

El rol del Servicio Geológico Mexicano en el conocimiento de las aguas subterráneas y la implementación de la cartografía hidrogeológica

Ing. Francisco de Jesús Cafaggi Félix

fcafaggi@sgm.gob.mx



ECONOMÍA
SECRETARÍA DE ECONOMÍA



2022 Ricardo Flores
Año de Magón
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA



<https://www.gob.mx/sgm>



Ricardo
2022 Flores
Año de **Magón**
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA

Servicio Geológico Mexicano



Organismo público descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propios.

Tiene por objeto “*Promover el mejoramiento de los recursos minerales y generar la información geológica básica de la Nación*”.

Sus oficinas centrales se ubican en la ciudad de Pachuca, Hidalgo.

Cuenta con ocho oficinas regionales, ubicadas en: Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Durango, Coahuila, Jalisco, San Luis Potosí y Oaxaca.

Así como con dos centros experimentales, localizados en las ciudades de Oaxaca y Chihuahua.

Principales ejes temáticos de investigación del SGM



Cartografía



Hidrogeología



Recursos Minerales



Geología Ambiental



Minerales Energéticos



Geociencia Digital

CONAGUA

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA



Es el organismo rector de la administración del recurso del agua en México.

Misión

Administrar y preservar las aguas nacionales y sus bienes inherentes, para lograr su uso sustentable, con la corresponsabilidad de los tres órdenes de gobierno y la sociedad en general.

Para el desarrollo de estudios hidrogeológicos se apoya en:

- Universidades
- Centros de Investigación
- Empresas privadas
- Servicio Geológico Mexicano

CONAGUA

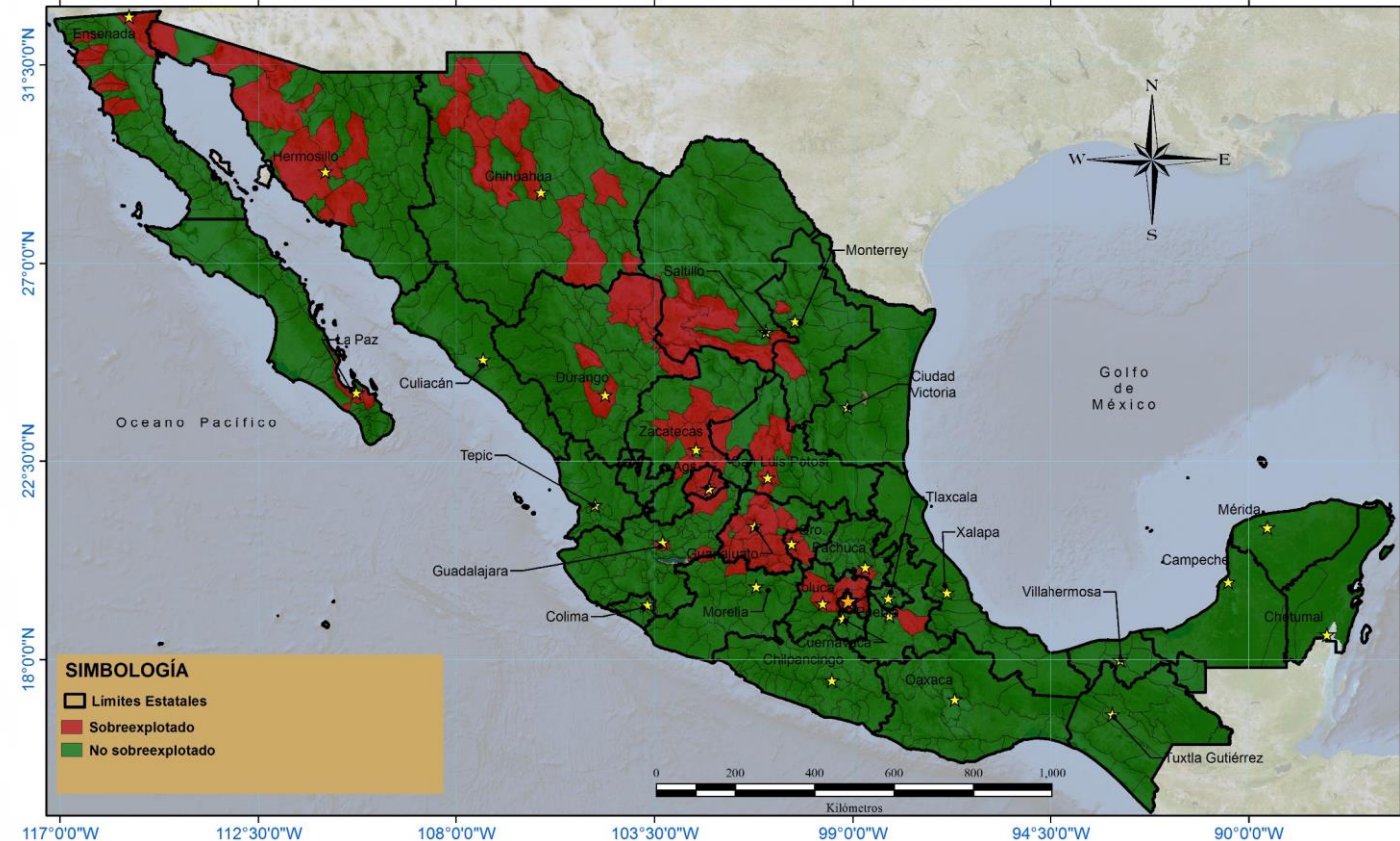
definió la distribución de 653 acuíferos en la República Mexicana



En el territorio mexicano se han definido 653 acuíferos, los cuales suministran gran parte de las demandas de agua de los desarrollos industriales y cerca del 65 por ciento del volumen de agua que demandan las ciudades donde se concentran unos sesenta millones de habitantes.

Existen 120 acuíferos en condición de sobreexplotados

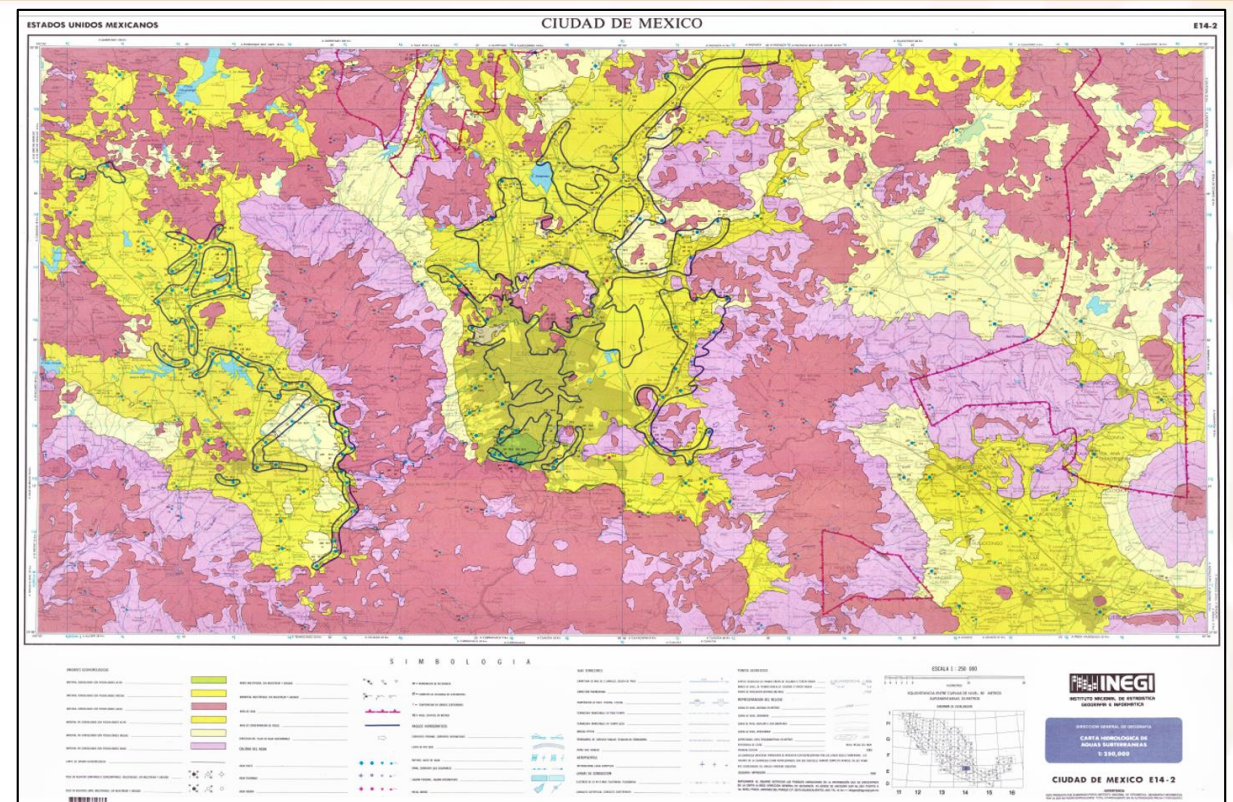
La sobreexplotación de los acuíferos en México avanza con rapidez, desde sólo 32 acuíferos sobreexplotados en 1975 a 122 en 2022.



Cartografía hidrogeológica disponible (INEGI)














Cubrimiento al 100% del territorio nacional a escala 1:250 000

Cobertura nacional, 122 Cartas



Contenido de la Carta hidrogeológica de aguas subterráneas a escala 1:250 000

UNIDADES GEOHIDROLÓGICAS

MATERIAL CONSOLIDADO CON POSIBILIDADES ALTAS	
MATERIAL CONSOLIDADO CON POSIBILIDADES MEDIAS	
MATERIAL CONSOLIDADO CON POSIBILIDADES BAJAS	
MATERIAL NO CONSOLIDADO CON POSIBILIDADES ALTAS	
MATERIAL NO CONSOLIDADO CON POSIBILIDADES MEDIAS	
MATERIAL NO CONSOLIDADO CON POSIBILIDADES BAJAS	
LIMITE DE UNIDAD GEOHIDROLÓGICA	
POZO EN ACUÍFERO CONFINADO O SEMICONFINADO : MUESTREADO, SIN MUESTREAR Y UBICADO	  
POZO EN ACUÍFERO LIBRE : MUESTREADO, SIN MUESTREAR Y UBICADO	  

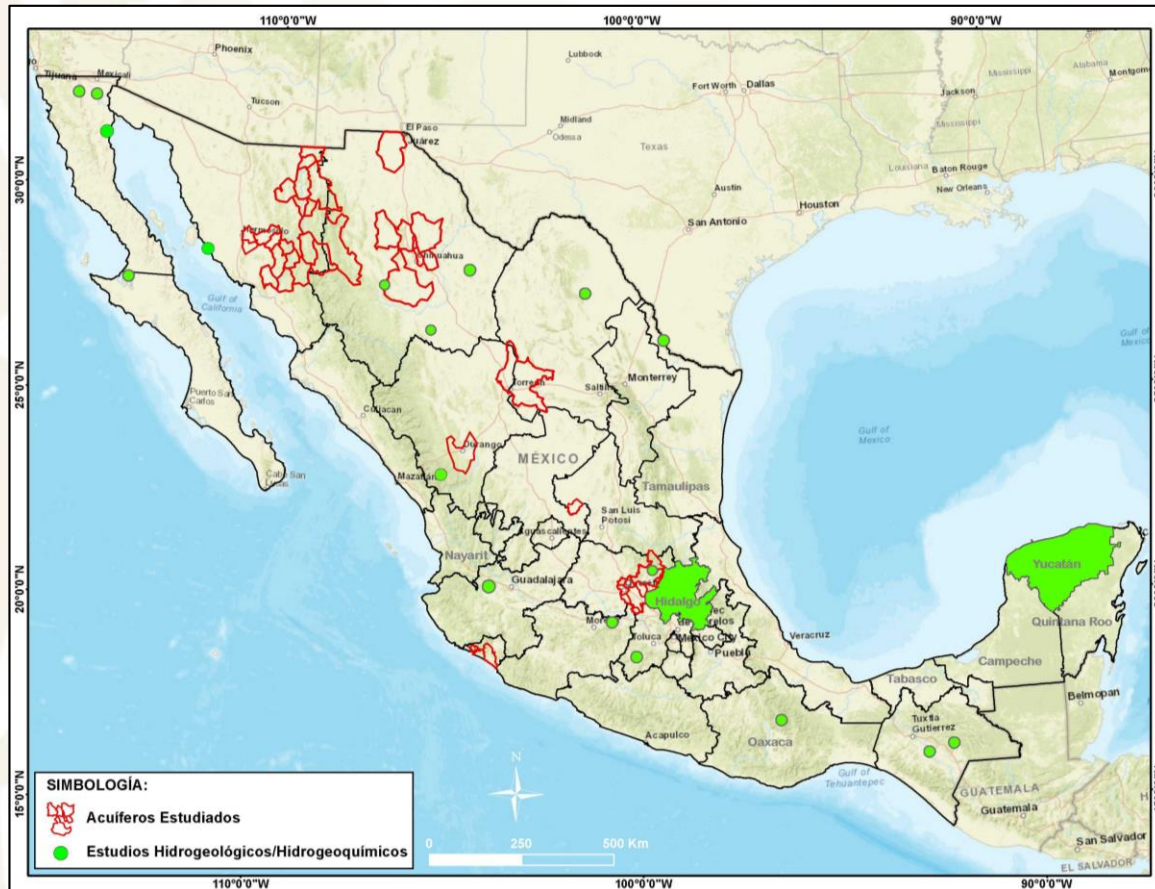
NORIA MUESTREADA, SIN MUESTREAR Y UBICADA	  
MANANTIAL MUESTREADO, SIN MUESTREAR Y UBICADO	  
AREA DE VEDA	
AREA DE CONCENTRACION DE POZOS	
DIRECCION DEL FLUJO DE AGUA SUBTERRANEA	
CALIDAD DEL AGUA	
AGUA DULCE	   
AGUA TOLERABLE	   
AGUA SALADA	   

