

## I. Nombre del Proyecto Preventivo

Estudio Paleosismológico y de Sismología Observacional del sismo de Ameca de 1567/68, en la zona occidental de la Faja Volcánica Trans-Mexicana y sus repercusiones para la determinación del riesgo sísmico de la región Jalisco-Colima.

## II. Requisitos de elegibilidad técnicos y administrativos

### a) Elegibilidad técnica:

Este proyecto plantea investigar, mediante estudios de paleosismología y de sismología observacional, las fallas potencialmente causales del terremoto de 1567/68 (Suter, 2015), sus posibles rupturas ocurridas en el pasado geológico y sus condiciones de actividad. Este terremoto es el mayor evento sísmico conocido que haya ocurrido en la Faja Volcánica Trans-Mexicana (FVTM) (Suárez et al, 1994). La hipótesis fundamental de la propuesta es que la deformación acumulada en sistemas de fallas de la FVTM llega a ser liberada por sismos de magnitud fuerte con tiempos de recurrencia de varios miles de años. Sin embargo, cada falla potencial en general tiene un registro no concordante en tiempo con las fallas vecinas (los sismos no ocurren simultáneamente en todas las fallas), y el peligro acumulado hace que un sitio esté expuesto a aceleraciones sísmicas dañinas en períodos de retorno significativos para la vida útil de las estructuras. La identificación del potencial sismogénico de las fallas del sector central de la FVTM, así como la caracterización del comportamiento de éstas (e.g. terremotos generados durante el Cuaternario, periodos de recurrencia, causas de la deformación, tasas de deformación, potencial de generación de movimientos de masa como derrumbes y deslaves) han permitido determinar, con mayor rigor, la peligrosidad sísmica de la región central del país. Se pretende ahora continuar los trabajos en el occidente de la FVTM incluyendo la región donde se ubica la segunda ciudad más poblada de México.

El equipo científico participante está especialmente interesado en la revisión de la zonificación sísmica depurada del país, y en particular, de las regiones central y norte de México, en la que se localizan ciudades como Guadalajara, León, Morelia, Querétaro, y Hermosillo, entre otras. Durante los últimos 90 años, la ausencia de sismos destructivos en la FVTM contrasta con la ocurrencia de cuatro terremotos de magnitud ( $M_w$ ) entre 6 y 7 en los últimos 440 años. Este hecho, aunado a las evidencias geológicas, indica que la región puede experimentar terremotos destructivos en un mediano plazo, y hace imperiosa la detección de las posibles fuentes sísmicas de estos eventos y su caracterización en términos de probabilidad y riesgo.

En general el proyecto busca coadyuvar en la determinación de la peligrosidad sísmica asociada a las principales fallas activas en la zona occidental de la FVTM. Para ello se recurrirá a la integración de datos geológicos, paleosismológicos y sísmicos.

Para lograr este objetivo se propone inicialmente seguir un método que combine el análisis de la sismicidad y la técnica geomorfológica como herramientas principales de reconocimiento de fallas activas así como la utilización de los datos históricos que se refieren a la posible falla causal del sismo de 1567/68. Paralelamente, se procederá a efectuar simulaciones estocásticas de sismos en las fallas potenciales a fin de determinar las posibles aceleraciones esperadas. Para ello utilizaremos el método estocástico de falla finita desarrollado por Beresnev y Atkinson



(1997, 1998) implementado en el código EXSIM (Motazedian y Atkinson 2005), que se basa en un enfoque de frecuencia de esquina dinámica, como se hizo para el caso del sismo de El Mayor-Cucapah, Baja California, de 2010 (Rodríguez-Pérez, et al., 2012).

Estos estudios serán completados con el análisis geoestructural y estratigráfico para un mejor entendimiento de las características de las fallas, ayudando a una mejor elección de los lugares donde realizar el análisis paleosismológico.

