



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

GEOTERMIA

Grupo de **GEOTERMIA**

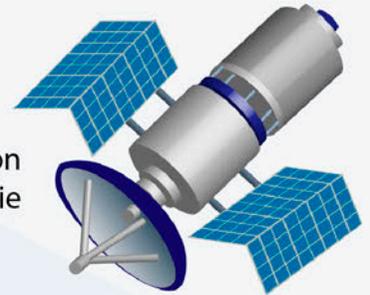
Liderado por la Dra. Rosa María Prol Ledesma, Jefa del Departamento de Recursos Naturales; del Instituto de Geofísica de la UNAM, se cuenta con un equipo multidisciplinario de investigación aplicada en la exploración, uso y aprovechamiento de la Energía Geotérmica.



El trabajo que se realiza incluye las áreas de Investigación en el campo de:

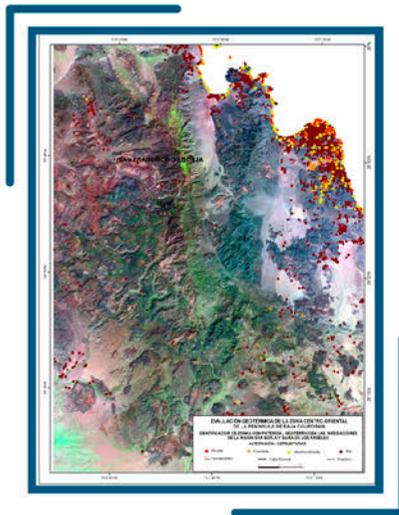


Servicios de Percepción Remota



▶ Percepción Remota

- Procedimientos para recolectar, procesar e interpretar información relacionada con objetos o fenómenos que ocurren en la superficie terrestre, sin establecer contacto físico con éstos.



▶ Procesamiento de Imágenes Multiespectrales

- Uso de Suelo
 - Mapa de uso de Suelo
 - Mapa de Coberturas
 - Mapa de litologías
 - Mapas mineralógicos
 - Mapa Geológico estructural
- Mapeo de Vegetación/ Detección de cambio en cobertura vegetal
 - Identificación de salud de vegetación
 - Análisis de Cambio de Uso de suelo

● Exploración Geotérmica/ Minera

- Mapa de alteración mineral
- Identificación de grupos mineralógicos de interés
- Mapeo de estructuras geológicas

▶ Procesamiento de Imágenes Multiespectrales

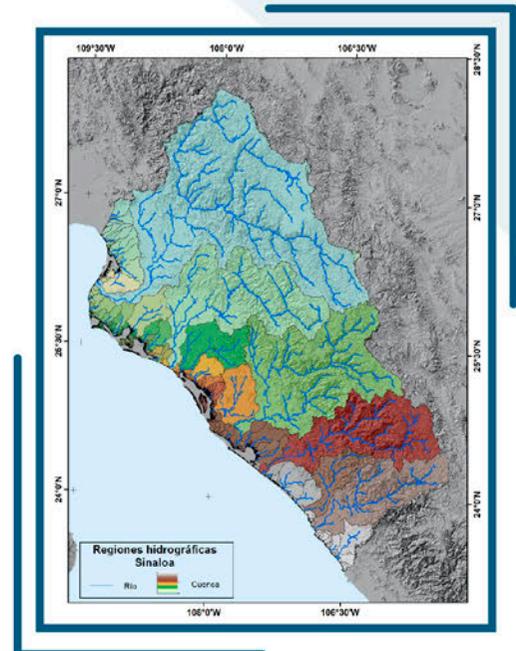
● Análisis Hidrológicos

- Análisis de cuenca a partir de un modelo digital de elevaciones
- Iluminación de cuenca
- Orientación de cuenca
- Cálculo de pendientes
- Acumulación de flujo
- Red de drenaje natural