Estudios hidrológicos que desarrolla el SGM

- 1.- **Prospección hidrogeológica:** definición de la presencia de agua subterránea, incluyendo profundidad y dirección de flujo.
- 2.- **Evaluación hidrogeológica:** cuantificación del agua disponible en el acuífero.
- 3.- **Modelación hidrogeológica:** predicción del funcionamiento del sistema acuífero
- 4.- **Caracterización hidrogeoquímica (calidad):** establece el efecto de fuentes de contaminación actuales y potenciales en el agua subterránea
- 5.- **Ubicación de sitios propicios para el desplante de rellenos sanitarios**
- 6.- **Apoyo a exploración de yacimientos minerales**
- 7.- **Apoyo a la prospección de yacimientos geotérmicos**

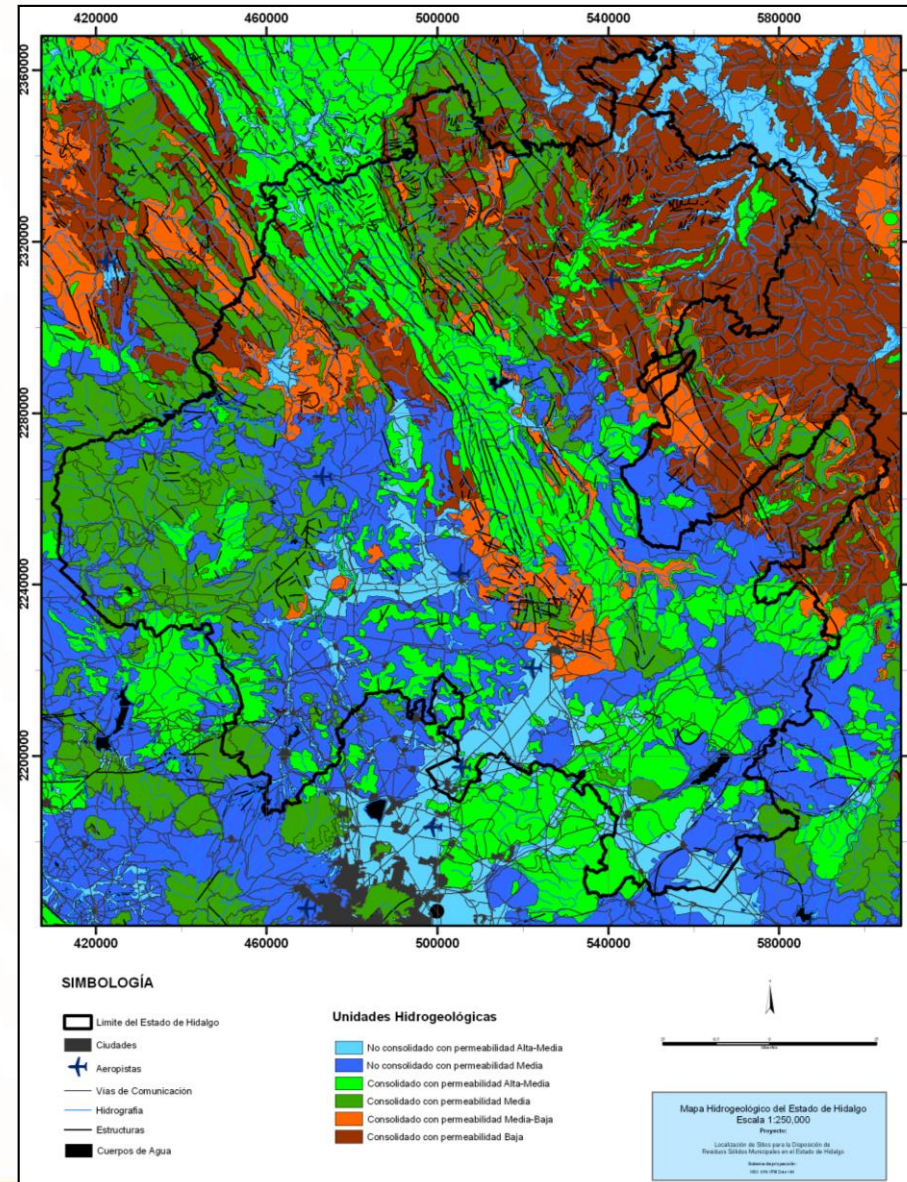
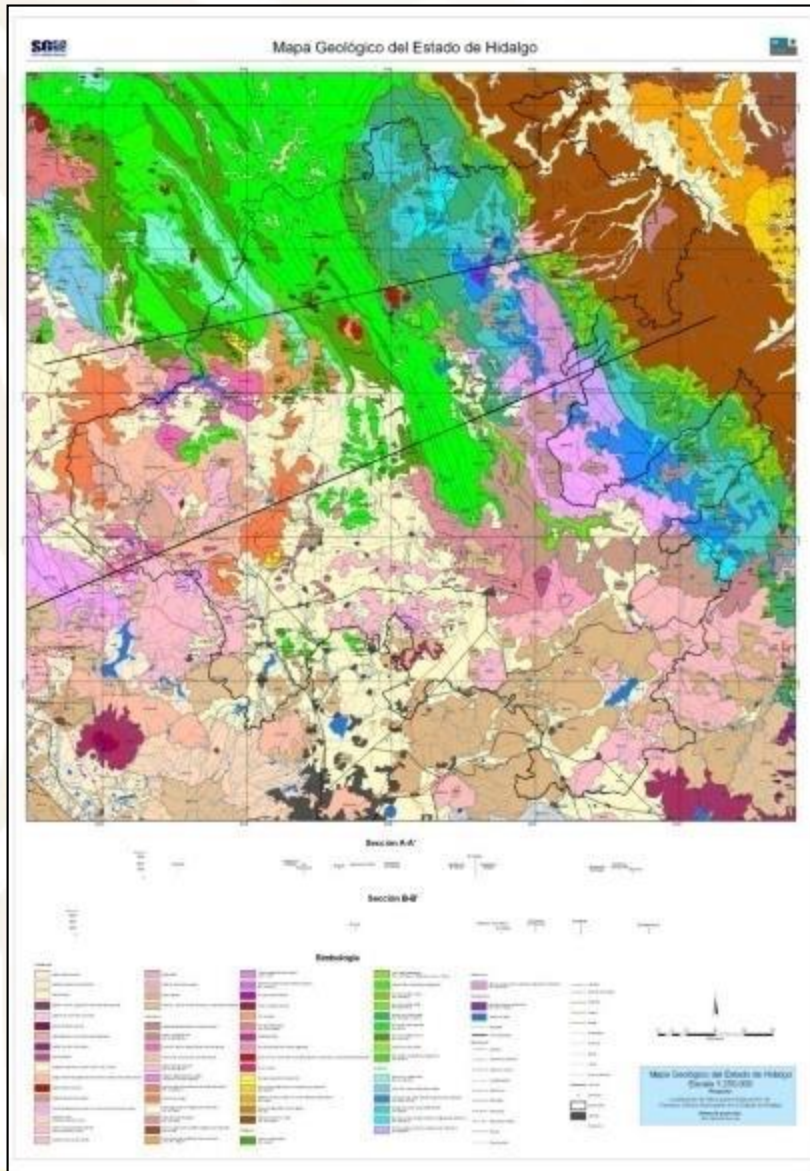


Estudios hidrogeológicos desarrollados de 2003 a 2022



Decenas de estudios han sido desarrollados por el SGM para instituciones públicas, ya sea federales, estatales o municipales, como la iniciativa privada

Mapa de unidades litopermeables a partir del mapa geológico. Estado de Hidalgo, México



Unidades Hidrogeológicas

- No consolidado con permeabilidad Alta-Media
- No consolidado con permeabilidad Media
- Consolidado con permeabilidad Alta-Media
- Consolidado con permeabilidad Media
- Consolidado con permeabilidad Media-Baja
- Consolidado con permeabilidad Baja



Principales líneas de investigación hidrogeológica

- ✓ Localización de fuentes alternas para abastecimiento de agua
- ✓ Apoyo a la prospección de yacimientos minerales
- ✓ Caracterización de yacimientos geotérmicos

Fuentes de abastecimiento: acuíferos granulares

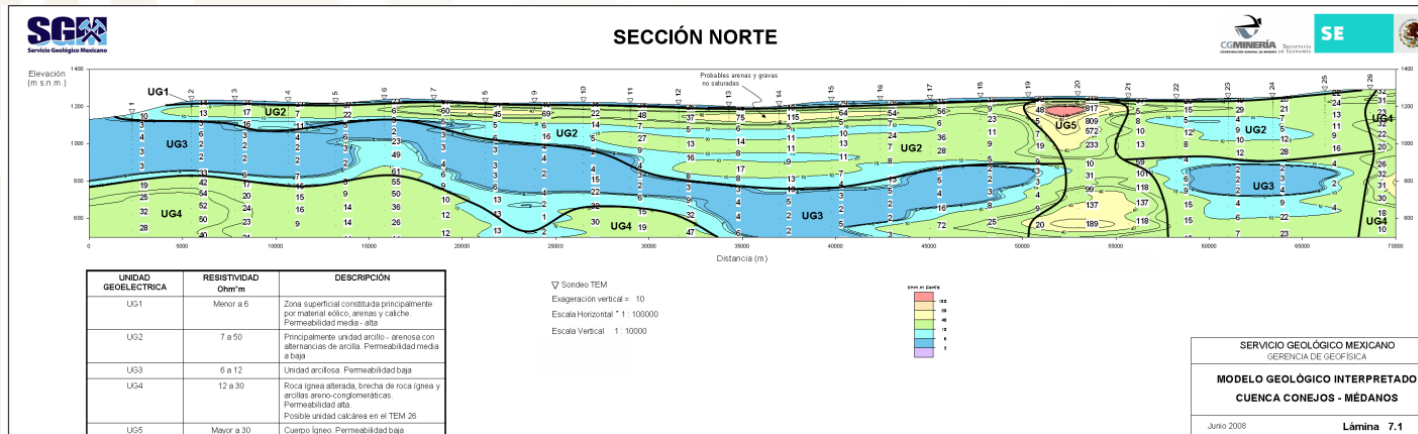
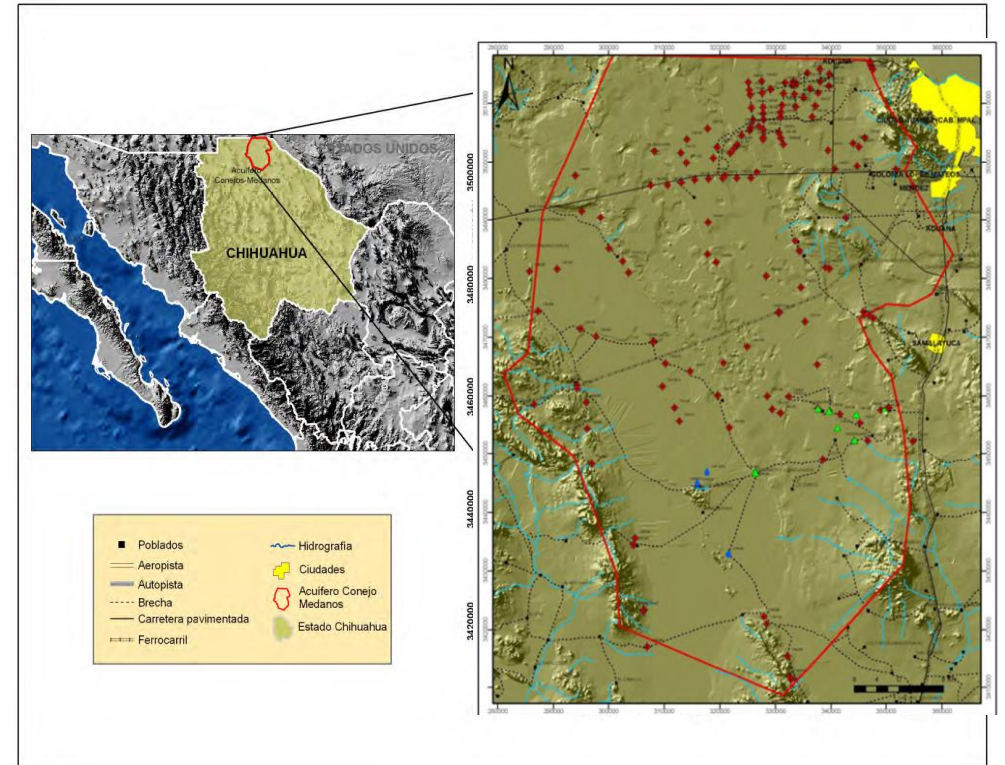
En zonas semidesérticas el agua subterránea es la única fuente de abastecimiento para comunidades y conglomerados urbanos



