

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE HONDURAS
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE FISICA
DEPARTAMENTO DE FISICA DE LA TIERRA
CARRERA DE GEOLOGIA

MODELO CONCEPTUAL INTEGRADO



UNAH
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE HONDURAS

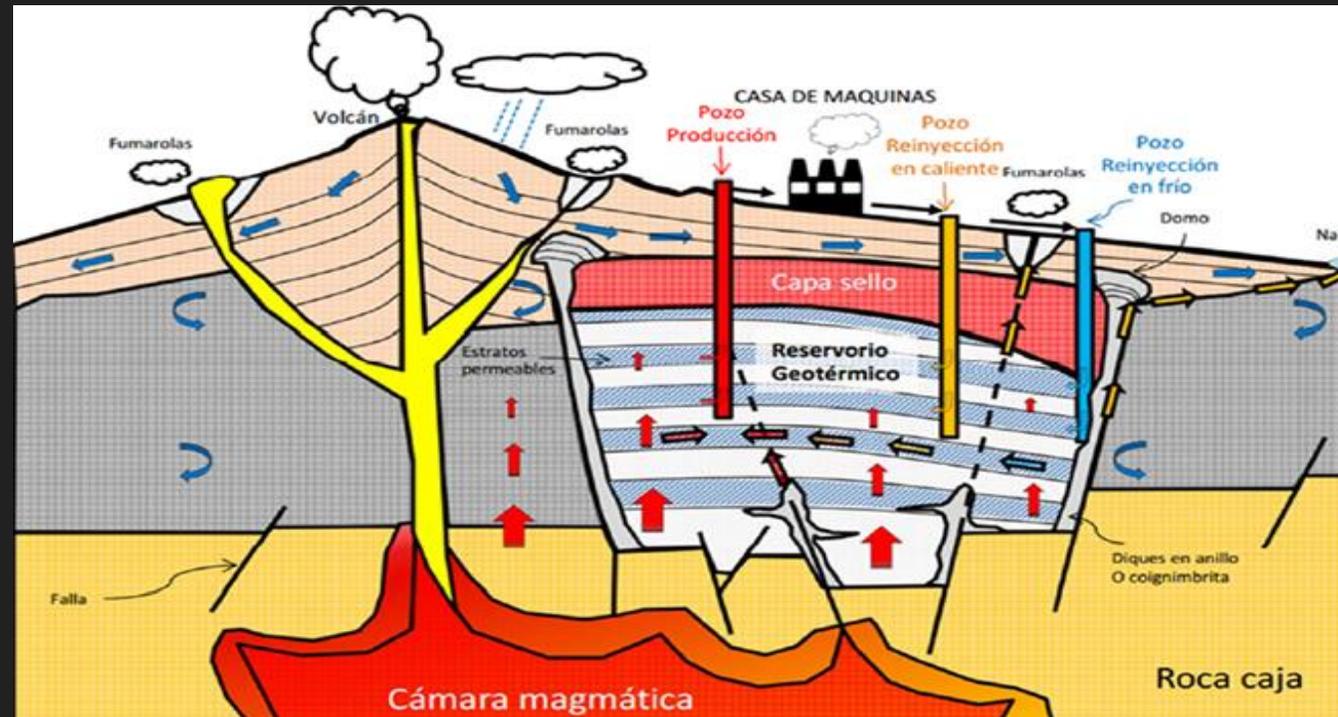


giz
GIZ - German Development Cooperation
GIZ - DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

POR: TANYA ORDONEZ

Modelo geotérmico: Elementos geológicos de un sistema geotérmico

Se denomina sistema geotérmico a un conjunto de elementos naturales que se pueden presentar en una misma área o campo geotérmico y de la cual es posible extraer fluidos geotérmicos con diferentes fines. Los componentes principales de este tipo de sistemas son los siguientes:



Elementos de un sistema geotérmico

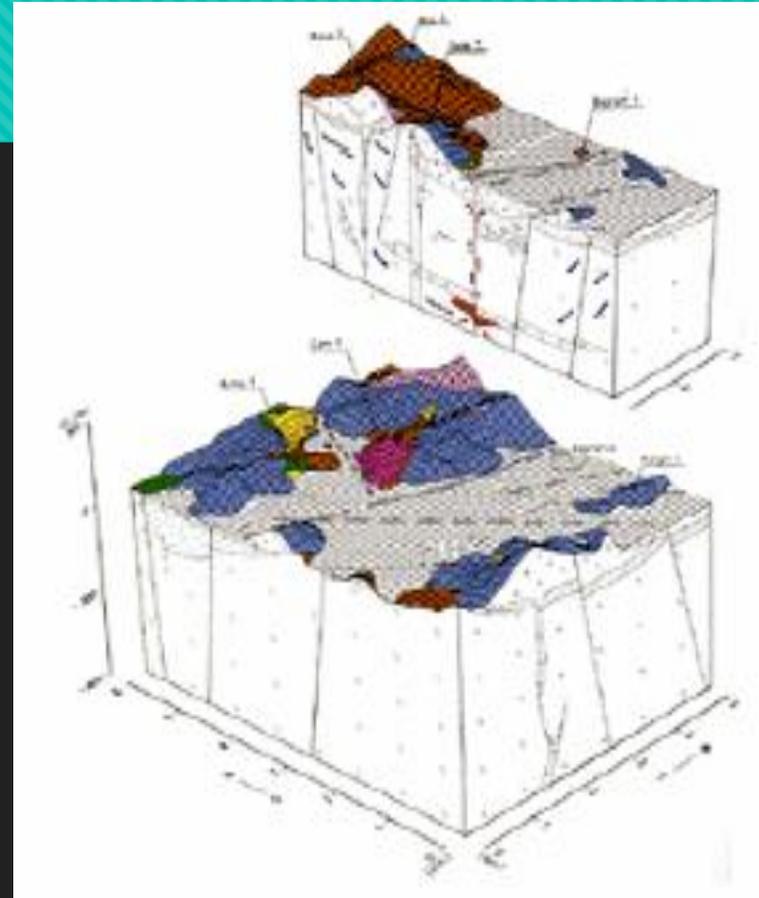
a. **Fuente de calor:** puede ser; una roca caliente que ha incrementado su temperatura por contacto con un cuerpo volcánico intrusivo; una cámara magmática o gases calientes de origen magmático. Generalmente la fuente de calor presenta temperaturas mayores a los 600 °C. Estas fuentes se pueden encontrar a diferentes profundidades, mayores a dos kilómetros.

b. **Reservorio geotérmico:** formación de rocas permeables, donde circula el fluido geotérmico a profundidades económicamente explotables. Conocido también como yacimiento geotérmico.

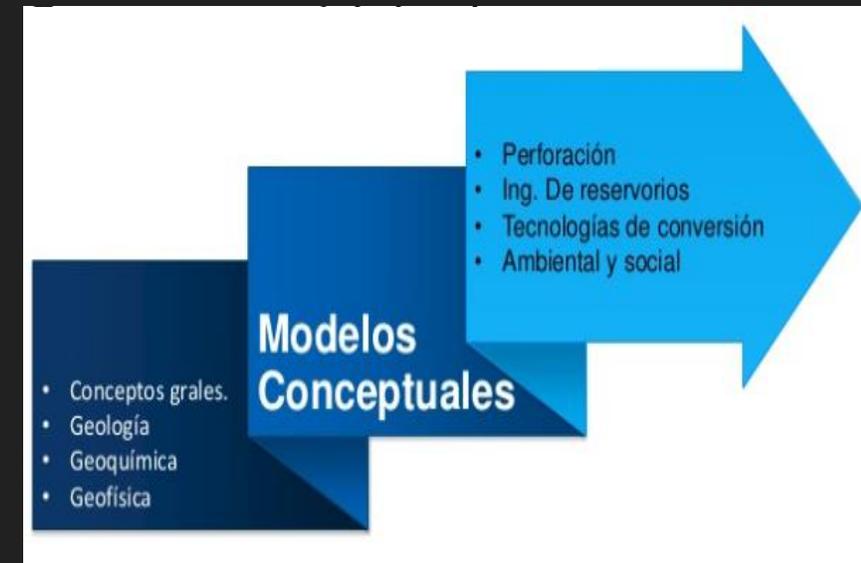
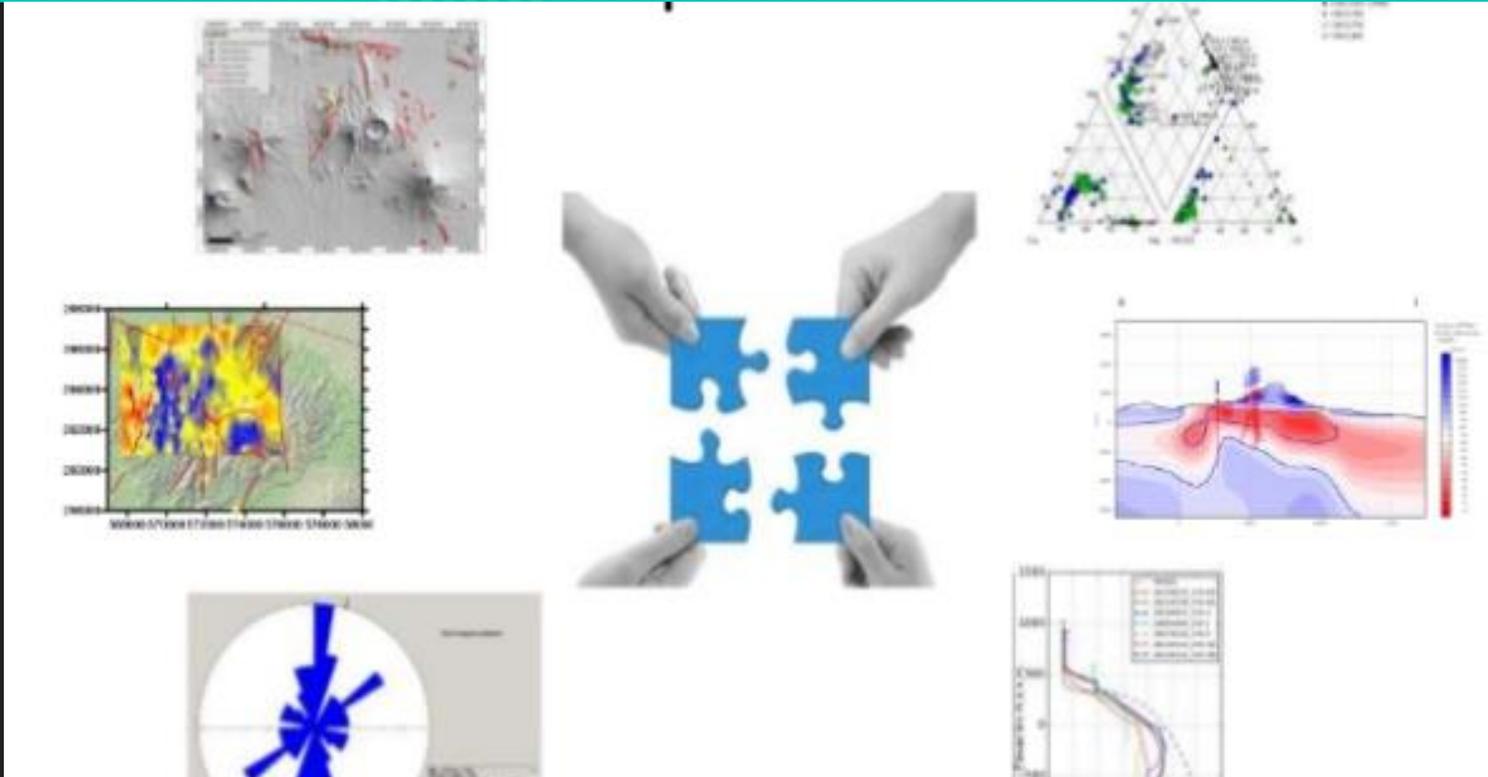
c. **Sistema de suministro de agua:** sistema de fallas o diaclasas en las rocas que permiten la recarga del reservorio geotérmico con el agua que se infiltra en el subsuelo. Este flujo reemplaza los fluidos que salen del reservorio en forma de manantiales termales o aquellos que son extraídos a través de pozos.

d. **Capa sello:** estrato impermeable, generalmente compuesto por arcillas (esmectita o montmorillonita) producto de la alteración de las rocas por alta temperatura, que cubre el reservorio, lo contiene y evita la pérdida de agua y vapor.

e. **Fluido geotérmico:** se denomina así al agua, en su fase líquida, de vapor o en combinación, que se encuentra en el reservorio geotérmico y que puede aflorar a la superficie de manera natural mediante manantiales de aguas termales o pozos geotérmicos. Estos fluidos a menudo contienen sustancias químicas disueltas como cloruros (Cl), dióxido de carbono (CO₂), sulfatos (SO₄) y sales minerales.



