIENTO
BOLIVIA 2022