

Sesión Especial

# **Exploración geotérmica**

Organizadores:

Rosa Ma. Prol

Victor Hugo Garduño

José Manuel Romo Jones

SE06-1

## CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA DE LA ZONA PRODUCTORA DEL CAMPO GEOTÉRMICO DE BERLÍN (EL SALVADOR)

Hernández H. Jesús A.<sup>1</sup> y Arango Galván Claudia<sup>2</sup><sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, UNAM<sup>2</sup>Instituto de Geofísica, UNAM

j.angel.2h@comunidad.unam.mx

La región de América Central se ve afectada por el proceso de subducción de la placa de Cocos sobre la placa del Caribe dando origen al Arco Volcánico Centroamericano. Asociado a éste se encuentran los principales campos geotérmicos de El Salvador, objeto de este estudio. Aproximadamente el 25% de la energía eléctrica consumida en El Salvador es generada a partir de recursos geotérmicos, explorados y explotados por la compañía salvadoreña LaGeo S.A. de C.V., que en la actualidad opera las Centrales Geotérmicas de Ahuachapán y Berlín. El campo geotérmico de Berlín es un sistema de líquido dominante con una temperatura próxima a los 300 °C. Cuenta con 38 pozos perforados, 14 son de producción y 20 inyectores (4 abandonados). En la zona Sur-Oeste de la Central Geotérmica de Berlín se encuentra la plataforma TR-18, la cual se caracteriza por tener una alta producción de energía por atravesar una capa de vapor seco no presente en los demás pozos productores. Así surge el interés de caracterizar la capa de vapor presente en el área circundante de la plataforma. El presente estudio se realizó con base en información de pozos, sondeos magnetotéluricos y estaciones gravimétricas, que son resultado de las diferentes campañas previas de exploración realizadas en todo el campo geotérmico de Berlín.

SE06-2

## MODELO GEOELÉCTRICO DE LA ZONA GEOTÉRMICA HERVORES DE LA VEGA MUNICIPIO DE TEUCHTLÁN, JALISCO. MÉXICO.

Rodríguez Ramírez David Josias

Instituto Politécnico Nacional, IPN

mtjosias@gmail.com

El área geotérmica Hervores de la Vega es una zona hidrotermal constituida por manantiales que afloran al E de la Sierra de La Laja la que en conjunto con la Sierra de Ahuiscolco divide las cuencas de los Ríos Etzatlán-El Salado al N y de Ameca al S, estructuralmente se encuentra fallado con orientaciones predominantes W-E definiendo el semi-graben de Ameca al W y el semi-graben de Zacoalco-Cocula al E, las estructuras (fallas normales) se hunden hacia el S y SW del basamento de la Sierra La Laja, así como de la Sierra de Ahuiscolco. La Comisión Federal de Electricidad (CFE) mediante la oficina de Exploraciones Geotérmicas, inició a mediados del año de 1980 la exploración de la zona Geotérmica de Hervores de la Vega, Jalisco, con el objetivo de localizar un posible yacimiento geotérmico, inicialmente se utilizó el Método Gravimétrico, el cual fue realizado por PEMEX (1980); efectuando un estudio de detalle, por medio del cual fue posible determinar el comportamiento estructural del área y con base a esto, se programó un estudio de Resistividad usando la técnica de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV's). Con la reinterpretación de los SEV's, se obtuvo la caracterización de la secuencia electrostratigráfica y se identificaron variaciones espaciales del basamento local así como en la secuencia vulcanosedimentaria, Para determinar la temperatura esperada en el yacimiento se recurrió al cálculo con geotermómetros en el que según los expertos el más confiable es el de Na/K (Templos, et al. 1981) el cual arroja un valor de 220°C. Por otro lado al carecer de información específica; la porosidad, densidad y calor específico fueron inferidos, con fundamento en la literatura y en la experiencia del equipo de trabajo. Logrando así definir un Modelo Geotérmico Conceptual con base a la información disponible, asimismo definir dos localidades para la perforación exploratoria, la de mayor importancia al Sur de las manifestaciones termales de Hervores de la Vega y la segunda al Oeste de las manifestaciones de Agua Caliente.

SE06-3

## ESTUDIO GEOFÍSICO INTEGRAL EN LA ZONA DE LOS HUMEROS, PUEBLA: RESULTADOS PRELIMINARES

Yutis Vsevolod<sup>1</sup>, Arzate Flores Jorge Arturo<sup>2</sup>, EvangelistaRodríguez Leidy Itzel<sup>3</sup> y Luévanos Pacheco Valeria Anahí<sup>3</sup><sup>1</sup>Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, IPICYT<sup>2</sup>Centro de Geociencias, UNAM<sup>3</sup>Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL

vsevolod.yutis@ipicyt.edu.mx

En Junio de 2014 se llevó a cabo un estudio geofísico en la zona del campo geotérmico de Los Humeros, Pue., a lo largo de un perfil EW de 24 km de longitud. El estudio comprendió un levantamiento gravimétrico con 158 estaciones, 15 sondeos magnetotéluricos, 25 estaciones para medir la concentración de gas radón y 25 estaciones para la detección de rayos gamma, todas ellas distribuidas a lo largo de la misma transecta. El estudio fue realizado utilizando un gravímetro CG3 de Scintrex, 4 equipos MTU de Phoenix, un detector de radón RAD7 de Durridge, Co.,

y un espectrómetro diferencial de rayos gamma GRS 500 de Scintrex y financiado a través del consorcio CeMie-Geo (207032). En el estudio participaron alumnos de la UNAM, UANL y UAQ como parte de su estancia de verano de la ciencia 2014 en el CGEO-UNAM. Los datos de campo fueron corregidos y procesados para obtener la anomalía de Bouguer completa, el modelo de resistividad, la concentración de Radón, así como la radiactividad natural de Potasio, Uranio y Torio. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos y se discute su relación con el sistema geotérmico de Los Humeros. Los resultados preliminares muestran el mínimo gravimétrico principal coincidente con una zona de conductividad anómala en la parte central de la caldera que se correlaciona con posibles estructuras orientadas NS cortadas perpendicularmente por la transecta. El gradiente horizontal de la anomalía de Bouguer apoya la existencia de dichas estructuras que separan la zona central de la caldera en tres bloques. Las zonas de altos gradientes coinciden con altas concentraciones de radón, alcanzando valores máximos de hasta 3,060 Bq/m<sup>3</sup> lo que sugiere actividad hidrotermal asociada a éstas. Estos resultados demuestran que la combinación de estos métodos tiene un alto potencial en la prospección de recursos geotermales.

