

SESIÓN 3

Geofísica



**XV Congreso Geológico de América Central
V Congreso Guatemalteco de Geociencias Ambientales**

Del 27 al 29 de noviembre 2024, Antigua Guatemala

AVANCES EN LA EXPLORACIÓN GEOFÍSICA ONSHORE DE HIDROCARBUROS EN EL ORIENTE DE EL SALVADOR

Abstrac ID 301

ADVANCES IN ONSHORE GEOPHYSICAL EXPLORATION FOR HYDROCARBONS IN EASTERN EL SALVADOR

Alejandra Ileana Delgado Menjívar¹, Luis Adrián Mayén Flamenco¹, Gustavo Adolfo Morán², Keren Jeanette Ventura Huezó³

¹Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL), Centro de Gobierno, San Salvador, El Salvador

²Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria de Occidente, Santa Ana Centro, Santa Ana, El Salvador,

³Dirección General de Energía, Hidrocarburos y Minas, San Salvador, El Salvador.

Email: aidelgado@cel.gob.sv

RESUMEN

El Salvador, con geología predominantemente volcánica, no suele considerarse un territorio con potencial hidrocarburífero; no obstante, no se cuenta con estudios geocientíficos detallados que puedan concluir si existe o no un sistema de estas características en el país. En este sentido, recientemente la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL) ha impulsado la exploración de posibles yacimientos en el Oriente del país, motivada por la presencia de emanaciones superficiales de gas natural. Estas evidencias llevaron a la aplicación de métodos geofísicos potenciales, como gravimetría y magnetometría, en la región circundante a la manifestación, abarcando un área que se extiende desde el borde Sur de la ZFES hasta los límites de la cordillera Jucuarán. Los estudios incluyeron la adquisición de 29 perfiles aeromagnéticos, cubriendo un área de 40 km², empleando un magnetómetro fluxgate MagDrone R3 de Sensys acoplado a un dron DJI Matrice 300 RTK. Los datos obtenidos fueron procesados y se calculó la Intensidad del Campo Magnético Total (TMI), Campo Magnético Residual, Reducción al Polo para resaltar anomalías y, se aplicó un filtro Butterworth pasa-altas de orden 8 para resaltar y eliminar las interferencias causadas por el ruido. Esta metodología permitió identificar potenciales lineamientos estructurales que coinciden con fallas mayores de la zona. Además, se reprocesaron y reinterpretaron 332 estaciones gravimétricas, permitiendo la identificación de una región con anomalía de Bouguer baja relativa, posiblemente vinculada a los materiales lacustres de baja densidad mencionados en estudios geológicos realizados en la zona. La anomalía también coincide con los bordes de los segmentos de la deformación transtensiva no coaxial observada en la región y con los fallamientos de Chinameca y Jucuarán. Los resultados han permitido optimizar la recopilación de datos geofísicos de alta resolución y proponer la ampliación del área de interés inicial para futuras exploraciones.

Palabras clave: *Drones; Exploración; Estructuras; Fallas; Geofísica; Gravimetría; Hidrocarburos; Lineamientos; Magnetometría*

ABSTRACT

El Salvador, with predominantly volcanic geology, is not typically considered a territory with hydrocarbon potential; however, there are no detailed geoscientific studies that can conclusively determine whether or not such a system exists in the country. In this context, the Executive Hydroelectric Commission of the Lempa River (CEL) has recently promoted the exploration of potential deposits in the eastern region of the country, motivated by the presence of natural gas surface emissions. These indications led to the application of potential geophysical methods, such as gravimetry and magnetometry, in the area surrounding the manifestation, covering a region extending from the southern edge of the ZFES to the limits of the Jucuarán mountain range. The studies included the acquisition of 29 aeromagnetic profiles, covering an area of 40 km², using a Sensys MagDrone R3 Fluxgate magnetometer coupled to a DJI Matrice 300 RTK drone. The data obtained were processed, and the Total Magnetic Intensity (TMI), Residual Magnetic Field, and Reduction to the Pole were calculated to highlight anomalies. An 8th-order high-pass Butterworth filter was applied to emphasize and reduce noise-induced interference. This methodology enabled the identification of potential structural lineaments that coincide with major faults in the area. Additionally, 332 gravimetric stations were reprocessed and reinterpreted, allowing the identification of a region with a relatively low Bouguer anomaly, possibly linked to the low-density lacustrine materials mentioned in geological studies conducted in the area. The anomaly also coincides with the edges of the non-coaxial transtensive deformation segments observed in the region and with the Chinameca and Jucuarán faults. The results have optimized the collection of high-resolution geophysical data and propose the expansion of the initial area of interest for future explorations.