MODELO CONCEPTUAL



- UN MODELO CONCEPTUAL ES UN ROMPECABEZAS: INFORMACION GEOLOGICA, GEOFISICA Y GEOQUIMICA
- LA HIPOTESIS MAS PLAUSIBLE PARA EXPLICAR LOS DATOS DISPONIBLES. (ESTA ES DINAMICA EN CONSTANTE EVOLUCION)

MODELO GEOTERMICO CONCEPTUAL

El principal propósito de la exploración de una zona geotérmica es definir su tamaño, forma, estructura y determinar sus características, como son: el tipo de fluido, su temperatura, composición química y su capacidad de producir energía etc

Estas características pueden ser determinadas en dos formas: por exploración superficial y con perforaciones exploratorias.

la exploración superficial se puede dividir en geológica, geoquímica y geofísica.

Caracterizar el reservorio en la zona de interés.

Recursos: Datos Geológicos, Geofísicos y Geoquímicos.

Procesar datos geofísicos utilizando los métodos de gravimetría, MT y TDEM para desarrollar modelos en 1D y 2D de la distribución de resistividad y anomalías de gravedad en el subsuelo.

Análisis de datos geoquímicos proporcionados mediante el uso del software Aquachem 4.0 para clasificación de las aguas, ubicación de posibles zonas de recarga y estimar el rango de temperatura del reservorio haciendo uso de los geotermómetros.

Correlacionar los datos obtenidos con análisis de geofísica y geoquímica, con la información geológica disponible del área de estudio.

COMO SE CONSTRUYE UN MODELO CONCEPTUAL

Integrar en una matriz de componentes por disciplina

Componente	Geología	Geoquímica	Geofísica	Otros
Fuente de calor				
Zona de ascenso				
Patrón de circulación				
Fronteras				
Capa sello				
Reservorio				
Química fluido				
Recarga				
Permeabilidad				

	Geología	Geoquímica	Geofísica
Que es la fuente de calor?	Cámara magmática somera de complejo volcánico activo. Bajo complejo volcánico,		
Donde está la Zona de ascenso		Bajo complejo volcánico, basado en patrón de geotemperaturas y composición de gases fumarolas.	Bajo el complejo volcánico, basado en ubicación de cúpula conductiva-resistiva alzada
Patrón de circulación	Controlado por sistemas estructurales principales NE-SO y NNO-SSE	Descargando hacia el norte, basado en patrón de CO ₂ /H ₂ S y geotemperaturas. Presencia de manantial clorurado al N	Descargando al N, por forma elongada en esa dirección de capa conductiva

COMPONENTES DE LA MATRIZ

	Geología	Geoquímica	Geofísica
Que controla la Permeabilidad?	Controlada por sistemas estructurales principales NE-SO y NNO-SSE		
Que constituye la Capa sello?	Capa arcilla de facies A-F y F, ~1300 m espesor. Base a -200 msnm al sur y -1000 msnm al norte		Capa conductiva < 10 ohm-m, con forma de cúpula
Cuales son las Fronteras del reservorio?	Confinado dentro de bordes caldéricos	Delimitado por presencia de manifestaciones superficiales ácidas	Contorno de 4 ohm-m @ -200 msnm

	Geología	Geoquímica	Geofísica
Reservorio	>= 260 °C por minerales de alteración presentes. Alojado en formaciones volc. Con alteración F-P y P	300 °C max., basado en geotermómetros	>= 200 °C, por patrón típico de temperaturas a través de capa sello. Característica resistiva
Química del fluido	pH aprox. Neutro, por tipo de alteración hidrotermal reservorio	5000 a 6000 ppm Cl, pH ~ neutro, por muestras profundas	
De donde proviene la Recarga?		En parte alta del complejo volcánico, por isótopos	

BASES Y UTILIDAD DEL MODELO

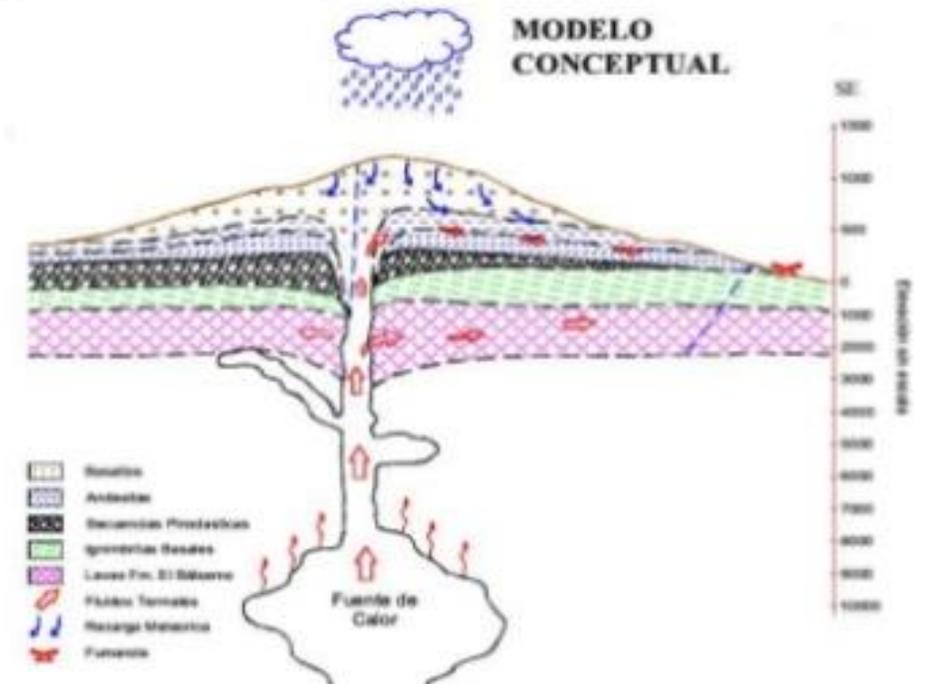
SE UTILIZA PARA ESCOGER SITIOS DE PERFORACION.

SE UTILIZA PARA ESTIMAR EL TAMANO DEL RECURSO.

Debe presentar lo que creemos que comprendemos pero también lo que nos falta por comprender

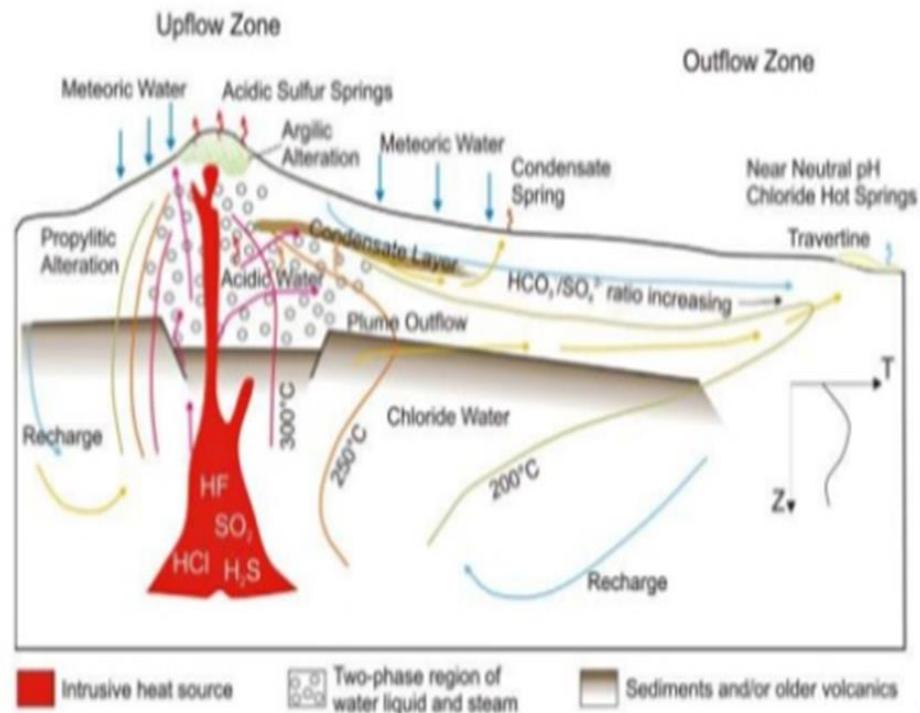
Debe plantear preguntas

- ¿Qué controla la permeabilidad?
- ¿Hacia donde descarga el sistema?
- ¿A que profundidad se encuentra?
- ¿Cuál geotermómetro es más exacto?