Pozo de monitoreo



Pozo activo

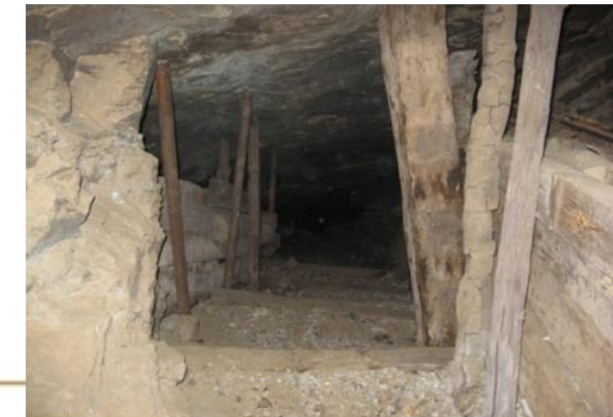


Acuífero transfronterizo Conejos - Médanos

Fuentes de abastecimiento: Estructuras geológicas

Se desarrollan estudios para la localización y caracterización de estructuras geológicas (fallas y fracturas) regionales que funcionen hidráulicamente como conductos de flujos regionales.

Para su prospección se requiere la interacción de técnicas geohidrológicas, geofísicas, isotópicas e hidrogeoquímicas.



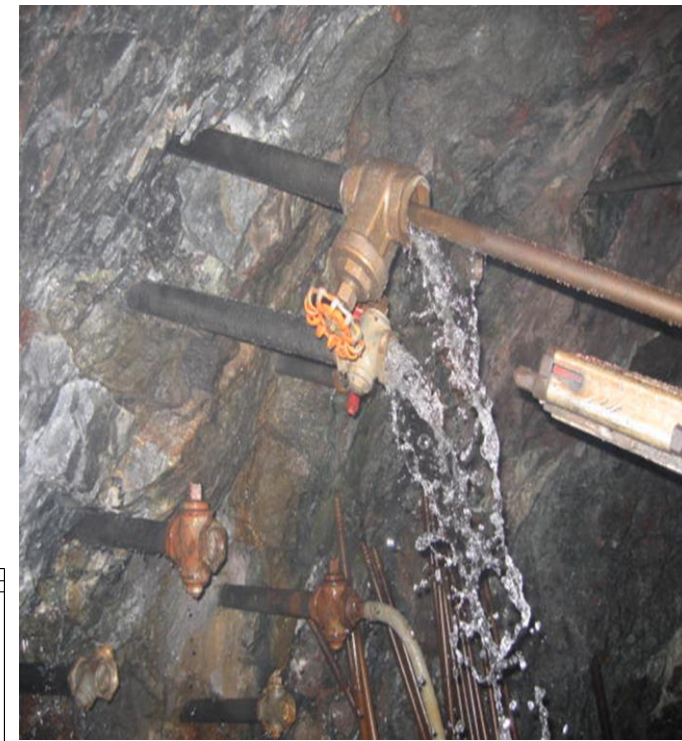
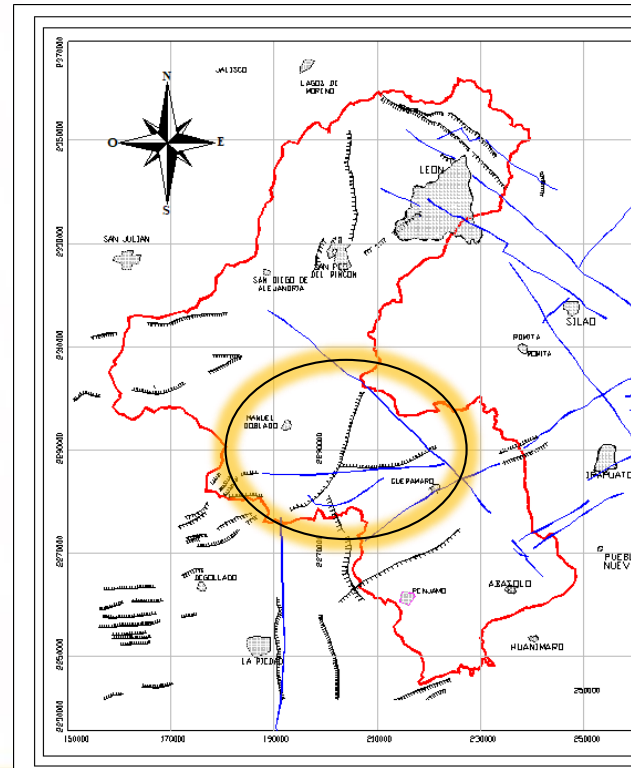
Fuentes de abastecimiento: Estructuras geológicas

Mediante análisis isotópicos de ^{18}O , deuterio y tritio se estableció que el agua subterránea de la unidad minera Santa Eulalia, Chihuahua, se transporta a través de fallas regionales, asociada a un sistema de flujo regional.

El agua subterránea con estas características pueden abastecer grandes ciudades.

Para su prospección se requiere la interacción de técnicas geohidrológicas, geofísicas, isotópicas e hidrogeoquímicas.

Caso Cuenca del Río Turbio, estado de Guanajuato.



Fuentes de abastecimiento en macizos rocosos fracturados

Las unidades de roca fracturada tienen condiciones para captar, transportar y aportar de agua, ya sea en pequeñas cantidades, para pequeñas comunidades, o cantidades significativas, para centros urbanos.



Búsqueda de fuentes alternas de agua subterránea

Gran parte de los acuíferos en medios granulares se explotan a una tasa mayor a la recarga, por lo cual constantemente se requiere la búsqueda de fuentes alternas de agua subterránea.

En Sonora se desarrolló un estudio piloto de caracterización del agua subterránea en minas inundadas. Entre sus principales resultados destacan dos minas inundadas que se propusieron como fuente de abastecimiento para la comunidad de San Javier (operan como galerías filtrantes).



Principales líneas de investigación

- ✓ Localización de fuentes alternas para abastecimiento de agua
- ✓ Apoyo a la prospección de yacimientos minerales
- ✓ Caracterización de yacimientos geotérmicos

El agua en la minería

La minería fue una de las causas fundamentales de la colonización en México.

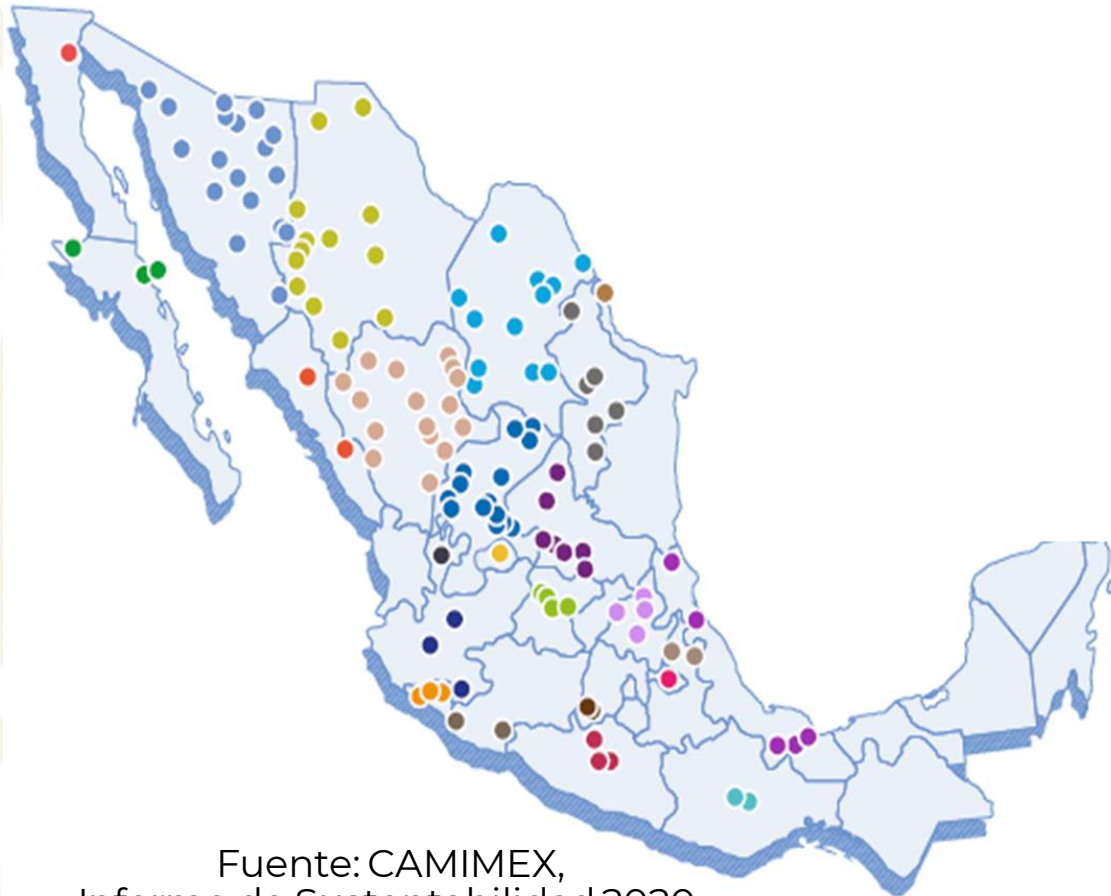
Importantes ciudades se fundaron en los alrededores de las principales minas de la Nueva España, entre otras:

- ✓ Zacatecas (1546)
- ✓ Pachuca (1552)
- ✓ Fresnillo y Guanajuato (1554)
- ✓ San Luis Potosí (1592)

Desde los primeros desarrollos mineros hasta la actualidad, el agua es un factor fundamental e imprescindible en las actividades mineras.

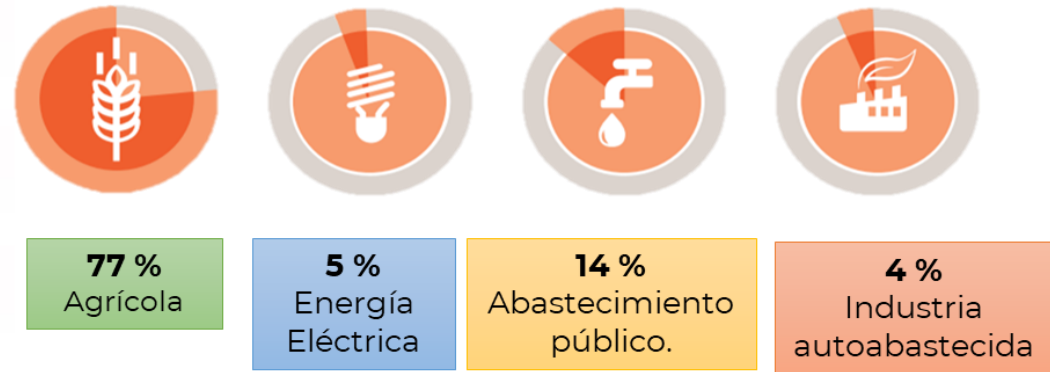


Operaciones minero - metalúrgicas en México



Fuente: CAMIMEX, Informe de Sustentabilidad 2020.