Key words: *Drones; Exploration; Structures; Faults; Geophysics; Gravimetrics; Hydrocarbon; Lineaments; Magnetic Survey.*

AVANCE DEL LEVANTAMIENTO MAGNÉTICO TERRESTRE EN LA ZONA AZUL DE LA PENÍNSULA DE NICOYA

Abstrac ID 302

PROGRESS OF THE TERRESTRIAL MAGNETIC SURVEY IN THE BLUE ZONE OF THE NICOYA PENINSULA

Waldo Taylor Castillo¹ & Diego Badilla Elizondo¹

¹Instituto Costarricense de Electricidad

Email: WTaylor@ice.go.cr ; DBadillaE@ice.go.cr

RESUMEN

La Península de Nicoya ha sido reconocida mundialmente como una de las cinco zonas azules existentes en el mundo que se caracterizan por la longevidad de sus habitantes. El promedio de edad de los 43 centenarios vivos en el año 2017, era de 102 años. Además de los hábitos alimenticios y de estilo de vida, se quería determinar si el campo magnético terrestre sufría algún cambio en esa región. El levantamiento magnético terrestre se inició en el 16/2/2021 y hasta la fecha, se han realizado más de 1600 mediciones, abarcando tanto la Península de Nicoya como a las cordilleras volcánicas de Guanacaste y Tilarán. El espaciamiento de los puntos de medición (ubicados lejos de líneas de transmisión), en la medida de lo posible, tienen una distancia máxima de 5 km, sin embargo, por condiciones topográficas o falta de caminos, no siempre se logró ese objetivo. Los datos fueron calibrados con las mediciones permanentes del Observatorio Magnético de Costa Rica ubicado en el Sector Santa Elena del Parque Nacional Santa Rosa, Costa Rica. Se hizo una reducción al polo y también un análisis de la señal analítica usando el Oasis Montaj. Los resultados del campo magnético total, muestran una anomalía magnética en Nicoya que varía hasta en un 3% del campo magnético (1000 nano teslas). Los mapas de anomalías magnéticas sugieren además la existencia de zonas geotérmicas en las cordilleras volcánicas, zonas de falla y posibles reservorios asociados a yacimientos de gas natural, sobre todo en una zona cercana al río Tempisque. También fue posible identificar las áreas mineralizadas de la Cordillera volcánica de Tilarán.

NUEVAS PERSPECTIVAS GEOLÓGICAS: ACTUALIZACIÓN DEL MAPA DE LA SUBCUENCA GUACERIQUE MEDIANTE TÉCNICAS GEOFÍSICAS

Abstrac ID 303

NEW GEOLOGICAL PERSPECTIVES: UPDATING THE MAP OF THE GUACERIQUE SUB – BASIN USING GEOPHYSICAL TECHNIQUES

Marcio Josue Chirinos Escobar

¹Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Ciudad Universitaria, Tegucigalpa, Honduras.

Email: marcio.chirinos@unah.edu.hn

RESUMEN

La cuenca Guacerique declarada como “Zona Forestal Protegida del Patrimonio Público Forestar inalienable” por la Secretaria de Recursos Naturales, es una región vital para el suministro hídrico de la ciudad de Tegucigalpa, albergando el embalse Los Laureles que abastece aproximadamente el 23% de su población. Este estudio se centra en la caracterización geológica de la subcuenca, utilizando ensayos de Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT) para mejorar la precisión del Mapa de la Geología Superficial. Los resultados obtenidos no solo enriquecen la base de datos geología existente, sino que también permiten una identificación mas precisa de las unidades litológicas, lo que es crucial para la gestión sostenible de los recursos hídricos. La metodología empleada incluyo la integración de datos geofísicos con información geológica previamente disponible, validada mediante talleres con geólogos expertos. Este enfoque interdisciplinario garantiza la fiabilidad de la información generada, lo que es fundamental para la toma de decisiones en la gestión del agua y la planificación territorial en la región. Los hallazgos subrayan la necesidad de adoptar estrategias de conservación y manejo que promuevan la sostenibilidad ambiental, garantizando la protección de los ecosistemas que sustentan los recursos hídricos de la subcuenca. Este trabajo no solo contribuye al conocimiento geológico e hidrogeológico de la Subcuenca Guacerique, sino que también establece un modelo aplicable a otras regiones con características similares, enfatizando la importancia de la investigación científica en la gestión de recursos hídricos y la protección del medio ambiente.