ELEMENTOS ESCENCIALES

Convectivo, magmático, volcánico

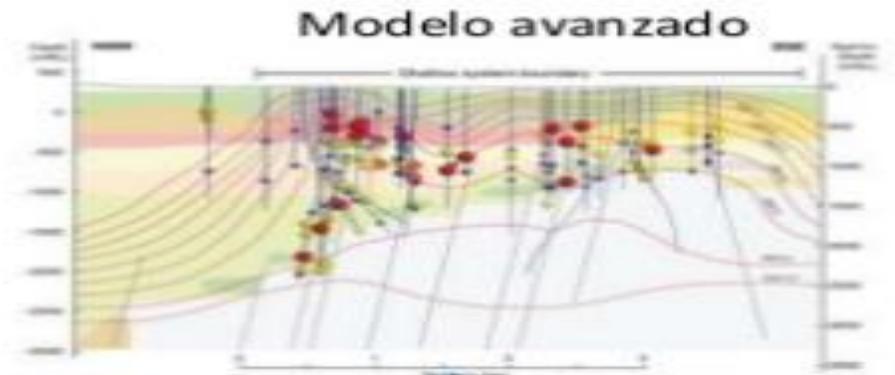
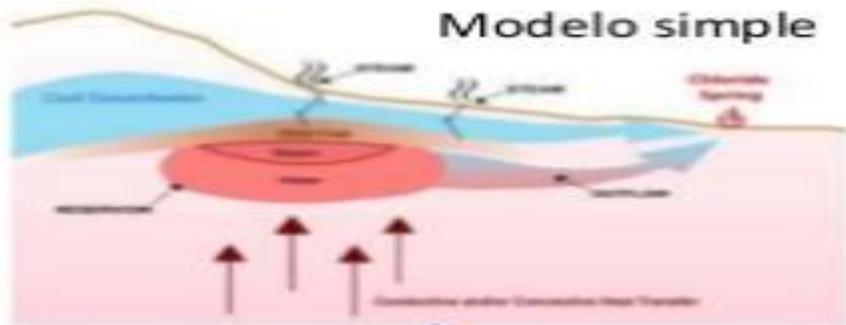


Moeck, 2014

1. Naturaleza y ubicación de la fuente de calor
2. Idea del tamaño (área, profundidad, fronteras)
3. Ubicación de la zona de ascenso
4. Capa sello
5. Naturaleza y ubicación de la recarga de fluido
6. Condiciones termodinámicas (T, P, fase...)
7. Naturaleza de la permeabilidad
8. Características químicas del fluido (pH, %GNC, salinidad, potencial de incrustación/corrosión)
9. Patrón de circulación: ascenso y descarga (natural y en producción)

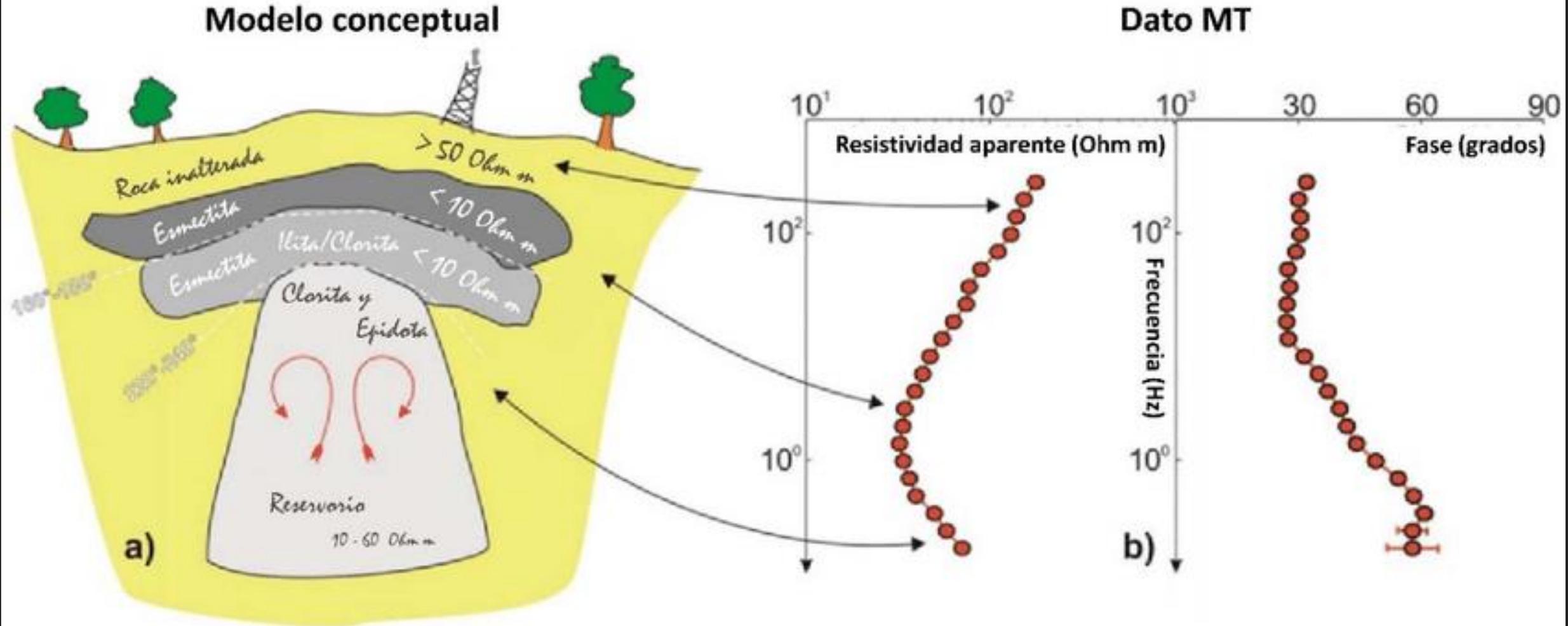
DETALLE DEL MODELO CONCEPTUAL

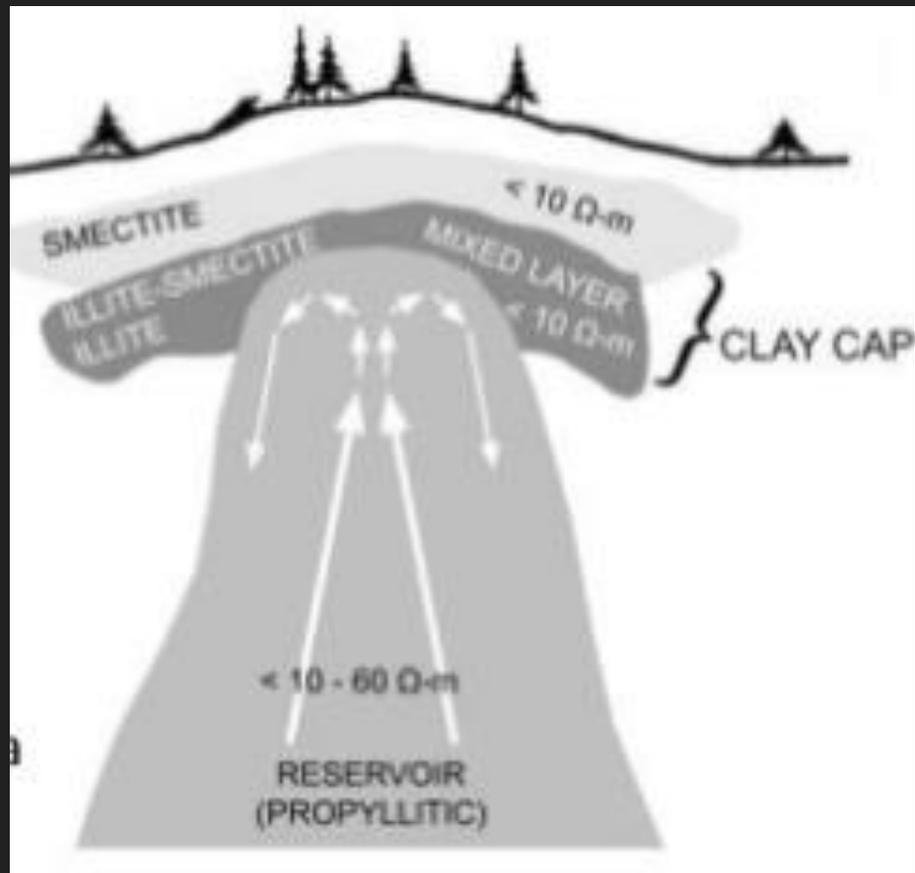
Detalle del modelo conceptual asociado al nivel de riesgo de proyecto



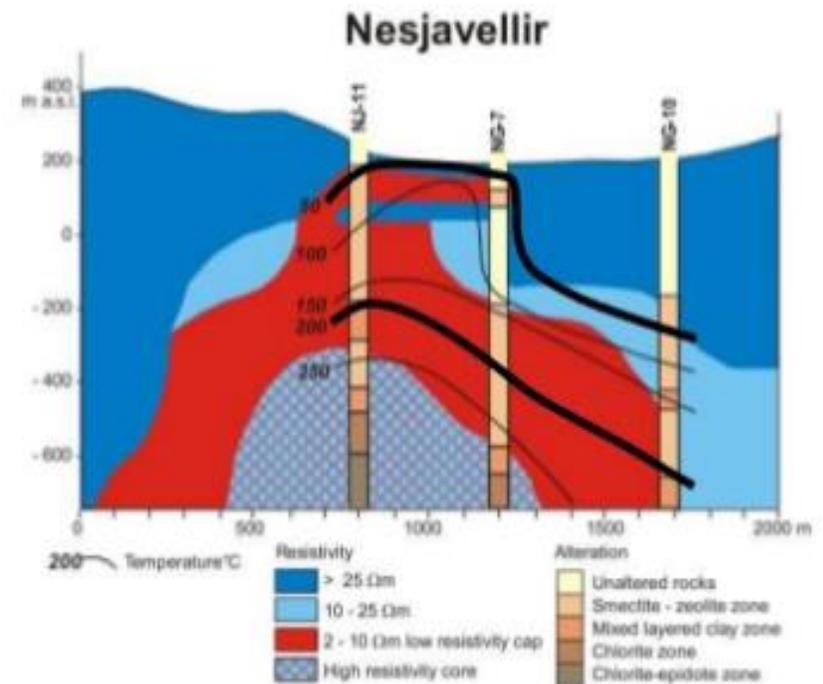
- MODELO SIMPLE
- MODELO AVANZADO

Modelo Conceptual Basico



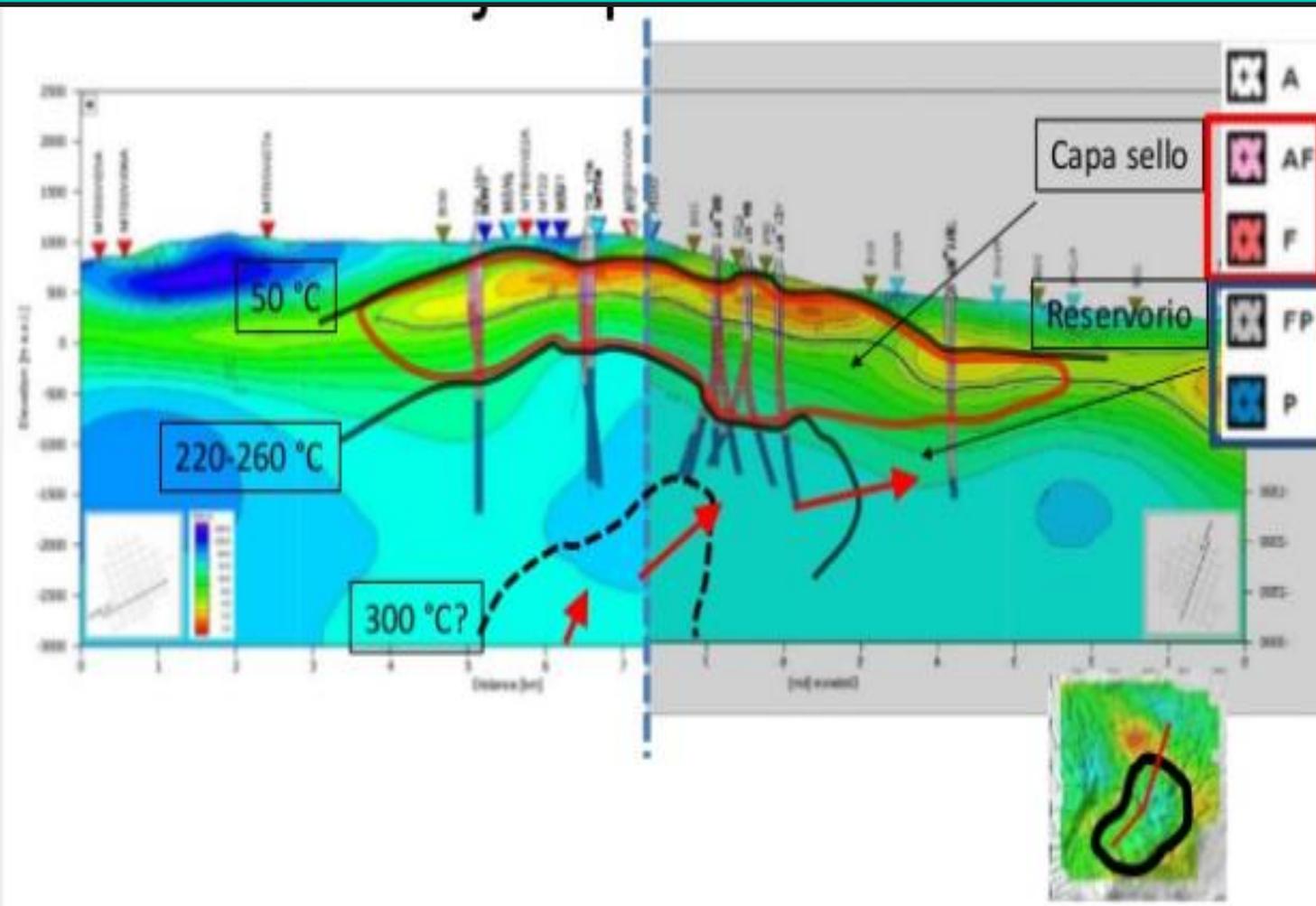


Frecuente patr3n de temperaturas a trav3s de la capa sello



Características Generales

- Los minerales de alteración hidrotermal tienen fuerte control por temperatura
- La huella mineralógica permanece aunque cambie la temperatura
- Sistemas geotérmicos volcánicos presentan con frecuencia una estructura de minerales de alteración típica
- Frecuente patrón de temperaturas a través de la capa sello



