

Sesión especial

GEOTERMIA: ENERGÍA LIMPIA Y RENOVABLE

Organizadores:

José Manuel Romo Jones
Gerardo Carrasco Núñez
Victor Hugo Garduño Monroy
Luis Carlos Gutiérrez Negrín

SE08-1

GEMEX: COOPERACIÓN MÉXICO-EUROPA PARA LA INVESTIGACIÓN DE SISTEMAS GEOTÉRMICOS MEJORADOS Y SISTEMAS GEOTÉRMICOS SUPERCALIENTES

López Hernández Aída¹, Garduño Monroy Víctor Hugo¹, Vargas-Medina Julio¹, Romo Jones José Manuel², Prol Ledesma Rosa María³, Bruhn David⁴ y Flores Armenta Magaly⁵

¹Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, UMSNH

²Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE

³Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM

⁴Helmholtz Centre Potsdam, GFZ German Research Centre for Geoscience

⁵Gerencia de Proyectos Geotermoelectrónicos, Comisión Federal de Electricidad, CFE
aidalopher@gmail.com

Los sistemas geotérmicos explotados en todo el mundo son sistemas hidrotermales con características convencionales. Los métodos y tecnologías para su exploración y explotación están bien establecidos, y se utilizan de manera estándar en la mayor parte de los países que aprovechan sus recursos geotérmicos. Sin embargo, una gran cantidad de energía geotérmica no está asociada a sistemas hidrotermales y estos recursos no pueden ser explotados con las metodologías convencionales. Para el aprovechamiento de estos recursos no-convencionales existen todavía grandes retos científicos y técnicos que impiden plenamente su desarrollo económico. Ejemplo de ellos son los sistemas geotérmicos que poseen muy bajos índices de permeabilidad y elevadas temperaturas (EGS) o aquellos en los que existen fluidos supercríticos de alta temperatura y acidez (SHGS). Para desarrollar estas zonas se requieren procedimientos diferentes, mientras en los EGS se aplican técnicas ligeras de estimulación, en los SHGS se requiere desarrollar materiales y sistemas de medida que soporten las altas temperaturas, la corrosión y la erosión. El consorcio bilateral GEMEX fue creado para formular una propuesta conjunta en materia de energía geotérmica, está constituido por expertos mexicanos y europeos que sumarán experiencias acumuladas a lo largo de décadas de investigación y aplicación, a fin de desarrollar metodologías para resolver los retos que se presentan en un EGS y un SHGS. Para la aplicación de estas metodologías se eligieron dos zonas actualmente bajo la responsabilidad de la CFE, la caldera de Acoaculco para desarrollar un sistema mejorado (EGS) y Los Humeros para implementar tecnologías que permitan la explotación de los fluidos supercríticos que se han encontrado en la zona norte (SHGS). Los objetivos principales consisten en: incrementar el nivel de conocimiento en zonas con estas características para en un futuro aplicarla en regiones similares; reducir el riesgo de la perforación a base emplear técnicas de reconocimiento de las estructuras profundas con el fin de mejorar la predicción de la ocurrencia de los recursos geotérmicos y su calidad; diseño para la estimulación de la permeabilidad en Acoaculco con un enfoque multicriterio; recomendaciones para la terminación de pozos en Los Humeros de la zona norte, incluyendo la selección de materiales para instalaciones subterráneas y superficiales; finalmente el seguimiento de la evaluación y riesgos ambientales y sociales.

SE08-2

¿ES EL FRACKING O LA ESTIMULACIÓN HIDRAULICA UNA OPCIÓN ADECUADA EN LA GEOTERMIA DE CAMPOS VOLCÁNICOS Y ESCENARIOS TECTÓNICOS ACTIVOS?

Garduño Monroy Víctor Hugo
Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, Universidad
Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, INICIT-UMSNH, CeMIEGeo Prol-17
vhgardunom@gmail.com

El objetivo común de estas dos técnicas es modificar la permeabilidad de formaciones rocosas con el fin de facilitar la salida de un fluido para liberar la energía. En nuestros días, la fracturación en subsuelo se utiliza para: - La explotación de hidrocarburos no convencionales. - El desarrollo de reservorios geotérmicos profundos o EGS. Sin embargo, su aceptación en la sociedad ha causado un impedimento más en el aprovechamiento adecuado de la geotermia. Países como Francia, Alemania y Suiza han descartado toda posibilidad de usar estos métodos en la explotación de recursos energéticos, todo ello debido a sus efectos ambientales, por sus excesos en el uso de agua, incertidumbre en el papel de los químicos utilizados y en la sismicidad generada (M=3) La fracturación hidráulica SGF (shale gas fracking) tiene como objetivo aumentar la circulación de fluidos en esquisto con gas metano. La profundidad mínima de extracción es del orden del kilómetro, donde la temperatura de la roca oscila entre 50°C y 150°C, si se acepta el gradiente geotérmico medio terrestre de unos 30°C por kilómetro. En la Geotermia los EGS se localizan en campos volcánicos activos a profundidades entre 1000 y 3000 metros y a temperaturas superiores a los 300°C. Los escenarios de Petróleo y de Geotermia, son en extremo muy diferentes, los primeros se localizan en escenarios tectónicamente menos activos que los Geotérmicos, donde la actividad tectónica y volcánica generan deformaciones constantes y sellado de fracturas y fallas por fluidos geotérmicos en forma constante y rápida en el tiempo. En este trabajo se propone que en México se busquen escenarios menos invasivos e inciertos en la explotación de EGS, los campos geotérmicos han, están y sufrirán fracturamiento constante debido a la actividad sísmica y a la movilidad magmática, por lo que una herramienta podría ser la de encontrar las estructuras que son favorables al campo de esfuerzos actual que las puede mantener abiertas. Este campo de esfuerzos

puede ser el regional, el ligado a la isostasia o bien el generado por la actividad magmática y volcánica.

SE08-3

USO DE LA GEOLOGÍA ESTRUCTURAL COMO HERRAMIENTA EN LA DISMINUCIÓN DE RIESGOS ECONÓMICOS DURANTE LA EXPLORACIÓN DE YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS

Jiménez Haro Adrián¹ y Garduño Monroy Víctor Hugo²
¹Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica, CeMIEGeo
²Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, INICIT
adrianjharo@hotmail.com

La mayor parte de los campos geotérmicos en el mundo se encuentran en yacimientos donde la permeabilidad y el flujo de calor se encuentran dominados por la presencia de fallas y fracturas, siendo más severo en escenarios con rocas ígneas, debido a esto la comprensión del ambiente tectónico y las características estructural en cada uno de ellos es esencial para una planeación eficiente de las inversiones económicas durante la exploración de pozos. Actualmente muchos de los proyectos de exploración de yacimientos geotérmicos en etapa de pre factibilidad carecen de una planeación adecuada de sus recursos, los cuales se enfocan en la aplicación de múltiples técnicas de exploración de alto costo como son los estudios geofísicos Transitorios Electromagnéticos (TEM), Magnetotelúricos (MT), de Sísmica de reflexión, entre otros. Los resultados que ofrecen este tipo de estudios en la exploración de yacimientos geotérmicos es bastante bueno, sin embargo, cuando se desconocen las características tectónico-estructurales, la incertidumbre crece y se utilizan estos métodos en zonas que desde el punto de vista geológico estructural no representan sitios favorables para la existencia de yacimientos prometedores, dando como resultado un gasto innecesario de millones de dólares en estudios de exploración que no ofrecen escenarios satisfactorios para las personas o empresas que invierten en esta fuente de energía. Prueba de esta situación es el costo exagerado en los proyectos de prefactibilidad de zonas geotérmicas y además del bajo porcentaje en la localización de pozos geotérmicos exitosos. Durante los últimos años se han desarrollado numerosas técnicas basadas en el estudio de geología estructural que muestran resultados satisfactorios en la evaluación de zonas con potencial geotérmico. Algunas de estas radican en el estudio de los ambientes tectónicos y su relación con los yacimientos geotérmicos, otras basadas en la caracterización del fracturamiento mediante técnicas estadísticas y de la teoría de fractal, otros también se basan en el análisis de los escenarios estructurales favorables, e incluso en el análisis de los campos de esfuerzos y su relación con el flujo de fluidos, entre otros. Este tipo de estudios ofrecen resultados excelentes y un panorama amplio de las zonas con mayor potencial geotérmico en las cuales puede enfocarse la exploración geofísica, reduciendo de esta manera significativamente los costos de exploración y aumentando el éxito en la ubicación de pozos productores.

SE08-4

CALDERA DE LA PRIMAVERA; REINTERPRETACIÓN GEOLÓGICA Y NUEVAS PERSPECTIVAS

Macías Jose Luis¹, Sosa Giovanni¹, Corona Chávez Pedro², Saucedo Girón Ricardo³, Martí Joan⁴, Ocampo Díaz Yam Zul Ernesto⁵, Pola Antonio⁶, Sourisseau Delphine Roselyne Nathalie⁷, Sánchez Juan Manuel⁸, Bernal Juan Pablo⁹, Tinoco Zareth⁹, García Felipe⁹ y Cisneros Guillermo⁹

¹Instituto de Geofísica, UNAM

²ICT, UMSNH

³Instituto de Geología, UASLP

⁴CSIC-ICTJA, España

⁵Facultad de Ingeniería, UASLP

⁶ENES-Morelia, UNAM

⁷Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM

⁸CIEMAD, IPN

⁹Posgrado de Geociencias y Planificación del Territorio, UMSNH

macias@geofisica.unam.mx

La caldera de la Primavera, Jalisco ha sido objeto de estudios desde la década de los 80'. Estos estudios sentaron las bases de la estratigrafía (superficial y del subsuelo), cronología y geoquímica que después serían usados para considerar a la caldera como un prospecto geotermal generador de energía eléctrica. A partir del 2014 se ha llevado a cabo en la caldera de la Primavera una reinterpretación de la edad de sus productos, sus procesos volcánicos, sedimentológicos y petrológicos a través del Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica. El proyecto ha actualizado la cartografía geológica, la columna litoestratigrafía y las condiciones pre-eruptivas (P-T) del magma que originó el colapso caldérico, que ocurrió hace ~95,000 mil años. Los estudios previos habían definido una cartografía general de los domos, con diversas edades de K-Ar, química de las rocas e isótopos de Nb-Sr-Nd. Sin embargo, no existía una cartografía detallada de la caldera ni la cronología detallada de los depósitos piroclásticos, volcánoclasticos y lacustres asociados. La cartografía realizada hasta el momento se ha dividido en unidades pre, sin y post-caldera. De acuerdo con estudios previos y nuevos fechamientos de U/Th en zircones se confirma que estas unidades varían en edad de 150,000 a 40,000 años Antes del Presente. El vulcanismo más joven de La Primavera confirma que existe una fuente de calor reciente y que podría ser el origen de la actividad hidrotermal. El magma riolítico que alimentó a la Toba Tala se encontraba a unos 6 km de profundidad

a temperaturas cercanas a 680°C. La actividad post-caldérica fue muy volumétrica con diversas erupciones riolíticas. Este magmatismo ha sido ampliamente estudiado durante el proyecto. La importancia de este magmatismo radica en conocer la relación entre el yacimiento geotérmico y el reservorio magmático. Conocemos que el magma que generó el colapso de caldera estaba alojado a 680°C y 6 km de profundidad. Estos magmas pudieron estar alojados a mayor profundidad, a menor profundidad o a un nivel cortical similar pero en reservorios aislados del reservorio que generó el colapso. Actualmente nos encontramos en el proyecto investigando inclusiones de vidrio y realizando experimentos hidrotermales para determinar la profundidad de este magmatismo post-colapso.

SE08-5

GÉNESIS Y MECANISMO DE EMPLAZAMIENTO DE LA PÓMEZ GIGANTE, CALDERA DE LA PRIMAVERA, JALISCO

Tiinoco Murillo Zareth Sarai¹, Macías Vázquez José Luis² y Sosa Giovanni²¹Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, UMSNH²Instituto de Geofísica, UNAM Unidad Morelia
zarethzasa@gmail.com

Existen pocos depósitos de Bloques de Pómez Gigantes alrededor del mundo, la mayoría se encuentran asociados a erupciones subacuáticas ya sea en dorsales oceánicas o dentro de calderas lago, sin embargo no existe un consenso estructurado claro de cómo es su formación. En la Caldera de la Primavera es un complejo volcánico que forma parte del cinturón volcánico transmexicano y se encuentra ubicada al NW de la ciudad de Guadalajara y al interior se ubica un importante depósito de bloques gigantes de piedra pómez. Una serie de estudios geológicos, geoquímicos y geofísicos se han realizado con el objetivo de evaluar su potencial geotérmico, tanto por la CFE como por diversos investigadores. La caldera inició su formación hace 95 mil años con una gran explosión que emitió a Toba Tala, dejando una depresión semi-circular de ~11 km de diámetro que fue rellenada por depositación volcánico-sedimentaria. La evolución del lago fue interrumpida por una erupción explosiva en el fondo del lago que arrojó bloques gigantes de pómez gigante (P. G). La continuidad del lago siguió por un largo período de tiempo seguida de actividad volcánica llevo a la extrusión de una veintena de domos en la fractura anular en margen NE y los última actividad magmática en el arco Sur que van de los 60-25 ka. En este trabajo se centra en el depósito (P.G); El trabajo en campo ha levantado cerca de 110 puntos de control donde se midió el espesor del depósito que aparentemente se mantiene entre 4m en el exterior de la caldera y hasta 12 m en la parte central. Adicionalmente, se observó que la capa no está compuesta únicamente de pómez sino también de fragmentos líticos accidentales (rocas volcanosedimentarias) y ambos están sostenidas por una matriz rica en vidrio y ceniza (hialoclastita). Se recolectaron muestras de P.G Y Domo central Nehahuete y se hicieron fechamientos con zircones por el método de Ur/Th, obteniendo una edad de 89,871 ka para P.G Y 89,857 ka para Nehahuete. Los levantamientos en campo nos confirman que Domo Nehahuete corta a P.G, lo que nos sugiere que probablemente este se emplazó inmediatamente después de P.G. Además se encontraron 3 depósitos de caída subyaciendo al horizonte de P. G al que se le realizaron análisis granulométricos, componentes y morfología. La edad obtenida fue 60 -50 ka, con lo que se descarta que pudieran ser de P.G. Se realizaron también algunas laminas delgadas de la matriz de la P.G encontrándose algunas valvas de Diatomeas (Cyclotella meneghiniana, Denticula sp. y Navicula), para la interpretación paleo ambiental. Estas especies de diatomeas se encuentran en cuerpos de aguas bajas, menores de 1m, con una concentración iónica alta y un cinturón de macrofitas alrededor del lago, también se estima una alcalinidad de 7 aprox. Estas muestras de matriz se tomaron en la periferia, sin embargo al centro de la caldera indicarían un lago de hasta aproximadamente 100m según las observaciones sedimentarias realizadas en campo.

