

Sesión Especial

**SISTEMA DE FALLAS
GEOLÓGICAS EN LAS
ZONAS URBANAS DE
MEXICALI Y CALEXICO**

Organizadores:

Octavio Lázaro Mancilla

Joann M. Stock

Francisco Suárez-Vidal

SE24-1

PATRÓN DE FALLAS EN EL VALLE IMPERIAL CERCA DE LA FRONTERA CON BAJA CALIFORNIA

Stock Joann M.¹, Ma Yiran², Fuis Gary³ y Hole John⁴¹Seismology, CALTECH²Caltech³U.S. Geological Survey⁴Virginia Tech

jstock@gps.caltech.edu

El movimiento actual de la placa del Pacífico con respecto a la placa de Norte América se asocia con movimiento lateral derecho de varias fallas con rumbo NNO en el sur de California en la zona entre las Sierras Peninsulares y el Río Colorado, al sur del Mar de Salton. También se reconocen fallas más cortas con rumbo NE y desplazamiento lateral izquierdo y/o normal. Las fallas principales en esta zona, conocidas desde hace muchos años, son la falla de Elsinore, la de San Jacinto y la zona de sismicidad de Brawley que junta la terminación meridional de la falla de San Andrés con la parte norte de la falla Imperial. La traza de la falla Imperial atravesando la frontera internacional se conoce bien debido a varios sismos con ruptura superficial. Para las demás fallas no necesariamente queda tan claro cuál es su geometría a profundidad ni donde llegan a pasar la frontera. Utilizamos el nuevo catálogo de sismos re-ubicados (Hauksson y otros, 2012), conjunto con las observaciones de ruptura superficial debido al sismo del 4 de abril 2010 (Rymer y otros 2011), y una nueva inversión tridimensional de velocidades sísmicas en el valle Imperial basada en proyectos de sísmica activa en 2011 (Salton Seismic Imaging Project) y 1979 (USGS Imperial Valley survey). Estos datos en conjunto dan más detalles del patrón de fallamiento comparado con interpretaciones previas. Conclusiones importantes para la zona de Mexicali son las siguientes: 1) La falla Weinert, que forma la parte SE de la zona de ruptura histórica de la falla de San Jacinto, al NO del municipio de El Centro, se extiende debajo del municipio de El Centro con sismos en profundidades de 9 a 10 km. Esta zona de falla se dirige hacia el SE llegando a la frontera sin juntarse con la falla Imperial. Interpretamos que estas dos fallas activas son paralelas con una separación de 6 km, justo al norte de la frontera. 2) Al oeste de la zona agrícola se reconocen más que 20 trazas de fallas con rumbos NO, N y NE, asociadas con la sismicidad en 2010, y que ahora están clasificadas como activas según el Gobierno de Estado de California. Cubren una zona ancha al norte de Laguna Salada y al N y NE de Cerro Centinela, llegando a la frontera en el límite occidental de los cultivos del valle de Mexicali. La sismicidad asociada con esta zona sigue al este de las rupturas recientes, sugiriendo la posibilidad de otras fallas activas pero desconocidas en esta zona cercana de la ciudad de Mexicali. Utilizamos la sísmica de refracción para evaluar los cambios estructurales y de velocidad sísmica asociados con estas fallas.

SE24-2

MEXICALI: ¿CUÁNTAS FALLAS MÁS?

González García José Javier¹ y González Ortega Alejandro²¹División de Ciencias de la Tierra, CICESE²Posgrado en Ciencias de la Tierra, CICESE

javier@cicese.mx

El Valle Imperial/Mexicali forma parte de la cuenca Salton. Destaca al norte, la terminación de la falla San Andrés en el extremo sureste del mar Salton. Se desprende hacia el sur un sistema de fallas transformes y centros de dispersión del piso oceánico: las zonas sísmicas Brawley, Mexicali y Wagner; ligadas por las fallas Imperial y Cerro Prieto. Estas, fueron evidenciadas por los sismos de 1940 y 1934, respectivamente. En esta zona de ~40 km de ancho, se concentra el 75-80 % de la deformación tectónica asociada al límite de placas Pacífico/Norteamérica.