Realizar un modelo geotérmico conceptual con la finalidad de caracterizar el reservorio en la zona de interés.

- **Análisis de datos geoquímicos proporcionados mediante el uso del software Aquachem 4.0 para clasificación de las aguas, ubicación de posibles zonas de recarga y estimar el rango de temperatura del reservorio haciendo uso de los geotermómetros.**
- **Procesar datos geofísicos utilizando los métodos de gravimetría, MT y TDEM para desarrollar modelos en 1D y 2D de la distribución de resistividad y anomalías de gravedad en el subsuelo.**
- **Correlacionar la información obtenida con análisis de geofísica y geoquímica, con la información geológica disponible del área de estudio.**

Metodología

Geoquímica

- Análisis y clasificación de Aguas.
- Geotermometría para aguas.
- Análisis de Isotopos

Geofísica

- Análisis de Gravimetría.
- Análisis de Modelos 1D y 2D (MT, TDEM).
- Correlación Gravimétrica con MT-TDEM.

Geología

- Descripción Litoestratigráfica local.
- Formaciones Geológicas.
 - Descripción de la Geología Estructural.
 - Geología de Pozos

MODELO CONCEPTUAL INTEGRADO

- Reservorio.
- Capa Sello.
- Fuente de Calor.
- Zona de Recarga.
- Zona de Descarga.

Análisis de Datos

Geoquímica

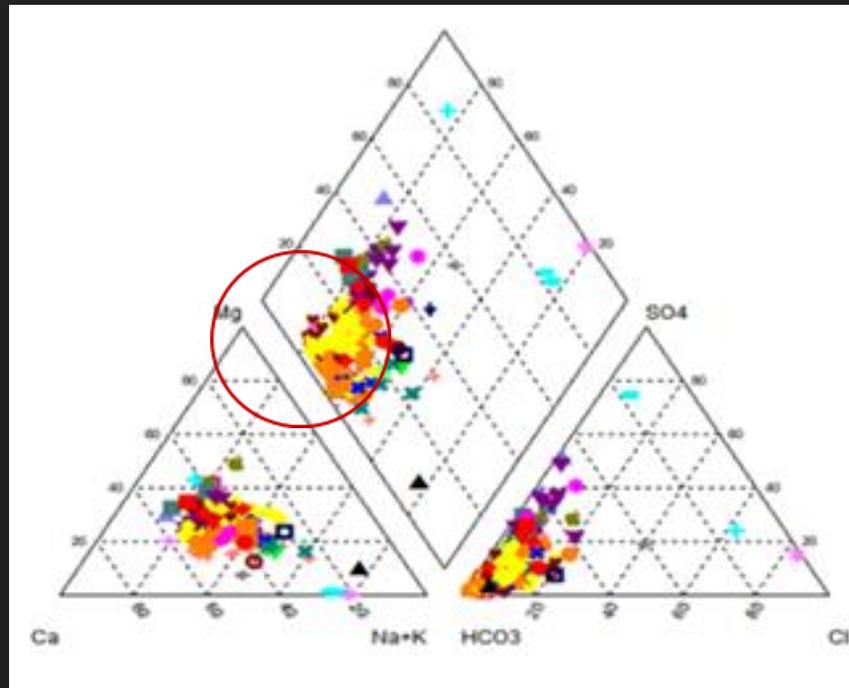
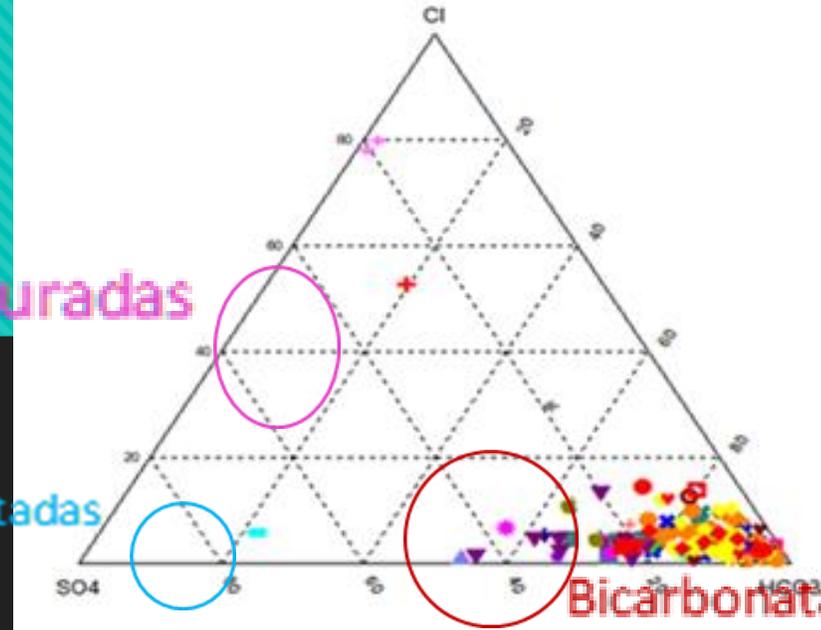
○ Clasificación de Aguas

Diagramas Triangulares

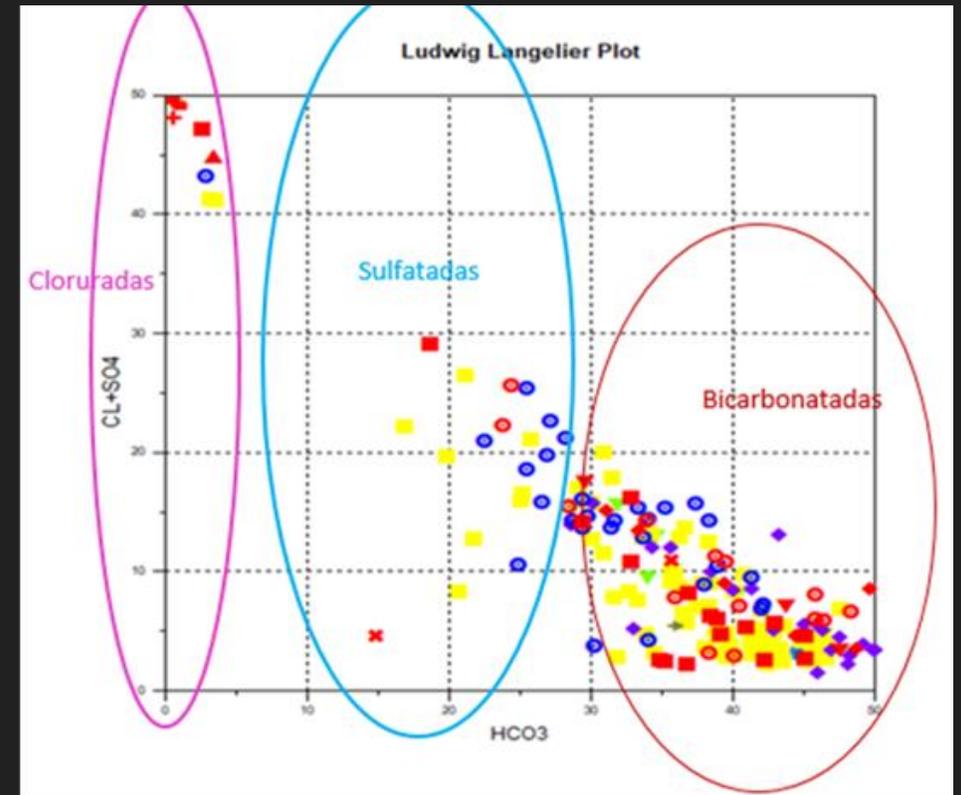
Cloruradas

Sulfatadas

Bicarbonatadas

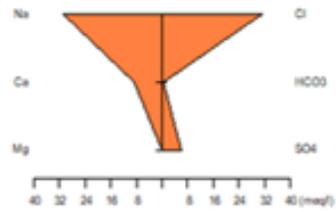


AL TENER ALTO CONTENIDO DE SODIO Y CLORO PUEDEN USARSE CON CONFIANZA EN LA GEOTERMOMETRÍA, EN ESTE CASO ESTE CONTENIDO ES BAJO Y LO QUE SE VE REFLEJADO EN ESTE PERFIL ES EL ALTO CONTENIDO DE AGUAS BICARBONATADAS QUE SON TÍPICAS AGUAS SUPERFICIALES, AUNQUE SE TIENE UN CONSIDERABLE NÚMERO DE MUESTRAS QUE PRESENTAN AGUAS SULFATADAS QUE SON AGUAS CALENTADAS POR VAPOR