SE08-6

ERUPCIONES PLINIANAS ASOCIADAS A LA ACTIVIDAD POST-CALDERA DE LA PRIMAVERA, JALISCO

Sourisseau Delphine Roselyne Nathalie, Macías Vázquez

José Luis, Avellán Denis Ramón y Sosa Giovanni
Instituto de Geofísica, UNAM
s_delphine_64@hotmail.fr

La caldera de La Primavera se encuentra cerca de la intersección entre la Sierra Madre Occidental (SMO) y el Cinturón-Volcánico-Trans-Mexicano (CVTM) en la porción Occidental de la Faja Volcánica Trans-Mexicana. Esta estructura está asociado a la subducción de las placas de Rivera y Cocos por debajo de la placa de Norteamérica. La Caldera de La Primavera es un edificio de composición riolítica que tiene una historia eruptiva muy compleja ocurrida entre 120 y 28 ka (Mahood, 1980;1981). La caldera se formó hace 95 ka con la erupción que produjo a un depósito conocido como la ignimbrita Toba Tala, seguida de un colapso caldérico y la formación de un lago intracaldera; posteriormente ocurrió una erupción subacuática que origino al depósito conocido como Pómez Gigante. La actividad post caldera de tipo efusivo y explosivo fue bastante compleja y ha sido poco estudiada. La presente investigación está basada en trabajo de campo con la descripción de columnas estratigráficas y su correlación apoyada con fechamientos radiométricos de zircones y química de los elementos mayores y trazas. El horizonte marcador a partir del cual se realiza esta correlación es la Pómez Gigante la cual esta interestratificada

con sedimentos lacustres. Por encima de este nivel de pómez se han identificado los depósitos de al menos 7 erupciones de tipo plinianas y subplinianas ocurridas entre 77 y 57 ka de acuerdo con las edades modelo calculada con zircones. Estos depósitos están separados por paleosuelos y depósitos de lahar. Algunas evidencias de campo y las características estratigráficas indican que la posible fuente de los depósitos post-caldera emplazadas a partir de 77 ka se ubican en las estructuras de domos conocidos como San Miguel (92.0 -60.5ka; Mahood and Drake, 1982) y Las Planillas (61.3-60.5ka; Mahood and Drake, 1982) localizados al sur de la caldera. Las láminas delgadas y componentes muestran que estas erupciones tienen los mismos minerales (cuarzo>sanidino>anfíbol-clinopiroxeno+óxidos) y se pueden encontrar microfenocristales microlitos de biotita (=250µm). En el diagrama sílice contra álcalis totales (TAS) y SiO₂ vs K₂O de las caídas se clasifican como riolitas y rocas calco-alcálicas con una alta tasa de K₂O (72.5-74.7 wt. % de SiO₂; y 3.95-4.8 wt. % de K₂O). La pómez tiene muy pocos cristales, todas las caídas recientes emplazadas a partir de la erupción que ocurrió hace 58 ka son afíricas. Solo hay dos erupciones donde se puede encontrar fenocristales y cristales (2-10 % vol.).

SE08-7

ESTUDIO TECTÓNICO- ESTRUCTURAL DEL SECTOR ORIENTAL DEL GRABEN DE CHAPALA Y SU PAPEL EN LA COMPRESIÓN DE ESCENARIOS FAVORABLES PARA SISTEMAS GEOTÉRMICOS

Gaspar Patarroyo Tania Lucia^{1,2}, Garduño Monroy Víctor Hugo¹², Jiménez Haro Adrián³ y Guevara Alday Jorge Alejandro^{1,2}¹Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo²Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica, CeMIEGeo-P17³Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica, CeMIEGeo P17
taniapatarroyo@gmail.com

El potencial geotérmico de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) es bien conocido, sin embargo, no solo está ligado al vulcanismo inherente a esta, también a los escenarios estructurales que se desarrollaron; la relación vulcanismo-fallamiento es clara y a nivel regional en la FVTM ha estado controlada a través de un sistema tectónico de tres rifts: Tepic-Zacoalco (NE-SW), Colima (N-S) y Chapala (E-W) desde el Plioceno al Reciente. El rift de Chapala durante su evolución geológica ha presentado dos fases de deformación, la primera de tipo transensivo donde la extensión se acomodó mediante fallas laterales izquierdas y una segunda fase de fallamiento normal con una ligera componente lateral izquierda donde el vector de máxima extensión regional es dirección NW-SE. Desde un punto de vista tectónico-estructural, las estructuras ligadas al Graben de Chapala configuran un relevo con las estructuras del Sistema de fallas Morelia-Acambay, este extensional jog favoreció el desarrollo del Campo Monogenético Michoacán-Guanajuato y de estructuras con dirección preferencial NW-SE al oriente del graben como la Falla Ixtlán-Encinal. Esta última presenta un escenario estructural favorable con potencial geotérmico dada su geometría de relevo en sentido horario (que sugiere una componente lateral derecha), adicionalmente, esta estructura se intersecta con la Falla Nogales de orientación NE-SW, configurando un bloque que cae hacia el sureste. Este escenario promueve una zona de extensión en la intersección con la Falla Nogales y en el área de relevo de la Falla Ixtlán-Encinal favoreciendo el ascenso de fluidos hidrotermales.

SE08-8

ALTERACIONES HIDROTERMALES Y SINTERS ASOCIADOS A LA ACTIVIDAD TERMAL DE LA REGIÓN GEOTÉRMICA DE ARARÓ MICHOACÁN, CINTURÓN VOLCÁNICO MEXICANO

Vigil Barrientos Ana Julia¹, Rodríguez Díaz Augusto Antonio², Villanueva EstradaRuth Esther³, Bernard Romero Ruben¹, Ávalos Tapia David¹ y Rocha Miller Roberto¹¹Facultad Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León, UANL²UNAM³UNAM

anna.vigilb@gmail.com

En la actualidad hay una tendencia mundial al uso de energías renovables como la energía geotermia. Además, en México las políticas públicas y compromisos internacionales para la generación de electricidad a partir de energías limpias, fomentan la exploración y uso de la geotérmica del país. Gracias al contexto geológico con el que cuenta México como provincias volcánicas activas y escenarios tectónicos extensivos vigentes, se tienen sistemas geotérmicos de interés energético distribuidos principalmente en la Faja Volcánica Mexicana y en la Península de Baja California. Una de las regiones de interés geotérmico es la zona de Araró, ubicado en el centro-oeste de la Faja Volcánica Mexicana y dentro de un contexto tectónico extensivo activo. En la zona geotérmica existen manantiales termales con descargas entre 70 y 80°C, pozos con agua termal, zonas de alteración y depósitos hidrotermales. El flujo termal tiene un pH ligeramente neutro y es tipo sódico clorurado. Los rasgos más distintivos del sistema geotérmico son los depósitos de tipo sinter y la zona de alteración hidrotermal. La disposición de los depósitos y la alteración está influenciada por fallas de orientación NNW-SSE y E-W. Estudios petrográficos y mineralógicos revelan que los sinters son de tipo silíceo laminados con restos orgánicos vegetales y diatomeas, con microestructuras esferoidales, y

con la asociación mineral de ópalo A/CT, con ocasional diseminado de pirita. Los minerales de sílice y sus texturas indican que el depósito es relativamente joven con procesos diagenéticos iniciales. Las asociaciones minerales de alteración incluyen: ópalo, esmectitas, zeolitas, sulfuros yeso y barita. Adicionalmente en el sedimento mineralizado de las descargas termales se denota la presencia de pirita, arsenopirita y cinabrio. Las asociaciones minerales de alteración, depósitos de sinte y sedimento mineralizado son coherentes con la química del flujo hidrotermal. La presencia de sinte sugiere la presencia de un reservorio alrededor de los 200°C.

SE08-9

LOCALIZACIÓN, VOLUMEN Y COMPOSICIÓN DE LA CÁMARA MAGMÁTICA DEL GRABEN CALDERA DE SANTA INÉS "MODELO COMPARATIVO PARA EL CENTRO EMISOR ACTUAL DEL YACIMIENTO GEOTÉRMICO DE SAN AGUSTÍN DEL MAÍZ"

Trujillo Hernández Noemí, Jiménez Haro Adrián,
Gómez Álvarez Fidel y Garduño Monroy Víctor Hugo
CEMIE-Geo
mimi_aes@hotmail.com

En este trabajo se presenta un estudio vulcano-estratigráfico detallado de las ignimbritas de la porción sur del Lago de Cuitzeo, Michoacán. Nuestro estudio nos ayuda a sugerir la localización del centro emisor que ha originado dichos depósitos, así como también se ha estimado el volumen de las erupciones que se han cartografiado. Las ignimbritas de Cuitzeo con edades de 16 Ma han ascendido a la superficie mediante fallas normales de grandes dimensiones y de orientación preferencial ENE-WSW pertenecientes al Sistema de Fallas Morelia-Acambay (SFMA); estas estructuras delimitan el borde de una estructura caldérica tipo graben, este sistema de fallas actualmente controla la distribución del yacimiento geotérmico de San Agustín del Maíz. Los productos de la caldera se caracterizan por contener varias secuencias del Mioceno y que a veces son afectas por cuerpo intrusivos de carácter diorítico. Los estudios de técnicas analíticas como Difracción de Rayos X (DRX) y Fluorescencia de Rayos X (FRX) muestran que las ignimbritas contienen minerales de sanidina, albita y polimorfos de sílice tales como; cuarzo, tridimita y cristobalita, los cuales sugieren que el rango de temperatura de la cámara magmática es mayor a 900 °C y que puede alcanzar una temperatura de 1470 °C hasta el punto de fusión de la cristobalita (1713°C). También se identificaron minerales de alteración hidrotermal tales como: ankerita, magnetita y saponita; estos minerales pueden considerarse como registros de un antiguo yacimiento geotérmico de la zona de estudio que estuvo asociado a fluidos ricos en carbonatos y en hierro. Así mismo se han identificado vetillas de ópalos tanto en las ignimbritas como en el yacimiento de San Agustín del Maíz que han sido definidos mediante DRX. El estudio recurrente en el tiempo de los procesos volcánicos, tectónicos y alteraciones hidrotermales son parámetros básicos para establecer las condiciones idóneas de un nuevo yacimiento geotérmico. Con este trabajo presentamos las características de los campos geotérmicos fósiles que podrían ser un claro ejemplo de los yacimientos actuales.

SE08-10

CARACTERIZACIÓN DE LA MINERALOGÍA HIDROTHERMAL RELACIONADA A LA CINEMÁTICA DE FALLAS Y FRACTURAS EN LAGO DE CUITZEO, MÉXICO

Maciel Rivera Addí Emanuel, Garduño Monroy Víctor Hugo y Ostrooumov Mikhail
UMSNH, MGYPT y CEMIE-Geo P#17
addi.macriv@gmail.com

La permeabilidad de una roca evoluciona por efectos de esfuerzos tectónicos y térmicos, durante dicha evolución se generan movimientos tectónicos de tipo frágil (fallas y fracturas) que en combinación con las contracciones térmicas en la corteza terrestre, aumentan la permeabilidad; por el contrario la expansión térmica, la deformación tectónica dúctil y la deposición de minerales secundarios tienden a sellar la permeabilidad secundaria. En las fallas y fracturas se precipitan los minerales disueltos en los fluidos geotérmicos, esta deposición es originada por las variaciones en la temperatura y presión del fluido al ascender a la superficie. Los minerales neoformados rellenan y sellan los conductos adoptando la geometría de la falla y disminuyendo la permeabilidad en la misma. Es por ello la importancia de estudiar y entender el sistema de esfuerzos activo que controla una zona, ya que este será el que aportará los movimientos de apertura de las fallas y fracturas, manteniendo un flujo de agua constante en la zona. El estudio de la mineralogía hidrotermal en estas estructuras representa una base importante para reconocer las características de un sistema geotérmico. Del estudio de éstas se puede determinar la paragénesis de los minerales de alteración y sus características físico-químicas, temperatura, y variaciones del fluido, es por esto la importancia del caracterizar los tipos de alteración hidrotermal asociados a un sistema geotérmico ya que permite inferir la evolución del sistema termal y el campo de esfuerzos regional a través del tiempo y el espacio. En este trabajo se presentarán los estudios de los minerales neoformados durante la deformación frágil en todas las unidades volcánicas y sedimentarias del lago de Cuitzeo, relacionando estos resultados con la evolución hidrotermal de los campos geotérmicos de Araró, San Agustín del Maíz y de San Agustín del Pulque, Mich. Estos estudios podrían ser aplicados en todos los trabajos de exploración

geológica que contribuyan en aumentar la certidumbre en los trabajos de exploración geotérmica.

SE08-11

ESTUDIO HIDROLÓGICO Y GEOQUÍMICO DEL GRABEN DE CUITZEO, MICH., EMPLEANDO DATACIÓN DE 14C E ISOTOPOS DE 18O Y DEUTERIO - PARTE I

Rentería Ortega Ana Victoria, Garduño Monroy Víctor Hugo y Quijano Leon José Luis
UMSNH, MGYPT y CEMIE-Geo P#17
anna2792@hotmail.com

Con la nueva Ley Energética y los cambios en el uso de acuíferos por parte de CONAGUA, se ha generado una controversia en la explotación de yacimientos geotérmicos de baja y media entalpía. Por ello la caracterización de los acuíferos y de su recarga son aspectos neurálgicos en el desarrollo y aprovechamiento de recursos geotérmicos. Ahora la explotación de yacimientos geotérmicos de baja y mediana entalpía no han alcanzado los permisos para su explotación por parte de CONAGUA, ya que se solicita demostrar la no afectación por parte de la explotación geotérmica a los yacimientos circunvecinos. Este trabajo se ha dividido en dos partes, en la presente será enfocado a los estudios geohidrológicos y geoquímicos y el segundo a la modelización numérica. Teniendo como objetivo realizar una caracterización de los acuíferos y determinar su relación con el probable yacimiento geotérmico, mediante el análisis de datos obtenidos de CONAGUA con el fin de lograr comprender como se comporta los acuíferos en el graben de Cuitzeo, el tipo de recarga y su descarga de forma natural y la explotación que este ha sufrido esto con el fin de lograr comprender su abatimiento, el tiempo que este tardaría en restaurarse de ser el caso, y finalmente entender su comportamiento. Este estudio se basará con datos isotópicos del agua termal, así como de su datación por medio de 14C. El muestreo se realizó en pozos perforados por CONAGUA y en manantiales naturales, tanto de agua caliente como de agua fría. Las muestras se analizaron para establecer una comparación de los resultados propios del agua superficial y los del agua profunda, todo ello para conocer la interacción del agua meteórica con los fluidos del probable yacimiento geotérmico, así como los probables efectos que podría ocasionar la explotación de los fluidos hidrotermales en los acuíferos. Con esos datos se pretende delimitar no sólo la zona de recarga sino también el tiempo que le toma al agua infiltrarse, alcanzar el yacimiento, calentarse y salir a superficie por medio de fallas presentes en la zona.

SE08-12

EVIDENCIAS DE ACTIVIDAD GEOTÉRMICA DE LAGOS CRÁTER DE ALCHICHICA Y ATEXCAC, PUEBLA

Santos Juárez Raymundo Omar, Isradé Alcántara Isabel y Garduño Monroy Víctor Hugo
Universidad Michoacana de san Nicolás de Hidalgo, UMSNH
omar.gec20@gmail.com

Los lagos cráter de Atexcac y Alchichica se encuentra en la parte central de la cuenca lacustre Serdán-Oriental en el este del Cinturón Volcánico Mexicano, como parte de un campo monogenético disperso y aislado que consiste en volcanes maar, conos de ceniza basáltica y domos riolíticos. Se extrajeron núcleos cortos de ambos lagos con el propósito de detectar evidencias de actividad geotérmica. Con base en la estratigrafía y composición de los sedimentos, se identificaron 8 facies, de acuerdo a sus características y origen: a) facies detríticas y volcánicas y b) facies biogénicas. La identificación de facies sedimentarias en los cinco núcleos permitió, la correlación de estos, el establecimiento de las secuencias maestras o principales de los lagos de Atexcac y Alchichica, que abarcan 317 cm y 230 cm de profundidad. Las secuencias se construyeron utilizando los núcleos ALCHI-I y ALCHI-II en Alchichica y ATX-I, ATX-II Y ATX-III en Atexcac. La mineralogía en base a DRX del cráter de Alchichica destaca minerales como Aragonito, Cuarzo, Halita, Calcita, Magnetita, Cristobalita y minerales hidrotermales como la Hidromagnesita. En los sedimentos del lago de Atexcac las diatomeas exhiben buena preservación, pudiendo identificarse especies como *Coconeis placentula*, *Entomoneis costata*, *Epithemia adnata*, *Navícula trivialis* y *Neidium* entre otras, lo que sugiere un bajo tirante de agua y cierta concentración iónica durante el depósito. Alchichica por el contrario no presenta contenido de diatomeas, por lo que se infiere una alta alcalinidad en el agua que produjo disolución de las frústulas.