Al oeste de Mexicali en la Sierra Cucapah (con relativa poca deformación tectónica observada ~10-7 strain/año) destacan varias fallas. En 1892 con un sismo de $M_w \approx 7.0$, rompió la falla Laguna Salada. En 2010, con el sismo El Mayor-Cucapah $M_w = 7.2$, rompieron las fallas: Paso Superior, Borrego y Pescadores; además hacia el delta del Río Colorado, la falla Indiviso, fue evidenciada por teledetección remota.

Otras fallas de menor dimensión también se han hecho evidentes después de secuencias de sismos: Puente-Cruz, Yarza-Alonso, San Adrián, El Mayor-Hardy y Nelson, entre otras.

SE24-3

APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE PERCEPCIÓN REMOTA (LIDAR Y DINSAR) PARA LA LOCALIZACIÓN DE LAS FALLAS TECTÓNICAS EN EL VALLE DE MEXICALI

Sarychikhina Olga, Glowacka Ewa, Suárez Vidal Francisco y Hinojosa Corona Alejandro

CIENCIAS DE LA TIERRA, CICESE

osarytch@yahoo.com

El Valle de Mexicali, Baja California, es una zona tectónicamente dinámica caracterizada por numerosas fallas activas y alto nivel de sismicidad. En 1973 se inició la extracción de fluido en el campo geotérmico Cerro Prieto y en 1989 se inició la inyección de salmuera al subsuelo. Estos procesos han venido influyendo en el estado de esfuerzos, deformación y sismicidad de la zona. La subsidencia antropogénica causada por extracción de fluidos en el campo geotérmico Cerro Prieto y rupturas relacionadas, están afectando la infraestructura ingenieril y social en la vecindad del campo causando daños a caminos, vías de tren y canales de irrigación, lo que incrementa los peligros naturales en esta zona, ya bastante vulnerable por su situación tectónica. La ubicación de las trazas superficiales de las fallas, determinación de la tasa de desplazamiento a lo largo de estas y el mecanismo de desplazamiento (cosísmico o asísmico) son unos datos importantes en los estudios relacionados con la evaluación de la peligrosidad sísmica y de riesgos geológicos.

Este trabajo presenta los resultados preliminares de aplicación de las técnicas de percepción remota en los estudios de fallas activas en el Valle de Mexicali. Primero, para identificación de las trazas superficiales de fallas usamos el modelo digital de elevación de alta resolución (5m) obtenido a partir de los datos de LIDAR (Light Detection And Ranging) aéreo y proporcionado por INEGI. El sombreado (hillshading) resultó ser el método eficaz para la identificación de trazas de fallas superficiales. Segundo, se analizó la base de datos de Interferometría Diferencial de Radar de Apertura Sintética (DInSAR, por sus siglas en inglés) con el propósito de identificar en las interferogramas diferenciales individuales las señales de desplazamiento a lo largo de las fallas causadas por diferentes mecanismos.

Los resultados se compararon con los datos de reconocimientos geotectónicos del área de estudio y observaciones continuas de instrumentos geotectónicos.

SE24-4

NEAR FIELD 3D DISPLACEMENT OF EL MAYOR-CUPAPAH EARTHQUAKE: AN HYBRID APPROACH

Limón Tirado Francisco¹, Hinojosa Corona Alejandro¹, Nissen Edwin², Glennie Craig³, Krishnan Aravindhan⁴, Oskin Michael⁵, Arrowsmith Ramon⁴, Leprince Sebastian⁶, Saripalli Srikanth⁴, Borsa Adrian⁷, Arregui Ojeda Sergio Manuel⁸, Kreylos Oliver⁵, Banesh Divya⁵ y Fletcher John⁸¹División de Ciencias de la Tierra, CICESE²Colorado School of Mines³University of Houston⁴Arizona State University⁵University of California Davis⁶California Institute of Technology⁷University of California San Diego⁸CICESE