SE06-4

## EXPLORACIÓN GEOLÓGICA EN LA ZONA GEOTÉRMICA DE PUERTECITOS, BAJA CALIFORNIA.

Errasti Marcela, Rodríguez Díaz Augusto Antonio, Medina Fernández

Claudia Roxana, Arango Galván Claudia y Prol Ledesma Rosa María

UNAM, IGF

marcelaerrasti@hotmail.com

Los complejos procesos tectónicos asociados a la formación del Golfo de California dieron origen a la geología de Puertecitos, representada en su mayoría por rocas volcánicas del Mioceno al Pleistoceno. Puertecitos se localiza en la parte norte de Baja California a 250 km al sur de Mexicali. Evidencias de manifestaciones hidrotermales costeras activas con temperaturas en un intervalo entre 56°C-74°C, así como una alteración hidrotermal pervasiva que silicificó y oxidó las tobas del Plioceno de 200-250m de espesor, nos indica la presencia de un sistema geotérmico activo. Con base en estas evidencias se recopiló toda la información existente de la zona y se llevaron a cabo estudios geoquímicos y geológicos de exploración para determinar su potencial geotérmico. De acuerdo con la petrografía de las muestras estudiadas se identificaron depósitos piroclásticos masivos en el área de los manantiales, que consisten en ignimbritas fuertemente alteradas, parcialmente soldadas con matriz vítrea y líticos angulosos, algunas Pirritas y abundantes vacuolas. Se realizaron estudios de microtermometría en muestras de vetas de cuarzo y barita las cuales se encontraban rellenando fracturas alrededor de los manantiales. Se analizaron también inclusiones fluidas en la calcita proveniente de otra zona cercana aunque topográficamente más alta para tener otro punto de referencia. Se obtuvieron temperaturas de homogeneización promedio en barita 148°C, en cuarzo 159°C y en calcita 129°C. La zona está afectada principalmente por tres sistemas de fallas normales con echado hacia el este: NW, NE y NS las cuales se relacionan con las zonas de alteración. Las fallas presentan relleno de arcillas (illita/esmectita) de calcita y de óxido de manganeso. La actividad volcánica más reciente correspondiente al Pleistoceno se localiza a 10 km al sur de Puertecitos en la costa y está constituida por el Volcán Prieto y derrames basálticos y andesíticos. Con estos datos se proponen tres etapas en la actividad hidrotermal del sistema y se podría decir que se trata de un sistema en proceso de enfriamiento.

SE06-5

## ESTUDIO MAGNETOTELÚRICO EN LAS INMEDIACIONES DE SAN FELIPE, B.C. CON FINES DE EXPLORACIÓN GEOTÉRMICA

Arango Galván Claudia, Ruíz Aguilar Diego, Vázquez Del Moral Manuel

Alejandro, Gutiérrez Carmona Dulce María Elizabeth y Prol Ledesma Rosa María

Instituto de Geofísica, UNAM

claudiar@geofisica.unam.mx

En la zona de San Felipe y Puertecitos, ambos localizados en la costa oriental de la península de Baja California (México), se han reportado manifestaciones geotérmicas tanto en pozos de abastecimiento de agua potable como en manantiales costeros. Con la finalidad de evaluar el potencial de dichas anomalías se llevó al cabo un reconocimiento geológico, geoquímico y geofísico en la zona en el marco de un proyecto de Sustentabilidad Energética en el esquema SENER-CONACYT. En este trabajo se presentan los resultados de la exploración geofísica implementada en las inmediaciones del valle de San Felipe, la cual consistió en la adquisición de 17 sondeos magnetotéluricos así como el mismo número de sondeos transitorios electromagnéticos para la corrección por corrimiento estático. Los modelos geoeléctricos obtenidos muestran consistencia con la presencia de un conductor de grandes dimensiones probablemente asociado al relleno del valle. Subyaciendo este cuerpo conductor se observan algunas anomalías de resistividad mayor que se podrían correlacionar con la presencia de cuerpos intrusivos. La información generada en este estudio se ha integrado con los resultados del estudio geológico-geoquímico para así establecer la correlación entre las estructuras geoeléctricas y la presencia de lineamientos, anomalías geoquímicas inferidas a partir del muestreo de las manifestaciones de temperatura citadas.

Finalmente, el objetivo es establecer la geometría del yacimiento así como su volumen para estimar el potencial geotérmico en la zona de estudio.

SE06-6

### MONITOREO ELECTROMAGNÉTICO CONTINUO EN LA ZONA DEL CGCP EN MEXICALI, B.C., MÉXICO

Cortés-Arroyo Olaf J., Romo Jones José Manuel, Brassea Ochoa Jesús María, Gómez Treviño Enrique y Antonio-Carpio Ricardo G.  
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE  
ocortes@cicese.edu.mx

Estamos registrando campos electromagnéticos naturales en la región del Campo Geotérmico de Cerro Prieto (CGCP), en Baja California, como parte de una red de monitoreo que tiene la intención de investigar posibles cambios espaciales y/o temporales de la conductividad eléctrica en el subsuelo. En 2010 ocupamos varios sitios magnetotélúricos en esta área, antes y después de un terremoto de 7.2 Mw que ocurrió en la región. Las curvas de resistividad aparente y de fase observadas, así como los modelos 2D de la resistividad del subsuelo sugieren cambios en la permeabilidad y/o en la distribución de fluidos en profundidad (Cortés-Arroyo, 2011). La posibilidad de detectar variaciones temporales en la permeabilidad o en el contenido de fluidos en el subsuelo resultan de gran interés para la operación del CGCP. En el proyecto está previsto construir quince estaciones electromagnéticas de grabación continua en los próximos cuatro años. Actualmente tenemos dos sitios instrumentados. Iniciamos registrando el campo magnético con un magnetómetro fluxgate de tres componentes, con lo cual obtuvimos buenos resultados para frecuencias bajas (< 0.02 Hz). Sin embargo a frecuencias mayores, las cuales son esenciales para investigar los primeros 5 km de profundidad, el fluxgate no resultó ser el sensor más apropiado. Por esta razón se añadieron al sistema un conjunto de bobinas de inducción y se implementó un período de muestreo más rápido. El campo eléctrico se mide con electrodos impolarizables de Pb-PbCl<sub>2</sub> utilizando dipolos de 25 m de longitud. Los dispositivos de grabación se han diseñado y se están construyendo en el CICESE; se basan en componentes de bajo consumo de energía de bajo ruido, con convertidores AD de 24 bits, sincronizados con GPS en tiempo universal y memoria flash para almacenamiento de datos. Hemos registrado los datos a frecuencias de muestreo de 5 Hz usando el sensor fluxgate y de 15 Hz utilizando las bobinas de inducción. En este trabajo se presentan algunos resultados preliminares, se discuten las experiencias adquiridas, así como los próximos desafíos.

SE06-7

### INTEGRACIÓN DE INFORMACIÓN PARA EXPLORACIÓN GEOTÉRMICA EN LA PARTE CENTRAL DE LA PENINSULA DE BAJA CALIFORNIA, MEXICO

Ruiz Armenta Juan Ramón, Prol Ledesma Rosa María y Membrillo Abad Alejandra Selene  
Instituto de Geofísica, UNAM  
jruizarmenta@gmail.com

La producción de energía limpia y renovable como la energía geotérmica, espera tener al menos una contribución de 30% para 2024 en México. Para alcanzar esta meta, nuevos plays geotérmicos deben ser explorados, clasificados y evaluados conforme con un modelo de como los diferentes factores geológicos, geohidrológicos y geoquímicos podrían generar un recurso geotérmico en una área específica. Durante esta etapa de exploración, diferentes geodatos son obtenidos de estudios geológicos, geoquímicos, geofísicos, imágenes satelitales multispectrales, datos topográficos, etc., para su integración, gestión y análisis a través del uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG), para la elaboración de Mapas de Favorabilidad Geotérmica (MFG), con la localización de plays geotérmicos mediante la aplicación de métodos de análisis espacial de Evaluación Multicriterio (EMC). El área de estudio se localiza en la porción central de la Península de Baja California en el noroeste de México, donde se han reportado numerosas manifestaciones geotérmicas, pero no se han realizado estudios de factibilidad. Las imágenes satelitales multispectrales Landsat 7 ETM+ fueron procesadas para determinar la Temperatura de Superficie de la Tierra (TST) y Alteración Hidrotermal (AH) e integradas con los geodatos -litología, estructuras, etc.- existentes para el área. Los métodos de Evaluación Multicriterio fueron útiles para identificar plays geotérmicos