SE08-13

ESTUDIO DE LAS LITOFACIES DE LOS DEPÓSITOS DE TRAVERTINO EN RAPOLANO TERME, SIENA EN ITALIA Y DE TEHUCAN, PUEBLA EN MÉXICO: UNA HERRAMIENTA PARA CONOCER LA EVOLUCIÓN TECTÓNICA DE LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS DE BAJA TEMPERATURA

Olvera García Emmanuel¹, Garduño Monroy Víctor Hugo², Liotta Domenico³ y Brogi Andrea³¹Maestría en Geociencias y Planificación del Territorio, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo-CeMIEGeo²Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo-CeMIEGeo³Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Bari emmanuelog_08@outlook.com

Los Travertinos y tufa son carbonatos de agua dulce depositados a partir de manantiales y otros tipos de aguas que se encuentran saturadas en carbonato de calcio (CaCO₃). A pesar de que existe transición en estos dos tipos de depósitos, se pueden distinguir uno del otro en base a su génesis la cual se refleja en sus variedades texturales. El nombre travertino se da al depósito hidrotermal que se caracteriza por ser compacto, denso y blanco. Los depósitos de travertino son considerados indicadores tectónicos por lo cual es usado el término "Travitonics" para subrayar la estricta relación entre la deposición de travertino y el fallamiento, sugiriendo que la edad del travertino puede ser indicativa con la edad del fallamiento. También estos depósitos pueden dar información útil sobre la geometría y a menudo la cinemática de estructuras principales y sus estructuras menores relacionadas. Los ambientes de deposición de estos carbonatos son variados lo cual da lugar a diferentes litofacies con marcados cambios laterales y verticales. De manera general encontrándose cerca de la fuente depósitos cristalinos y en las zonas distales lodos calcáreos propensos a sufrir fluidización/licuefacción (e.g. conocido "por procesos de carga"). Rapolano Terme se localiza en la parte este de la cuenca de Siena, una depresión tectónica relacionada a la extensión Neogena que colapsa la zona interna de los Apeninos septentrionales. Dicha extensión dio lugar al emplazamiento de magmas, los cuales no se han enfriado completamente y son los responsables de las anomalías térmicas que provocan la actividad hidrotermal que da origen a los travertinos estudiados. En la zona de Rapolano Terme se encuentran varios depósitos de travertino que son explotados como rocas de construcción y ornamentales, en dos de estas canteras se realizó el análisis de las litofacies. Por su parte los depósitos de Travertino de la zona de Tehuacán también son utilizados para construcción y principalmente como rocas ornamentales debido a su belleza siendo conocidos internacionalmente como "Ónix Mexicano", sin embargo ónix se refiere a una variedad microcristalina de SiO₂ por lo cual este término es usado erróneamente. Estos depósitos se encuentran en la provincia morfotectónica de la Sierra Madre del Sur, encontrándose al norte el Cinturón Volcánico Mexicano y al este la falla Tehuacán-Oaxaca. En la zona de Tehuacán la fuente de calor que provoca los manantiales termales y los depósitos de travertino es desconocida. El resultado más destacable de este estudio es la detección de niveles deformados que se interpretan como sismitas en Rapolano, este resultado puede ser trascendente ya que hasta la fecha no existen reportes de estas deformaciones en los travertinos y además fortalece aún más la estrecha relación entre actividad sísmica y depósitos hidrotermales.

SE08-14

EVALUACIÓN DE LA PERMEABILIDAD MEDIANTE LA BINARIZACIÓN DE IMÁGENES Y TÉCNICAS FRACTALES EN EL CAMPO GEOTÉRMICO DE LAS DERRUMBADAS PUEBLA

Bermejo Santoyo Gerardo¹, Guillen Reyes Fernando Obed² y Garduño Monroy Víctor Hugo³¹Maestría en Geociencias y Planificación del Territorio, UMSNH-CeMIEGeo²Maestría en Ciencias en Ingeniería Física, UMSNH-CeMIEGeo³Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, UMSNH-CeMIEGeo bsgerardo@outlook.com

En las unidades rocosas las fallas y fracturas representan frecuentemente la conexión de la porosidad, primordialmente en rocas sedimentarias, caracterizadas por tener un buen índice de porosidad interconectado frecuentemente por fisuras que mejoran y aumentan la permeabilidad de dichas unidades. La zona de Las Derrumbadas, Puebla, se caracteriza por la presencia de manifestaciones hidrotermales relacionadas al emplazamiento de dos domos del mismo nombre y a los cuales se atribuye la fuente termal. El yacimiento geotérmico se considera alojado por las unidades sedimentarias que subyacen dichas estructuras volcánicas, mismas que son alteradas por cuerpos intrusivos dioríticos (diques) de dirección NW-SE los cuales marmolizaron parte de la secuencia sedimentaria. Estructuralmente estas unidades han sido afectadas por diversos sistemas de esfuerzos que han provocado pliegues, fallamiento y fracturamiento de las secuencias sedimentarias originado primordialmente por la fase compresiva de la Orogenia Larámide y fases distensivas posteriores que permitieron el ascenso de magmas y conformaron la base del yacimiento geotérmico. En la geotermia al igual que los yacimientos de hidrocarburos es indispensable la evaluación de la permeabilidad con fines productores considerando las características distintivas para cada tipo de yacimiento (e.g presión, temperatura, deposición de minerales) mismas que impactan en el aprovechamiento de estos recursos. Con esta finalidad el Centro Mexicano de

Innovación en Energía Geotérmica (CeMIE-Geo) desarrolla un algoritmo que permita evaluar la permeabilidad de los yacimientos geotérmicos a través de imágenes en 2D, dicho algoritmo está en función de la intensidad del fracturamiento el cual es dependiente de la resolución de la imagen y se basa en la detección de bordes de fracturas. Asociado al algoritmo se implementa también el análisis estadístico de las fracturas mediante técnicas fractales basado en el concepto de la auto-similitud a diferentes escalas el cual es complementado con el algoritmo cuya finalidad será la binarización de fotografías representativas del fracturamiento manteniendo las dimensiones originales de la apertura lo que nos permitirá obtener resultados más precisos sobre la permeabilidad dentro del yacimiento geotérmico. El análisis fractal del fracturamiento tiene como objetivo caracterizar a las fracturas en torno a su geometría, arreglo y distribución y la determinación de parámetros fractales relacionados con la permeabilidad, dicho análisis se desarrolla a partir de las propiedades de las fracturas como densidad, intensidad, espaciamiento, orientación, longitud y apertura y/o relleno mineral.

SE08-15

UTILIZACIÓN DE GRANATES EN LA CARACTERIZACIÓN DEL YACIMIENTO GEOTÉRMICO DE LAS DERRUMBADAS, PUEBLA

Dávalos Pérez Vélez Ana María¹, Garduño MonroyVíctor Hugo² y Guevara Alday Jorge Alejandro³¹Instituto Tecnológico Superior de Tacámbaro, ITST²Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica, CeMIEGeo-P17³Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra geocienciaad@gmail.com

Los domos de Las Derrumbadas se ubican en la parte centro de la Cuenca Libres – Oriental, se trata de dos domos de composición riolítica de 4.7 mil años; asociados a estos, existen numerosos depósitos volcánicos como avalanchas, flujos de bloques y cenizas y lahares. En conjunto el Domo Norte y el Domo Sur tienen seis domos resurgentes también de composición riolítica con un espesor no mayor a 700m; así mismo, se reconoció una serie de volcanes monogenéticos que por su actividad y estructura volcánica se dividen en: conos cineríticos, conos piroclásticos y anillos piroclásticos. El rango composicional del área de estudio abarca desde basaltos hasta riolitas, evidencia de un vulcanismo de tipo bimodal del Complejo Volcánico Las Derrumbadas y del Cinturón Volcánico Trasmexicano. En la zona, se tiene reportada la existencia de un yacimiento geotérmico de mediana entalpía con registros de geotermómetros por el método Orsat que sugiere una temperatura de fondo de 327°C. Acorde a la cartografía geológica y sus rasgos morfológicos, el Domo Norte es más antiguo que el Domo Sur, por lo que a este último se le relaciona con un mayor potencial geotérmico. Teniendo como evidencia datos recientes que muestran la existencia de fenocristales de granate en las lavas del Domo Sur, de tipo almandino, según la petrografía realizada. Geoquímicamente, tanto el Domo Norte como el Domo Sur muestran un empobrecimiento de los elementos High Rare Earth Elements (HREE), que son retenidos durante la cristalización de granates, siendo más notorio en el Domo Sur y sus domos resurgentes. Hasta ahora los únicos fechamientos realizados sugieren una edad del Pleistoceno, siendo inferior a los 100 000 años. En los yacimientos geotérmicos, el granate tiene un papel importante en la determinación de la temperatura esperada en el reservorio, sugiriendo bajas presiones y temperaturas mayores a 300°C, por lo tanto la existencia de granates en un vulcanismo tan reciente, podría indicar la presencia de un reservorio geotérmico activo y no muy profundo en el área de Las Derrumbadas.

SE08-16

ESTUDIO GEOCRONOLÓGICO Y MAPA GEOLÓGICO DE LA CALDERA DE ACOCULCO, PUEBLA

Avellán Denis Ramón¹, Macías José Luis², Layer Paul³, Pola Antonio⁴, García Felipe⁵, Cisneros Guillermo⁶, Sánchez Juan Manuel⁶, Sosa Giovanni⁶, García Laura⁶, Osorio Susana⁶, Reyes Gabriela² y Cardona Silvestre²¹Catedras CONACYT²Instituto de Geofísica, UNAM³University of Alaska at Fairbanks⁴ENES-Morelia, UNAM⁵CIEMAD, IPN⁶Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM denisavellan@gmail.com

El complejo volcánico de Acoculco se encuentra en la porción oriental del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano en el estado de Puebla. Este complejo fue estudiado por diversos investigadores y explorado con interés geotérmico por la Comisión Federal de Electricidad durante los años ochenta. Acoculco fue catalogado como un reservorio de tipo roca seca caliente (HDR). El complejo caldérico ha tomado relevancia en los últimos años debido a la necesidad de inversión en energía geotérmica. Es por esto que en el Proyecto 15 del CEMIE Geo se está realizando un estudio volcano-estratigráfico del complejo combinado con estudios petrológicos, geoquímicos, isotópicos y de las condiciones pre-eruptivas de presión y temperatura. La estructura fue descrita originalmente como una depresión subcircular de 12.6 km de diámetro con edades entre 1.27 y 0.24 Ma (López-Hernández et al., 2009). Topografía digital y ortofotos del INEGI junto con imágenes SPOT 5 fueron empleadas para crear mapas temáticos y una cartografía semidetallada

de la caldera. La reinterpretación de la geología realizada en décadas pasadas y cartografía a detalle revela que la caldera está emplazada sobre calizas cretácicas y rocas volcánicas del Mioceno. Se identificaron 45 unidades litoestratigráficas que se agruparon en unidades pre, sin y post-caldera y que comprenden un rango de edad que va de 10 Ma a 8,000 mil años Antes del Presente. La caldera fue formada por una erupción riodacítica ocurrida hace ~2.7 Ma, la cual fue seguida por múltiples erupciones con actividad efusiva (preferentemente de domos y productos piroclásticos) y conos de escoria. Esta actividad fue dividida en dos periodos principales: vulcanismo postcaldera temprano (2.6-2.1 Ma) y tardío (2-1 Ma). Finalmente se identificó vulcanismo extra caldera (0.9 Ma-Holoceno). Dentro del vulcanismo postcaldera resalta la reactivación explosiva de la poción este-noreste del borde caldérico donde se generó otro evento ignimbrítico. La edad del vulcanismo más reciente sugiere que el yacimiento geotérmico tiene una relación estrecha con un reservorio magmático y que por lo tanto se deben estudiar sus características químicas y de almacenamiento pre-eruptivo.

SE08-17

CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA EN EL SUBSUELO DEL CAMPO GEOTÉRMICO DE LOS HUMEROS Y SUS IMPLICACIONES EN LA EXPLORACIÓN GEOTÉRMICA

Carrasco Gerardo¹, López Martínez Margarita² y Hernández Javier¹¹Centro de Geociencias, UNAM²Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE carrasco.gerardo@gmail.com

Los Humeros es el tercer campo geotérmico en explotación en México con una producción de energía eléctrica ca. de 65 MW. Su ubicación en la parte trasera del sector oriental del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM), representa una anomalía, por tratarse de una zona activa del Cuaternario que interrumpe de manera abrupta al vulcanismo miocénico que caracteriza al sector septentrional del arco volcánico. La evolución del complejo caldérico involucra dos grandes episodios explosivos que dieron lugar a la formación de calderas de gran tamaño (calderas de Los Humeros y Los Potrereros) y una actividad más variada tanto en estilo eruptivo como en composición, abarcando desde el Pleistoceno medio hasta el Holoceno. El intenso vulcanismo y las estructuras generadas en asociación al mismo han configurado un patrón estratigráfico-estructural complejo que se expresa tanto en superficie como en el subsuelo. El análisis detallado de las secuencias litoestratigráficas que caracterizan el subsuelo en donde se aloja el yacimiento geotérmico de Los Humeros, permite generar una actualización de las columnas estratigráficas previamente propuestas. Adicionalmente, los resultados geoquímicos y geocronológicos de 40Ar/39Ar permiten efectuar correlaciones de dichas secuencias con la geología superficial de la caldera, con un rango de edades que oscilan entre 1.5 y 3 Ma. A pesar de la heterogeneidad litológica que presenta la geología del subsuelo, la columna estratigráfica de Los Humeros se puede sintetizar en los siguientes grupos: a) basamento prevolcánico, b) vulcanismo pre-caldérico (integrada por 3 unidades), c) vulcanismo caldérico (integrada por 3 unidades), d) vulcanismo post-caldérico. Cada uno de esos grupos está integrado por distintas unidades litoestratigráficas, que pese a su complejidad estratigráfica y variaciones laterales, y con el apoyo de información geocronológica, petrográfica y geoquímica, ha podido correlacionarse para refinar la columna estratigráfica representativa del campo volcánico y con ello lograr una caracterización más completa de las secuencias volcánicas que conforman el sistema geotérmico de Los Humeros, lo cual a su vez es de gran utilidad para orientar la prospección para su posible expansión a futuro.

SE08-18

ESTUDIO MINERALÓGICO Y CINEMÁTICO DEL COMPLEJO VOLCÁNICO TACANÁ, CHIAPAS Y SU RELACIÓN CON UN SISTEMA GEOTÉRMICO

Nájera Blas Sergio Manuel¹, Jiménez Haro Adrián², Gómez Álvarez Fidel², García Hernández Oscar Humberto³, Figueroa-Soto Ángel¹ y Garduño Monroy Víctor Hugo¹¹Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo, INICIT, CeMIEGeo Proyecto 17²CeMIEGeo Proyecto 17³Instituto Politécnico Nacional, ESIA Ticomán nbcheco@hotmail.com

El complejo volcánico Tacaná (CVT) pertenece al extremo NW del arco volcánico centroamericano (AVCA), en su basamento se presentan rocas metamórficas del Cretácico Temprano, así como granitos y granodioritas (Oligoceno-Mioceno), su estudio es de suma importancia dado que se encuentran en una zona activa limitada por tres placas tectónicas (Norteamérica, Caribe y Cocos), las dos primeras por el sistema de fallas lateral Izquierdo Polochi-Motagua y que son subducidas por la placa de Cocos. En este trabajo se plantea el realizar un estudio de geología estructural, de la sismicidad y de los Mecanismos focales para conocer su desarrollo a través del tiempo y que nos permita un mejor aprovechamiento en el sistema Geotérmico. Los estudios de campo se realizaron principalmente en el basamento, analizando rocas intrusivas de diferente composición como granitos las cuales tienen textura porfídica con mineralización principal de Fk, Qz y Pl, en algunos casos diseminados de piritita y epidota, granodioritas porfídicas con minerales de Qz, Pl, Hbl, que son cortadas por intrusivos dioríticos con texturas afaníticas de color

verde y contenidos diseminados de pirititas. En el contexto cinemático regional se analizaron los mecanismos focales reportados en el área por el Global CMT Project desde 1970 hasta el presente con diferentes magnitudes de tipo inverso, normal y lateral, pertenecientes a la tectónica activa en el área. A partir de perfiles de sismicidad perpendiculares y paralelo a la trinchera, se observa que los mecanismos de tipo inverso corresponden principalmente a la zona de acoplamiento sismogénico entre las placas Norte América y Cocos. Los mecanismos focales relacionados a fallamiento lateral y normal tienen profundidades mínimas de 40 km. El CVT se encuentra en medio del Graben Tacaná de dirección NE-SW, en donde las fallas y las fracturas actúan como conductos del flujo de fluidos en el sistema geotérmico, por lo cual se analizaron los diferentes mecanismos, encontrando tres diferentes direcciones que son NW-SE, NE-SW y N-S, por su parte los diques dioríticos manifiestan dos direcciones preferenciales NE-SW y WNW-ESE. Con lo anterior es conveniente poner atención a las condiciones geológico-estructurales para la identificación de un sistema geotérmico exitoso, ya que son herramientas que nos permiten interpretar el comportamiento para el flujo de los fluidos en los sistemas geotérmicos.