francolimon2@gmail.com

The surface rupture produced on April 4th of 2010 by the M 7.2 El Mayor-Cucapah Earthquake is an ideal target to be analyzed by remote sensing techniques. It produced over 100 km of scarps, with vertical and horizontal slip on the order of 2 to 3 m in scarcely vegetated, rugged terrain underlain by mostly igneous rocks. A 3D displacement field (DF) was calculated by matching pre- to post-event airborne LiDAR point clouds through the Iterative Closest Point (ICP) algorithm, which first segments the point clouds into discrete windows, and for each, iteratively converges on a rigid body transformation comprising a translation and a rotation that best aligns the pre- to post-event point clouds. After testing different window sizes, we used square a window 100m a side. The El Mayor-Cucapah LiDAR data sets present special challenges for the ICP technique. The point clouds differ considerably in point density, by ~1:700. This, and the lower precision of the pre-earthquake data, limit the accuracy of the DF results. Despite these issues, the vertical and East-West (E-W) components of the DF from ICP very clearly delineate the trace of the surface rupture, showing east-side down dextral-normal motion in agreement with field measurements and the focal mechanism reported for this event. A systematic error in the LiDAR instrument used for the pre-event survey caused severe distortion of the North-South (N-S) component of the LiDAR returns. After reprocessing the source pre-event point cloud in various ways to correct for the systematic error, a more plausible pattern for the N-S component was obtained for the DF. To have another perspective for the horizontal DF, a subpixel correlation analysis of SPOT 2.5m images of before and after the earthquake, was performed using the COSI-Corr software. We combined the N-S component from this analysis with the E-W and vertical components of the ICP results, and present the resulting DF. We also compare the results from ICP and COSI-Corr individually for each of

the horizontal components. Both methods delineate very clearly the rupture, and agree in direction with small discrepancies in magnitude for the horizontal DF. Results from far field deformation measurements obtained from different remote sensing techniques, such as GPS and InSAR, could be fused with the near-field LIDAR and COSI-Corr results to provide a synoptic view of the strain induced by earthquakes such as the El Mayor-Cucapah event.

SE24-5

CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES EN UN SECTOR DEL DELTA DEL RÍO COLORADO, NOROESTE DE MÉXICO, A PARTIR DE SÍSMICA DE REFLEXIÓN

González Escobar Mario¹, Chanes Martínez Juan José y Suárez Vidal Francisco²¹Ciencias de la Tierra, CICESE²CICESE

mgonzalez@cicese.mx

El procesado e interpretación de datos de sísmica de reflexión, auxiliados con información geofísica complementaria, permitió interpretar la estructura del sector SW del delta del Río Colorado. Este estudio cubre una parte de la falla transformante Cerro Prieto, que es la frontera activa entre las placas tectónicas del Pacífico y Norteamérica. El acceso a información propiedad de Petróleos Mexicanos, hizo posible este trabajo. Los objetivos consistieron en el proceso e interpretación de las fallas principales. Los resultados muestran una gran densidad de fallas en la zona de falla Cerro Prieto, en donde la mayoría están sepultadas por sedimentos. Una de las principales estructuras observadas y ya conocida es la falla Cerro Prieto. Su interpretación al SE coincide con el trazo ya reportado en la literatura, mientras al norte se intercepta con otra estructura de rumbo 20° al NW que en éste trabajo se denomina falla Palmas. En la zona de falla Cerro Prieto se identificaron las fallas mayores: Palmas, Mesa, Indiviso-S y Pangas Viejas todas estas desconocidas hasta ahora y localizadas al oeste de la falla Cerro Prieto. Al oeste de la zona de falla Cerro Prieto se localiza un depocentro que se denomina cuenca Las Tinajas y que está controlado por las fallas Dunas y Saldaña. 24 km al este de la falla Cerro Prieto se identificó la falla Desierto en la cuenca de Altar. La zona de deformación en el límite de placas tiene un ancho de 18 km entre las fallas Cerro Prieto al este y Pangas Viejas al oeste. La orientación de las fallas contenidas en ésta zona es N-NE y se proyectan hacia la parte sur de la Sierra Cucapah. Hacia el sur, las fallas tienden a unirse al trazo de la falla Cerro Prieto, El basamento acústico indica que las cuencas en el delta del Río Colorado tienen profundidades mayores de 5000 m. Se ubicó otro depocentro al SE de la zona de estudio denominado cuenca Montague. Finalmente, la región estudiada presentó la mayor actividad sísmica (réplicas y subsidencia co-sísmica y pos-sísmica debida al sismo del 4 de abril de 2010 (Mw 7.2). Antes de éste evento la actividad sísmica era muy escasa y no se sabía de estructuras en la zona. En éste trabajo se demuestra que existen al menos siete fallas principales que pueden representar un alto peligro sísmico.