Palabras clave: *ensayos geofísicos, geología superficial, gestión de recursos hidricos, hidrogeología, subcuenca Guacerique*

ABSTRACT

The Guacerique sub-basin, declared as “Protected Forest Zone of the inalienable Public Forest Heritage” by the Secretarial of Natural Resources, is a vital región for the wáter supply of the city of Tegucigalpa, housing the Los Laureles reservoir that supplies approximately 23% of its population. This study focuses on the geological characterization of the sub-basin, using Electrical Resistivity Tomography (ERT) tests to improve the accuracy of the Surface Geology Map. The results obtained not only enrich the existing geological database, but also allow a more accurate identification of lithological units, wich is crucial for sustainable water resources management. The methodology employed included the integration of geophysical data with previously available geological information, validated through workshops whit expert geologists. This interdisciplinary approach ensures the reliability of the information generated, wich is fundamental for decisión makin in water management and territorial panning in the región. The findings underscore the need to adopt conservation and management strategies that promote enviroamental sistainability, ensuring the protection of the ecosystems that sustain the sub-basin’s water resources. This work not only contributes to the geological and hydrogeological knowledge of the Guacerique sub-basin, but also establishes a model aplicable to other regions with similar characteristics, emphasizing the importance of scientific research in water resource management and environmental protection.

Key words: Geophysical testing, Surface geology, water resources management, hidrogeology, Guacerique sub-basin

EXPLORACIÓN GEOLÓGICA-GEOFÍSICA Y EVALUACIÓN DE UN DEPÓSITO DE PUZOLANA: GEOLOGÍA DE CAMPO, MODELADO Y ESTIMACIÓN DE RECURSOS

Abstrac ID 304

GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL EXPLORATION AND EVALUATION OF PUZOLANA DEPOSITS:
FIELDWORK, MODELLING, AND RESOURCE ESTIMATION

Jaime Requena¹, Alejandro Cacao¹, Petr Blaha²

¹Cementos Progreso, S.A.,

²Apbp consulting

Email: jrequena@cempro.com ; acacao@cempro.com ; petr.blaha@apbp.ch

RESUMEN

La puzolana es esencial para la industria del cemento debido a su habilidad para remplazar el clinker en el cemento. Esta no sólo reduce el costo de la producción de cemento, sino también contribuye significativamente en la reducción de emisiones de CO₂ y de la huella de carbono global del concreto.

Este estudio representa una exploración y evaluación exhaustivas de un depósito de puzolana útil para fabricación de cemento. La investigación incluyó trabajo de campo geológico, estudios geofísicos, análisis de laboratorio, modelado geológico y el cálculo de modelo de bloques para estimar los recursos y reservas de puzolana. Los resultados indican reservas significativas de puzolana, lo que sugiere un alto potencial para la explotación comercial. Este artículo discute los métodos utilizados y las implicaciones de los resultados para futura optimización de actividades de exploración y explotación de las reservas.

Palabras clave: *Puzolana, geología de campo, geofísica, modelo de bloques, estimación de recursos.*

ABSTRACT

Pozzolana is essential to the cement industry due to its ability to replace clinker in cement. This not only reduces the cost of cement production, but also makes a significant contribution to CO₂ emissions and the overall carbon footprint of concrete.

This study represents a comprehensive exploration and evaluation of a pozzolana deposit. The investigation included geological fieldwork, geophysical surveys, geological modelling and the calculation of a block model to estimate pozzolana resources. The results indicate significant pozzolana reserves, suggesting a high potential for commercial exploitation. This paper discusses the methods used and the implications of the results for future exploration and mining activities.

Key words: Pozzolana, geological fieldwork, geophysics, geological modelling, block model, resource estimation.