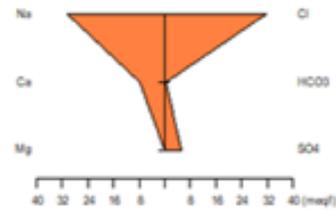


Diagramas de Stiff

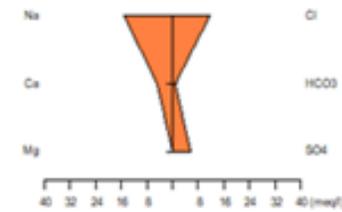
H-01, 16/5/2002



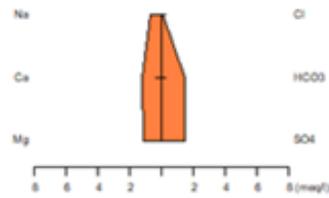
H-02, 16/5/2002



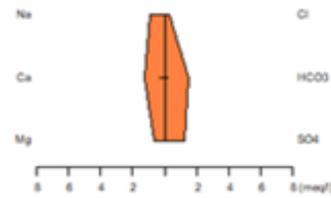
F-619, 14/5/2002



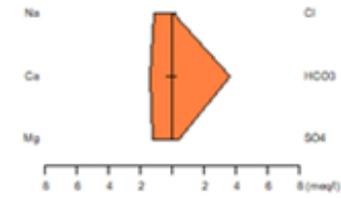
P-543, 9/8/2002



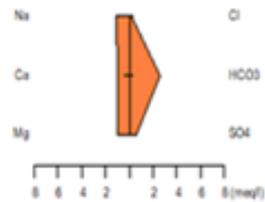
P-550, 28/8/2002



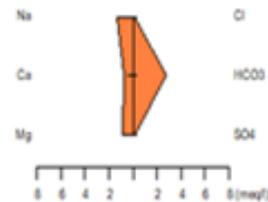
P-551, 28/8/2002



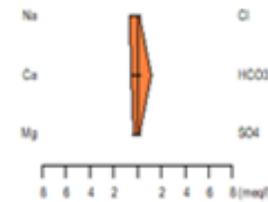
P-539, 11/7/2002



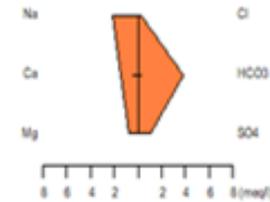
F-707, 10/7/2002



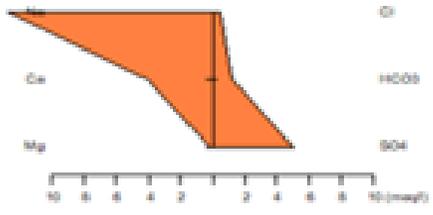
F-716, 8/8/2002



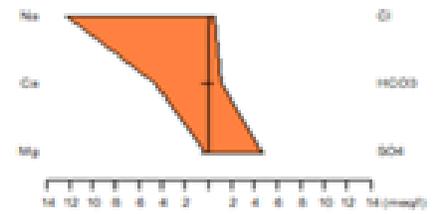
F-711, 11/7/2002



F-616, 14/5/2002

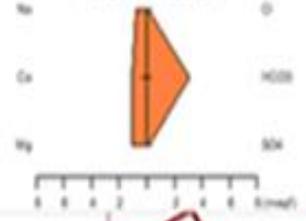


F-618, 14/5/2002

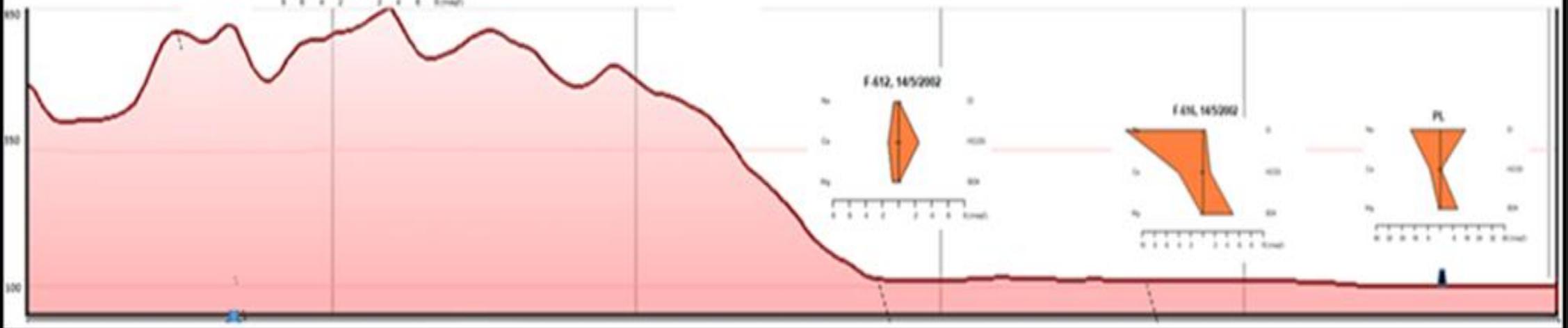


O

F-709, 11/7/2002



E



Geotermometría

Geotermómetros de Líquidos

<i>FOURNIER</i>	<i>FOURNIER 2</i>	<i>URNIER & POTT</i>	<i>ARNONSON</i>	<i>FOURNIER 3</i>	<i>ARNONSON 2</i>	<i>FOURNIER 4</i>	<i>FOURNIER 5</i>	<i>FOURNIER 6</i>	<i>PROMEDIOS</i>
131.7181567	127.9210857	131.9334266	128.6534679	104.7186107	103.5327778	81.2682381	33.1014089	12.3694008	855.216573

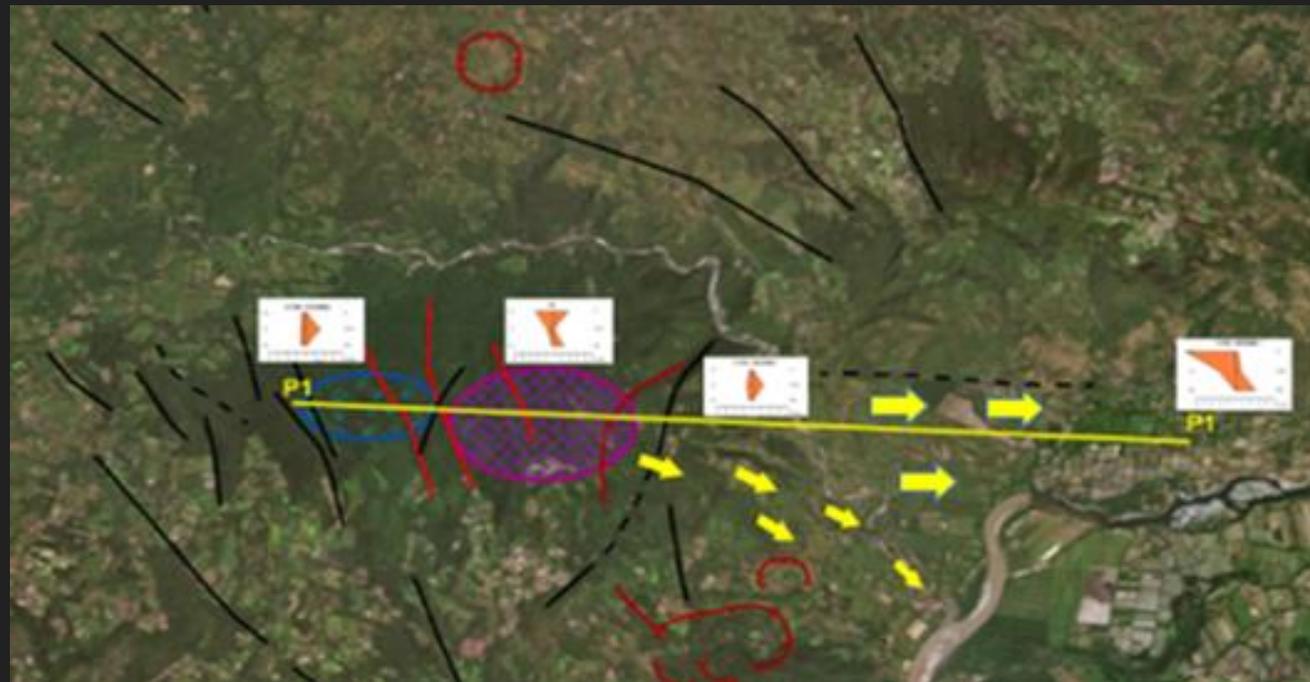
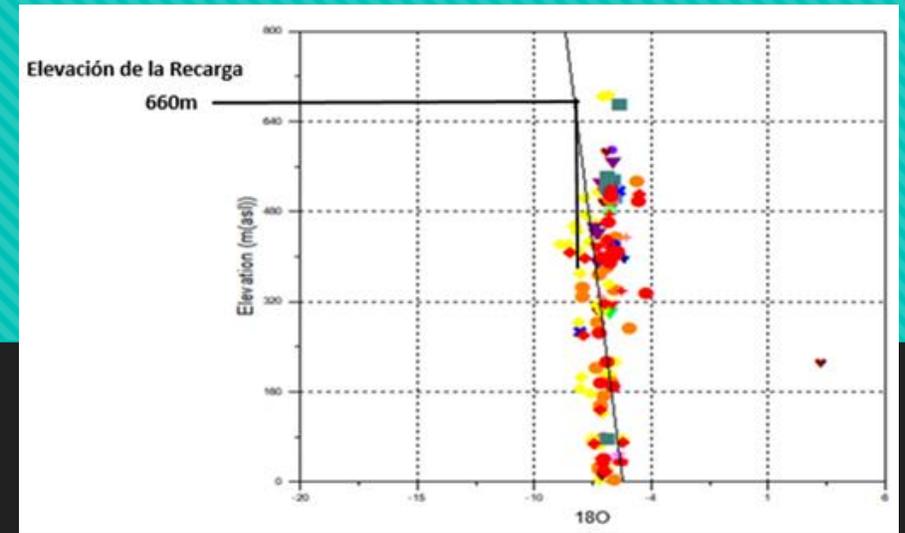
Para este análisis se tomó como referencia el pH y el elemento Cloro (Cl), considerando que:

- El pH en estado neutro (6 - 8) permite delimitar que el agua se encuentra en estado de equilibrio con los elementos contenidos en el reservorio.
- El Cloro (Cl), ya que este indica que es un trazador natural, utilizado para relacionar la existencia de un sistema termal, ya que este elemento es conservativo y puede indicar equilibrios en las condiciones de interacción agua roca.

<u>Prom</u>	<u>95.02406372</u>
<u>Desviacion</u>	<u>44.64263949</u>
<u>Tmax</u>	<u>139.6667032</u>
<u>Tmin</u>	<u>50.38142423</u>

Análisis de Isotopos

Es posible identificar la altura a la que se encuentra la recarga del sistema geotérmico. a partir de la cantidad de isótopo oxígeno-18.