SE08-19

ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO DE COLAPSOS EN ZONAS VOLCÁNICAS COMO CRITERIO EN LA EVALUACIÓN DE ZONAS CON POTENCIAL GEOTÉRMICO

Guzmán Cervantes Consuelo Selene^{1,2}, Muñiz Jauregui Arturo³, Jiménez Haro Adrián^{2,4} y Garduño Monroy Víctor Hugo^{2,3}¹Instituto Tecnológico Superior de Tacámbaro, ITST²Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica, CeMIEGeo³Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, UMSNH, INICIT⁴Escuela Nacional de Estudios Superiores, ENES, UNAM Campus Morelia cnguzman_93@hotmail.com

Durante mucho tiempo los colapsos o procesos de remoción en masa han sido estudiados principalmente con la finalidad de determinar su grado de peligrosidad, delimitando zonas de riesgo mediante la caracterización de sus propiedades físicas geométricas y mecánicas, teniendo como objetivo salvaguardar zonas de población e infraestructura. En los análisis morfológicos realizados en los últimos años en campos geotérmicos en zonas volcánicas se ha observado una estrecha relación entre zonas con alto potencial geotérmico y los colapsos de estructuras volcánicas. Características en depósitos de colapso como bloques de roca sumamente alterados, matriz arcillosa producto de la caolinización, depósitos con tonos vari color, formación de cárcavas con valores altos de pendientes, drenajes complejos y cicatrices de colapso con el desarrollo de un drenaje complejo son algunas de las características morfológicas que sugieren una actividad geotérmica constante. Los colapsos en zonas volcánicas pueden ser desencadenados por múltiples factores que se clasifican en internos y externos, los primeros están directamente relacionados al crecimiento de una estructura volcánica, erupciones, o hidrotermalismo y los segundos a condiciones climáticas como lluvias extraordinarias, derretimiento de glaciares, y eventos tectónicos; o bien a una combinación de ambos. Uno de los factores más importantes en el colapso de estructuras volcánicas es la inestabilidad provocada por la alteración de la roca asociada a la interacción con fluidos hidrotermales. Esta interacción acelera el intemperismo físico y químico del cuerpo rocoso generando cambios en sus características reológicas, mineralógicas y mecánicas. Cuando el tiempo de interacción fluido-roca es lo suficientemente largo para debilitar el cuerpo rocoso, la estabilidad de éste se vuelve menor lo que provoca su colapsamiento por efecto de la gravedad. Bajo estas condiciones pueden generarse dos tipos de depósitos asociados que pueden ser avalanchas y flujos de escombros, los cuales pueden ser caracterizados mediante análisis morfológicos y morfométricos, el resultado evidencia de forma clara la relación entre estos procesos y las zonas volcánicas con potencial geotérmico. La importancia de este trabajo radica en que análisis de este tipo pueden ser utilizados en la detección temprana de zonas de interés geotérmico o en la etapa de pre-factibilidad para la evaluación de zonas volcánicas con potencial geotérmico.

SE08-20

ORIGEN DE LOS FLUIDOS EN EL CAMPO GEOTÉRMICO DE LOS HUMEROS, PUE., DETECTADO POR GASES NOBLES

López Hernández Aída¹, Pinti Daniele², Castro Clara³, Shouakar-Stash Orfan⁴, Hall Chris M.⁵ y Ramírez-Montes Miguel⁶¹Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo²GEOTOP, Université du Québec à Montréal, QC, Canadá³Dept. of Earth and Environmental Sciences, University of Michigan, USA⁴Isotope Tracer Technologies Inc., ON, Canadá⁵Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, Comisión Federal de Electricidad aidalopher@gmail.com

El campo geotérmico de Los Humeros, se encuentra en la parte oriental de la Faja Volcánica Mexicana, en un complejo volcánico caldérico que se generó por erupciones que tuvieron lugar entre 0.50Ma y 20ka. De acuerdo a los datos de los pozos perforados, el yacimiento geotérmico principal se aloja en las rocas volcánicas pliocénicas, que sobreyacen a un basamento formado por un complejo metamórfico paleozoico y rocas carbonatadas plegadas del Mesozoico. En enero de 2015, se

llevó a cabo un muestreo de gases nobles (He, Ne, Ar, Kr y Xe) en 22 pozos productores con el fin de obtener información sobre el origen de los fluidos y su circulación dentro del yacimiento. Adicionalmente se analizaron isótopos estables d2H, d18O and 87Sr/86Sr. Los resultados de d2H y d18O indican la mezcla entre agua meteórica de reciente infiltración y agua andesítica. Los resultados de la relación 3He/4He son relativamente homogéneos, con un valor promedio de 7.03 ± 0.40 RA (donde RA es la relación atmosférica de 1.382×10^{-6}). Estos valores corresponden a la zona entre el manto litosférico subcontinental (~ 6.5Ra) y la parte superior del manto (8Ra). Los valores de las relaciones 3He/4He y 4He/20Ne indican que la recarga actual es limitada, posiblemente sea del 1% del volumen total de los fluidos y principalmente ocurre en el norte de Colapso Central, donde las fallas del escarpe Los Potreros podrían desempeñar un papel como conductos permeables. En la parte central y sur del campo, las relaciones 40Ar/36Ar varían desde 507 a la 865, respectivamente, esto indica que en esta zona la recarga es poca y además existe la presencia de agua fósil que ha acumulado 40Ar radiogénico. Los valores de las relaciones 87Sr/86Sr varían de 0.70406 a 0.70885, lo que sugiere que el agua además de haber circulado en andesitas-basaltos, también circuló en el basamento calcáreo lo que dio lugar al enriquecimiento en argón radiogénico. Las relaciones de gases nobles Ne/Ar, Kr/Ar y Xe/Ar están fraccionadas debido a la ebullición y a la separación de fases simultánea. Algunas de las muestras analizadas presentan una relación positiva entre 40Ar/36Ar y Ne/Ar, Kr/Ar, Xe/Ar que sugiere la existencia de mezcla entre fluidos en ebullición y fluidos reinyectados enriquecidos en gases atmosféricos.

SE08-21

CARTOGRAFÍA DE LAS ZONAS DE FUSIÓN DEL MANTO SUPERIOR EN LA PENÍNSULA Y GOLFO DE CALIFORNIA: UN ENFOQUE COMBINADO A PARTIR DE LA GEOQUÍMICA DE GASES NOBLES (3HE/4HE) Y DATOS SÍSMICOS

Spelz Ronald¹, Negrete-Aranda Raquel², Hilton David³, Virrueta Cristian³, Téllez-Duarte Miguel⁴, Lupton John⁴, Evans Leigh⁴, Clague David⁵, Zierenberg Robert⁶, Herrera-Gutiérrez Angel Raúl¹, Neumann Florian² y González-Yajimovich Oscar¹

¹Universidad Autónoma de Baja California, UABC

²CICESE

³Scripps Institution of Oceanography

⁴NOAA

⁵MBARI

⁶UCDavis

rsplz@uabc.edu.mx

En zonas tectónicamente activas, la presencia de helio en fluidos hidrotermales con relaciones isotópicas de 3He/4He mayores que los valores de producción in-situ (~0.05 RA, donde RA = helio atmosférico ó 1.4×10^{-6}) indican la presencia de mezclas derivadas del manto las cuales actúan para transferir volátiles del interior de la tierra hasta la superficie. Por lo tanto, el gas noble He tiene el potencial para poder cartografiar aquellas regiones del manto que están experimentando fusión parcial –un fenómeno que también debe ser evidente a partir de datos de velocidad de las ondas sísmicas. Los altos valores de 3He/4He reportados a partir de manantiales y ventillas hidrotermales en la península y Golfo de California, respectivamente, nos han motivado a realizar un estudio más amplio de la región, a fin de evaluar la(s) relación(es) entre los isótopos de He y las imágenes geofísicas del manto a profundidad. Estudios previos en la península de Baja California (BC) reportan relaciones 3He/4He de 0.54RA para respiraderos submarinos someros (Punta Banda, 108oC, Suárez-Vidal, et al., 1982) y 1.3RA para manantiales hidrotermales (81oC) en Bahía Concepción (Forrest, et al., 2005). Nuestros nuevos análisis a partir de manantiales hidrotermales en el norte de BC, revelan la presencia de He primordial en las 12 localidades muestreadas a la fecha, siendo Puertecitos, en la costa oeste del Golfo de California, la localidad con la mayor proporción isotópica (1.73RA). Las relaciones 3He/4He son generalmente menores en la costa Pacífico, siendo Sierra Juárez la localidad con la menor contribución de helio proveniente del manto (5% o 0.11RA). Por lo tanto, las tendencias generales sugieren un aumento de la señal de He derivado del manto en dirección Oeste-Este a través de la península de BC. En el Golfo de California, nuestros análisis de fluidos colectados en campos hidrotermales recientemente descubiertos en la cordillera de Alarcón (Meyibo, 350oC) y cuenca Pescadero (Auka, 250-290oC) arrojan valores promedio de 8.24RA y 7.87RA, respectivamente, típicos de MORB's (Spelz et al., 2015). Estas razones son mayores que los valores reportados para la cuenca de Guaymas (6.95RA, Lupton, 1983), indicando que la señal de helio primordial proveniente del manto aumenta en dirección norte-sur a lo largo del eje del Golfo. Las relaciones isotópicas de helio presentadas en este estudio tienen una excelente correlación con la estructura de velocidades en el manto (Wang et al., 2009 y DiLuccio et al., 2014). Las variaciones en la velocidad de las ondas superficiales a través de la corteza y manto superior en BC, han sido interpretadas como anomalías de baja velocidad asociadas a zonas de fusión parcial y de ascenso dinámico del manto. Los datos aquí presentados, ligados con el análisis de otros indicadores geoquímicos de la desgasificación del manto (e.g., CO2), permitirán una caracterización regional más detallada de la distribución de las zonas de fusión parcial en el manto, facilitando así la evaluación del potencial geotérmico de la región.

SE08-22

UNA METODOLOGÍA PARA ESTIMAR VARIACIONES TEMPORALES DE LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA UTILIZANDO DATOS MAGNETOTELÚRICOS

Cortés Olaf Josafat¹, Romo Jones José Manuel² y Gómez-Treviño Enrique¹

¹Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE

²Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica, CeMIEGeo

ocortes@cicese.edu.mx

El método magnetotelúrico (MT) ha sido ampliamente utilizado para investigar la resistividad eléctrica del subsuelo en problemas tectónicos así como en la exploración de recursos naturales. En años recientes, se ha incrementado la necesidad de herramientas geofísicas para el monitoreo temporal de experimentos de inyección de fluidos en campos geotérmicos, secuestro de CO2, proyectos de fracturamiento, etc. Los métodos electromagnéticos, particularmente el método MT, pueden convertirse en una herramienta valiosa para este tipo de estudios debido a su sensibilidad a los cambios en la resistividad del subsuelo. Diversos autores reportan casos de estudio en donde se han observado cambios en las respuestas superficiales asociados a la presencia de los fluidos inyectados. Sin embargo, la mayoría de estos estudios únicamente analizan los cambios registrados en las variables observadas en la superficie, particularmente en la fase y eventualmente en la resistividad aparente de la impedancia, sin realizar una estimación de las variaciones en las resistividades de la estructura geoelectrónica. Esto se debe principalmente a que los datos superficiales pueden estar afectados por una serie de factores adicionales que pueden llevar a falsas estimaciones de cambios temporales o espaciales en el subsuelo, además de que que se requiere de un conocimiento muy preciso de la estructura geoelectrónica antes del evento o experimento que la va a perturbar. En este trabajo proponemos una metodología para la estimación de variaciones temporales de resistividad en una estructura geoelectrónica, removiendo la distorsión en los datos observados a partir del tensor de fase y de la solución cuadrática de invariantes. Además, proponemos una nueva técnica para estimar cambios en la resistividad del subsuelo a partir de los cambios en las variables observadas libres de distorsión, aplicando un esquema de inversión regularizada en 1D. Probamos el método propuesto con datos sintéticos y con datos MT observados en el Valle de Mexicali, antes y después del sismo de Mw 7.2 ocurrido en el 2010, así como con datos registrados en forma continua por estaciones semi-permanentes de monitoreo electromagnético colocadas en esta misma zona.

SE08-23

CARACTERIZACIÓN ESTADÍSTICA DEL RUIDO SÍSMICO Y CONSTRUCCIÓN DE LEYES DE POTENCIA DE LOS COCIENTES ESPECTRALES PARA EXPLORACIÓN GEOTÉRMICA

Figueroa-Soto Ángel¹, Sánchez-López Zoila¹, Garduño Monroy Víctor Hugo¹, Clemente-Chávez Alejandro², Vázquez Rosas Ricardo³ y Mendoza Ponce Avith⁴

¹Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, INICIT-UMSNH

²División de Investigación y Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro.

³Catedrático Conacyt, Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, INICIT-UMSNH

⁴Instituto de Geología, UNAM

angfsoto@gmail.com

El ruido sísmico de fondo está compuesto de vibraciones de baja amplitud en la superficie de la tierra, que generalmente son causados por los cambios en el ruido no coherente en los registros sísmicos provenientes principalmente por el movimiento del viento, el ruido ambiental, los instrumentos de registro o las actividades humanas entre otros fenómenos (Xu et al., 2012; Yilmaz, 2001; Zhong et al., 2015). Las vibraciones detectadas en la superficie de la tierra se componen típicamente de ondas de cuerpo y superficiales. Se ha estimado que más del 70 por ciento de la energía total del ruido sísmico proviene de las ondas superficiales (Toksoz and Lacoss, 1968). Aunque la forma de onda y la amplitud de estas vibraciones pueden variar con la ubicación y el tiempo, se supone que éstas son estadísticamente estables durante un cierto período de tiempo y espacio. Por lo tanto, para describir su comportamiento se pueden utilizar procesos aleatorios estacionarios (Aki, 1957) o procesos estocásticos Gaussianos (Zhong et al., 2015). Se sabe que el ruido sísmico de fondo no es estrictamente estacionario, por lo que es importante realizar un análisis estadístico de los registros de ruido sísmico previo a la construcción de modelos de velocidades como las técnicas de autocorrelación o tomografía sísmica. Zhong et al. (2015) propusieron una metodología para investigar las propiedades del ruido de fondo para prospección sísmica caracterizando la Gaussianidad, la densidad espectral de potencia y la correlación espacial para diferentes ambientes geológicos. Por otro lado, por medio de la construcción de cocientes espectrales de registros sísmicos es posible determinar los efectos de sitio a partir de la medición de registros de ruido sísmico (p. eg. Nakamura, 1989; Lermo and Chavez-García, 1994; Chávez-García et al., 2007; Clemente-Chávez et al., 2014). El cociente de las componentes elimina la función de transferencia del sismómetro y proporciona una medida objetiva de las características mecánicas del medio a través del cual las ondas sísmicas se propagan. La dimensión fractal de los cocientes espectrales es un indicador del grado de criticidad de la corteza en el sitio de instalación de las estaciones sísmicas por lo que es posible determinar el grado de fracturamiento o porosidad del sitio (Signanini y De Santis, 2012). Presentamos un análisis de ruido sísmico, en tres zonas geotérmicas estudiadas en el marco del P-17 del CEMIEGeo

en el estado de Michoacán: Ixtlán de los Hervores, Araró y San Agustín del Maíz, con la finalidad de caracterizar la estacionalidad de los registros como función del tamaño de ventana. Para cada tamaño de ventana determinamos la probabilidad de que el registro sea estacionario por medio de una prueba de estacionalidad tanto en tiempo como en la densidad espectral de potencia. Los resultados indican que los registros sísmicos se pueden considerar estacionarios cuanto la ventana de tiempo es mayor a 5 horas. Se determinó la dimensión fractal y exponente de Hurst de los cocientes espectrales. En general las dimensiones fractales tienen valores entre 1 y 2 para las zonas de estudio.