ESTUDIO DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA (ERT), IP Y GRAVIMETRÍA EN SITIO DE LA TORRE 47 LT ARENAL-BARRANCA

Abstrac ID 305

ELECTRICAL TOMOGRAPHY (ERT), IP AND GRAVIMETRY STUDY AT THE TOWER 47 LT ARENAL-BARRANCA SITE

Maureen Bonilla Hidalgo

¹Grupo Geociencias, Proceso de Ingeniería, IC-Dirección Gestión de Servicios no Regulados del Instituto Costarricense de Electricidad, San José, Apartado postal 1000-10032, Mata Redonda, Costa Rica

Email: mbonillah@ice.go.cr

RESUMEN

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) en su División de Transmisión, administra la Línea de Transmisión (LT) Arenal-Barranca ubicada en la región Pacífico Central y Chorotega del Costa Rica, esta línea transporta una tensión de 230 kV, a lo largo de 64 km sostenida por alrededor de 137 torres, comunicando las Subestaciones de Barranca al sur y Arenal al noroeste del país.

La torre 47 de tipo TR y clasificada en condición especial debido a su altura de 62,7 m, se localiza hacia el sector central noroeste de la línea, en la provincia de Guanacaste, cantón de Abangares y distrito de Sierra, en un sector históricamente minero en el que se ha desarrollado la minería artesanal de oro, mediante el uso de excavaciones improvisadas y manuales, ya sean en forma de túneles, pozos o trincheras a lo largos de las vetas enriquecidas en metales.

Debido la condición especial de la torre 47 y a la cercanía de a la actividad minera artesanal, se presume que pueda existir algún tipo de socavación en la cimentación de la torre, por lo que se solicitan estudios de geofísica de tomografía eléctrica, polarización inducida y gravimetría, al Grupo de Geociencias del Proceso de Ingeniería de IC, para detectar estructuras antrópicas o geológicas cercanas o bajo la torre. A partir de los resultados se determina que existen al menos dos estructuras geológicas importantes asociadas a posibles vetas enriquecidas, las cuales se localizan de forma lateral y profunda, así como pequeñas estructuras cercanas a la torre.

Palabras clave: *torre, minería, geofísica, socavación, cimentación*

ABSTRACT

The Costa Rican Institute of Electricity (ICE) in its Transmission Division, manages the Arenal-Barranca Transmission Line (LT) located in the Central Pacific and Chorotega region of Costa Rica, this line transports a voltage of 230 kV, along 64 km supported by around 137 towers, connecting the Barranca Substations to the south and Arenal to the northwest of the country.

Tower 47 of type TR and classified in special condition due to its height of 62.7 m, is located towards the central northwest sector of the line, in the province of Guanacaste, canton of Abangares and district of Sierra, in a historically mining area in which artisanal gold mining has been developed, through the use of improvised and manual excavations, whether in the form of tunnels, wells or trenches along the veins enriched in metals.

Due to the special condition of tower 47 and its proximity to artisanal mining activity, it is presumed that there may be some type of scour in the foundation of the tower, which is why geophysical studies of electrical tomography, induced polarization and gravimetry are requested, to the IC Engineering Process Geosciences Group, to detect anthropogenic or geological structures near or under the tower. From the results, it is determined that there are at least two important geological structures associated with possible enriched veins, which are located laterally and deeply, as well as small structures near the tower.

APLICACIONES DEL MÉTODO GEOFÍSICO MASW 2D Y PARTICULARIDADES DEL ANÁLISIS DE LAS CURVAS DE DISPERSIÓN EN TRES CASOS APLICADO A ESTUDIOS TECTÓNICOS Y GEOTÉCNICO EN COSTA RICA

Abstrac ID 306

APPLICATIONS OF THE 2D MASW GEOPHYSICAL METHOD AND PARTICULARITIES OF DISPERSION CURVE ANALYSIS IN THREE CASES APPLIED TO TECTONIC AND GEOTECHNICAL STUDIES IN COSTA RICA

Carlos Leandro

¹Empresa Ingeofica Dos Mil S.A.