SE06-8

### ESTUDIO SÍSMICO PRELIMINAR DEL VOLCÁN CEBORUCO, NAYARIT, MÉXICO

León Soto Gerardo, Núñez Cornú Francisco Javier, Rodríguez Ayala Norma Angélica, Escudero Ayala Christian René y Gómez Hernández Adán  
Universidad de Guadalajara  
gleon.soto@gmail.com

Se presenta un estudio preliminar del Volcán Ceboruco en el Estado de Nayarit enfocado a un futuro experimento de exploración sísmica pasiva y magnetotélúrica. La información existente es recopilada, ordenada y presentada en miras a un posible desarrollo geotérmico en esta región. Se presentan nuevos resultados de sismicidad

registrada por la red de monitoreo desplegada por el del Centro de Sismología y Volcanología de Occidente de la Universidad de Guadalajara. Se describen los diferentes tipos de eventos sísmicos de baja frecuencia observados en el volcán. Se presenta un método de remoción de efectos de sitio por medio de un análisis de coda. Después de remover los efectos de sitio de las estaciones sismológicas existentes, se hace una localización de los eventos sísmicos por medio de un algoritmo de atenuación de amplitudes. Se analiza la evidencia de anisotropía sísmica inducida por birrefringencia de las ondas de esfuerzo observadas en los datos existentes. Los resultados van a sugerir los posibles sitios de monitoreo sísmico y magnetotélúrico en el experimento a ser desarrollado en un futuro próximo.

SE06-9

### ESTUDIO DE INTERFEROMETRÍA SÍSMICA EN EL CAMPO GEOTÉRMICO TRES VIRGENES, BCS

Cárdenas-Soto Martín<sup>1</sup>, Rodríguez Héctor<sup>2</sup> y Lermo Javier<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, UNAM  
<sup>2</sup>Posgrado en Ingeniería, UNAM  
<sup>3</sup>Instituto de Ingeniería, UNAM  
martinc@unam.mx

En este estudio presentamos los resultados de la correlación cruzada de datos de ruido de una red temporal de ocho estaciones sísmicas que operaron regularmente entre los años de 2010 a 2012. Estimamos los cinco componentes del tensor de Green y la envolvente de los términos cruzados vertical-radial. Para periodos de tiempo estables, extraemos curvas de dispersión de ondas superficiales y mostramos la variabilidad en la estructura de velocidad entre los diferentes pares de estaciones. El análisis de los correlogramas de cada día, muestra variaciones significativas en la posición relativa del máximo para periodos entre 1 y 3 s. Algunas de esas variaciones de deben a problemas instrumentales y otras a la inducción de esfuerzos probablemente debido a la sismicidad local. Los resultados muestran que es posible utilizar la interferometría sísmica como un método de monitoreo, lo que permite dar seguimiento a las variaciones del estado de esfuerzos debido a las actividades de explotación.

SE06-10

### ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL GEOTÉRMICO DEL SISTEMA VOLCÁNICO-HIDROTHERMAL DEL VOLCÁN TACANÁ USANDO LOS FLUJOS DE SOLUTOS DE LOS MANANTIALES TERMALES.

Collard Nathalie, Taran Yuri, Jácome Paz Mariana Patricia y Campion Robin  
Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM  
natalycollard@hotmail.com

El volcán Tacaná (4100 msnm) es el volcán más al norte del arco volcánico centroamericano. Alberga un sistema volcánico-hidrotermal caracterizado por un campo fumarólico de baja temperatura en 3600 msnm y varios grupos de manantiales ubicados en la parte NO del volcán (~1500 - 2000 msnm). Los manantiales termales descargan aguas ricas en SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> (> 1g/l) con un rango de temperatura entre 25 y 63°C. Dos grupos de manantiales se distinguen por relaciones cloruro-temperatura y cloruro-sulfato diferentes, pero con un cociente 86Sr/87Sr igual (~0.7046±0.0002), hecho que indica la misma roca encajonante para los diferentes acuíferos. En abril de 2014, se descubrió un nuevo manantial ubicado ~ 500m debajo de los otros dos grupos de manantiales, descargando agua tipo Na-Cl con una concentración en Cl de 1.4 g/l y de Na+K de >1.5 g/l. El nuevo manantial forma un cuarto grupo, representando un acuífero geotérmico estratificado. Cada manantial es drenado por un río frío que incorpora sus aguas al Río Coatán, drenaje principal de la descarga de aguas termales del sistema volcánico-hidrotermal. Los flujos de solutos y de calor liberados por los manantiales fueron estimados con el método de inventario de cloro. La descarga total de cloro por parte de los manantiales es estimada en 14.8 g/s y el flujo total de calor en ~9.5 MWt. Si se considera una temperatura del fluido profundo de 250°C, se estima que el flujo de calor advectivo liberado por el reservorio profundo es de ~26 MWt. Sin embargo, el flujo total de cloro medido en el drenaje principal, Río Coatán, es 4 veces más alto (~59 g/s) que el flujo de cloro medido en cada manantial termal. Esto último significa que existe una descarga termal no descubierta en la zona y que el flujo de calor por parte de los manantiales en el volcán Tacaná es significativamente más alto y depende tanto del contenido de cloro como de la temperatura de las aguas termales desconocidas. Si la concentración en cloro en estas aguas termales desconocidas no sobrepasa 540 mg/l (la concentración más alta analizada en las aguas termales del Tacaná) y si la temperatura de descarga es de 50°C, entonces el flujo de calor por parte de los manantiales puede ser estimado por lo menos a 22 MWt y el flujo de calor advectivo correspondiente a ~100 MWt.

SE06-11

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CAMPOS GEOTÉRMICOS MEXICANOS EN EXPLOTACIÓN USANDO ISÓTOPOS DE GASES NOBLES. PROYECTO DEL CEMIE-GEO.

López Hernández Aída<sup>1</sup>, Pinti Daniele<sup>2</sup>, Castro Clara<sup>3</sup> y Shouakar-Stash Orfan<sup>4</sup><sup>1</sup>Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, UMSNH<sup>2</sup>Universidad de Quebec, Canadá<sup>3</sup>Universidad de Michigan, USA<sup>4</sup>Universidad de Waterloo, Canadá  
aidalopher@gmail.com