Uso del agua en México



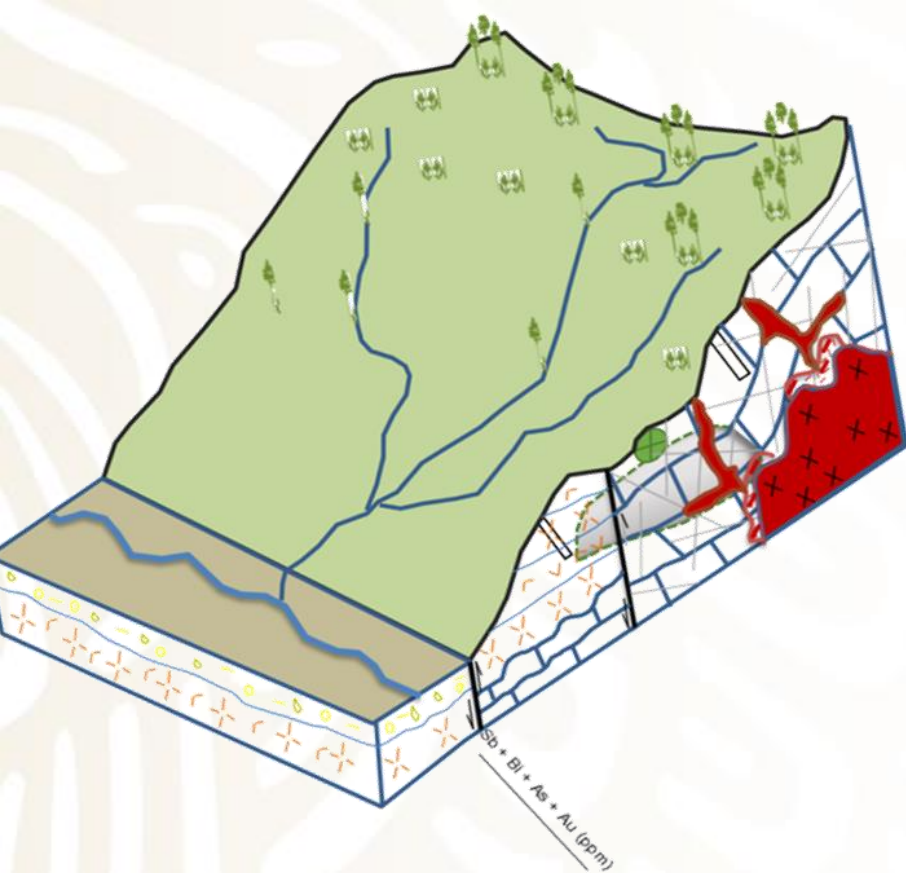
Fuente: CAMIMEX, Informe de Sustentabilidad 2020, con datos de CONAGUA.

Principios básicos

El agua es el solvente universal.

Su composición química está determinada por los aportes naturales derivados de la descomposición de las rocas y de otros materiales.

El agua, al infiltrarse en el subsuelo, disuelve iones de los minerales que conforman al macizo rocoso, incluyendo aquellos que conforman depósitos de minerales, modificando su firma hidrogeoquímica.



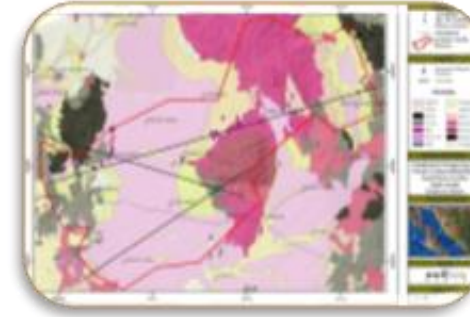
La aplicación del método considera los siguientes factores:

- a) Condiciones climáticas
- b) Presencia de aprovechamientos hidráulicos
- c) Condiciones topográficas
- d) Composición y fracturamiento del medio geológico
- e) Direcciones y sistemas de flujo subterráneo
- f) Familias de agua subterránea
- g) Espesor y tipo de cobertura de suelo
- h) Parámetros físicos y químicos del agua (T, Eh, pH, Od, Ce y STD)
- i) Uso de elementos guía (*pathfinder*), existe una asociación particular en función del tipo de depósito a explorar.

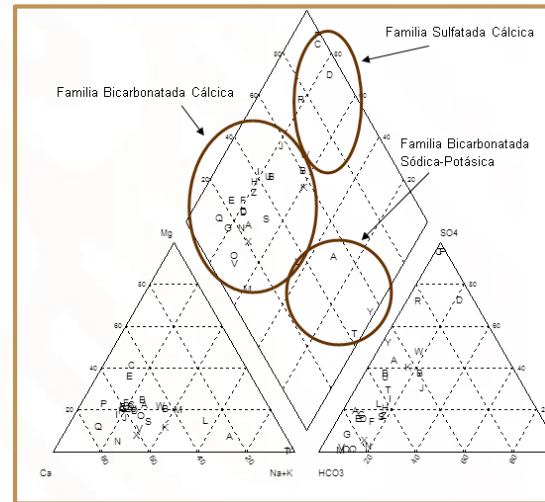
Condiciones topográficas



Litología y fracturamiento



Familias de agua



Parámetros físicos del agua

Temperatura (T)



Oxígeno disuelto (Od)



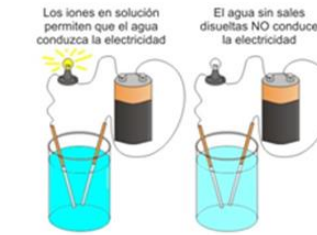
Eh

Relacionada con la movilidad de los metales

pH

Relacionada con la solubilidad de los minerales

Conductividad eléctrica (Ce) Sólidos totales disueltos (STD)

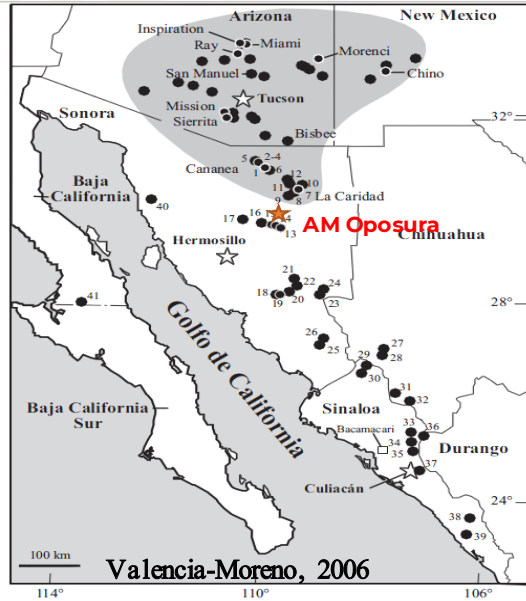


Cuanto mayor es la concentración salina de una solución mejor conduce la electricidad y mayor es su conductividad eléctrica.

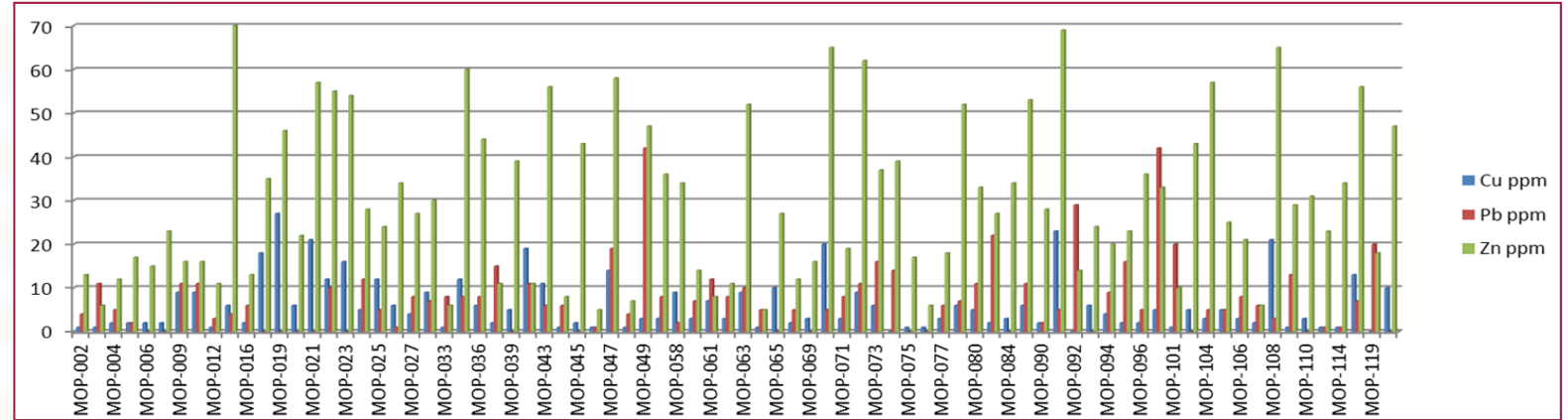


Aplicación de hidrogeoquímica en la asignación Minera Oposura, Son.

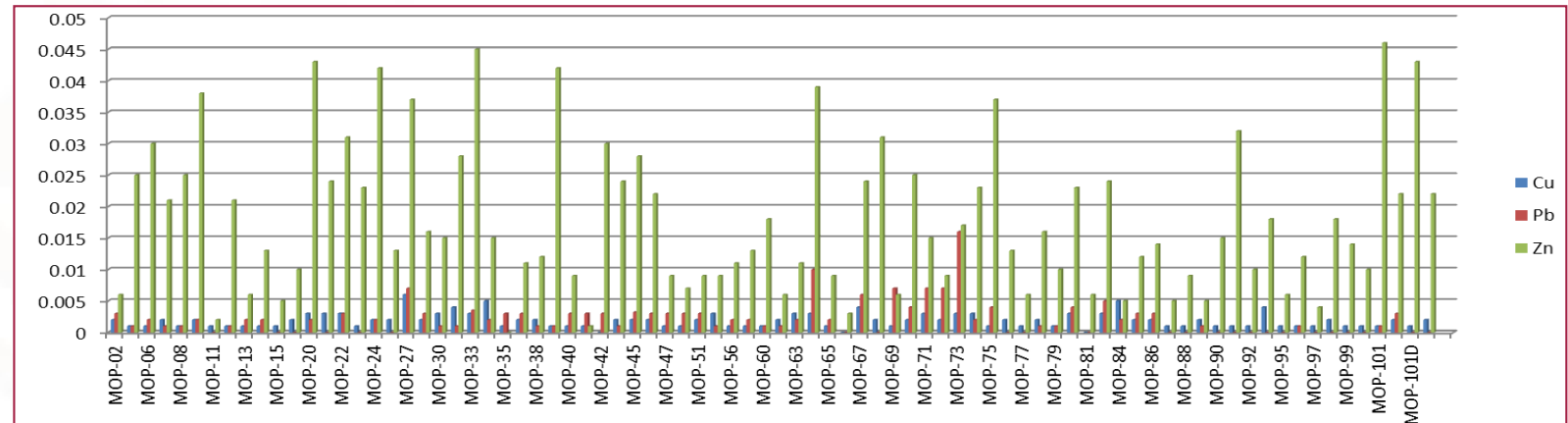
Intercambio iónico



Guía mineralógica en roca para Au: Zn (33.4 ppm) > Pb (9.12 ppm) > Cu (7.23 ppm)



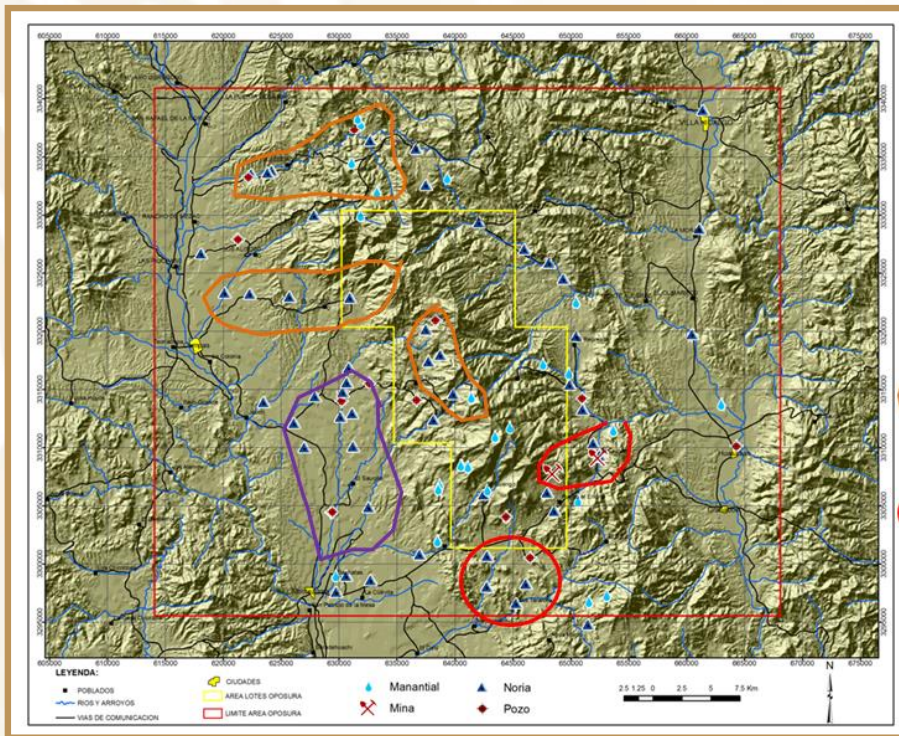
Coincidencia de la relación en agua: Zn (0.18 ppm) > Pb (0.0021 ppm) > Cu (0.0019 ppm)






