

Sesión especial

**LAS FALLAS ACTIVAS DE  
LOS VALLES MEXICALI E  
IMPERIAL: CARACTERIZACIÓN  
Y SUS IMPLICACIONES  
TECTÓNICAS Y SISMOLÓGICAS**

Organizadores:

Octavio Lázaro-Mancilla  
Antonio Vidal-Villegas  
Mario González-Escobar  
Joann M. Stock

SE22-1

## TECTÓNICA ACTIVA DEL VALLE IMPERIAL, SUR DE CALIFORNIA: FALLAS Y CUENCAS

Stock Joann Miriam<sup>1</sup>, Persaud Patricia<sup>2</sup> y Hole John<sup>3</sup><sup>1</sup>California Institute of Technology, Caltech<sup>2</sup>Louisiana State University<sup>3</sup>Virginia Polytechnic Institute and State University  
jstock@gps.caltech.edu

Desplazamiento tectónico en el límite de placas Pacífico - Norteamérica dió origen a la fosa de Salton y los valles Imperial y Mexicali. Aquí encontramos una malla compleja de fallas, algunas conocidas en la superficie y otras ocultas, que contribuyen al riesgo sísmico de las ciudades El Centro, Caléxico, y Mexicali, y las zonas circundantes. Estudiamos la estructura somera de la corteza aquí, y la conectividad de las fallas y de las alineaciones de sismos, con el proyecto Salton Seismic Imaging (SSIP). Con base en estos datos conseguimos un perfil de velocidades sísmicas de la onda P hasta 15 km de profundidad, con un modelo 3-D hasta 8 km de profundidad. Vemos una cuenca en forma triangular en la parte sur del sistema de fallas San Andrés. Las 2 cuencas más profundas con  $V_p < 5.65$  km/s se encuentran en la parte SO de la cuenca del Valle Imperial, limitadas por zonas de sismos y fallas activas. Encontramos unas fallas con rumbo NE, anteriormente desconocidas, que conjunto con las fallas dominantes de rumbo NO-SE controlan la deformación. Hay zonas localizadas de  $V_p$  entre 5.65-5.85 km/s, que son más potentes cerca de las fallas activas, que sugiere algún efecto de la falla misma sobre las velocidades sísmicas en su vecindad. Los resultados indican que hay una falla activa que pasa por debajo de la ciudad de El Centro, y cuando llega al límite internacional, todavía está 5 o 7 km al oeste de la falla Imperial. También vemos que las fallas con rumbo NE son importantes en la superficie, un patrón de fallas que también se debe considerar para el valle de Mexicali.

SE22-2

## THE MECHANICS OF MULTIFAULT RUPTURES AND THE KEYSTONE FAULT HYPOTHESIS

Fletcher John<sup>1</sup>, Oskin Michael<sup>2</sup> y Teran Orlando<sup>1</sup><sup>1</sup>Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE<sup>2</sup>University of California Davis  
jfletche@cicese.mx

Most large earthquakes activate slip on more than one fault. However, the genesis of multi-fault ruptures remains poorly understood and classical applications of static yield criteria are inadequate to describe the mechanical conditions required to prepare multiple faults with diverse orientations to fail simultaneously in a single earthquake. This is mainly because the critical stress level for fault failure depends greatly on fault orientation and is lowest for optimally oriented faults positioned approximately 30° to the greatest principal compressive stress. Yet, misoriented faults whose positioning is not conducive to rupture are also commonly activated in large earthquakes. The 2010 El Mayor-Cucapah earthquake of magnitude Mw 7.2 propagated through a network of high- and low-angle faults producing the most complex rupture ever documented on the Pacific-North American plate margin. Our extensive database of mapped fault scarps and offset geomorphic markers demonstrate systematic changes in coseismic slip direction with fault orientation. Using stress inversions of surface displacement and seismic data, we find that the El Mayor-Cucapah earthquake initiated on a fault, which due to its orientation, was among those that required the greatest stress for failure. Although other optimally-oriented faults must have reached critical stress earlier in the interseismic period, Coulomb stress modeling shows that slip on these faults was initially muted because they were pinned, held in place by misoriented faults that helped regulate their slip. In this way, faults of diverse orientations could be maintained at critical stress without destabilizing the network. We propose that regional stress build-up continues until a misoriented keystone fault reaches its threshold and its failure then spreads spontaneously across the network in a large earthquake. In addition to explaining the mechanics of multifault ruptures, our keystone fault hypothesis provides new understanding for the seismogenic failure of severely misoriented faults like the San Andreas Fault and the entire class of low-angle normal faults. Our data also show a strong inverse correlation between slip tendency and the width and complexity of the surface rupture.