SE24-6

UN ESTUDIO SOBRE LA FALLA CERRO PRIETO, BAJA CALIFORNIA ¿SE EXTIENDE HACIA EL NW DEL CENTRO DE DISPERSIÓN?

Vidal Villegas José Antonio¹, Lermo SamaniegoJavier², Munguía Orozco Luis³ y Vidal Juárez Teresa⁴¹Departamento de Sismología, División de Ciencias de la Tierra, CICESE.²Instituto de Ingeniería, UNAM.³Departamento de Sismología, División Ciencias de la Tierra, CICESE.⁴Instituto de Investigaciones Oceanológicas, UABC.

vidalv@cicese.mx

En febrero de 2008 ocurrió un enjambre sísmico cuya distribución epicentral se ubicó al N-NW del volcán de Cerro Prieto, Baja California. Este enjambre está constituido por 5 sismos de magnitudes entre 5.0 y 5.5, además de más eventos de magnitud menor. La distribución de epicentros se concentró en un área circular de 6 km de radio, a una distancia promedio de 25 km al S-SE de la ciudad de Mexicali. ¿Fue este enjambre producido por un movimiento tectónico en el extremo NW de la falla Cerro Prieto? ¿Fue producido por alguna falla secundaria? Con base en la información generada por el mencionado enjambre, además de la información local registrada por una red temporal de 9 estaciones que funcionó durante 7 meses de 2009 en la región, nuestro objetivo consistirá en tratar de dar respuesta a estas preguntas.

A partir de la información registrada por la Red Sísmica del Noroeste de México, complementada con la de la Red de Acelerógrafos del Noroeste de México, procedimos a relocalizar los sismos registrados con la mejor cobertura acimutal. Para el caso de los sismos de mayor magnitud ($M > 5$), determinamos sus mecanismos focales a partir de las polaridades de los primeros arribos y para corroborar o rectificar estos mecanismos, procederemos a efectuar el modelado directo de formas de onda mediante el cálculo de sismogramas sintéticos.

Al momento de escritura del presente resumen:

i) La distribución de epicentros del enjambre se concentra en el extremo N-NW de la falla Cerro Prieto, pero es difícil establecer una correlación con ésta.

ii) Derivado del análisis de la sísmicidad registrada por la red temporal, proponemos una nueva falla: Tulecheck, con orientación NW y ubicada entre las fallas Cucapah y la posible continuación hacia el NW de la falla Cerro Prieto.

iii) Obtuvimos los mecanismos focales de los sismos de mayor magnitud del enjambre, que indican en dos casos un movimiento de rumbo lateral derecho y en los otros 3 un movimiento oblicuo (lateral derecho, con componente de tipo normal). El resultado del modelado de las formas de onda lo discutiremos en la presentación.

SE24-7

PERFILES DE CONCENTRACIÓN DE GAS 222RADÓN ASOCIADOS A LAS FALLAS GEOLÓGICAS DE IMPERIAL, CERRO PRIETO Y MICHOACÁN DE OCAMPO EN MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

Lázaro Mancilla Octavio¹, Ramírez Hernández Jorge², Reyes LópezJaime Alonso², Carreón Diazconti Concepción² y López Dina³¹Laboratorio de Sismología y Geofísica Aplicada del Instituto de Ingeniería, UABC²Departamento de Hidrología, Geofísica e Impacto Ambiental, Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California³Department of Geological Sciences, Ohio University

olazaro@uabc.edu.mx

Este trabajo tiene como objetivo presentar los perfiles de concentración de gas 222Radón obtenidos en 4 sitios de la Ciudad de Mexicali asociados a las Fallas geológicas activas de Imperial, Cerro Prieto y Michoacán de Ocampo.