Elementos de Interés

- Recarga
- Upflow
- Patron de circulación

Modelo Integrado del Área Geotérmica de Baja Entalpia

Presentado por:
Andrea Melgar
Tanya Ordoñez
Jonathan Arévalo

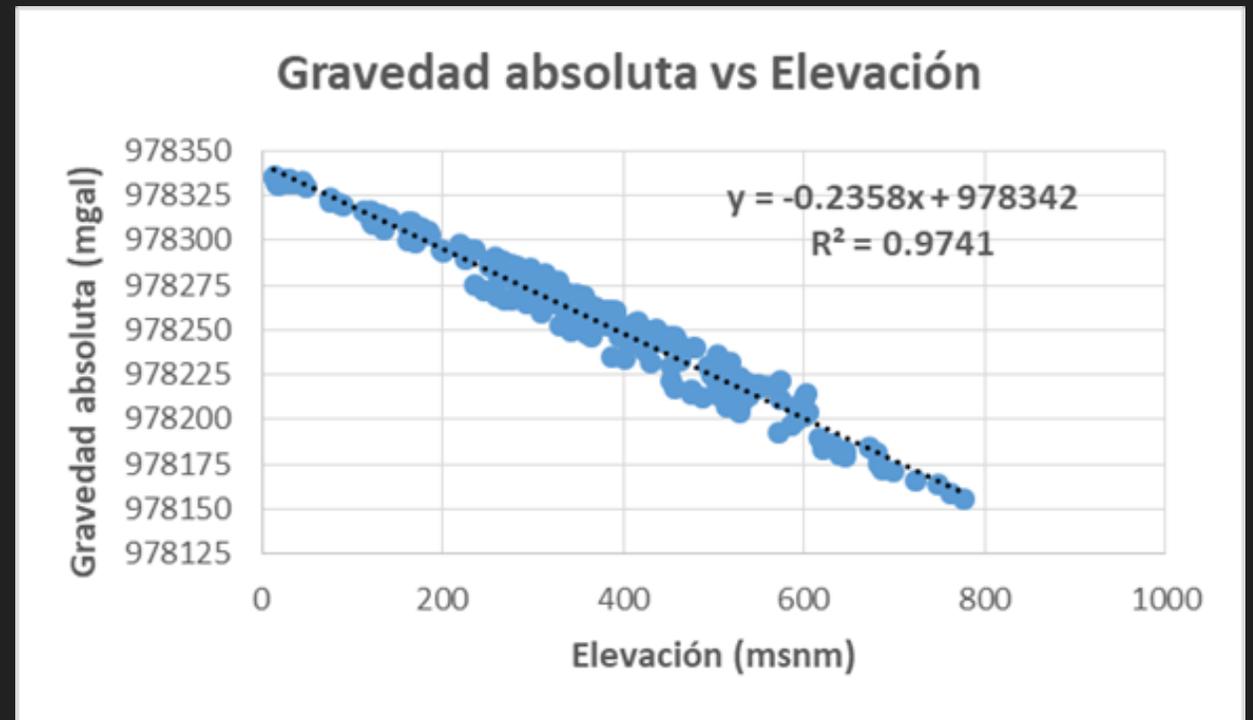
Análisis de Datos

Geofísica

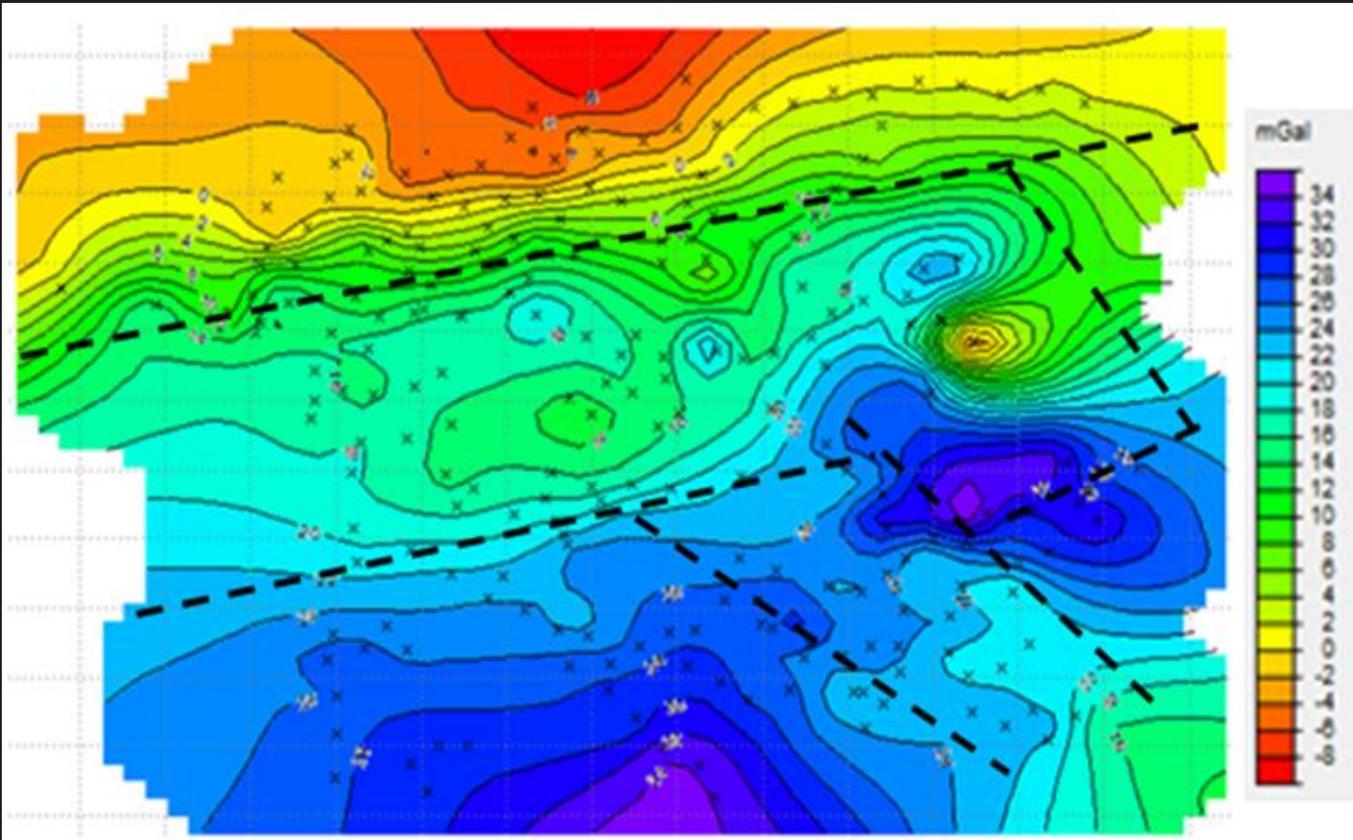
○ Gravimetría

Control de calidad:

En esta gráfica se verifica una correlación lineal inversa, no observándose puntos que se salgan de la tendencia.



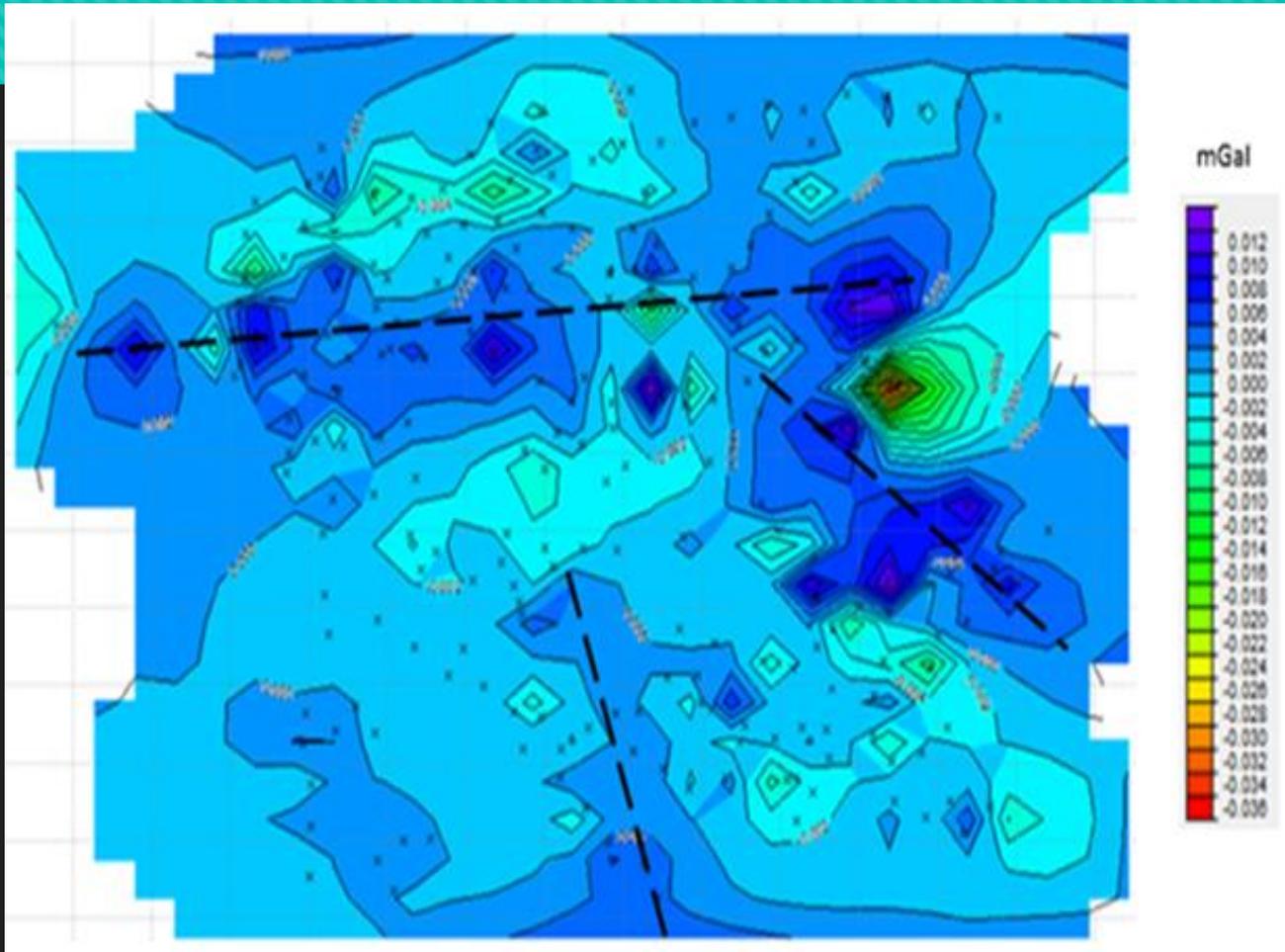
Mapa de Anomalía completa de Bouguer



El mapa de anomalía de Bouguer completa permite inferir sistema de fallas predominantes en el área de estudio, en dirección

E-O NO-SE, las cuales pueden constituir límites estructurales o conformar el patrón de circulación de los fluidos geotérmicos del referido sistema.