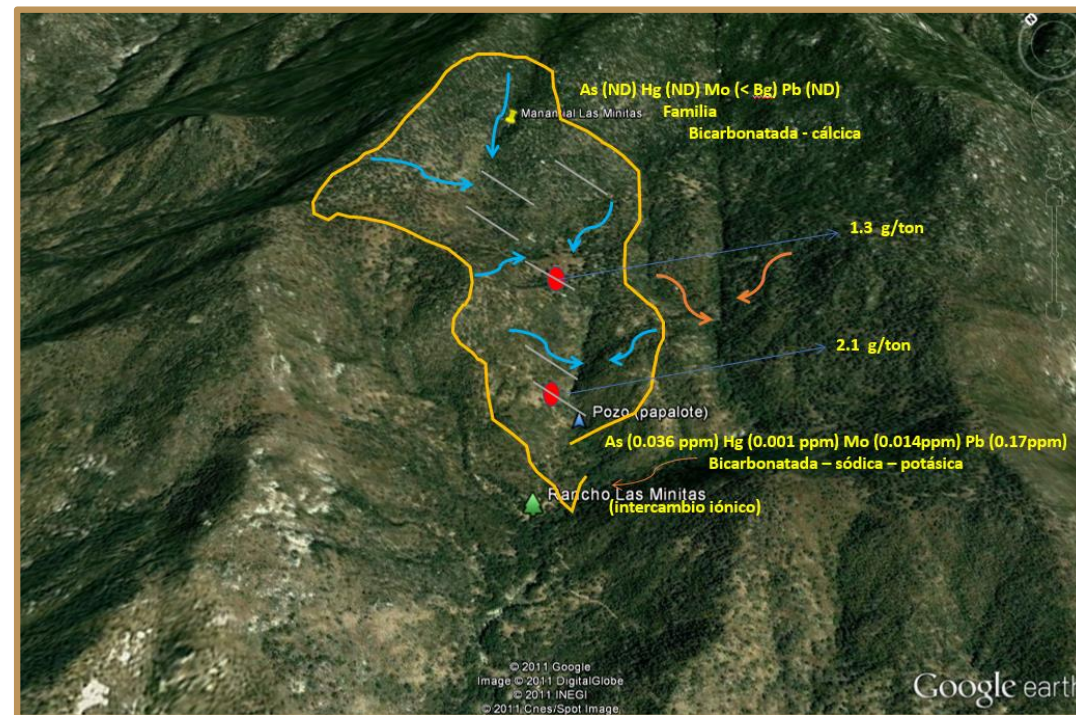
Una vez confirmada la relación de elementos guía en macizos rocosos y agua, la zona se clasifica en base a microcuencas.



Aplicación de hidrogeoquímica en la asignación Minera Oposura, Son.



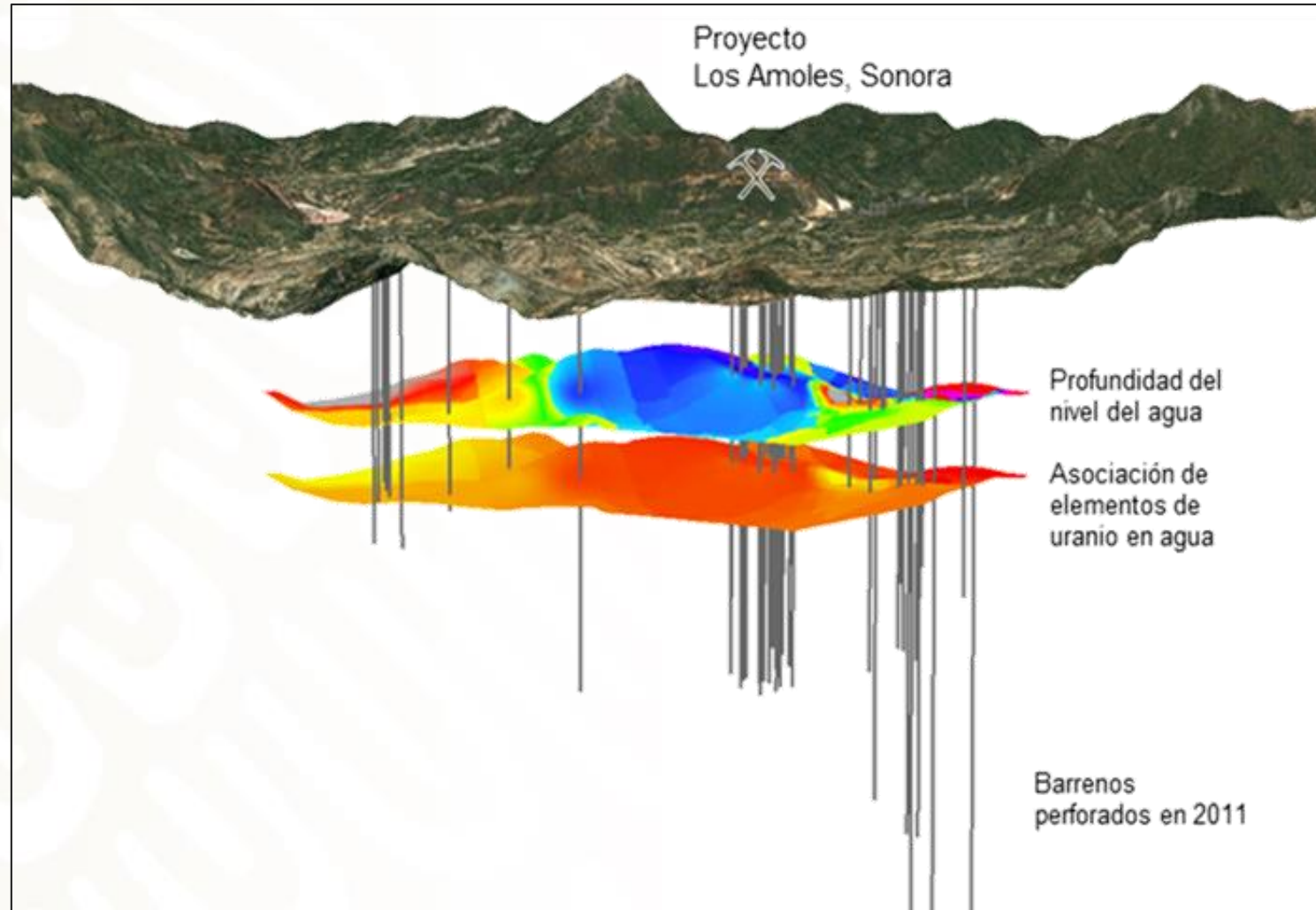
-  Zona oxidante
-  Zona reductora
-  Zona de transición
Óxido-reducción



Zonas de interés

Se localizan zonas que marcan tendencias claras de reducción u oxidación y que incluyan la relación $Zn > Pb > Cu$

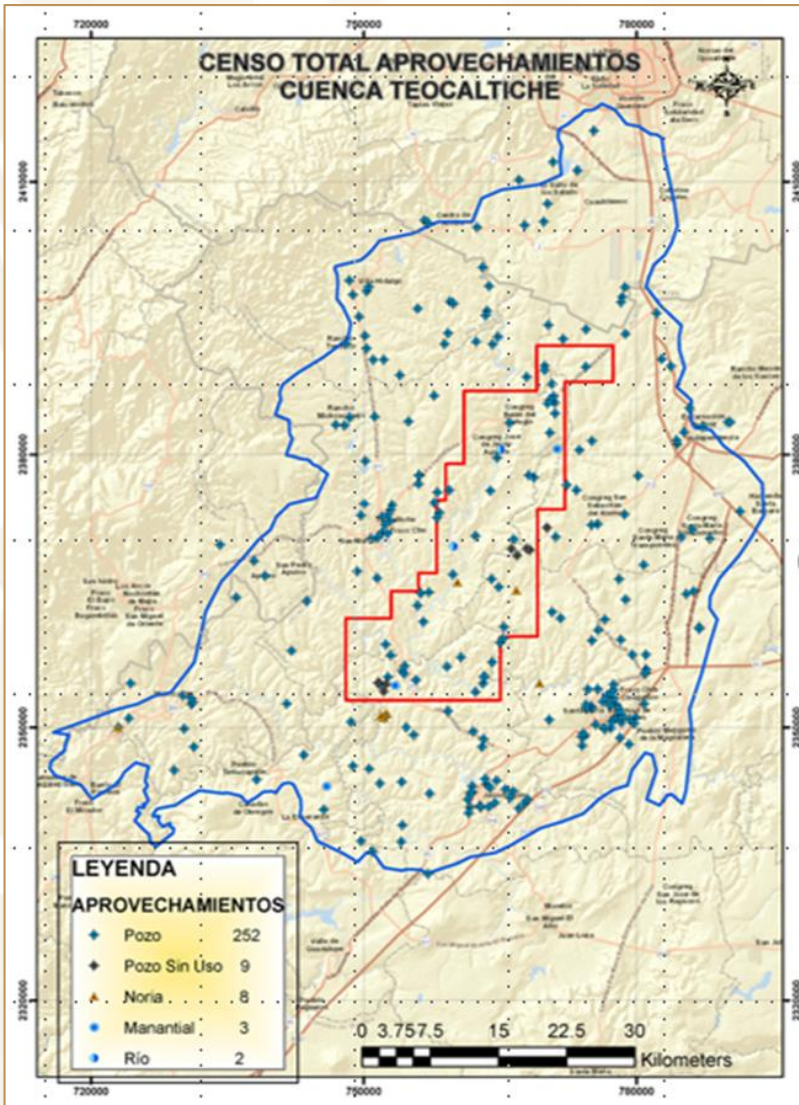
Aplicación de hidrogeoquímica en la Asignación Minera Los Amoles, Son.



Sorpresa

Zn > Pb > Cu
¡tenemos Au!

Hidrogeoquímica en apoyo a la investigación por Li, Asignación Alondra, Jalisco



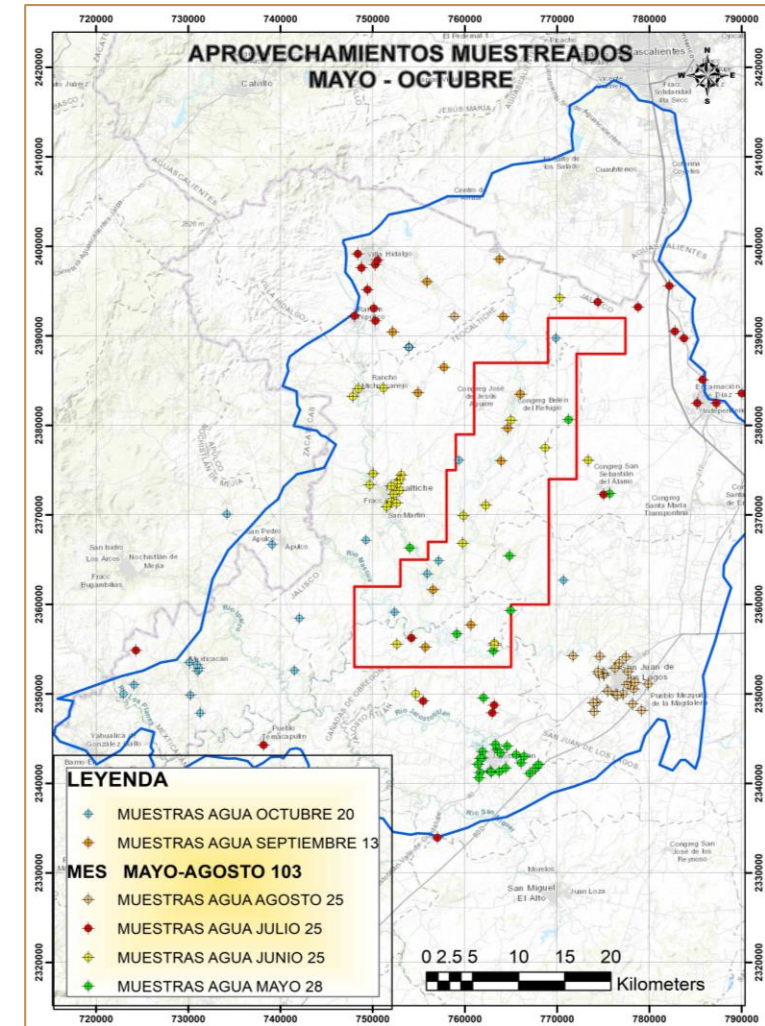
Se toma como base el REPDA, para la zona se tienen registrados 1935 aprovechamientos