Para medir las concentraciones de 222Radón en las fallas Imperial, Michoacán de Ocampo y Cerro Prieto, se utilizó la sonda de vacío para el suelo modelo 154 conectada al monitor de radiación portátil PYLON AB-5, que cuenta con una cámara con un contador de centelleo, el cual genera pulsos de luz como respuesta a las partículas de energía que son liberadas por el material radiactivo. Los pulsos de luz son amplificados por un tubo fotomultiplicador y convertidos en pulsos electrónicos, los pulsos son contados y convertidos a cuentas por minuto que son corregidos por efectos de fondo produciendo un valor neto de cuentas por minuto, mismo que al ser multiplicado por el valor de sensibilidad del conteo produce el resultado de concentración de gas radón en la muestra. Los perfiles obtenidos fueron corregidos por la variación de fondo del medio ambiente, la cual se obtuvo muestreando varios sitios sin colocar la sonda en el suelo. Los datos obtenidos fueron graficados con MATLAB.

El perfil de concentración de 222Radón obtenido en la Colonia Castro permitió interpretar un perfil de radar de penetración de terreno en donde pueden observarse las trazas de la falla Imperial hasta una profundidad de 4 m. El perfil del libramiento de San Luis Río Colorado-Tecate muestra 4 valores pico por encima de los 200 pCi/L, mismo que se asocian a las trazas de la falla Michoacán de Ocampo. El perfil de la Laguna Xochimilco, permite observar tres regiones por encima de los 140 pCi/L y uno de 184 pCi/L que también se asocia a la falla Michoacán de Ocampo. El perfil obtenido en la Colonia Progreso da un valor de 270 pCi/L que se asocia a la traza de la falla Cerro Prieto.

Los resultados obtenidos son de mucha utilidad porque permiten localizar en un terreno de topografía casi plana las trazas de fallas cubiertas por zonas de cultivo o por la actividad antropogénica.

SE24-8

MEDICIONES DE GAS RADÓN EN LA ZONA URBANA DE MEXICALI, MÉXICO: RELACIÓN CON FALLAS GEOLÓGICAS

Reyes López Jaime Alonso¹, Ramírez Guardiola Jenifer¹, López Dina², Carreón DiazcontiConcepción¹, Lázaro Mancilla Octavio¹, Wong Víctor³ y Vidal Villegas José Antonio³¹Instituto de Ingeniería, UABC²Department of Geological Science, Ohio University³Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

jaime.reyes63@uabc.edu.mx

La reconocida existencia de emanaciones de gas Radón a través de fallas geológicas activas con tectonismo reciente puede ser útil para su mapeo, ya que muchas veces no son visibles en superficie. Además es útil para discriminar entre fallas tectónicas regionales y simples fracturas o fisuras, las que, aunque igualmente de riesgo para la población, provocan eventos de mucha menor magnitud. El reconocimiento de fallas tectónicas permite establecer zonas vulnerables y relacionadas a un mayor riesgo sísmico. La ciudad de Mexicali se localiza en una de las zonas con mayor riesgo geológico o sísmico del mundo. En esta región converge un sistema de fallas que, en conjunto, se denomina el Sistema de Fallas de San Andrés. Con este trabajo se pretende reconocer fallas tectónicas en el Valle de Mexicali y avanzar posiblemente hacia la predicción de los sismos donde las mediciones con la sismología convencional y geofísica clásica no lo han podido lograr.

Se midieron las emanaciones de gas Radón en 140 puntos en la ciudad de Mexicali y su periferia, en una malla regular aproximadamente equidistante a cada 2 km. El equipo utilizado fue el RAD7 de la compañía DURRIDGE. Este es un monitor continuo en tiempo real de respuesta rápida que utiliza un detector alfa de estado sólido que convierte la radiación alfa directamente en una señal eléctrica. Las mediciones se realizaron para detectar tanto el radón como el torón presentes a una profundidad de 60 cm desde la superficie del suelo. Cada medición fue realizada en 4 lecturas de 5 minutos con una duración total de 20 minutos por cada estación. Para un resultado confiable, las primeras tres lecturas fueron despreciadas mientras que la cuarta fue documentada. El mapa de emanación de radón se interpoló con el método de Ponderación de Distancias Inversas (IDW) con la herramienta de análisis de variación espacial del programa ArcGis (ArcMapVersion 9.3).

El promedio encontrado en las estaciones medidas es de 99.13 pCi/l. Aunado a esto, el 73.23% de las mediciones tienen una concentración igual o mayor a 40 pCi/l. La concentración más baja se ubica al SE con un valor de 3.57 pCi/l, y la más alta al sur del área estudiada con un valor de 326 pCi/l. Se aprecian 2 zonas bien definidas con valores mayores a 40 pCi/L cuyos picos máximos se orientan en la dirección NW-SE. Esta orientación NW-SE es paralela al sistema de fallas geológicas de rumbo que dominan la tectónica de la región. Algunos de los valores máximos (por ejemplo el valor de 296 pCi/L) coinciden con las fallas tectónicas que atraviesan la zona de estudio, es decir, la Falla Imperial al Este y la proyección de la denominada Falla Michoacán al Oeste. De este modo, aunque el presente trabajo es a escala regional se puede observar cierta relación entre valores altos de Radón con la evidencia superficial de fallas geológicas. Para mayor detalle hay necesidad de realizar lecturas a escala local alrededor de estas anomalías máximas.

SE24-9 CARTEL

MONITOREO GEODÉSICO DE LAS DEFORMACIONES SUPERFICIALES COMO RESULTADO DE EVENTOS SÍSMICOS EN FALLAS GEOLÓGICAS ACTIVAS, CASO DE ESTUDIO: FALLA IMPERIAL, MEXICALI, B.C. MÉXICO

Trejo Soto Manuel¹, Espinosa Cardeña Juan Manuel², Ramírez Hernández Jorge³, Kuzmish Pevnev Anatoly⁴ y Moreno Bernal Luis Alberto⁵

¹Facultad de Ciencias de la Tierra y el Espacio, UAS

²CENTRO DE INVESTIGACIONES Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE ENSENADA

³INSTITUTO DE INGENIERIA, UABC

⁴INSTITUTO SCHMIDT DE FISICA DE LA TIERRA, ACADEMIA DE CIENCIAS DE RUSIA

⁵FACULTAD DE INGENIERIA, UABC

mtrejosoto@uas.edu.mx

En respuesta a los sucesos ocurridos por el sismo Cucapá-El Mayor del 4 de abril del 2010 (M=7.2), se inicia un proyecto a largo plazo para el monitoreo geodésico de precisión (nivelación diferencial, observaciones GPS y mediciones gravimétricas) de los movimientos verticales y horizontales del subsuelo como resultado de eventos sísmicos en la zona oriente de la ciudad de Mexicali (Colonia Castro). Zona de alto riesgo sísmico por el paso de la falla Imperial, el cual se acrecentó con el sismo Imperial o Mexicali del 15 de octubre de 1979 (M=6.6) y el sismo Cucapá-El Mayor, este último aunque distante, produjo daños a edificios y casas en diversos lugares de la ciudad y gran alarma entre la población.

El establecimiento de un polígono geodinámico local de monitoreo de los desplazamientos horizontales y verticales sobre fallas geológicas activas, está orientado a la obtención de modelos de desplazamientos locales de alta precisión.

Partiendo de la hipótesis del potencial de riesgo de un sismo de Intensidad VII a VIII o magnitud $M \geq 5$ y que su campo epicentral es del orden de los 8 km, se ha iniciado con el establecimiento de cinco perfiles geodésicos, transversales al trazo de la falla Imperial, separados paralelamente a una distancia de entre 4 a 5 km, con longitudes de 10 km y vértices monumentados a cada 0.5 a 1 km. Mediante nivelación diferencial (geométrica) 2do. Orden-clase II, se ha determinado diferencias de alturas entre vértices, con un recorrido promedio de ~150 km. La determinación de coordenadas de los vértices se ha realizado mediante mediciones satelitales GPS de doble frecuencia con periodos de observación no menores a 3 hrs. La elaboración matemática (ajuste y análisis estadístico) de los resultados de las mediciones geodésicas se realiza mediante métodos tradicionales (Gauss-Markov) y no convencionales (Recurrente).

Comprender y describir el comportamiento de zonas sujetas a eventos tectónicos, pudieran ayudar a prevenir situaciones de emergencia que pongan en peligro la integridad de los habitantes y la infraestructura de zonas pobladas. Un indicador importante que precede eventos tectónicos destructivos, entre otros, son las variaciones topográficas de la corteza terrestre imperceptibles a simple vista y solo detectadas con la ayuda de mediciones geodésicas recurrentes.