México actualmente cuenta con 4 campos geotérmicos en explotación: Cerro Prieto (CP), Los Azufres (AZ), Los Humeros (LH) y Las Tres Vírgenes (LTV). El primero de ellos ha estado bajo condiciones de extracción por más de 40 años lo que ha llevado a la disminución de su capacidad energética y la reducción de su reserva. En la actualidad existe una campaña para regular la producción de vapor con el fin de compensar el decaimiento y alcanzar un nivel sostenible de producción. Los Azufres, el segundo campo de importancia en México, en explotación desde 1982 con más de 100 pozos perforados, mantiene sus condiciones de presión, sin embargo, estudios recientes (González-Partida et al., 2005 y Pinti et al., 2013), revelan claramente la invasión de agua fría en el límite W del campo. Los Humeros, un campo considerado aún en desarrollo, con 23 pozos productores, recientemente ha iniciado la fase II con una nueva planta de 50 MW. Las Tres Vírgenes es un campo de baja producción debido a sus condiciones geológicas, cuenta con 4 pozos productores. La comprensión de las condiciones del yacimiento en los campos geotérmicos en desarrollo (LH y LTV) y la evolución de los más antiguos (CP y LTV) se ha realizado con amplios estudios geoquímicos, sin embargo, pocos de ellos incluyen las mediciones de concentración de He y Ar. Recientemente Pinti, (et al., 2013) llevaron a cabo una investigación más extensa en algunos pozos de Los Azufres utilizando gases nobles, los isótopos estables del agua 8C,OH) e isótopos radiogénicos (87Sr/86Sr). Este estudio permitió identificar mejor las zonas de aporte magmático y mostró el aumento de la invasión de las salmueras inyectadas. El propósito principal de este proyecto es llevar a cabo un amplio estudio con gases nobles en los cuatro campos geotérmicos y se pretende que sea una herramienta que contribuya a: 1° Identificar las áreas donde los fluidos geotérmicos de alta entalpía circulan en el yacimiento utilizando los valores de 3He de origen magmático como una aproximación de flujo de calor. 2° Monitorear la invasión de las salmueras inyectadas en los yacimientos y su efecto de enfriamiento, mediante el análisis de los gases nobles de la atmósfera cuyo fraccionamiento es proporcional a los efectos de ebullición por la invasión de agua más fría. 3° Por medio del análisis del 4He se hará la estimación del tiempo de residencia de los fluidos en el yacimiento, éste es un parámetro importante para identificar el área donde se están explotando las aguas conatadas. Finalmente el proyecto tiene una duración de 4 años y se pretende realizar los estudios en estrecha colaboración con personal de la Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos de la Comisión Federal de Electricidad, con el propósito de que la información generada en el proyecto contribuya a la toma de decisiones referentes al desarrollo futuro de los campos. Paralelamente se formarán recursos humanos especializados en el área de geoquímica de fluidos geotérmicos.

SE06-12

## CAMPO GEOTÉRMICO LOS HUMEROS: INTERACCIÓN AGUA-ROCA, PRIMEROS RESULTADOS - PROYECTO DEL CEMIEGEO 207032 # 8 SENER-CONACYT

Yáñez Dávila David, González Partida Eduardo, Romero Rojas Mary Carmen, Romero Rojas Wendy, Díaz Carreño Erik Hugo y González Ruiz Luis Eduardo  
Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM  
yanezdd@geociencias.unam.mx

Al ser México el cuarto lugar en la producción de energía eléctrica por medio de energía geotérmica, se ha creado el Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica (CEMIE-Geo), con el desarrollo de 30 proyectos de investigación, del que se desprende el proyecto 08, el cual tiene como misión estudiar los fenómenos de interacción agua-roca, cuyos primeros resultados se presentan en este trabajo. El campo geotérmico de Los Humeros el cual está localizado en la parte centro-oriental de México, al oriente de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), la cual tiene una edad Plioceno-Cuaternario de orientación E-W, de composición alcalina-subalcalina, la cual contiene la mayor parte del volcanismo histórico y actual de México. El campo se encuentra dentro de una caldera (Los Humeros), esta estructura tiene un diámetro de 14 km y contiene tres colapsos; Los Potrereros, Central y Xalapazco. Una de las principales características que presenta el campo geotérmico Los Humeros, es la elevada fracción de vapor de agua (alta entalpía) en los fluidos de descarga de los pozos, y debido a la interacción que existe entre los fluidos geotérmicos y la secuencia estratigráfica del sistema de la caldera de Los Humeros, la cual se manifiesta con la aparición y distribución de nuevos minerales, lo que ha generado que la concentración de HCl haya aumentado y con ello la generación de una salmuera moderadamente ácida (pH de 3 a 5), debido a ello algunos pozos han tenido que ser abandonados debido a la corrosión severa y la obturación de los mismos por la precipitación de estos nuevos minerales. Así surge la importancia de una caracterización química amplia de minerales hidrotermales y de la movilidad de elementos (Na+, K+, Ca2+, Mg2+, Cl?, Hg+, NH4+, SO42?, HCO3?), en el

sistema geotérmico de Los Humeros, y con ello tener una mejor comprensión de lo que sucede en la interacción agua-roca y las condiciones del fluido geotérmico que es minado, planificando así la explotación del recurso, en base a un modelado termodinámico de los fluidos geotérmicos, con la finalidad de reducir la corrosión severa y la obturación de los pozos.

SE06-13

## EXPLORACIÓN GEOTÉRMICA DEL COMPLEJO VOLCÁNICO DE ACOULCO : PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES Y ELABORACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN Y ANÁGLIFOS PARA EL ESTUDIO VULCANOLÓGICO Y ESTRATIGRÁFICO

Cisneros Guillermo<sup>1</sup>, Macías José Luis<sup>1</sup>, Avellán Denis Ramón<sup>2</sup>, Pola Anotio<sup>1</sup>, García Felipe<sup>1</sup>, Sosa Ceballos Giovanni<sup>1</sup>, Reyes Gabriela<sup>3</sup>, García Laura<sup>2</sup>, Osorio Susana<sup>2</sup> y Cardona Silvestre<sup>3</sup><sup>1</sup>Instituto de Geofísica, UNAM, Campus Morelia<sup>2</sup>Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM<sup>3</sup>Posgrado en Geociencias, UMSNH  
geo\_cis\_max@hotmail.com

El presente trabajo constituye el avance de los resultados de la evolución geológica de la caldera de Acoaculco ubicada en los límites de los estados de Puebla e Hidalgo. Acoaculco se ubica dentro del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano. Esta estructura yace sobre calizas del Cretácico pertenecientes a la Sierra Madre Oriental y rocas volcánicas del Mioceno, comprende decenas de aparatos volcánicos y fue contemporánea con vulcanismo del Campo Volcánico de Apan-Tezontepec. Para la generación del mapa geológico preliminar se procesaron imágenes satelitales Spot y LANSAT. Las imágenes del satélite Spot6 cubren un área de 60 X 60 km con una resolución de 6m multiespectral (con 4 bandas espectrales) y pancromática de resolución de 1.5m con una sola banda espectral. Las imágenes LANDSAT, cubren un área de ~185 km2 con una resolución de 15, 30, 60 y 100 m y contienen 11 bandas espectrales. Estas características proporcionan información litológica y estructural del área así como otros aspectos como humedad, vegetación, etc. Las combinaciones de banda están especificadas en orden rojo, verde, azul (RGB). Mediante el estudio en cada banda y su combinación se resaltaron variaciones de color, tonalidad y textura de las rocas, que en algunos casos pueden reflejar zonas de alteración hidrotermal, y por tanto de interés para detectar y delimitar áreas. En particular, la combinación de las bandas 7, 4, 2 (RGB) permitió discriminar los tipos de rocas y a la interpretación estructural. Las bandas 7,3,1 (RGB) ayudaron a diferenciar tipos de rocas, generalmente son representadas de color amarillo claro algo verdoso. Como resultados preliminares, se diferenciaron 14 unidades litológicas en el área de estudio. En particular en la parte central de la caldera se distinguen productos volcánicos muy alterados producto del hidrotermalismo. Entorno a la caldera se identificaron diversos productos que con modelos digitales de terreno no hubiera sido posible identificar. A partir de este análisis se construyó el mapa geológico preliminar que fue utilizado durante los trabajos de campo el cual fue modificado en el sitio.