Email: cleandro@ingeofica.com

RESUMEN

El método MASW 2D, (multichannel analysis of Surface waves 2D), fue usado en Costa Rica por vez primera en el año 2010 por la empresa Ingeofica Dos Mil en soluciones aplicados a la ingeniería geotécnica, desde la fecha, se ha acumulado gran experticia en el procesamiento de datos e interpretación a partir del análisis de las ondas superficiales (onda Rayleigh), que guarda gran relación con la velocidad de la onda secundaria (aproximadamente 0.92Vs), por ello, las salidas gráficas finales de las secciones con los tomogramas sísmicos, se escalan con ese valor de Vs. En el análisis toman importancia las longitudes de onda, velocidades de fase, los valores de frecuencia y principalmente el gráfico de curva de dispersión (frecuencia vs. velocidad de fase), con el cual se eligen los “modos” fundamental u otros que alimentan al software empleado para el modelo final de capas. En el presente trabajo se muestran los contrastes entre las curvas de dispersión de una misma sección, para identificar rasgos estructurales (fallas) o asentamientos por mala compactación de un relleno en tres casos reales tomados en tres sitios en sectores del este y occidente de Costa Rica, en los cuales se ejemplifica una falla normal, una falla inversa y un caso de asentamiento por mala compactación del relleno, de forma conexa, el método ha venido tomando importancia en la clasificación del tipo de sitio definido en el código sísmico vigente para Costa Rica a partir del cálculo del parámetro Vs30.

Palabras clave: *MASW, tomografía sísmica, dispersión de onda Rayleigh, ensayo REMI, Vs30*

ABSTRACT

The 2D MASW method (Multichannel Analysis of Surface Waves 2D) was first used in Costa Rica in 2010 by the company Ingeofica Dos Mil for solutions applied to geotechnical engineering. Since then, extensive expertise has been accumulated in data processing and interpretation through the analysis of surface waves (Rayleigh waves), which have a strong correlation with the secondary wave velocity (approximately 0.92Vs). Therefore, the final graphic outputs of the sections with seismic tomograms are scaled with this Vs value. The analysis focuses on wavelengths, phase velocities, frequency values, and especially the dispersion curve graph (frequency vs. phase velocity), which is used to select the fundamental or other modes that feed into the software for the final layer model. This paper presents contrasts between dispersion curves from the same section to identify structural features (faults) or settlements caused by poor compaction of a fill in three real cases taken from sites in the eastern and western regions of Costa Rica. These cases illustrate a normal fault, a reverse fault, and a case of settlement due to poor compaction of the fill. Additionally, the method has gained importance in site classification, as defined in the current seismic code for Costa Rica, by calculating the Vs30 parameter.

Key words: MASW, seismic tomography, Rayleigh wave dispersion, REMI test, Vs30

IDENTIFICACIÓN DE TIROS Y GALERÍAS MINERAS HISTÓRICAS CON IMÁGENES DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA 2D (DURANGO, MÉXICO)

Abstrac ID 307

HISTORIC MINESHAFT AND MINE GALLERY IDENTIFICATION WITH 2D ELECTRICAL RESISTIVITY IMAGING (DURANGO, MEXICO)

Héctor R. Hinojosa Prieto

¹Cordillera Geo-Services LLC, Cedar Park, TX 78613, USA

Email:

RESUMEN

La plata se minaba y extraía en Durango, México, en grandes cantidades en la época colonial. Pequeñas operaciones mineras también ocurrieron en tiempos históricos (década de 1930) después de la colonia española, como el denuncia minero La Soledad, al noroeste de la ciudad de Gómez Palacio, Durango. Dentro del denuncia La Soledad, el área de estudio, se reportan mineralización tipo veta y tipo manto de origen hidrotermal y una mina abandonada. Relatos históricos hablan de un tiro de mina abandonado, perdido y sin marcar que detuvo sus operaciones hace casi un siglo. Para verificar donde existió el antiguo tiro de la mina abandonado y sin marcar, se realizó un estudio de imágenes de resistividad eléctrica (ERI) bidimensional (2D) y un reconocimiento del área. La campaña de exploración geofísica tenía como objetivo, además de encontrar el tiro abandonado, mapear su extensión subsuperficial y explorar la presencia de zonas de mineralización (plata). El estudio ERI 2D comprendió cinco perfiles medidos con el arreglo dipolo-dipolo extendido con electrodos separados a 5 m. Se utilizaron los métodos de inversión de mínimos cuadrados amortiguado, robusto y suave para invertir los datos 2D; sin embargo, los resultados exitosos no se atribuyen a un único método de inversión. La profundidad de investigación es en promedio de ~65 m. Las observaciones de campo y los resultados del levantamiento ERI 2D revelan colectivamente los siguientes hallazgos: (a) el reconocimiento revela una infraestructura minera consistente con la actividad minera histórica, que incluye un complejo habitacional, una pila de procesamiento de mineral cerca de una losa de concreto al lado de un camino de terracería y dos estructuras cuadradas tabulares hechas con bloques de piedra caliza interpretadas como la entrada de dos tiros mineros abandonados y rellenados, aquí nombrados Mesquite y Lechuguilla; (b) las anomalías de alta resistividad eléctrica sugieren vestigios de trabajos mineros subterráneos poco profundos, incluidos pozos de minas rellenados que conectan un complejo de galerías mineras, y (c) varias anomalías de baja resistividad, yuxtapuestas a las galerías mineras interpretadas, que sugieren vetas poco profundas aún no minadas y mineralización de tipo manto de origen hidrotermal. El histórico minado de plata subterráneo se direcciono hacia el sur y se limitó a ~40 m de profundidad.