SE08-24

ENHANCED SEISMIC TOMOGRAPHY OF A CALDERA FOR GEOTHERMAL ASSESSMENT

Calò Marco¹ y Tramelli Anna²¹Instituto de Geofísica, UNAM²Instituto Nacional de Geofísica y Vulcanología de Italia, INGV
calo@geofisica.unam.mx

Las calderas y los volcanes activos representan los sistemas geológicos más relevantes para el desarrollo de actividades geotérmicas. En el marco de un proyecto financiado por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica de la UNAM y en colaboración con el Instituto Nacional de Geofísica y Vulcanología de Italia, se propone construir modelos geofísicos utilizando métodos de tomografía sísmica pasiva mejorada para reconstruir la distribución 3D de velocidad de los primeros 4 km de una caldera. Se planea aplicar el método de doble diferencia (Zhang y Thurber, 2003) para obtener modelos de velocidad de las ondas P y S y una localización muy fina de los sismos complementado con un post-procesado llamado WAM (Weighted Average Model; Calò et al., 2009, 2012, 2013) que permitirá mejorar la resolución y la fiabilidad de los modelos obtenidos. En WAM, muchos modelos calculados con diferentes parámetros son unificados en un modelo final único, donde la distribución del parámetro considerado es el resultado de una media ponderada de los diferentes modelos. La caldera de Campi Flegrei en Italia es un ejemplo de sistema volcánico activo con un elevado potencial de explotación geotérmica localizado en una región densamente poblada. Lo que se quiere lograr es duplicar la resolución de los modelos existentes (2 km) para describir las estructuras más finas y planear las actividades de perforación de los pozos geotérmicos. En este trabajo se presentarán los aspectos metodológicos y los resultados preliminares de la tomografía sísmica pasiva mejorada de la caldera.

SE08-25

MONITOREO DE CAMPOS GEOTÉRMICOS EN EXPLOTACION MEDIANTE GRAVIMETRÍA DE ALTA RESOLUCION

Del Razo González Abraham^{1,2} y Garduño Monroy Víctor Hugo^{2,3}¹Instituto Politécnico Nacional, IPN²Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica, CeMIEGeo-P17³Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, UMSNH
adelrazog@outlook.com

A nivel mundial se implementó esta técnica en los campos geotérmicos Bulalo (Filipinas), Rotokawa (Nueva Zelanda) y Tiwi (China) dando buenos resultados en la detección del contraste generado por el steam cap, el contraste de temperaturas producido por la reinyección y el agotamiento del recurso geotérmico. Debido que esta técnica es producto del análisis de los cambios de gravedad en periodos de tiempo, es necesario establecer estándares de medición para poder hacer una correcta comparación, evitando al máximo obtener información ruidosa que pueda afectar el análisis. Para tener los mejores resultados es recomendable considerar una distribución de estaciones regular a lo largo del tiempo, una densidad de datos considerable y un alto control de calidad en la adquisición de los mismos; realizando el levantamiento mediante GPS diferencial (dGPS), realizando una correcta estimación de la deriva instrumental mediante loops, para su posterior corrección y tener en cuenta corrección por marea y corrección por aire libre para alta resolución. Este trabajo es un aporte en el desarrollo de una metodología para una correcta planeación, la optimización de gastos de operación y un mejor manejo de los recursos geotérmicos en México.

SE08-26

APLICACIÓN DE DATOS AEROMAGNÉTICOS COMO HERRAMIENTA EN LA CONSTRUCCIÓN DEL MAPA DE PROVINCIAS GEOTÉRMICAS, P02, DEL CEMIE GEO. CASO DE ESTUDIO

Pita de la Paz Carlos¹, Sánchez Galindo Alfredo¹, García Pérez Sergio José¹, Villanueva Estrada Ruth Esther², Rocha Miller Roberto², Rubio Ramos Marco A.² y Rodríguez Díaz Augusto Antonio²¹Geotem Ingeniería S.A de C.V.²Instituto de Geofísica, UNAM
cpita.paz@gmail.com

La magnetometría es un método geofísico potencial de fuente natural cuyo objetivo principal es medir las desviaciones locales del valor normal del campo magnético terrestre (anomalías magnéticas) atribuidas a las propiedades magnéticas de las rocas., en las que el contenido de minerales ferromagnéticos es el parámetro principal que condiciona la intensidad de susceptibilidad magnética. La aplicación de este método con objetivos específicos de exploración geotérmica, se basa en la relación a profundidad entre la temperatura y el efecto magnético de las rocas; denominado temperatura de Curie (TC). Este término se refiere al punto crítico de temperatura (580°C para la magnetita) a partir de la cual, los materiales pierden sus propiedades magnéticas transformándose en paramagnéticos, bajo la consideración de que los materiales adquieren sus propiedades magnéticas a temperaturas inferiores a la TC. La profundidad a la que se alcanza la TC (PTC), representa la frontera entre el material magnético receptivo y la estructura paramagnética en un área de estudio característica. Para estimar dicha profundidad, se asume que las anomalías magnéticas son causadas por un ensamble de prismas verticales como idealización de una distribución de fuentes magnéticas arbitrarias y no correlacionables. Esta distribución se define a través de la información magnética de campo y es determinada mediante análisis espectral con el objetivo de estimar la PTC. Este procedimiento ya ha sido reportado en varios trabajos relacionados con el análisis espectral. La aplicación de esta metodología involucra trabajos referentes a la Faja Volcánica Trans-Mexicana (FVTM) y cuyo objetivo es la investigación de la estructura termal de la corteza usando el cálculo de profundidad a la isoterma de Curie. Los datos aeromagnéticos utilizados para la estimación de profundidad a la isoterma de Curie en la FVTM corresponden a la cartografía geofísica aeromagnética generada por el Servicio Geológico Mexicano (SGM); los cuales están disponibles al usuario a un bajo costo. Para este trabajo la empresa GEOTEM Ingeniería S.A de C. V realizó la compra de los datos y llevó a cabo el reprocesamiento de la información magnética con el objetivo de obtener un mapa de gradiente geotérmico a partir de estimaciones en profundidad de la Isoterma de Curie para la caracterización termal de la FVTM. El método adoptado para estimar la PTC, se basa en el análisis espectral de la información magnética. Tal procesamiento de cálculo exige la preparación de una serie de mallas que sirvieron de dominios magnéticos y consistió en la generación de ventanas de análisis de diferentes dimensiones (desde 15 x 15 km, hasta 350 x 350 km) con el objetivo de obtener valores asimilables en el cálculo de profundidades del basamento hipotético magnético. En este trabajo se muestran algunos de estos resultados para el reconocimiento de la estructura termal de la corteza como información complementaria y valorable en la construcción del mapa de provincias geotérmicas del proyecto P02 del CeMIEGeo.

SE08-27

MODELADO EN 2D DE LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA EN LA ZONA GEOTÉRMICA DE CERRO PRIETO, UTILIZANDO DATOS MAGNETOTELÚRICOS

Oliver Ocaño Francisco Miguel, Romo Jones José Manuel,
Gallardo Delgado Luis Alonso y Pérez Flores Marco Antonio
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE
foliver@cicese.edu.mx

Entre las propiedades físicas más significativas de las rocas presentes en los sistemas geotérmicos y que aportan información valiosa para la exploración y explotación se encuentran la conductividad eléctrica, además de otras propiedades físicas como la densidad y la susceptibilidad magnética. La conductividad eléctrica se encuentra directamente relacionada con la permeabilidad y el contenido de fluidos en el sistema y con la propia conductividad eléctrica de los fluidos. Existen diferentes técnicas geofísicas utilizadas para obtener imágenes de la conductividad eléctrica del subsuelo en un sistema geotérmico y con ello, determinar la profundidad y extensión del yacimiento. Esta información es fundamental para la caracterización de las estructuras geológicas que controlan el flujo del fluido hidrotermal. El principal objetivo de este trabajo es utilizar datos magnetotelúricos para obtener modelos en 2D de la conductividad eléctrica en cinco perfiles localizados en los alrededores del campo geotérmico de Cerro Prieto (CGCP). Adicionalmente el objetivo del trabajo es utilizar conceptos novedosos que se han desarrollado recientemente en CICESE para obtener datos libres de distorsiones galvánicas superficiales, uno de los problemas más comunes cuando se procesan datos magnetotelúricos en 2D. Una vez que los conjuntos de datos están "corregidos" por estas distorsiones superficiales (con excepción del corrimiento estático), se realiza la inversión 2D de cada perfil. Para la inversión utilizamos un algoritmo regularizado que lleva a la solución más simple (navaja de Occam). Los perfiles interpretados consisten en tres perfiles regionales de 25-30 km de longitud con estaciones cada 2-3 km de separación, localizados al norte, al sur y al este del CGCP. Los otros dos perfiles

son más locales, de entre 5 y 7 km de longitud, con sitios separados cada 1-2 km, uno en la zona de Tulechek y el otro en el Ejido Nuevo León. En este trabajo se presentan los modelos 2D obtenidos así como el ajuste a los datos observados y se hace una interpretación preliminar de la distribución de la conductividad eléctrica que se obtiene en cada modelo.

SE08-28

ESTIMACIÓN DE LA ISOTERMA DE CURIE EN LA ZONA DE COMONDÚ, BAJA CALIFORNIA SUR – RESULTADOS PRELIMINARES

Jiménez Miramontes José Antonio, Flores Soto Xochitl, Sánchez Zamora Osvaldo y Prol Ledesma Rosa María
Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM
 ja.jimenez.mi@gmail.com

Con datos aeromagnéticos proporcionados por el Servicio Geológico Mexicano (SGM) se estimó la profundidad de la Isoterma de Curie en la zona de Comondú ubicada en el estado de Baja California Sur para correlacionar con información de geología y geoquímica obtenida con anterioridad. La geología de la zona está conformada principalmente por rocas ígneas lo cual da indicios de que la zona puede ser factible para la exploración geotérmica debido a la actividad volcánica. El área de análisis se dividió en tres ventanas de 60 km por 60 km y se siguió la metodología propuesta por Okubo y Bhattacharyya en la que se utilizan las pendientes de las curvas generadas a partir del espectro radial de potencia de la señal magnética para calcular las profundidades del centroide y la cima del cuerpo magnético. Siguiendo la metodología anterior y mediante una ecuación que relaciona las profundidades anteriores se calcula la profundidad en la que se encuentra la base del mismo cuerpo magnético, lo cual se puede traducir en la profundidad a la que se encuentra la Isoterma de Curie, que es la temperatura a la cual los materiales pierden sus propiedades magnéticas. Para la zona de Comondú la Isoterma de Curie varió entre los 4 km y los 6 km aproximadamente.

SE08-29

ANÁLISIS ESPECTRAL DE DATOS AEROMAGNÉTICOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA BASE DE LA FUENTE MAGNÉTICA EN LA ZONA DE PUERTECITOS Y EL VOLCÁN PRIETO EN BAJA CALIFORNIA NORTE

Velasco Mauricio¹, Flores Soto Xochitl², Sánchez Osvaldo² y Prol Ledesma Rosa María²
¹Facultad de Ingeniería, UNAM
²Instituto de Geofísica, UNAM
 velascozmauricio@gmail.com

Continuando con el proyecto de la elaboración de mapas de gradiente geotérmico y flujo de calor para la República Mexicana, se presentan las estimaciones de las diferentes profundidades de la estructura magnética para la zona de Puertecitos y el Volcán Prieto, en el estado de Baja California Norte, mediante el análisis espectral de los datos aeromagnéticos adquiridos al Servicio Geológico Mexicano. La anomalía magnética de campo total que se analizó de la zona fue dividida en 2 ventanas una de 64x64 km, la cual abarca el área de estudio completa, y otra de 45x45 km que únicamente abarca la zona del Volcán Prieto. Las profundidades estimadas de la base de nuestra fuente magnética varían entre los 4.3 y los 6.7km lo que hemos podido correlacionar preliminarmente con la geología de la zona la cual está dominada por procesos asociados a la formación del Golfo de California que están representados por la denominada Provincia Volcánica de Puertecitos (PVP). La Provincia Volcánica de Puertecitos se caracteriza por una sucesión de depósitos volcánicos lo que aportaría la fuente para el desarrollo de la actividad geotérmica de la zona. Por su parte el volcán Prieto junto con algunos derrames andesíticos son las manifestaciones más recientes de la PVP. Es un volcán monogenético de 280 m de altura localizado en la costa central de la PVP y dentro de la estructura de colapso.

SE08-30

RESULTADOS PRELIMINARES DEL ESTUDIO GEOFÍSICO DE LA ESTRUCTURA INTERNA DE LA CALDERA SILÍCICA LA PRIMAVERA, JALISCO

Almaguer Joselin¹, López Loera Héctor¹ y Macías Vázquez José Luis²
¹Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., IPICYT
²Instituto de Geofísica, UNAM
 almaguerjoselyn@gmail.com

La caldera de La Primavera está ubicada a 15 km al oeste de la ciudad de Guadalajara (Jalisco, México). Se trata de estructura volcánica de composición riolítica del Pleistoceno tardío, situada en la porción occidental de la Faja Volcánica Transmexicana y ligeramente al norte de la intersección de los rifts Colima, Chapala y Tepic-Zacoalco. Dichas estructuras volcánicas poseen firmas geofísicas particulares las cuales proporcionan información tanto de su estructura como su evolución. Se llevó a cabo un levantamiento geofísico en la caldera volcánica La Primavera el cual forma parte del proyecto P15 denominado "Exploración geotérmica de los complejos volcánicos de Cerritos Colorados, Acoculco y El Aguajito-La

Reforma" enfocada al estudio de la capa estructural del campo geotérmico. El estudio consistió en la realización de varios perfiles en distintas direcciones a través de la estructura volcánica, con un total de 171 mediciones gravimétricas, magnéticas, topográficas y 135 de susceptibilidad magnética con una separación promedio de 0.5 km entre ellos. Se midieron 9 sondeos magnetotélúricos (MT) en un rango de frecuencias entre los 100 – 0.001 Hz aproximadamente con una distancia promedio de 1 Km de separación con un periodo de adquisición de 1 a 3 horas para frecuencias altas y 18 para frecuencias medias. Se procesaron datos aeromagnéticos y gravimétricos satelitales, mostrando la presencia de una anomalía asociada a un cuerpo intrusivo de dimensiones (?50 Km²). La información de los métodos potenciales mediante prospección terrestre se empleó como apoyo en la interpretación de estructuras tanto de origen volcánico como tectónico, los resultados obtenidos muestran anomalías que claramente se relacionan con el sistema de fallas y lineamientos estructurales de mayor relevancia desde el punto de vista geotérmico debido a la asociación con algunas de las manifestaciones termales relevantes en la zona. A partir de mediciones MT se pudo definir con mayor exactitud la estructura profunda por contrastes de resistividad en un modelo 2D, proyectando un perfil de orientación N-S donde el evento más sobresaliente es una cámara magmática somera y la migración de la actividad volcánica hacia el exterior de la caldera a través del sistema de fallas anteriormente mencionado.