SE22-3

## CARACTERÍSTICAS DEL SUBSUELO EN LA CUENCA LAGUNA SALADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO, A PARTIR DE INTERPRETACIÓN DE PERFILES DE SÍSMICA DE REFLEXIÓN

González-Escobar Mario<sup>1</sup>, Gallardo Mata Clemente German<sup>2</sup>, Martín Barajas Arturo<sup>1</sup>, Munguía Orozco Luis<sup>1</sup> y Arregui Ojeda Sergio Manuel<sup>1</sup><sup>1</sup>CICESE<sup>2</sup>PENOLES

mgonzalez@cicese.mx

La cuenca de Laguna Salada, en el noreste de Baja California, México, es un semigraben activo con subsidencia controlada principalmente por dos fallas principales; detachment Cañada David y Laguna Salada, a lo largo del margen oriental de la cuenca. Datos de sísmica de reflexión de fuente controlada restringen la geometría de la falla detachment e indican dos dominios estructurales. El dominio del Sur es una cuenca controlada por la falla detachment Cañada David. Dos perfiles sísmicos indican que la falla buza 17°-20° al oeste, tiene un mínimo de 10 km de deslizamiento y se acumula una cuña sedimentaria de más de 2,5 km de espesor en la parte centro occidental de la cuenca en este dominio. El dominio norte es un relevo dilatacional o pull apart (dilatational stepover) controlado por la falla dextral-oblicua Laguna Salada con rumbo noroeste, buzamiento al oeste y al norte por falla Cañón Rojo, la cual define el límite sur de la cuenca del dominio pull-apart. La falla Cañón Rojo acumula más de 2 km de la subsidencia, pero consideraciones geométricas indican que el bloque de piso de la falla Laguna Salada, se proyecta hasta una profundidad de ~ 3,8 kilómetros y corta a 70° de buzamiento al oeste de falla Laguna Salada. Varias fallas cortan el margen oeste de la Laguna Salada y el bloque de techo de las fallas Cañada David y Laguna Salada. La falla más grande buza al oeste y produce un offset de ~ 500 m de la vertical, la cual proyectada hacia el sur de la falla Cañón Rojo, especulamos que estas pueden correlacionarse. Facies sísmicas reflejan su entorno sedimentario y procesos. Sismo Facie 1 es de gran amplitud, reflectores lateralmente continuos que representan las inundaciones y las condiciones lacustres prolongadas. Sismo Facie 2 es de alta a baja amplitud, reflectores lateralmente discontinuos también que representa las condiciones de inundación. Sismo facie 3 es baja amplitud, mal en contraste continuo para reflectores discontinuos interpretados como subaérea de depósitos de piedra arenisca distal del abanico. Sismo facie sísmicas 4 es de gran amplitud, discontinua, imbricado a un patrón caótico de reflectores. Interpretamos la facie 4, como de alta energía de depósitos de abanicos aluviales de grano grueso progradación sobre la cuenca desde el oeste en la parte frente a Sierra Juárez. Las facies sísmicas 1 y 2 predominan en las partes oriental y central de los perfiles sísmicos en el que el deponento acumula secuencias sedimentarias más gruesas.