● Estabilidad de Talud

▶ Sistemas de Información Geográfica

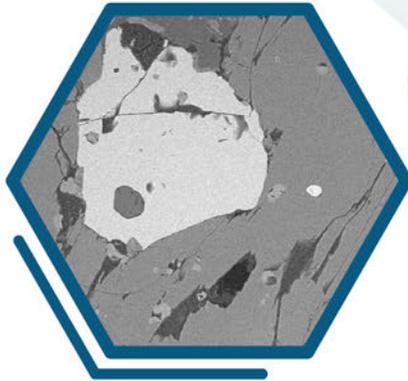
- Integración de datos mediante modelos estadísticos, probabilísticos, etc.
- Identificación de áreas de riesgo, determinación y prevención de impactos producidos por desastres de origen natural y por actividades humanas.



Equipo Geológico

Dr. Augusto Rodríguez Díaz
Mtra. Marcela Errasti
Ing. Irving González Romo

Servicios geológicos de exploración geotérmica



► Campaña geológica de campo.

Mapeo geológico semiregional y local de litologías, estructuras (fallas, fracturas y pliegues), alteración y depósitos hidrotermales, manifestaciones hidrotermales

Muestreo geológico de roca fresca y alterada para descripción petrográfica y análisis en laboratorio.

Estimaciones de porosidad secundaria (Scan box) por fracturamiento y fallamiento.

► Análisis de muestras en laboratorio

Espectrometría de infrarrojo de onda cercano (SWIR): identificación de silicatos, hidróxidos, sulfatos, carbonatos y en general minerales de alteración hidrotermal.

Petrografía óptica de luz transmitida: determinación de la asociación mineralógica y las texturas en láminas delgadas en muestras de roca sana y alterada.

Petrografía óptica de luz reflejada: identificación de minerales opacos, metálicos de interés económico y aquellos relacionados con la actividad termal.

Microscopia electrónica de barrido con analizador de energías (SEM-EDS): Esta técnica se emplea para determinar las relaciones texturales, composición química fases minerales y estudio morfológico de superficies. De precipitados minerales por actividad geotérmica natural y en tuberías de producción geotérmica.

Difracción de rayos-X : determinación de minerales del tipo arcilloso y otras fases criptocristalinas.

Microtermometría de inclusiones: determinación de las condiciones fisicoquímicas del atrapamiento de fluidos termales en minerales cristalinos.

Logueo geológico de barrenos de perforación y petrografía de alteración: descripción mineralógica y estructuras detalladas de núcleos o recortes de perforación. Perfil de alteración en pozo e identificación de columna de facies de alteración geotérmica.

Geotermometría mineral: Estimación de la temperatura de formación de los minerales de alteración con base en sus condiciones físico-químicas de estabilidad.

Medición de conductividad térmica en rocas, núcleos o recortes de perforación.



► Procesado de datos

- Generación de mapas y secciones geológicas.
- Base de datos de las muestras recolectadas y resultados de análisis en laboratorio mediante diferentes técnicas.
- Interpretación de asociaciones minerales de alteración y depósitos minerales. Condiciones microtermobarométricas de formación.
- Análisis geológico-estructural.
- Modelo geológico conceptual del yacimiento.
- Determinación de zonas favorables de perforación para gradiente y exploración.
- Perfil de conductividad térmica local.



Equipo Geoquímico

Dra. Mariana Patricia Jácome Paz
Dr. Daniel Pérez Zárate

Servicios geoquímicos de exploración geotérmica



- ▶ Campaña geoquímica de campo.

Mapeo de manifestaciones hidrotermales y termales.

Recolecta de muestras líquidas. Líquidos en manifestaciones termales naturales y en pozos. Se entrega reporte con parámetros fisicoquímicos de campo (pH, temperaturas, ubicación, alcalinidad)

Medición de parámetros fisicoquímicos in situ: temperatura, pH, conductividad eléctrica, TDS, salinidad, alcalinidad y contenido de sílice.

Preparación de muestras para análisis en laboratorio: cationes, aniones, isótopos estables y elementos traza.

Recolecta de muestras de gases. Toma en condensado de Giggenbach. Gases secos, gases difusos y emanaciones en fumarolas y suelos vaporizantes. Se entrega reporte con parámetros físicos de campo.