SE08-31

ESTIMACIÓN DE PROFUNDIDADES Y MODELIZACIÓN 2D DE ANOMALÍAS MAGNÉTICAS LIGADAS A CUERPOS INTRUSIVOS COMO POSIBLES FUENTES DE CALOR EN ZONAS GEOTÉRMICAS DE BAJA ENTALPÍA; EL CASO DE ARARÓ, MICHOACÁN

Gómez José Joaquín¹, Mazzoldi Alberto², Guevara Alday Jorge Alejandro¹, Del Razo González Abraham¹ y Garduño Monroy Víctor Hugo¹
¹Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, UMSNH
²Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica, CeMIEGeo
 jgc_leonigma@hotmail.com

El empleo de la magnetometría en las primeras etapas de exploración geotérmica se ha vuelto de gran importancia debido a los alcances de este método en el mapeo de cuerpos y estructuras en el subsuelo que controlan el ascenso y distribución de fluidos hidrotermales; así como su relativo bajo costo de implementación. El método no sólo se limita a la interpretación cualitativa de simples anomalías magnéticas, sino que también permite obtener un análisis cuantitativo a partir de gradientes direccionales totales (señal analítica, (Nabighian, 1972, 1984; Roest et al., 1992)) para delineación de cuerpos y estructuras; e inversiones directas e indirectas (Deconvolución de Euler (Thompson 1982, Reid et al., 1990), Deconvolución de Werner (Dobrin, 1976; Hartman et al., 1971), análisis espectral (Blakely, 1995; Ruiz e Introcaso, 2001 y 2004); y el método de aproximación por láminas de Talwani (Talwani et al., 1959, y Talwani and Heitzler, 1964)) para la estimación de profundidades y modelización 2D de los cuerpos causantes de las anomalías. Las técnicas de inversión de datos geomagnéticos han sido de gran utilidad en diversos trabajos de prospección, tanto en minería para el mapeo de cuerpos mineralizados de interés económico (p. ej. Rodríguez-Galván 2010; J.O. Amigun et al 2012; Torres-Gaytán 2013), como en la investigación para la cartografía de fallas y cuerpos ígneos en el subsuelo (Alatorre-Zamora et al 2012; Ndougsa-Mbarga et al 2012) y/o delimitación de terrenos tectonoestratigráficos (p. ej. García-Pérez y Urrutia-Fucugauchi 1997). El uso de estas metodologías de inversión en zonas geotérmicas de baja entalpía se justifica debido a los grandes contrastes de susceptibilidad magnética que existen entre las zonas de alteración y los posibles cuerpos intrusivos que acercan el calor a la superficie. De esta forma, en el presente estudio se emplean éstas metodologías en la zona geotérmica de Araró, porción Este del lago de Cuitzeo, lo cual permite estimar profundidades y modelar las anomalías con el objetivo de tener un mejor entendimiento del sistema geotérmico y dar paso a la utilización de otros métodos geofísicos para la elaboración de modelos conceptuales.

SE08-32

CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO GEOTÉRMICO CONCEPTUAL 3D A PARTIR DE INVERSIÓN DE DATOS TEM'S, MAGNÉTICOS Y GRAVIMÉTRICOS DE SAN AGUSTÍN DEL MAÍZ, MICHOACÁN, COMO BASE PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LA ETAPA DE PERFORACIÓN

Mastache Román Edgar Agustín¹, Garduño Monroy Víctor Hugo², Guevara Alday Jorge Alejandro² y Gómez Cortes José Joaquín¹
¹Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica, CeMIEGeo P-17
²Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, UMSNH
 ing-geofisico-mastache@live.com.mx

San Agustín del Maíz (SAM) se encuentra ubicado en el estado de Michoacán, México, en la parte sur del borde del lago de Cuitzeo. Geológicamente se localiza dentro del Arco Volcánico Transmexicano (AVTM), afectado por el sistema de fallas Morelia-Acambay (SFMA); esta zona es de gran interés ya que, de acuerdo a estudios realizados por parte de la UMSNH y la CFE, se infiere la existencia de un

reservorio de mediana a baja entalpía. Los datos térmicos registrados en superficie en campañas recientes realizadas por CeMIE-Geo P17 en las manifestaciones de SAM, se observan temperaturas promedio de 93° C y por parte de los estudios de CFE de geotermometría estima una temperatura promedio de 200° C a profundidad. Con el objetivo de caracterizar la distribución de los fluidos hidrotermales de las manifestaciones antes mencionadas y ubicar la fuente geotérmica que las produce, se decidió realizar estudios geofísicos de tipo Transitorios Electromagnéticos (TEM) y estudios magnetométricos, así como utilizar los datos gravimétricos adquiridos por parte de CFE y PEMEX. El producto de los datos geofísicos obtenidos en 2D, muestran anomalías geofísicas asociadas a la fuente geotérmica y la distribución de los fluidos geotérmicos, sin embargo, para comprender como se encuentra distribuida espacialmente la fuente y cómo se comporta la zona de ascenso (upflow), los perfiles obtenidos fueron remodelados para darles una perspectiva 3D. Por esta razón al modelo 3D generado a partir de varias metodologías geofísicas fue alimentado además con datos de geotermómetros obtenidos por CFE, con el objetivo de crear un modelo conceptual y calcular el potencial de energía geotérmica que puede explotarse de acuerdo a los niveles de confianza desde un punto de vista pesimista y optimista mediante el uso de la tabla de cálculo Geothermal Power Capacity de Cumming, W., 2000. Y la recopilación de datos de Wilmarth y Stimac que se utiliza para estimar la densidad de potencia. La estimación de capacidad de energía geotérmica que se calcula mediante esta técnica se ha utilizado desde el 2000 para evaluar la capacidad de recursos, así como la incertidumbre en la etapa de exploración y evaluación de perforación. Este enfoque funciona por analogía directa y es rentable para las decisiones de exploración temprana, sin embargo, para disminuir la incertidumbre es recomendable alimentar el modelo con diversos geo-datos. Publicaciones hacen hincapié en el uso de modelos conceptuales en este tipo de evaluaciones (por ejemplo, IGA Service GmbH, 2014; USDOE, 2014). De esta forma Comming (2016) establece que esta técnica es útil como estrategia para la prospección geotérmica temprana.

SE08-33

MODELO TÉRMICO Y DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN LA CALDERA TULANCINGO-ACOCULCO, PUEBLA

Avenidaño-Cortés Javier^{1,2}, Gómez-Arias Efraín^{2,3}, Romo Jones José Manuel^{2,4}, Gómez-Treviño Enrique^{2,4} y Barón-Sevilla Benjamín⁵
¹Posgrado en Ciencias de la Tierra, División de Ciencias de la Tierra, CICESE
²Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica, CeMIEGeo
³Catedrático CONACYT, División de Ciencias de la Tierra, CICESE
⁴División de Ciencias de la Tierra, CICESE
⁵División de Oceanología, CICESE
 javendan@cicese.edu.mx

El interés por desarrollar investigación en fuentes de energía renovable, económicamente viables, se ha incrementado recientemente y la geotermia es una de las fuentes generadoras más prometedoras, enfatizando específicamente en los Sistemas Geotérmicos Mejorados (Enhanced Geothermal Systems EGS). La caldera de Tulancingo-Acocolco, reconocida por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) como un sistema geotérmico de roca seca caliente, puede ser un candidato potencial para el desarrollo de un campo geotérmico mejorado. Con información reportada en la literatura de las propiedades termofísicas vinculadas a las unidades de roca que integran las columnas litológicas de los pozos exploratorios EAC1 y EAC2 perforados en la zona, se construyeron modelos térmicos en 1D puramente conductivos con un enfoque orientado al estudio de un EGS. Las variaciones en el comportamiento de temperaturas apuntan hacia una marcada sensibilidad del modelo al parámetro asociado con la conductividad térmica de las rocas. Por otra parte, se realizó una campaña para medir y obtener datos MT en 10 sitios colocados sobre 2 perfiles orientados casi perpendicularmente, de manera que los pozos exploratorios quedaran ubicados lo más cercano a algún sitio de medición. Los modelos 1D de conductividades eléctricas obtenidos se generaron usando una inversión tipo Occam, con los datos de 2 sondeos adyacentes a los pozos. En los modelos se observan zonas de baja resistividad a profundidades comprendidas entre los 150 y 300 metros. Este trabajo presenta los resultados al comparar el comportamiento de los modelos térmicos con los modelos de conductividades eléctricas, de una manera local en la zona correspondiente a los pozos EAC1 y EAC2 en el área de estudio.

SE08-34

ELABORACIÓN DE UN MODELO 3D A TRAVÉS DE TOMOGRAFÍA PARA CARACTERIZAR LAS ARCILLAS SATURADAS DE FLUIDOS HIDROTERMALES EN RANCHO NUEVO

García Hernández Oscar Humberto¹, Mastache Román Edgar Agustín² y Garduño Monroy Víctor Hugo³

¹Instituto Politécnico Nacional, Escuela de Ingeniería y Arquitectura Ticomán, IPN ESIA TICOMAN, CeMIEGeo
²Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica, CeMIEGeo
³CeMIEGeo, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
 racso-87@live.com

En el ejido de Rancho Nuevo localizado a 8 km al este de la ciudad de Celaya en el mes de abril del 2014, sin ningún escenario previo, brotó una manifestación hidrotermal. Por otro lado la ciudad de Celaya está siendo afectada por procesos

de Subsistencia por Fallas Creep, debido a la sobre explotación de su acuífero, reactivando y generando un sistema de fallas normales con orientación NNW-SSE, con tasas de hundimiento de 6 a 10 cm/año. Ambos asentamientos se encuentran en una planicie de relleno que contiene sedimentos, lacustres y aluviales pertenecientes al Valle de Celaya. El objetivo del estudio está enfocado en elaborar un modelo 3D para caracterizar las arcillas saturadas por los fluidos de la manifestación, a partir del método eléctrico de tomografía, mediante la obtención de las resistividades del subsuelo para obtener secciones 2D. Se adquirieron 9 líneas de tomografía con una resolución vertical de 12.5 m y horizontal de 25 m, después se calcularon las resistividades obtenidas mediante el software ZonRes2D dando como producto las 8 secciones 2D, las cuales ahora muestran una mejor distribución de las resistividades observadas, datos que fueron utilizados para la inversión de las resistividades. Se obtuvieron secciones 2D de resistividad aparente, las cuales representan las resistividades más cercanas a la realidad, que muestran valores del orden de entre 1 a 25 Ohms, salvo el caso de las líneas M4 y M9 con resistividades de 0.5 a 6 Ohms y de 1 a 2.5 Ohms. El modelo 3D se generó a partir de la unión e interpolación de las 9 secciones 2D invertidas mediante el programa Voxler. Como resultado el modelo 3D, los datos geológicos de subsuelo, las temperaturas de pozos nos permite entender desde una mejor perspectiva el comportamiento de los fluidos hidrotermales bajo el subsuelo, ya que se puede observar que las anomalías de baja resistividad son representativas de las arcillas con una mayor saturación de fluidos hidrotermales, debido a que estos tienen minerales disueltos provenientes de las rocas por donde transitaban, el modelo también arroja una máxima concentración de las más bajas resistividades (~1 Ohm) en la parte oeste del modelo justo debajo de la manifestación, por lo que se puede ver la geometría o estructura del flujo de dichos fluidos. Estas anomalías presentan cierto alineamiento de N-S, el cual tiene correspondencia con las fallas de la ciudad de Celaya con orientación NNW-SSE, por lo que la estructura por donde están ascendiendo los fluidos puede estar asociada con el proceso de Subsistencia por Fallas Creep y también al Sistema de Fallas Taxco-San Miguel de Allende con la misma orientación NNW-SSE.

SE08-35

INTEGRACIÓN DE METODOLOGÍAS GEOFÍSICAS, GEOQUÍMICAS Y GEOLÓGICAS PARA LA EVALUACIÓN GEOTÉRMICA DE LA LOCALIDAD RANCHO NUEVO, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO

Pita de la Paz Carlos¹, Sánchez Galindo Alfredo¹, Garfías Quezada Jesus Alberto¹, García García Emilio¹, Villanueva Estrada Ruth Esther², Rocha Miller Roberto², Bernard Romero Rubén², Rodríguez Díaz Augusto Antonio³, Rubio Ramos Marco A.², Salazar Macías Edna³ y Patiño Camargo Eduardo³
¹Geotem Ingeniería S.A. de C.V.
²Instituto de Geofísica, UNAM
³Facultad de Ingeniería, UNAM
 cpita.paz@gmail.com

La integración de metodologías geofísicas geoquímicas y geológicas, permitió plantear un modelo conceptual que explica el funcionamiento del sistema geotérmico de la localidad Rancho Nuevo, Guanajuato. Este modelo tiene como base la interpretación gravimétrica con el modelado de Talwani y el perfil geoelectrico MT con orientación N-S. Se utilizó también información obtenida con el método TEM y se modelaron los espesores de las diferentes unidades que componen los materiales geológicos a profundidad. Estos son, diferenciados por código de color y acorde con su correspondiente edad. Se asignaron densidades representativas de cada composición litológica para calibrar el residual de Bouguer obtenido de las mediciones en campo del modelo propuesto y considerando la estratigrafía y las estructuras documentadas. La correlación de las variaciones del residual de Bouguer que consideran espesores regulares permitió definir altos y bajos estructurales; estos valores fueron correlacionados con las fallas, mapeadas e inferidas en la localidad. La manifestación termal Rancho Nuevo tiene una temperatura de descarga > 90°C, el agua es predominantemente del tipo Na-Cl con evidencia de procesos de mezcla y pH ligeramente alcalino. La descarga gaseosa es rica en CO2 sin evidencia de fluidos magmáticos (isótopos de He). El geotermómetro aplicado fue K/Mg, estimándose un valor conservativo de 141°C, representando por tanto la temperatura mínima de equilibrio a profundidad. La determinación del perfil residual de Bouguer (N-S) permitió identificar un alto gravimétrico que ha sido denominado informalmente como Pilar de Rancho Nuevo (PRN). El perfil residual de Bouguer E-W confirma la presencia del PRN como un rasgo estructural claramente definido y en el que se ubica la manifestación hidrotermal de Rancho Nuevo. El PRN separa la fosa escalonada de Celaya-Irapuato, de la fosa de Apaseo El Grande, cuyo límite Oriental es El Pilar de El Salitre. Los resultados geofísicos, geoquímicos y geológicos, permiten estimar que los fluidos alcanzarían la temperatura de 141 °C, a una profundidad circa 2.6 km. Esto indica que en la zona existe un gradiente geotérmico que casi duplica el gradiente geotérmico normal de la corteza continental (30 °C/km). Este sistema geotérmico puede clasificarse como de mediana-baja temperatura donde el aprovechamiento de la energía térmica puede llevarse a cabo por medio de bombas de calor. La aplicación simultánea de los 3 métodos de exploración (geofísicos, geoquímicos y geológicos) permite realizar ajustes en la planeación para la adquisición de datos, disminuir la incertidumbre para la elección de sitios de exploración directa del subsuelo, lo que podría incrementar la viabilidad financiera y disminuir el riesgo financiero sobre todo en la fase de perforaciones de prueba exploratorias.

SE08-36

FLUJO DE FLUIDO Y CALOR RADIAL EN SISTEMAS GEOTÉRMICOS EN DESEQUILIBRIO

Suárez Arriaga Mario Cesar
Asociación Geotérmica Mexicana, AGM
mcsa50@gmail.com

Este trabajo define un nuevo modelo en multifísica de medios poroelásticos, totalmente acoplado para modelar el flujo simultáneo de energía térmica y de un fluido no-isotérmico en geometría radial. El acoplamiento describe el flujo de líquido y calor conductivo con advección dentro de una roca porosa susceptible a ser deformada por el efecto de la extracción o inyección del fluido monofásico. El sistema roca/fluido se encuentra en desequilibrio térmico, lo cual ocurre cuando la temperatura del fluido difiere de la del sólido. Las variables e incógnitas del modelo son: presión y temperatura de la roca y del líquido, desplazamiento, tensor de esfuerzos, deformación relativa y velocidad del sólido y del fluido con transferencia neta de calor entre el esqueleto sólido y el líquido. La permeabilidad y la porosidad se calculan en función de la presión del fluido a través de una correlación original. Usando un método de simulación acoplada al modelo de Theis para la presión, es posible resolver exactamente el sistema de siete ecuaciones en derivadas parciales simultáneas en coordenadas cilíndricas en el siguiente orden: a) solución para la presión del fluido; b) la variación de masa fluida contenida se obtiene en términos de la Integral Exponencial; c) cálculo del vector desplazamiento radial en función de la misma Integral más una función Exponencial simple; d) obtención de las deformaciones relativas radial y tangencial con la derivada parcial radial del desplazamiento; e) las componentes radial y tangencial del tensor de esfuerzos se deducen enseguida de relaciones poroelásticas; f) la velocidad radial del sólido se deriva del vector desplazamiento y g) la velocidad del fluido se obtiene con la Ley de Darcy relativa a la roca deformándose; h) finalmente con esta velocidad se resuelve la ecuación diferencial del calor conductivo-convectivo y se obtiene la temperatura del fluido con una transferencia neta de calor de la roca hacia el fluido. Entonces se actualizan las variables termodinámicas como viscosidad y densidad del fluido, así como la porosidad y permeabilidad de la roca. Este grupo de ecuaciones resueltas acopladas en desequilibrio térmico, permiten explorar fácilmente diversas condiciones de frontera e iniciales con el modelo propuesto. Se muestran resultados para varios estudios prácticos de inyección y extracción de líquido en un reservorio geotérmico. Usando una técnica de simulación numérica acoplada al método de volúmenes finitos, es posible generalizar este modelo para incluir flujos no darcianos y grandes gradientes de presión con deformación poroelástica y plástica de la roca, con posible colapso de la formación cercana al pozo y en el mismo pozo. La solución numérica en coordenadas cilíndricas más general de este modelo no lineal de flujo de fluido y calor a través de un medio poroso deformable con propiedades petrofísicas variables, es un proceso de investigación en curso.