SE22-4

## CARACTERÍSTICAS DE SUBSUELO EN UN SECTOR DEL VALLE MEXICALI A PARTIR DE LÍNEAS QUEBRADAS DE SÍSMICA DE REFLEXIÓN 2D

Reyes Martínez Carlos Simon<sup>1</sup>, González-Escobar Mario<sup>2</sup> y Montalvo Arrieta Juan Carlos<sup>1</sup><sup>1</sup>Universidad Autónoma de Nuevo León, UANL<sup>2</sup>Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE  
saimonplusplus@gmail.com

En este trabajo se mostrara los avances en procesamiento e interpretación de secciones sísmicas de reflexión 2D multicanal terrestres en el área del Valle de Mexicali. La información con que se trabaja fue adquirida por Petróleos Mexicanos (PEMEX) en los años de 1981 a 1983, en la que se utilizó como fuente sísmica 4 vibradores y el sistema de grabación fue un sismógrafo de 48 geófonos espaciados a 50 metros con un intervalo de muestreo de 4 ms y una longitud de grabación de 4996 ms. Se aplica un secuencia de procesamiento típica para los datos adquiridos, que consta de las siguientes etapas: 1) Pre-apilamiento: Geometría, edición de trazas, Correcciones estáticas, Deconvolución y Filtrado F-K 2) Apilamiento: Picado de velocidades, corrección NMO y Apilamiento 3) Pos-apilamiento: Filtro variable en tiempo, divergencia esférica, control de ganancia automático y Migración. Para la etapa de interpretación se pretende caracterizar las principales fallas dominantes de la zona, cuencas, así como sus principales reflectores sísmicos y así contribuir al conocimiento tectónico de dicha área de estudio. Estudiar esta zona es de amplia importancia debido a que se encuentra en un límite transformante de placas tectónicas (Norteamérica y Pacífico) y describir las estructuras encontradas aquí es de gran ayuda para comprender la tectónica de la zona y que auxiliar en la evaluación del riesgo. Los primeros resultados muestra a profundidad el trazo de la falla transformante Cerro Prieto, así como un seismorreflector a ~2 km de profundidad caracterizado por alta amplitud y que al parecer tiene extensión regional.

SE22-5

## DESLIZAMIENTOS OBSERVADOS CON INSTRUMENTOS DE MONITOREO CONTINUO EN LAS FALLAS ACTIVAS EN EL VALLE DE MEXICALI - UPDATE

Glowacka Ewa<sup>1</sup>, Sarychikhina Olga<sup>1</sup>, Márquez Ramírez Víctor Hugo<sup>2</sup>,  
Farfán Francisco<sup>1</sup>, García Arthur Miguel Angel<sup>1</sup> y Galvez Oscar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE

<sup>2</sup>Centro de Geociencias, UNAM

glowacka@cicese.mx

Desde 1996 el CICESE mantiene una red de medidores de deformación, REDECVAM (Red de Monitoreo de Deformación de la Corteza en el Valle de Mexicali) con la meta principal de estudiar la distribución espacial y temporal de las deformaciones de la corteza en el Valle de Mexicali. En los años 1996 - 2016 se obtuvieron los datos de 12 instrumentos geotécnicos: 4 extensómetros y 8 inclinómetros, todos con registro continuo y algunos con transmisión de datos. Dichos instrumentos fueron instalados en diferentes sitios, en diferentes fallas tectónicas de la zona o muy cerca de ellas, y cubren diferentes periodos de monitoreo. También se cuenta con los datos de 2 testigos instalados en las fallas Cerro Prieto y Saltillo, ambas con expresión superficial. Los inclinómetros y extensómetros registran los movimientos de las fallas relacionados con el deslizamiento continuo (creep) y eventos de deslizamiento (slip) esporádico, causados, principalmente, por procesos de subsidencia del terreno en el valle de Mexicali, así como con los deslizamientos (slip) causados por sismos locales y con slip disparados por sismos de magnitudes grandes, ocurridos a distancias de cientos de kilómetros. En el presente trabajo se muestran los datos de deslizamientos registrados hasta la fecha. Para las fallas con rupturas visibles en la superficie: 1. En la falla Cerro Prieto, al sur del volcán Cerro Prieto, en 2016, el testigo muestra taza de deslizamiento vertical del orden de 2cm/año y de deslizamiento lateral derecho del orden de 0 cm/año. 2. En la falla Saltillo, el testigo presenta taza de deslizamiento vertical del orden de 6cm/año en 2016. Para las fallas sin ruptura superficial visible: 1. El inclinómetro en la falla Cerro Prieto, al norte del volcán Cerro Prieto, registró ~120  $\mu$ rad/año durante la temporada 2010-2015., 2. El inclinómetro en la falla Imperial, en el Ejido Tamaulipas, registró ~130  $\mu$ rad/año durante la temporada 2012-2015, indicando que ambas fallas tienen movimiento activo aunque no visible en la superficie.

SE22-6

## EXPLORACIÓN GEOFÍSICA EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MEXICALI PARA LA BÚSQUEDA DE FALLAS GEOLÓGICAS - ESTUDIO DE CASO

Reyes López Jaime Alonso, Oropeza Durán Agustín,  
Lázaro-Mancilla Octavio y Xancal Acametilla Grisel  
Universidad Autónoma de Baja California, UABC  
jaime.reyes63@uabc.edu.mx

La existencia de fallas geológicas y la necesidad de ubicar zonas de riesgo en la zona urbana de Mexicali, quedo de manifiesto por el sismo ocurrido el 4 de abril de 2010. Este sismo fue de una magnitud Mw= 7.2. Uno de los lugares más afectados por este sismo fue el Instituto Tecnológico de Mexicali (ITM), en donde algunos edificios sufrieron graves daños y se han localizado zonas asociadas a fallas, conforme a un estudio previo de gas 222Radón y de sísmica de reflexión, el cual ha permitido establecer ciertos rasgos asociados a fallas y fracturas en el ITM. Con el objetivo de delimitar con precisión las fallas detectadas con los otros métodos geofísicos se realizaron Tomografías de Resistividad Eléctrica (TRE), para tal efecto, se utilizó la configuración dipolo-dipolo con una apertura de a=3 m, cubriendo las zonas entre las estaciones 5 a 9 de Radón y entre las trazas 100 a 200 de sísmica. Se tomaron mediciones en tres secciones de 81 m cada una, con traslape en cada sección (en el electrodo 20), con el fin de obtener el mayor número de mediciones en los laterales de cada perfil y tener una cobertura mejor del rasgo geológico. Así se tienen 201 m de la línea, dividida en tres perfiles eléctricos o TRE. Adicionalmente se perforó un pozo de 13.20 m de profundidad para validar la interpretación de la TRE. Los datos obtenidos se procesaron con el software AGI EarthImager versión 2.4.0 produciendo TRE en 2D de resistividades reales. La TRE muestra resistividades de 1 O-m hasta los 32 O-m; la profundidad de prospección fue de 17.1 m; se observan 3 unidades geoelectricas que concuerdan con los resultados de la perforación del pozo 1 realizada en el sitio. Aproximadamente en las posiciones de 250 y de 306 m se observan variaciones en las resistividades, asociadas a discontinuidades en la litología; se percibe que las capas horizontales mostradas en tonos azules (bajas resistividades) tienen una ligera reducción (donde indican las flechas), mientras que las capas horizontales en tonos verdes y amarillos, tiene un movimiento ascendente. Las tres unidades geoelectricas interpretadas tienen continuidad a lo largo de las tres tomografías eléctricas mostradas y relación con el pozo perforado, tanto en unidades geoelectricas como en la profundidad y espesor de dichas unidades. La primera unidad se asocia con los primeros 3.6 m del pozo, y corresponde en su mayoría a material de cobertura. Subyaciendo se determinó una segunda unidad que tiene correlación con las arcillas, de 3.6 a 8.4 m. La tercera unidad observada en las TRE coincide también con los recortes del pozo, aunque en este caso el pozo solo alcanza hasta los 13.20 m. La Integración de los resultados obtenidos con Radón, Sísmica, Radar y TRE, nos permiten comprobar la existencia de cambios laterales que pueden asociarse a fallas en los terrenos del ITM.

SE22-7

## EXPLORACIÓN GEOLÓGICA-GEOFÍSICA PARA LA BÚSQUEDA DE FALLAS Y GRIETAS EN CINCO SITIOS DE MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

Lázaro-Mancilla Octavio<sup>1</sup>, González Fernández Antonio<sup>2</sup>, Contreras Corvera Alma<sup>1</sup>, Stock Joann Miriam<sup>3</sup>, Moreno Ayala Delia<sup>4</sup>, Ramírez Hernández Jorge<sup>1</sup>, Reyes López Jaime Alonso<sup>1</sup>, Carreón Diazconti Concepción<sup>1</sup> y López Dina L.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>UABC

<sup>2</sup>CICESE

<sup>3</sup>CALTECH

<sup>4</sup>SIDUE

<sup>5</sup>Ohio University

olazaro@uabc.edu.mx

Se realizó una exploración geológica-geofísica con la finalidad de encontrar la traza de la falla Michoacán de Ocampo y grietas en el terreno producidas durante el terremoto de Magnitud Mw 7.2 del 4 de abril de 2010. Para tal efecto se escogieron los siguientes sitios: 1) Instituto Tecnológico de Mexicali 2) Campus Mexicali de la Universidad Autónoma de Baja California 3) El lineamiento inferido de la traza Michoacán de Ocampo 4) Márgenes del Río Nuevo 5) Un sitio reportado por Frez (2013) al SW de Cerro Prieto En el sitio 1, se levanto un perfil de reflexión sísmica, para el cual se uso un cable con 24 geófonos con 1 m de espaciamiento. La fuente fue un marro de 3.6 kg, dando tres impactos por punto de tiro. 347 puntos de tiro a 2 m de espaciamiento proporcionaron una multiplicidad de 6 a lo largo de una línea recta con mínimos cambios de elevación. La razón de muestreo fue de 2000/s y la longitud del registro 1 s; las reflexiones se pueden observar a partir de 0.3 s del tiempo doble de viaje. El procesamiento incluyó: filtraje en frecuencia, filtrado fk, deconvolución predictiva, geometría, análisis de velocidad, NMO y apilado. Los cambios laterales en la sección sísmica obtenida se deben a la modificación de superficie y/o presencia de fallas. En el sitio 2 se llevó a cabo un levantamiento de concentraciones de gas Radón (222Rn), si bien no hay inicio de fracturas y fallas los niveles están muy por encima de los permitidos por las normas actuales. Sitio 3, lineamiento asociado a la inferida Falla Michoacán de Ocampo, se midieron 36 estaciones ubicadas en 17 pequeñas líneas transversales al lineamiento inferido, utilizando un detector RAD7 de Durrige que utiliza la espectrometría alfa. Cada sitio fué medido a una profundidad de 60 cm, con 31 lecturas de 5 minutos previa purge del equipo de 10 minutos y 3 mediciones de 5 minutos del fondo ambiental. 78% de las lecturas estuvieron por encima de 100 pCi/L, loa anterior nos permite confirmar la cercanía o presencia de la traza de falla en los sitios medidos. En el sitio 4, márgenes del Río Nuevo, se hizo un reconocimiento de campo y posteriormente el análisis de un fotomosaico, en el cual se pudieron identificar y mapear las zonas afectadas por grietas producidas por las sacudidas del sismo del 4 de Abril de 2010 de Magnitud Mw 7.2. Sitio 5, se hizo la medición de concentraciones de gas Radón complementarias a un perfil pre-existente que tenía valores altos pero que no contábamos con una explicación estructural. Lo anterior aunado a lo expuesto por Frez en 2013 nos permitió relacionar este rasgo con un graben reportado por el Servicio geológico Mexicano en 2003 y con una anomalía magnética de 360 nT reportada por Evans, Summer y Castillo, en 1972.

SE22-8

## MAPA DE FALLAS Y GRIETAS EN LA ZONA URBANA DE MEXICALI

Lázaro-Mancilla Octavio<sup>1</sup>, Ramírez Hernández Jorge<sup>1</sup>, Reyes López Jaime Alonso<sup>1</sup>, Carreón Diazconti Concepción<sup>1</sup>, Moreno Ayala Delia<sup>2</sup>, Romero Francisco<sup>1</sup> y Stock Joann Miriam<sup>3</sup>

<sup>1</sup>UABC

<sup>2</sup>SIDUE

<sup>3</sup>CALTECH

olazaro@uabc.edu.mx

Se presenta una primera versión de un mapa de rasgos estructurales que compila los resultados relacionados con lineamientos sísmicos, trazas de fallas inferidas y grietas presentes en la zona urbana de Mexicali. El propósito de este trabajo es servir como base para la localización de zonas de riesgo de una manera práctica accesible al público en general.