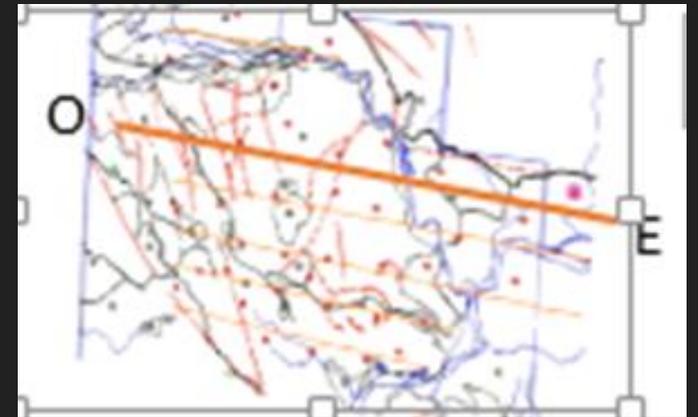
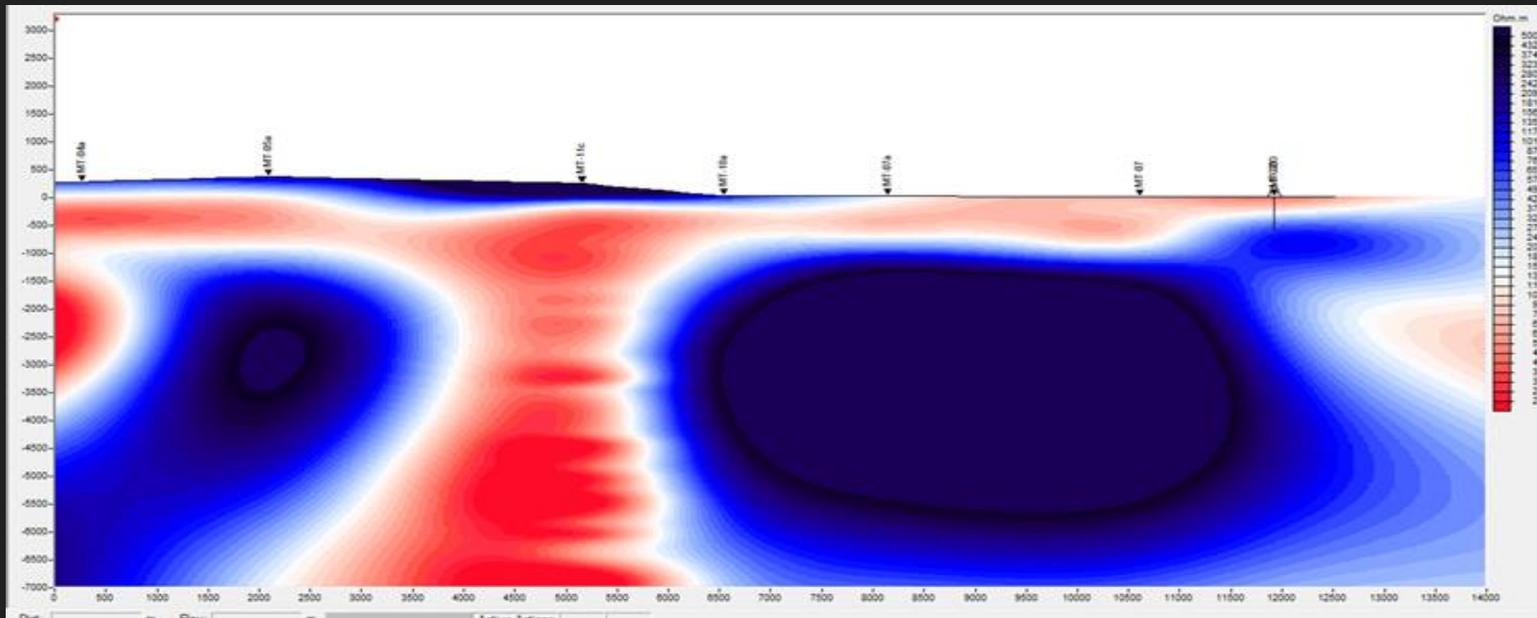
Mapa de anomalía residual



se pueden observar ciertos contrastes entre anomalías gravimétricas positivas y negativas. Un tren de alto gravimétrico aparece en dirección O-E alineándose con las principales estructuras geológicas según el mapa estructural de la zona. Por otro lado, en el lado oeste del mapa se observa una tendencia de anomalía gravimétrica positiva en dirección NO-SE y una muy cercana a la dirección N-S, coincidiendo con la dirección de fallas.

Métodos MT y TDEM

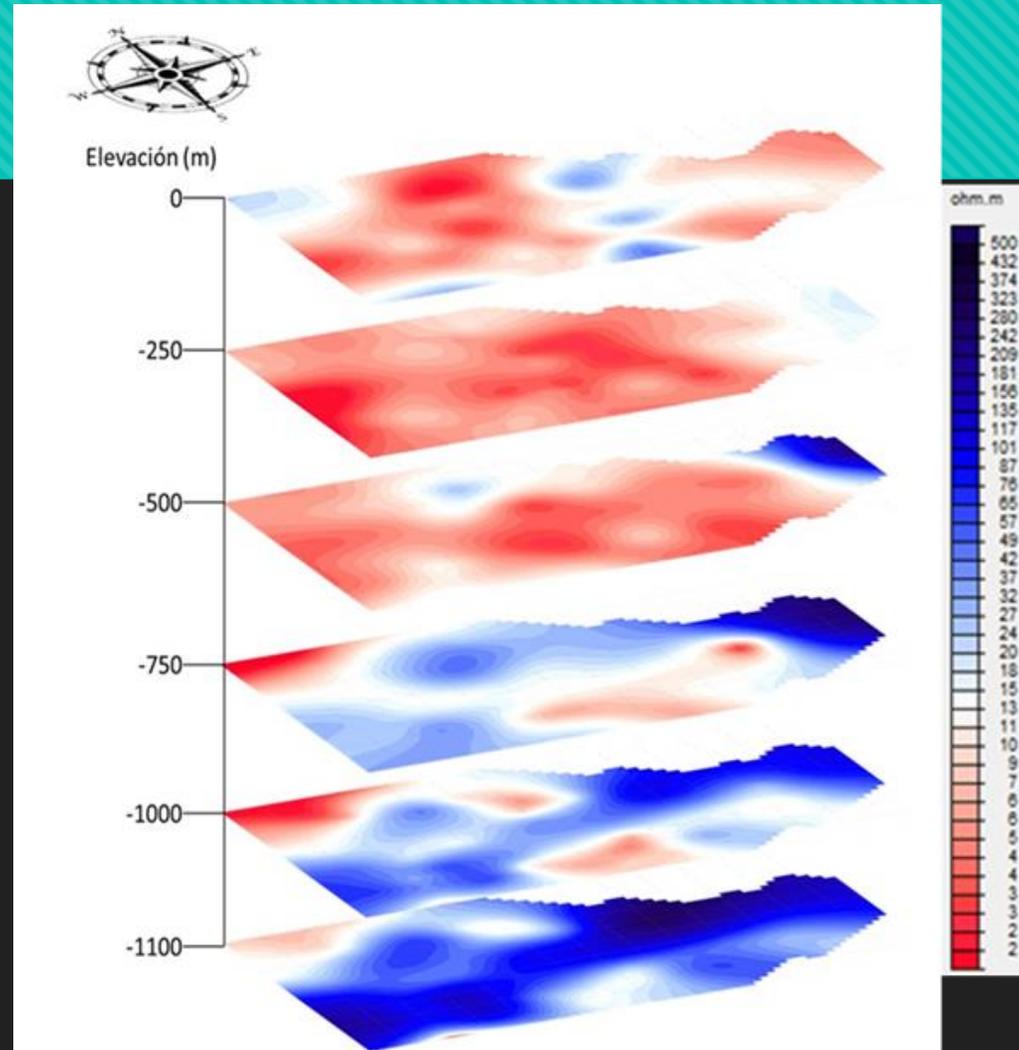
Modelamiento unidimensional en donde fueron asignados espesores y resistividades a capas discretas, tomando como referencia un modelado multicapas (modelo Occam) diseñado por el software.



En la parte central del perfil O-E se observa una anomalía conductiva vertical profunda, la cual sugiere la posible presencia de una zona de ascenso.

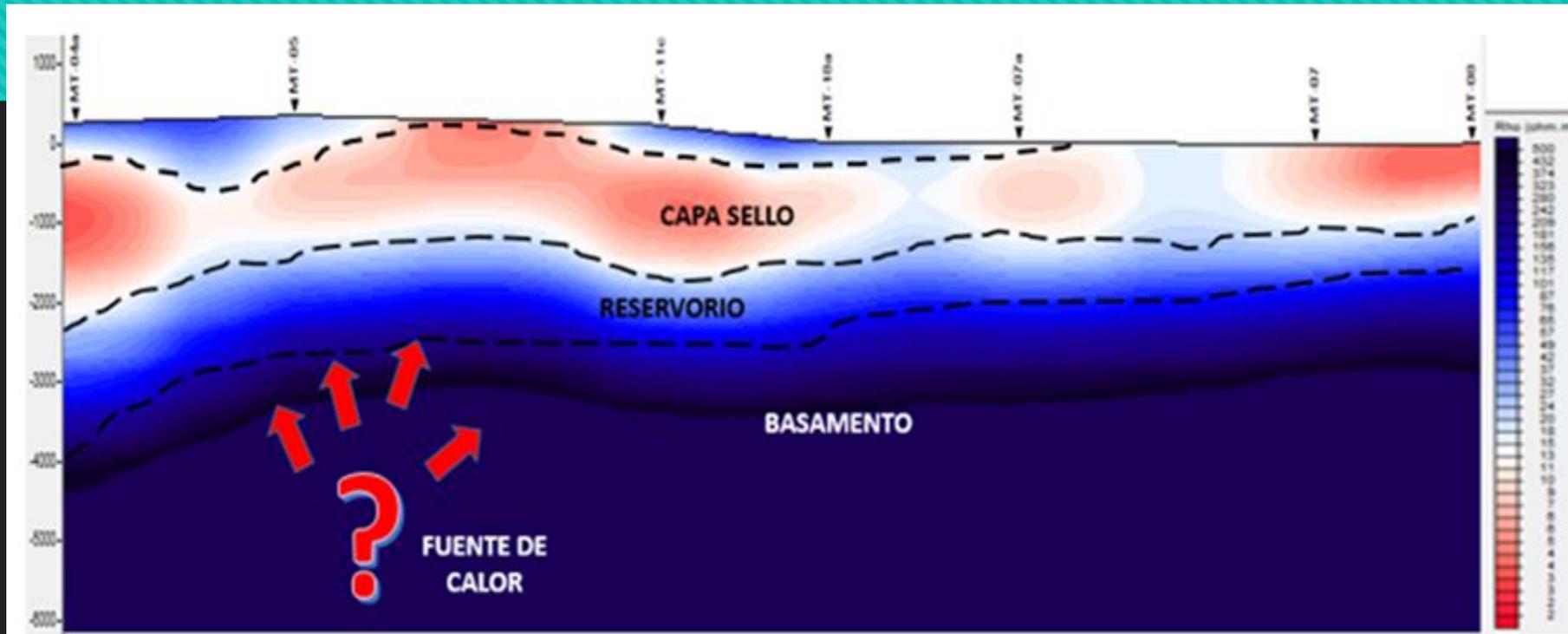
Mapas de resistividad en Planta

A -250 y -500 msnm: un área conductiva, asociada con la capa sello de un posible reservorio geotérmico.



Presentación de los Resultados.