Mediciones de emisiones difusas in situ (cámara de acumulación).

Medición de flujos de gases de CO_2 , H_2S y CH_4 (estos dos últimos solo si los hubiera en el sistema natural) en suelos y cuerpos de aguas del sistema natural en exploración. Se entrega reporte de campo con mapa de distribución de mediciones y estadística exploratoria básica.





► **Análisis de muestras en laboratorio**

Cromatografía iónica. Análisis de iones mayores para líquidos. Se entrega reporte con tabla de concentraciones en mg/l, diagramas de Piper, Langelier y Giggenbach. Para clasificación de tipo de agua y determinación de procesos hasta la descarga. Modelos de mezcla. Utilización en cálculo de temperatura de equilibrio con geotermómetros.

Análisis de Boro. Se entrega concentración en mg/l de cada muestra. Determinación de la homogeneidad de la fuente.

Análisis de Sílice con espectrofotometría (Hach DR-2800) . Se entrega concentración en mg/l de cada muestra. Utilización en cálculo de temperatura de equilibrio con geotermómetros. Modelos de mezcla.

Cromatografía de gases. Análisis de muestras de gases. Se entrega reporte con concentraciones relativas en %Vol, diagramas ternarios de acuerdo a las concentraciones encontradas.

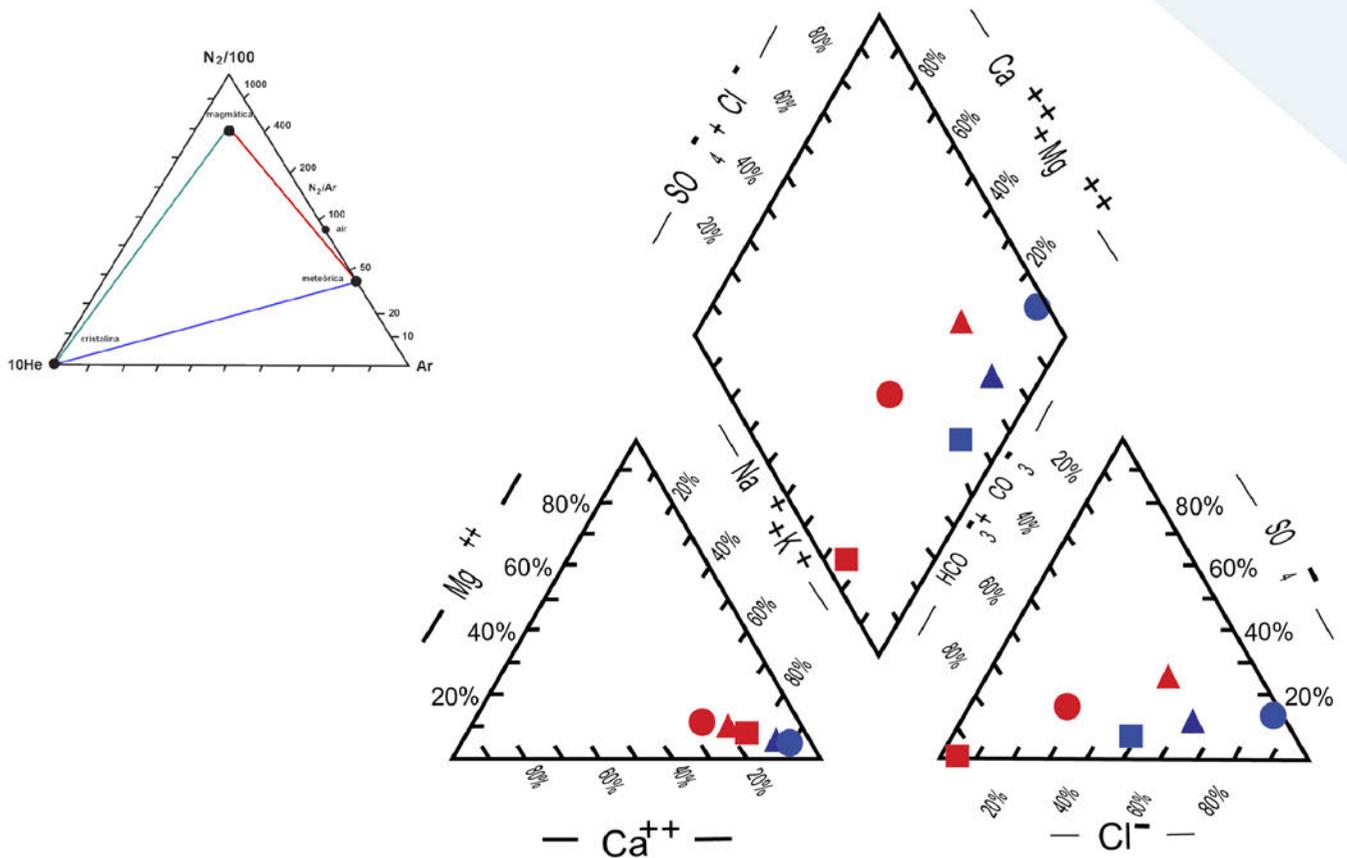
Titulación en condensados de fumarolas. Análisis volumétrico en condensados de fumarolas. Se entregan relaciones C/S por muestra.

Análisis isotópicos de ^{13}C en gases con espectrometría de masas. Se entrega reporte con valores $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ usando el estándar PDB. Determinación de origen de los gases.

Análisis isotópicos $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ en muestras líquidas y condensados con espectrometría de masas. Se entrega reporte comparativo utilizando VSMOW. Determinación del origen de los fluidos geotérmicos y de los procesos en el yacimiento y la descarga.

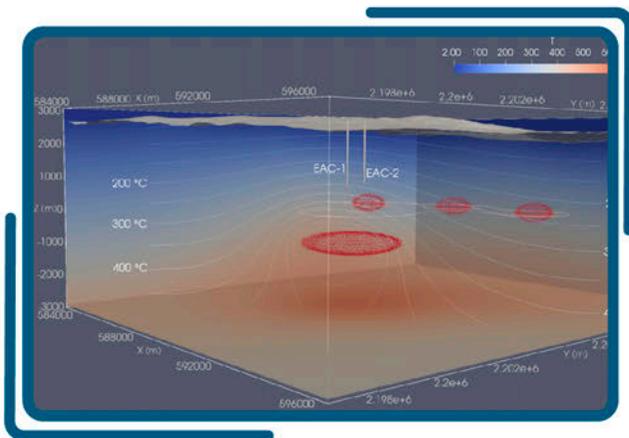
► Interpretación y procesado de datos

- Cálculo de flujos totales de CO₂, H₂S y CH₄.
- Clasificación del tipo de agua: diagramas de Piper, Shoeller, Giggenbach, línea meteórica, etc.
- Estimación de temperaturas del reservorio con geotermómetros (cationes, sílice y gases).
- Integración de la información en base geoquímica.
- Modelos de mezcla para el reservorio.
- Modelo geoquímico conceptual.
- Modelación geoquímica: reacciones de interacción agua-roca y evaluación del equilibrio químico en el reservorio.



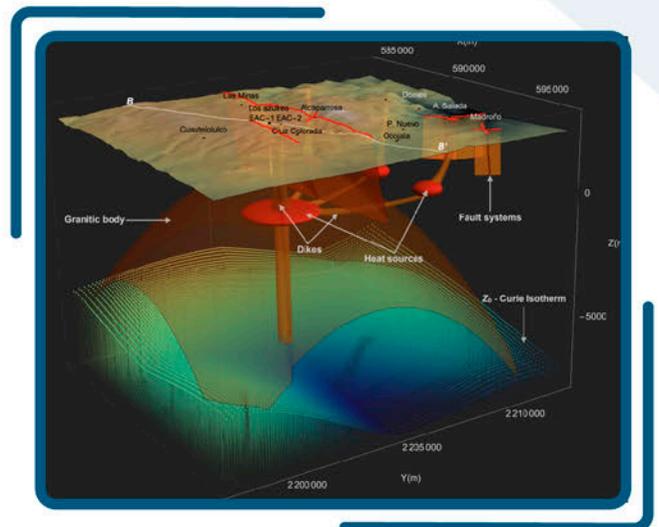
Servicios de Modelado conceptual y numérico computacional

- ▶ Integración de resultados de exploración geotérmica y descripción del transporte de energía en el sistema.
- ▶ Modelos Digitales de Elevación en QGis y elaboración de esquemas 2D y 3D de la geología estructural del sistema en Mathematica y Gnuplot.



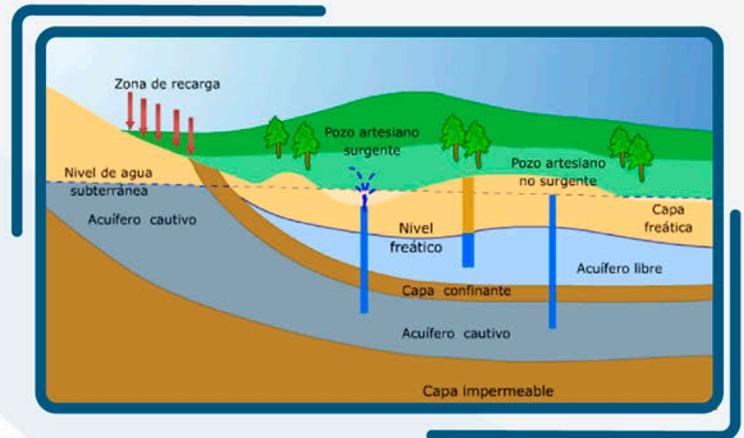
- ▶ Asignación de propiedades físicas de transporte a las diferentes unidades estructurales del sistema.
- ▶ Planteamiento del modelo numérico computacional para la solución del régimen de transporte en el sistema.

- ▶ Simulación de transporte en yacimientos en TOUGH2 (transporte multifásico y multicomponente).
- ▶ Presentación de archivos de entrada del modelo TOUGH2 para mantenimiento posterior.
- ▶ Visualizaciones de campo en Paraview, Tec Plot y Gnuplot.
- ▶ Calibraciones y evaluaciones cuantitativas de resultados.



Servicios de Modelación geoquímica de fluidos geotérmicos

- ▶ Registro y verificación geoquimiométrica de datos químicos (muestras de agua y gas)
- ▶ Especiación de fluidos geotérmicos bajo condiciones de reservorio.
- ▶ Modelación geotermométrica para el cálculo de la temperatura del reservorio.
- ▶ Modelación del equilibrio fluido-mineral (cinética de reacción, precipitación-disolución, intercambio iónico).



- ▶ Modelos de solubilidad.
- ▶ Precipitación y comportamiento de los fluidos bajo cambios de presión y temperatura.
- ▶ Cálculo de parámetros físicos y termodinámicos (densidad, viscosidad, actividad, índices de saturación).
- ▶ Predicción de escenarios futuros: corrosión e incrustación.

- ▶ La modelación se realiza con el programa Geochemist's Workbench Professional.

Equipo Comunicación y Difusión

Dra. Mariana Patricia Jácome Paz
Lic. Mayela Gómez Torres
Pas. Lic. Alejandra González Alfaro

Apropiación Social del Conocimiento. Servicios Comunicación y Diseño.

► Evaluación Social General

- Evaluación del contexto social general de las comunidades involucradas
- Evaluación de las características de la población (estudio demográfico)
- Evaluación de la infraestructura (Nivel de urbanización, servicios con los que se cuenta)
- Evaluación de la percepción (estudio de percepción de valores predominantes, identificación de creencias e ideas que puedan impedir el desarrollo del proyecto)

► Diseño de Estrategias de Comunicación y difusión.

- Elaboración de estrategias de comunicación de acuerdo a las características y necesidades de la comunidad.

► Organización de eventos

- Organización de encuentros, charlas, conferencias y talleres lúdicos para acercar a la población a los conceptos básicos que los lleven a la apropiación del proyecto. Ejemplos de este servicio:



- Organización y ejecución de "Rally de Ciencias de la Tierra". Actividades de divulgación lúdicas para centros educativos, asociaciones civiles y público en general. Adaptado a edad, formación y contexto del público objetivo.
- Charlas de divulgación in situ, enfocada específicamente para diverso público objetivo. Las temáticas que se ofertan son: Recursos naturales y sustentabilidad, Calor interno de la Tierra, Geotermia en México, Geotermia en el Mundo, Usos directos de la Geotermia, exploración geotérmica, geopatrimonio local, Plantas geotérmicas en explotación, formación de la Tierra, Placas tectónicas y vulcanismo, volcanes en México, volcanes submarinos.

► Elaboración de cartografía temática

- Diseño y entrega (digital o física) de cartografía temática local en Ciencias de la Tierra. La cartografía puede incluir las siguientes temáticas: recursos naturales, geología, red hidrográfica, geomapa, geomapa turístico.

▶ Elaboración de material de apropiación social de las ciencias de la Tierra

- Diseño y entrega (digital o física) de material didáctico en Ciencias de la Tierra. El material es elaborado de acuerdo a las características del público objetivo.



▶ Fotografía y video documental

- Levantamiento de imágenes, documentación y recolección de evidencias de sucesos, recursos y actividades realizadas por el equipo científico, así como eventos de divulgación.

▶ Producción de video

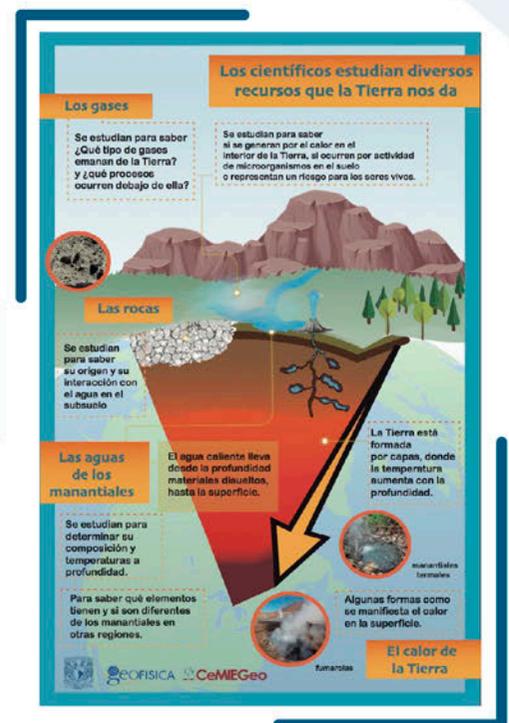
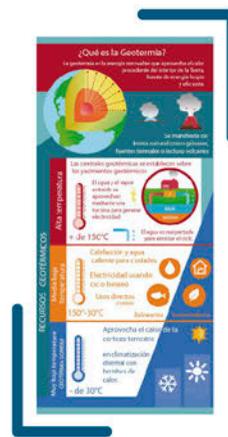
- Producción de videos de difusión y divulgación científica, así como reportajes de las actividades científicas y de las actividades sociales que se realicen en conjunto con los científicos, así como eventos de divulgación.

▶ Diseño de imagen del Proyecto

- Diseño de logotipo del proyecto, cortinillas de presentación y sellos distintivos de los materiales y contenidos de difusión asociados al proyecto.

▶ Community Management

- Apertura y administración de redes sociales (Facebook, Instagram, Twitter) empleadas como herramienta de comunicación constante. Generación y curación de contenidos para redes.



Laboratorio de Investigación Geoquímica

▶ Análisis de agua

- **Equipo ThermoScientific Dionex ICS-900.**
Sistema de Cromatografía iónica.
- **Equipo DR2800.**
Espectofotómetro de espectro visible .
- **Equipo L2120i (PICARRO).**
Espectrómetro láser CRDS (Cavity Ring Down Spectroscopy).
- **Módulo vaporizador V1102i.**
- **Kit de Estándares VSMOW y GISP.**



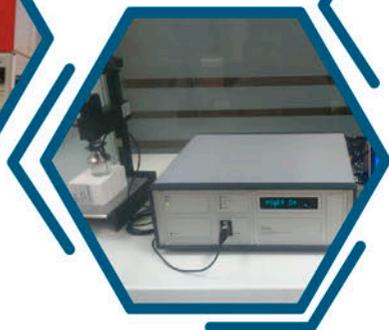
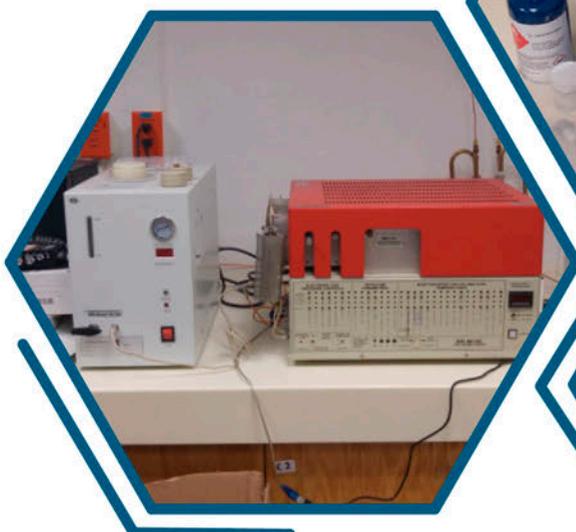
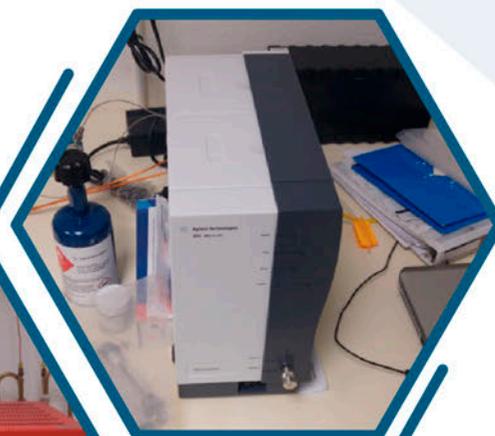
▶ Análisis de rocas

- **Equipo TK04.**
Unidad de medición TK04
Sondas (VLQ, HLQ estándar y HQL mini)



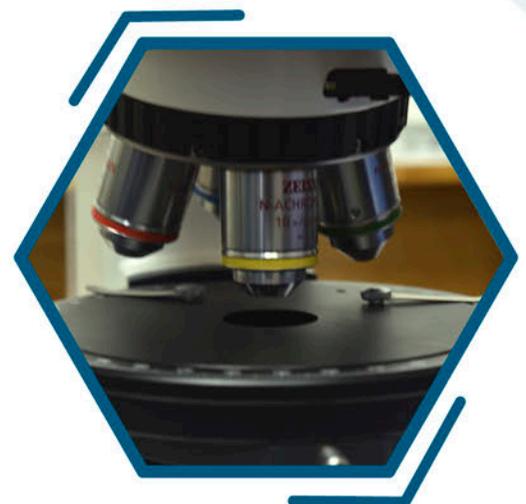
▶ Análisis de gases

- **Cromatógrafo de Gases SRI 8616.**
- **Micro-cromatógrafo de Gases Agilent.**



Laboratorio de Petrografía y microtermometría

- Microscopios ópticos Zeiss Axioplan.
- Microscopio Zeiss Olympus SZX9
- Microscopio electrónico Hitachi TM1000 con EDS
- Espectrometro infrarrojo de onda corta (SWIR) OreXpress Spectral Evolution
- Conductivímetro TK04



Tenemos convenios de colaboración con laboratorios de otros institutos de la UNAM, como el Instituto de Geología y Geociencias de Juriquilla. Además de los Laboratorios del CeMIEGeo