Una vez reconocidas estas fallas serán investigadas y caracterizadas por medio de técnicas paleosismológicas.

Los resultados de la investigación serán integrados en una base de datos dirigida hacia el cálculo de la peligrosidad sísmica de la zona.

El grupo de trabajo que presentamos la propuesta ha estudiado exitosamente las características paleosismológicas de varias fallas del centro de la FVTM con apoyo de dos proyectos CONACyT (2004-CB-46181, 2009-CB-129010) y varios proyectos UNAM-PAPIIT, contando a la fecha con un total de más de 25 excavaciones en trincheras que han resultado en la identificación y caracterización preliminar de 32 paleoterremotos, proporcionando información de gran utilidad para los estudios de riesgo en la zona central de México (Langridge et al., 2000, 2013; Lacan et al., 2013, 2018; Sunye Puchol et al., 2015; Ortuño et al., 2015, 2018).

#### Referencias.

- Beresnev, I., and G. M. Atkinson (1997). Modeling finite-fault radiation from the  $\omega$  spectrum. *Bulletin of the Seismological Society of America* 87, 67–84.
- Beresnev, I., and G. M. Atkinson (1998). FINSIM—a FORTRAN program for simulating stochastic acceleration time histories from finite faults. *Seismological Research Letters* 69, 27–32.
- Lacan P, Ortuño M, Perea H, Baize S, Audin L, Aguirre G, Zúñiga FR, Grützner C, Rudersdorf A, Pérez-López R, Reicherter K. (2013). Upper Pleistocene to Holocene earthquakes recorded at the western termination of the Venta de Bravo fault system, Acambay graben (central Mexico). *Seismic Hazard, Critical Facilities and Slow Active Faults*. 2013 Oct:133–6.
- Lacan, Pierre, María Ortuño, Laurence Audin, Hector Perea, Stephane Baize, Gerardo Aguirre-Díaz, and F. Ramón Zúñiga (2018). "Sedimentary evidence of historical and prehistorical earthquakes along the Venta de Bravo Fault System, Acambay Graben (Central Mexico)." *Sedimentary Geology* 365, 62-77.
- Langridge, R. M., Weldon, R. J., Moya, J. C., & Suárez, G. (2000). Paleoseismology of the 1912 Acambay earthquake and the Acambay-Tixmadejé fault, Trans-Mexican volcanic belt. *Journal of Geophysical Research*, 105(B2), 3019-3037.
- Langridge, R. M., Persaud, M., Zúñiga, F. R., Aguirre-Díaz, G. D. J., Villamor, P., y Lacan, P. (2013). Resultados paleosísmicos preliminares de la falla Pastores y su papel en el riesgo sísmico del graben de Acambay, Cinturón Volcánico Transmexicano, México. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 30(3), 463-481.
- Motazedian, D., and G. M. Atkinson (2005). Stochastic finite fault modeling based on a dynamic corner frequency. *Bulletin of the Seismological Society of America* 95, 995–1,010.

- Ortuño M, Zúñiga FR, Aguirre-Díaz GJ, Carreón-Freyre D, Cerca M, Roverato M. Holocene paleo-earthquakes recorded at the transfer zone of two major faults: The Pastores and Venta de Bravo faults (Trans-Mexican Volcanic Belt). *Geosphere*. 2015 Feb 1;11(1):160-84.
- Rodríguez Pérez, Q., Ottemöller, L., & Castro Escamilla, R. R. (2012). Stochastic finite-fault ground-motion simulation and source characterization of the 4 April 2010 Mw 7.2 El Mayor-Cucapah earthquake. *Seismological Research Letters*, 83(2), 235-249. doi: 10.1785/gssrl.83.2.235.
- Suárez, G. (1991). El sismo de Jalapa del 3 de Enero de 1920. *Revista de Ingeniería Sísmica*, (42), 3-15.
- Suárez, G., García-Acosta, V., y Gaulon, R. (1994). Active crustal deformation in the Jalisco block, Mexico: evidence for a great historical earthquake in the 16th century. *Tectonophysics*, 234(1-2), 117-127.
- Sunye-Puchol, Iván, Pierre Lacan, María Ortuño, Pilar Villamor, Laurence Audin, Francisco Ramón Zúñiga, Robert Max Langridge, Gerardo de Jesús Aguirre-Díaz, y Timothy F. Lawton (2015). "La falla San Mateo: nuevas evidencias paleosismológicas de fallamiento activo en el graben de Acambay, México." *Revista mexicana de ciencias geológicas* 32, no. 3: 361-376.
- Suter, M. (2015). The AD 1567 Mw 7.2 Ameca, Jalisco, Earthquake (Western Trans-Mexican Volcanic Belt): Surface Rupture Parameters, Seismogeological Effects, and Macroseismic Intensities from Historical Sources. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 105(2A), 646-656.

#### b) Elegibilidad administrativa:

Conforme a lo señalado en el oficio de solicitud, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), como instancia técnica-científica de la Coordinación Nacional de Protección Civil se encuentra plenamente acreditado e identificado ante los órganos decisorios del Fondo para la Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN) y su Representante Legal cuenta con las atribuciones necesarias a fin de garantizar la adecuada ejecución del mismo.

El objetivo del Proyecto de Investigación se apega a lo establecido en la fracción II del artículo 48 de las ROFOPREDEN, el cual señala que la Subcuenta proporcionará financiamiento para "Estudios o investigaciones orientados al diagnóstico, evaluación, modelación y reducción de la vulnerabilidad física y social".

#### III. Monto del financiamiento con cargo a la Subcuenta de Investigación del FOPREDEN

\$ 3,198,000.00 (tres millones cientonoventa y ocho mil pesos 00/100 m.n.).

#### IV. Términos de referencia del Proyecto Preventivo:

##### a) Objetivo General del Proyecto Preventivo

Coadyuvar en la determinación de la peligrosidad sísmica asociada a las fallas con potencial sismogénico en la zona occidental de la FVTM, en particular las posibles fallas causales del sismo de Ameca de 1567/68 y su historia paleosísmica.

##### b) Objetivos Específicos del Proyecto Preventivo

Para lograr el objetivo central se recurrirá a la integración de datos geológicos, paleosismológicos y sísmicos. Esto incluye tres metas específicas:

- La identificación y caracterización (identificación y fechamiento de posibles paleosismos) de la falla sismogénica del sismo de 1567/68 y de otras fallas potencialmente peligrosas en la región mediante el estudio geomorfológico-estructural y la aplicación de técnicas paleosismológicas.
- El estudio detallado de la sismicidad reciente y el monitoreo de la sismicidad y estado de esfuerzos presente en las fallas de la región. Así como el modelado de las aceleraciones esperadas para sismos ocurridos en las fallas principales.
- La selección de los datos obtenidos para su integración en programas existentes de cálculo de peligrosidad sísmica para la obtención de mapas de peligrosidad sísmica mejorados para la región.

**c) Descripción detallada del escenario de peligro, vulnerabilidad y/o riesgo que se debe estudiar o resolver, a través de la ejecución del Proyecto de Investigación**

Los sismos que ocurren en la FVTM son del tipo cortical y presentan una peligrosidad particular debido a la poca profundidad y cercanía a núcleos poblacionales. La región es particularmente vulnerable ya que concentra la mayor densidad de núcleos poblacionales del país, incluyendo 60% de las ciudades de México con más de 1 millón de habitantes (INEGI, 2015). Existen en el registro histórico varios ejemplos de daño ocasionados por este tipo de sismos entre los que podemos mencionar el sismo del 11 de febrero de 1875 (Mw 7.2), ocurrido cercano a la Cd. de Guadalajara, el cual ocasionó graves daños a las poblaciones aledañas (Suárez et al., 2012), el sismo del 19 de noviembre de 1912 (Ms 7.0) (Singh et al., 2011), que prácticamente destruyó los poblados de Acambay y Temascalcingo en el Estado de México, y el del 4 de enero de 1920 (Ms 6.4), que tuvo graves repercusiones en la zona circunvecina a Jalapa (Suárez, 1991), Veracruz. Este último sismo es el tercero causante de muertes en nuestro país, después de los terremotos del 19 de septiembre de 1985 y de 2017.

Identificando los sismos prehistóricos e históricos a lo largo de estas fallas, así como el nivel de actividad actual en las fallas de la zona, se podrá caracterizar sus ciclos sísmicos (períodos de retorno), tipo de mecanismo y situación tectónica, estimar las aceleraciones máximas esperadas y, en etapas posteriores, tener una mejor estimación del peligro sísmico para una región que incluye la segunda ciudad más poblada de México (Guadalajara).

Para este fin, se requiere la combinación de diferentes disciplinas que aseguren una buena calidad de los resultados. Por ello, se propone que el análisis de la sismicidad histórica e instrumental de la región vaya acompañado de un estudio integral de los aspectos geológicos mediante la interpretación geomorfológica-estructural y la realización de estudios paleosismológicos. A su vez, estas estimaciones contarán con el refuerzo del conocimiento de la estructura del subsuelo que brindan otras técnicas geofísicas. Todo ello se traducirá en mejoras de la zonificación sísmica, la planificación urbanística del territorio, y la prevención de desastres ocasionados por sismos de tipo cortical que pueden afectar gravemente a las poblaciones de la zona.





**d) Características de los entregables que se espera obtener como resultado de la ejecución del Proyecto Preventivo**

Recopilación de información bibliográfica sobre geología y tectónica de la región, incluyendo sismicidad histórica e instrumentada.

Cartografía preliminar de fallas potencialmente activas.

Mapa del campo de esfuerzos regional para el bloque de Jalisco.

Mapa sismotectónico de la zona de la falla de Ameca y fallas circunvecinas, incluyendo datos de sismicidad de las redes regionales.

Evaluación de la capacidad (cobertura y homogeneidad) de registro sísmico de la zona por parte de la red nacional.

Red de estaciones sismográficas locales.

Mapa de intensidades esperadas para una sismo virtual del tipo del de 1567.

Geomorfología y datos estructurales de las fallas de la zona de estudio.

Mapa de fallas potencialmente activas del límite norte del Bloque de Jalisco.

Caracterización paleosismológica preliminar incluyendo magnitudes máximas y edades relativas de paleoterremotos identificados.

**e) Forma y medio en que deberán ser entregados los resultados del Proyecto Preventivo**

Todos los entregables serán presentados en medios digitales, a fin de facilitar su análisis y procesamiento.

**f) Plazo máximo para el desarrollo del Proyecto Preventivo**

25 meses, a partir de que se notifique la suficiencia presupuestal para la ejecución del proyecto por parte del Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos S.N.C. (BANOBRAS).

**g) Programa de la ejecución del gasto del Proyecto Preventivo**

Se adjunta programa.

**h) Calendario de entrega de reportes trimestrales**

A más tardar el último día hábil de los meses 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 y el subsecuente en el mes 25 en función de la fecha de inicio del Proyecto de Investigación.

**i) Criterios considerados para la evaluación del Proyecto Preventivo**

1. Determinación del peligro para una fuente sísmica en el interior del territorio nacional, cercana a la segunda ciudad más poblada.



2. Los resultados implicarán modificaciones a los reglamentos de construcción en la región, con lo que se lograría una disminución notable del riesgo por sismo.
3. Se podrá contar con una base para la revisión de criterios en cuanto a la planificación urbana y el reordenamiento territorial.
4. Los resultados también incidirían en los esquemas de continuidad de operaciones, aseguramiento, etc.