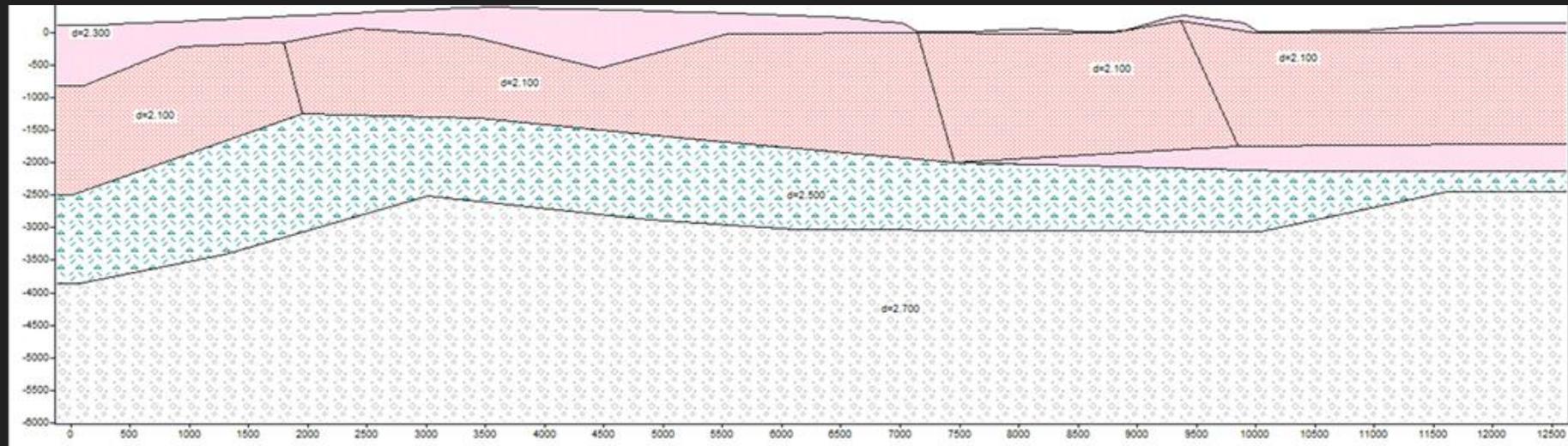
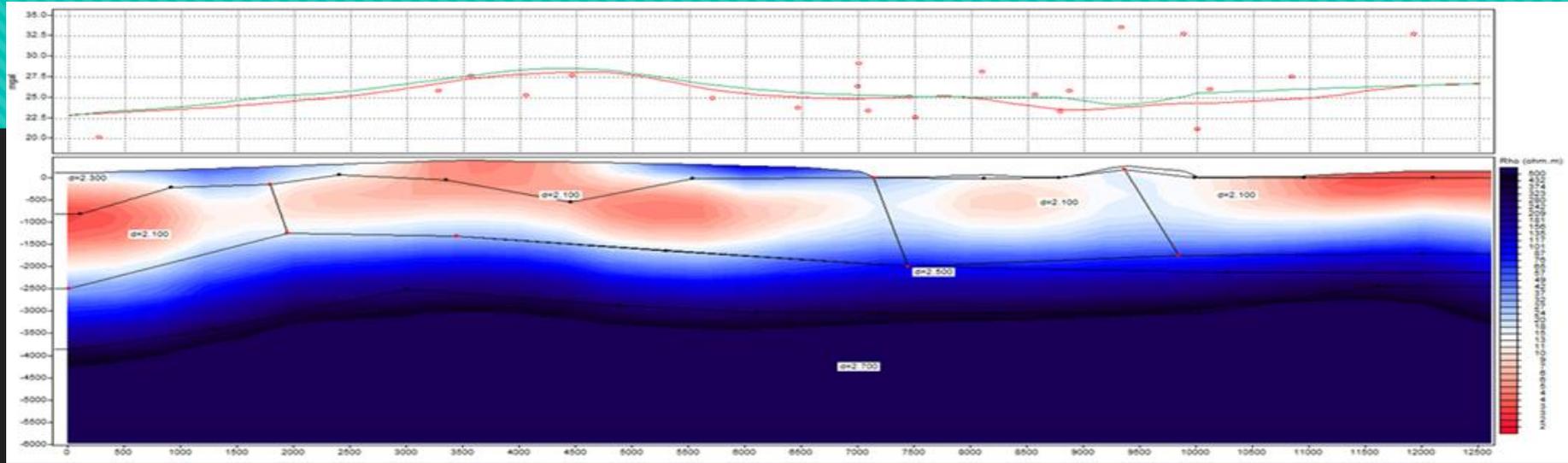
MODELADO 2D DE DATOS MT Y TDEM.



Se identificaron 3 capas principales debido a sus características resistivas, se describen de la siguiente manera:

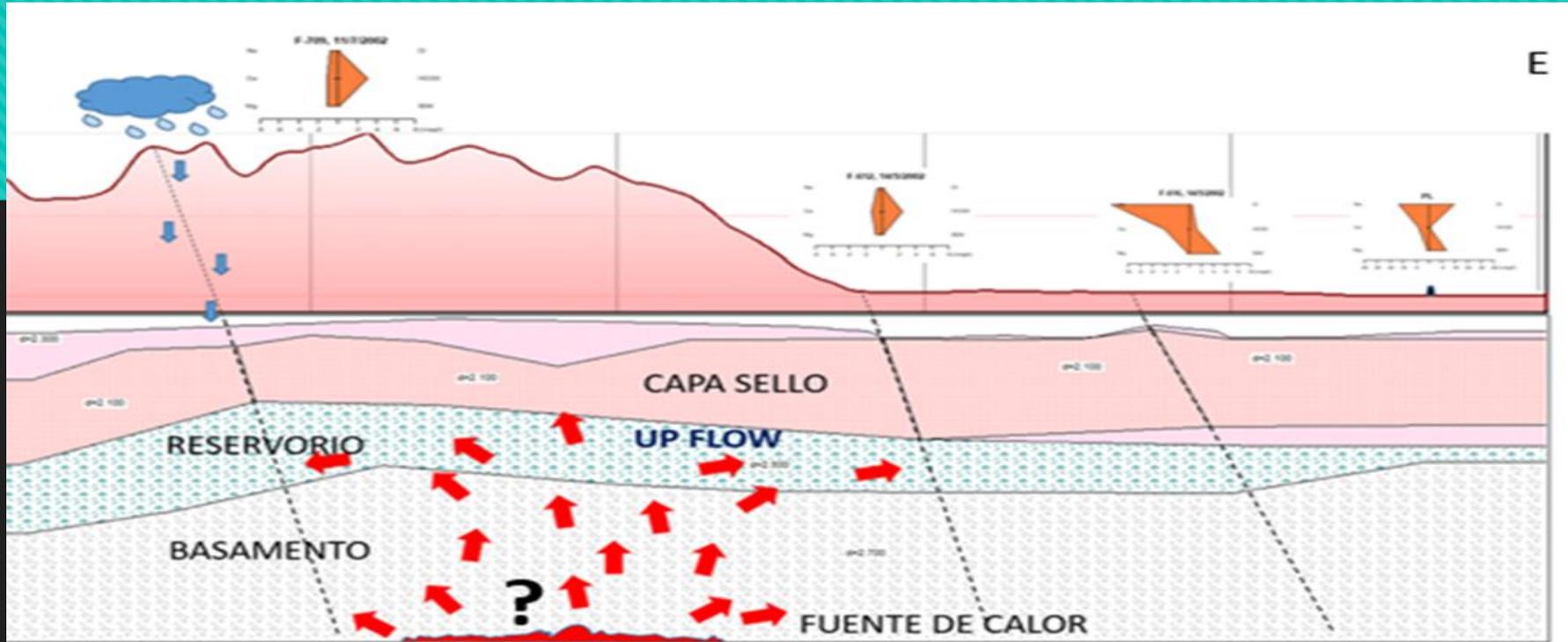
- La capa sello, 2 Ohm.m hasta 15 Ohm.m.
- El reservorio 42 Ohm.m a 87 Ohm.m
- El basamento 250 Ohm.m hasta 500 Ohm.m.

Modelado 2D de datos MT correlacionado con gravimetría



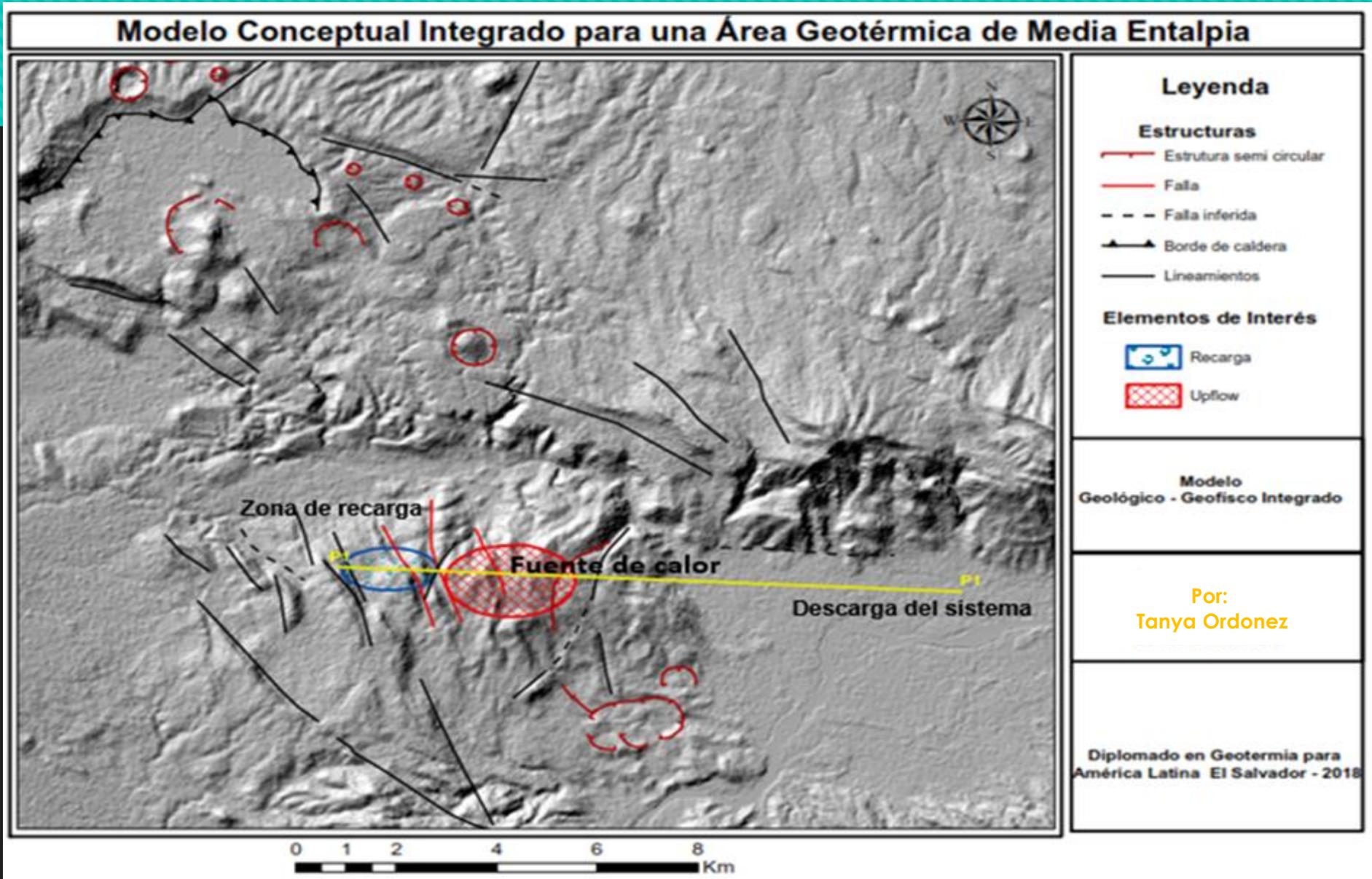
Se ajustó la curva gravimétrica del perfil, con una distribución de cuerpos de distintas densidades, utilizando como criterios la información de resistividad eléctrica, geológica y geoquímica de la zona, así como también la información del mapa estructural. Se pueden identificar 3 capas principales, la capa sello, el reservorio y el basamento cuya distribución de densidad varía entre 2.7 g/[(cm)]^3 hasta 2.1 g/[(cm)]^3 .

Modelo conceptual Integrado en Perfil



En el Modelo Conceptual Integrado presentado se observan que la zona de recarga se encuentra en la parte Oeste con una elevación de aproximadamente 650 msnm, con una muestra geoquímica de agua del tipo HCO_3 y que es indicativa de agua de origen meteórico, una segunda muestra geoquímica de agua para la parte central del modelo es del tipo Ca-HCO_3 lo que corresponde a un tipo de agua subterránea natural, luego en la parte con menor elevación Na-SO_4 correspondiente a un agua calentada por vapor y finalmente en la muestra tomada en las cercanías del pozo corresponde a un agua sódica-clorurada (Na-Cl) dichas aguas son típicas de fluidos de origen geotérmico profundo.

Modelo Conceptual Integrado en Planta



Preguntas y Comentarios