ABSTRACT

Silver was mined in Durango, Mexico in Colonial times. Small mining operations also happened in historic times (1930s), like in the La Soledad mining claim, northwest of Gomez Palacio, Durango. Here, historical accounts call for an unmarked, lost, abandoned mine shaft that stopped operations nearly a century ago. Vein-type and manto-type mineralization of hydrothermal origin and an abandoned mine are reported within the mining claim. To explore for the lost unmarked, old, and abandoned mineshaft, a two-dimensional (2D) Electrical Resistivity Imaging (ERI) survey coupled with reconnaissance of the area was performed within the La Soledad mining claim. In addition to find the abandoned mineshaft, the 2D ERI survey aimed to map its subsurface extent, and explore the occurrence of mineralization zones (silver ore). The 2D ERI survey comprised five profiles measured with the extended dipole-dipole array with a consistent electrode spacing of 5 m. The smooth, robust, and damped least-squares inversion methods were used to invert the 2D ERI data; however, successful results are not attributed to a single inversion method. The imaging depth is estimated at ~65 m. Field observations and 2D ERI survey results collectively reveal the following findings: (a) reconnaissance reveals infrastructure consistent with historical mining activity; the infrastructure includes a complex of habitational rooms, an ore-processing pit near a concrete slab next to a dirt road, and two square limestone-wall structures interpreted as the entrance of abandoned backfilled mineshafts, here named the Mesquite and Lechuguilla; (b) high-resistivity anomalies suggest vestiges of shallow, underground mine workings including backfilled mineshafts that connect a mine gallery complex, and (c) various low-resistivity anomalies, juxtaposed against the interpreted mine galleries, suggestive of unmined shallow vein-type and manto-type silver mineralization of hydrothermal origin. Underground silver mining moved southwards and was limited to ~40 m depth.

POTENCIAL Y DESAFÍOS DE LA ARQUEOSISMOLOGÍA EN MÉXICO

Abstrac ID 308

ARCHAEOSEISMOLOGICAL POTENTIAL AND CHALLENGES IN MEXICO

Héctor R. Hinojosa Prieto

¹Cordillera Geo-Services LLC, Cedar Park, TX 78613, USA

Email:

RESUMEN

Puede ser un desafío encontrar evidencia clara o irrefutable de terremotos antiguos en el registro arqueológico; sin embargo, una vez encontrada, la evidencia se inspecciona con métodos arqueosismológicos con el objetivo de expandir el catálogo de terremotos pre-instrumentales (antiguos) e instrumentales y evaluar mejor el peligro sísmico de la región. México es un laboratorio arqueosismológico. La sismicidad activa de México antecede por mucho tiempo al surgimiento y caída de varias civilizaciones mesoamericanas precolombinas (tales como, olmeca, zapoteca, teotihuacana, tolteca, mixteca, maya y azteca), las sociedades de los periodos colonial y poscolonial español, y los pueblos indígenas, y sigue siendo un peligro sísmico para la sociedad moderna del país. Las regiones sísmicas activas de México en y alrededor de su masa continental incluyen la Zona de Subducción Mexicana (ZSM) y la provincia extensional de rift oblicuo del Golfo de California, que pueden generar grandes terremotos; el Cinturón Volcánico Transmexicano (CVT), que cruza toda la geografía central del país, y una región en el norte de México (Sonora-Durango) que también puede generar terremotos sísmicos significativos. La arquitectura o infraestructura de las sociedades mesoamericanas, coloniales y poscoloniales se erigió principalmente en las regiones centrales y del sur de México actuales; por lo tanto, los terremotos de la zona ZSM y del CVT fueron los peligros sísmicos más próximos, tanto en costa afuera como en tierra, para estos antiguos centros de población. La arquitectura colonial también se extendió a los territorios del norte de México, incluyendo partes del suroeste y sur de los Estados Unidos de América (por ejemplo, las Misiones Españolas de California, Arizona, Nuevo México y Texas). Si estas fueron dañadas o destruidas por terremotos antiguos en México, la arquitectura precolombina y colonial puede servir como sismoscopios y, por lo tanto, convertirse en el objeto de estudio de terremotos pasados no documentados o poco documentados. No obstante, la guerra asociada con la conquista española dañó, en algunos casos destruyó, la arquitectura precolombina, y en casos extremos, se construyeron estructuras de coloniales sobre estructuras precolombinas; en consecuencia, la investigación arqueosismológica en áreas que contienen arquitectura mesoamericana contemporánea a la conquista española y su establecimiento podría verse desafiada por los efectos de episodios bélicos, haciendo que la distinción entre patrones de destrucción por guerra y co-sísmicos sea problemática y debatible. Por el contrario, los registros arqueológicos e históricos de la arquitectura de estilo colonial probablemente estén mejor preservados y sean más abundantes, y podrían proporcionar información amplia sobre posibles o reales daños antiguos relacionados con eventos sísmicos. Finalmente, la sismicidad en el norte de México es la fuente sísmica más cercana a los territorios ocupados por los pueblos indígenas en Baja California, Sonora, Chihuahua y Durango; sin embargo, dado que estos pueblos indígenas no construyeron estructuras masivas que pudieran ser preservadas en el registro arqueológico o en el patrimonio cultural, encontrar registros de daños a su infraestructura debido al movimiento sísmico es aún más complicado. En su lugar, sus construcciones eran estructuras modestas hechas de adobe, barro, ramas, y madera. También tenían actividades agrícolas, por lo que las estructuras relacionadas con el riego y las áreas de cultivo podrían servir como marcadores geomorfológicos y sismoscopios si se fueron afectadas por antiguos terremotos corticales.

ABSTRACT

It can be challenging to find clear or irrefutable evidence of ancient earthquakes in the archaeological record; however, once found, the evidence is inspected with archaeoseismological means with the aim of increasing the pre-instrumental (past) and instrumental earthquake catalog and better assessing the seismic hazard of the region. Mexico is an archaeoseismological laboratory. The active seismicity of Mexico long predates the rise and fall of several pre-Columbian Mesoamerican civilizations (i.e., Olmec, Zapotec, Teotihuacan, Toltec, Mixtec, Maya, and Aztec), the societies of the Spanish colonial and post-colonial periods, the indigenous peoples, and continues to be a seismic hazard to the country's modern society. Mexico's active seismic regions in and around its landmass include the Mexican Subduction Zone (MSZ) and the Gulf of California spreading center/transform boundary, which can generate large earthquakes; the east-west trending Trans-Mexican Volcanic Belt (TMBV), which crosses the entire central geography of the country, and a region in northern Mexico (Sonora and Durango) that can also generate significant large crustal earthquakes. The architecture or infrastructure of Mesoamerican, Colonial, and post-colonial societies were erected mainly in nowadays central and southern regions of Mexico; therefore, earthquakes from the MSZ zone and the TMBV were the most proximal offshore and onshore seismic hazards to these past population centers. Colonial-style architecture also spread out to northern Mexican territories, including parts of the southwestern and southern United States of America (e.g., the Spanish Missions of California, Arizona, New Mexico, and Texas). If damaged or destroyed by ancient Mexican earthquakes, pre-Columbian and colonial architecture can serve as seismoscopes and, therefore, become the subject study of undocumented or poorly documented past earthquakes. Nevertheless, the warfare associated with the Spanish conquest damaged, in some cases destroyed, pre-Columbian architecture, and in extreme cases, Colonial-style buildings were constructed on top of pre-Columbian structures; consequently, archaeoseismic research in areas containing Mesoamerican architecture contemporaneous to the Spanish conquest and their establishment might be challenged by the effects of warfare episodes, making the distinction between warfare versus co-seismic destruction patterns problematic and debatable. Contrarywise, archaeological and historical records of colonial-style architecture are likely to be better preserved and more abundant, and they might provide ample information about possible or actual ancient co-seismic-related damage. Lastly, the seismicity in northern Mexico is the most proximal seismogenic source to territories occupied by Indigenous peoples in Baja California, Sonora, Chihuahua, and Durango, Mexico; however, because these Indigenous peoples did not build massive structures that could be preserved in the archaeological record or architectural heritage, finding records of damage to their infrastructure due to earthquake-related ground motion is even more complicated. Instead, their constructions were modest structures made of adobe, mud, grass, and timber. They also had agricultural activities, so irrigation-related structures and farming areas might serve as geomorphological markers and seismoscopes if they are affected by past crustal earthquakes.

DESCIFRANDO LAS FACIES MODERNAS DEL CAMPO DE ESFUERZOS TECTÓNICOS EN COSTA RICA Y VECINDAD MEDIANTE MECANISMOS FOCALES DE TERREMOTO Y APOYO GNSS

Abstrac ID 309

DECIPHERING THE MODERN STRESS FIELD FACIES IN COSTA RICA AND VICINITY FROM EARTHQUAKE FOCAL MECHANISMS AND GNSS SUPPORT

Allan López^{1,2}, Luis Carvajal Soto²

¹ISRM Commission on Crustal Stress and Earthquakes

²Universidad Latina, Ingeniería Civil

Email: allan.lopez@geologos.or.cr ; 506carvajal@gmail.com

RESUMEN

Se recopilaron 2547 mecanismos focales de terremotos para modelar el campo de esfuerzo tectónico en Costa Rica, sur de Nicaragua y norte de Panamá, determinando 86 tensores regionales de esfuerzo. La orientación del esfuerzo horizontal máximo (SH Max) es subparalela a la dirección de convergencia de la placa de Cocos con la placa Caribe, con una rotación horaria de $\pm 20^\circ$ a más de 30 km de profundidad. Se identifican tres órdenes de esfuerzos: uno debido al movimiento absoluto de la placa de Cocos, otro por la interacción triple con las placas Caribe y Nazca, y un tercero por contrastes de densidad relacionados con cordilleras volcánicas y fallas regionales, que desvían los esfuerzos locales hacia el norte y oeste. Los datos GNSS del campo de velocidades horizontales muestran una fuerte correlación con las direcciones interpoladas del SH Max en la capa superior. Estas observaciones, junto con las permutaciones locales y regionales del elipsoide de esfuerzos, explican las interacciones de los regímenes tectónicos y sus complejidades neotectónicas. Se genera un escenario 2D-3D detallado con límites sísmo tectónicos realistas, utilizando categorías de regímenes de esfuerzo y la relación tectónica R' . Los resultados son aplicables en estudios de amenaza y riesgo sísmico, exploración de recursos naturales, geotecnia y medio ambiente.

Palabras clave: *mecanismos focales, inversión, tensor de esfuerzo, permutación, órdenes del esfuerzo*

ABSTRACT

A database containing 2547 earthquake focal mechanisms from Costa Rica, southern Nicaragua, and northern Panama is analyzed to model the modern tectonic stress field through inversion. 86 regional stress tensors are derived, revealing the general orientation of the maximum horizontal stress (SH Max) to be sub-parallel to the N 32° E convergence direction of the Cocos plate with the Caribbean plate along the Middle America Trench. A clockwise rotation of approximately $\pm 20^\circ$ is observed below 30 km depth. Three orders of stress are identified: the first attributed to the absolute motion of the Cocos plate, the second characterized by high magnitude boundary forces from the triple interaction of the Cocos plate with the Caribbean and Nazca plates, and the third due to density contrasts imposed by trench-parallel active volcanic, igneous, and sedimentary mountain ranges. These features, combined with regional faults and their interactions, deflect the local tectonic stress north and westward. Observed and modelled GNSS data of the NNE-oriented horizontal velocity field correlate well with the direction of interpolated SH Max in the upper layer. These findings along with the local and regional permutations of the stress axes ellipsoid elucidate the interactions of tectonic regimes and their neo-tectonic complications. A detailed 2D-3D scenario is generated, offering realistic seismotectonic boundaries using stress regime categories and the tectonic R' relationship. The results hold significant practical implications for seismic hazard and risk assessment, as well as the exploration and exploitation of natural resources.

Key words: focal mechanism, inversion, stress tensor, permutation, stress orders