ACUÍFEROS

- A REPDA YAHUALICA 81
- A REPDA A JALOSTOTITLAN 421
- A REPDA LAGOS DE MORENO 693
- A REPDA ENCARNACIÓN 740

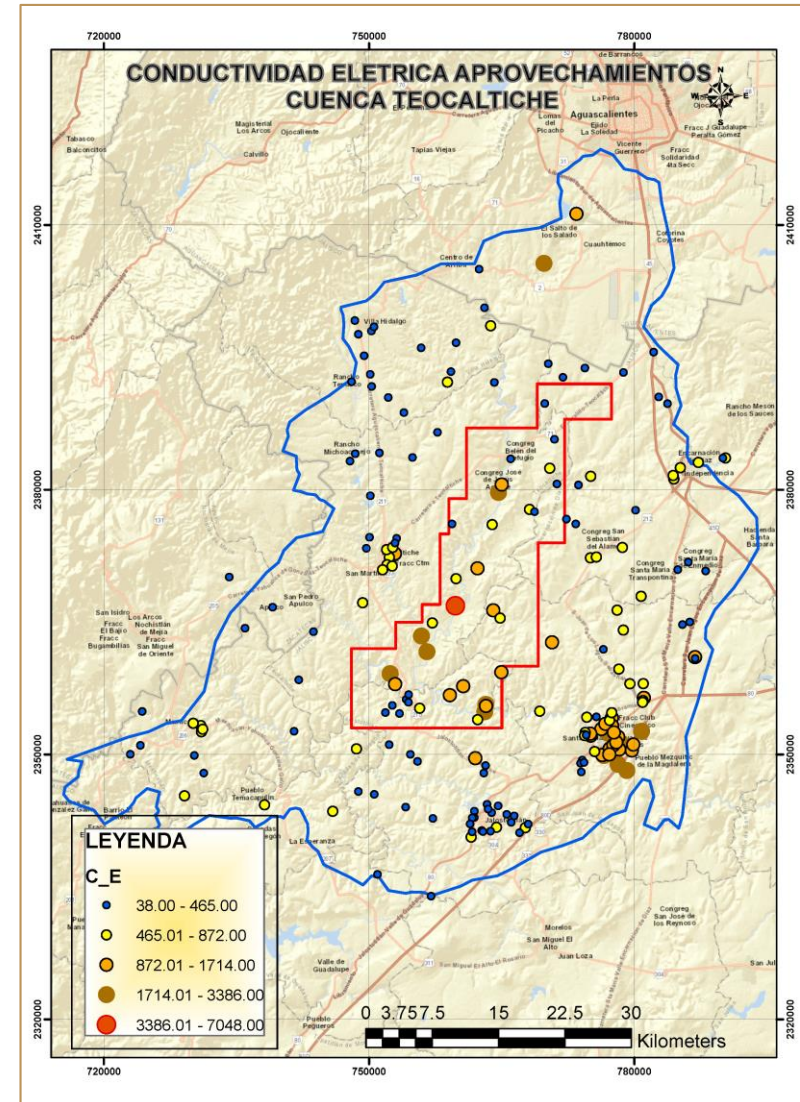
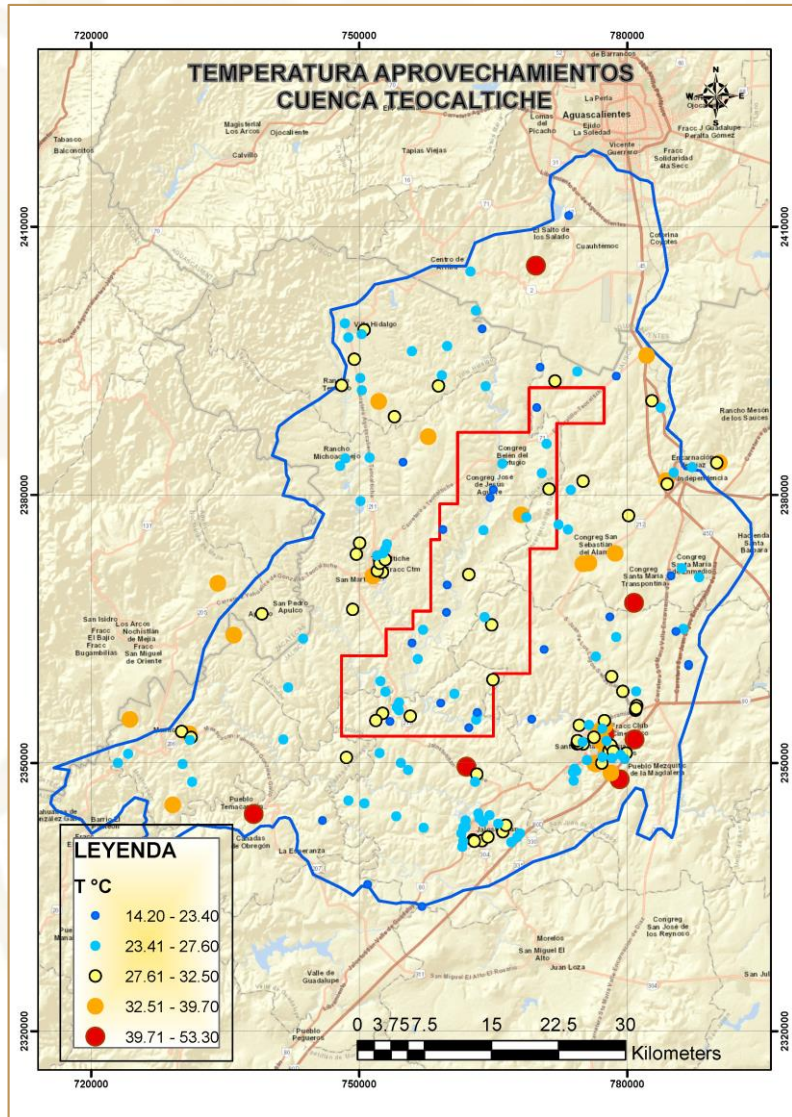
Aprovechamiento del censo selectivo

Pozos	261
Norias	8
Manantiales	3
Otros	2

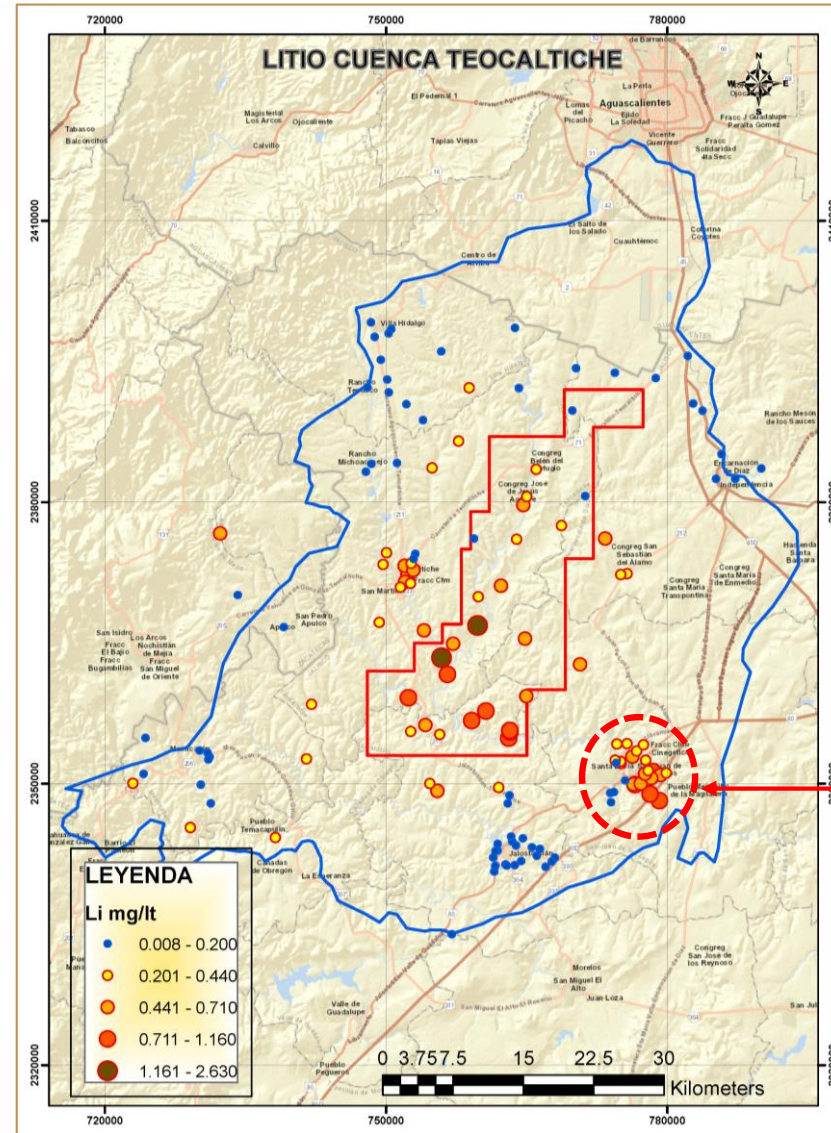
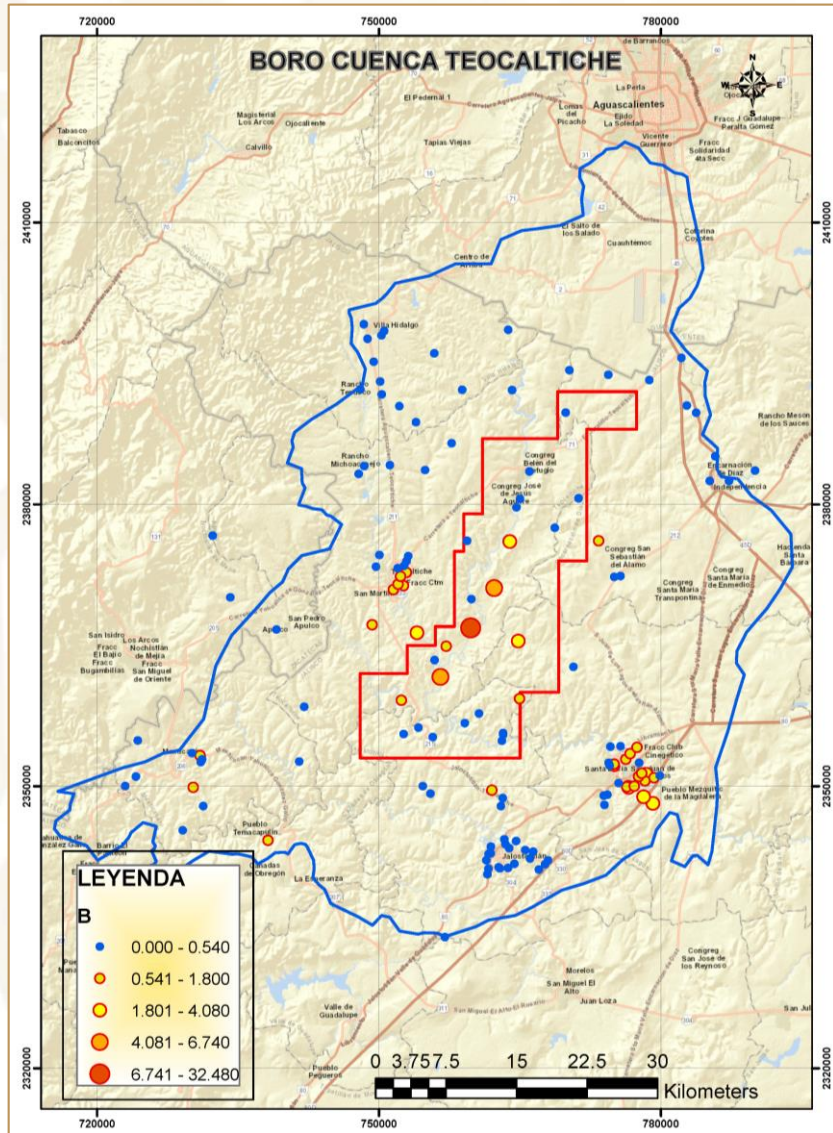


Se colectaron 138 muestras

Medición de parámetros físicos y químicos (pH, Eh, STD, Ce, Od, T)