SE08-37 CARTEL

PROPUESTA DE UNA PLANTA DE CICLO BINARIO PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA EN LA ZONA GEOTÉRMICA DE IXTLÁN DE LOS HERVORES

Martínez Reyes José, Gálvez Zamora Israel, Vera Romero Iván, Estrada Jaramillo Melitón y Ortiz Soriano Agustina
Universidad de la Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo, UCM
jmreyes@geociencias.unam.mx

La zona de la Ciénega de Chapala se encuentra al este del rift Citla que alberga un sistema geológico que da lugar a la actividad hidrotermal regional, principalmente las fallas Ixtlan y Pajacuaran. La geotermia regional se compone de un hidrotermalismo superficial constituido de manantiales y pozos de agua caliente con temperaturas entre 48 y 94 °C en Ixtlan de los hervores y San Juan Cósala así como de volcanes de lodo en los negritos. Las aguas y gases de estas manifestaciones hidrotermales poseen características físico-químicas que indican la presencia de fluidos geotérmicos. En el presente trabajo se estudia la zona geotérmica de Ixtlán de los Hervores, al interpretar las características hidrogeoquímicas de las aguas del reservorio mediante diagramas de Giggenbach, se determinó que son aguas altas en concentración de cationes de Na⁺ (sodio) por lo tanto se les puede clasificar como aguas blandas. El campo geotérmico de Ixtlan de los Hervores se considera una reserva de energía geotérmica para el país con un potencial de 15 MW, proponiéndose un ciclo termodinámico binario para generación de electricidad. Entendiendo la necesidad del uso de la geotermia como energía limpia para minimizar el calentamiento global y reducir el impacto del cambio climático a nivel mundial. La temperatura de los fluidos en la superficie de la zona geotérmica es de 98°C, en base a la cual se diseñó una propuesta de ingeniería básica de ciclo termodinámico de tipo binario con una eficiencia calculada de 87.67 %, a fin de dar un aprovechamiento en generación de energía al recurso geotérmico. Palabras Clave: Planta, Ciclo binario, Hidrogeoquímica, Ixtlan de los Hervores

SE08-38 CARTEL

ESTUDIO NEOTECTÓNICO COMO BASE EN LA EXPLORACIÓN GEOTÉRMICA DE LAS ZONAS TERMALES DEL SUR DEL LAGO DE CUITZEO, MICHOACÁN

Gaitan Ramirez Maria Felix¹, Jiménez Haro Adrián² y Garduño Monroy Víctor Hugo³

¹Instituto Tecnológico Superior de Tacámbaro, ITST

²Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica, CeMIEGeo

³Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, INICIT
marigaitan@live.com.mx

En un campo geotérmico el análisis estructural de fallas y fracturas es de suma importancia debido a que las estructuras que se encuentran orientadas favorablemente con el campo de esfuerzos presentan un panorama ideal para la circulación de fluidos hidrotermales. La caracterización de estos elementos puede ser trascendental en la comprensión de los sistemas geotérmicos, dado que las deformaciones recientes se encuentran directamente ligadas a la permeabilidad del sistema. Los estudios realizados con anterioridad denotan una deformación asociada a fallas de orientación preferencial este-oeste donde la orientación del vector de máxima extensión es NW-SE, sin embargo estos datos no se han correlacionado con los sistemas de fracturas que están orientados favorablemente con el campo de esfuerzos. El Lago de Cuitzeo alberga 3 zonas termales de interés geotérmico, alineadas de Oeste a Este (Chucandiro, San Agustín del Maíz y Araró), correspondientes a la dirección del Sistema de Fallas Morelia Acambay (SFMA). Las fallas de este sistema han sido estudiadas con anterioridad por diversos autores, sin embargo los estudios de geología estructural son de índole regional por lo que no se conoce con certeza la evolución cinemática y dinámica de las fallas en estas zonas, así mismo tampoco se sabe con exactitud la relación que guardan con estructuras previas y su relación con el flujo de fluidos. Como resultados de estos estudios y del papel de las estructuras en los campos geotérmicos presentaremos la cinemática de la zona, sus efectos con los campos geotérmicos y cuál es el estado de esfuerzos actual que asegura la permeabilidad secundaria de los yacimientos geotérmicos.

SE08-39 CARTEL

IDENTIFICACIÓN DE ZONAS ANÓMALAS MEDIANTE EL MÉTODO WADATI, PARA ZONAS CON MAYOR CONCENTRACIÓN SÍSMICA EN EL CAMPO GEOTÉRMICO TRES VÍRGENES, B. C., EN EL PERIODO DEL AÑO 2010 AL 2016

Morales Roberto, Lermo Samaniego Javier Francisco, Antayhua Yanet y Téllez Navil Annahi

Instituto de Ingeniería, UNAM
rbort05_17@hotmail.com

Mediante estudios anteriores (Lermo et al., 2015, Yanet et al., 2015) se ha visto que la sismicidad en la región geotérmica de Tres Vírgenes no solamente tiene origen de la actividad tectónica, sino que una parte de esta se debe a la actividad inducida que es provocada por la inyección de agua geotérmica, ya sea en los pozos inyectoros o en los pozos productores en sus procesos de simulación y acidificación, mostrando un aumento en la sismicidad del Campo observando una acumulación sísmica en diferentes zonas, las cuales son motivo de estudio. Mediante el Método Wadati, el cual nos ofrece una estimación del tiempo de origen (To), así como información importante sobre la relación de velocidades; este análisis se basa en los valores de la relación de velocidades Vp/Vs para las diferentes zonas que presenten una concentración sísmica mayor (enjambres), durante el periodo de 2010-2016, observando la similitud que tienen dichas zonas y sus eventos, para finalizar con la identificación de zonas anómalas y lo que genera dichas anomalías, como se ha observado en estudios anteriores en sistemas Geotermiales, anomalías de alto Vp/Vs pueden ser asociadas a zonas de condensación, zonas afectadas por la recarga de agua hacia el reservorio o zonas afectadas por la migración de CO₂ hacia zonas distales del reservorio debido a un aumento en la presión efectiva [De Matteis et al.(2008), Simiyu (1999), Foulger et al. (2003)]. En anomalías de bajo Vp/Vs debido a bajos valores de Vp y Vs han sido interpretadas como formaciones vapor-saturadas, zonas de alta temperatura y zonas con gran fallamiento y presencia de alteración hidrotermal [Foulger et al. (2003), De Matteis et al.(2008)]. Como se ha observado en trabajos recientes (Yanet et al., Tesis en Proceso) altos valores de valor b son asociados a la estimulación y acidificación del pozo, mientras tanto, los valores b "bajos" están asociados a la actividad sísmica netamente tectónica local y regional del Campo, con el Método Wadati se busca correlacionar estas zonas anómalas.

SE08-40 CARTEL

EVALUACIÓN DE LA PERMEABILIDAD DE SUELOS DEL CAMPO GEOTÉRMICO DE CERRO PRIETO B.C. MEDIANTE MICRO TOMOGRAFÍA Y SIMULACIONES NUMÉRICAS

Olmos Luis¹, Garduño Monroy Víctor Hugo¹ y Rocha Santiago²¹Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, UMSNH²Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, CFE
luisra24@gmail.com

El objetivo de este trabajo es determinar la permeabilidad en las rocas que conforma un yacimiento geotérmico a partir de imágenes 3D obtenidas mediante microtomografía de rayos X, utilizando dos métodos, el primero es realizar simulaciones numéricas de la permeabilidad en las imágenes, con la microestructura real de la porosidad contenida en las rocas del yacimiento, con la ayuda del software GeoDict. La segunda consiste en determinar los parámetros geométricos de la porosidad, a partir del análisis de imágenes y utilizar la ecuación propuesta por Carman-Kozeny para estimar el valor de la permeabilidad. Para lograr nuestro objetivo se estudió la porosidad de suelos extraídos a diferentes profundidades a partir de 3000 m del campo geotérmico de Cerro Prieto B.C. Las muestras utilizadas fueron de cilindros de 12 mm de diámetro extraídas de los núcleos. Las imágenes de las muestras se adquirieron con un nano tomógrafo de rayos X a una energía de 90 kV y la posición del detector y de la fuente fueron localizadas para obtener una resolución de voxel de aproximadamente 7 micras. Enseguida se realizó un tratamiento de imágenes para separar la porosidad de las fases sólidas del suelo. Los datos cuantitativos de la fase porosa, tales como la fracción en volumen de poros, distribución de tamaño de poros, área específica y tortuosidad fueron obtenidos mediante el software de análisis de imágenes ImageJ y la reconstrucción 3D de las muestras se realizó con la ayuda del software Aviso. Las simulaciones numéricas se realizaron con la ayuda del software Avizo en la fase porosa de la imagen 3D segmentada. Los resultados indican que la fracción en volumen de poros disminuye a medida que la profundidad aumenta, siendo nula para las muestras de mayor profundidad, en donde se detectaron grietas que son las que permiten el paso del vapor. Por otro lado, la permeabilidad resultó ser afectada por la fracción en volumen de poros y por la distribución de tamaño de los mismos, en donde se encontró que el agrietamiento de los suelos incrementa la permeabilidad. Finalmente, se puede concluir que los parámetros geométricos de la porosidad incluidos en la ecuación de Carman-Kozeny nos permiten tener una estimación del valor de la permeabilidad con un error del 10% en comparación con las simulaciones numéricas.

SE08-41 CARTEL

MONITORING OF LAS TRES VIRGENES GEOTERMAL FIELD USING SEISMIC NOISE CROSS-CORRELATION

López Mazariegos Erik Alberto, Calò Marco y Lermo Samaniego Javier Francisco
Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM
der_dunkelheit@hotmail.com

Un campo geotérmico puede causar fuentes de peligro (e.g. sismicidad inducida) para los poblados cercanos y para la planta misma. Anteriormente se ha podido monitorear la actividad de un volcán activo con ruido sísmico (Duputel, 2009) y se ha demostrado que puede ser una herramienta útil para medir los movimientos de fluidos y predecir una erupción. Se puede suponer entonces que es posible monitorear de la misma manera a un campo geotérmico cuyos efectos sobre el medio son similares a los que tendría un volcán activo por el movimiento de fluidos en el subsuelo. Esto modifica el estado de esfuerzos del medio y conlleva a una variación del comportamiento de las ondas sísmicas. Si se obtiene un promedio de la función de correlación de un largo periodo de tiempo para un par de estaciones y esta se compara con la correlación de cada día, se podría medir la variación en la velocidad de las ondas si existiese un desfase entre la función de correlación promedio y la función de un día. Al remover todos los posibles factores técnicos (e.g. deriva de reloj) y ambientales (e.g. temperatura, lluvia, etc.) que afecten el comportamiento del medio y sólo se contasen con los efectos de la actividad de los pozos sería posible cuantificar la variación en las ondas sísmicas debido a la actividad del pozo geotérmico. Debido a que el campo geotérmico de Las Tres Virgenes cuenta con una red de diez sismómetros de banda ancha, se estudia la posibilidad de monitorear las actividades de la planta geotérmica. De ser posible, supondría un mejor control sobre los efectos en el medio debido a las actividades de los pozos.

SE08-42 CARTEL

DETERMINACIÓN DE VARIACIONES DE VELOCIDADES DE ONDAS DE CORTE USANDO MICROTREMORES EN EL CAMPO GEOTÉRMICO DE LOS HUMEROS, PUEBLA, MÉXICO

Torres Rogelio¹ y Lermo Samaniego Javier Francisco²¹Facultad de Ingeniería, UNAM²Instituto de Ingeniería, UNAM

fi.rogelio.tc@gmail.com

El simple hecho de tener que esperar un evento sísmico que nos pueda caracterizar la zona ha sido una gran desventaja; el tiempo de espera y la capacidad de instalación son una gran limitante. En los últimos años, el monitoreo sísmico han servido para caracterizar el efecto de sitio y en especial el monitoreo para diversos campos Geotérmicos de nuestro país. El Campo Geotérmico de los Humeros ha registrado una extensa actividad sísmica a lo largo de los últimos años 19 años, las estaciones forman parte de una red de monitoreo fijo distribuida en diferentes puntos del campo. A partir de 1997 ha existido una acumulación de sismicidad que se ha ido expandiendo alrededor de los pozos inyectores donde no se tenían registros previos, esto lo podemos asociar a un sistema magmático que se empieza a manifestar aproximadamente a 1.5 km de profundidad. Este trabajo busca realizar estimaciones de velocidades de corte por medio de los datos adquiridos de vibración ambiental (microtremores), se trata de una red de monitoreo permanente donde existe un gran banco de datos para realizar diversas estimación de velocidades. A nivel mundial este tipo de métodos han sido una alternativa para la obtención de la curva de velocidades de ondas superficiales, en ellos radica su gran importancia en los últimos años. Quisimos demostrar el alcance de los métodos H/V y SPAC (por sus siglas en inglés Spatial Autocorrelation Method) en los campos geotérmicos. Se trabajó en un proyecto de campo para colocar 10 estaciones como lo requiere el método SPAC. También, se realizaron 2 perfiles que cruzan el campo geotérmico de W-E y N-S. Se logró obtener un modelo de velocidades del subsuelo y también se caracterizó la anomalía geotérmica en la parte Norte con el registro de microtremores.

SE08-43 CARTEL

RELOCALIZACIÓN DE LA SISMICIDAD DEL CAMPO GEOTÉRMICO LOS HUMEROS, PUEBLA Y LA RELACIÓN CON LA TECTÓNICA LOCAL Y LOS POZOS. PERIODO 1997-2016

Ramos Erick¹, Lermo Samaniego Javier Francisco²,
Antayhua Yanet², Jiménez Nallely² y Machado Omar Rodrigo²
Facultad de Ingeniería, UNAM
Instituto de Ingeniería, UNAM
erickrape@gmail.com

Debido al sismo ocurrido el 25 de noviembre de 1994 de magnitud Md4.6 (Lermo et al., 1999), que causó daños a las instalaciones del campo geotérmico Los Humeros, Puebla, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) decidió colocar una red de estaciones sísmicas dentro del campo. La red ha funcionado de 1997 a 2016, aunque no hay información en dos periodos de tiempo (2002-2005, 2012-2014). En trabajos previos (Urban y Lermo, 2013; Lermo, 2015) se observa que la sismicidad dentro del campo se distribuye principalmente en dos zonas: en la zona centro del campo alrededor de los pozos de inyección H29D y H38, y al sureste, cerca de los pozos de inyección H13D y H40. Se identificó los sismos fueron inducidos por la actividad de los pozos de inyección y que los eventos mayores, como el de enero de 2002 (Mw3.2), se produjeron por el incremento en la inyección de agua. En este trabajo se realizó una relocalización detallada de la sismicidad en el periodo 1997-2016. Se tomaron como base los eventos con arribos claros de onda P y S, y que se hayan registrado en 5 estaciones o más. Se observó que la sismicidad de la zona centro se alinea con la falla Los Humeros para el periodo 1997-2012, en tanto que para el periodo 2014-2016 la alineación cambió siguiendo la tendencia del sistema NW-SE. La sismicidad de la zona sureste se alinea sobre la falla Las Víboras, aunque algunos eventos siguen la tendencia de la falla Las Papas. Además, se lograron identificar nuevas zonas de actividad sísmica: 1) alrededor del pozo de inyección H28, 2) al noreste asociada al sistema NE-SW, 3) alrededor del campo asociadas a los eventos mayores. Se concluye que el funcionamiento de los pozos inyectores, debido a su cercanía con las zonas de actividad sísmica y la información de la cantidad de agua inyectada, ha activado los principales sistemas de fallas dentro del campo. Los pozos H29D y H38 activaron la falla Los Humeros y posteriormente los sistemas NW-SE. Las fallas Las Víboras y Las Papas se activaron por la actividad de los pozos H13D y H40.