SE06-14

## ESTUDIO GEOLÓGICO-ESTRATIGRÁFICO PRELIMINAR DE LA CALDERA VOLCÁNICA ACOULCO (CVA), NORTE DE PUEBLA, MÉXICO

Avellán Denis Ramón<sup>1</sup>, Macías José Luis<sup>2</sup>, Cisneros Guillermo<sup>3</sup>, García Felipe<sup>2</sup>, Osorio Susana<sup>1</sup>, Pola Antonio<sup>2</sup>, García Laura<sup>2</sup>, Reyes Gabriela<sup>3</sup>, Layer Paul<sup>4</sup> y Sánchez-Núñez Juan Manuel<sup>5</sup><sup>1</sup>Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM<sup>2</sup>Instituto de Geofísica, UNAM, Campus Morelia<sup>3</sup>Maestría de Geociencias y Planificación del Territorio, UMSNH<sup>4</sup>Geology and Geophysics Department, University of Alaska, Fairbanks, Alaska, USA<sup>5</sup>Instituto Politécnico Nacional, IPN  
denisavellán@gmail.com

La caldera volcánica de Acoaculco (19°56'N, 98°12'W) está localizada al extremo norte del estado de Puebla, a 20 km al noroeste del poblado de Chignahuapan. Esta caldera es de tipo resurgente con un perfil topográfico bajo y simetría sub-circular con un diámetro de ca. 12.6 km y una elevación máxima del borde del cráter de 700 m sobre el terreno circundante. La CVA ha estado activa desde el Plioceno temprano al Pleistoceno superior (1.27-0.24 Ma; López-Hernández et al., 2009) y ha sido contemporánea con el vulcanismo monogenético del Campo Volcánico Apan-Tezontepec (1.8 a 0.2 Ma; García-Palomos et al., 2002). En este estudio hemos realizado la cartografía detallada de la porción sur de la estructura en su parte interna y externa definiendo en tiempo y espacio las unidades volcánicas presentes. El relieve presenta colinas con alturas de hasta 100 m con pendientes bajas y disectadas por drenaje radial-subdendrítico a rectangular. Este drenaje está generalmente compensado por un sistema fallas normales con patrón predominantemente E-W que dan lugar a la formación de pequeños lagos. La estructura volcánica principal se encuentra delimitada por domos de lavas tipo culeé de composición riocácica, mesas de ignimbritas dacíticas y conos de escorias basálticas. Asimismo se ha delimitado las zonas con mayor alteración hidrotermal, la cual se concentra en la estructura interna, ubicadas en las unidades de domos de composición dacítica y lavas de composición andesítica-basáltica (donde Comisión

Federal de Electricidad ha ubicado sus pozos de exploración), las que se encuentran afectadas por el fallamiento normal regional.

SE06-15

## ESTUDIO VOLCANO-ESTRATIGRÁFICO DE CALDERAS CON POTENCIAL GEOTÉRMICO EN MÉXICO PARA EL CEMIE-GEO

Macías José Luis<sup>1</sup>, Sosa Ceballos Giovanni<sup>2</sup>, Corona Chávez Pedro<sup>3</sup>, García Felipe<sup>2</sup>, Robles Jasinto<sup>4</sup>, Saucedo Ricardo<sup>5</sup>, Pola Antonio<sup>6</sup>, Cisneros Guillermo<sup>7</sup>, Arce Saldaña José Luis<sup>8</sup>, Layer Paul<sup>9</sup>, Osorio Susana<sup>9</sup>, García Laura<sup>9</sup>, Sánchez-Núñez Juan Manuel<sup>10</sup>, Garduño Monroy Víctor Hugo<sup>3</sup>, Mendiola Fabiola<sup>2</sup> y Reyes Gabriela<sup>11</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geofísica, UNAM

<sup>2</sup>IGF, UNAM

<sup>3</sup>Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, UMSNH

<sup>4</sup>INAH, Morelia, Michoacán

<sup>5</sup>Instituto de Geología, UASLP

<sup>6</sup>UMSNH

<sup>7</sup>IGEOL, UNAM

<sup>8</sup>University of Alaska at Fairbanks, USA

<sup>9</sup>Posgrado de Ciencias de la Tierra, UNAM

<sup>10</sup>CIEMAD-IPN

<sup>11</sup>Posgrado de Ciencias de la Tierra y Planificación del Territorio, UMSNH  
macias@giofisica.unam.mx

En este proyecto se está llevando a cabo un análisis volcano-estratigráfico detallado de las calderas de Acoculco (Puebla), La Primavera (Jalisco), La Reforma y El Aguajito (Baja California Sur) las cuales han sido estudiadas o inclusive exploradas por la Comisión Federal de Electricidad y se han considerado con un cierto potencial geotérmico. Las dos primeras calderas forman parte del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano y tienen edades aproximadas de (1.27-0.24 Ma, Acoculco, López-Hernández et al., 2009) y (0.12-0.03 Ma, La Primavera, Mahood, 1980). En ambos casos el vulcanismo es de composición dacítica-riolítica, asociado a procesos formadores de calderas de colapso. Las calderas de La Reforma (1.34-0.9 Ma) y El Aguajito 0.5-0.7 Ma (Garduño-Monroy et al., 1993) han arrojado productos de composición riolítica principalmente. Estas últimas estructuras han sido menos estudiadas y se encuentran ubicadas al este del campo geotérmico de Las Tres Vírgenes, de edad más reciente. Para este trabajo se realizará un estudio geológico detallado de las unidades volcánicas, con apoyo de imágenes de satélite SPOT y Multiespectrales. El mapeo de las unidades y la reconstrucción estratigráfica estará apoyado con trabajo de campo y fechamientos radiométricos de <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar, para poder definir con mayor precisión la evolución de estos complejos, así como el mapeo de zonas de alteración hidrotermal, manifestaciones superficiales, etc. Mediante la química de minerales, química de rocas, isotopía y petrología experimental se definirán el origen del magma, sus zonas de almacenamiento antes de las erupciones (condiciones pre-eruptivas) y su conexión con el yacimiento geotérmico. Finalmente, se pretende definir con mayor precisión la ubicación del yacimiento geotérmico con la ayuda de otros estudios e información disponible de superficie y subsuelo como se ha hecho para otros campos geotérmicos como en Las Tres Vírgenes y los Azufres, Michoacán.

SE06-16

## GEOLOGÍA DE LA ZONA DE ARARÓ LIGADA AL CAMPO GEOTÉRMICO

Maciel Rivera Addí Emanuel<sup>1,2</sup>, Jiménez Haro Adrián<sup>2,3</sup> y Garduño Monroy Víctor Hugo<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico Superior de Tacámbaro, ITST

<sup>2</sup>CeMIEGeo

<sup>3</sup>Escuela de Ciencias de la Tierra, IPN

<sup>4</sup>Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, UMSNH  
addi\_semi@hotmail.com

La región de Araró Michoacán se encuentra en el borde sureste del lago de Cuitzeo que forma parte de un conjunto de depresiones lacustres que se encuentran a lo largo de una franja E-W del centro de México y forman parte del sistema Morelia- Acambay. En la zona de Araró se localiza un campo geotérmico de gran interés para desarrollar un campo de mediana y baja entalpía. Por ello es indispensable conocer la evolución vulcanológica y tectónica de esta zona, que permita realizar el desarrollo de un campo geotérmico. Es por esto que se ha realizado la geología a detalle de la zona, localizando y fechando las principales unidades litológicas, para construir la columna estratigráfica de la zona. Además se realizará un análisis de las fracturas y fallas por medio de estudios fractales, que ayudaran a entender la geometría del fallamiento en el subsuelo y proponer así un modelo conceptual para la perforación de pozos de extracción y reinyección del campo geotérmico. Aunado a esto se pretende localizar la fuente del termalismo en la zona, pues anteriormente se a inferido que esta es meramente ligada al gradiente geotérmico, mas sin embargo, los resultados parciales obtenidos hasta la fecha nos conducen a que el gradiente puede estar ligado mas a centros volcánicos. Por lo que se continuará con el estudio para poder definir o descartar centros volcánicos ligados a la geotermia presente, así como las estructuras que transportan o incluso alimentan el campo geotérmico.