Concentración de litio y boro



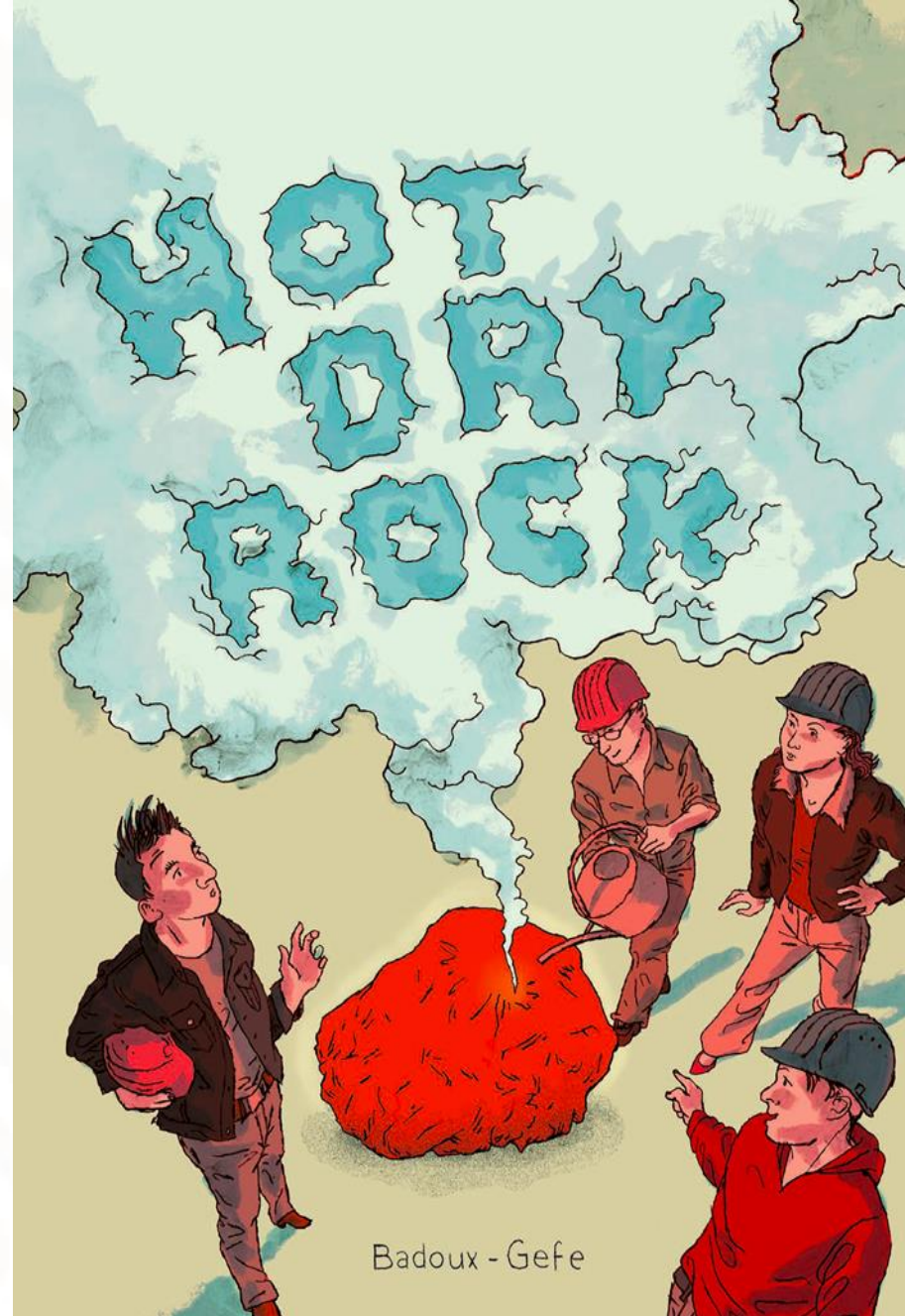
Zona de interés

Se observa que en presencia de Li en el agua, si B aumenta Sr disminuye y viceversa

Principales líneas de investigación

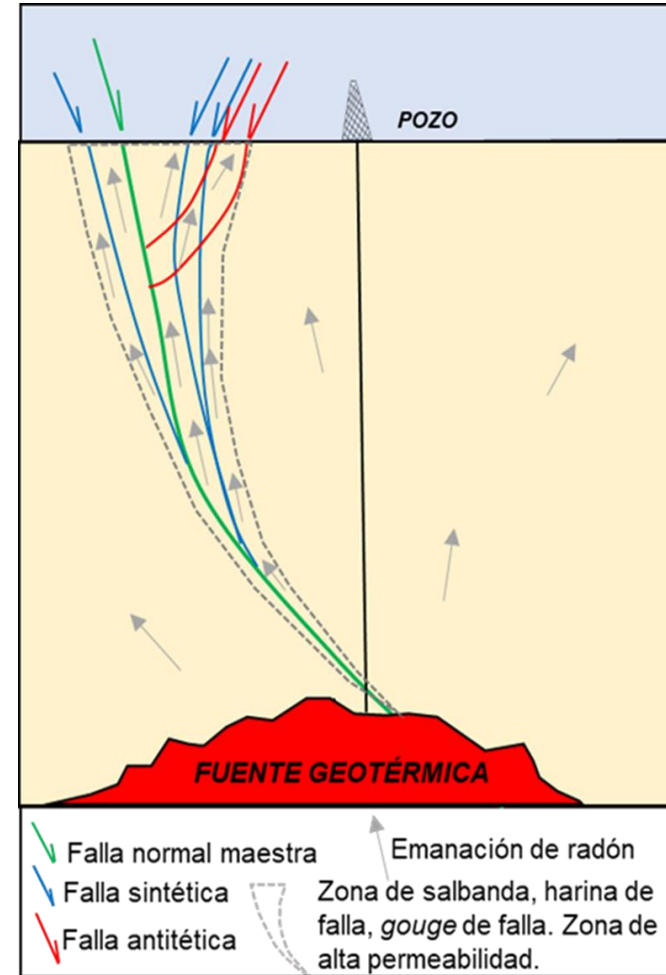
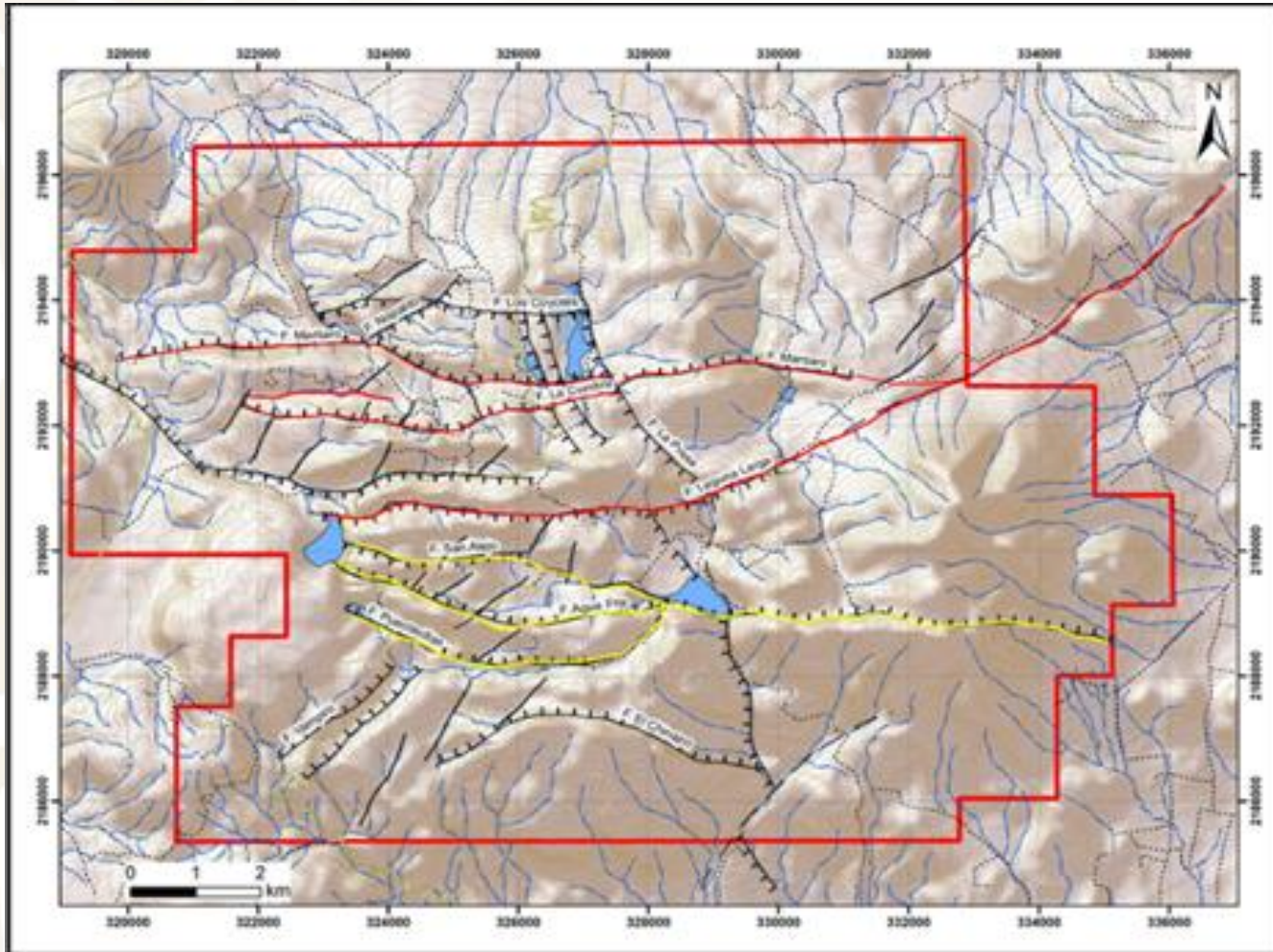
- ✓ Localización de fuentes alternas para abastecimiento de agua
- ✓ Apoyo a la prospección de yacimientos minerales
- ✓ Caracterización de yacimientos geotérmicos

Yacimientos geotérmicos

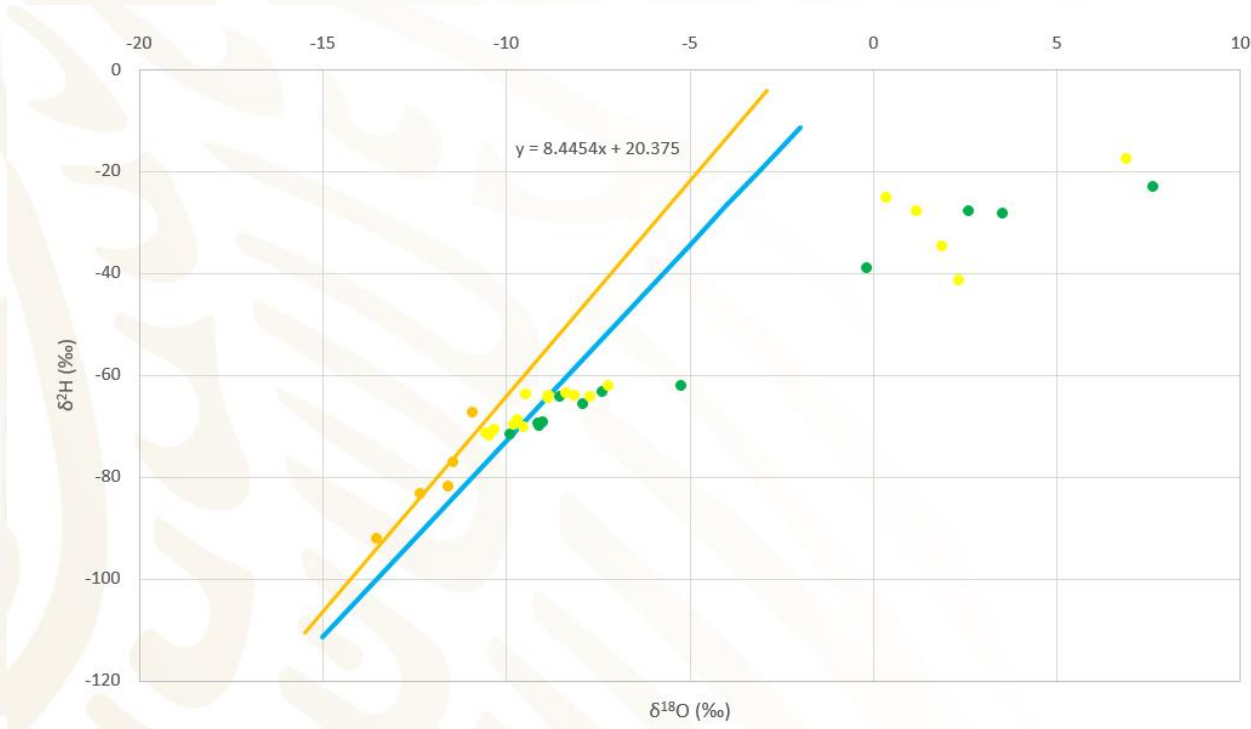


Zona del subsuelo cuyo calor se puede aprovechar en forma económicamente rentable.

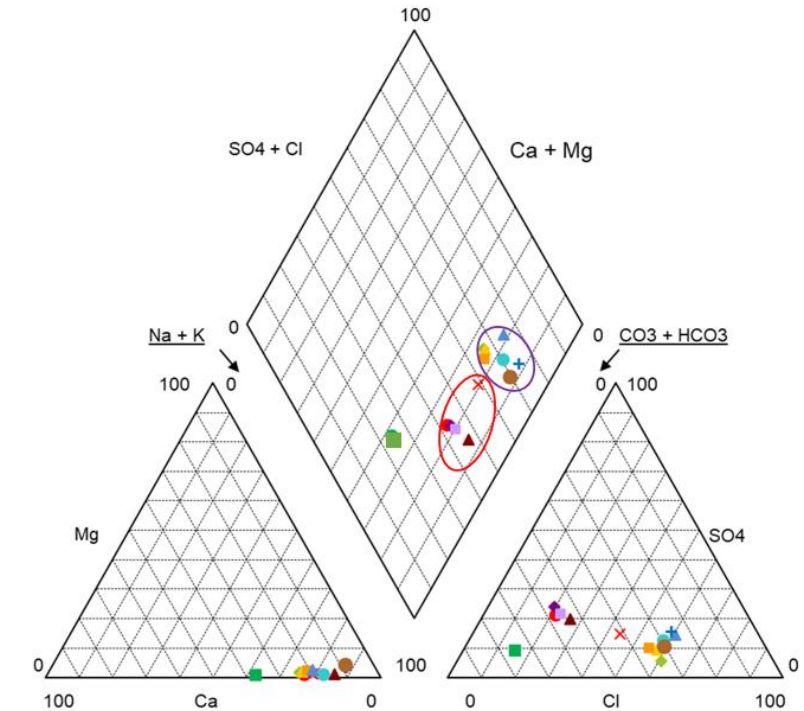
Aspectos geológico-estructurales controlan la presencia de yacimientos geotérmicos



La isotopía e hidrogeoquímica son básicas para la exploración de cuerpos geotérmicos a profundidad.