SE08-44 CARTEL

ANÁLISIS DE LOS DIAGRAMAS DE WADATI, ASÍ COMO LA RELACIÓN DE VALORES VP/Vs ANÓMALOS DEL CAMPO GEOTÉRMICO LOS HUMEROS, PUEBLA, DEL PERIODO 1997-2012

Jiménez Nallely, Lermo Samaniego Javier Francisco, Antayhua Yanet, Ramos Erick y Machado Omar Rodrigo
Instituto de Ingeniería, UNAM
 nallely_091190@hotmail.com

Los reservorios geotermiales exhiben fuertes anomalías en la razón Vp/Vs [Julian et al. (1996)]. La explotación económica de los recursos puede causar cambios medibles en la velocidad de propagación de las ondas sísmicas, las cuales proporcionan información relevante en el monitoreo de procesos críticos (reinyección de fluidos al reservorio) durante el proceso de producción [Foulger et al. (1997), Gunasekera (2003)]. Muchos parámetros físicos de las rocas, contribuyen a producir cambios en las velocidades de las ondas sísmicas que se propagan a través de ella. Entre estos factores podemos considerar la composición mineralógica, la porosidad y el fracturamiento, y las condiciones de esfuerzo locales, como las propiedades del fluido en los poros, que a su vez dependen de la temperatura y la presión [Birch (1960)]. Los diagramas de Wadati además de ofrecer una estimación del tiempo, proporciona además información importante sobre la relación de velocidades sin necesidad de conocer la localización del evento. El método supone que las ondas se propagan por "n" capas horizontales permitiendo que las ondas P y S tengan velocidades diferentes, sin embargo el coeficiente de Poisson debería ser similar para todas ellas si se considera una Tierra homogénea. Por esta razón el objetivo principal de este trabajo consiste en obtener el valor Vp/vs de los sismos que han sido Re-localizados de nuestro periodo de interés y hacer una relación con respecto al tiempo y a los procesos que pudieron influir en el campo, así como la producción de pozos inyectores y productores, o a eventos externos al campo, de manera de identificar zonas que presenten valores anómalos y saber a qué proceso podría estar asociado y de esta manera poder correlacionar con las zonas anómalas obtenidos por estudios anteriores. (Hector R., 2011, Norini et al, 2015)

SE08-45 CARTEL

ANÁLISIS DE LA MIGRACIÓN DE LA SISMICIDAD EN EL CAMPO GEOTÉRMICO TRES VÍRGENES (BCS, MÉXICO) EN EL PERIODO 2010- 2016

Téllez Navil Annahi, Lermo Samaniego Javier Francisco, Antayhua Yanet y Morales Roberto
Instituto de Ingeniería, UNAM
 navil.geof@hotmail.com

El estudio de la sismicidad en el campo geotérmico Tres Vírgenes y sus alrededores inició desde 1992 y ha continuado con algunas interrupciones hasta el 2016. Los estudios realizados en estas zonas (Lermo et al. 2015, Yanet et al. 2015), han catalogado a esta región como una zona de alta sismicidad. Durante el periodo de 2010 a 2016 se ha operado la red sísmica en el campo geotérmico Tres Vírgenes casi de manera continua (solo en 2014 se interrumpió la red), durante este periodo se ha registrado gran sismicidad, la cual no solo originada por la actividad volcánica-tectónica de la zona en la que se encuentra ubicada, también hay sismicidad inducida, es decir generada por la inyección de agua geotérmica ya sea por los pozos inyectores (LV08, LV05, etc.) o por los pozos productores en sus procesos de simulación y acidificación (LV10, LV11, LV13, etc.). Debido a que durante este periodo la actividad de estos pozos tanto inyectores como productores no ha sido la misma cada año y la sismicidad tectónica es diferente se ha observado una migración en la sismicidad debido a varios factores: uno de ellos, la actividad del mismo campo el cual ha modificado algunas las propiedades de la roca (porosidad y permeabilidad) generando nuevas zonas donde antes no se había detectado sismicidad, otro factor importante y el cual se va a estudiar en este trabajo es debido a la sismicidad por eventos super-fuertes p.e. Terremoto de Chile 2010 (M 8.8), Terremoto de Japón 2011 (M 9.1), Terremoto al Noreste de Sumatra 2012 (M 8.6) y el terremoto de Coquimbo, Chile 2015 (M 8.4). Estos dos factores tanto humano como natural modifican la aparición de nuevas zonas sísmicas en los campos geotérmicos, es decir la sismicidad local debida al factor humano tiene un comportamiento distinto al natural, en este trabajo se va a caracterizar estas diferencias y como afecta la sismicidad en el campo geotérmico Tres Vírgenes.

SE08-46 CARTEL

CONSIDERACIONES RELACIONADAS CON LA SOBREPRESIÓN EN EL CAMPO GEOTÉRMICO DE CERRO PRIETO

Morales Arredondo José Iván, Armienta Hernández María Aurora y Segovia Nuria
Instituto de Geofísica, UNAM
 ivanma@geofisica.unam.mx

El agua subterránea del Campo Geotérmico de Cerro Prieto (CP), en el norte de México presenta un tipo de agua Na-Ca-Cl enriquecida en K⁺ y empobrecida en Mg²⁺, SO₄²⁻ y HCO₃⁻. La evolución progresiva de la salmuera de CP (incremento de las concentraciones de Ca²⁺ y decremento de las concentraciones

de Na⁺) es consecuencia principalmente del incremento de la salinidad debido a la evolución de los productos evaporíticos de un ambiente marino y continental, una ligera contribución de albitización de plagioclasas por diagénesis y un sistema a sobrepresión el cual puede acelerar los procesos evolutivos. En sistemas geotérmicos con albitización de plagioclasas y sistemas a sobrepresión, es necesario re-evaluar el régimen calculado de temperatura cuando son usados geotermómetros de cuarzo y feldespatos alcalinos para evaluar la temperatura del reservorio, debido a que los valores obtenidos pudieran generar rangos de temperatura erróneos y no ser representativos

SE08-47 CARTEL

REALCE ESPACIAL MEDIANTE UN MÉTODO NO CONVENCIONAL Y OBTENCIÓN DE UN MAPA DE ANOMALÍAS TÉRMICAS CON EL ALGORITMO "SPLIT-WINDOW", SOBRE LA CALDERA DE LOS HUMEROS, PUEBLA

Santos Basurto Reynaldo¹ y Granados Iván²
¹Centro de Geociencias, UNAM
²Instituto de Geofísica, UNAM
 rey16_1990@hotmail.com

La Percepción Remota es una de las herramientas más importantes para el estudio y monitoreo de diversos fenómenos que ocurren sobre la superficie terrestre e incluso sobre la atmósfera. Mediante esta herramienta es posible obtener, para una gran cantidad de aplicaciones, una mayor cantidad de información en menor tiempo, relativamente a menor costo y con una mayor cobertura en términos espaciales. En la exploración geotérmica, las imágenes satelitales y procesamiento digital de estas son usados principalmente durante las etapas de reconocimiento, ya que se pueden determinar características superficiales; e.g. contactos geológicos, anomalías topográficas, anomalías de temperatura, y zonas con alteración hidrotermal (Prol-Ledesma et al., 1993). En este trabajo se presenta la aplicación del tratamiento digital de imágenes ópticas satelitales sobre la caldera volcánica de Los Humeros en Puebla-México, mediante el procesamiento de las bandas que cubren la región del espectro visible, infrarrojo cercano y térmico. En el ámbito estructural, la identificación de los lineamientos en superficie aporta información para la caracterización de fallas y fracturas dentro de la zona de interés. Con el conjunto de datos que corresponden a las escenas de Landsat-5 ETM, con fecha del 24 de mayo del 2011, se diseñó una estrategia de procesamiento para realce espacial, la cual involucra análisis multivariado (Componentes principales) para obtener una imagen que resalte todos los rasgos topográficos, así como un filtrado en el dominio del número de onda. Se pudieron identificar algunos lineamientos que corresponden a las principales fallas reportadas en trabajos previos (Prol-Ledesma et al., 1993; Norini et al., 2015), así como algunos otros que corresponden a la orientación de los esfuerzos involucrados en la formación de la caldera. También se pudieron obtener de forma más precisa la identificación de bordes en estructuras, en comparación con la metodología convencional descrita por Moore y Waltz (1983). La temperatura superficial del terreno es un parámetro clave para entender el proceso que ocurre de manera superficial sobre la Tierra, es decir, el proceso de intercambio entre el terreno y la atmósfera (Kamran et al., 2015). Las escenas procesadas para la estimación de la Temperatura Superficial del Terreno (LST, por sus siglas en inglés), fueron adquiridas por el sensor TIR de Landsat-8, con órbita ascendente (nocturna) de la fecha 10 de septiembre de 2015; mientras que las imágenes de las bandas del sensor OLI de la misma plataforma, corresponde a la fecha 27 enero de 2015. Mediante el uso del algoritmo "Split-Window" (Sobrinho et al., 2004). Fue posible obtener un mapa de anomalías de temperatura, donde fue correlacionado los valores máximos de estas con la topografía mediante un perfil NE-SW se observa una correlación de los bordes topográficos que pueden pertenecer a algunas las estructuras principales (falla Humeros, Maztlaya, fallas activas y la estructura de Los Potreros); finalmente los patrones espaciales que corresponde al campo geotérmico están correlacionados con las manifestaciones geotermiales evidentes (pozos productores).

SE08-48 CARTEL

ESTUDIO DE LA ALTERACIÓN HIDROTÉRMAL EN MUESTRAS SUPERFICIALES DEL SISTEMA GEOTÉRMICO ACOCULCO, PUEBLA

Sánchez Córdova María del Mar¹, Canet Carles¹, Rodríguez Díaz Augusto Antonio¹, González Partida Eduardo² y López Hernández Aida³
¹Instituto de Geofísica, UNAM
²Centro de Geociencias, UNAM
³Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Ciudad Universitaria, 58040 Morelia, Michoacán, México
 msanchez@geofisica.unam.mx

El sistema geotérmico Acoculco no presenta a primera vista signos superficiales de una actividad hidrotermal importante en el presente, y en ocasiones ha sido catalogado como un sistema de roca seca caliente. La permeabilidad de alguna capa o capas de roca pudo haber disminuido en el pasado debido a la precipitación de minerales secundarios a partir de la interacción con fluidos hidrotermales. Esto, junto con la aparente falta de actividad sísmica resulta en que el sistema no pueda

ser explotable con métodos convencionales y que se le atribuya la conducción como principal forma de transferencia de calor. Sin embargo se han descubierto cráteres asociados a explosiones hidrotermales, la última datada entre 543-709 años cal. A.P. Un conjunto de muestras fueron cuidadosamente seleccionadas como representativas de los diversos tipos de alteración en la zona. Con el fin de determinar la paragénesis de alteración y la evolución del sistema hidrotermal, se han realizado análisis de difracción de rayos X, petrografía y microscopía electrónica de barrido. Estos estudios revelan que existe una compleja sucesión de eventos hidrotermales en el área; por lo que cada muestra presenta una alteración resultado de diferentes estadios. Basándonos en las asociaciones mineralógicas principales y la textura de los componentes, las alteraciones se clasificaron en: (a) alteración sílice oqueroso (vuggy sílice), (b) alteración silícica (silicificación), (c) alteración argílica avanzada-ácido sulfatada, y (d) alteración argílica. Hasta el momento se han logrado identificar hasta tres eventos principales de alteración. En las rocas con alteración vuggy, por ejemplo, se identifica un primer evento ácido que destruyó casi todos los minerales, dejando sólo minerales sílice (ópalo y cuarzo), rutilo y una textura muy porosa. Posteriormente, otro evento depositó arcillas (illita/esmectita y caolinita) y, en algunos casos, alunita; esta asociación refleja la interacción de las rocas volcánicas más superficiales con aguas calentadas por vapor. Asociados con el ópalo más tardío, se depositaron barita y, de forma subordinada, cinabrio; ello indica que la sílice, el bario y el mercurio viajaron disueltos con el fluido hidrotermal, sugiriendo que éste alcanza la superficie de forma periódica.

SE08-49 CARTEL

ESTUDIO ISOTÓPICO EN EL YACIMIENTO GEOTÉRMICO DE LOS AZUFRES MICHOACÁN MÉXICO

Núñez Sandra¹, Martínez Marco Antonio¹, López Aída¹,
Pinti Daniele², Shouakar-Stash Orfan³ y Castro María Clara⁴

¹Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, UMSNH

²Université du Québec à Montréal

³University of Waterloo

⁴University of Michigan

sand_nh@hotmail.com

El campo geotérmico de Los Azufres se encuentra ubicado a 80 km al este de la ciudad de Morelia y uno de los yacimientos más importantes de México con una capacidad instalada de 225 Mw. El campo se divide en dos zonas: Marítaro (en el norte) y Tejamaniles (en el sur). Se analizaron 26 pozos y algunos manantiales dentro y fuera del campo para determinar las condiciones isotópicas de noviembre 2014 antes de la instalación de Los Azufres III y así describir la evolución isotópica de dicho yacimiento geotérmico. Para esto se utilizaron los isótopos estables del agua como trazadores naturales del origen de los fluidos.

SE08-50 CARTEL

PROCESOS DE ALTERACIÓN HIDROTERMAL EN EL CAMPO GEOTÉRMICO ACOCULCO, PUEBLA (AVANCES PRELIMINARES)

Díaz Carreño Erik Hugo¹, González Partida Eduardo¹,
Canet Carles² y Garduño Monroy Víctor Hugo³

¹Centro de Geociencias, UNAM

²Instituto de Geofísica, UNAM

erikhdc@geociencias.unam.mx

Un sistema hidrotermal se define como la distribución de la circulación de fluidos a diversas temperaturas y presiones bajo la superficie de la Tierra (Pirajno, 2010). La mayor parte de manifestaciones geotérmicas ocurre en la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), descrita por (Ferrari, 2000) como un arco volcánico que se desarrolla sobre la margen sudoccidental de la Placa de Norteamérica como resultado de la subducción de las Placas Rivera y Cocos a lo largo de la trinchera de Acapulco. De acuerdo a (Brone, 1978) los clasifica en siete categorías principales: 1.- Temperatura, 2.- Química de los fluidos, 3.- Concentraciones, 4.- Composición de la roca encajonante, 5.- Cinética química, 6.- Duración de la actividad o el grado de equilibrio y 7.- Permeabilidad (Corbett y Leach, 1998). El desarrollo e implementación de herramientas y tecnologías de exploración avanzada, ha permitido la detección y evaluación de las zonas anómalas a través del estudio científico del subsuelo para el aprovechamiento económico de este tipo de energías renovables. El manejo correcto de SIG produce información confiable y fidedigna para delimitar zonas de interés económico, en el caso de la caldera Acoculco, se han identificado zonas de alteración hidrotermal así como la interpretación de estructuras geológicas que permiten entender la evolución del reservorio geotérmico. A escala regional la prospección geotérmica es de vital importancia para dar seguimiento a los procesos de exploración y delimitar zonas para su amplio estudio. La combinación de software con técnicas analíticas de alta calidad ha llevado a que su interpretación sea confiable y precisa. Palabras clave: Geotermia, alteración hidrotermal, campo geotérmico Acoculco.