SE06-17

## ESTUDIOS GEOFÍSICO DEL SUR DEL LAGO DE CUITZEO Y MODELO CONCEPTUAL DE LOS YACIMIENTOS GEOTERMICOS.

Mazzoldi Alberto<sup>1</sup>, Cifuentes Nava Gerardo<sup>2</sup> y Garduño Monroy Víctor Hugo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica, CeMIEGeo

<sup>2</sup>UNAM

amazoldi@ibl.gov

En la Cuenca del lago Cuitzeo se identifican tres principales sistemas de fallas de dirección E-O, NE-SO y NO-SE. Las estructuras NE-SO son las responsables del vulcanismo reciente, mientras que el sistema E-O es el que delimita el borde Sur del lago (así como el valle de la ciudad de Morelia, unos 20km hacia el Sur), es en este sector meridional del lago donde se quiere enfocar la investigación con el fin de desarrollar un campo geotérmico de media a baja entalpía, que pudiera proporcionar energía de bajo costo a agricultores, industriales y población. Generando además empleos para las comunidades y una autosuficiencia energética, utilizando de manera secundaria a los combustibles fósiles en el contexto de cambio climático. Además de servir como un análogo para proyectos futuros de igual índole en otras áreas del Cinturón Volcánico Transmexicano o en otros sitios con características similares. Encaminados hacia este objetivo el análisis geofísico de anomalías gravimétricas y geomagnéticas en el área de estudio puede ser de ayuda para la búsqueda del yacimiento geotérmico y la creación de un modelo hidrogeológico-estructural que justifique la presencia de diferentes manifestaciones geotérmicas (agua con T > 80°C). La zona de estudio se localiza al Sur del lago (cerca del poblado de San Agustín del Maíz), dentro del municipio de Tacámbaro. En el presente estudio se están recolectando datos de campo de anomalías gravimétricas y geomagnéticas, que se compararan, y actualizaran, los datos existentes. En este trabajo intentaremos construir un modelo geológico del área que podría aclararnos algunos puntos para una mejor comprensión de la explotación del sistema geotérmico en un futuro inmediato.

SE06-18

## ESTUDIOS GEOLÓGICOS Y GEOFÍSICOS LIGADOS AL CAMPO GEOTÉRMICO DE LA ZONA DE SAN AGUSTÍN DEL MAÍZ, MICHOACÁN, MÉXICO

Guevara Alday Jorge Alejandro, Mazzoldi Alberto y Garduño Monroy Víctor Hugo

Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, UMSNH

aguevaraaldaj@gmail.com

En el límite meridional del lago de Cuitzeo existen varios campos con manifestaciones geotérmicas que son el objetivo de diferentes sectores para el desarrollo de campos con energías alternas. Se han iniciado una serie de trabajos con la objetivo de conocer aspectos geológicos y geofísicos, que puedan ayudar al desarrollo exitoso de esta zona. Para ello se realizan trabajos de geología estructural con la finalidad de conocer el campo de esfuerzos que está afectando a las rocas donde se aloja el campo geotérmico. Se tiene una recopilación de eventos sísmicos donde ha sido posible deducir el campo de esfuerzos actual. Así mismo se cuenta con datos de mecanismos focales y de un monitoreo con GPS regional. Además de ello se están analizando las tendencias de las anomalías gravimétricas y magnetométricas, que pudieran estar relacionadas con las estructuras principales del campo geotérmico. Uno de los elementos a entender es si la actividad sísmica actual ayudaría a reabrir las estructuras que han sido selladas por la actividad hidrotermal. Estas últimas claramente expuestas en los campos geotérmicos de Araró, San Agustín del Maíz y Chucandiro. Las manifestaciones termales a nivel local no parecen tener un control estructural, sin embargo a nivel regional están conservan una tendencia E-W. Para complementar los estudios se realiza un estudio de TEMs, en las zonas de Araró y de San Agustín del Maíz que nos ayuden a comprender la geometría de las zonas de alteración y sus posibles relaciones con el fracturamiento y fallamiento de la zona.

SE06-19

## FLUID GEOCHEMISTRY AND MULTI-GAS SOIL SURVEY (CO<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>S) AT A PROMISSORY GEOTHERMAL HOT DRY ROCK (HDR) SYSTEM: THE ACOULCO CALDERA, MEXICO.

Peiffer Loic<sup>1</sup>, Bernard-Romero Ruben<sup>2</sup>, Taran Yuri<sup>3</sup>, Guevara Mirna<sup>1</sup> y Santoyo Edgar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Energías Renovables, UNAM

<sup>2</sup>Instituto de Geofísica, UNAM

lpeiffer@ier.unam.mx

The Acoculco caldera (Puebla, Mexico) has been identified by the Electricity Federal Commission (CFE) of Mexico as a potential Hot Dry Rock (HDR) geothermal system. Promising temperatures of ~300°C were measured at a depth of 2000 m during exploration well drillings, although no fluid reservoir was detected at depth. The high grade of geothermal alteration of the volcanic deposits observed in-situ induces low rock permeability, and acts as a caprock causing the quasi-absence of thermal manifestations within the caldera complex. Springs with close to ambient

temperatures are reported as well as hydrothermally altered soils, cold diffuse soil degassing and bubbling pools. In this study, results from field work campaigns including fluid sampling and multi-gas soil measurements using the accumulation chamber technique are presented. The objectives are to characterize the origin of the fluids using detailed chemical and isotopic analyses and to understand the degassing mechanisms. Chemical and isotopic ( $^{18}\text{O}$ - $^{17}\text{O}$ ) analysis of spring waters indicate a meteoric origin and the dissolution of  $\text{CO}_2$  and  $\text{H}_2\text{S}$  gases, whereas ratios of gas concentrations and stable isotopes ( $\text{N}_2/\text{He}$ ,  $3\text{He}/4\text{He}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$ ) reveal a magmatic contribution with both MORB- and arc-type signatures, which could be explained by an extension regime created by local and regional fault systems. A multi-gas flux survey including  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  and  $\text{H}_2\text{S}$  measurements was performed within the caldera. Measured fluxes were low, a consequence of the low permeability of the system. An attempt to interpret the origin and transport mechanism of these fluxes is proposed by means of  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  and  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$  flux ratios as well as by numerical modeling using the TOUGH2 code. Main results show that high flux values produced by advective geothermal degassing can be very localized and that heterogeneous permeability conditions can induce low advective  $\text{CO}_2$  flux values.

SE06-20

### ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL SUR DEL LAGO DE CUITZEO Y SUS RELACIONES CON LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS

Rentería Ortega Ana Victoria<sup>1,2</sup>, Jiménez Haro Adrián<sup>2,3</sup> y Garduño Monroy Víctor Hugo<sup>2,4</sup><sup>1</sup>Instituto Tecnológico Superior de Tacámbaro, ITST<sup>2</sup>CeMIEGeo<sup>3</sup>Escuela de Ciencias de la Tierra, IPN<sup>4</sup>Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, UMSNH  
anna2792@hotmail.com

La zona de estudio se encuentra localizada en la porción centro norte del estado de Michoacán, entre los paralelos  $19^{\circ}30'$  y  $20^{\circ} 0' 5''$  de longitud oeste, geográficamente colinda con el estado de Guanajuato. El origen tectónico de la cuenca de Cuitzeo la hace altamente sensible a la colmatación final. El estudio geohidrológico se centrará en la determinación de las estructuras geológicas principales que controlan el almacenamiento y flujo del agua subterránea, así como las zonas de recarga y descarga desde el punto de vista regional. También es importante analizar el funcionamiento de la cuenca como un sistema hidrológico integral de los sucesos del ciclo hidrológico, analizando las principales componentes hidrometeorológicas como precipitación, temperatura, evapotranspiración y la escorrentía. Se pretende hacer un estudio a detalle para identificar las litologías, ya que es necesario para la caracterización hidrogeológica y formaciones geológicas de la misma, así como de la litología de donde procedan los distintos cursos de agua, las redes de drenaje y las áreas de captación para saber cual es el área de recarga de campo geotérmico y cual es el periodo de recarga en eso se podrá definir el grado de filtración de agua y poder dar un margen del aporte que esta teniendo el campo geotérmico presente en la zona de Cuitzeo, cabe mencionar que el área de estudio cuenta con tres unidades geohidrológicas, la primera de ellas esta compuesta por los sedimentos fluviolacustres, la segunda unidad esta conformada por rocas de composición acida como lo es la ignimbrita y la tercera corresponde a las rocas andesíticas, estando estas dos últimas altamente fracturadas lo que beneficia altamente la recarga del acuífero que alimenta el campo geotérmico y si se conoce la disposición de las fracturas en el mismo se podrá realizar una buena planificación tanto como para la extracción del líquido como para su reinyección al campo geotérmico.

SE06-21

### ESTUDIO CINEMÁTICO DEL FRACTURAMIENTO, FALLAMIENTO Y SU RELACIÓN CON LOS CAMPOS GEOTÉRMICOS DEL SUR DE CUITZEO MCHOACAN, MEXICO.

Jiménez Haro Adrián<sup>1</sup> y Garduño Monroy Víctor Hugo<sup>2</sup><sup>1</sup>Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, IPN<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, UMSNH  
adrianjharo@hotmail.com

La porción sur del lago de Cuitzeo forma parte de un contexto tectónico complejo de tipo transtensivo que ha evolucionado desde el Mioceno superior hasta el Actual, relacionado al sistema de fallas Morelia-Acambay (SFMA) el cual se extiende en una franja de 300 km de longitud y agrupa una serie de estructuras de orientación preferencial E-W y ENE-WSW (Menella L, 2011). Este sistema de fallas afecta una serie de unidades volcánicas conformadas, hacia su base por rocas andesíticas fechadas en 18 Ma, que representan el basamento del área, al cual le sobreyace una unidad conformada por distintas secuencias piroclásticas de ignimbritas, y hacia la cima aparecen dos unidades diferentes, por un lado un vulcanismo reciente de composición intermedia a básica con edades que oscilan entre 2 ma y el Actual. En el área los segmentos de fallas de grandes dimensiones relacionados al SFMA son de tipo normal de orientación preferencial ENE-WSW estas afectan a las distintas unidades volcánicas y sedimentarias generando grandes bloques escalonados que caen hacia el norte principalmente y que por efecto de la geometría de sus planos de desplazamiento crean una rotación que bascula las unidades hacia el sur. En las imágenes de satélite y los modelos digitales de terreno se observa que en

esta zona los segmentos de fallas y fracturas del SFMA presentan geometrías en echelon de tipo antihorario que sugieren movimientos de fallas normales con un leve componente lateral izquierdo. Estas fallas mayores presentan múltiples fracturamiento y fallamiento secundario conformado por estructuras R, R', P, Y, y T principalmente, así mismo se observan numerosos indicadores cinemáticos (tectoglifos) que ayudaron a determinar la cinemática de los movimientos absolutos de las fallas como son: escalones en planos de falla, estructuras de media luna, clastos rotados, sigmoides, sistemas conjugados, horizontes desplazados y estrías sobre los planos de falla, entre otros. En la zona de estudio se observó una serie de fallas activas que cortan y desplazan suelos que son de tipo normal de escala meso estructural que están relacionadas a fallas mayores, con un rango de orientación preferencial de N05E a N25E con planos de alto ángulo con inclinaciones que varían entre  $60^{\circ}$  y  $90^{\circ}$ , el análisis de esfuerzos para estas fallas sugiere que el régimen tectónico es activo y que obedece a una transtensión con un leve componente de tipo sinistral que es concordante con el sistema de esfuerzos regional. La interacción de las grandes fallas con las rocas del basamento, el vulcanismo reciente y el campo de esfuerzos actuales están directamente relacionados al potencial geotérmico de los campos del sur de Cuitzeo, esta combinación de factores proporcionan un escenario óptimo para la permeabilidad, la conductividad térmica y el flujo de los fluidos.

SE06-22

### ESTUDIO GEOFISICO-GEOLÓGICO, DE ARARO, MICHOACÁN

Gómez Jose Joaquin, Garduño Monroy Víctor Hugo y Mazzoldi Alberto  
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, UMSNH  
jgc\_leonigma@hotmail.com

La zona de Araro forma parte de un campo geotérmico que ha presentado mucha incertidumbre para su efectivo desarrollo. Su exploración inicia desde los años 80's, sin embargo la comprensión geológica del yacimiento no ha permitido un correcto desarrollo. El CEMIE-Geo tiene como objetivo principal el desarrollo de este campo, por lo que ya se ha iniciado una explotación con sistemas híbridos (Geotérmico-Solar), que den más eficiencia al desarrollo de este campo de mediana entalpia. Muchos autores han considerado que este campo simplemente es una descarga del campo geotérmico de Los Azufres, sin embargo existen evidencias de alteración hidrotermal que sugieren que este campo es independiente al de Los Azufres. Para llegar a un entendimiento más cercano al real se están realizando trabajos geológicos y geofísicos con la finalidad de formular un modelo conceptual del campo. Los estudios más detallados son los geofísicos TEM, gravimétricos y magnetométricos, con ellos y la recopilación de datos del subsuelo se pretende realizar un modelo geológico geofísico que ayude a proponer la localización de nuevos pozos de explotación geotérmica y de reinyección. El desarrollo de este campo de mediana entalpia podría ser un modelo para el desarrollo geotérmico en otros sectores del país de mediana entalpia, como son los casos de los campos geotérmicos en Nayarit, Baja California, Puebla, entre otros.

SE06-23 CARTEL

### APLICACIÓN DE LA SIMULACIÓN NUMÉRICA EN YACIMIENTOS

Osorio Erick  
Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, IPN  
ing.eosorio@outlook.com

En la industria petrolera en su exploración y producción intervienen varias disciplinas en las cuales se puede mencionar: la Geofísica, la Geología, la Ingeniería de Yacimientos, la Ingeniería Petrolera e Ingeniería Civil. El hidrocarburo se puede encontrar en el subsuelo en trampas, estas pueden ser estructurales, estratigráficas o ambas. Estas acumulaciones se presentan en las partes porosas de la roca, a su vez estas rocas que principalmente pueden ser arenas, carbonatos (yacimientos naturalmente fracturados) y arcillas (shale-oil, shale-gas), y deben tener propiedades petrofísicas específicas como es la porosidad, permeabilidad, saturación de fluidos (agua, aceite y gas). El estudio de la roca-yacimiento se hace integrando las disciplinas de las Ciencias de la Tierra para garantizar la obtención y análisis de los datos que permitan desarrollar estos estudios. La mayoría de la información es obtenida mediante métodos indirectos, el único método directo es la toma de núcleos. Con la finalidad de obtener resultados acordes a las condiciones inherentes a la producción es inherente a la producción esperada de las reservas existentes en el yacimiento. Los ingenieros de yacimientos utilizan una herramienta que es la simulación para poder estimar el comportamiento del yacimiento a través de un tiempo determinado. Por medio de su aplicación es posible modelar el flujo de fluidos a través del espacio poro del yacimiento con mayor detalle. Aunque la simulación de yacimientos involucra una gran cantidad de variables y complejidades, tanto de ingeniería como de matemáticas, que afectan directamente con la precisión del resultado. Esto nos permitirá conocer cuál será su rendimiento en condiciones de producción específicas. La información que logra aportar el simulador tiene una gran relación con el aspecto económico y el de producción ya que permite conocer si el yacimiento es rentable para su explotación utilizando ciertas tecnologías asegurando un mayor aprovechamiento de recursos.

## SE06-24 CARTEL

**LAS SECUENCIAS VOLCÁNICAS DE CUITZEO LIGADAS AL CAMPO GEOTÉRMICO DE SAN AGUSTIN DEL MAIZ**

Trujillo Hernández Noemi<sup>1</sup>, Jiménez Haro Adrián<sup>2</sup> y Garduño Monroy Victor Hugo<sup>3</sup>  
*CeMIEGeo*

<sup>2</sup>*Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, IPN*

<sup>3</sup>*Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, UMSNH*  
 mimi\_aes@hotmail.com

En este trabajo se presenta la estratigrafía de los depósitos volcánicos y sitios con manifestación de fluidos hidrotermales en el poblado de San Agustín del Maíz, localizado al Sur del lago de Cuitzeo, Michoacán. En este campo geotérmico se han diferenciado tres grandes secuencias, en la base se aprecian dos contrastantes litologías, la primera forma lomeríos y se compone de andesitas muy fracturadas con texturas microporíricas, con intercalaciones de flujos piroclásticos; sobre de ellas se observan diferentes niveles de flujos piroclásticos color rosas, blancos y verdes que configuran extensas mesetas y que han sido fechadas del Mioceno. Sobre de ellas se desarrolla el campo volcánico monogenético que en la zona está representado por un volcán que guarda toda su estructura y es de composición andesítico basáltica. Del Mioceno superior y contemporáneo al vulcanismo se acumula una secuencia sedimentaria del lago de Cuitzeo. Todas estas cuatro litologías son afectadas por un intenso fallamiento y en conjunto forman el yacimiento geotérmico de San Agustín del Maíz. Los trabajos iniciales ya muestran evidencias de que el campo geotérmico de San Agustín del Maíz podría tener una influencia de magmatismo ligado a centros del vulcanismo monogenético del Plioceno-Holoceno.

## SE06-25 CARTEL

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y FRACTAL DEL FRACTURAMIENTO RELACIONADO A LOS CAMPOS GEOTERMICOS DEL SUR DEL LAGO DE CUITZEO**

Bermejo Santoyo Gerardo<sup>1</sup>, Jiménez Haro Adrián<sup>2</sup> y Garduño Monroy Victor Hugo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica, CeMIEGeo*

<sup>2</sup>*Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, IPN*

<sup>3</sup>*Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, UMSNH*  
 gerrard\_rm@hotmail.com

Al NE del estado de Michoacán se ubica el Lago de Cuitzeo que en su parte sur presenta manifestaciones hidrotermales que pueden ser importantes desde el punto de vista de desarrollo geotérmico de mediana y baja entalpia. Los fluidos en esta zona seguramente tiene una buena circulación debido a los medios porosos y al importante fracturamiento, las cuales están ligadas al Sistema de Fallas Morelia-Acambay que siguen una dirección preferente E-W y ENE-WSW. El estudio de estas estructuras es importante para conocer su comportamiento geométrico el cual depende de la resistencia de la roca y la intensidad de deformación. Con este estudio se pretende realizar un análisis del fracturamiento de la parte sur del Lago de Cuitzeo utilizando la técnica de la teoría fractal, la cual y de acuerdo a varios trabajos (Babadagli, 2002; Marrett et al., 1999; Turcotte, 2001; Barton y Larsen, 1985), las estructuras extensionales (fallas y fracturas) tienen un comportamiento auto-similar, es decir, su geometría se repite a varias escalas, para lo cual es necesario contemplar características como orientación, espaciamiento, apertura, densidad e intensidad del fracturamiento, esto se logra mediante la medición e identificación de fracturas en distintos puntos de la zona de estudio. Litológicamente el sur del Lago de Cuitzeo está conformado principalmente por Andesíticas e Ignimbritas donde el fracturamiento es de alto grado en las primeras, presentan regularmente 4 familias cuya familia principal la componen las fracturas de enfriamiento y las estructuras asociadas principalmente con el fallamiento. Con este trabajo se pretende conocer la distribución espacial, temporal y en profundidad del fracturamiento, elementos que serán relevantes en el diseño de pozos geotérmicos.

## SE06-26 CARTEL

**ESTUDIO DEL FRACTURAMIENTO Y FALLAMIENTO DE LA ZONA DE CUITZEO LIGADA AL CAMPO GEOTÉRMICO DE SAN AGUSTÍN DEL MAÍZ**

Olvera Garcia Emmanuel<sup>1</sup>, Jiménez Haro Adrián<sup>2,3</sup> y Garduño Monroy Victor Hugo<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>*Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica, CeMIEGeo*

<sup>2</sup>*Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, IPN*

<sup>3</sup>*CeMIEGeo*

<sup>4</sup>*Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, UMSNH*  
 manyto\_08@hotmail.com

El estudio de fracturas y fallas es muy importante en el análisis de un sistema geotérmico, debido a que estas estructuras actúan como conductos en el flujo de los fluidos. El campo geotérmico de San Agustín del Maíz se encuentra ubicado en la parte central del sistema de fallas Morelia-Acambay el cual controla la depresión lacustre de Cuitzeo, en la parte Sur-Central del lago de Cuitzeo. El campo se alinea E-O con otros campos geotérmicos de la zona formando el límite sur del lago (se podría incluir sobre esa línea el campo geotérmico en explotación de los Azufres). Las manifestaciones hidrotermales en este campo tienen también un dirección preferencial ENE-WSW. En la zona de estudio se han encontrado fallas normales

con orientación ENE-WSW principalmente y en menor proporción de dirección E-W. En el análisis del fracturamiento (geometría y distribución). Con la finalidad de entender las relaciones entre el fracturamiento-fallamiento y la distribución de los focos termales se ha realizado un levantamiento regional y de detalle de ellos, encontrando que a nivel regional guardan las tendencias ENE-WSW, sin embargo a nivel de detalle estas distribuciones nos son tan claras. En San Agustín del Maíz no se tiene claro si el yacimiento geotérmico corresponda a un flujo regional ligado a las fallas o esté relacionado con un centro volcánico, donde las fallas y fracturas solo sean los conductos con la superficie. Por otro lado existen varios pozos y norias que tienen aguas con temperaturas importantes, por ello se realizaron mapas de isotermas que nos ayuden a ver las tendencias y sus posibles relaciones con los elementos planares de las rocas volcánicas.