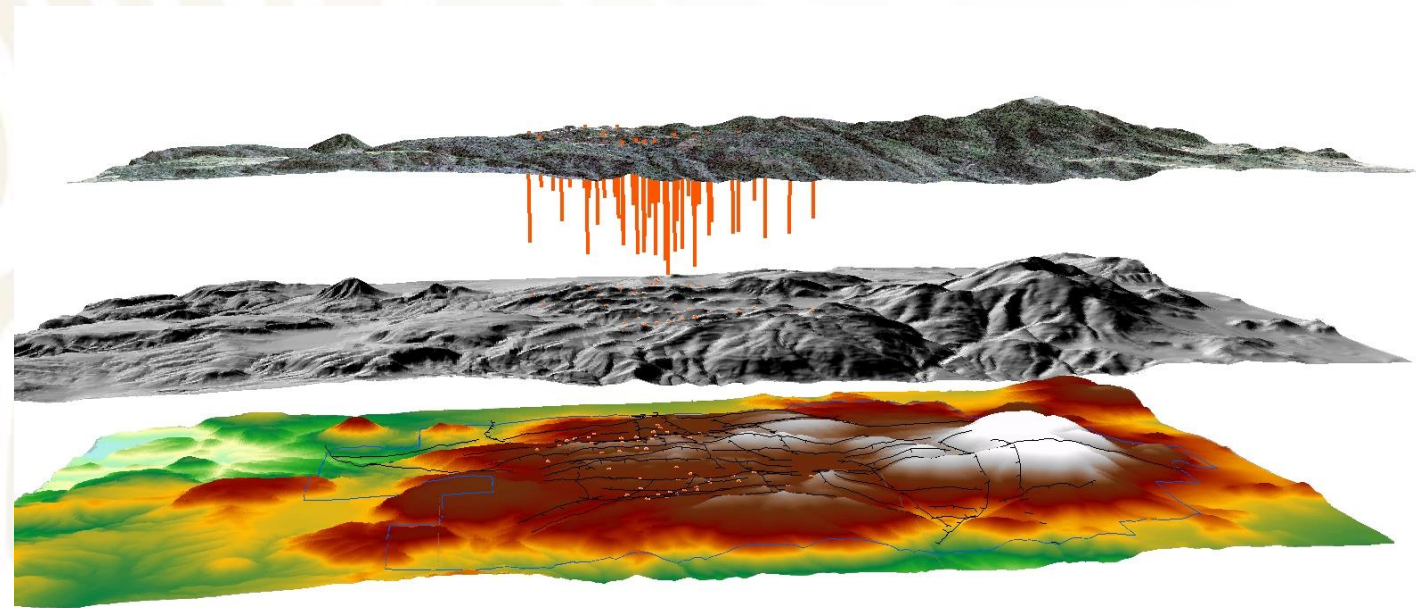


Análisis de isótopos ambientales en el agua (deuterio y ^{18}O)



Definición de familias geoquímicas del agua

Se desarrollan modelos con software especializado, al cual se le integra la variable la presencia de gas radón, lo cual permite la localización de blancos de exploración geotérmica y apoyar en la localización de sitios para la inyección de la salmuera residual del vapor.





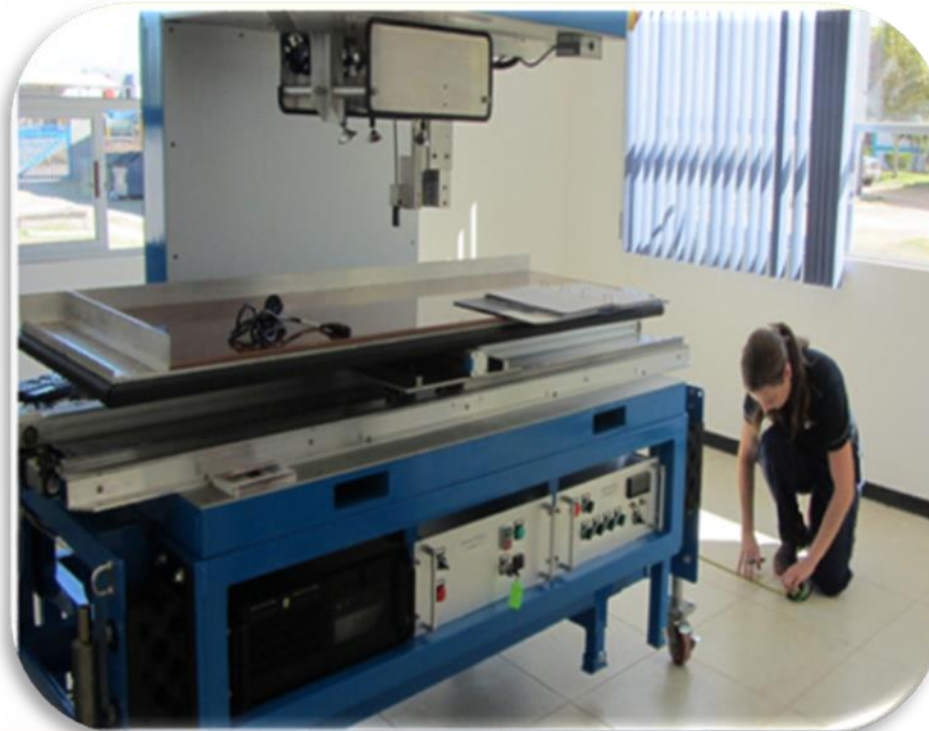
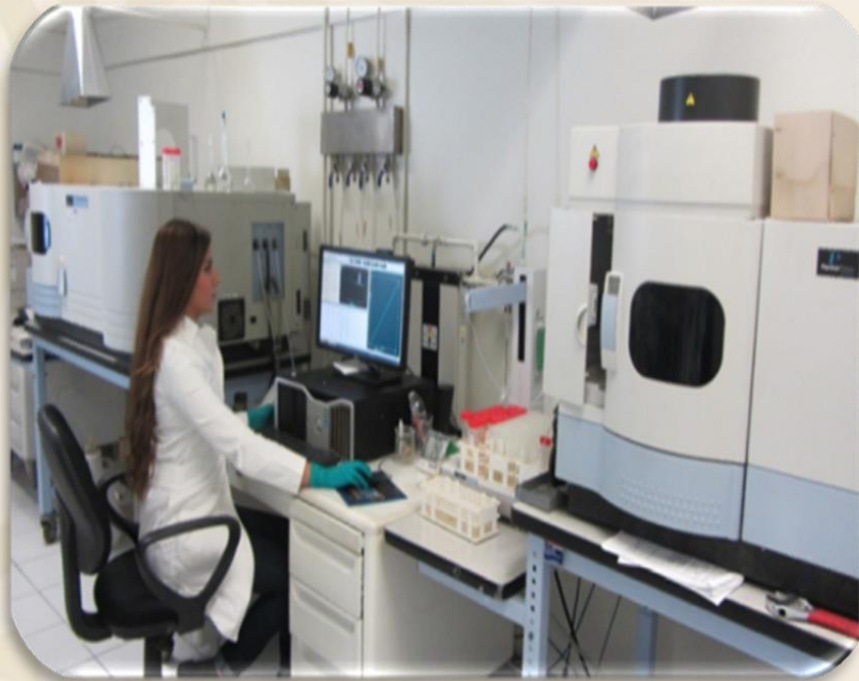
Proyecto geotérmico Los Azufres, estado de Michoacán

Áreas de apoyo a la exploración hidrogeológica

Centros experimentales

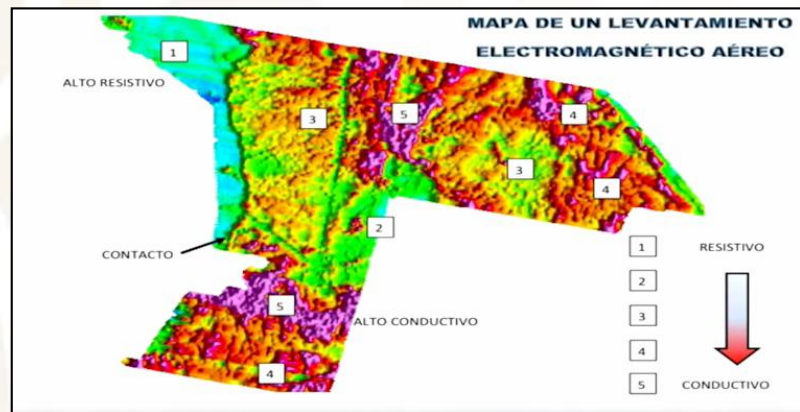
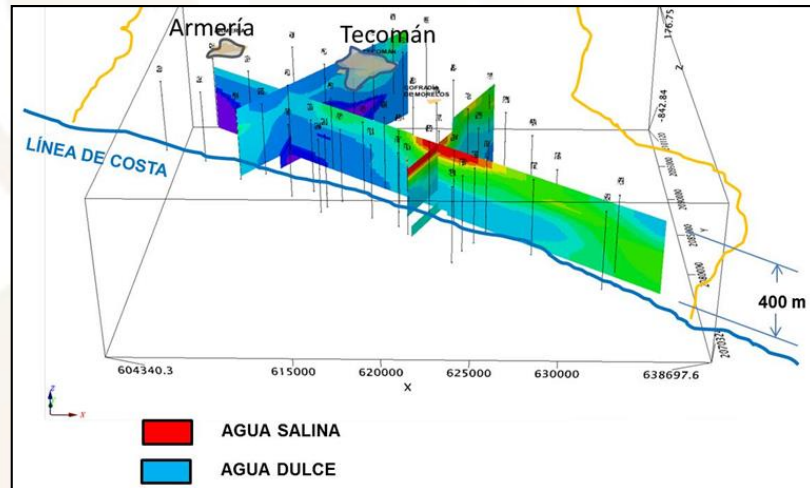
Se cuenta con dos centros experimentales, ubicados en Chihuahua y Oaxaca

- ✓ Caracterización de minerales.
- ✓ Análisis químicos.
- ✓ Pruebas metalúrgicas a nivel laboratorio.
- ✓ Planta piloto en apoyo a la pequeña, mediana y gran minería.



Sondeos electromagnéticos aéreos

Este equipo se utiliza como apoyo en estudios hidrogeológicos, particularmente para definir zonas de interfase de intrusión marina



Imágenes hiperespectrales

Con equipos terrestres se toma la firma espectral de suelos o agua contaminada, al comparar su firma con la del estudio con equipo aéreo es posible caracterizar su distribución espacial.



GEOINFOMEX



El SGM desarrolló la aplicación Geoinfomex, la cual concentra información geológica y de diversos tópicos más, como aeromagnetometría, yacimientos minerales, obras y lotes mineros, resultados de análisis geoquímicos, infraestructura, poblaciones, hidrografía y áreas naturales protegidas. Su acceso es gratuito.

SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO

- Propiedad Minera
- Geología
- Geoquímica
- Geofísica
- Yacimientos Minerales
- Relieve 3D
- Imágenes de Satélite

Puede consultarlo a través de diferentes aplicaciones desarrolladas para PC y dispositivos móviles.

App disponible en Google Play.

Información generada por más de siete décadas de exploración minera en México, además de información derivada de convenios interinstitucionales como propiedad minera y núcleos agrarios.

GEOINFOMEX INFORMACIÓN GEOCIENTÍFICA AL SERVICIO DE MÉXICO

www.sgm.gob.mx

herramientas de consulta

servicio de mapa

contenidos

tabla de atributos

Objectid	Id	Numerohoja	Nombre	Geología	Campo total	Campo total reduccion al polo	Segunda derivada	Primera derivada alta resolution	Primera derivada	Texto guia geofisica
1	37	G13-1	San Juanito	Abrir PDF	Abrir PDF				Abrir PDF	Abrir PDF

¡Descárgala ya!

DISPONIBLE EN **Google Play** **App Store**

2022 Flores
Año de Magón

PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA



Tláloc
Dios del agua

Gracias por su atención



ECONOMÍA
SECRETARÍA DE ECONOMÍA



2022 *Ricardo Flores*
Año de *Magón*
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA