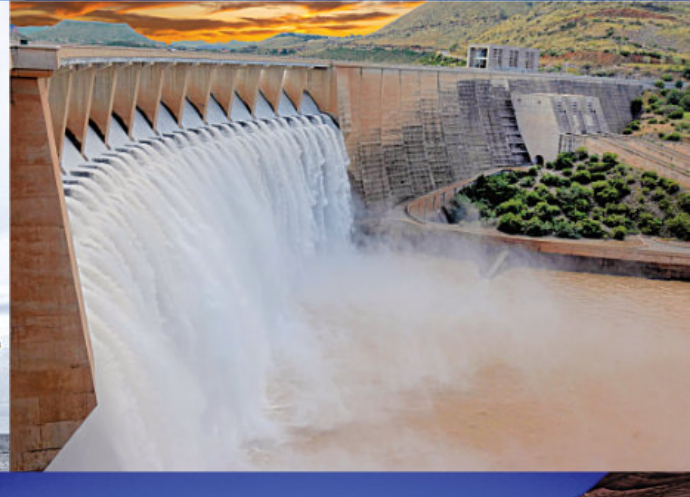


# Revista Maya de Geociencias





# Revista Maya de Geociencias

Revista Maya: Revista de Geociencias que nace a partir del entusiasmo de profesionistas con la inquietud de difundir conocimientos relacionados con la academia, investigación, la exploración petrolera y Ciencias de la Tierra en general. El objetivo principal de la revista es proporcionar un espacio a todos aquellos jóvenes profesionistas que deseen dar a conocer sus publicaciones. Los fundadores de la revista son Luis Angel Valencia Flores, Bernardo García Amador, y Claudio Bartolini.

Otro de los objetivos de la Revista Maya es incentivar a profesionales, académicos, e investigadores, a participar activamente en beneficio de nuestra comunidad joven de geociencias.

La Revista tendrá una distribución mensual, por medio de un archivo PDF, el cuál será distribuido por correo electrónico y compartido en las redes sociales. Esta revista digital no tiene fines de lucro. Si deseas participar o contribuir con algún manuscrito, por favor comunícate con cualquiera de los editores. La revista ni apoya ni rechaza lo escrito por los autores.



Agosto 1, 2021



## EDITORES DE LA REVISTA



**Luis Angel Valencia Flores** (M.C.). Ingeniero Geólogo y Maestro en Ciencias en Geología, egresado de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura-Unidad Ticomán. Ha trabajado en el IMP, Pemex Activo Integral Litoral de Tabasco, Schlumberger, Paradigm Geophysical, Comisión Nacional de Hidrocarburos, Aspect Energy Holdings LLC, actualmente es académico del IPN (posgrado y licenciatura) y la UNAM (licenciatura) impartiendo las materias de Evaluación de formaciones, Caracterización de yacimientos, Geología de yacimientos, Geoquímica, entre otras del ramo petrolero. Cuenta con experiencia de 20 años trabajando en diversos proyectos de planeación - perforación de campos, pozos costa afuera, petrofísica, geomodelado y caracterización de yacimientos entre ellos: Cantarell, Sihil, Xanab, Yaxche, Sinan, Bolontiku, May, Onixma, Faja de oro, campos de Brasil, Bolivia y Cuba. Como Director General Adjunto en la CNH fue parte del equipo editor técnico en la generación de los Atlas de las Cuencas de México, participó como ponente del Gobierno de México en eventos petroleros de Canadá, Inglaterra y Estados Unidos. Es Technical Advisor del Capítulo estudiantil de la AAPG-IPN. [luis.valencia.11@outlook.com](mailto:luis.valencia.11@outlook.com)



**Bernardo García-Amador** es candidato a doctor en Ciencias de la Tierra por la UNAM. Su geo-pasión es la tectónica, así como sus causas y consecuencias. Actualmente, se encuentra terminando su tesis de doctorado relacionada a la evolución tectónica de Nicaragua (Centroamérica) e imparte clases en la Facultad de Ingeniería de la UNAM como profesor de la asignatura de Tectónica. Bernardo publicó recientemente parte de su trabajo de disertación en la revista *Tectonics*, y un segundo manuscrito ha sido aceptado para su publicación en *Tectonophysics*. [bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu](mailto:bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu)



**Josh Rosenfeld** (Ph.D.). He obtained an M.A. from the University of Miami in 1978, and a Ph.D. from Binghamton University in 1981. Josh joined Amoco Production Company as a petroleum geologist working from 1980 to 1999 in Houston, Mexico and Colombia. Upon retiring from Amoco, Josh was employed by Veritas DGC until 2002 on exploration projects in Mexico. He has been a member of HGS since 1980 and AAPG since 1981, and currently does geology from his home in Granbury, Texas. [jhrosenfeld@gmail.com](mailto:jhrosenfeld@gmail.com)



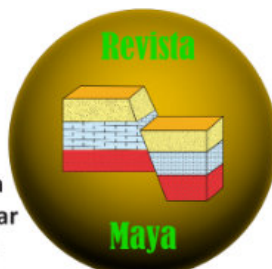
**Claudio Bartolini** (Ph.D.) is presently a senior exploration advisor at Petroleum Exploration Consultants Americas. He has more than 25 years of experience in both domestic and international mining and petroleum exploration, mainly in the United States and Latin America. Claudio is an associate editor for the AAPG Bulletin and he has edited several books on the petroleum geology of the Americas. He is a Correspondent member of the Academy of Engineering of Mexico. [bartolini.claudio@gmail.com](mailto:bartolini.claudio@gmail.com)

# Revista Maya de Geociencias

Revista Maya: Revista de Geociencias que nace a partir del entusiasmo de profesionistas con la inquietud de difundir conocimientos relacionados con la academia, investigación, la exploración petrolera y Ciencias de la Tierra en general. El objetivo principal de la revista es proporcionar un espacio a todos aquellos jóvenes profesionistas que deseen dar a conocer sus publicaciones. Los fundadores de la revista son Luis Angel Valencia Flores, Bernardo García Amador, y Claudio Bartolini.

Otro de los objetivos de la Revista Maya es incentivar a profesionales, académicos, e investigadores, a participar activamente en beneficio de nuestra comunidad joven de geociencias.

La Revista tendrá una distribución mensual, por medio de un archivo PDF, el cuál será distribuido por correo electrónico y compartido en las redes sociales. Esta revista digital no tiene fines de lucro. Si deseas participar o contribuir con algún manuscrito, por favor comunícate con cualquiera de los editores. La revista ni apoya ni rechaza lo escrito por los autores.



## COLABORADORES DE LA REVISTA



**Salvador Ortuño Arzate** received his M. Sc. from the National Autonomous University of Mexico (UNAM) and his Ph.D. from the Université de Pau and Pays de l'Adour (UPPA) in France. He has been a researcher at the Instituto Mexicano del Petróleo and the Institut Français du Pétrole, focusing his work on the Exploration Petroleum field. Salvador has published several papers and a book, "El Mundo del Petróleo" (Petroleum's world), examining and shedding light on the history of petroleum and the implications for the society. Also, he has worked as an advisor for several universities and national corporations. Lastly, he has served as faculty and has taught different courses at the Secretariat of National Defense and at the Engineering School of U.N.A.M.

[soaortuno@gmail.com](mailto:soaortuno@gmail.com)



El ingeniero cubano **Humberto Álvarez Sánchez** culmina 54 años como geólogo. Realizó estudios en la Cordillera de Guaniguanico y en su premontaña y en los macizos metamórficos, volcánicos y ofiolíticos de Cuba central. Autor de 18 formaciones y litodemas de la estratigrafía cubana. Descubridor del único depósito industrial de fosforitas marinas de Cuba. Miembro de la subcomisión Jurásico del primer Léxico Estratigráfico de Cuba. Como Country Manager y Senior Geologist de compañías canadienses, panameñas y de Estados Unidos, dirigió exploraciones en complejos del Paleozoico-Mesozoico en tres Estados de Brasil, en los greenstone belts de Uruguay; Andes de Perú y complejos volcánicos de Honduras y Panamá y otros países. Miembro de la Comisión Ministerial "Ad Honorem" del Plan Maestro de Minería de Panamá, fue Consultor Senior del Banco Interamericano de Desarrollo para el proyecto geocientífico del país. Formely Miembro del Consejo Científico de Geology Without Limits. Formerly Representante para América Central del Servicio Geológico de la Gran Bretaña. Retirado en Panamá, se ocupa de redactar estudios sobre la geología de Cuba.

[geodoxo@gmail.com](mailto:geodoxo@gmail.com)



**Ramón López Jiménez** es un geólogo con 14 años de experiencia en investigación y en varios sectores de la industria y servicios públicos. Es un especialista en obtención de datos en campo, su análisis y su conversión a diversos productos finales. Ha trabajado en EEUU, Mexico, Colombia, Reino Unido, Turquía y España. Su especialidad es la sedimentología marina de aguas profundas. Actualmente realiza investigación en afloramientos antiguos de aguas someras y profundas de México, Turquía y Marruecos en colaboración con entidades públicas y privadas de esos países. Es instructor de cursos de campo y oficina en arquitectura de yacimientos de aguas profundas y tectónica salina por debajo de la resolución sísmica.

[r.lopez.jimenez00@aberdeen.ac.uk](mailto:r.lopez.jimenez00@aberdeen.ac.uk)





Invitamos cordialmente a todos los colegas de geociencias de cualquier país del mundo, para que participen activamente en esta nueva revista, enviando el siguiente tipo de materiales:

TODO TIPO DE INFORMACIÓN ES BIENVENIDA

- Manuscritos cortos
- Fotografías de afloramientos
- Semblanzas y Memorandas
- Congresos y eventos de geología
- Información sobre becas
- Recomendación de libros
- Tesis y disertaciones recientes
- Tecnología y software geológico
- Cursos, especialidades
- Viajes de campo

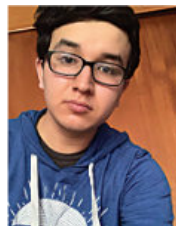


## COLABORADORES DE LA REVISTA



**Saúl Humberto Ricardez Medina** es pasante de Ingeniería Geológica, miembro activo del capítulo estudiantil de la AAPG del Instituto Politécnico Nacional, participó en el X Congreso Nacional de Estudiantes de Ciencias de la Tierra como Expositor del trabajo "Análisis de Backstripping de la Cuenca Salina del Istmo". Actualmente, se encuentra trabajando en su tesis de licenciatura relacionada a identificar y reconocer secuencias sedimentarias potencialmente almacenadoras de hidrocarburos en las cuencas del sureste.

[ricardezmedinasaulhumberto@gmail.com](mailto:ricardezmedinasaulhumberto@gmail.com)

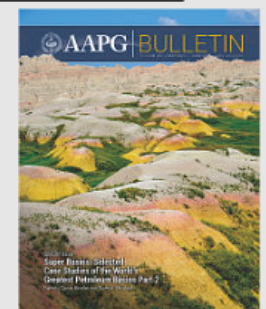
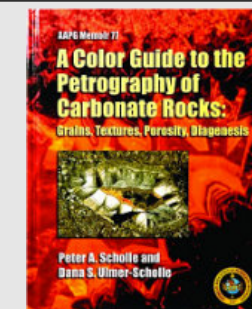
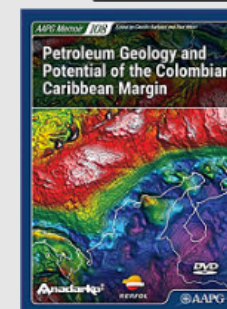
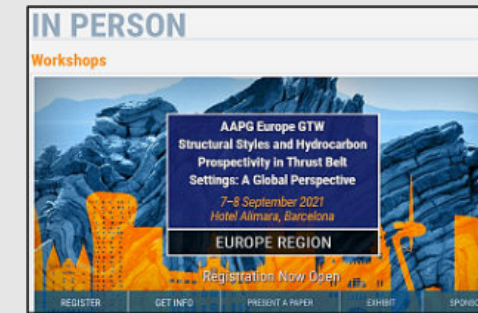
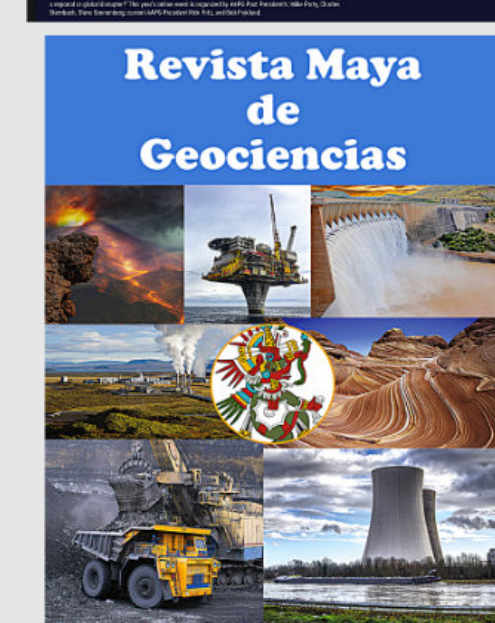


**Miguel Vazquez Diego Gabriel**, es estudiante de la carrera de Ingeniería Geológica en la Universidad Nacional Autónoma de México (Facultad de Ingeniería), sus principales áreas de interés a lo largo de la carrera han sido la tectónica, geoquímica y mineralogía. Es un entusiasta de la divulgación científica, sobre todo en el área de las Ciencias de la Tierra.

[diegogabriel807@gmail.com](mailto:diegogabriel807@gmail.com)



## Lazos de colaboración y amistad con la AAPG







# Tabla de Contenidos

**Semblanzas.....7**

**Pioneros de las Geociencias.....12**

**Resúmenes de tesis y publicaciones.....24**

**Los libros recomendados.....35**

**Qué es la energía eólica.....37**

**Fotografías de afloramientos.....44**

**Notas geológicas.....48**

**Fundadores de la geología moderna.....78**

**Pioneros de la paleontología.....80**

**Glosario de términos geológicos.....82**

**Propiedades básicas en un yacimiento.....83**

**Open source scientific software.....84**

**La casa de los volcanes.....85**

**Vínculos de sitios utilidad/museos.....86**

**Asociaciones geológicas hermanas.....88**

**Curiosidades de geociencias y cultura.....89**

## Semblanza del Ing. Samuel Eguiluz y de Antuñano



**Samuel Eguiluz y de Antuñano** nació en la Ciudad de México el 5 de febrero de 1948. Sus padres Samuel Eguiluz López y Roxana de Antuñano Enciso y dos hermanas mayores, Alicia y Roxana, formaron un estrecho y cálido núcleo familiar. Su padre, médico cirujano y pediatra, nieto del General Miguel Eguiluz, defensor del proceso de Reforma del siglo XIX y aliado de presidente Don Benito Juárez, y su madre, bisnieta del Esteban de Antuñano, fundador de la primera fábrica de hilados y tejidos de México, inculcaron en él un profundo sentimiento nacionalista. Su educación primaria la realizó en la escuela pública Constitución de 1857, la educación media en la Escuela Nacional Preparatoria No. 2. En estos centros educativos contó con excelentes profesores que afirmaron su respeto y amor a su país, principios morales y éticos y conocimientos básicos que enfatizaron su inclinación al interés por las ciencias naturales para elegir su carrera profesional. Sus estudios profesionales los realizó en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, profesores expertos en las materias impartidas forjaron una sólida preparación, y pese a su dificultad con las matemáticas, se graduó como Ingeniero Geólogo, con mención honorífica. En este proceso de formación su hermana Alicia, licenciada en Ciencias Políticas y Sociales, promovió en su formación el hábito de estudio y el análisis de corrientes filosóficas en Sociología, Economía y Literatura. Su hermana Roxana, compañera de juegos, influyó en su concepción artística. Su tío, José de Antuñano, prospector de minas, fue decisivo para influir en su carrera profesional. Durante su vida estudiantil participó trabajando desde temprana edad en el negocio familiar de una farmacia, lo que le permitió valorar el esfuerzo para obtener el beneficio correspondiente al trabajo y la satisfacción de ayudar a sus padres.

En 1971 ingresó como becario en la Gerencia de Exploración de Petróleos Mexicanos y en 1973 como pasante a Servicios Industriales Peñoles en el área de Exploración, haciendo el cálculo volumétrico de reservas de dolomita en el proyecto Lagunas del Rey. Pasó a entrenamiento de prospección minera y cartografía de minas en los distritos de Vizarrón, Maconí, La Negra y San Sebastián, estados de Querétaro y Jalisco, recibiendo esmerado entrenamiento dado por el ingeniero Willy Reyes.

En mayo de 1974 ingresó a Petróleos Mexicanos en el Distrito Frontera Noreste, fue asignado como ayudante de la brigada 4 de geología superficial, al mando del *Master* en Geología Alfredo Guzmán B., quien brindó excelente entrenamiento y atención, motivo que creó una amistad desinteresada. Desde 1975 a 1981 realizó trabajos de Geología Superficial en cartografía a semidetalle y detalle estructural y estratigráfico en las cuencas de Chihuahua, Sabinas, Plataforma de Coahuila y Cuenca del Centro de México. En 1982 pasó un corto tiempo en operación de pozos en la Cuenca de Sabinas y desde ese año hasta 1990 estuvo en los departamentos de paleosedimentación, geología regional, localización de pozos de exploración bajo el mando del ingeniero Vicente Maldonado, excelente jefe y amigo. Entre 1991 a 1999 fue supervisor



de brigadas en el departamento de geología superficial de la Superintendencia de Exploración, Zona Noreste de PEMEX y fue comisionado para participar con la Compañía AMOCO, en el Estudio Tectónico de la Sierra Madre Oriental, auspiciado por la Subdirección de Desarrollo Tecnológico de Exploración, en donde obtuvo como experiencia técnica el manejo de teledetección de imágenes satelitales, balanceo y restauración de secciones estructurales, así como la interpretación a detalle de datos microestructurales. Fue responsable de la interpretación y operaciones geológicas en el Proyecto de Inversión Múzquiz en la Cuenca de Sabinas, donde aplicó su conocimiento para estudios estructurales sobre yacimientos naturalmente fracturados, y evaluación de volumetría y del riesgo, para pozos de exploración. Fue comisionado para participar en el estudio geomecánico del campo Arcabuz-Culebra, auspiciado por la Subdirección de Desarrollo Tecnológico de PEMEX y la colaboración de las compañías GeoMechanics International, Branagan & Associated, Pinnacle Technologies y GRI. El resultado de estos estudios permitió mejorar el desarrollo de explotación con fractura hidráulica de campos convencionales de gas. Entre 1999 a 2001 participó como coordinador técnico del equipo interdisciplinario en el estudio de los *plays* Queen City, Yegua, Jackson y Vicksburg de la Cuenca de Burgos. En estos estudios, con registros de pozos, y sísmica 2D y 3D, se elaboraron modelos sedimentarios de terrígenos para evaluar a la roca almacén, analizar la trampa, evaluar el recurso petrolero, su riesgo y la productividad de los campos en los mencionados *plays*. El resultado de estos estudios orientó la exploración de nuevas áreas en esta cuenca gasífera y se perforaron con éxito pozos productores de gas, tanto exploratorios como de desarrollo de campos. Cabe reconocer que, en este periodo, mediante el trabajo interdisciplinario y de equipo, se contó con la participación de los ingenieros Pedro Romero, David García, Guadalupe Bernabé, entre otros compañeros, así como el apoyo total del ingeniero Antonio Escalera, quienes además de su valiosa colaboración, ofrecieron su invaluable amistad para materializar los diferentes proyectos técnicos.

Entre 2002 y 2004 fue comisionado por la Subdirección de Desarrollo Tecnológico para ser catedrático en la División de Estudios Superiores de la Facultad de Ingeniería en la Universidad Nacional Autónoma de México, en donde impartió la clase de geología estructural a nivel de Maestría en el Posgrado de Ingeniería. Retornó al Activo de Exploración Reynosa para realizar el estudio del *play* carbón en la Cuenca de Sabinas y posteriormente, en el convenio de la Brigada Escuela fungió como profesor del Instituto Politécnico Nacional y de la Facultad de Ciencias de la Tierra de la Universidad Autónoma de Nuevo León, impartiendo diversas clases y conferencias en aulas y campo, dando entrenamiento sobre evaluación de los elementos y procesos del Sistema Petrolero a personal de PEMEX, del Servicio Geológico Mexicano y del Instituto Mexicano del Petróleo. El suscrito solicitó su retiro de Petróleos Mexicanos en junio del 2003, con 29 años de servicios y 55 años de vida productiva con más de 30 proyectos realizados.

Entre 2004-2017 fue asesor de diferentes compañías mineras y petroleras, nacionales y extranjeras, mostrando en el campo modelos sedimentarios, la estratigrafía y su deformación vinculada a campos petroleros análogos de México. Así mismo, evaluó el potencial del cinturón cuprífero del noreste de México y dio cursos de capacitación del Sistema Petrolero. Proporcionó asesoría al Servicio Geológico Mexicano en yacimientos no convencionales en gas-carbón y gas-lutita y al Grupo GAN para evaluar yacimientos no convencionales de gas contenido en mantos de carbón. Permaneció tres años en el Reino Unido en donde estudió la geología de varias regiones, así como de Italia y España, logrando elaborar una excursión geológica en este último país. Ingresó al Instituto de Geología de la UNAM como coordinador de vinculación obteniendo más de 20 convenios de colaboración con instituciones nacionales e internacionales, su acercamiento con numerosos investigadores le permitió adquirir el conocimiento de técnicas y procesos de punta para la exploración geológica.

Samuel Eguiluz y de Antuñano ha sido miembro de la Asociación Americana de Geólogos Petroleros por más de 40 años, es socio activo de la Sociedad Mexicana de Paleontología, Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, Sociedad Geológica Mexicana y miembro de número de la Academia de Ingeniería. Autor y co-autor de numerosos trabajos publicados en diferentes revistas técnicas nacionales y extranjeras, ha dado conferencias a nivel nacional e internacional y actualmente realiza trabajos de campo, financiado por sus propios medios, para diversas investigaciones geológicas que realiza, con énfasis en el occidente de México, en compañía de sus mascotas.

<https://www.aapg.org/publications/blogs/learn/article/articleid/55481/interview-with-samuel-eguiluz-y-de-antunano-innovations-in-exploration-series>



Chapultepec 1951

<https://www.researchgate.net/profile/Samuel-Eguiluz>

Sicar Point, U.K., 2011



General Cepeda, Coahuila 2016





## Semblanza del Ing. Antonio Camargo Zanoguera (1940-2010)



De acuerdo con el periódico El Diario de Yucatán, publicado en 1996, el ingeniero **Antonio Camargo Zanoguera** nació en el municipio de Tixpéhuatl en Yucatán el 13 de junio de 1940. Cursó sus estudios entre las ciudades de Manzanillo y Tampico desde la primaria hasta la carrera profesional, graduándose como ingeniero electricista. En 1961 ingresó a PEMEX, asignado al Departamento de Exploraciones y, debido a la escasez de personal especializado en Geofísica, fue enviado a la Universidad de Rice en Houston donde obtuvo una maestría en dicha área. Llegó a ser también, en años posteriores, académico de la Facultad de Ingeniería en la Universidad Nacional Autónoma de México.

Presidió la Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración y perteneció a numerosas agrupaciones científicas, entre ellas a la prestigiada American Geophysical Union, además de participar en forma muy relevante en el mundo científico y académico del país.

A su regreso de Houston, desempeñó su trabajo en la subdirección de Exploración de PEMEX en Villahermosa, Tabasco. De acuerdo con el mismo testimonio del maestro Camargo, durante una participación suya, hace algunos años atrás, en un programa de televisión llamado Las Respuestas de la Ciencia, entre 1978 y 1979 PEMEX realizó campañas de exploración con métodos aeromagnéticos para determinar la profundidad (espesor de roca sedimentaria con posibles pozos petroleros) tanto en partes cercanas de la costa como mar adentro y se detectó una anomalía que sugería la presencia de un cráter.

Fue hasta el año de 1981 cuando presentó un trabajo en Los Ángeles, California, durante la reunión anual de la Sociedad de Geofísicos de Exploración titulado "Definition of a major igneous zone in the central Yucatán platform with aeromagnetism and gravity", en colaboración con el geofísico estadounidense Glen Penfield, dueño de una compañía asesora contratada por el propio ingeniero yucateco. Ver título de resumen abajo:

*Penfield, G.T., Camargo, A., 1981, Definition of a major igneous zone in the central Yucatan platform with aeromagnetism and gravity (abstract), in 51st Society Exploration Geophysicists Annual Meeting, Technical Program Abstracts, p. 37.*

Fuente: <http://blogs.e-consulta.com/blogs/nuevoconsultario/nota/cts/la-participacion-de-un-ingeniero-mexicano-discreto-en-el-hallazgo-del-crater-chicxulub>

En 1978, los geofísicos Glen Penfield y Antonio Camargo Zanoguera trabajaban para Pemex, la compañía paraestatal Mexicana, realizando un estudio magnético aéreo en el Golfo de México, al norte de la Península de Yucatán. El objetivo de su estudio era utilizar datos geofísicos para ubicar posibles localizaciones para extraer petróleo. Durante su investigación, encontraron un gran arco simétrico en el subsuelo que medía aproximadamente 70 kilómetros de diámetro. Con base en esta información, estaban seguros que el sitio era un centro volcánico o había sido afectado por un evento geológico de catastrófico.

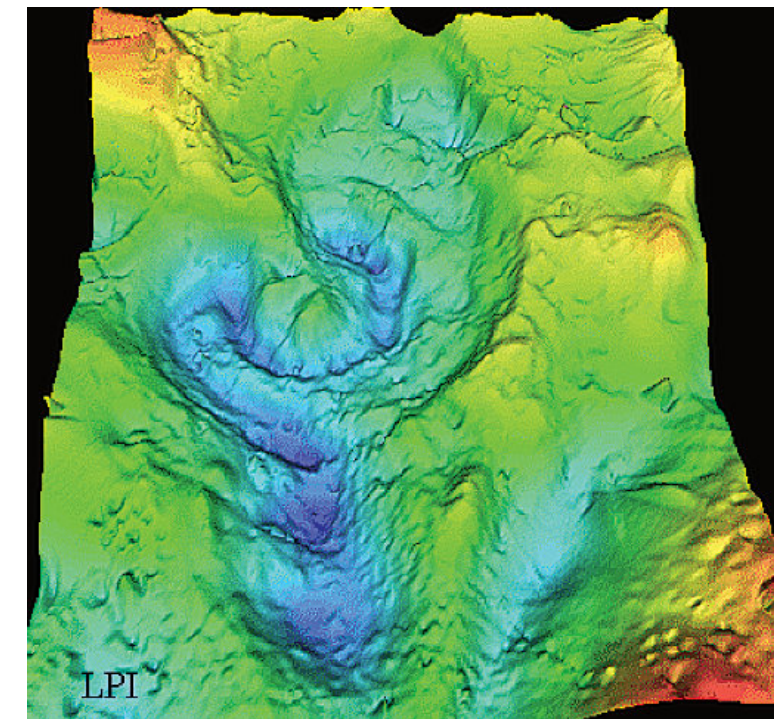
Sin embargo, éste no era el primer mapa que Pemex tenía de esa área, puesto que Robert Baltosser, otro contratista de la empresa, hizo antes un descubrimiento similar, pero su publicación fue prohibida, dadas las políticas corporativas de Pemex. Cuando Penfield y Camargo consultaron los mapas de Baltosser, encontraron la existencia de otro arco dentro de la misma península. Al comparar ambos mapas, se percataron que los dos arcos formaban un círculo de 180 kilómetros de diámetro, con un punto central cerca del pueblo de Chicxulub en Yucatán.

Aunque Pemex les prohibió la publicación de cierta información, Penfield y Camargo presentaron sus observaciones en 1981, durante la conferencia de la Sociedad de Geofísicos de Exploración (SEG). A pesar de tener abundante información geofísica, su reporte no atrajo la atención de la comunidad en ese momento, ya que ellos no tenían muestras de roca, ni otra evidencia física de la colisión.

Contemporáneamente, el físico Americano Luis Walter Alvarez publicó un artículo en el que teorizaba que la tierra había sido impactada por un objeto extraño, en el límite Cretácico-Paleogeno (antes límite Cretácico-Terciario, K-T) que, vinculando los datos del cráter Chicxulub, fueron un soporte importante para la teoría de Alvarez.

Fuente: <http://www.chicxulubcrater.org>

The outlines of the structure, called the Chicxulub crater (named for a local village), are visible in the next representation of gravity and magnetic field data from the region. In addition to having the right age, the crater is consistent with the impact of an asteroid of sufficient size (6 to 12 miles wide) to cause the global disruptions. NASA.



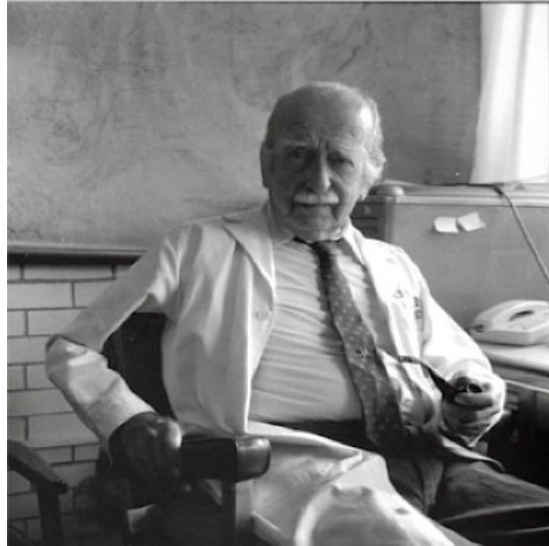
<https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Antonio-Camargo-Zanoguera-2045449078>

<https://www.youtube.com/watch?v=UWOyT9pPH00>



# Pioneros de las Geociencias

## Zoltan de Cserna (1928 – 2014)



**Rodolfo Corona Esquivel**  
Instituto de Geología

Universidad Nacional Autónoma de México

El **Dr. Zoltan de Cserna de Gömbös** fue un hombre carismático, bromista, divertido, disfrutaba todo lo que hacía. Fue un extraordinario ser humano y amigo. Nació el 3 de marzo de 1928 en Budapest, Hungría, siendo el menor de tres hermanos, todos varones. Desde su infancia habló dos lenguas con fluidez, húngaro y alemán, debido a que su nana era alemana. Fue aficionado a la música, por lo que aprendió a tocar el piano, siendo un fiel admirador de Mozart tanto por afinidad hacia lo austriaco como por su temperamento musical.

Al formar parte de una familia de diplomáticos, el 2 de noviembre de 1946 se traslada a la ciudad de Nueva York, en compañía de uno de sus hermanos, quien formaba parte del Servicio Exterior de Hungría. En abril de 1947, ingresó a dicho servicio, siendo enviado a la delegación en Washington, donde permaneció hasta mayo del año siguiente, cuando fue transferido al Consulado General de Hungría en Nueva York. En febrero de 1949, a raíz del encarcelamiento en Hungría del cardenal József Mindszenty, presentó su renuncia a dicho Consulado y solicitó asilo político a los Estados Unidos.

Hasta septiembre de 1949, el Dr. de Cserna trabajó, como dibujante en el prestigiado *buffet* del arquitecto Norman Bell-Geddes, en la ciudad de Nueva York. Su fuerte vocación de naturalista lo impulsó a tomar cursos nocturnos de Geología Física en el *Hunters College*, de Nueva York. Convencido de seguir la carrera de geólogo, se inscribió en la Universidad de Nuevo México la cual le reconoció los estudios ya realizados en Budapest. Posteriormente, en junio de 1951, obtuvo su licenciatura en Geología y cubrió sus créditos de la maestría en Geología. Con la finalidad de desarrollar su tesis de maestría, solicitó empleo en el U.S. *Geological Survey* (USGS), el que le fue rechazado por tener nacionalidad de un país no aliado; sin embargo, no desistió y realizó una solicitud de empleo a la compañía Texaco, quienes también le denegaron debido a su estatus de asilado.

El 8 de junio de 1951, el Dr. Zoltan de Cserna llegó a México. Una vez en México fue asignado al estudio geológico de la región de Concepción del Oro, Zacatecas, y los yacimientos de fosforita jurásica de esta misma área, proyecto conjunto entre el organismo federal Instituto Nacional para la Investigación de los Recursos Minerales (INIRM) (actual Servicio Geológico Mexicano) y el USGS. Los resultados de dicho trabajo fueron publicados tanto por el USGS como por el INIRM

(Rogers *et al.*, 1956). Una parte de este proyecto le sirvió como tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Geología, en la Universidad de Nuevo México (De Cserna, 1952).

El Dr. de Cserna inició su prolífica serie de publicaciones en 1951, con su participación en el Primer Congreso Científico Mexicano, que tuvo lugar en ocasión del cuadringentésimo aniversario de la expedición de la cédula mediante la cual se creaba la Real y Pontificia Universidad de México el 21 de septiembre de 1551 (De Cserna, 1951). En dicha publicación se enunció, de manera premonitoria, el cabalgamiento de la litósfera continental sobre la corteza oceánica, en la Trinchera de Acapulco, lo que constituye la primera descripción del concepto de subducción, principio fundamental de la hoy en día vigente teoría de la tectónica de placas.

Habiendo ingresado al Instituto de Geología de la Universidad Autónoma de México (UNAM), el 1 de julio de 1952, el entonces maestro en ciencias Zoltan de Cserna solicitó permiso para cursar estudios de doctorado en la Universidad de Columbia, en Nueva York, de 1953 a 1954, obteniendo el grado de PhD. D. el 31 de marzo de 1955, con una tesis sobre la tectónica de la Sierra Madre Oriental (De Cserna, 1955), basada en su labor dentro del proyecto INIRM-USGS.

En febrero de 1956, de regreso en el Instituto de Geología, el Dr. de Cserna inició su labor docente impartiendo la cátedra de Geología Dinámica en el posgrado de Biología de la Facultad de Ciencias de la UNAM, contándose entre sus alumnos a los distinguidos científicos Agustín Ayala Castañares y Arturo Gómez Pompa, así como los investigadores eméritos de la UNAM, Gloria Alencaster y César Rincón Orta. Desde 1966, se constituyó en uno de los pilares del Posgrado en Biología (en las cátedras sobre Geología) de la citada Facultad de Ciencias, impartiendo diversas asignaturas, entre las que destaca “Geología estructural avanzada”, que duraría desde marzo de 1971 hasta el término de dicho programa de posgrado.

Durante el período de 1968 a 1974, con el debido respeto de las autoridades de la UNAM, el Dr. de Cserna sirvió de asesor a la *Texas Gulf Sulphur Company* en la exploración por azufre en el sur de Perú y norte de Chile, así como por sales de potasio en la secuencia evaporítica adyacente a los Pirineos en el norte de España, y por pórfidos de cobre del tipo sepultado en los estados de Alaska y Arizona en EUA.

A lo largo de su brillante carrera, el Dr. de Cserna fue objeto de numerosas distinciones, entre las que destacan las siguientes:

1. Miembro electo de la Academia de la Investigación Científica, A.C., (desde 1962).
2. Presidente de la Comisión Americana de Nomenclatura Estratigráfica (1972-1973).
3. Becario de la Fundación J. S. Guggenheim (1973).

Es importante mencionar que el Dr. De Cserna continuó su labor de investigación en el Instituto de Geología y docencia en el Posgrado de Ciencias de la Tierra de la UNAM, hasta su lamentable fallecimiento.

### Aportes principales a la geología mexicana.

Dotado de un carácter entusiasta e impetuoso que lo hace encarar todos los retos, el Dr. de Cserna fue pionero en abordar los principales problemas tectónicos del territorio nacional, siendo sus aportes principales, enumerados en orden de importancia, los siguientes: según Alcayde y Gómez-Caballero (2011):

1. Carta tectónica de México (De Cserna, 1961) que no sólo fue la primera carta tectónica del país, sino que es antecesora del Tectonic Map of North America (King, 1969). En esta última, elaborada ocho años después, Philip B. King utilizó, en gran medida, las unidades litológicas de gran escala empleadas por el Dr. de Cserna.
2. Cabalgamiento del continente sobre la corteza oceánica (De Cserna, 1951), al que después registró en su Carta





tectónica de México (De Cserna, 1961) por una falla de cabalgadura que bordea a la costa pacífica del sur de México lo que es un anticipo a la posterior teoría de la tectónica de placas.

3. Tectónica de la Sierra Madre Oriental. Propuso un mecanismo que explica el plegamiento de este orógeno, basado en el deslizamiento por gravedad (*gravity sliding*) de una cobertura mesozoica que fue transportada de WSW a ENE, mediante el desarrollo de fallas de despegue (*décollement*) en dos horizontes sobre capas evaporíticas que funcionaron como lubricante (De Cserna, 1956c).

4. Truncamiento de la parte sur de México por una falla transforme siniestra (falla Jalisco-Nicoya) y desplazamiento del bloque segmentado a América Central (bloque Chortis; De Cserna, 1951, 1961, 1965, 1967).

5. Acreción de la parte occidental del país, el ahora llamado “terreno Guerrero”, al cratón continental con la postulación del “cinturón de pliegues y cabalgaduras Zacatecas-Guanajuato” (de Cserna, 1970). En el mismo estudio, postuló la falla Torreón- Monterrey con base en los datos gravimétricos de Woollard *et al.* (1968). Asimismo, señaló la migración espacial y temporal del emplazamiento de intrusivos desde el poniente hacia el oriente.

6. Postulación de la presencia de sulfuros masivos vulcanogénicos (VMS) en el ahora llamado terreno Guerrero, con base en el estudio de las minas Copper King, La Dicha, Campo Morado, etc. (De Cserna, 1976).

7. Proposición del tramo sudoccidental de la zona de cizalla Tenochtitlán, de desplazamiento lateral izquierdo, que se origina entre Zihuatanejo y Petatlán, en el estado de Guerrero, y que se extiende hacia el NE con la posibilidad de ser de extensión transcontinental, siendo responsables de los daños del sismo de 1985 principalmente en la ciudad de México (De Cserna, 1987).

El Dr. Zoltan de Cserna de Gömbös falleció el 23 de mayo de 2014, a los 86 años de edad en la Ciudad de México.

Finalmente cabe destacar que la trayectoria académica del Dr. de Cserna, dejó una huella imborrable en contribuciones a la geología mexicana que nos permite reflexionar acerca de como ha cambiado nuestra percepción sobre la geología de nuestro país, al igual que las modificaciones que ésta ha experimentado durante los últimos años.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcayde, Magdalena, y Gómez-Caballero, J.A., 2011, Bosquejo biográfico-académico de los sesenta años dedicados a la geología de México por el Dr. Zoltan de Cserna, *in* Alcayde, Magdalena, y Gómez-Caballero, J.A., editores, Simposio Dr. Zoltan de Cserna: Sesenta años *geologizando* en México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Ciudad de México, 14-15 junio 2011, Libro de resúmenes, p. 10-19.

Cserna, Zoltan de, 1951 (1953), El conocimiento actual de la plataforma continental y su significado tectónico: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Congreso Científico Mexicano, Memoria, v. 3, p. 9-22.

Cserna, Zoltan de, 1952, Geology of Sierra de Santa Rita, Zacatecas, Mexico: Albuquerque, University of New Mexico, tesis de Maestro en Ciencias (Geología) (inédita).

Cserna, Zoltan de, 1955, Tectonics of the Sierra Madre Oriental between Torreón and Monterrey: Nueva York, University of Columbia, disertación doctoral (inédita).

Cserna, Zoltan de, 1956a, Geología de la región entre Parral, Chihuahua, y Monterrey, Nuevo León: México, D.F., Congreso Geológico Internacional, 20, Excursión A-13, p. 16-22 y 59-117.

Cserna, Zoltan de, 1956b, Geología de la región entre Chilpancingo y Acapulco, Guerrero: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Congreso Geológico Internacional, 20, México, D. F., Excursiones A-9 y C-12, p. 129-151.

Publicado también en el Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, v. 9, p. 409–431 (1957).

Cserna, Zoltan de, 1956c, Tectónica de la Sierra Madre Oriental de México, entre Torreón y Monterrey: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología Congreso Geológico Internacional, 20, México, D. F., monografía, 87 p.

Cserna, Zoltan de, 1961, Tectonic map of Mexico: Nueva York, Geological Society of America, escala 1:2'500,000.

Cserna, Zoltan de, 1965, Reconocimiento geológico en la Sierra Madre del Sur de México, entre Chilpancingo y Acapulco, Estado de Guerrero: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 62, 76 p.

Cserna, Zoltan de, 1967 (1969), Tectonic framework of southern Mexico and its bearing on the problem of continental drift: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v. 30, p. 159–168.

Cserna, Zoltan de, 1970, Mesozoic sedimentation, magmatic activity and deformation in northern Mexico: Midland, Texas, West Texas Geol. Society, DeFord Symposium, p. 99–117.

Cserna, Zoltan de, 1976, Mexico—geotectonics and mineral deposits: New Mexico Geological Society, Special Publication 6, p. 18–25.

Cserna, Zoltan de; de la Fuente-Duch, Mauricio; Palacios-Nieto, Miguel; Triay, Leonardo; Mitre-Salazar, L.M.; y Mota-Palomino, Reynaldo, 1987 (1988), Estructura geológica, gravimetría, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la Cuenca de Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 104, 71 p.

Cserna de Gömbös, Zoltan de, 2003, Mis 50 años geologizando y enseñando en la UNAM, *in* Forjadores de la Ciencia en la UNAM. Conferencias del Ciclo *Mi vida en la ciencia*: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Coordinación de la Investigación Científica, p. 233–239.

King, P.B., compilador, 1969, Tectonic map of North America: Washington, D.C., U.S. Geological Survey, scale 1:5,000,000.

Cserna, Zoltan de, 1970, Mesozoic sedimentation, magmatic activity and deformation in northern Mexico: Midland, Texas, West Texas Geol. Society, DeFord Symposium, p. 99–117.

Cserna, Zoltan de, 1976, Mexico—geotectonics and mineral deposits: New Mexico Geological Society, Special Publication 6, p. 18–25.

Cserna, Zoltan de; de la Fuente-Duch, Mauricio; Palacios-Nieto, Miguel; Triay, Leonardo; Mitre-Salazar, L.M.; y Mota-Palomino, Reynaldo, 1987 (1988), Estructura geológica, gravimetría, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la Cuenca de Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 104, 71 p.

Cserna de Gömbös, Zoltan de, 2003, Mis 50 años geologizando y enseñando en la UNAM, *in* Forjadores de la Ciencia en la UNAM. Conferencias del Ciclo *Mi vida en la ciencia*: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Coordinación de la Investigación Científica, p. 233–239.

King, P.B., compilador, 1969, Tectonic map of North America: Washington, D.C., U.S. Geological Survey, scale 1:5,000,000.

Mitre-Salazar, L.M., 2003, Semblanza del doctor Zoltan de Cserna, *in* Forjadores de la Ciencia en la UNAM. Conferencias del Ciclo *Mi vida en la ciencia*: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Coordinación de la Investigación Científica, p. 240–242.





Ortega-Gutiérrez, Fernando, 1992, Zoltan de Cserna y de Gömbös, *in* Nuestros maestros: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría General, Dirección General de Asuntos del Personal Académico, tomo II, p. 203–206.

Rogers, C.L.; Cserna, Zoltan de; Tavera-Amezcu, Eugenio; y Ulloa, Salvador, 1956, General geology and phosphate deposits of the Concepción del Oro district, Zacatecas, Mexico: U.S. Geological Survey Bulletin 1037-A, p. 1–102. Publicado también en español como: Instituto Nacional para la Investigación de Recursos Minerales (México), 1957, Boletín 38, 129 p.

Woollard, G.P.; Monges-Caldera, Julio; y Machesky, Larry, 1968 (1969), Gravity relations in Mexico: Pan-Am. Symposium Upper Mantle, v. 1, p. 43–48.



Asistentes a la excursión geológica al Cañón de la Peregrina, en Tamaulipas, en marzo de 1962. De pie, de izquierda a derecha: Ralph Miller (USGS), Diego A. Córdoba, Amado Yáñez-Correa, L. Limón, Odilón Ledezma-Guerrero, Guillermo P. Salas (entonces director del Instituto), José Carrillo-Bravo (PEMEX), Carl Fries Jr., Eduardo Schmitter-Villada, Gonzalo Ávila de Santiago (tesista), Alberto R.V. Arellano y José C. (de Bolivia). En cuclillas o sentados, de izquierda a derecha, Héctor Ochoterena, Salvador Enciso-de la Vega, Zoltan de Cserna, Gloria Alencáster, César Rincón-Orta y Federico Mayer-Pérez Rul. (Fotografía proporcionada gentilmente por el Dr. Zoltan de Cserna).



En enero de 1952, en la sierra de Santa Rita, en Concepción del Oro, Zac., dentro del proyecto conjunto INIRM-USGS por fosforita, realizando el trabajo de campo de su tesis de maestría.

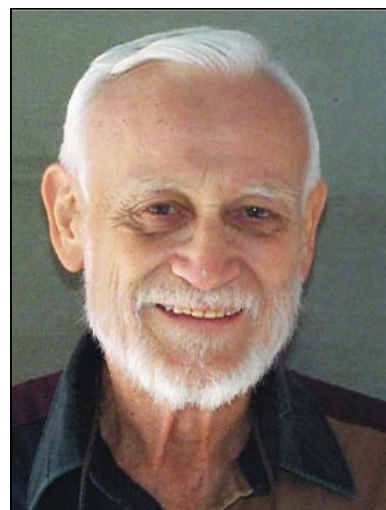


Prácticas en 1958 en el posgrado de geología para biólogos. Dos de los alumnos son ahora investigadores eméritos de la UNAM. De izq. a der., arriba: Arturo Gómez Pompa, Juan Manuel Pérez Ibarguengoitia, María del Carmen Perrilliat, Gloria Alencaster, Alicia Silva Pineda y Ramón Riva; abajo, César Rincón Orta y Zoltan de Cserna.





**Paul E. Damon**  
(1921 – 2005)



**Paul E. Damon**, a geoscientist whose work helped make The University of Arizona internationally famous for isotope geochemistry, died Thursday, April 14, 2005 in Tucson. He was 84. Damon's research covered subjects ranging from atmospheric evolution to paleoclimatology. Among his other achievements, in 1988 he and colleagues at the UA dated the Shroud of Turin.

"Paul personified scholarly dedication to intellectual pursuits, and in ways never marked by narrowness. He was always after the combination of the big picture and fundamental principles," said George H. Davis, Regents' Professor of geosciences, executive vice president and provost and a former head of UA's department of geosciences. "Paul was someone who loved to test ideas in discussion and debate ... you always knew what he was thinking about, what he thought he understood, and what he was trying to understand. He was a good mentor."

A native of Brooklawn, N.J., Damon earned a bachelor's degree in 1943 from Bucknell University. After serving in the Navy in World War II, he earned a master's from the Missouri School of Mines in 1949. He was a research associate at the University of Arkansas from 1949-50 and an assistant professor from 1951-54. He received his doctorate from Columbia University in 1957 and joined the faculty of The University of Arizona the same year. He retired from the University as an emeritus professor of geosciences in 1989.

Damon was one of the pioneers in developing and calibrating the carbon-14, or radiocarbon, method for dating organic material. The method, widely used by scientists the world over, can determine the calendar age of diverse materials, including trees, archaeological materials such as baskets and clothing, ancient pack-rat nests, coral reefs and art. Damon set up the first radiocarbon laboratory at UA that was based on gas counters, then state-of-the-art. His leadership helped the University obtain the nation's first dedicated accelerator mass spectrometry laboratory for radiocarbon measurements, a technique which revolutionized radiocarbon dating in the early 1980s.

Damon applied his knowledge of isotopic dating techniques to scientific problems in geochemistry, paleoclimatology, the evolution of the atmosphere and the origins of ore deposits and volcanic rocks. He was among the first to detect the signature of solar flares in tree rings using radiocarbon measurements. Damon's work also helped elucidate the geologic history of western North America. Right up until his death, he was conducting research on how solar variability affects climate.

Susan Beck, head of UA's department of geosciences, said, "Paul retired before 1990, but you would never know it. Even after retirement, he continued an incredibly active and energetic research program."

Damon' was an author or coauthor on more than 200 scientific papers. His honors and awards included being a Fellow of the Geological Society of America and an honorary Doctor of Science degree from Bucknell University, his alma mater.

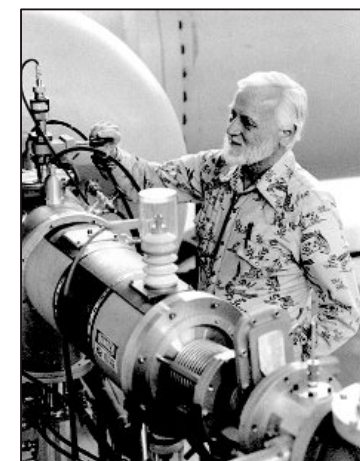
Damon helped shape UA's geosciences department into a rigorous, quantitative program, Davis said. "Paul was a force in bringing about the integration of geochemistry and geology into geosciences, creating at UA -- as early as the early 1970s -- a robust interdisciplinary and quantitative approach far different than most "geology" programs around the country."

Damon is remembered by his colleagues as a man of principle in both scientific and political matters and a strong fighter for what he believed. For example, he engaged in several high-profile scientific discussions with "creationists" and also with those who contend that human activity is not causing global warming. Indeed, the week he died, he was working on a rebuttal to some scientists who asserted that recent climatic changes are not caused by human activity.

"Paul was one of the most extraordinary individuals I ever met," said Joaquin Ruiz, dean of the College of Science and former head of geosciences. "I think he came here before there was air conditioning -- and he built a state-of-the art argon geochronology lab." Ruiz added, "Damon's groundbreaking research paved the way for us to understand the geologic evolution of the Southwest. He basically dated every rock in Mexico. He was so loved by the people in Mexico who knew him --geologists, politicians, little kids -- that he was called San Pablo."

Source: University of Arizona News, 2005.

<https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Paul-E-Damon-72649123/publications/2>



**New Scholarship Available**  
**Paul E. Damon**  
**Geochronology Scholarship**

UA Geosciences alumnus **Claudio Bartolini** worked with Professor **George Gehrels** to create the **Paul E. Damon Geochronology Scholarship**. The purpose of this scholarship is to honor Dr. Paul Damon's legacy of radiocarbon dating as well as his contribution to Mexican geology by supporting both undergraduate and graduate students researching geochronology.

To support the Paul E. Damon Geochronology Scholarship, checks may be made payable to University of Arizona/ Geosciences and mailed to:

Development Office  
Department of Geosciences  
University of Arizona  
PO Box 210077  
Tucson, AZ 85721



## Carl Fries Jr. (1910 – 1965)



The President of our Association of Professors and Researchers, Economist Felix Espejel, asked me to write a synthesis of the life and works of **Dr. Carl Fries**, who, until the moment of his death, held the position of researcher in the Institute of Geology of the Universidad Nacional Autonoma de Mexico.

Dr. Fries was an esteemed companion and friend; his spirit was ever embellished with concern for his fellow man. Death surprised him after 54 years of life. His passing came on the morning of July 11, 1965, 30 hours after a swift hemorrhage left him painlessly deprived of consciousness.

It is a sad task for me to relate the news of his death. My only consolation is to remember Dr. Fries' many qualities which enabled him to identify himself fully with the spirit and the art of our people. To those of us who knew him well, he was the sincere friend that one seldom finds in this life. To those who worked with him, Dr. Fries was a modest and honest researcher, always willing to collaborate with others. At times he helped people directly from the store of knowledge in himself, the result of intense study and self-discipline; others he helped freely by giving them access to his private library composed of the latest scientific bulletins and all the classic works. He was one of the pillars of contemporary geology. Dr. Fries was tormented by every act that was not sincere. The end of his days came during a period in which the relentless search for perfection at the cost of enormous efforts made him increasingly melancholic and restless. In part it is probably because of this that we now render homage to him.

Since 1942 Dr. Fries had lived among us without interruption, save the time he spent in the University of Arizona. He originally came to Mexico because of the agreement between the United States and Mexico calling for the exploration of strategic ore deposits during World War II, to be carried out by the personnel of the Institute of Geology and the U.S.G.S. The mission was headed by Dr. Foshag, whose place was later taken by Dr. Fries. He gave exemplary help to his North American collaborators in the writing and translation of the exploration reports, for by this time Dr. Fries completely dominated the grammar and phonetics of the Castilian language. He also obtained numerous scholarships for his North American and Mexican colleagues. His kindly qualities showed most strongly during the many excursions in which he participated in the northern and central parts of the Republic. He identified himself with the humble country folk; he took many excellent photographs of the provinces, made tape recordings of our traditional songs, and helped financially and with great discretion numerous persons of limited resources.

The serenity and determination of his character are demonstrated by some of the excellent photographs which he took during the volcanic phenomena of Paricutin from the rim of the crater while it yet had explosive activity.

In order to obtain his doctorate, Dr. Fries asked the U.S.G.S. for leave without pay, thereby renouncing a net salary of \$1,000 a month. When he became a researcher at the Institute of Geology (Mexico), he then accepted a monthly salary of \$280 a month, the amount paid in those days to researchers of the highest category.

In his free time over the weekends, Dr. Fries worked on what appears today as Bulletin No. 60 of the Institute of Geology, concerning the geology of the State of Morelos and adjoining areas, in the south-central part of Mexico. The work took several years to complete; it was started during the time when Dr. Fries still worked for the U.S. Geological Survey. This enormous study was possible only because of Dr. Fries' initiative. The only aid which he received was the actual publication by the Institute of Geology. Dr. Fries' collection of studies on Pachuca also constitute a monumental work.

All of us who had the privilege of working closely with Dr. Fries learned a great deal from the various disciplines in which he had extensive knowledge, as well as from his ideas on and experience in the efficient running of a research center such as ours. He was able to make important contributions to the Institute of Geology. One was the creation of a geochronologic laboratory in which the Lead-Alpha method of dating was used for the first time, and in which the Rubidium-Strontium method will be included. The Institute has published, as a result of the work done in that laboratory, data concerning the age of certain key formations, which add greatly to the knowledge of the historical and structural geology of Mexico.

The number of published works of Dr. Fries which I have been able to find is approximately 40, including those which he did in collaboration with other authors. A complete list of his writings should be available soon. The first of his works done in Mexico was published in 1942; it was the result of a study of tin deposits that he made with Dr. William F. Foshag, Mineralogy Curator of the Smithsonian Museum. Several studies remain which Dr. Fries completed and which he would have published at an opportune time. For example, there is a much geochronometric data, of great geological importance, which Dr. Fries left in his library. He spoke to me confidentially about these data; it is my hope that posthumous credit will be given him for this work. Ready for publication was a study which Dr. Fries did with Dr. Clarence Ross and Chemical Engineer Alberto Obregon. It deals with volcanic glass and ignimbrites in part of the State of Michoacan.

Dr. Fries was born on September 30, 1910, in Chicago, Illinois, the son of Mr. and Mrs. Carl Fries, Sr. He began his primary studies in the same city, and then moved to Mazomanie, Wisconsin, to attend high school. His great diligence won him the honor of being valedictorian of his class.- Later he enrolled in the University of Wisconsin, in Madison, where he also distinguished himself by his dedication and the excellent grades which he received. He obtained both B.A. and M.A. degrees from the University of Wisconsin, and a Ph.D. from the University of Arizona.

He was a member of Phi Beta Kappa, Sigma Xi, and Gamma Alpha. He was a member of the Academy of Mexican Scientific Research and a Registered Geologist in the State of Arizona. Dr. Fries belonged to the following professional societies: Geological Society of America; Mineralogical Society of America; Society of Economic Geologists, of which he was a Councilor; American Association for the Advancement of Science; American Geophysical Union; A.I.M.E.; Geochemical Society; Geological Society of Washington; A.A.P.G.; Sociedad Geologica Mexicana; Asociacion Mexicana de Geologos Petroleros; and Asociacion de Profesores e Investigadores de Tiempo Completo de la Universidad Nacional Autonoma de Mexico.

I would like to end this commentary on the sad passing of our friend Dr. Fries with part of a letter which he wrote to Engineer Guillermo P. Salas, Director of the Institute of Geology. In this letter Dr. Fries applied for permanent residency in Mexico in order to continue his work with the Institute: *"My primary interest is to continue to do geologic work in Mexico for an indefinite time, or the rest of my active working years. My reasons are based upon my background of knowledge of Mexican geology from experience over the past 15 years, my strong ties of friendship with many people in Mexico, among*



*whom are my closest friends, my desire to contribute to the development of a rapidly developing country, and my strong personal appreciation of the many basic values of Mexican culture and heritage. That is why I had suggested a period of five years, which would permit me to obtain the status of resident."*

When talking with professionals, fellow citizens and the former employers of Dr. Fries, I have often expressed my personal conviction that "ambassadors" of the stature of Dr. Fries could surely eliminate much of this friction and unpleasantness which exist among the peoples of this world.

**Source:** Schmitter, E., 1965, Carl Fries Jr. Memorial: AAPG bulletin.

## CARLFRIESITE

**MINERAL Named in honor of Carl Fries Jr. (30 September 1910, Chicago, Illinois, USA - 11 July 1965, Mexico City, Mexico), geologist with the United States Geological Survey. For 18 years, starting in 1942, he worked in Mexico as a member of an American technical group. He later worked at the Instituto de Geología in Mexico City.**

<https://www.mindat.org/min-899.html>

### SELECTED PUBLICATIONS

Fries, Carl, Jr., Rincon-Orta, Cesar, Silver, L. T., McDowell, F. W., Solorio-Munguia, Jose, Schmitter - Villada, Eduardo, and Cserna, E. Z., 1974, Nuevas aportaciones a la geocronología de la faja tectónica Oaxaquena, in López Rubio, J. M. (ed.), Contribuciones a la geocronología de México: Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros Bol., v. 26, nos. 4-6, p.157-182.

Fries, C., Jr., Schmitter, E., Damon, P. E., and Livingston, D. E., 1962, Rocas Precámbricas de edad Grenvilliana de la parte central de Oaxaca en el sur de México: in Estudios geocronológicos de rocas Mexicanas: Instituto de Geología, Bol. 64, parte 3, p. 45-53.

Fries, C., Jr., Schmitter, E., Damon, P. E., Livingston, D. E., and Erickson, R., 1962, Edad de las rocas metamórficas en los canchales de la Peregrina y de Caballeros, parte centro-occidental de Tamaulipas, in Estudios geocronológicos de rocas Mexicanas: Instituto de Geología, Bol. 64, parte 4, p. 55-69.

Fries, C., Jr., 1959, Geology of the State of Morelos and contiguous areas in south-central Mexico: U.S. Geological Survey, Open-File Report 59-41, xi, 210 p., 22 plates.

Fries, C., Jr., Dunkle, D.H., Hibbard, C.H., 1955, Early Cenozoic Vertebrates in the Red Conglomerate at Guanajuato, Mexico: Smithsonian Institution, 25 pages.

Fries, C., Jr. and Gutiérrez, C., 1951, Activity of Parícutin volcano from January 1 to June 30, 1950: Eos, Transactions American Geophysical Union, Abstract.

Fries, C., Jr., 1948, Tin-bearing placers near Guadalucazar, State of San Luis Potosí, Mexico: U.S. Geological Survey Bulletin 960-D, 149 p.

Fries, C., Jr., 1945, Scheelite deposits in the northern part of the Sierra de Juárez, Northern territory, Lower California, Mexico: U.S. Geological Survey bulletin, 946-c.

## Dr. Kevin Charles Antony Burke, University of Houston professor of geology and tectonics (1929-2018)

*Memorial written by Dr. Paul Mann*



**Dr. Kevin Burke**, a world-renowned professor of geology and tectonics at the UH Department of Earth and Atmospheric Sciences since 1993, passed away at his home in Gloucester, Massachusetts on March 20, 2018. Kevin was born in 1929 and grew up in London, England where he received both his BS and PhD degrees in geology from the University of London in 1951 and 1953, respectively. His PhD study was a mapping and dating study of volcanic and plutonic rocks in the Donegal area of western Ireland. From 1953 to 1972 he held a series of geology positions in teaching and research that included postings in Gold Coast, Ghana, Ireland, the UK, Korea, Jamaica, and Nigeria. A critical junction in his career occurred in 1972-3 when he became visiting professor at the University of Toronto where he became a close associate and mentee of Dr. J. Tuzo Wilson, who was one of the most prominent proponents of plate tectonics and hotspot studies at that time. During his time in Toronto with Wilson, Kevin began a lifelong study of hotspots, rifting, and mantle processes which was enhanced by his previous field experiences in Africa and the Caribbean. In 1973, he was invited by Dr. John Dewey to join a faculty at the State University of New York at Albany which had assembled a distinguished group of geoscientists interested in the fledgling areas of plate tectonics, hotspot studies, rifting, and field-based ophiolite studies. During his ten year residence in Albany, Kevin produced many seminal papers on continental rifting, hotspots, Caribbean tectonics, and the effects of continental collision in Asia and other continental interiors. During this period at SUNY he mentored two current EAS professors: Jack Casey and Paul Mann in studies of the Newfoundland ophiolites and Caribbean, respectively.

In 1983 he joined the faculty of the University of Houston and also worked as director and associate director of the Lunar and Planetary Institute at NASA in Houston until 1988. In the 1990s and 2000s, he in addition to mentoring grad students and teaching at UH, he held many visiting professorships at NASA, JPL, UCLA, Carnegie Institute, Oslo, South Africa and served on many national committees including the National Research Council, NASA, and the National Academy of Sciences. His lifetime achievement awards include the GSA Structure and Tectonics Career Award (2004), the GSA Penrose medal, the highest award of GSA (2007), and the Arthur Holmes medal, one of the most prestigious awards of the European Geosciences Union (2013). Kevin is survived by two sons and his daughter and grandson. His wife Angela passed away in 2016. Kevin was one of the greatest proponents of plate tectonics and mantle processes in a career that extended over seven decades and influenced multiple generations of geoscientists on many continents. With Kevin's passing, a great life force has gone out but his spirit will live on in all of us that he has inspired.



TESIS SELECTA PRESENTADA DURANTE EL 2021

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA (CICESE)

**Determinación del estado de equilibrio químico fluido-roca del yacimiento geotérmico Las Tres Vírgenes (BCS) a partir de la geotermometría de solutos y de SiO<sub>2</sub>**

Tesis para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Maestro en Ciencias

Sustentante: **Diana Valencia Cabrera**

**Resumen**

En los sistemas geotérmicos, el estado de equilibrio químico del yacimiento se puede determinar por el análisis de la interacción fluido-roca. La composición de los fluidos (vapor y aguas geotérmica) varía con base en la temperatura y tiempo de interacción, dando como resultado un cambio en la composición mineralógica de la roca (alteración mineral) del yacimiento. Para determinar temperaturas aproximadas dentro del yacimiento geotérmico se implementa el uso de geotermómetros, que son un método geoquímico basado en ecuaciones analíticas desarrolladas a partir de la composición química de fluidos y el estado de equilibrio químico que existe entre la interacción fluido-roca y, cuando hay variaciones en las condiciones de equilibrio termodinámico-químico la estimación de temperaturas por medio de geotermómetros se ve afectada. En el presente trabajo se realizó un análisis termodinámico del estado de equilibrio fluido-roca, a partir de la geoquímica de los fluidos de descarga en los pozos del campo geotérmico en producción de Las Tres Vírgenes, BCS. A partir del lenguaje de programación Fortran se desarrolló un programa para la obtención de las actividades iónicas y coeficientes de actividad para los principales constituyentes iónicos: Na, K, Ca, Mg y SiO<sub>2</sub>, disueltos en el agua geotérmica, con esto se determinó que el estado de equilibrio termodinámico actual del yacimiento geotérmico Las Tres Vírgenes se encuentra en cuasi-equilibrio. Además, se desarrollaron geotermómetros basados en actividades iónicas y relaciones de concentración para Na /K y SiO<sub>2</sub>. Las temperaturas obtenidas por medio de los geotermómetros desarrollados en este trabajo presentan errores normalizados menores al 5 % con respecto a la temperatura del yacimiento. Por ello, al comparar su desempeño con los geotermómetros clásicos, muestran una reducción en la incertidumbre de las estimaciones de las temperaturas del yacimiento. Este trabajo propone que, con el desarrollo e implementación de geotermómetros basados en las características propias del campo geotérmico, se tendría un control y monitoreo más eficaz de las temperaturas del yacimiento y con ello complementar estudios para identificar un posible aumento en años productivos del campo geotérmico.

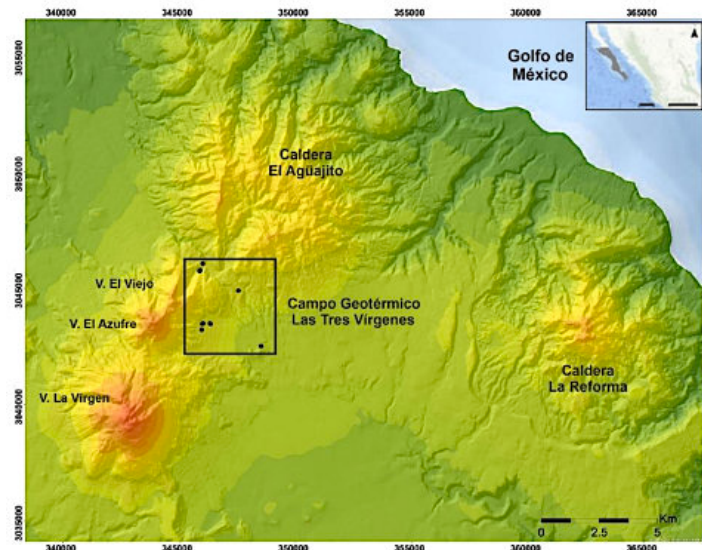


Figura 1. Localización del Campo Geotérmico Las Tres Vírgenes ubicado en el municipio de Mulegé, Baja California Sur. (El cuadro delimita la ubicación de los pozos dentro del CGLTV)

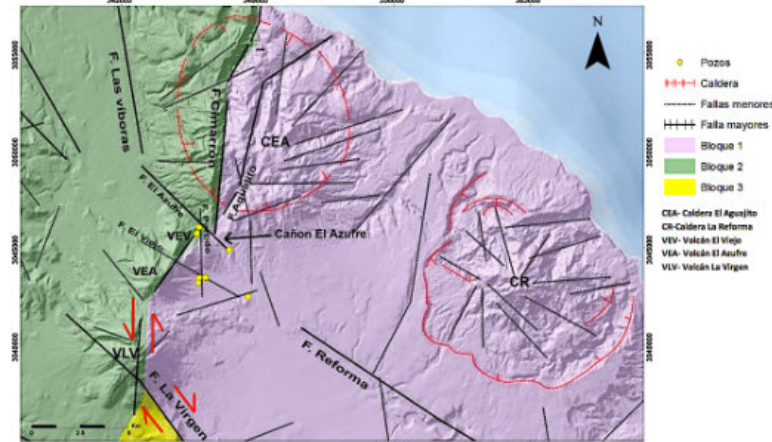


Figura 2. Mapa estructural del complejo volcánico Las Tres Vírgenes (CVLTV). Los bloques separan dominios de esfuerzos estructurales: Bloques 1 y 2 dominado por fallas normales con componente sinistral, bloque 2 y 3 fallas normales con componente dextral, (modificado de Avellanán et al., 2018; López, 1998; Lorenzo y Soto, 2013).

TESIS SELECTA PRESENTADA DURANTE EL 2021  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**Geocronología, petrología y rasgos tectónicos de los batolitos en la región de Puerto Escondido, Oaxaca.**

Tesis de Maestría en Ciencias de la Tierra

Sustentante: **García Hernández Samantha Yahel** (Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM)

Asesor: Dr. Dante Jaime Morán Zenteno (Instituto de Geología, UNAM)

**Resumen.**

La presencia de batolitos cenozoicos expuestos a lo largo de la margen continental del sur de México representa la erosión y exhumación diacrónica de un arco magmático actualmente extinto, cuya yuxtaposición con la trinchera mesoamericana ha sido objeto de diversas interpretaciones geológicas. El área de estudio comprende a las litologías expuestas en el transecto Puerto Escondido-Huatulco, el cual exhibe numerosos y conspicuos lineamientos asociados a zonas de cizalla que se orientan de manera paralela a la costa. Dichos lineamientos son una extensión al oeste de la Falla Chacalapa y afectan a todas las litologías que afloran en el área. En esta región se encuentran dos dominios batolíticos principales de edad cenozoica. Al norte de la Falla Chacalapa Norte se expone el Batolito Colotepec cuya mineralogía lo clasifica principalmente como granito de biotita y presenta un rango de edad U-Pb entre 20.4 y 21.9 Ma. En contraste, al sur de la traza de la Falla Chacalapa Norte afloran granodioritas-tonalitas de hornblenda y titanita asociadas al Batolito Pochutla, cuya edad de cristalización varía entre 25.5 y 32 Ma. Los fechamientos previamente reportados de K-Ar en biotita sugieren tasas de enfriamiento relativamente rápidas de ~620 °C en un lapso entre 4 y 5 Ma durante el Oligoceno. Ambos conjuntos plutónicos despliegan un comportamiento típico de magmatismo de arco, de acuerdo con la geoquímica de elementos mayores y traza.

En general muestran tendencias calcoalcalinas, así como afinidades magnesianas y metaluminosas. Asimismo, los patrones de elementos traza exhiben enriquecimiento en elementos tipo LIL respecto a los de alto potencial con anomalías negativas en Nb y Ta. Los resultados isotópicos indican que ambos cuerpos presentan cierto grado de contaminación cortical, con valores de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(i) = 0.7044 - 0.7066$ , y con relaciones  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}(i)$  entre 0.5123-0.5126. Algunas de las rocas del Batolito Pochutla muestran rasgos particulares como una alta relación Sr/Y y La/Yb. La barometría de Al en hornblenda indica una profundidad de emplazamiento entre 12-14 km para este cuerpo. Se reconocieron al menos tres franjas miloníticas con orientación preferencial WNW-ESE, donde la principal tiene ~3 km de anchura. Los indicadores cinemáticos, así como la foliación milonítica y la lineación son consistentes con un desplazamiento lateral izquierdo. Los mecanismos de deformación observados indican un régimen frágil superpuesto a uno cristal-plástico, lo que sugiere un subsecuente evento de exhumación para la zona de cizalla. Esta franja milonítica muestra evidencia del emplazamiento sintectónico de los batolitos Pochutla y Colotepec. La edad de la deformación ha sido constreñida previamente entre 29 y 23.7 Ma para la región de Huatulco, mientras que para el transecto de Puerto Escondido-Puerto Ángel se propone una edad entre 20.4 y 32 Ma. La distribución espaciotemporal de estos rasgos sugiere una relación directa con el tránsito del





bloque de Chortís durante el Oligoceno – Mioceno, en donde el desplazamiento del bloque produce una corteza debilitada que es susceptible a un proceso de erosión por subducción. Tradicionalmente se ha considerado a la Falla Chacalapa como el contacto tectónico entre los complejos Oaxaqueño y Xolapa. Sin embargo, la presencia de intrusivos paleozoicos afectados por las zonas de cizalla sugiere que existe un ensamblaje paleozoico cercano a la región de Puerto Escondido, con lo que se restringe el alcance del Complejo Xolapa hacia el norte.

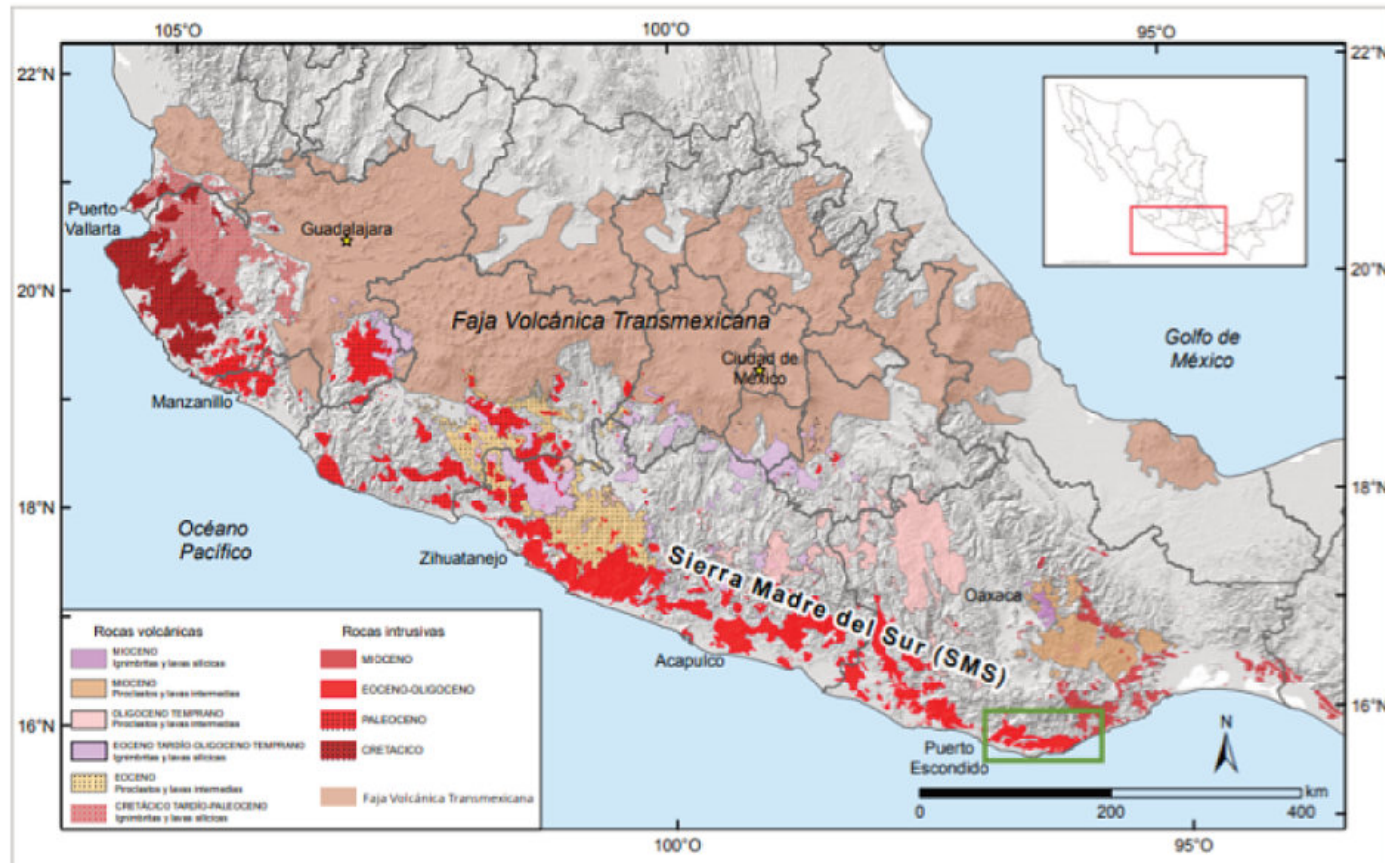
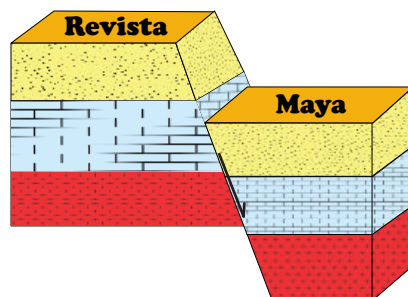


Figura 1.1. Ubicación de la provincia geológica de la Sierra Madre del Sur respecto a la Faja Volcánica Transmexicana. Distribución de las rocas volcánicas y plutónicas que la componen. En el recuadro verde se señala el área de estudio. Modificado de Morán-Zenteno et al. (2018)



TESIS SELECTA PRESENTADA DURANTE EL 2020  
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

MOVILIDAD DEL MANGANESO, HIERRO Y ARSÉNICO EN EL AGUA SUBTERRÁNEA DEL DISTRITO DEL AMPARO Y ALREDEDORES, LOS CHILES, ALAJUELA, COSTA RICA.

Sustentante: Marcos Alberto Araya Oviedo

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado de Geología para optar al grado y título de Maestría Académica en Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos

Resumen

Algunos sectores del país exhiben altas concentraciones de arsénico, hierro y manganeso de origen natural en el agua subterránea, lo cual genera un impacto social importante. Este estudio se enfoca en esta problemática en los distritos de El Amparo, Los Chiles y San Jorge, en el cantón de los Chiles, provincia de Alajuela, abarcando un área de 223 km<sup>2</sup>. El objetivo de la investigación es identificar las características hidrogeoquímicas mediante muestreo y análisis de agua, roca y sedimentos, para entender los procesos de movilización del manganeso, hierro y arsénico en el agua subterránea de la zona de estudio. En la zona se definen dos unidades geomorfológicas, las cuales son: llanura aluvial y laderas denudacionales de pendiente baja. Geológicamente se definen tres unidades: la formación Venado que consiste de una secuencia de tobas y brechas; la formación Buena Vista, que consiste de lahares; y por último los depósitos aluviales y coluviales del cuaternario. Con los análisis geoquímicos se define una zona donde todos los componentes elementales de la roca presentan comportamientos anómalos. Esto se asocia a una falla inferida que es registrada mediante sondeos eléctricos verticales, y evidencia que los componentes tectónicos de la zona son el origen de la movilización de las especies en análisis. Hidrogeológicamente se define una sola unidad hidrogeológica, que abarca las brechas y tobas de la formación Venado y parte de los lahares de la formación Buena Vista. El flujo del agua subterránea es en dirección norte con un gradiente hidráulico  $2,57 \times 10^{-3}$  a  $9,09 \times 10^{-3}$ . Se logra definir una influencia climática en las concentraciones de arsénico, siendo mayores en época seca en comparación con la época lluviosa. Además, se define que las concentraciones de iones, especies elementales y parámetros medidos en campo presentan variaciones con el flujo, tendiendo a cambiar conforme el flujo avanza al sur y el tiempo de tránsito es superior, esto evidencia que el contacto con la roca es la principal fuente de las especies químicas en el agua subterránea.

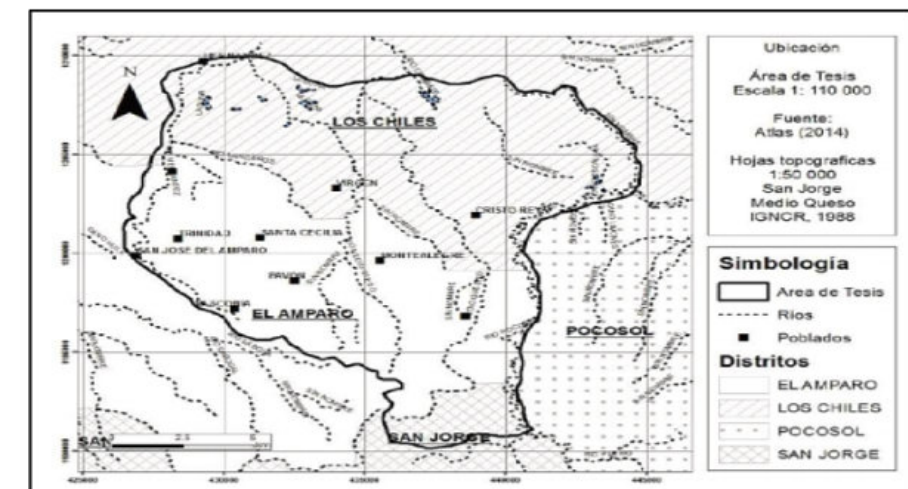


Figura 3. Sector de estudio en el cantón de Los Chiles y los distritos que abarca.



TESIS SELECTA PRESENTADA DURANTE EL 2019

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

### Caracterización y modelado de propiedades petrofísicas de un yacimiento petrolero en rocas terrígenas.

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Geofísico.

Sustentante: **Licon Caselin Zaira Anel**

Director de Tesis: M.C Valencia Flores Luis Ángel

**Resumen.**

La presente Tesis, muestra los resultados obtenidos al proponer un modelo geológico-geofísico que integre para fines prácticos la información del campo **Zwicky 18** en intervalos del "ZALC" de un cuerpo de arenas. Presentando tres espesores con potencial productor y que por presencia de arcilla han sido separados e identificados los espesores arcillosos dentro de tres horizontes interpretados, el horizonte Yacimiento, se destaca por su correlación en este trabajo con la sísmica, petrofísica y modelado Geoestadístico; así mismo la distribución de propiedades, Volumen de Arcilla (Vcl), Saturación de Agua (Sw), Porosidad efectiva (PHIE) y permeabilidad (K).

Se analiza y resaltan particularidades en láminas delgadas, en conformidad al objetivo del trabajo. Se caracteriza un yacimiento de arenas pobremente consolidadas, el cual se ve afectado por intrusión salina. El yacimiento reporta mediante la evaluación de registros geofísicos y modelo estático un espesor neto promedio de 71 m, teniendo una porosidad efectiva en promedio de 18%, permeabilidad promedio de 502 mD y saturación de agua promedio de 20%.

Se hace notar que los puntos concluyentes se muestran en gráficas e integran datos de laboratorio para el análisis de registros geofísicos de pozo; por medio de una simulación gaussiana se muestra el modelo final propuesto.

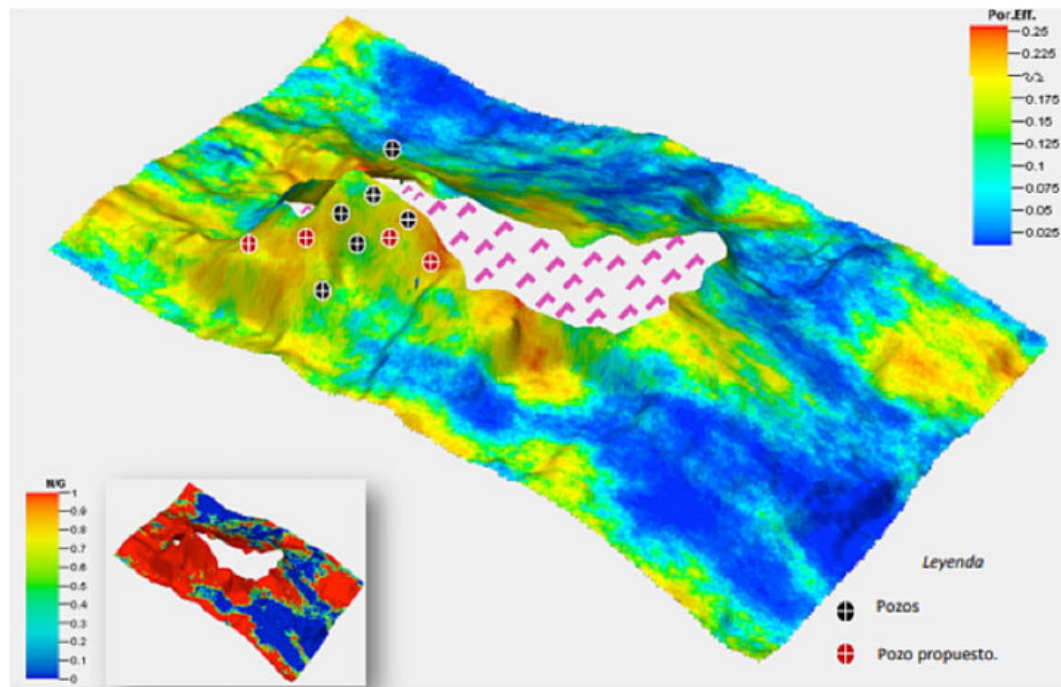


Figura 1.1. Pozos propuestos, se muestran las ubicaciones de pozos que fueron utilizados en la integración y correlación. De igual manera se muestran los pozos propuestos exploratorios como resultado del modelo estático.

TESIS SELECTA PRESENTADA DURANTE EL 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

### Análisis petrológico de las rocas subvolcánicas de la Sierra de San Carlos, Tamaulipas

Tesis de Maestría en Ciencias Geológicas

Sustentante: **Elizondo Pacheco Luis Alejandro** (Posgrado en Ciencias Geológicas, UANL)

Director de Tesis: Dr. Juan Alonso Ramírez Fernández

**Resumen.**

La Sierra de San Carlos es conjunto de plutones composicionalmente variados del Eoceno-Oligoceno, que se emplazaron en rocas calcáreas y arcillosas del Cretácico, en Villagrán, Tamaulipas. Esta sierra además de ser cortada por una gran cantidad de cuerpos subvolcánicos, se caracteriza por presentar un enjambre de diques y sills en su periferia occidental. Estos están emplazados en rocas de la Fm. Méndez y se disponen de manera radial y concéntrica a la sierra. Este enjambre se compone por diversas litologías, incluyendo sienitas foidíticas y lamprófidos alcalinos. Estos últimos fueron clasificados como sannaitas, camptonitas y monchiquitas. Una característica particular en estas rocas es la presencia de texturas de desequilibrio en cristales de anfíbol y clinopiroxeno. El análisis químico de estos sugiere que los magmas básicos precursores de los lamprófidos se mezclaron con pequeñas fracciones de un magma evolucionado rico en Fe, Na y Mn. Así mismo, se infiere que estos magmas experimentaron procesos de recarga y descompresión a medida que ascendían. El hecho de que sean las únicas rocas que trajeron xenolitos corticales, sugiere que ascendieron de manera violenta a través de la corteza. Por otro lado, en las sienitas foidíticas se reconocieron fenocristales de sanidino con sectores ricos en Ba. Esto indica la posible mezcla con magmas menos evolucionados ricos en Ba. De igual manera, presenta ilmenitas ricas en Nb y Mn, así como cristales de fluorita con inclusiones de estroncio-burbankita como fases tardías. De acuerdo al análisis geoquímico detallado de todas las rocas de la Sierra de San Carlos y su periferia, no existen evidencias que sustenten una correlación entre las rocas hipabisales y las rocas intrusivas (exceptuando las del sector norte). Además, se propone que las rocas de este complejo fueron generadas a partir de dos fuentes mantélicas metasomatizadas químicamente distintas. La primera de ellas estaba enriquecida en LILE pero empobrecida en HFSE. Se sugiere que esta fuente era limitada y que fue afectada por procesos de subducción antiguos. A diferencia de la anterior, la segunda estaba enriquecida en LILE, HFSE, REE. Sin embargo, el proceso metasomático que la afectó no es claro. El modelo tectónico descrito en el presente trabajo sugiere que el magmatismo que generó el complejo magmático estudiado se llevó a cabo en dos etapas. Primero se tiene el ascenso astenosférico como producto del hundimiento o rompimiento de la Placa Farallón hace ~50-45 Ma. Esto provocó la perturbación del manto litosférico empobrecido en HFSE. Como resultado, se generaron los primeros lotes de magmas que, al estancarse en la corteza y diferenciarse, formaron los plutones expuestos en el área de San José con una firma geoquímica post-colisional. Estas rocas son ligeramente más jóvenes que las edades reportadas para la culminación del Orógeno Mexicano en la parte del antepaís. Al agotarse esta fuente y teniéndose el continuo ascenso astenosférico, este manto empezó a fundirse por descompresión adiabática. Los magmas generados percolaron y se diferenciaron en el manto quedando estancados en forma de venas metasomáticas. Posteriormente, la fusión parcial de estas zonas generó diversos



magmas alcalinos de composición básica y ultrabásica en un ambiente de extensión continental. No se descarta la posibilidad que esta fuente haya sido metasomatizada previamente por procesos geológicos desconocidos. Una parte de estos magmas ascendió y se enfrió en la corteza. Mientras que otra parte experimentó una diferenciación magmática prolongada, generando así la gran variedad de rocas sieníticas presentes en el complejo.

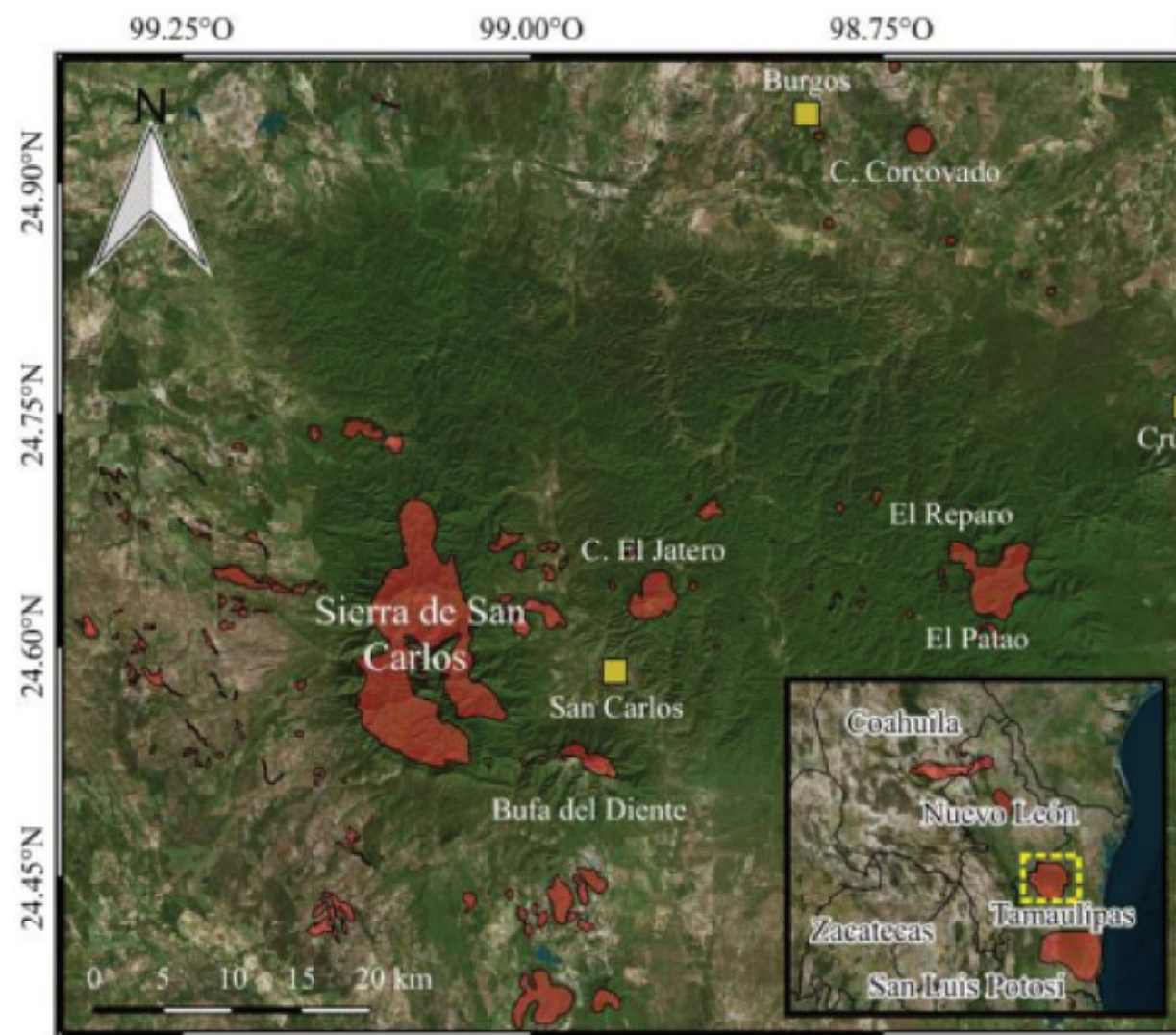


Figura 1.1. Distribución de las rocas ígneas del complejo Sierra de San Carlos-Cruillas.

**Patterns of recent deformation of the western Maracaibo block, northern Colombia and western Venezuela, based on integration of geomorphic indices with regional geology**

Javier Sanchez<sup>1</sup> and Paul Mann<sup>2</sup> <https://library.seg.org/doi/10.1190/INT-2020-0066.1>

Abstract

The Maracaibo block is a triangular, continental tectonic terrane that includes two isolated Andean ranges of northern Colombia and western Venezuela: the Sierra de Santa Marta Massif (SSMM; maximum elevation 5700 m) in the west and the Perija Range (PR; 3600 m) to the east. The Cesar-Rancheria Basin (CRB) is an intermontane basin that separates the two ranges. To establish patterns of recent deformation of this elevated region and to infer its tectonic mechanism, we have integrated the following results: (1) analysis of 350 stream profiles and calculations of geomorphic indices, including stream length-gradient (SL) index, ratio of valley-floor width to valley height (VF), and hysometric curves for 20 watersheds in both ranges and (2) interpretation of three seismic reflection profiles within the CRB and adjacent areas. We determine that the northeastern part of the SSMM is tectonically quiescent based on its concave stream profiles, low geomorphic indices, and few vertical-step knickpoints. In comparison, we find that the central, southern, and eastern parts of the SSMM show tectonic uplift and recent fault control based on slope-break knickpoints and values in steepness and geomorphic indices with possible additional controls from lithologies of varying erosional resistance. Correlations between steepness, SL indices, slope-break knickpoints, and topographic elevations of the SSMM and central PR all indicate recent deformation of these areas. We use seismic reflection profiles from the eastern part of the CRB to confirm the existence of late Quaternary faulting and folding in these geomorphologically active areas. We propose that active, southeastward shallow (approximately 10°–15°) subduction of the Caribbean plate along the base of the South American continental crust produces active crustal deformation within the southern and eastern SSMM. The central PR and eastern CRB are also being deformed by active strike-slip faults.

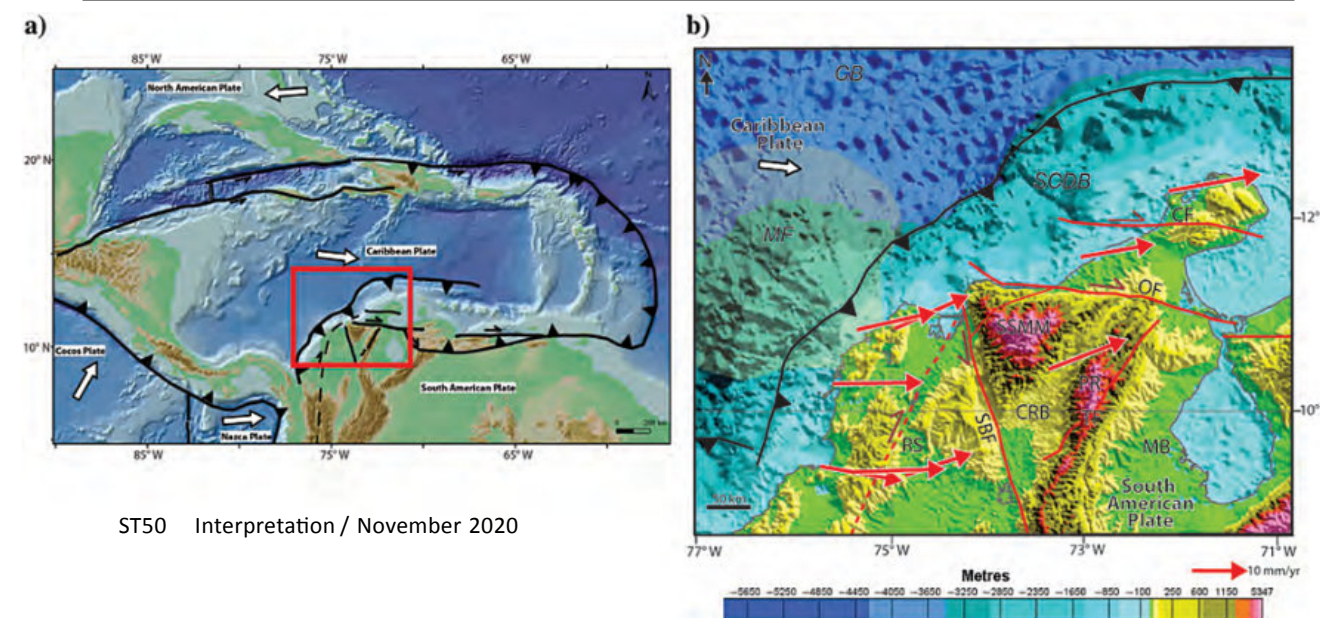


Figure 1. (a) Regional bathymetric-topographic map of the Caribbean and northern South America showing major plate boundaries and plate motion directions. The red box outlines the area of the more detailed map of the study area in (b) of the northernmost Andes in northern Colombia and western Venezuela. The large white arrows show the directions of relative plate motion. (b) Topographic and bathymetric map of the study area (westernmost Maracaibo block) showing GPS vectors (the red arrows) relative to a fixed Caribbean plate from Calais and Mann (2009) and Mora-Páez et al. (2019); the large white arrow shows the subduction direction of the Caribbean plate relative to the South American plate. Key to abbreviations: CB, Colombian Basin; CF, Cuiza fault; CRB, Cesar-Rancheria Basin; MB, Maracaibo Basin; MF, Magdalena fan; OF, Oca fault; PR, Perija range; RS, Romeral suture; SBF, Santa Marta-Bucaramanga fault; SCDB, South Caribbean deformed belt; SSMM, Sierra de Santa Marta massif; and TF, El Tigre fault.

<sup>1</sup>Formerly University of Houston, Department of Earth and Atmospheric Sciences, Houston, Texas 77204, USA; presently Ecopetrol, Bogotá 110311, Colombia. E-mail: cjs2912@gmail.com (corresponding author).

<sup>2</sup>University of Houston, Department of Earth and Atmospheric Sciences, Houston, Texas 77204, USA. E-mail: pmann@uh.edu.



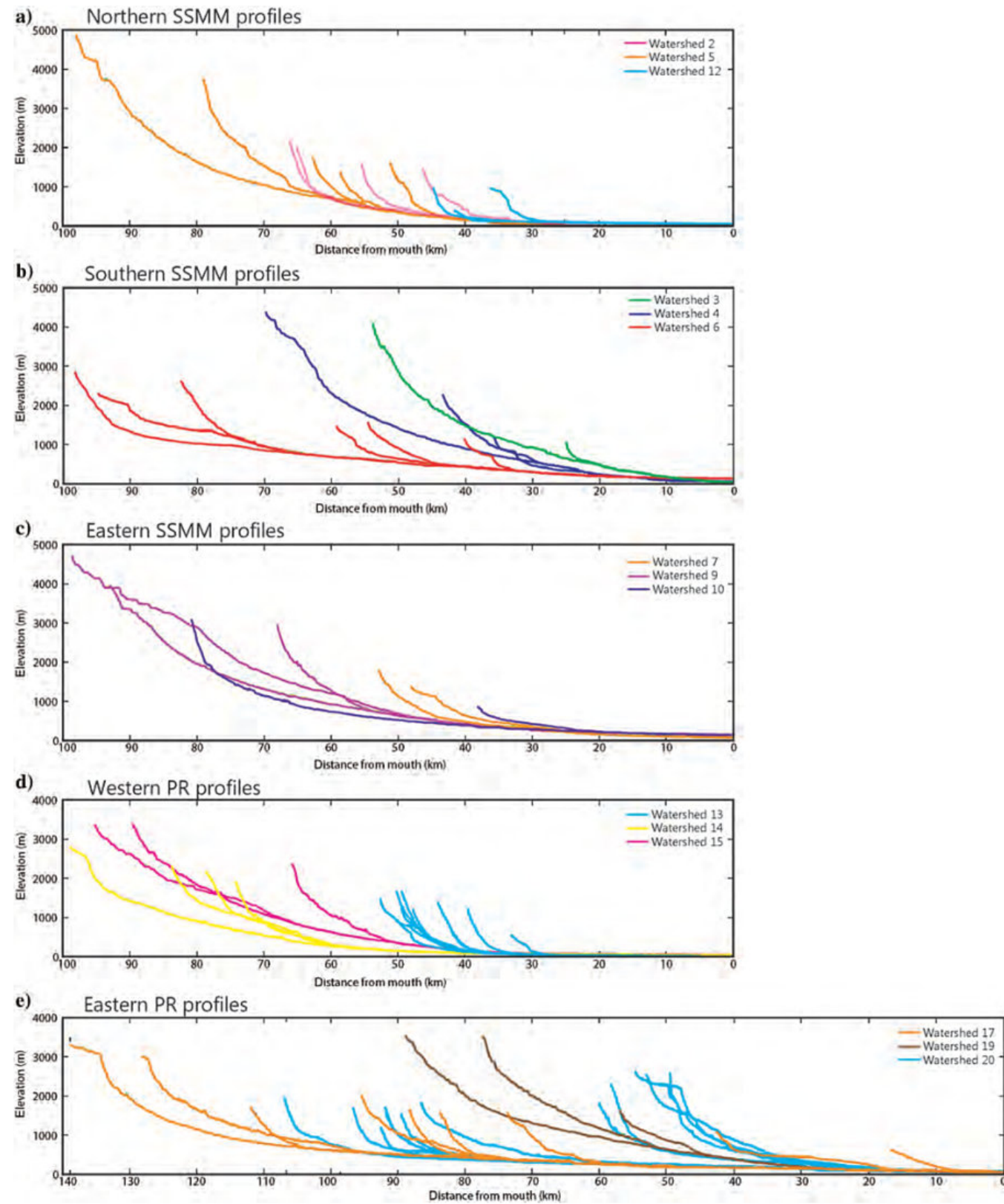


Figure 4. Stream profiles extracted from several rivers in watersheds draining the flanks of the SSMM and PR. (a) Representative stream profiles of the northern SSMM, (b) representative stream profiles of the southern SSMM, (c) representative stream profiles of the eastern SSMM, (d) representative stream profiles of the western PR, and (e) representative stream profiles of the eastern PR.

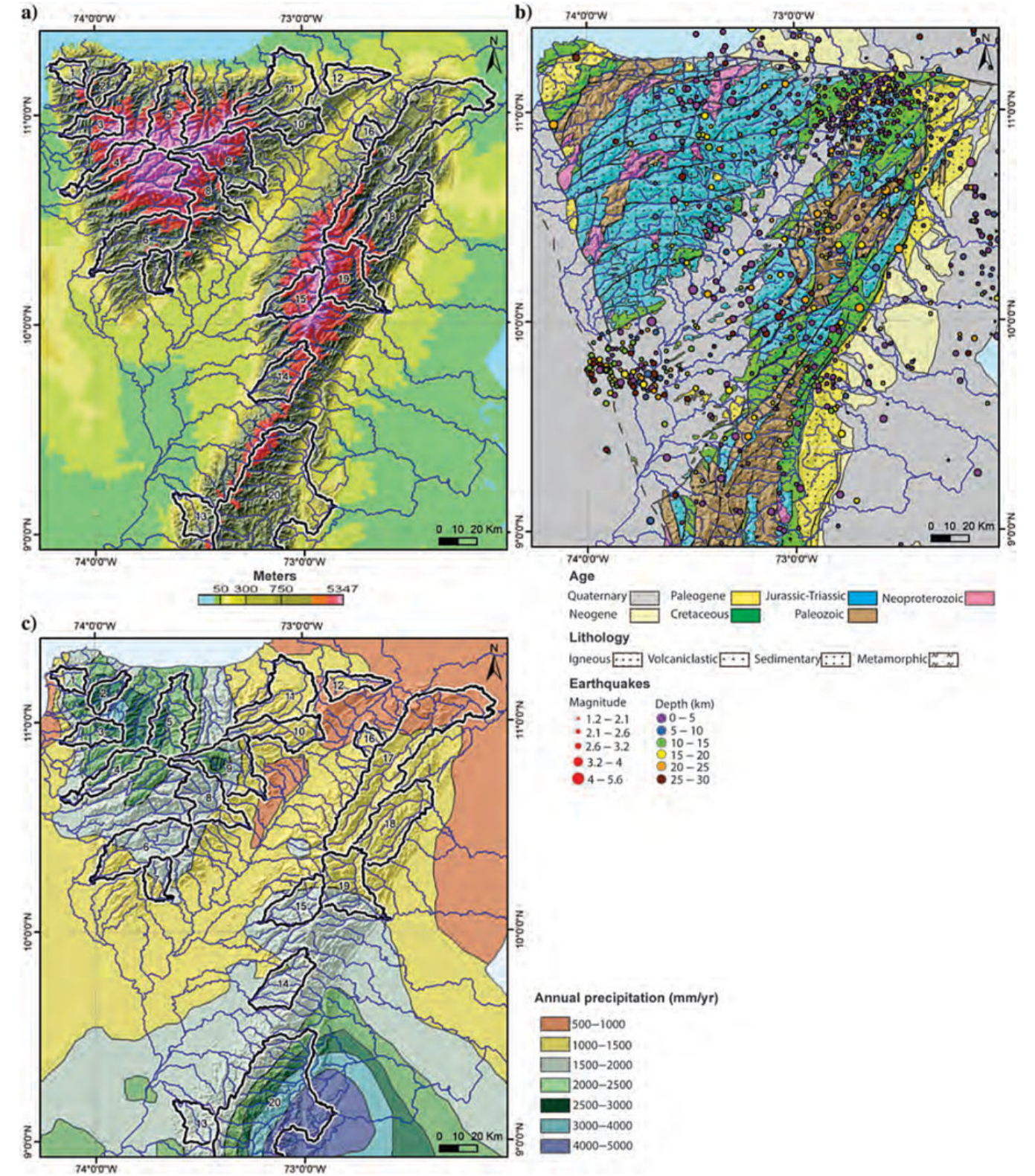


Figure 2. (a) Topographic map of the SSMM showing all major rivers and streams and outlines of 20 watersheds (labeled 1–20) that were extracted for this geomorphic study, and (b) geologic map and shallow earthquakes (less than 30 km deep) of the SSMM (from the IRIS seismic event database: <http://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/data/types/events/>); geologic map compiled from Forero (1970), Tschanz et al. (1974), Caceres et al. (1980), Kellogg (1984), and Sanchez and Mann (2015). (c) Annual precipitation map modified from Hurtado-Montoya and Mesa-Sánchez (2014).



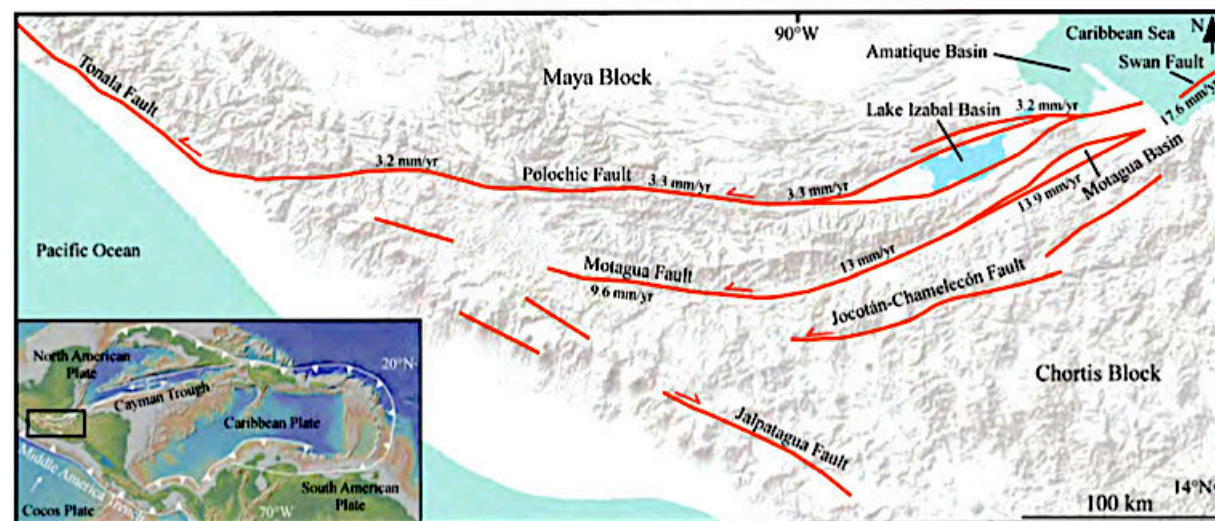


### The role of the Polochic Fault as part of the North American and Caribbean Plate boundary: Insights from the infill of the Lake Izabal Basin

Jonathan Obrist-Farner<sup>1</sup>, Andreas Eckert<sup>1</sup>, Marek Locmelis<sup>1</sup>, James L. Crowley<sup>2</sup>, Byron Mota-Vidaure<sup>3</sup>, Emanuele Lodolo<sup>4</sup>, Joshua Rosenfeld<sup>5</sup>, Edward Duarte<sup>1</sup>

**Abstract**

The Lake Izabal Basin in Guatemala is a major pull-apart basin along the sinistral Polochic Fault, which is part of the North American and Caribbean plate boundary. The basin infill contains information about the tectonic and sedimentological processes that have imparted a significant control on its sedimentary section. The inception of the basin has been linked to the relative importance of the Polochic Fault in the tectonic history of the plate boundary; yet, its sedimentological record and its inception age have been poorly documented. This study integrates diverse datasets, including industry reports, well logs and reports, well cuttings, vintage seismic data, outcrop observations and geochronological data to constrain the initial infill and age of inception of the basin. The integrated data show that during the Oligocene– Miocene, a marine carbonate platform was established in the region which was later uplifted and eroded in the early Miocene. The fluvial–lacustrine deposits above this carbonate platform are part of the initial infill of the basin and are constrained with zircon weighted-mean <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U ages of 12.060 ± 0.008 from a volcanic tuff ~30 m above the unconformity. Sandstone, mudstone and coal dominate the interval from 12 to 4 Ma, with an increase in conglomerate correlating to the uplift of the Mico Mountains and San Gil Hill at 4 Ma. Fault switch activity between the Polochic and Motagua faults has been hypothesized to explain total offset along the Polochic Fault and the geologic and geodetic slip rates along the two faults. The 12 Ma age determined for the initial infill of the basin confirms this hypothesis. Consequently, our study confirms that at ~12 Ma the Polochic Fault served as the main fault of the plate boundary with inferred slip rates ranging from 13 to 21 mm/yr with a strong possibility that the Polochic Fault was, at some point between 15 Ma and 7 Ma, the only active fault of the plate boundary. The results of this study show that tectonic records preserved in sediments of strike-slip basins improve the understanding of the relative significance of individual faults and the implications with respect to strain partitioning throughout its tectonic history.

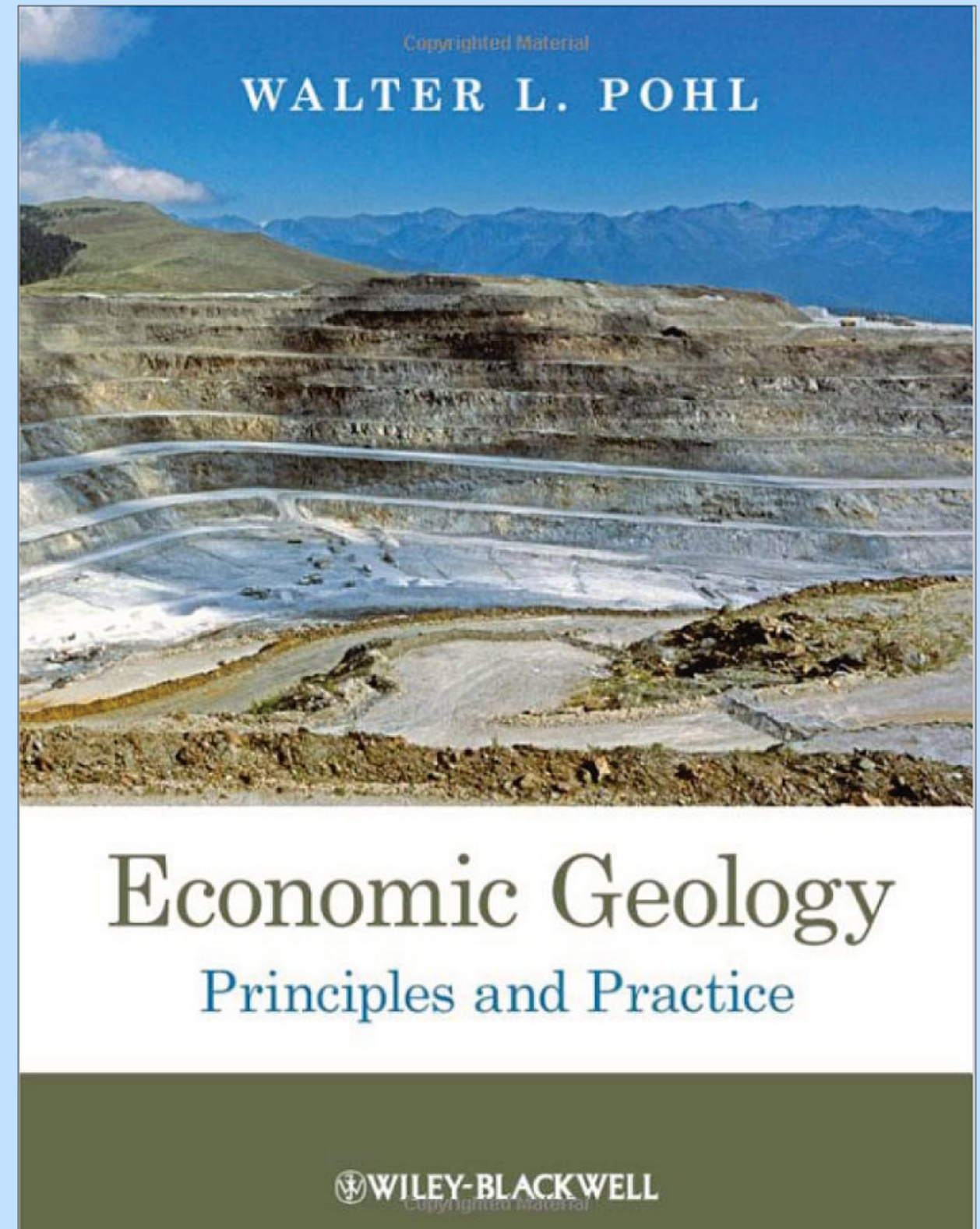


**Figure 1.** Topographic and tectonic map of southern Guatemala showing traces of the three main faults of the Polochic–Motagua Fault System. Inset map: Tectonic and topographic map of the Caribbean region. Black box shows the study area. Modified from Mann (2007) and Authemayou et al. (2012). Slip rates on faults from Ellis et al. (2019)

<sup>1</sup>Department of Geosciences and Geological and Petroleum Engineering, Missouri University of Science and Technology, Rolla, MO, USA  
<sup>2</sup>Department of Geosciences, Boise State University, Boise, ID, USA  
<sup>3</sup>Independent Consultant Geologist, Guatemala City, Guatemala  
<sup>4</sup>Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale - OGS, Trieste, Italy  
<sup>5</sup>Independent Consultant Geologist, Granbury, TX, USA

### El libro recomendado

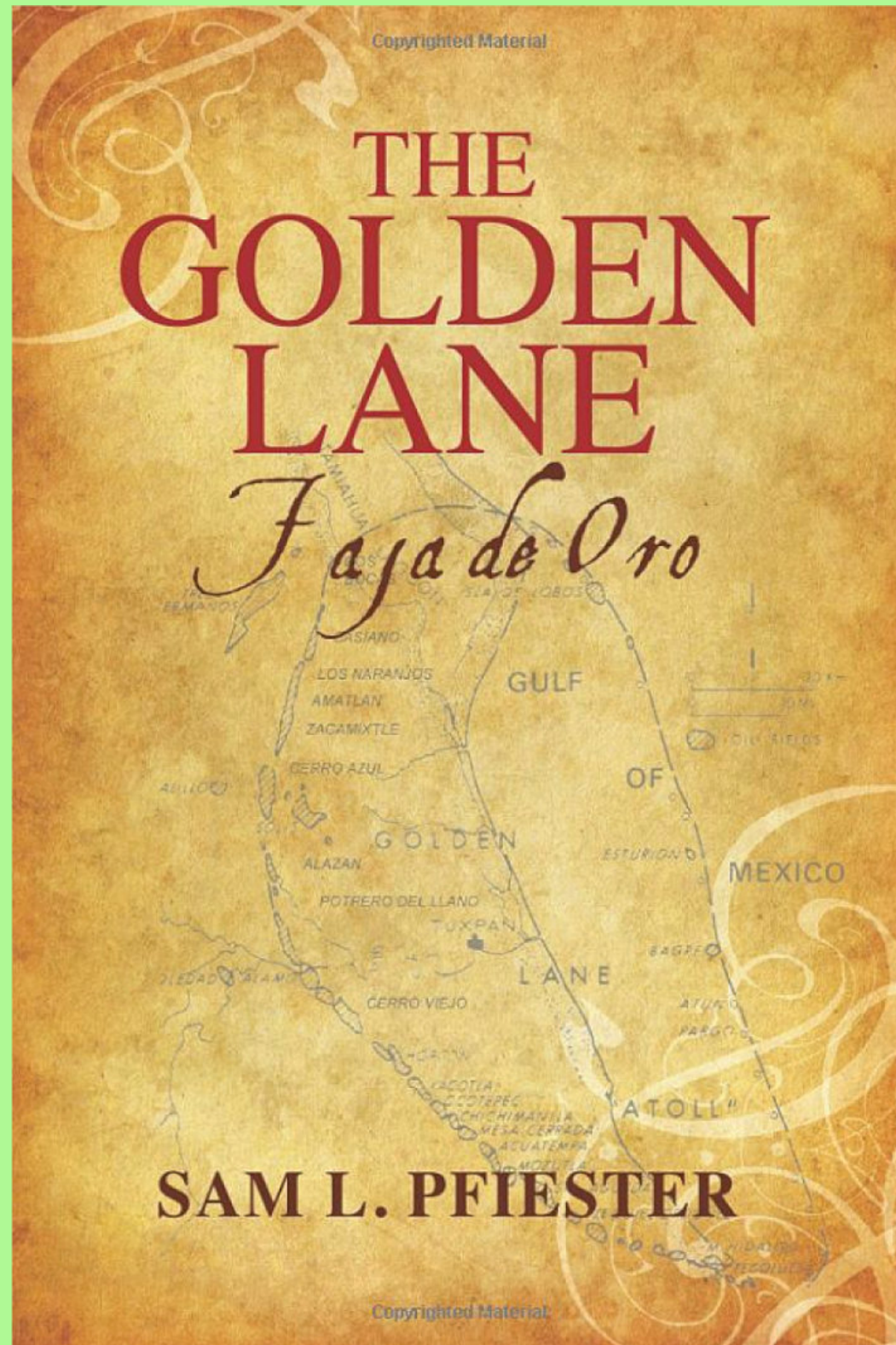
[https://www.secondsale.com/i/economic-geology-principles-and-practice/9781444336634?campaignid=1541438072&adgroupid=59128234459&keyword=&device=c&gclid=Ci0KCQjw5uWGBhCTARIsAL70sLLVQkilcrLO\\_cD4TDZJ9P68mMv4ai3J\\_IZlwQ71kApCOB1dPjmU\\_I0aAv1QEALw\\_wcB](https://www.secondsale.com/i/economic-geology-principles-and-practice/9781444336634?campaignid=1541438072&adgroupid=59128234459&keyword=&device=c&gclid=Ci0KCQjw5uWGBhCTARIsAL70sLLVQkilcrLO_cD4TDZJ9P68mMv4ai3J_IZlwQ71kApCOB1dPjmU_I0aAv1QEALw_wcB)





## El libro recomendado

<https://www.amazon.com/Golden-Lane-Faja-Oro-ebook/dp/B0OPYWRFK2>



## Temas de interés

### ¿Qué es la energía eólica?

La energía eólica es la energía que se obtiene del viento. Se trata de un tipo de energía cinética producida por el efecto de las corrientes de aire. Esta energía la podemos convertir en electricidad a través de un generador eléctrico. La energía eólica o del viento ha sido utilizada por cientos de años para molinero de granos, bombeo de agua y otras aplicaciones mecánicas. En la actualidad, existen más de un millón de molinos de viento en operación alrededor del mundo; esto se utilizan principalmente para extracción y bombeo de agua. Mientras el viento sigue siendo utilizado para el bombeo de agua, el uso de la energía eólica como fuente de energía libre de gases de efecto invernadero para la generación de electricidad es una alternativa atractiva que en los últimos años ha acrecentado el interés de muchos países para su implementación como fuente de generación eléctrica.

**La determinación precisa del recurso eólico es una tarea difícil e incierta debido a:**

- Una gran variabilidad de velocidades de viento que se encuentra en las diferentes regiones del mundo, desde un promedio anual de velocidad de 2 m/s hasta 4 a 7 m/s en lugares con mucho viento. Esta variación en el viento implica una mayor variabilidad en la potencia disponible, desde 40 a 200 W/m<sup>2</sup>.
- Inmensas diferencias en velocidad de viento (y por ende en potencia) se observan en pequeñas distancias debido a la cambiante topografía del terreno y su rugosidad. En pequeñas distancias, la potencia eólica puede variar en un orden de magnitud.
- Es difícil medir el potencial eólico con precisión. El viento, generalmente, se mide con su velocidad y dirección. La potencia eólica es proporcional al cubo de la velocidad del viento, significado esto, que un pequeño error en su medición causa un mayor error en la potencia calculada.

#### Patrones globales de circulación del viento

El viento es aire en movimiento y es una forma indirecta de la energía solar. Este movimiento de las masas de aire se origina por diferencias de temperatura causada por la radiación solar sobre la superficie terrestre que, junto a la rotación de la tierra, crean los patrones globales de circulación.

El flujo de energía solar total absorbido por la Tierra es del orden de 10<sup>17</sup> vatios, lo cual es aproximadamente 10,000 veces la tasa total mundial del consumo energético. Una pequeña porción del flujo total solar (aproximadamente 1% o 10<sup>15</sup> vatios) se convierte en movimiento atmosférico o viento.

En una escala global, las regiones alrededor del ecuador reciben una ganancia neta de energía mientras que en las regiones polares hay una pérdida neta de energía por radiación. Esto implica un mecanismo por el cual la energía recibida en las regiones ecuatoriales sea transportada a los polos.

La distribución desigual de la energía solar entrante entonces crea oscilaciones en la temperatura ambiental, circunstancia que produce algunas de las circulaciones globales dominantes, como, la célula de Hadley, la cual transporta el calor del ecuador hacia las regiones subtropicales, acercándose a los polos; la célula de Ferrel, ocupa las latitudes medias y se encuentra cerca de la superficie, fluyendo hacia los polos y hacia el oeste; la célula polar, que se forman en las regiones del Ártico y Antártico, donde el aire fluye se eleva, diverge y viaja hacia los polos. Finalmente tenemos la circulación de Walker, que está desplaza el aire de este a oeste y en sentido vertical en los trópicos, se ubica en la cuenca del Pacífico y consiste en el movimiento de masas de aire a nivel del mar hasta converger en el centro de baja presión del Pacífico Occidental.



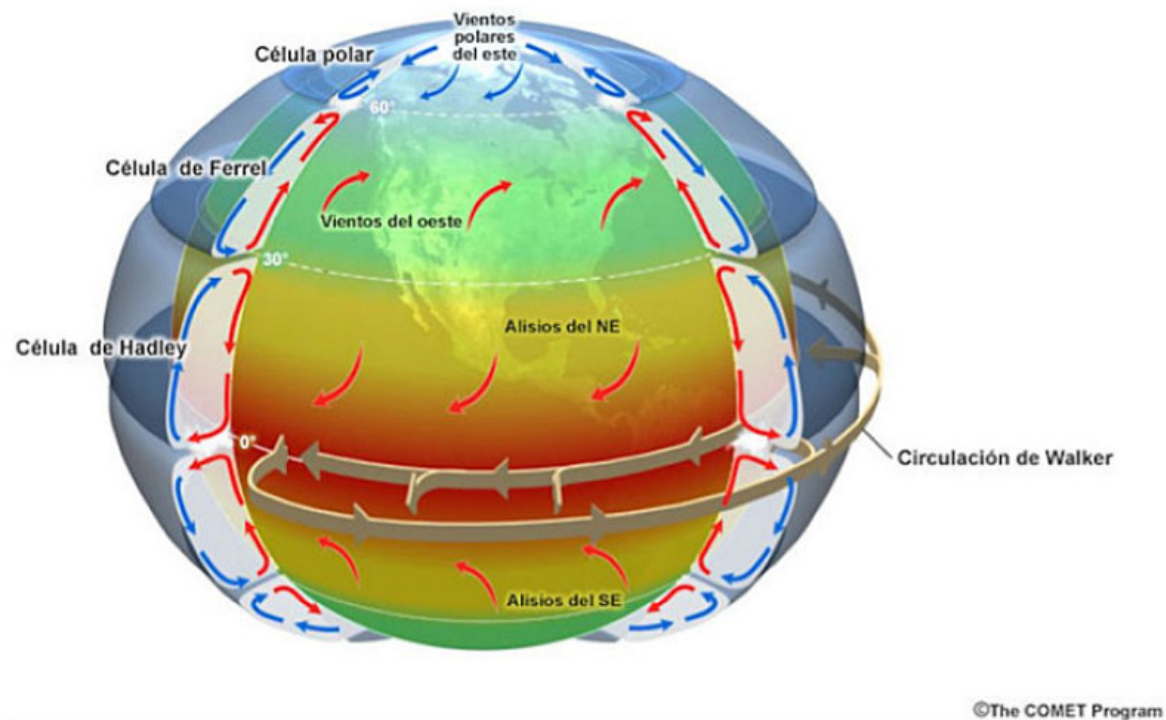


Figura 1: Representación esquemática de la configuración básica de las principales circulaciones y los vientos predominantes del mundo Tomado de: García, U. (enero 19, 2019).

Las masas de aire caliente en la región ecuatorial ascienden (causando la formación de nubes y de relámpagos) es una banda delgada de alrededor de 100 km de ancho, llamada la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Esta zona se ubica más o menos paralela al ecuador alrededor de la tierra. En la parte superior de la atmósfera estas masas de aire se dividen en dos, una alejándose del ecuador hacia el norte y otra alejándose hacia el sur. Al alejarse del ecuador, el aire se enfría y se vuelve más pesado. A aproximadamente a 30° de latitud norte y sur, este aire empieza a descender, causando un clima seco y sin nubes. En estas latitudes es donde se encuentran los grandes desiertos alrededor del mundo.

A nivel de la superficie terrestre, los vientos regresan hacia el ecuador como vientos alisios. Debido a la rotación de la Tierra su dirección se desvía hacia el oeste en los dos hemisferios norte y sur. Por esto, la dirección de los vientos alisios es NE y SE (la dirección se determina por la dirección de donde viene el viento y no hacia donde se dirige).

La zona de convergencia intertropical se desplaza hacia el norte del ecuador durante el verano del hemisferio norte y hacia el sur en el invierno. Es muy estable y por esto los vientos alisios son permanentes. Dentro de esta zona se encuentran vientos de baja intensidad, interrumpidos por un alto nivel de tormentas eléctricas. Al tiempo, se pueden experimentar largos periodos de calma de viento.

En el exterior de la circulación entre los trópicos, vientos del oeste son predominantes. Esta circulación es más bien inestable y se caracteriza por una estructura ondulada y formación de depresiones atmosféricas moviéndose del oeste hacia el este.

**De energía cinética a mecánica**

Los aerogeneradores o turbinas eólicas son dispositivos que convierten la energía cinética del viento en energía mecánica. Aunque existen dos tipos básicos de molinos, de eje horizontal y eje vertical, el principio de operación es prácticamente el mismo. La captación de la energía eólica se realiza mediante la acción del viento sobre las palas (aspas), las cuales están unidas al eje a través de un elemento denominado cubo (conjunto que recibe el nombre de rotor).

Los equipos eólicos se dividen en dos tipos:

- Los Sistemas de Conversión de energía eólica de Eje Horizontal (SCEH) con dos subdivisiones como son los de baja velocidad (muchas aspas) o los de alta velocidad (pocas aspas).
- Los Sistemas de Conversión de energía eólica de Eje Vertical (SCEV), con subdivisión similar a los de eje horizontal.

El principio aerodinámico por el cual los equipos eólicos de eje horizontal gira, es similar al que hace que los aviones vuelen. El aire es obligado a fluir por las caras superior e inferior de una placa o perfil inclinado (Figura 2) genera una diferencia de presiones entre ambas caras, dando origen a una fuerza resultante (R) que actúa sobre el perfil. Descomponiendo esta fuerza en dos direcciones se obtiene:

- A. La fuerza de sustentación (S), o simplemente sustentación, de dirección perpendicular al viento.
- B. La fuerza de arrastre (A), dirección paralela al viento.



Figura 2: Fuerzas de sustentación y arrastre Tomado de: Luque, M. (2017).

Para optimizar la circulación del aire sobre la superficie de las palas, evitar la formación de torbellinos y maximizar la diferencia de presiones, se eligen perfiles de pala con formas convenientes desde el punto de vista aerodinámico. Según como estén montadas las palas con respecto al viento y al eje de rotación, la fuerza que producirá el par motor será predominantemente la fuerza de arrastre o la de sustentación.

Por el contrario, algunos equipos eólicos de eje vertical basan su principio de operación en la fuerza de arrastre sobre superficies como es el molino de viento Savonius o el mismo principio de operación de los anemómetros de cazoletas.

La selección de utilización de equipos eólicos horizontales o verticales, independiente de la eficiencia de conversión, ya que presentan valores similares, sin embargo, es importante dejar claras las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas.

El equipo de eje vertical (Darrieus), el sistema puede captar el viento en cualquier dirección mientras que en los equipos de eje horizontal requieren de un sistema de control para enfrentar el rotor con la dirección de viento. En los de eje vertical se pueden localizar los subsistemas como caja de cambios, generador eléctrico, frenos, controles, y demás en la base de la torre facilitándose su mantenimiento. En los sistemas de eje horizontal estos subsistemas deberán estar colocados a lo alto de la torre.





Los SCEV de pocas palas (baja solidez) usualmente vienen provistos de un pequeño motor para iniciar el arranque, para facilitar la entrega de energía, mientras que los SCEH se diseñan para que arranquen sin ayuda externa a velocidades adecuadas del viento. Los SCEV más sólidos como el equipo Savonius requiere de un soporte estructural bastante sólido, dadas las fuerzas que se generan en la conversión de energía, limitándose así a la altura a la cual se puede instalar este equipo a unos cuantos metros desde el nivel del piso. Mientras que los SCEH pueden tener torres más altas para emplazar el rotor a alturas mayores sobre la superficie donde la intensidad el viento es mayor.

|                    | Eje Horizontal   | Eje Vertical Sustentación   | Eje Vertical Arrastre  |
|--------------------|--|---|--|
|                    |  |   |  |
| <b>Ventajas</b>    | Eficiente<br>Ampliamente probado<br>Muy utilizado<br>Más económico<br>Muchos modelos                       | Eficiencia aceptable<br>Indiferente a la dirección del viento<br>Menos sensibilidad a turbulencia<br>Crea pocas vibraciones | Producto probado<br>Silencioso<br>Robusto y fiable<br>Indiferente a la dirección del viento<br>Puede aprovechar flujos turbulentos<br>Crea pocas vibraciones |
| <b>Desventajas</b> | No soporta adecuadamente cambios frecuentes en la dirección del viento<br>No tolera bien vientos racheados | No muy probado<br>Más sensible a la turbulencia que el Savonius   | Baja eficiencia<br>Económicamente costoso  |

Figura 3: Resumen de las ventajas y desventajas de los diferentes sistemas de conversión de energía eólica Tomado de: Luque, M. (2017).

México se posiciona a nivel mundial como uno de los países mejor situados para aprovechar la fuerza del viento en la generación de electricidad. Hasta el año 2017 México tuvo un fuerte impulso al desarrollo de las energías renovables, con la finalidad de diversificar la matriz energética y reducir, de esta manera, la fuerte dependencia que existe de los combustibles fósiles. Los estados de Oaxaca, Yucatán y Tamaulipas han registrado velocidades de vientos mayores a 8 m/s y factores de planta cercanos al 45% lo cual las convierte en las zonas con mayor potencial eólico de México.

El estado de Oaxaca se caracteriza por ser uno de los mejores sitios, no solo en el país sino del continente americano para, generación de electricidad mediante el viento, particularmente en la zona del Istmo de Tehuantepec. En esta región el viento tiene velocidad promedio de 8.5 m/s a una altura de 50 m, por lo que esta considerada como una de las mejores regiones para aprovechar la energía eólica. Derivado del gran potencial eólico que posee nuestro país, en los últimos años se han desarrollado estrategias para incorporar la generación eólica en la matriz energética. Actualmente, se realizan estudios para determinar sitios factibles para el desarrollo de la energía eólica en México.

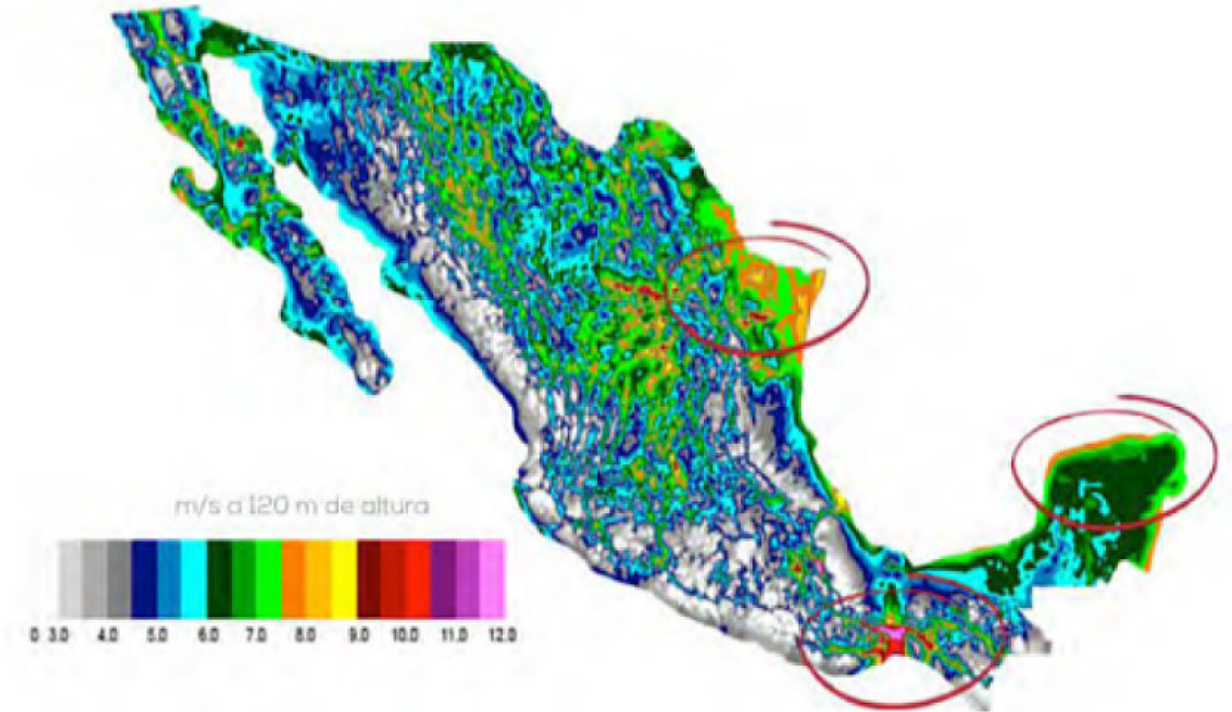


Figura 4: mapa de velocidad del viento en México Tomado de: (Secretaría de Energía (SENER, 2017).

El recurso eólico en México es competitivo, como lo demuestran los numerosos proyectos llevados a cabo por el sector privado en la modalidad de autoabastecimiento, así como por la CFE bajo la modalidad de productor independiente de energía. Se cuantificó el potencial eólico técnico y económicamente competitivo, definiendo un objetivo de instalación de 12,000 megawatts para el año 2020 (si bien el potencial puede ser mayor). El alto volumen de recurso aprovechable indica que México es un país dotado con un gran potencial para el uso de energía eólica. Cerca de 7,000 MW de este potencial se encuentran ya en operación o en fase de desarrollo, principalmente a través de las dos modalidades de generación: la producción independiente de energía y el autoabastecimiento.

Sin embargo, a través de la modalidad de autoabastecimiento existe más de 200 empresas en todo México que consumen parte o la totalidad de su energía a través de parques eólicos. Dentro de este universo de empresas, existen compañías del sector minero, acerero, cementero, automotriz, alimenticio, de bebidas y tiendas de autoservicio entre otras.

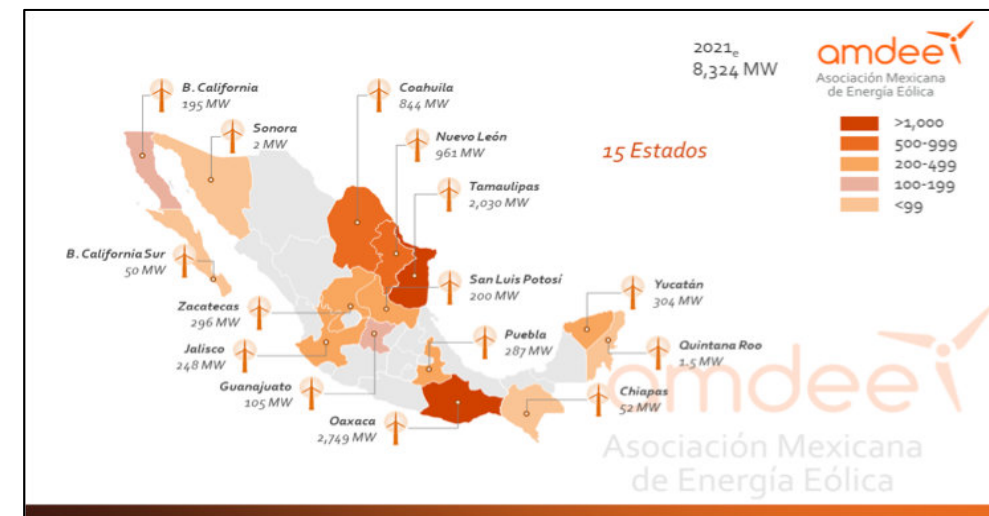


Figura 5: mapa eólico de México Tomado de: (Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE, 2021).



## Energía eólica costa afuera

La energía eólica marina es aquella cuya fuente de energía es la obtenida al aprovechar la fuerza del viento que se produce en alta mar, donde este alcanza una velocidad mayor y es más constante pues no existen barreras. Para explotar al máximo este recurso, se desarrollan mega estructuras asentadas sobre el lecho marino y dotadas con las últimas innovaciones técnicas.

En la actualidad, los parques eólicos marinos se ubican en aguas no muy profundas (hasta 60 metros de calado) y alejados de la costa, las rutas de tráfico marino, las instalaciones estratégicas navales y los espacios de interés ecológico. Los parques europeos tienen una profundidad media de 27,1 metros y se encuentran a una distancia media de 33 kilómetros de la costa, frente a los 41 km de media registrados en el informe de 2017. Reino Unido es el país con mayor capacidad instalada en Europa, con un total de 44% de todas las instalaciones de energía eólica marina (en MW). Le siguen Alemania (34%), Dinamarca (7%), Bélgica (6.4%) y Holanda (6%).



Figura 6: Campos eólicos costa afuera Tomada de: (Wind Europe. 2018).

Existen diferentes tipos de parques eólicos y estos se pueden diferenciar por el tipo de anclaje del aerogenerador, distinguimos dos tipos:

### Aerogeneradores marinos con cimentación fija:

Se caracterizan por tener una estructura de apoyo con cimentación fija sobre el suelo marino. Este tipo de cimentación, a su vez, puede ser distinta: con monopilote (la torre se cimenta sobre un gran cilindro de acero empotrado en el fondo marino); de apoyo por gravedad (requiere una plataforma de hormigón o acero de gran masa y superficie que se apoya directamente sobre el lecho marino que se prepara previamente); y usando jackets (estructuras de acero reticulares con

tres o cuatro puntos de anclaje en el fondo marino). La tecnología actual de cimentaciones fijas se utiliza actualmente en emplazamientos de hasta 60 m de profundidad.

### Aerogeneradores marinos sobre plataforma flotante:

Este tipo de emplazamientos abren la puerta a parques más alejados de la costa en zonas de gran profundidad. Las bases flotantes permiten desplegar aerogeneradores en extensas áreas marinas con gran potencial de viento. Con este tipo de técnica, la restricción de profundidad viene marcada por el tendido de las infraestructuras eléctricas submarinas de evacuación, capaces de llegar a cientos de metros de profundidad. Según el sistema de anclaje al fondo marino se clasifican como: monopilar flotante o spar, plataforma semisumergible y plataforma de apoyo en tensión.

### Bibliografía

Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE). (2021). Mapas eólicos. Julio 9, 2021, de Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE) Sitio web: <https://amdee.org/mapas-eolicos.html>

Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE). (s/n). El potencial eólico mexicano Oportunidades y retos en el nuevo sector eléctrico. Julio 9, 2021, de Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE) Sitio web: <https://amdee.org/Publicaciones/AMDEE-PwC-El-potencial-eolico-mexicano.pdf>

Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE). (S/N). Estudio de Capacidades de la Industria Eólica en México. Julio 9, 2021, de Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE) Sitio web: <https://amdee.org/estudios.html>

García, U. (enero 19, 2019). Comportamiento de los vientos en la atmósfera. Julio 9, 2021, de METEORED Sitio web: <https://www.meteored.mx/noticias/divulgacion/comportamiento-de-los-vientos-en-la-atmosfera-circulacion-atmosferica-1ra-parte.html>

IBERDROLA. (s/n). QUÉ ES LA ENERGÍA EÓLICA MARINA. Julio 10, 2021, de IBERDROLA Sitio web: <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/como-funciona-la-energia-eolica-marina>

Luque, M. (2017). Diseño, construcción y control de un aerogenerador de equipo de practicas de bajo coste. Julio 9, 2021, de Dept. de Ingeniería de sistemas y automática Escuela Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla Sitio web: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91288/fichero/tfg+maria+paz+luque.pdf>

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA INSTITUTO DE CIENCIAS NUCLEARES Y ENERGIAS ALTERNATIVAS (INEA). (Julio, 1997). MANUAL DE APLICACIÓN DE LA ENERGÍA EÓLICA. Julio 9, 2021, de MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA INSTITUTO DE CIENCIAS NUCLEARES Y ENERGIAS ALTERNATIVAS (INEA) Sitio web: [http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias\\_alternativas/material\\_difusion/manualE%F3licaweb.pdf](http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/material_difusion/manualE%F3licaweb.pdf)

Moragues, J & Rapallini, A. (2003). ENERGIA EOLICA. Julio 9, 2021, de INSTITUTO ARGENTINO DE LA ENERGIA "GENERAL MOSCONI" Sitio web: <https://docplayer.es/10404081-Energia-eolica-jaime-moragues-y-alfredo-rapallini.html>

Secretaría de Energía (SENER). (2017). MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA DE ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA. Julio 9, 2021, de Secretaría de Energía (SENER) Sitio web: <https://amdee.org/mapa-ruta.pdf>

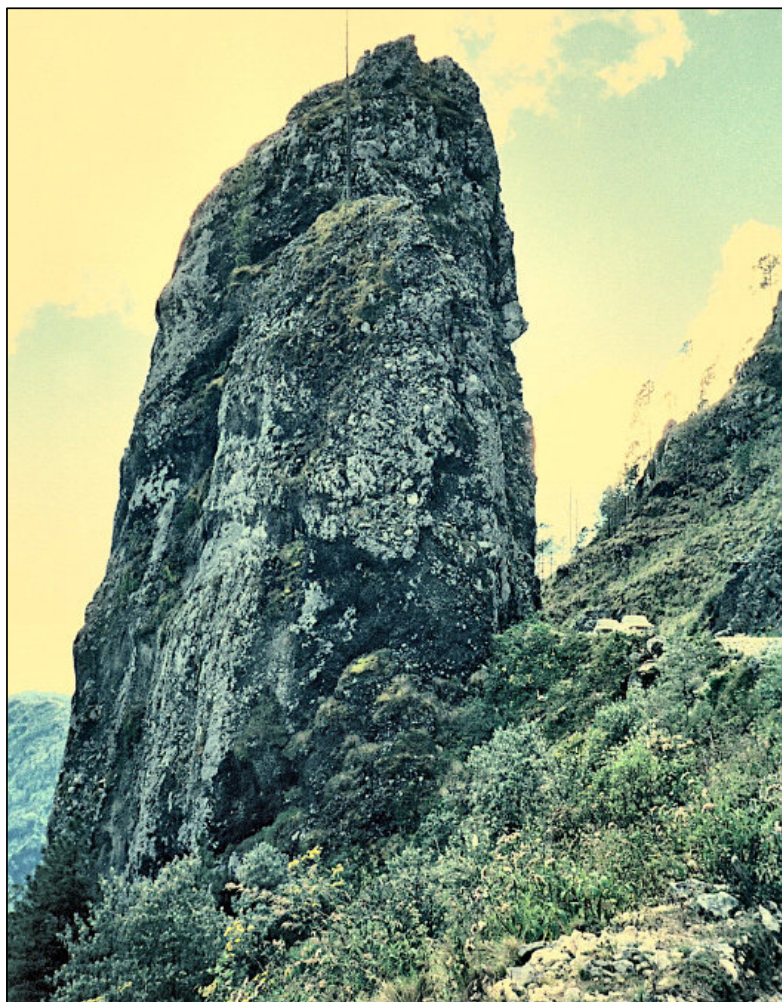
Wind Europe. (2018). Offshore Wind in Europe 2018. Julio 11, 2021, de Wind Europe Sitio web: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Offshore-Statistics-2018.pdf>

Reporte compilado por  
**Saul Humberto Ricardez Medina**  
Colaborador de la revista





# Mi Afloramiento Favorito



Fotografías proporcionadas por Joshua Rosenfeld

Columna de las Piedras de Capzín en la Sierra de los Cuchumatanes de Guatemala occidental. Lo interpreto como deslizamiento cementado compuesto por bloques de caliza cretácica que se desprendieron por el impacto de Chicxulub a 600 km de distancia.



Manadero de petróleo en la Fm. Barrios (Mioceno) en la Cuenca de Izabal, Guatemala oriental.



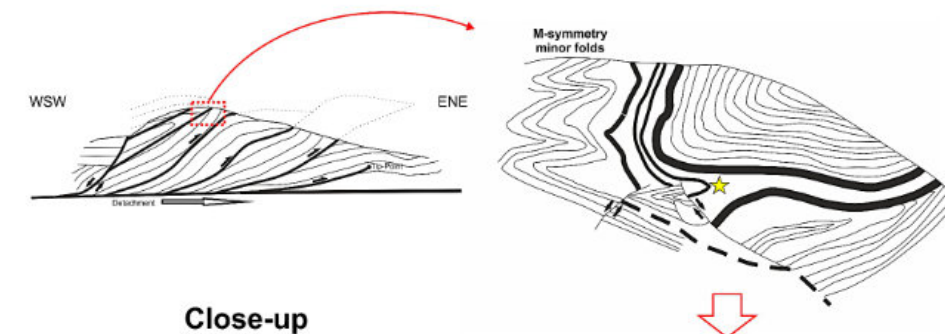
Fotografías provistas por Ramón López Jiménez

Depósito de 'Base Surges' húmedas con bombas volcánicas o fragmentos balísticos sobre coladas de lava.

Wet Base surges with ballistic blocks over lava flows.

Localidad: Los Tuxtlas, Veracruz, Mexico.

Deepwater thin beds deformed by propagation thrusts

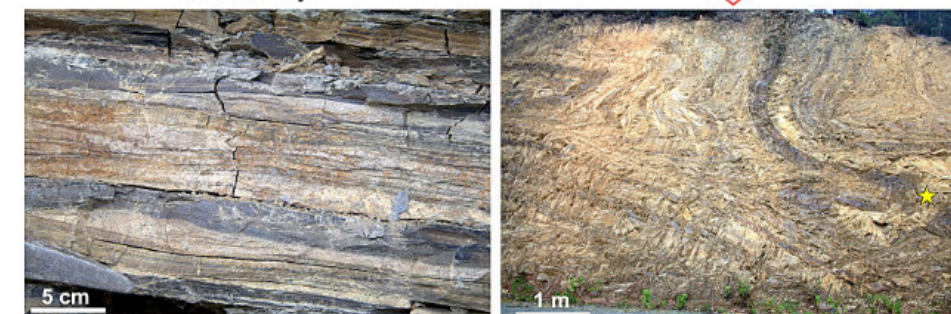


Capas centimétricas depositadas por flujos gravitacionales en aguas profundas del Cretácico (aka capas delgadas de 'turbiditas').

Centimetre-thick beds deposited by Cretaceous deep-water gravity-flows (aka thin-bedded turbidites).

Sierra Zongolica, Veracruz, Mexico.

Close-up







A)



B)

Formación Zapotitlán de edad Cretácico Temprano (Barremiano). El afloramiento A) y B) se encuentra en la localidad de Zapotitlán Salinas, Puebla. Perteneciendo a la Formación del mismo nombre, la cual está caracterizada por lutitas calcáreas grises con intercalaciones de margas grises, que presentan la gran actividad tectónica de la zona por la estratificación paralela.



La Formación San Juan Raya Cretácico Temprano (Aptiano). Afloramiento B) y C) encontrado en la localidad de Zapotitlán Salinas, Puebla. Lutita gris verdosa a verde amarillento, calcárea, cuenta presencia de biofacies dentro de la roca madre que de acuerdo con el Léxico Estratigráfico Mexicano contiene capas delgadas de ostreas, que pueden llegar a formar grandes bancos, los cuales están cementados por carbonato de calcio y limolita.

Aportaciones de: **Ingrid Nayeli Noriega Azcona**, Estudiante de 7ºmo semestre de Ingeniería Geológica ESIA Ticoman, IPN.



A nosotros los estudiantes de geología nos gusta mucho realizar las prácticas de campo, porque tenemos la oportunidad de tomar muchas fotografías de estructuras geológicas, montañas y de afloramientos.

Cross-bedded Jurassic Navajo Sandstone, Page, Arizona. Photo by Claudio Bartolini.

Eres estudiante de geología y tienes fotografías de afloramientos de tu área de estudio o de viajes de campo?

Comunícate con

**Saúl Humberto Ricardez Medina**

[ricardezmedinasaulhumberto@gmail.com](mailto:ricardezmedinasaulhumberto@gmail.com)

quien está a cargo de organizar esta información.





# Notas Geológicas

Las notas geológicas tienen como objetivo el presentar síntesis de trabajos realizados en México y en diferentes partes del mundo por jóvenes profesionales y prestigiosos geocientíficos. Son notas esencialmente de divulgación, con resultados y conocimientos nuevos, en beneficio de nuestra comunidad de geociencias. Estas notas no están sujetas a arbitraje.

## Quantitative petrographic analysis in thin section images using supervised classification machine learning

Caja<sup>1</sup>, M.A., Tritlla<sup>2</sup>, J.

1. Repsol Technology Lab. Agustín de Betancourt, s/n. 28935 Móstoles, Madrid, Spain. [miguelangel.caja@repsol.com](mailto:miguelangel.caja@repsol.com)
2. Gemix / Independent Consultant, 17490 Llançà, Girona, Catalonia (Spain) [jtritlla@gmail.com](mailto:jtritlla@gmail.com)

Key words:

Petrography, classification, quantification, thin section images, machine learning, pre-salt carbonates

Petrographic analysis of thin sections in oil and gas exploration wells represents a crucial source of geological knowledge from subsurface. Petrographic analysis provides qualitative observations on mineralogy, texture, diagenetic features, porosity origin and evolution, etc. However, quantitative analysis is commonly limited to mineral percentages assessment using comparison charts for visual estimation, and manual point-counting, using expensive mechanical stages, in very few cases. Point-counting is subjected to petrographer's experience, results can be biased and it is very time-consuming. Since recently, fast automatic mineral quantification, including textural and grain-size information, was only possible using expensive electronic microscopy equipment (QEMSCAN, f.i.). For these reasons, this study explores the use of machine learning supervised classification techniques applied to thin section images in order to perform fast quantitative petrographic analysis at low cost and no time-consuming (Caja et al, 2019). To achieve this goal, we used a series of high-quality thin sections obtained from a South-Atlantic exploration well drilled in pre-salt carbonate reservoirs (Tritlla et al, 2018).

A total of 134 Side Wall Core rock samples (1 inch in diameter) were cut, impregnated with blue dyed epoxy resin and prepared for petrographic thin sections with final high-quality (metallographic grade) polishing. Automatic high-resolution thin section scans were performed with a Zeiss Axio Scan.Z1 whole slide image scanner under plane polarized light illumination and 10X magnification. The obtained whole thin section images were gigapixel images (i.e. multi-resolution image pyramids) with a maximum resolution of 0.44 microns per pixel.

The petrographic study of the thin sections allowed the definition of five main categories (Figure 1):

- 1) *Depositional carbonates*, corresponding mainly to "in-situ growths" and reworked microbial shrubs and spheruliths including large shrubs, small shrubs, bands or layers of spheruliths.
- 2) *Clays*, mainly identified as fine-grained talc-stevensite-kerolite, silty, argillaceous and carbonate mud.
- 3) *Carbonate and silica cements*; "Carbonate cement" corresponds to calcite and dolomite. "Silica cement" presents different textures and generations, mainly opal, chalcedony and megaquartz, being all of them grouped under a unique category.
- 4) *Bitumen*, present-day solid hydrocarbons impregnating the rock.
- 5) *Porosity*, is mainly interparticle, intraparticle, vuggy and intercrystalline.

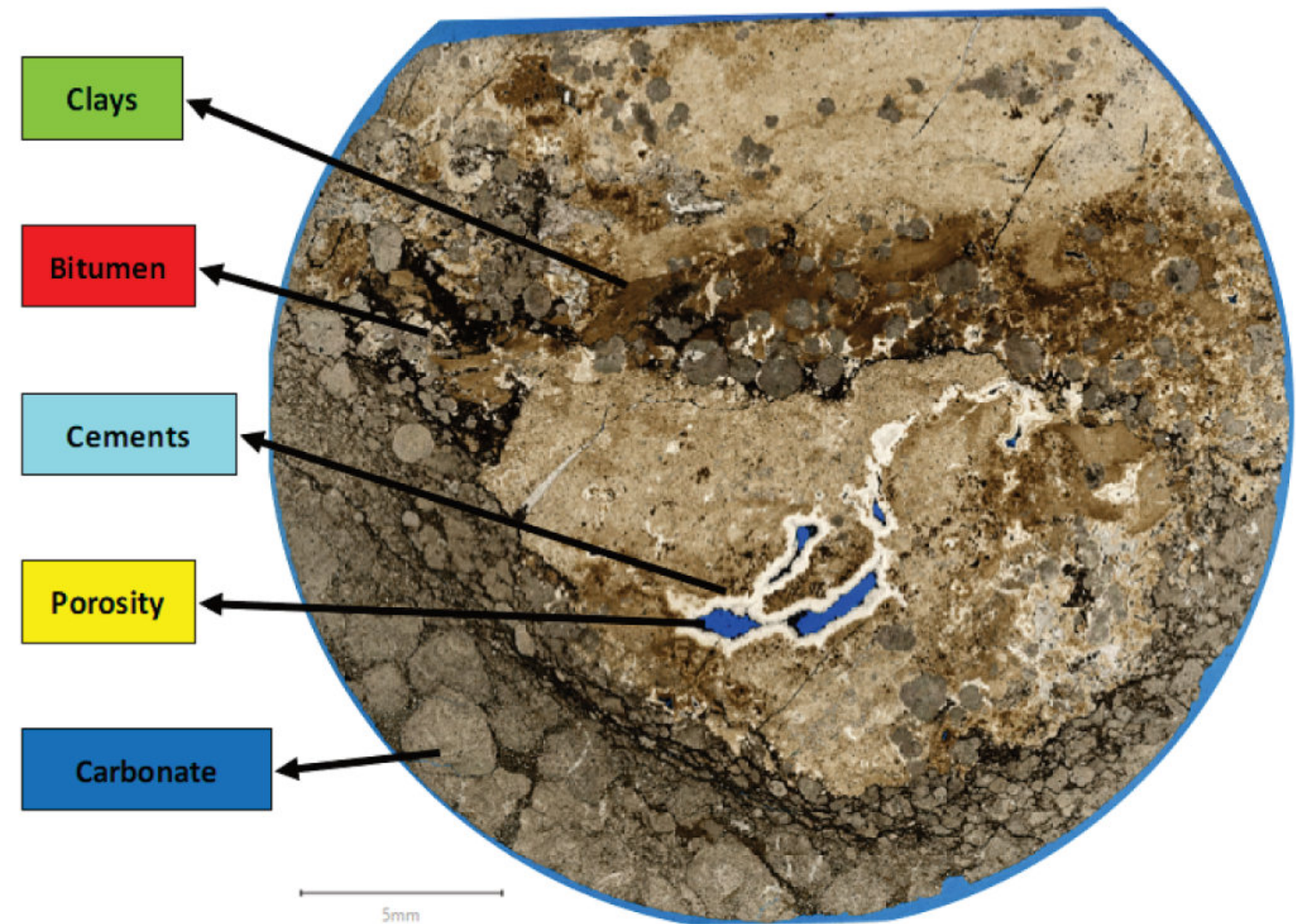
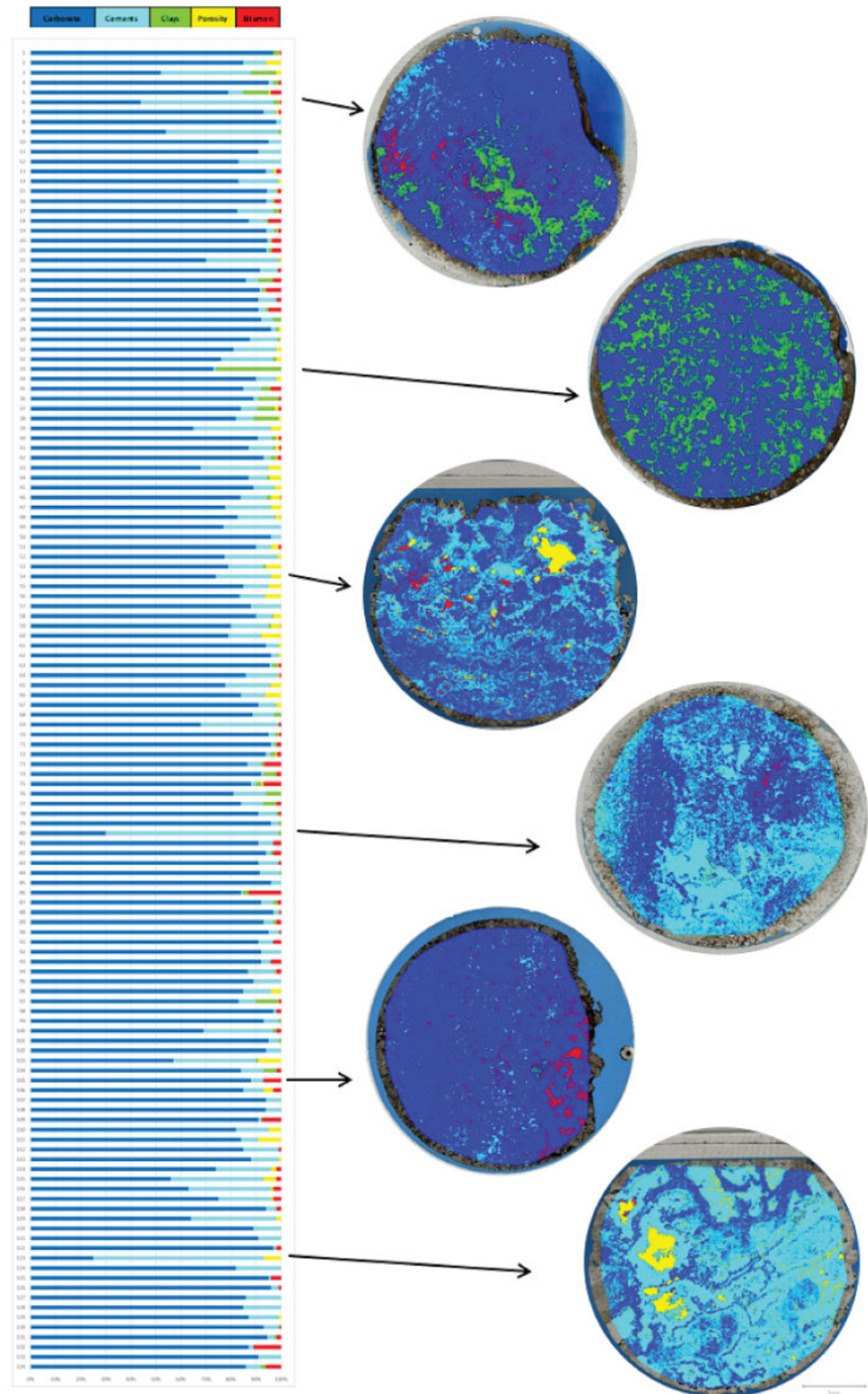


Figure 1. Example of one scanned whole thin sections from the studied well, prepared from one inch diameter Side Wall Core rock, with identification of the five categories differentiated.

An open-source software (ORBIT Image Analysis; Stritt et al, 2020) was carefully selected to perform a whole thin section image analysis using machine learning based classification through multi-resolution image pyramids. A Support Vector Machine (SVM) based classifier was used for pixel classification based on multivariate intensity and structural input parameters. Training data was generated by manually drawing several representative annotations per defined category after careful petrographic examination. The classification step then worked automatically: the features for each pixel of each category were computed and the SVM outputs the corresponding category class.

The obtained results (Figure 2) show the classification and quantification of the five categories selected: depositional carbonates, clays, porosity, carbonate and silica cements, and bitumen. One direct conclusion is the general abundance of cements and the presence of scattered highly cemented samples as well. The porosity trend is also fully captured as the samples with relatively highest porosities are easily identified and its relationship with bitumen abundances is also revealed. Finally, clays abundance is exposed, being more abundant in the shallower part of the well.





The obtained classifications were visually evaluated for each thin section image (Figure 3). One of the main misclassifications detected is silica cement, occasionally overestimated, so we decided to include both cements in a single category. The overall quantification results for the defined categories are representative for each sample.

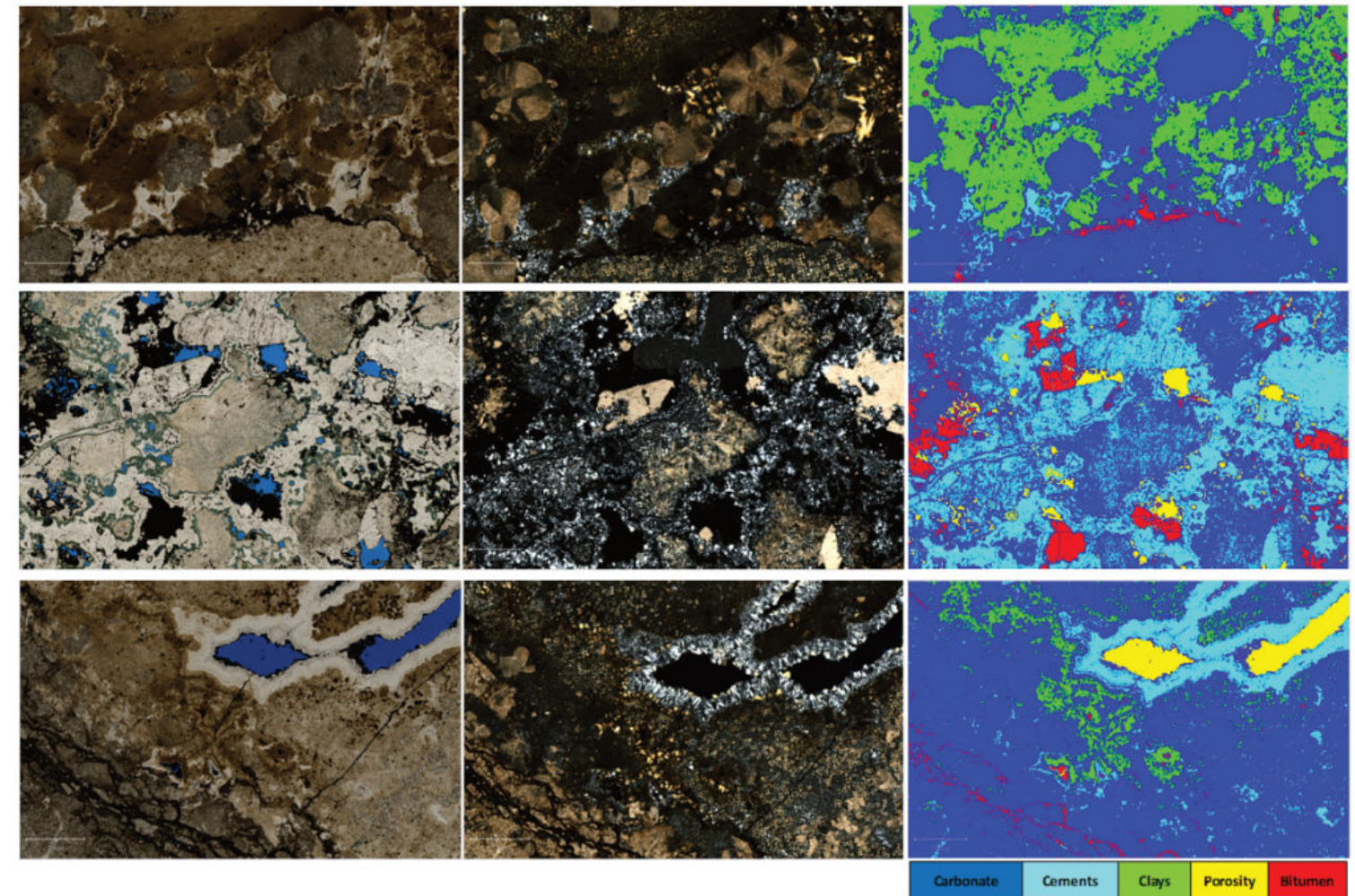


Figure 3. Selected examples of the visual comparison of the obtained classifications using the supervised machine learning algorithm: left column correspond to plane-polarized Light images, middle column to cross-polarized light and right column to the obtained classification (distribution map).

**Conclusions**

In conclusion, the generated machine learning model was applied to a set of 134 thin section images performing a supervised classification of five defined petrographical categories. This allowed to obtain quantitative petrographic data in a very reduced time (overnight process) for a relatively large set of thin sections without introducing petrographer’s experience bias. The next step consists to validate the performed visual evaluation with quantitative results obtained using other independent techniques (e.g. point-counting, QEMSCAN).

Future work must be focused in the scalability of the generated machine learning model to other wells in the same geological context to prove if categories can be classified and quantified correctly or if the model need re-training with samples from new wells.





References

Caja, M. A., Peña, A. C., Campos, J. R., García Diego, L., Tritlla, J., Bover-Arnal, T., & Martín-Martín, J. D. (2019): Image Processing and Machine Learning Applied to Lithology Identification, Classification and Quantification of Thin Section Cutting Samples. In SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers, 8pp.

Stritt M, Stalder AK, Vezzali E (2020): Orbit Image Analysis: An open-source whole slide image analysis tool. PLoS Comput Biol 16(2):e1007313

Tritlla, J.; Esteban, M.; Loma, R.; Mattos, A.; Sánchez, V.; Boix, C.; Viera Da Luca, P.H.; Carballo, J.; Levresse, G. (2018): Carbonates That Are No More: Silicified Pre-Salt Oil Reservoirs in Campos Basin (Brazil). AAPG ACE 2018, Salt Lake City, Utah, USA. AAPG Datapages/Search and Discovery Article #90323.



**Miguel Ángel Caja Rodríguez** (Ph.D.)  
Senior Geologist - E&P Technology Product Leader, Repsol Technology  
Madrid, Spain

Miguel Ángel Caja received his Ph.D. in petrology and diagenesis from Complutense University of Madrid and postdoctoral fellowship from Barcelona University. He is a geoscientist and researcher with +15 years of experience in the field of clastic and carbonate diagenesis linked to reservoir quality evolution.

At Repsol he has spent the last several years setting up and implementing laboratories supporting E&P analytical needs (petrology, diagenesis, inorganic geochemistry, rock physics,...) with special focus in adding value.

Recently, he started to lead E&P Repsol Technology Products development following agile methodologies, using the latest technical advances supporting the new challenges of O&G industry and shortening the E&P cycle.

Linkedin: [www.linkedin.com/in/miguelangelcaja](http://www.linkedin.com/in/miguelangelcaja)

Research Gate: [www.researchgate.net/profile/Miguel-Angel-Caja](http://www.researchgate.net/profile/Miguel-Angel-Caja)



**Jordi Tritlla Cambra** (Ph.D.) is a senior geology and geochemistry consultant, with 35 years of experience.

Dr. Tritlla obtained his Ph.D. in 1994 at the Autonomous University of Barcelona (UAB, Spain) and a MSc on hydrogeology (Curso Internacional de Hidrología Subterránea) at the UPC-FCIHS (1998). His working experience include Senior Consultant at Repsol Exploration (Madrid, Spain); Research Scientist at Instituto de Geología / Centro de Geociencias (UNAM, México); Invited Professor at Université Henry Poincarè (now Université de Lorraine, Nancy, France); Research Fellow at the School of Earth and Environment (Leeds University, UK) and Assistant Professor at the University of Barcelona (Spain).

He has a broad experience in the study of ore deposits (MVT, SEDEX, VMS, IOCG, Skarns, Hg-Sb, ophiolites) and geofluids (oil, gas, brines), including paleofluid PVTx reconstruction (compressional and extensional settings); geothermal systems; and origin an occurrence of native hydrogen. During the last 11 years he has been mostly focused to study the pre-salt microbial carbonates off-shore Brazil and Angola, and their possible analogs worldwide.

Email: [gemix.earth@gmail.com](mailto:gemix.earth@gmail.com)

Webpage: <https://bit.ly/gemix-earth>

Researchgate : <https://www.researchgate.net/profile/Jordi-Tritlla>

Sinkhole Hazards in the U.S.: Technologies and Techniques for Detection, Identification, Interventions

Susan Smith Nash

Director of Innovation and Emerging Science / Technology

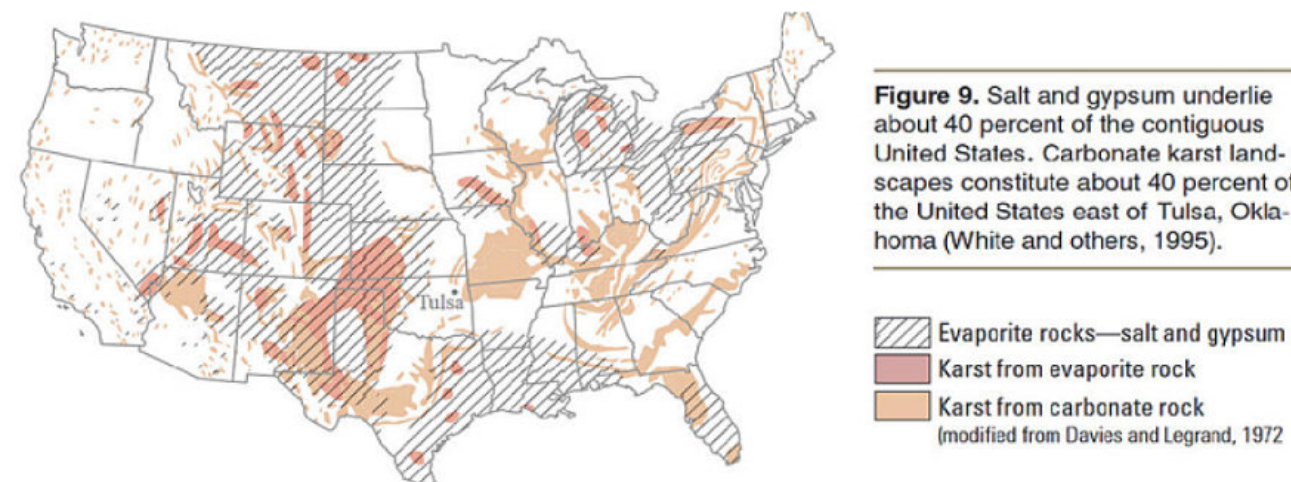
AAPG - American Association of Petroleum Geologists

Introduction

Sinkholes can cause catastrophic failures in buildings and infrastructure, and have been responsible for the stunning collapse of bridges, highways, commercial buildings, homes, and more, many with significant loss of life. While not all sinkholes result in catastrophic collapses, even small sinkholes and subsidence does create property damage. In fact, over the last 15 years, sinkholes resulted in \$300 million per year in damages (USGS, 2021). Sinkholes occur in conjunction with karst topography, where soluble rock (carbonates or evaporites) is dissolved in conjunction with complex surface and subsurface aqueous systems. According to USGS studies, karst occurs in more than 25 percent of the continental United States (Weary & Doctor, 2014), and thus, the risk of sinkholes having a negative impact on buildings, infrastructure, and other structures is very high. Thankfully, there are a number of new and established technologies and analytical techniques that can identify types of sinkholes and sinkhole-prone land. The new technologies include non-invasive ground-penetrating radar, electrical resistivity tomography, and then arrays of boreholes that can retrieve cores, plus run borehole logs (resistivity, gamma ray, caliper, and acoustic). For reconnaissance detection of sinkholes, drones equipped with hyper-spectral sensors, lightweight LIDAR, portable magnetic resonance and other equipment can acquire surface data that is then used to develop various types of imaging. To develop predictive models, it is important to include geophysical, geological, hydrological, and speleological data

Karst and Sinkholes

Karst topography occurs in locations with carbonates (principally limestone and dolomite) and evaporites (principally gypsum and anhydrite) where underground drainage systems have caused erosion through dissolution. The resulting topography is marked by ridges, erosional remnants, fissures, caves, sinkholes, "disappearing streams" and other landforms and phenomena.



**Figure 9.** Salt and gypsum underlie about 40 percent of the contiguous United States. Carbonate karst landscapes constitute about 40 percent of the United States east of Tulsa, Oklahoma (White and others, 1995).

Legend:  
 - Diagonal lines: Evaporite rocks—salt and gypsum  
 - Solid brown: Karst from evaporite rock  
 - Solid orange: Karst from carbonate rock  
 (modified from Davies and Legrand, 1972)

The sudden and sometimes catastrophic subsidence associated with localized collapse of subsurface cavities (sinkholes) is detailed in two case studies. This type of sub-sidence is commonly triggered by ground-water-level declines caused by pumping and by enhanced percolation of ground water. Collapse features tend to be associated with specific rock types, such as evaporites (salt, gypsum, and anhydrite) and carbonates (limestone and dolomite). These rocks are susceptible to dissolution in water and the formation of cavities. Salt and gypsum are much more soluble than limestone, the rock type most often associated with catastrophic sinkhole formation. Evaporite rocks underlie about 35 to 40 percent of the United States, though in many areas they are buried at great depths. Natural solution-related subsidence has occurred in each of the major salt basins in the United States. The high solubilities of salt and gypsum permit cavities to form in days to years, whereas cavity formation in carbonate bedrock is a very slow process that generally occurs over centuries to millennia. Human activities can expedite cavity formation in these susceptible materials and trigger their collapse, as well as the collapse of pre-existing subsurface cavities.

Source: Land Subsidence in the United States, USGS Fact Sheet 165-00

Source: USGS (2021) Water School (public domain)





Karst forms in different ways and at different degrees, depending on the environmental conditions. There are two main classification of karst conditions: humid climate karst, and dry climate karst. Humid climate karst occurs in regions with more than 30 inches of precipitation per year. Dry climate karst occurs in regions with less than 30 inches of precipitation per year (Weary & Doctor, 2014).

Not surprisingly, some of the most active sinkholes occur in humid climate karst. For example, Florida has a high occurrence of many different types of sinkholes, including the often catastrophic "collapse cover" sinkhole, also called a "collapse doline," into which entire homes or sections of highway have fallen. This is not to say that dry climate karst sinkholes are not hazardous. It is simply a matter of load and vibration. If a highway, bridge, or building is built over karst which contains significant dissolution caverns or vugs, subsidence and collapse can and will occur.

Sinkholes are a result of the dissolution of minerals in carbonates or evaporite rocks, primarily those which are within the aquifer, but literally any carbonate or evaporite that has water introduced into it from fractures, faults, bedding planes, unconformity contact surfaces, etc., can and will undergo the dissolution. Certain factors that can accelerate the process of sinkhole formation include a groundwater change, either a drop in the groundwater level, or the invasion of exogenous water (sea water, lake water, water main break, etc.).

For example, in January 2010 in Florida, groundwater levels plummeted as farmers scrambled to pump water from their wells to mist the orange orchards and protect their crops. What resulted was the formation of more than 110 sinkholes in the Dover area, which then destroyed homes, roads, and farmland (USGS, 2021).

In addition to dissolution, mechanical transport of grains (clasts) can play a role in sinkhole formation, particularly in the issue of subsidence. Mechanical transport can be ongoing (a new stream or invasive fluids) or episodic (floods or sudden outflow).

**Types of Sinkholes**

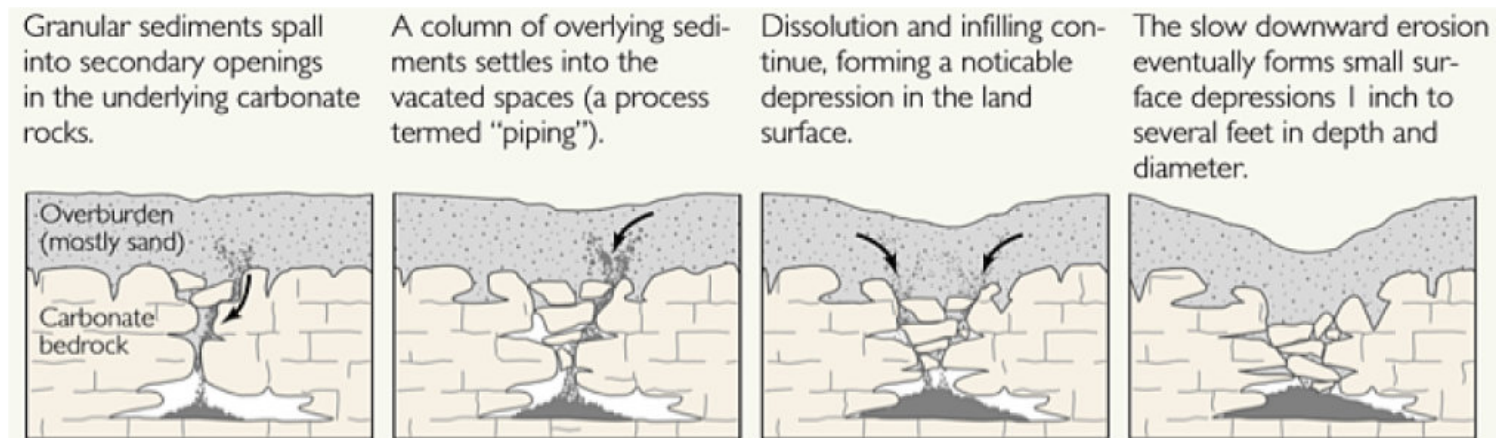
There are a number of different types of sinkholes, and they go by different nomenclature, depending on the location or source of information. For example, the US Geological Survey uses somewhat different terminology than what you might find in a geology textbook. Keep in mind that in all cases, the most effective dissolution occurs when the water is mildly acidic, which occurs when water is in contact with organic material or air pollutants from burning organic material (fossil fuels, forest or grass fire smoke, etc.).

It is very important to keep in mind that human activity can have a dramatic impact on the pace of sinkhole development. Certain parts of the world are so vulnerable to it that literally every large-scale use of water, and all farming and construction, may result in sinkhole development. Nowhere is this more evident than in west-central Florida, where the unintended consequences and causal chains have been detailed in a study by the United States Geological Survey (Tihansky, 2012).

The U.S. Geological Survey identifies three types of sinkholes (Sinclair & Stewart, 1985):

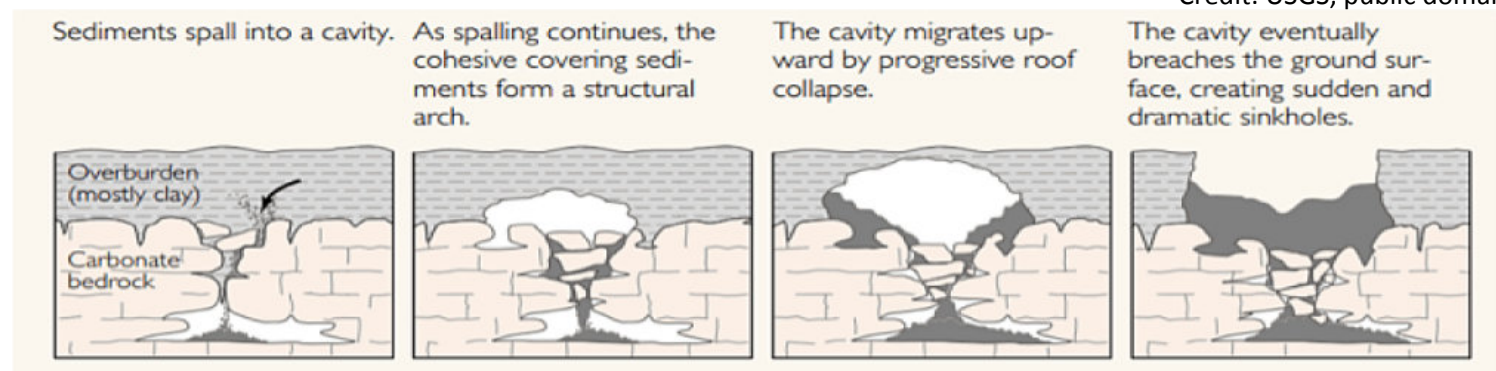
*Dissolution Sinkholes.* These occur when water contact rock surfaces. The limestone, dolomite, or evaporite dissolves most quickly when there is water flow in preexisting openings, such as fractures, joints, bedding planes, and where the water table is exposed at the surface (USGS, 2020). As rainfall and surface water penetrate joints in limestone, the minerals are dissolved and carried away, leaving cavities below the surface.

*Cover-Subsidence Sinkholes.* These occur very gradually when covering sediments are permeable and sand-bearing. The sand grains expand and enter secondary openings in the underlying carbonate rocks. Then, a column of sediments settles into the dissolved spaces (often vertical, but can also be in vugs, and mini-caverns). Erosion continues, with the infilling of small sand grains, resulting in compaction and subsidence.



*Cover-Collapse Sinkholes.* By far the most potentially catastrophic, cover-collapse sinkholes (also called collapse dolines) can collapse abruptly, and can be extensive in aerial extent and depth. Examples of cover-collapse sinkholes are the cenotes of the Yucatan Peninsula in Mexico, and in the sinkholes in Florida into which trees, cars, and even houses have fallen. The process has several stages. First, dissolution occurs and small pieces fall into a cavity, which then compacts, and the small clasts also dissolve. Second, over time, the dissolution spreads upward until it creates a thin arch. The spalling continues and the cavity increases in size. Finally, the remaining carbonate "bridge" can no longer hold the load, and it collapses.

Credit: USGS, public domain



**Technologies Used in Sinkhole Detection**

*Sinkhole Risk Map:* To develop a local or regional key map for comparative sinkhole risk, the following element should be included:

- Lithology of the rocks near the surface (carbonates / evaporites)
- Topographical map with identified karst features
- Hydrology map that includes past groundwater levels that correlate with elevation to provide information about rising or subsiding groundwater levels, also locations of "disappearing springs" and other evidence of groundwater runoff entering the subsurface
- Drone survey for photogrammetry to create a 3D image of the topography; also hyper-spectral and infrared for identifying water table, presence of subsurface water-filled cavities
- Satellite imaging can be helpful for seeing historical levels of surface impoundments

The Sinkhole Risk map would then be labeled and color-coded for the following:

- Existing sinkholes
- Surface-runoff into joints, fractures, etc.
- Shallow depressions indicating dissolution sinkholes or incipient sinkholes
- High likelihood of karst cavities and potential sinkholes

*Sinkholes and Cavity near Buildings, Structures, proposed Infrastructure*

A number of non-invasive technologies have been used to detect and map karst and sinkholes. They can also be used to detect potential karst cavities, even in very difficult locations. For investigations dealing with foundations, footing, and piers, non-invasive should be combined with invasive (Hussain, et al, 2020).





- Electrical resistivity tomography: This was used in Chichén Itzá in the Yucatán Peninsula.
- Non-drilling electrical resistivity survey: This technique was used in conjunction with roadway construction in South Korea. The survey detected karstic voids and evidence of historical subsidence, and identified areas likely to experience a) subsidence; b) catastrophic collapse
- Electrical resistivity (ER) methods work by taking ground surface measurements after putting the first pair of electrodes into the ground and then putting a second pair in an offsetting position. The first pair introduces the current. The second pair measures the resulting potential differential. The South Korean group used proprietary software. They used the Super Sting R8/IP for data acquisition.
- Ground Penetrating Radar (GPR): Depending on the conditions of the soil, but objects being studied, and the "noisiness" of the environment, ground penetrating can be extremely helpful. GPR works most effectively in unconsolidated sandy soil, where it can detect density changes up to around 50 feet of depth (Kilic & Eren, 2018). GPR is most effective when the cavities are large and the difference in density between the fluid-filled cavity and the rocks or structure is most pronounced.

#### Invasive techniques include

- Borehole logs, with an array of holes drilled with the following logs: Resistivity, gamma ray, caliper, acoustic. Resistivity and gamma ray are used to identify lithologies, while the caliper and acoustic logs can help identify caverns or cavities that extend out further than one expect a wash-out zone to go. The analysis can be done using Kingdom software (Laskow, et al., 2011).
- Cores: Cores can be extremely helpful in determining the lithology and the relative dissolubility of the host rock (the carbonate, evaporite, or conglomerate), and the relative likelihood of forming small or large cavities, and the pace of spalling. Cores would need to be pulled from more than one location, however, and can be used for correlation purposes with the non-invasive methods.
- Geochemical Analysis: Determining the mineralogical and chemical composition of the rocks, the matrix, and the soil can help determine the areas of vulnerability and likelihood of dissolution, both of grains and of the matrix. It is also possible to determine the nature of the dissolution when combining with geological analysis, and determining where the fractures, joints, bedding planes, and unconformities occur.

#### Case Studies

An extensive study was conducted to prevent sinkhole collapses during the reconstruction of the Guang-Qing freeway, China (Gu, et al., 2019).

- Wideband azimuthal piezoelectric receivers were used to record both the high- and low-frequency acoustic waves. Determinations of sinkholes and also cavities near Mayan ruins in the Yucatan Peninsula were conducted in a way to avoid damaging the archeological heritage. ERT-3D data were obtained employing a Syscal-Pro Resistivimeter22 with 48 channels connected to a switch box that allowed extending to 96 channels, interconnected to the main console with 4 sets of cables of 120m of length each. (Chavez, et al., 2018)

Proprietary ground penetrating radar (GPR) was used in conjunction with the construction of a highway in karst terrain in South Korea. The team developed a single borehole pulse GPR system consisting of a surface computer, transmitting and receiving antenna, fiber cable, depth counter, and charger (Farook, 2012).

- The two critical factors for detecting karst voids at pile locations: small diameter (36 mm) and near offset (30 cm) borehole (Liu, et al., 2020).

#### Early Detection and Intervention

It is very important to detect sinkholes, karst cavities, and subsidence as soon as possible because the proper type of intervention can help avoid catastrophic collapses and damage. At the same time, it is possible to obtain sinkhole insurance, so that the prompt response to sinking, subsidence, and cavity formation can be partially covered by one's insurance policy (HeliconUSA, 2021).

*Soil stabilization.* If dissolution is occurring at the grain or clast level, the soil can be stabilized by compaction and grouting. Grouting is not an ideal approach in all cases, however, because it can result in washouts around the edges of the denser lithological object.

*Determining the bedrock capable of supporting a deep foundation.* Analyzing the nature of the karst and the lithologies, along with rock strength, may make it possible to find the best underlying soils or rock formations to anchor shafts, push piers, helical piles, and other foundational supports (Liu, et al., 2020).

*Detecting potential karst cavities or locations of dissolution vugs, which compromise the integrity of the bedrock.* Identifying why subsidence is happening, and more importantly, the underlying processes, allows one to propose a plan for repairing the foundation that realistically considers the condition of the formations and soil, as well as what is likely to occur in the future. In this case, predictive modeling is vital for developing the best solution.

#### Sinkholes, Karst, and Climate Change: Revise Karst Maps to Identify Newly At-Risk Locations.

Sea-level rise, increased incidence of flooding, water table change (either rising or falling), droughts, and temperature extremes dramatically change the pace and nature of karst processes.

Climate change affects the following aspects of karst processes: pH of the water, flow rates, relative saturation of pore spaces, salinity of the water (especially in coastal areas), temperature of the water, the weight of the overburden (water-saturated soil is heavier), and volume of intrusive surface water.

Because of the nature of the impact of climate changes on karst processes and the development of sinkholes, existing karst maps may not fully identify the nature and extent of risk for karst-related problems such as subsidence, collapse, and sinking. Further, existing maps may not sure where the current and evolving changes will likely affect buildings and other structures, including infrastructure such as roads, runways, bridges, electrical grid (transmission lines and substations), tank farms, pipelines, and more.

#### It is recommended that the following maps be produced:

- Updated karst topography maps
- Current karst activity / risk
- Projected karst topography maps 2030, 2030
- Karst Risk Maps of regions that include:
  - Color-coded for levels of risk for subsidence, dissolution, subaerial erosion, cavity formation and sinkholes
  - Specific guides for best practices for conducting surveys for high-risk karst features, which would include best technologies for the purpose, frequency of surveys, intervention and maintenance
  - Color-code locations where new uses can be identified for urban / rural planning to optimize the water resources, and repurpose land that could be considered condemned

Without an updated set of maps that reflect the current situation as affected by climate change, it is difficult to accurately plan and to anticipate where there is a high likelihood of sinkholes, subsidence, etc. The maps can be used by municipalities for zoning, for real estate services providers to assure the integrity of property and structures, for insurance providers, for infrastructure project management to avoid building critical infrastructure in locations that are likely to be high-risk in the future, and for business and home owners to practice preventive maintenance to detect and intervene before having a catastrophic collapse.





REFERENCES

Chávez, R. E., Tejero-Andrade, A., Cifuentes, G., Argote-Espino, D. L., & Hernández-Quintero, E. (2018). Karst Detection Beneath the Pyramid of El Castillo, Chichen Itza, Mexico, by Non-Invasive ERT-3D Methods. *Scientific Reports*, 8(1), 1. <https://doi.org/ezproxy.lib.ou.edu/10.1038/s41598-018-33888-9>

Gedeon, Gilbert (2019) *Coastal Construction: Designing the Foundation*. Woodcliff Lake, NY: CED Engineering.

Gu, Z., Q. Liu, Y. Lu, et al. (2016) Analysis and prevention of sinkhole collapses during the reconstruction and extension of Guang-Qing freeway, China. *Environ. Earth Sci.*, 75 (9) (2016), p. 788

Farooq, M., Samgyu Park, Young Soo Song, Jung Ho Kim, Tariq, M., & Abrallam, A. A. (2012). Subsurface cavity detection in a karst environment using electrical resistivity (er): a case study from yongweol-ri, South Korea. *Earth Sciences Research Journal*, 16(1), 75–82.

HeliconUSA (2021). Commercial Sinkhole Solutions. <https://www.heliconusa.com/commercial-solutions/>

Hussain, Y., Uagoda, R., Borges, W., Nunes, J., Hamza, O., Condori, C., Aslam, K., Dou, J., and Cardenas-Soto, M. (2020). The potential use of geophysical methods to identify cavities, sinkholes, and pathways for water infiltration. *Water*. 12, 2289. p 1 - 19.

Kilic, G., L. Eren (2018) Neural network-based inspection of voids and karst conduits in hydro–electric power station tunnels using GPR. *J. Appl. Geophys.*, 151 (2018), pp. 194-204.

Laskow, M., M. Gendler, Goldberg, et al. (2011) Deep confined karst detection, analysis and paleo-hydrology reconstruction at a basin-wide scale using new geophysical interpretation of borehole logs *J. Hydrol.*, 406 (3–4) (2011), pp. 158-169.

Liu, L, Zhen-Ming Shi, Ming Peng, Georgios P. Tsoflias, Cheng-Cheng Liu, Feng-Juan Tao, Chun-Sheng Liu (2020) A borehole multifrequency acoustic wave system for karst detection near piles, *Journal of Applied Geophysics*, Volume 177, 2020, 104051. ISSN 0926-9851, <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2020.104051>.

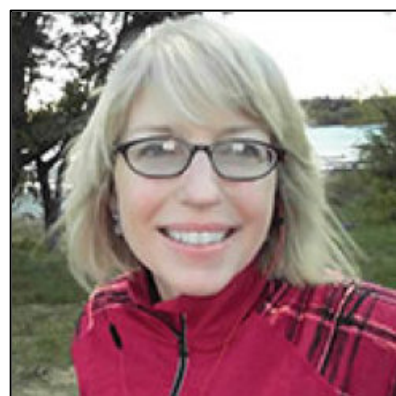
Sinclair, W. C. and Stewart, J. (1985). *Sinkhole Type, Development, and Distribution in Florida*. Tallahassee: Florida Geological Survey and U.S. Geological Survey.

Tihansky, A. (2012) *Sinkholes, West-Central Florida: A Link between Groundwater and Sinkholes*. Reston, VA: USGS. <https://pubs.usgs.gov/circ/circ1182/pdf/15WCFlorida.pdf>

United States Geological Survey (2021). How much does sinkhole damage cost each year in the United States? [https://www.usgs.gov/faqs/how-much-does-sinkhole-damage-cost-each-year-united-states?qt-news\\_science\\_products=3#qt-news\\_science\\_products](https://www.usgs.gov/faqs/how-much-does-sinkhole-damage-cost-each-year-united-states?qt-news_science_products=3#qt-news_science_products)

USGS (2021) Water Science School. [https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/sinkholes?qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/sinkholes?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects)

Weary, D.J., and Doctor, D. H. (2014). *Karst in the United States: A Digital Map Compilation and Database*. Open-File Report 2014-1156. Reston, VA: U.S. Geological Survey. <https://pubs.usgs.gov/of/2014/1156/pdf/of2014-1156.pdf>



**Susan Smith Nash** (Ph.D.) has taken an interdisciplinary approach to specialize in technology, innovation, and strategic implementation to achieve growth and diversification objectives at the organizational, community, and individual level. Specifically, she has developed and administered programs that involve workshops, collaborations, courses, conferences, and educational interactions to provide individuals and organizations the information and platforms needed to diversity and expand capabilities to thrive in a time of rapid change. Specific programmatic areas include facilitating technologies for energy, earth sciences, leadership, developmental economics and the humanities. Nash is Director of Innovation, Emerging Science and Technology at the AAPG. She earned her Bachelor of Science, Master of Arts, and Ph.D. at the University of Oklahoma.

<https://www.linkedin.com/in/susannash>

**Chortis: its journey from offshore Southern Mexico into the Caribbean since the Late Cretaceous and a summary of its hydrocarbon play potential.**

**Mark Shann** Technical Advisor to CaribX (UK) Ltd.

*Acknowledgements: My thanks to CaribX (UK) Ltd for permission to show the seismic lines in this paper, to Mark Longacre (MBL Inc.) for the gravity image and to DUG Insight for their seismic interpretation software support. Also, thanks to Chris Matchette Downes, Jim Pindell, Paul Ryan, and Myles Watson for their review of this paper.*

The geology of the continental core of Chortis in Honduras, shares many common features with Southern Mexico due to their earlier juxtaposition in the Late Cretaceous when the NW trailing edge of Chortis was situated close to Acapulco on Mexico’s Pacific coast. This short paper examines Chortis’s journey eastward into the Caribbean through the Cenozoic and from the tectonostratigraphic record makes some suggestions for the significance of the seismic stratigraphic units seen offshore Honduras and provides a summary of the hydrocarbon potential over the Chortis block. It also lists a bibliography for further study.

Chortis represents a semi-stable, wedge-shaped crustal block over 1000 kms long in a west-east direction from western Honduras-Nicaragua to Jamaica, Figure 1, gravity image courtesy of Mark Longacre (MBL Inc.). The offshore part of Chortis has been referred to as the Nicaraguan Rise which contains several sub-basin trends, most notably to the north: a set of border land transtensional rift basins along the southern edge of the Cayman Trough, a central intracratonic Eocene basin (Mosquitia); and closer to and beyond the San Andres Fault, accreted island arcs. To the east, Jamaica, which lies on a restraining bend to the Cayman sinistral fault system, has the deep Walton Basin to its southwest and the Morant strike-slip basin to its south/southeast.

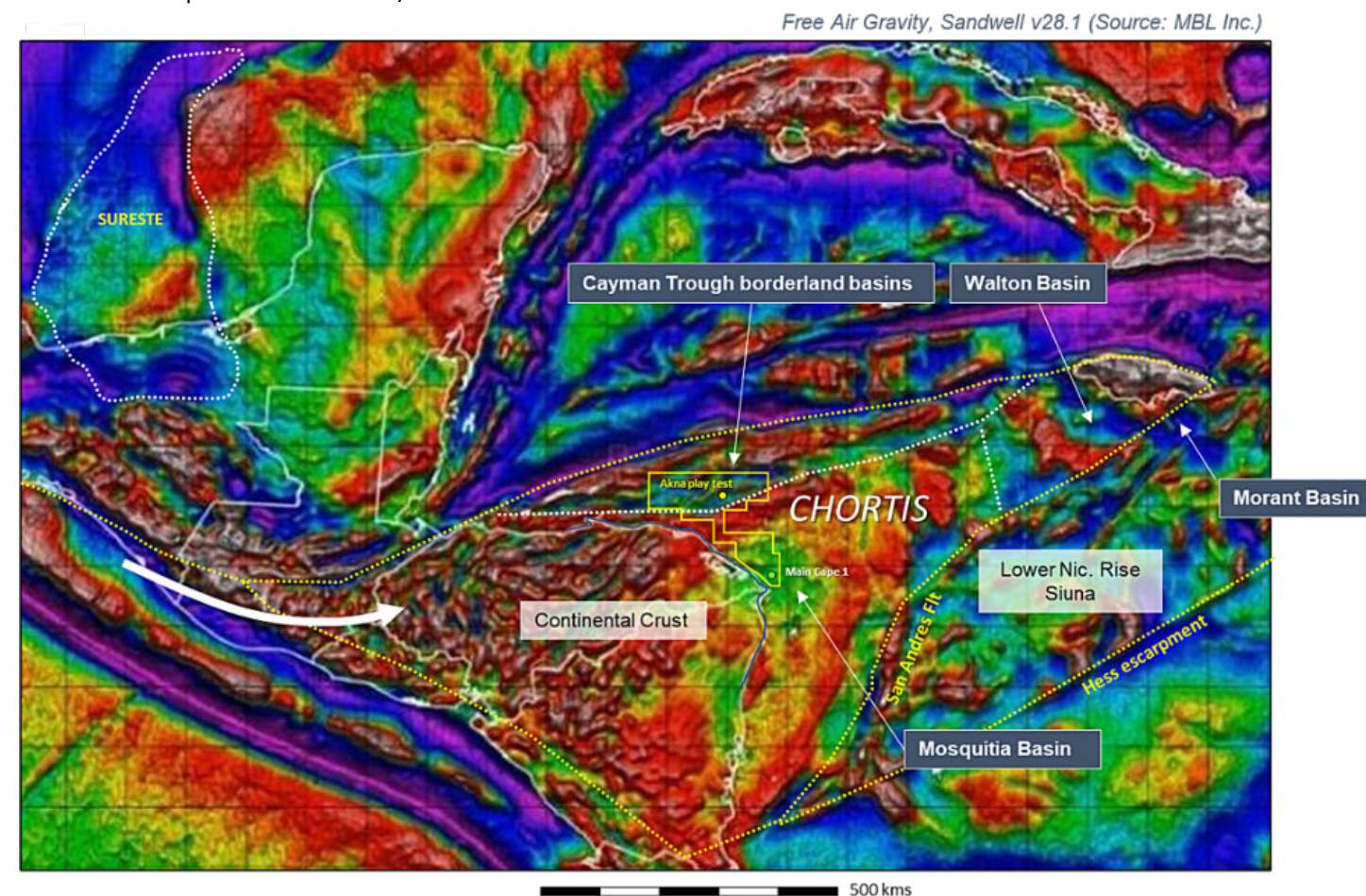


Figure 1 Gravity Map illustrating the sedimentary basins across the present-day Chortis continental plate, courtesy of Mark Longacre, MBL Inc.





The western portion of this area comprises a continental crustal core of the Chortis Block, and the southern and eastern portions (eastern Nicaragua Rise and Jamaica) comprise accreted island arc type crust, with the boundary between the continental and arc crusts yet to be defined. Furthermore, the lower Nicaragua Rise to the east and south of the San Andreas Fault Zone comprises oceanic plateau type crust like the Caribbean Plate interior.

There are several excellent publications on the Chortis-Jamaica block and its plate tectonic fit into the Caribbean tectonic framework, notably work by Jim Pindell and his colleagues, Figure 2; including Pindell and Dewey 1982; Pindell and Barrett 1990; Pindell and Kennan 2009; Pindell et al. 2011; Graham et al. 2021; plus, Meschede and Frisch, 1998 and Paul Mann's University of Texas group. This paper draws from their work and depicts Chortis in its most simple way as a single tectonic block representing the Nicaraguan Rise extending east towards Jamaica.

Describing Chortis as a single block from Honduras to Jamaica is an oversimplification and there is at least one terrane boundary between offshore Honduras and Jamaica - which was in a complex island arc setting during the Cretaceous, Mitchell 2020. Rogers and Emmet 2007 believe the Colon Mountains of Honduras are peripheral to a Cretaceous arc collision event. Folded Atima Fm carbonates are present in the Colon Mountains with a Southern Mexico affinity and as such are part of Chortis.

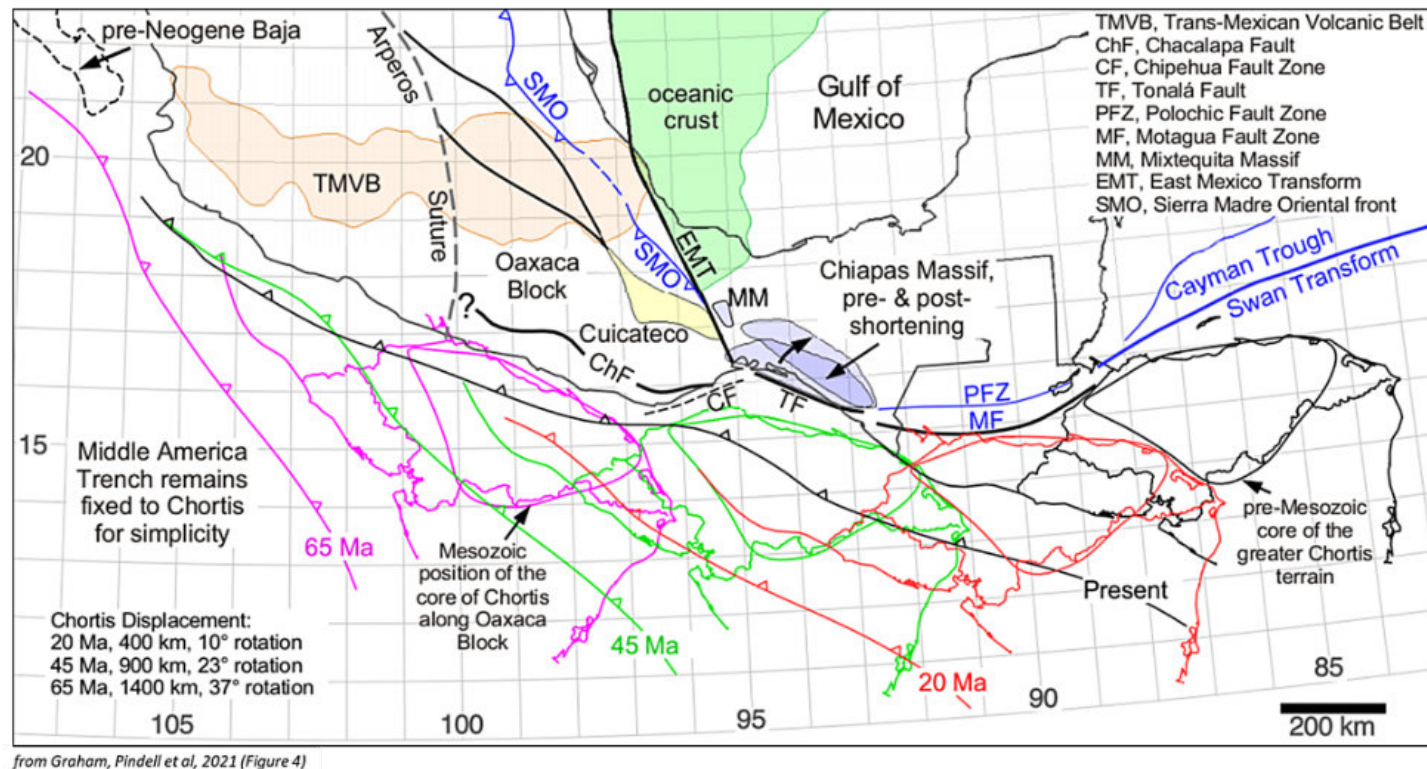


Figure 2 Western Chortis restoration by Graham et al, 2021.

### Plate Scale restorations

In the Late Cretaceous, the original position for Chortis was more than 1100 kms west, with its trailing edge and associated Chortis/Pacific subduction zone lying close to Acapulco along Mexico's Pacific coast. Two excellent publications locate Chortis to the south of Mexico: (1) Moran-Zenteno et al, 1999 which traces and dates the granite plutons left on Mexico's Pacific coast by the subduction trench volcanic remnants once Chortis exits to the east and the Pacific subduction zone moves onto the Mexico coast. (2) Rogers and Mann 2007, where multiple outcrop features are traced from Southern Mexico into Chortis, Figure 3.

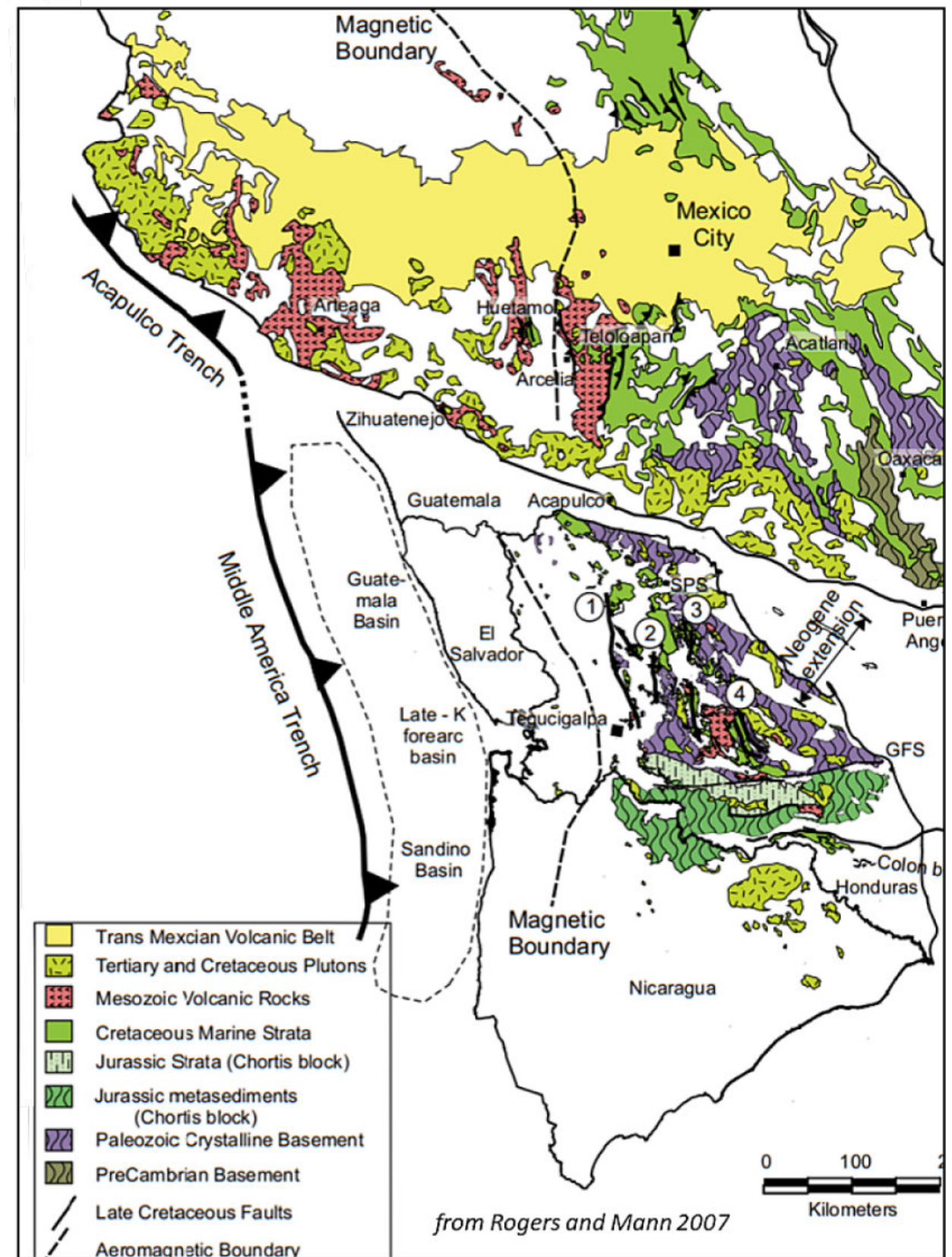


Figure 3 Outcrop lineation's across the trailing part of Chortis in the Late Cretaceous, from Rogers and Mann, 2007.



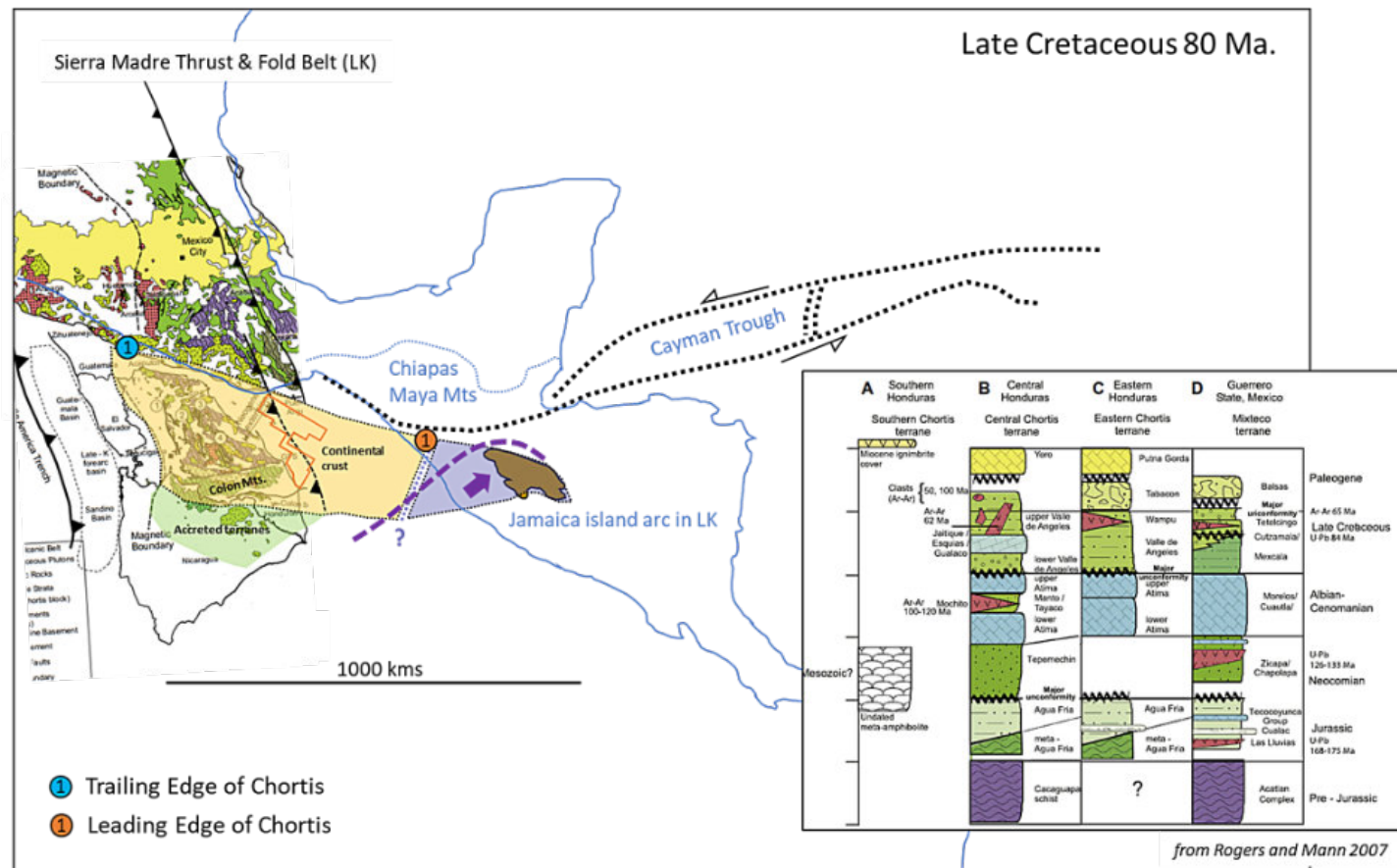


Figure 4 Chortis restored to its Late Cretaceous paleo-position.

### Chortis in the Late Cretaceous

In the Late Cretaceous (LK), the western trailing edge of Chortis and its associated Pacific subduction zone was located close to Acapulco and its passage south is recorded in a set of granitic plutons that relate to forearc volcanism along this plate boundary, Figure 4. By contrast the eastern edge of Chortis was ~800 kms further southeast and to the west of proto-Jamaica where at this time, interbedded clastics, thick carbonates, carbonaceous shales (source facies), and volcanics were being deposited as part of a set of accreted island arc terranes with basaltic, andesitic, and rhyolitic volcanics recorded from the Lower Cretaceous to Campanian, Mitchell, 2015 and 2020.

This implies that Jamaica was in a separate tectonic setting during the Late Cretaceous and that a basement suture must be present between Chortis and Jamaica at this time (exact terrane boundary position yet to be determined). Over the Jamaican mixed carbonates and volcanics, two rift basin successions are observed from the Maastrichtian to Early Eocene, suggesting a change from island arc to the start of “transtensional extension” over a more amalgamated Chortis-Jamaica block.

The onshore heavily eroded geology of Honduras exposes folded Aptian-Albian carbonates of the Atima Formation related to the southern continuation of the Sierra Madre fold and thrust belt into Chortis. These are overlain by Late Cretaceous (Cenomanian), to Paleocene sands of the Valle de Angeles Formation. The Cretaceous folded carbonates are underlain by Early Cretaceous to Jurassic red beds of the Agua Fria Formation, a similar succession to the Todos Santos Formation of Southern Mexico. A study of magmatic rocks shows that since the Late Cretaceous, the Central Chortis area has undergone ~55 degrees of counterclockwise rotation as the Chortis block was translated around the base of the Yucatan block and into the Caribbean, Molina Garza et al, 2019.

The red license area shown on the restored maps is CaribX offshore Honduras license for which an extensive 2D seismic dataset is available and referred to later in this paper.

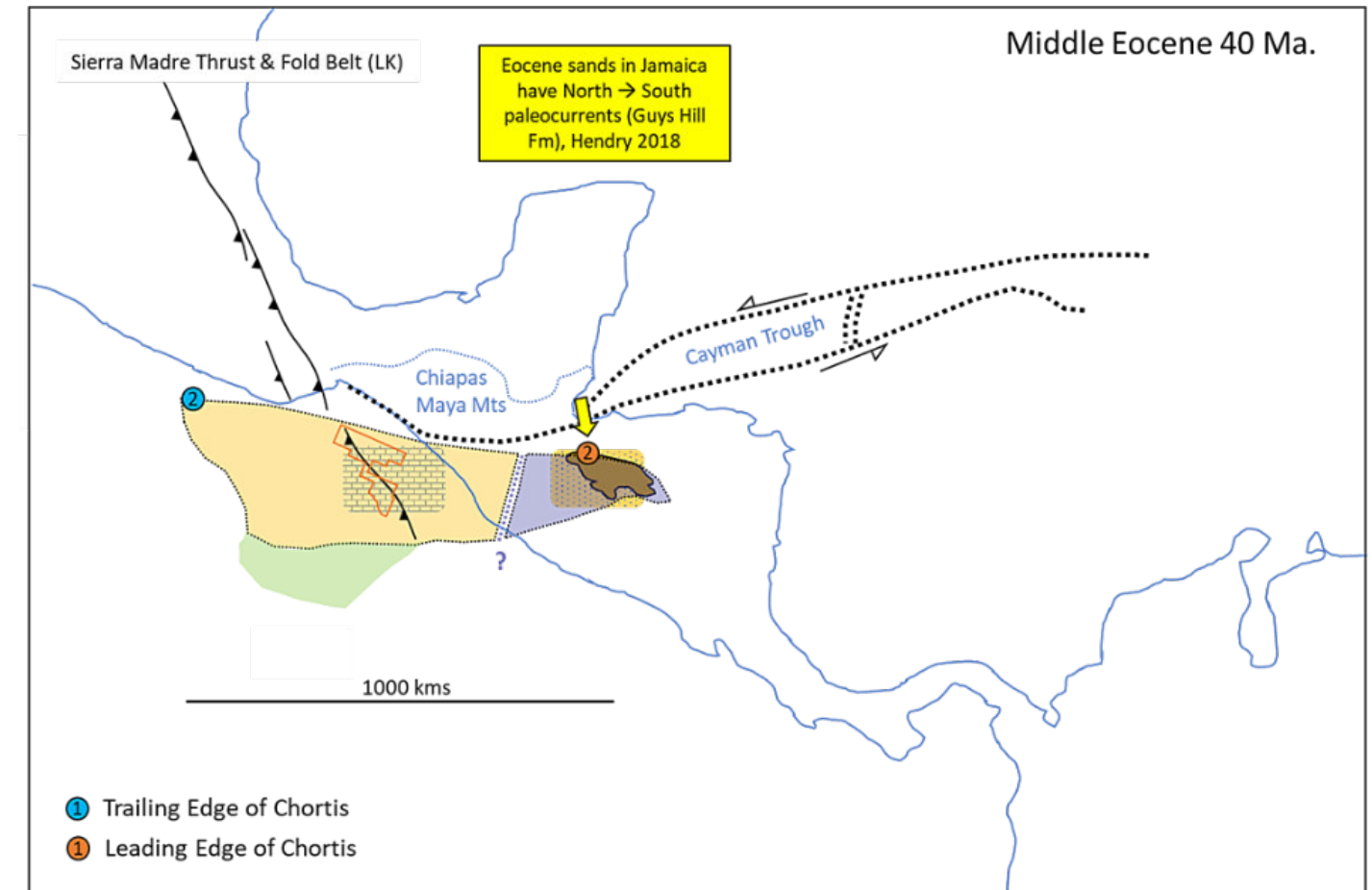


Figure 5 The Chortis-Jamaica block restored to its Eocene paleo-position.

### Chortis-Jamaica block in the Eocene

The paleo-position of the Chortis-Jamaica block by the Eocene can be determined by clean sands of the Eocene Guys Hill Formation of Jamaica, where outcrop paleocurrent data indicate north → south clastic entry, interpreted to be derived from the Maya Mountains of Belize, Figure 5 (Hendry, 2018). The Jamaican sands are of a texturally mature fluvio-deltaic origin with an interpreted continental hinterland indicated from heavy mineral analysis and associated fossils connected to the Yucatan block. Between the Late Cretaceous and Eocene only limited sinistral strike slip of ~100 kms, or 0.2 cms/year southward movement away from Southern Mexico occurred, with the potential for limited North-South extension across Chortis. This restoration places Jamaica in proximity to the Maya Mountains of Belize during the Early Eocene.

### Chortis-Jamaica block in the Oligocene - Lower Miocene

Once Jamaica clears the southern extent of Yucatan from the Middle Eocene onwards, the clastics are rapidly replaced by thick carbonates of the Yellow and White Limestone Groups which were deposited in a passive subsidence drift phase along the Cayman Trough transform, Figure 6. By contrast, in offshore Honduras, Middle Eocene carbonates of the Punta Gorda Formation are locally uplifted and overlain by a thick succession of red beds and silts/sands in the Oligo-Miocene, probably indicating continued proximity to the Yucatan block. Seismic lines show evidence of basement inversion, and this could relate to rotation around the southern end of Yucatan – hence the change from Eocene carbonates to more marginal marine and continental facies associated with local uplift and then the start of more rapid translation along the Cayman Trough sinistral fault system. Internal uplift and inversion may progressively reduce through time as plate movements become concentrated along the bounding faults.



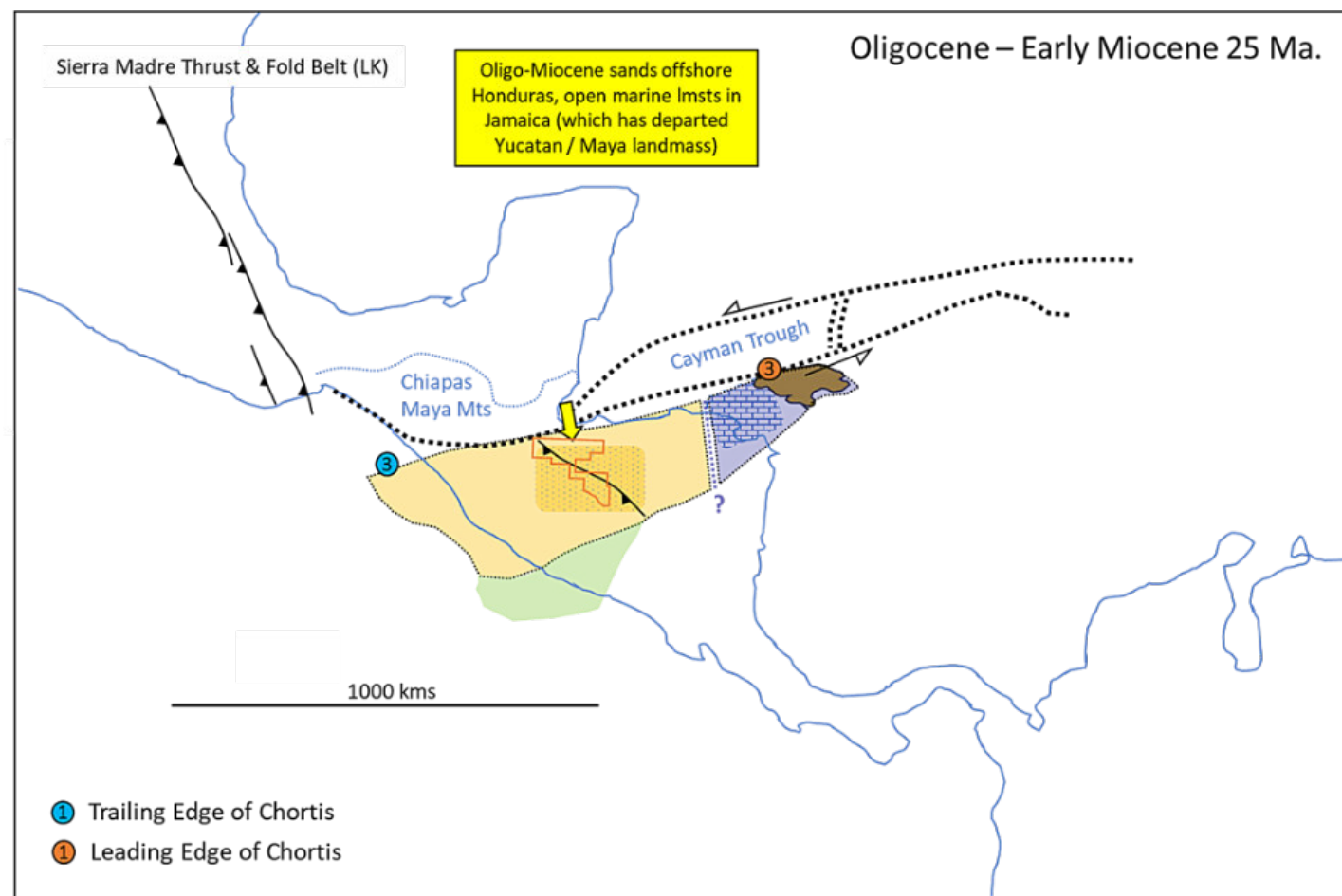


Figure 6 The Chortis-Jamaica block restored to its Oligo-Miocene position

**Chortis-Jamaica block Present Day**

Finally, the present-day position of the Chortis-Jamaica block is shown on Figure 7. It has moved over 1100 kms to the east and as such its internal fabric is dissected by many sinistral strike slip fault elements both reactivating older fault trends and forming new faults, especially in the northern and southern borderland basins, including in the Morant Basin off the south coast of Jamaica where Miocene transtensional pull-apart trends overprint an earlier Late Mesozoic – Early Cenozoic rift basin.

Major tectonostratigraphic changes appear to be related to the rotational passage of Chortis around the Yucatan block and are key to understanding the eastward movement of Chortis.

Basement samples from three offshore wells/drill cores (*Toro Cay 1*, *Miskito-1* and a *Pedro Bank drill core*), penetrating the southern margin of Chortis have been analyzed and suggest an accreted island arc basement type rather than continental crust, Figure 7, (Lewis et al, 2011). The locations of these well samples show a reasonable fit with the interpreted southern extent of Chortis continental crust and suggest that onshore southern Nicaragua, inboard of the San Andres fault is represented by accreted arc terranes; as well as outboard of the San Andres fault across the Siuna Belt on the Lower Nicaraguan Rise, Baumgartner, 2008.

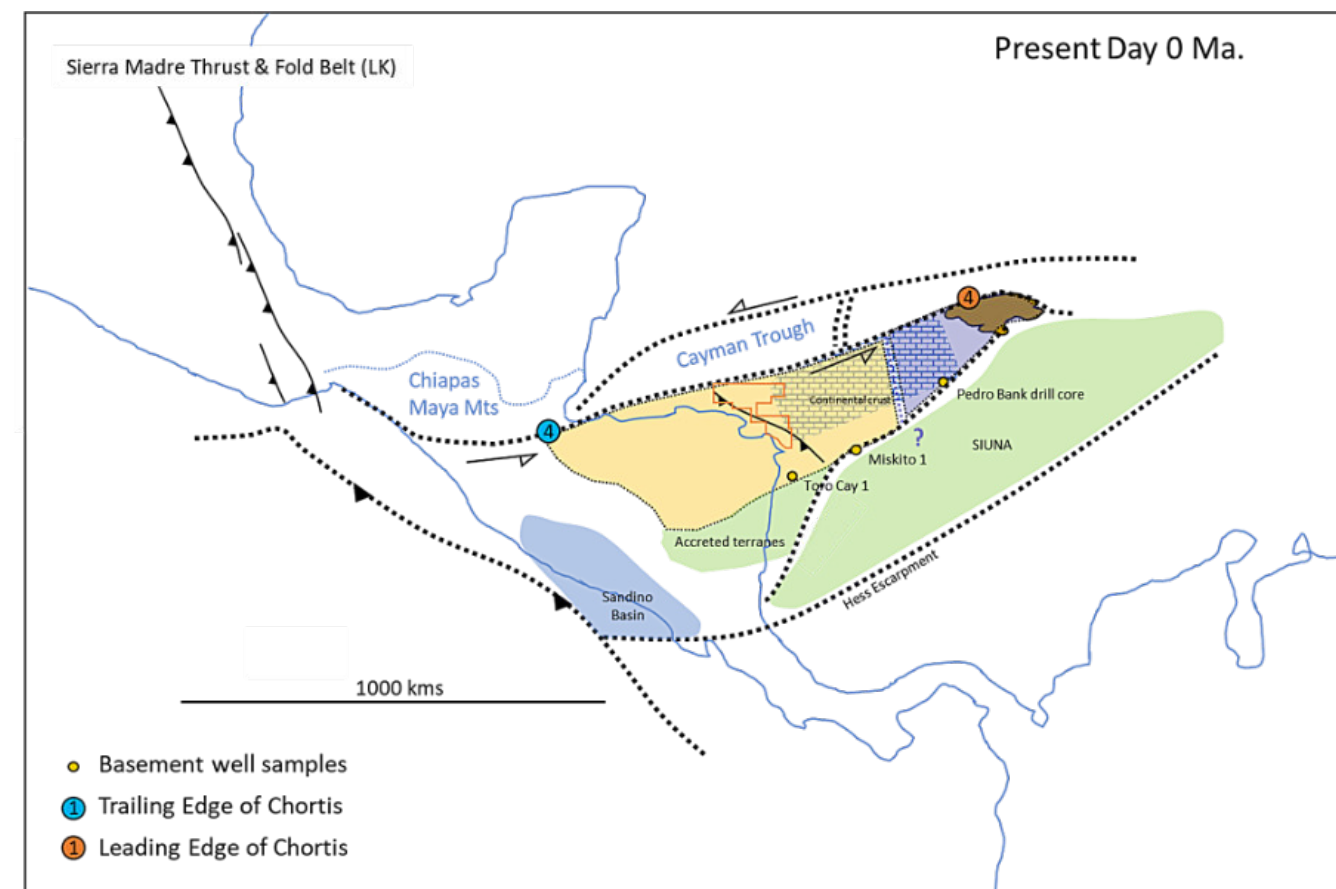


Figure 6 The Chortis-Jamaica block in its present-day configuration

A combined overlay view of the movement of the Chortis-Jamaica block is revealing with respect to the likely tectonostratigraphic response to the different phases of plate motion, Figure 8, and Table 1. Initial relative plate motions are relatively slow with a possible component of N/S extension across western Chortis. Once the majority of Chortis first rotates in a counterclockwise direction and then clears the base of the Yucatan block, relative plate motions accelerate with strike slip displacement concentrated along the plate margins. From the Late Miocene (Tortonian), uplift of Jamaica occurs due to the abuttal of the leading edge of Chortis against a restraining E-W bend along the southern margin of the Cayman Trough, Figure 9.

| Phase                  | Distance Moved | Time  | Velocity         | Comments  |
|------------------------|----------------|-------|------------------|---|
| LK - Eocene            | 100 kms        | 47 Ma | 0.2 cms per year | Moves to SW allowing some extension across west Chortis. Relative movement less than by other authors due to proposed Eocene position of Jamaica south of Maya Mountains. |
| Eocene – Lower Miocene | 500 kms        | 23 Ma | 2.2 cms per year | Rotation around base of Yucatan plate causing local inversion, fast translation eastwards   |
| Lower Miocene – Today  | 400 kms        | 20 Ma | 2.0 cms per year | Dominated by strike slip around plate margins, Jamaica uplift on confining thrust bend.   |

Table 1 Relative motions of Chortis with respect to Mexico’s Yucatan plate



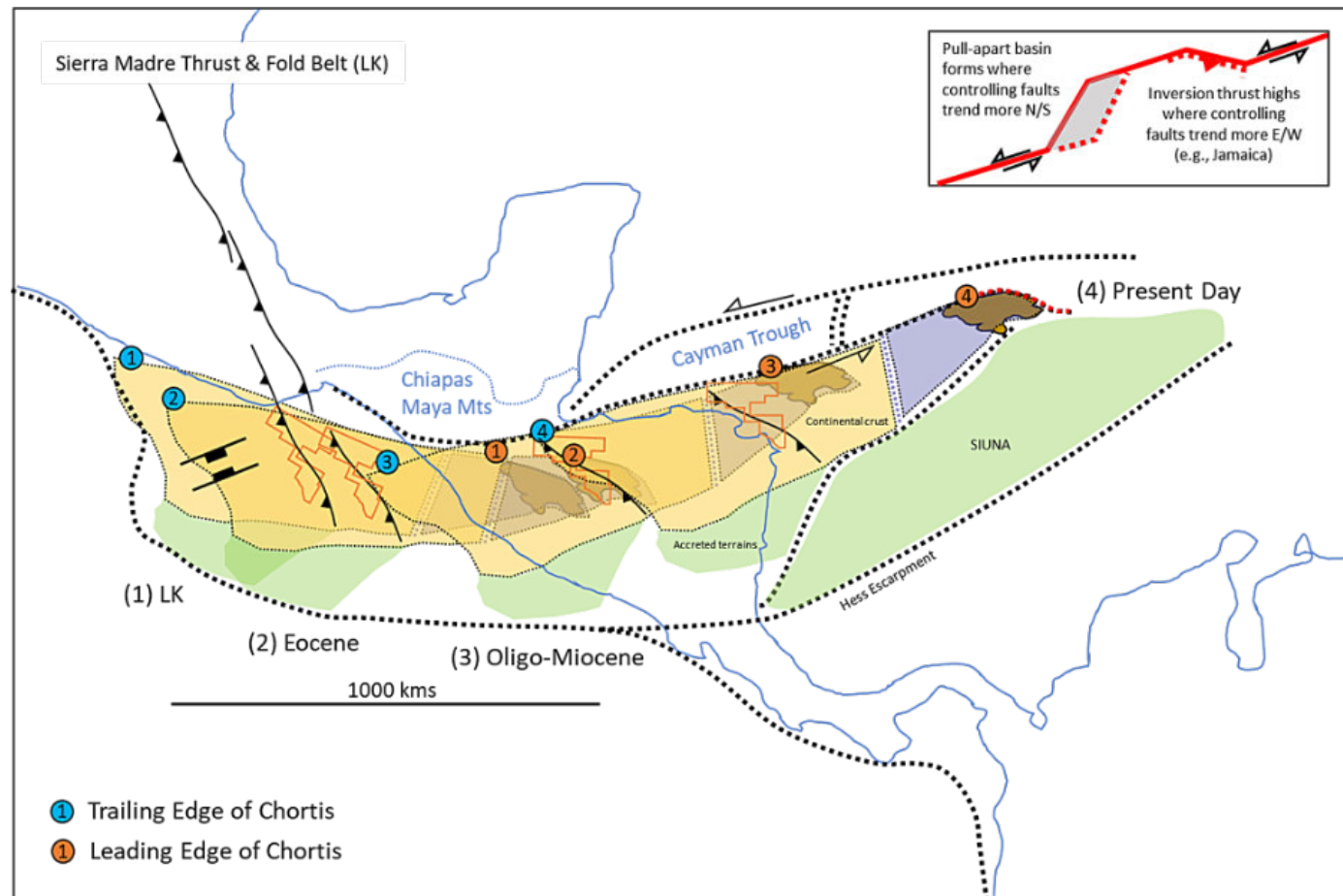


Figure 8 The movement of the Chortis-Jamaica block through time from the Late Cretaceous to Present Day, modified after Graham et al, 2021 (shown earlier as Figure 2 in this paper).



Figure 9 Blue Mountains of Jamaica, uplift due to a restraining bend on the Cayman Trough fault system

### Seismic Evidence for the early southeast translation of Western Chortis

On the 2D seismic data over offshore Honduras, the northern limit of the intracratonic Eocene Mosquitia Basin is defined by a series of inverted rifts which trend approximately east-west and record an early episode of extension followed by distinctive inversion that by correlation to *Main Cape 1*, starts in the Middle Eocene and continues into the Oligo-Miocene, Figure 10.

These local rifts (~20 kms wide and 80 kms long), could be related to N-S extension during the earlier “Late Cretaceous to Eocene” low-rate southeastern displacement of Chortis with respect to Southern Mexico. This would fit with the

orientation of the rift systems seen. These rifts are approximately along-strike from the onshore Colon Mountains in eastern Honduras and as such may represent Early Cenozoic extensional relaxation of earlier Laramide thrusting.

The subsequent rift inversion appears to start in the Middle Eocene and could be related to the initiation of counterclockwise rotation of Western Chortis and sinistral strike slip where east-west structural trends are then placed into compression along confining bends.

In Jamaica, Paleocene outcrops also suggest rift bounded clastic units of the Wagwater Group. Based on the plate restoration of Jamaica, these are more likely to be associated with complex rotation and strike-slip of the eastern end of Chortis around the base of the Yucatan Block at that time.

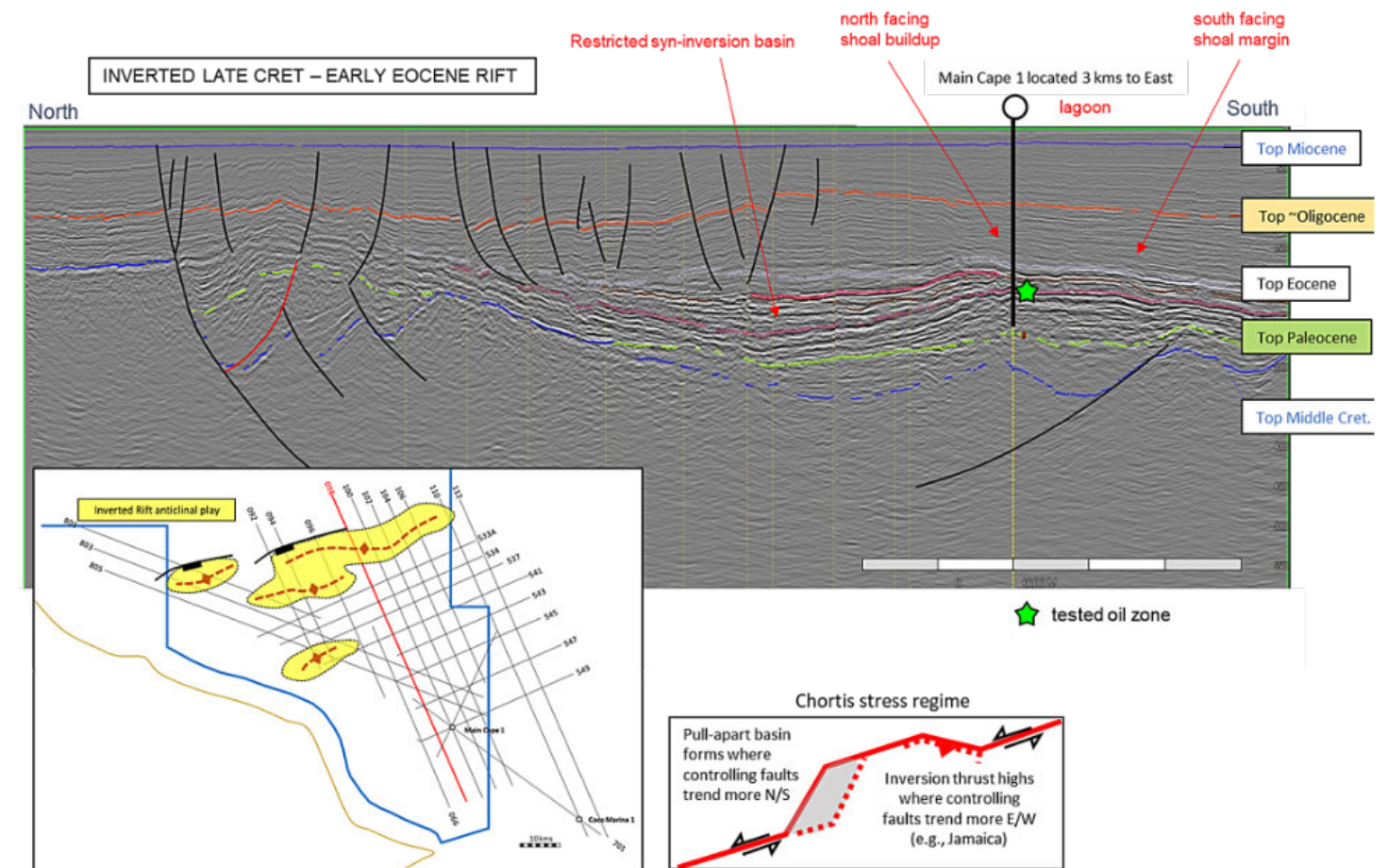


Figure 10 North – South seismic line showing inverted Early Tertiary – Late Cretaceous rift basin trend

### Seismic Evidence - strike slip timing to the south of the Cayman Trough

Seismic data across the borderland basins to the Cayman Trough show several distinctive structural provinces related to post-Eocene strike slip movements. From the *Gracias a Dios 1* and *Punta Patuca 1* well ties, metasediments at TD are covered by a thin Eocene to Late Cretaceous section. This is followed by a thicker Oligocene to Middle Miocene interval that becomes a carbonate platform in the Patuca Basin to the east. This thick Oligocene to Middle Miocene unit is likely to represent the start of significant basin development and strike slip along the Cayman Trough, Figure 11.



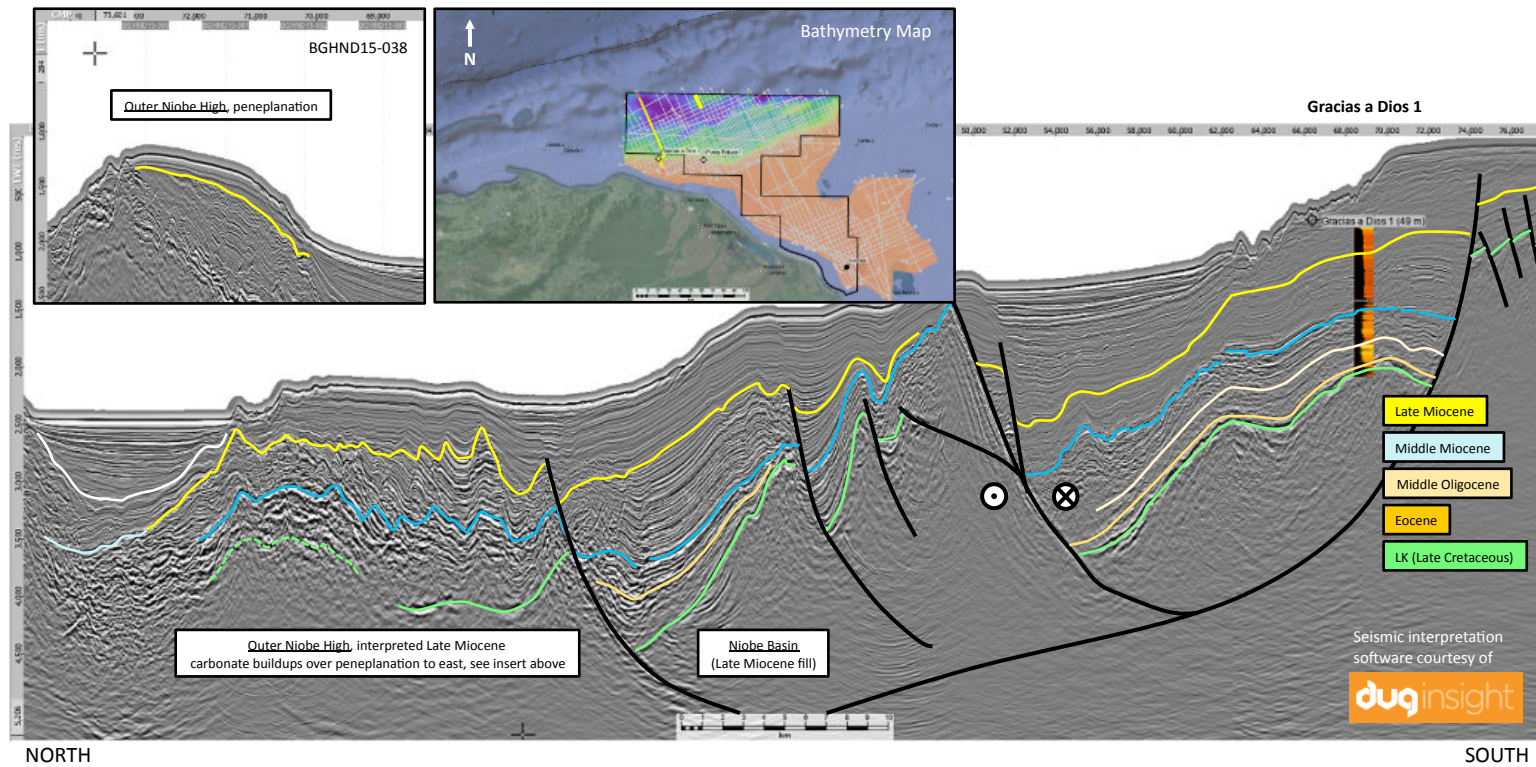


Figure 11 North – South line across Cayman Trough borderland basins

This is followed by deposition of a thick sedimentary fill in the Niobe Basin interpreted to be Late Miocene age which has then itself been inverted north of a major strike slip fault trend of high displacement. To the north, there appears to be an uplifted intrabasinal high (now subsided into deep water), over which a peneplaned erosion surface can be traced and on which, potential Late Miocene carbonate buildups are observed. More passive recent sediment fill is evident at the northern end of the line, which is still 50 kms south of the actual edge of the Cayman Trough.

### Hydrocarbon Potential

Sedimentary basins across the Chortis-Jamaica block contain two significant source rocks: -

(1) Late Cretaceous Type II marine algal rich carbonates of Late Cretaceous Cenomanian – Turonian affinity (C-T), with a similar oil character to the La Luna Fm oils of Maracaibo Lake, Venezuela. These are seen from fluid analysis of the Main Cape 1 DST 2 oil and from the La Pure onshore oil seep (Chris Matchette Downes pers comm). Turonian brackish-water Guare Formation bituminous limestones are exposed in northern Honduras across the western continental core of Chortis and are likely to be the proximal equivalent of this C-T source facies. Jamaica also records C-T source rocks of the Rio Nuevo Formation but these are likely to be from a very different accreted island arc depositional setting. These multiple instances of similarly aged Late Cretaceous source rocks in the area around Chortis and the greater Caribbean point towards the potential for a regionally significant source-rock deposition associated with the globally important

OAE-2 event.

(2) Eocene Type III Punta Gorda Fm of Honduras to Nicaragua and Chapelton-Litchfield Fm of Jamaica are present in intracratonic rift basins (*Coca Marina 1*, *Gorda Bank 1* and *Content 1* in Jamaica). These are mixed facies oils with both marine/terrestrial affinities rich in degraded plant matter, deposited in a restricted marine setting. Analogues for this

source rock setting is the Bou Dabbous Eocene petroleum system of Tunisia /offshore Libya and the Talang-Akar-Cibulakan petroleum system of Sunderland, Indonesia.

Older Middle to Lower Cretaceous source rocks are expected to be present within the Atima Formation but these are likely to be over-mature as they were folded and then uplifted and eroded in the Laramide-related Sierra Madre fold and thrust belt.

Exploration across the Chortis-Jamaica block was very active through the 1970's with over 50 wildcats drilled chasing an abundance of oil and gas indications (73% of the wells drilled had some evidence of hydrocarbons). Since then, for non-technical reasons, oil exploration ceased until 2014 when Tullow Oil began exploring offshore southern Jamaica and CaribX / BG Group, offshore Honduras. Since then, a series of large deep-water “mostly carbonate” exploration prospects have been identified and are awaiting drill-out, most notably the Colibri Prospect in the Walton Basin (operated by United Oil & Gas Plc, who took over operatorship from Tullow Oil), and the Akna play test in the Patuca Basin (H2P, CaribX UK Ltd). Both Colibri and Akna offer material exploration targets (each >500 mmb recoverable resource size) and could unlock a previously overlooked part of the world from a petroleum potential perspective.

Inboard in the shallow waters of offshore Honduras, CaribX's attention has also focused back on the results of earlier drilling and the recognition of proven oil in the Main Cape 1 well, which is reservoir in Eocene carbonates and produced 38° degree API oil on test, Figure 12. Recent retrieval of end-of-well test reports combined with detailed seismic mapping support the potential for ~100 mmb of recoverable light oil.



Figure 12 Main Cape oil sample 38° API from 1973.

On the Pacific margin of Nicaragua in a forearc setting, Equinor have been active exploring the southwest corner of Chortis's Siuna belt in the Sandino Basin, where the Hess Escarpment intersects the Pacific forearc basin and an elongate basin of very thick recent sedimentation is present, associated with known coastal oil seepage. Both outboard carbonate highs and inboard Cenozoic clastic turbidite plays are expected to be present in the Sandino Basin.





References

Baumgartner et al 2008 Upper Triassic to Cretaceous radiolaria from Nicaragua and northern Costa Rica – The Mosquito composite oceanic terrane; *Ofioliti*, Volume 33, Number 1, pp 1 – 19. URL: <https://doi.org/10.4454/ofioliti.v33i1.356>

Domning, D.P. et al 1997 Oldest West Indian Land Mammal: Rhinocerotoid Ungulata from the Eocene of Jamaica; *Journal of Vertebrate Paleontology*, Volume 17, No. 4, pp 638 – 641, URL: <http://www.jstor.org/stable/4523853>

Hendry, J. et al 2018 The Value of Onshore Geology for Caribbean Offshore Exploration: Walton Basin, Jamaica; *Hedberg meeting Geology of Middle America – the Gulf of Mexico, Yucatan, Caribbean, Grenada and Tobago Basins and Their Margins*, Guadalajara, Spain.

Graham R. et al 2021 Integrated Cretaceous-Cenozoic plate tectonics and structural geology in southern Mexico; *The Basins, Orogens and Evolution of the Southern Gulf of Mexico and Northern Caribbean*, Geological Society, London, Special Publications, 504, pp 285 – 314. URL: <https://doi.org/10.1144/SP504-2020-70>

Lewis J.F. et al 2011 Geochemistry and petrology of three granitoid rock cores from the Nicaraguan Rise, Caribbean Sea: implications for its composition, structure and tectonic evolution; *Geologica Acta*, Volume 9, No. 3 – 4, pp 467 – 479.

Meschede M. and Frisch W. 1998 A plate tectonic model for the Mesozoic and Early Cenozoic history of the Caribbean plate; *Tectonophysics* 296, pp 269 – 291.

Mitchell S.F. et al 2015 Late Cretaceous to Early Paleocene Geological Evolution of Jamaica; AAPG Datapages/Search and Discovery Article #90238 ©2015 Latin America & Caribbean Region, 20th Caribbean Geological Conference, A Collision of Ideas to Uplift our Understanding, Port-of-Spain, Trinidad & Tobago, West Indies

Mitchell S.F. 2020 Cretaceous Geology and tectonic assembly of Jamaica; from Davison, I., Hull, J. N. F. & Pindell, J. (eds) *The Basins, Orogens and Evolution of the Southern Gulf of Mexico and Northern Caribbean*. Geological Society, London, Special Publications, 504, URL: <https://doi.org/10.1144/SP504-2019-210>

Molina Garza R. et al 2019 Large-scale rotations of the Chortis Block (Honduras) at the southern termination of the Laramide flat slab; *Tectonophysics* 760, pp 36 – 57. URL: <https://www.researchgate.net/publication/322039556>

Moran-Zenteno D.J. et al 1999 Tertiary arc-magmatism of the Sierra Madre del Sur, Mexico, and its transition to the volcanic activity of the Trans-Mexican Volcanic Belt; *Journal of South American Earth Sciences* 12, pp 513 – 535.

Pindell J.L. and Dewey J.F. 1982 Permo-Triassic Reconstruction of Western Pangea and the Evolution of the Gulf of Mexico/Caribbean region; *Tectonics*, Volume 1, pp 179 – 211.

Pindell J.L. and Barrett S.F. 1990 Geological Evolution of the Caribbean region; a plate-tectonic perspective; *The Geology of North America, Volume H, The Caribbean Region*, Geological Society of America, pp. 405 – 433.

Pindell, J.L. and Kennan, L. 2009 Tectonic Evolution of the Gulf of Mexico, Caribbean, and Northern South America in the Mantle Reference Frame: An Update; *The Geology and Evolution of the Region between North and South America*, Geological Society of London, Special Publ. 328, pp 227-242.

Pindell et al 2011 The Greater Antillean Arc: Early Cretaceous origin and proposed relationship to Central American subduction mélanges: implications for models of Caribbean evolution; *International Geology Review*, pp 1 -13. URL: <http://dx.doi.org/0.1080/00206814.2010.510008>

Rogers R. and Emmet P.A. 2007 Colon fold belt of Honduras: Evidence for Late Cretaceous collision between the continental Chortis Block and intra-oceanic Caribbean arc; *Special Paper of the Geological Society of America*. URL: <https://www.researchgate.net/publication/233835960>

Rogers R.D. and Mann P. 2007 Tectonic terranes of the Chortis block based on integration of regional aeromagnetic and geologic data; *Geological Society of America, Special Paper* 428, pp. 65-88

The Author

Mark Shann is a British petroleum geologist with more than 35 years of oil & gas exploration, appraisal, and field development experience; mainly with BP International where he worked across 13 countries spanning the globe. One third of his career has been spent working on the Greater Gulf of Mexico and Latin America. More recently from 2014 to 2019, Mark was subsurface director of Sierra Oil & Gas based in Mexico and with the Sierra team, they were responsible for establishing an offshore exploration license portfolio across the Sureste offshore basin, that included both the giant 2017 Zama Discovery and the more recent Repsol-operated 2020 Polok and Chinwol Discoveries. These three discoveries together, should have the capacity to produce more than 1 bnbbbl of recoverable oil.

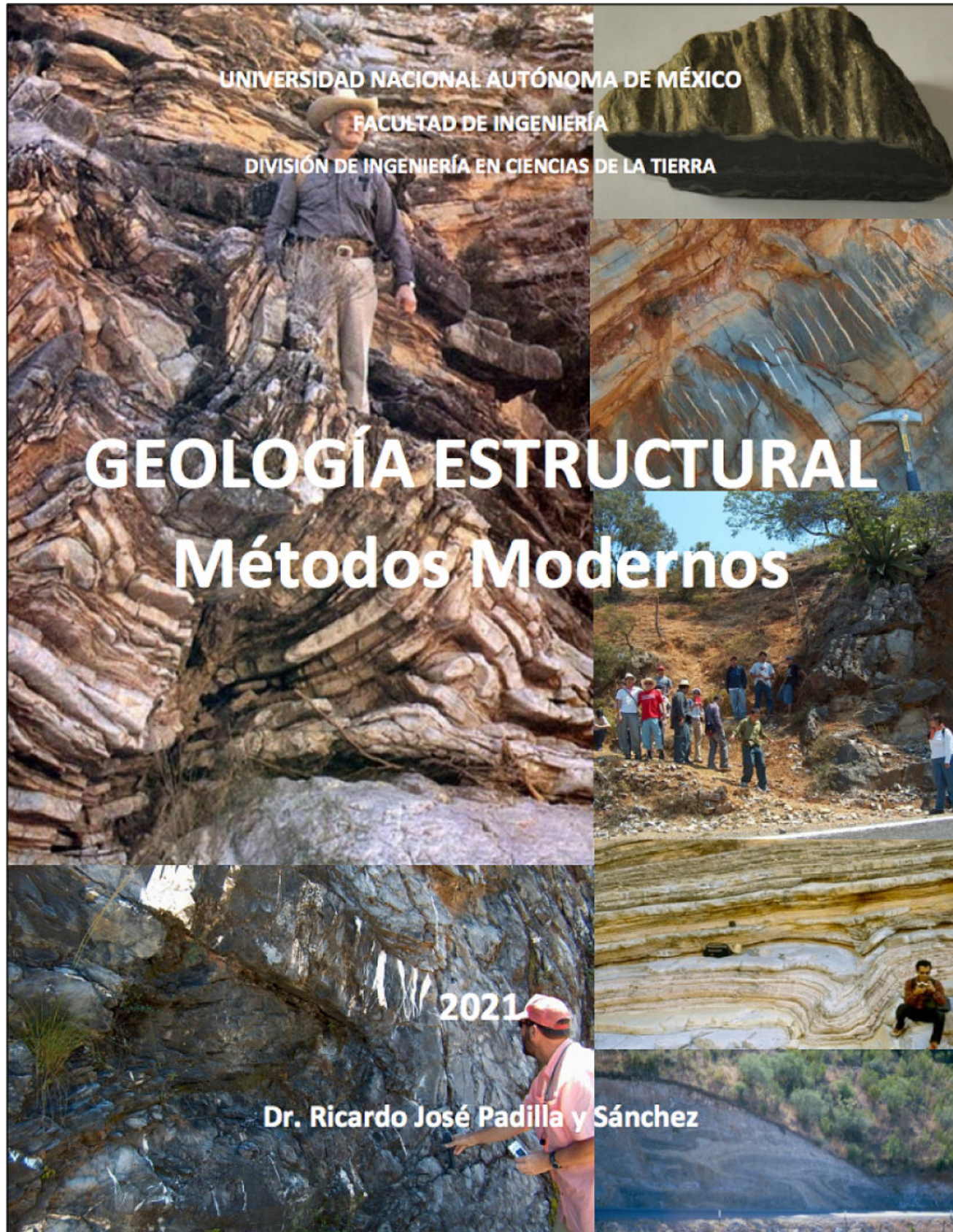
Currently he is a technical advisor to CaribX (UK) Ltd who hold a large acreage position offshore Honduras. Mark is a very observation-led geoscientist and is also active in teaching, mentoring, and publishing across the LATAM region.



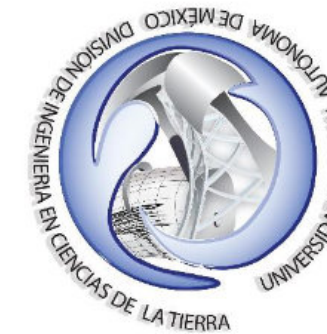


Para descargar una copia gratuita del libro (PDF) haz click en el link:

[http://www.dict.unam.mx/Metodos\\_modernos\\_geologia\\_estructural](http://www.dict.unam.mx/Metodos_modernos_geologia_estructural)



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA



# GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Métodos Modernos

2021

**Dr. Ricardo José Padilla y Sánchez**

Profesor de Carrera Titular "C" de TC, Definitivo,





**GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

**Dr. Ricardo José Padilla y Sánchez**

**CONTENIDO**

**Prefacio**

|  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| <b>Capítulo 1.</b> Definición de una estructura a la luz de la mecánica del medio continuo   | 1             |
| <b>Capítulo 2.</b> Estructuras primarias en las rocas  | 3             |
| <b>Capítulo 3.</b> Dirección e inclinación de planos y capas. Dirección y buzamiento de líneas. Patrón de afloramiento. Medición de espesores de capas. Discordancias. | 9             |
| <b>Capítulo 4.</b> Fracturas, juntas y fallas. Nomenclatura y clasificación  | 17            |
| <b>Capítulo 5.</b> Pliegues. Nomenclatura y clasificación  | 33            |
| <b>Capítulo 6.</b> Fracturas en pliegues   | 51            |
| <b>Capítulo 7.</b> Secciones Estructurales   | 63            |
| <b>Capítulo 8.</b> La Red Estereográfica   | 75            |
| <b>Capítulo 9.</b> Esfuerzo  | 87            |
| <b>Capítulo 10.</b> Deformación  | 101           |
| <b>Capítulo 11.</b> Relaciones esfuerzo - deformación  | 113           |
| <b>Capítulo 12.</b> Estados de esfuerzo en el emplazamiento de rocas ígneas  | 129           |
| <b>Capítulo 13.</b> Estructuras relacionadas con movimiento de evaporitas  | 143           |
| <b>Capítulo 14.</b> Restauración y balanceo de secciones   | 157           |
| Referencias citadas  | 165           |
| ÍNDICE POR TEMAS   | 173           |
| GLOSARIO DE TÉRMINOS EN ESPAÑOL Y SU EQUIVALENCIA AL INGLÉS  | 177           |
| <b>ANEXO 1.</b> Modelos de papel para estudiantes de Geología Estructural  |               |
| <b>ANEXO 2.</b> Animaciones tridimensionales   |               |

**PREFACIO**

Este libro está dedicado a todos aquellos estudiantes o profesionales, interesados en la Geología Estructural, con el objetivo de revisar conceptos fundamentales de esta disciplina de la Geología. El libro contiene ejemplos y ejercicios suficientes para habilitar al estudioso a solucionar sus problemas estructurales particulares en la localidad en la que trabaja. La obra inicia definiendo una estructura bajo el concepto de continuidad. Enseguida explica cuál es el objetivo de un estudio estructural, su diferencia con la tectónica y cuales son algunas de las estructuras primarias importantes para la Geología Estructural. Mas adelante se enfoca en la ubicación de líneas y planos en el espacio, y como estos elementos geométricos son utilizados para situar cuerpos tabulares, planos y rasgos lineales en la tierra, a través de la medición de rumbos y echados. Posteriormente analiza la relación existente entre cuerpos geométricos planos o tabulares cuando intersectan a la topografía del terreno para finalmente, a partir de esta relación, calcular rumbos, echados y espesores.

Los capítulos 4 y 5 están enfocados a fracturas, fallas y pliegues, su nomenclatura y clasificación, así como también al estudio del mecanismo y la cinemática que les dio origen. El siguiente capítulo expone las ideas del autor respecto a como se desarrollan familias de fracturas asociadas a los pliegues.

La construcción de secciones estructurales y el uso de la red estereográfica son examinados en los capítulos 7 y 8.

Los fundamentos de la Mecánica del Medio Continuo y su aplicación a la Geología Estructural se analizan en los capítulos 9 al 12.

Los capítulos 13 y 14 son temas modernos que se han desarrollado durante los últimos tres lustros a partir del extraordinario avance en las imágenes logradas con la sísmica 3D, en donde es posible observar estructuras que no fueron concebidas anteriormente, por ejemplo, una falla de soldadura asociada al desalojo de sal, o la validación geométrica de un modelo geológico a partir de una interpretación sísmica.

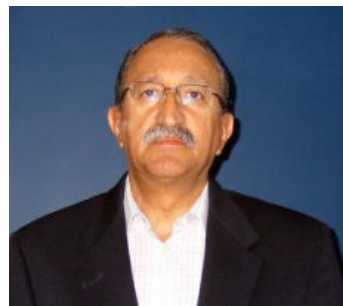
Finalmente se presenta un anexo para auxiliar al estudiante a la comprensión de conceptos estructurales que incluye modelos de papel de pliegues, fallas, y conceptos básicos de Geología Estructural como por ejemplo el problema de los tres puntos, reproducidos bajo permiso del Dr. Martin Schöpfer (Universidad de Viena, Austria) y de Gerhard Wiesmayr (RAG, Austria).

El autor agradece cumplidamente al Consejo Técnico a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, por el otorgamiento de la *Cátedra Especial Fernando Espinosa Gutiérrez* durante el año 2020. Sin esta distinción académica hubiera sido complicado culminar este proyecto.

Ciudad de México, 11 de enero del 2021

*Ricardo José Padilla y Sánchez*





El Dr. Ricardo José Padilla Y Sánchez cursó la Licenciatura en Ingeniería Geológica de 1966 a 1971, en la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Posteriormente realizó sus estudios de doctorado en la Universidad de Texas en Austin de 1979 a 1982.

Ha trabajado y participado en empresas como: Petróleos Mexicanos, Geólogos Consultores Asociados, S. A., Research Assistant, Bureau of Economic Geology, Turner Crest Oil Co., Martindale, Servicios Geológicos, S. A., Consejo de Administración, Consultores en Geología, S. A. de C. V., Comisión Federal de Electricidad.

El Dr. Padilla Y Sánchez cuenta con una larga y destacada carrera académica como profesor e investigador en la UNAM, así como en dirección de tesis: Investigador de Tiempo Completo, Asociado "A" y "B" y Titular "A", Instituto de Geología, de Enero de 1974 a Agosto de 1984.

Profesor Titular "A", "B" y "C" de Tiempo Completo Definitivo, en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, de Ago/1984 a Sep/1991 y de Ago/2010 a la fecha. Coordinador de la Maestría en Ingeniería de Exploración de Recursos Energéticos del Subsuelo, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, de Ago/1984 a Abr/1986.

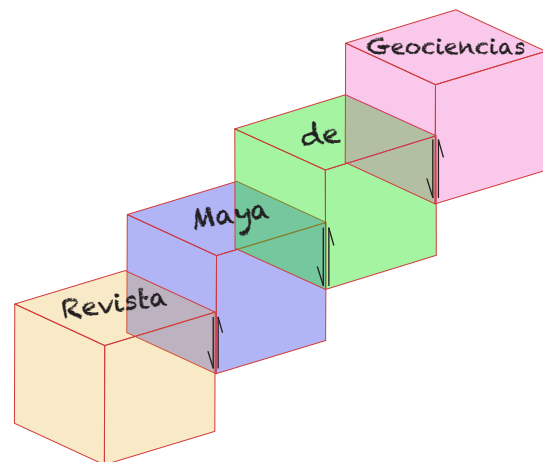
Jefe de la División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, Abr/1987 a Abr/1991 y de May/2007 a Ago/2012.

Associate Professor (Tenure Track Position), Department of Physics and Geology, The University of Texas Pan American, de Ago/2006 a May/2007.

**Tesis dirigidas:** 20 de Licenciatura, 10 de Maestría, 1 Doctorado

**Sociedades científicas y asociaciones gremiales a las que pertenece:**

Academia Mexicana de Ingeniería, Sociedad Geológica Mexicana, Geological Society of America, American Association of Petroleum Geologists, Asociación Geohidrológica Mexicana, A.C.



## FUNDADORES DE LA GEOLOGÍA MODERNA

**Alfred Wegener  
(1880-1930)**



**Alfred Wegener**, in full Alfred Lothar Wegener, (born November 1, 1880, Berlin, Germany—died November 1930, Greenland), German meteorologist and geophysicist who formulated the first complete statement of the continental drift hypothesis.

The son of an orphanage director, Wegener earned a Ph.D. degree in astronomy from the University of Berlin in 1905. He had meanwhile become interested in paleoclimatology, and in 1906–08 he took part in an expedition to Greenland to study polar air circulation. On this trip he befriended German climatologist Wladimir Köppen, who became his mentor, and later married Köppen's daughter, Elsa, in 1913. He made three more expeditions to Greenland, in 1912–13, 1929, and 1930. He taught meteorology at Marburg and Hamburg and was a professor of meteorology and geophysics at the University of Graz from 1924 to 1930. He died during his last expedition to Greenland in 1930.

Like certain other scientists before him, Wegener became impressed with the similarity in the coastlines of eastern South America and western Africa and speculated that those lands had once been joined together. About 1910 he began toying with the idea that in the late Paleozoic Era (which ended about 252 million years ago) all the present-day continents had formed a single large mass, or supercontinent, which had subsequently broken apart. Wegener called this ancient continent Pangaea. Other scientists had proposed such a continent but had explained the separation of the modern world's continents as having resulted from the subsidence, or sinking, of large portions of the supercontinent to form the Atlantic and Indian oceans. Wegener, by contrast, proposed that Pangaea's constituent portions had slowly moved thousands of miles apart over long periods of geologic time. His term for this movement was die Verschiebung der Kontinente ("continental displacement"), which gave rise to the term continental drift.

Wegener first presented his theory in lectures in 1912 and published it in full in 1915 in his most important work, Die Entstehung der Kontinente und Ozeane (The Origin of Continents and Oceans). He searched the scientific literature for geological and paleontological evidence that would buttress his theory, and he was able to point to many closely related fossil organisms and similar rock strata that occurred on widely separated continents, particularly those found in both the Americas and in Africa. Wegener's theory of continental drift won some adherents in the ensuing decade, but his postulations of the driving forces behind the continents' movement seemed implausible. By 1930 his theory had been rejected by most geologists, and it sank into obscurity for the next few decades, only to be resurrected as part of the theory of plate tectonics during the 1960s.

Well after his death, and after World War II, Wegener's theories were vindicated by the work of Harry Hess and others. In 1960 Hess proposed the mechanism of sea-floor spreading, which would explain how the continents moved. Newly discovered exploration techniques were employed to prove this theory and ultimately, the correctness of Wegener's chief idea as well.

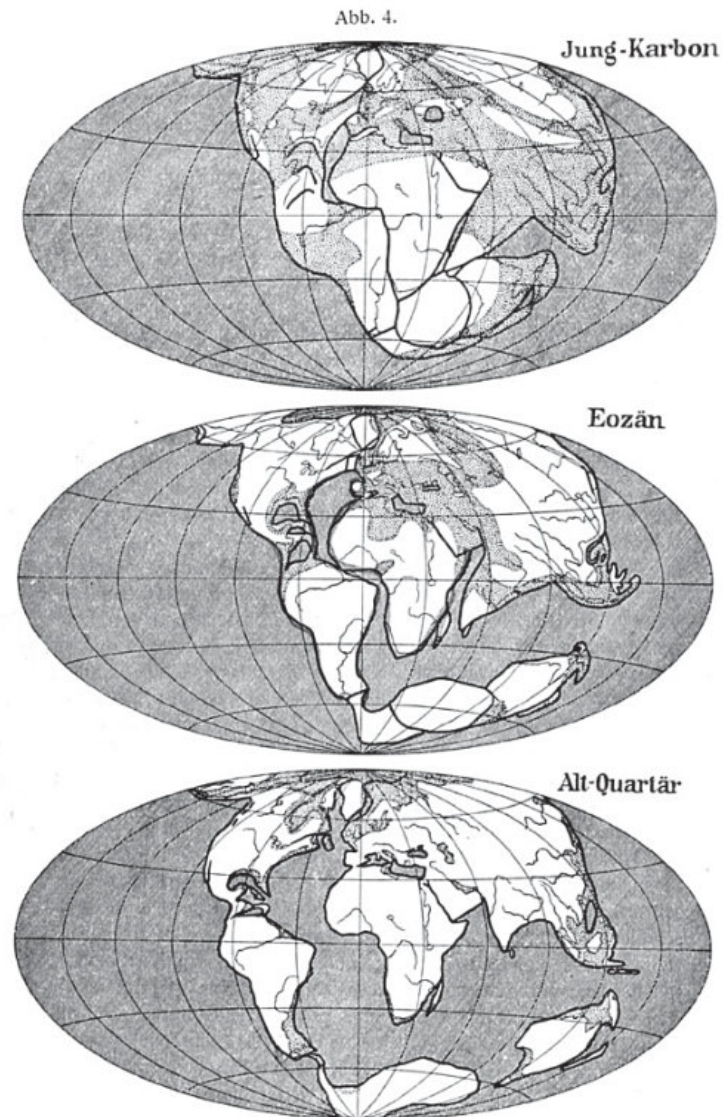
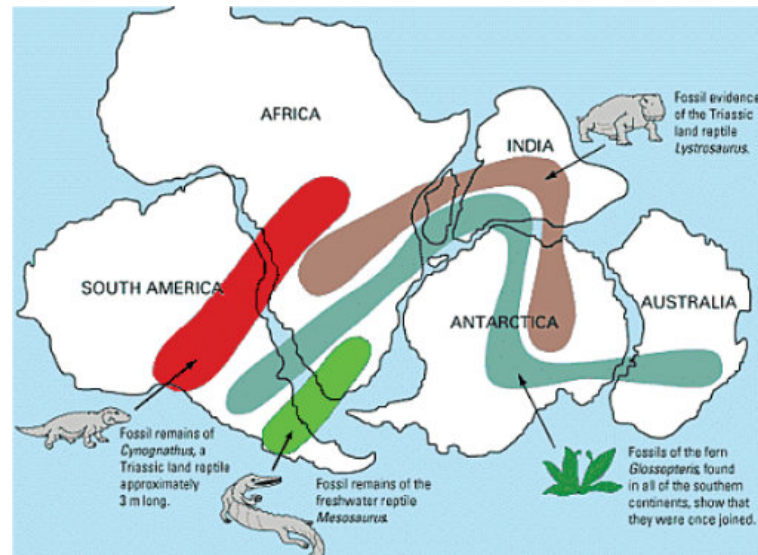




Wegener during J.P. Koch's Expedition 1912-1913 in the winter base "Borg".



Wegener (left) and Villumsen (right) in Greenland; 1 November 1930.



Original world maps created by Alfred Wegener showing Pangaea and the continents drifting apart. Its spatial and temporal classification corresponds to his conception at that time, not to the later proven positions and geological epochs.

## PIONEROS DE LA PALEONTOLOGÍA

### Mary Anning (1799-1847)



**Mary Anning** was born in 1799 in Lyme Regis, in the southwest English county of Dorset. Lyme Regis is now part of what is now called the Jurassic Coast, and discoveries are still being made to this day. While Mary was growing up, George III was king, the war between the British and Napoleon's French army was raging on and Jane Austen had written *Sense and Sensibility*.

#### Rough start in life

The Anning family were religious dissenters - Protestants who separated from the Church of England - and very poor. Out of nine or ten children, only Mary and her older brother, Joseph, survived to adulthood. Mary's father, Richard, was a cabinetmaker and amateur fossil collector. By the time she was five or six, Mary was his fossil-collecting sidekick - an otherwise unfathomable activity for Georgian girls.

Richard taught his daughter how to look for and clean the fossils they found on the beach, and often displayed and sold them from his shop. Like many women and girls in Lyme Regis at the time, Mary had little formal education. She was able to read, however, and taught herself geology and anatomy. Richard died suddenly in 1810, from tuberculosis and previous injuries. Joseph took up a post as apprentice upholsterer and their mother, Molly, encouraged Mary to help pay off the family's debts by selling her finds.

#### Source of curiosities

Lyme Regis is especially rich in ammonites (which were then called 'Ammon's horn') as well as belemnites ('devil's fingers'). During the Napoleonic Wars, civilians were encouraged to holiday near home rather than abroad, so tourists flocked to seaside towns such as Lyme Regis. Around this time fossil hunting was also gaining traction. This pastime was perfect for fashionable Georgians seeking to add to their cabinets of curiosities.

#### First ichthyosaur

Around 1811, when Mary was 12, Joseph found a strange-looking fossilized skull. Mary then searched for and painstakingly dug the outline of its 5.2-metre-long skeleton. By the time she was done, several months later, everyone in town knew she had discovered what must have been a monster.

Scientists thought this was a crocodile. At the time most people assumed that unearthed, unrecognisable creatures had simply migrated to far-off lands. By this time, Georges Cuvier, known as the father of palaeontology, had only recently introduced the theory of extinction. Charles Darwin's *On the Origin of Species* would not be published for another 48 years. The mysterious specimen was studied and debated for years. It was eventually named *Ichthyosaurus*, or 'fish lizard' - though we now know it was neither fish nor lizard, but a marine reptile. It lived 201-194 million years ago.





### Controversial find

In 1823 Mary was the first to discover the complete skeleton of a Plesiosaurus, meaning 'near to reptile'. So strange was the specimen and so quickly had the news spread that soon there were rumours that the fossil was a fake. Georges Cuvier himself disputed the find. A special meeting was scheduled at the Geological Society of London, though Mary was not invited. After lengthy debate, Cuvier admitted to his mistake. Despite her growing reputation for finding and identifying fossils, the scientific community was hesitant to recognise her work.

Male scientists - who frequently bought the fossils Mary would uncover, clean, prepare and identify - often did not credit her discoveries in their scientific papers on the finds, even when writing about her groundbreaking ichthyosaur find. Even the Geological Society of London refused to admit her - in fact, they didn't admit women until 1904.

### Winged creature

In 1828 Mary uncovered a strange jumble of bones, this time with a long tail - and wings. Once again, news of her discovery travelled fast. Scientists from London to Paris theorised on this 'unknown species of that most rare and curious of all reptiles'.

What she found were the first remains attributed to a Dimorphodon. It was the first pterosaur ever discovered outside Germany. The name Pterodactyl was coined later. Unlike ichthyosaurs and plesiosaurs, pterosaurs had wings and were believed to be the largest-ever flying animals. Another of Mary's contributions to science, though arguably less glamorous, is that she pioneered the study of coprolites - or fossilized poo.

### Sparking public interest

Mary continued to unearth fossil after fossil. She still sold her many finds, which increasingly fuelled public interest in geology and palaeontology. People flocked to fossil displays around the country - even major museums struggled to keep up with demand.

Her discoveries inspired famous geologist (and childhood friend) Henry De la Beche to paint 'Duria Antiquior - A More Ancient Dorset' in 1830. He sold prints to raise money for Mary, who was still struggling to make ends meet. Duria Antiquior - complete with ichthyosaur, plesiosaur and pterosaur - is the very first pictorial representation of prehistoric life based on fossil evidence. This art form is now known as palaeoart. It helps people understand a little about life on Earth millions of years ago. Palaeoart is still popular today, from meticulous renderings used for research to dinosaur t-shirts.

### Mary Anning's legacy

Mary died from breast cancer in 1847. She was only 47 years old, and still in financial strain despite a lifetime of extraordinary scientific discoveries.

Today the Natural History Museum in London showcases several of Mary Anning's spectacular finds, including her ichthyosaur, plesiosaur and pterosaur. Much like they did two centuries ago, her fossils continue to captivate visitors from around the world.

Source: Natural History Museum

## Glosario de términos geológicos

Compilado por:

**Saúl Humberto Ricardez Medina**

**Esta compilación selecta de términos geológicos que utilizan regularmente los profesionistas de las Ciencias de la Tierra, tiene la intención de apoyar a aquellos estudiantes que requieran de una referencia sobre el tema.**

**Sistema de Información Geográfica (SIG):** Es un conjunto integrado de medios y métodos informáticos, capaz de recoger, verificar, intercambiar, almacenar, gestionar, actualizar, manipular, recuperar, transformar, analizar y mostrar datos espacialmente referenciados a la Tierra (Rodríguez pascual).

**Base de datos geográficos:** Es un modelo para el almacenamiento y representación de objetos geográficos, sus atributos, sus relaciones (espaciales o no) y el comportamiento de cada uno de sus elementos.

Las cinco categorías de información que caracterizan a las diferentes entidades que aparecen en el espacio.

**Identificador:** Se trata de una variable cuantitativa que identifica cada objeto dentro de un conjunto de objetos del mismo tipo. Cada entidad recibe por tanto un identificador único.

**Posición:** Indica la ubicación del objeto en un espacio, generalmente bidimensional. Implícitamente indica también su dimensión y forma. De ese modo cada tipo de objeto tiene, en función de su número de dimensiones una serie de propiedades espaciales de tamaño y forma directamente extraíbles de su codificación espacial (los objetos lineales representan longitud, sinuosidad y orientación, mientras que los objetos poligonales representan área, perímetro, elongación máxima y diversos índices de forma directamente calculables a partir de éstas).

**Propiedades espaciales:** Son variables cuantitativas medidas en magnitudes espaciales y que indican algún aspecto de la extensión espacial de los objetos no representables debido a la escala de trabajo, al tratarse de una magnitud en la tercera dimensión o a la dificultad de representarla por el tipo de abstracción que implica su representación (por ejemplo, la profundidad de un drenaje o la anchura de una carretera).

**Propiedades no espaciales:** Son variables cuantitativas o cualitativas que no tienen nada que ver con el espacio pero que se relacionan con el objeto. Resultan de mediciones simples o de descripciones. Pueden ser constantes o variables en el tiempo (por ejemplo, la demografía de un municipio).

**Relaciones con el entorno:** Todos los objetos geográficos tienen unas relaciones con su entorno, es decir con el resto de los objetos del mismo o distinto tipo que aparecen a su alrededor. Estas relaciones pueden ser de tipo topológico (polígonos vecinos) o tipo físico (drenajes tributarios que se conectan al cause principal).

**Modelos lógicos:** Son modelos que hacen referencia a como se muestrean y organizan las variables y objetos para lograr una representación lo más adecuada posible, en el contexto de los sig existen 2 modelos lógicos el formato raster y vectorial.

**Formato Ráster:** Modelo que realiza una representación discreta del mundo real, empleando una malla de rejillas regulares denominadas celdillas o píxeles.

**Formato vectorial:** Modelo que define objetos geométricos (puntos, líneas y polígonos) mediante la codificación explícita de sus coordenadas, concibe el espacio de manera continua por lo que la representación de los elementos es más realista.

### Bibliografía

Benavides, E. (2018) G348: Sistemas de Información Geográfica, apuntes de la semana 3 [apuntes de clase]





**Propiedades básicas que se analizan en un yacimiento**

| Propiedad   | Significado  |
|---|--|
| Volumen de Arcilla  | Porcentaje neto de arcilla presente en una formación geológica. Este parámetro puede ser determinado a partir de los registros de rayos gamma (GR) o del potencial espontáneo (SP) o combinaciones de registros.                               |
| Porosidad   | Es la fracción del volumen total de la roca ocupado por espacios vacíos o volumen poroso (sean conectados o no).   |
| Porosidad efectiva: intergranular, intercrystalina, fractura, disolución, etc | Volumen de poros interconectados o espacio intersticial presente en una roca, que contribuye al flujo de fluidos o a la permeabilidad de un yacimiento   |
| Porosidad total   | Volumen total de poros por unidad de volumen de la roca. La porosidad total es el espacio intersticial total y como tal incluye los poros aislados y el espacio ocupado por el agua ligada a la arcilla  |
| Saturación de agua libre  | Agua que es móvil, está disponible para fluir, y no se encuentra ligada a las superficies de los granos o los minerales de las rocas.  |
| Saturación de agua ligada   | El agua presente en el espacio poroso que no fluye en condiciones de yacimiento normales. El agua ligada no fluye con los procesos de producción primaria o secundaria, inyección o invasión, a menos que se altere la mojabilidad de la roca. |
| Permeabilidad   | Característica de la roca almacenadora que permite el movimiento de fluidos a través de poros interconectados. La unidad de medida es el milidarcy.  |
| Garganta de poro  | Espacio poral pequeño existente en el punto donde se unen dos granos, que conecta dos volúmenes de poro más grandes  |
| Mineralogía   | Tipos de minerales existentes en una formación geológica   |



(Asquith, 1998)

PARA TODOS AQUELLOS QUE TIENEN QUE ESCRIBIR TESIS, DISERTACIONES, REPORTES TÉCNICOS, Y PUBLICACIONES CIENTÍFICAS, LA SIGUIENTE LISTA DE APLICACIONES “OPEN SOURCE” FUERON IDENTIFICADAS POR:

DR. JORDI TRITLLA CAMBRA

Para imágenes:

XNVIEW: <https://www.xnview.com/en/>

Irfanview: <https://www.irfanview.com/>

Darktable: [www.darktable.org](http://www.darktable.org)

Para Petrología Ignea:

GeoChemical Data toolkit: (GCDkit): <http://www.gcdkit.org/>

Para imágenes científicas:

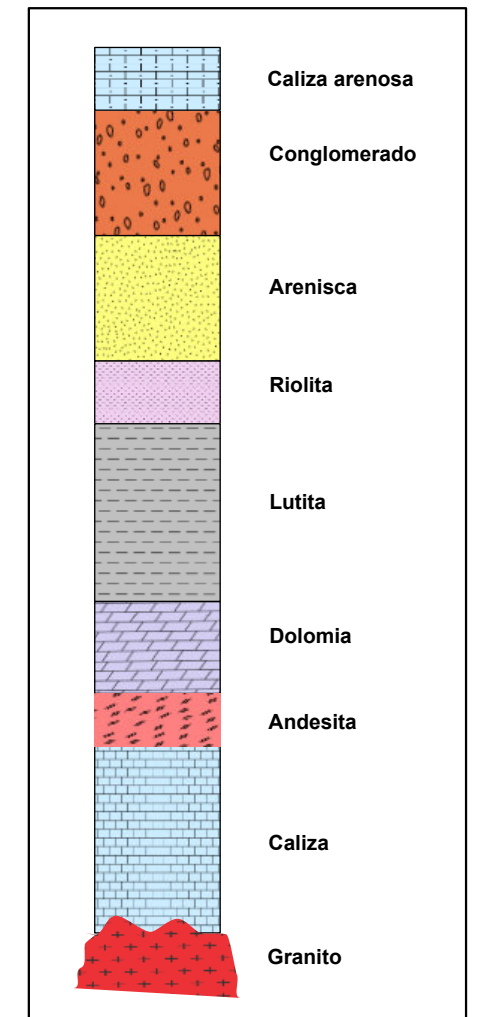
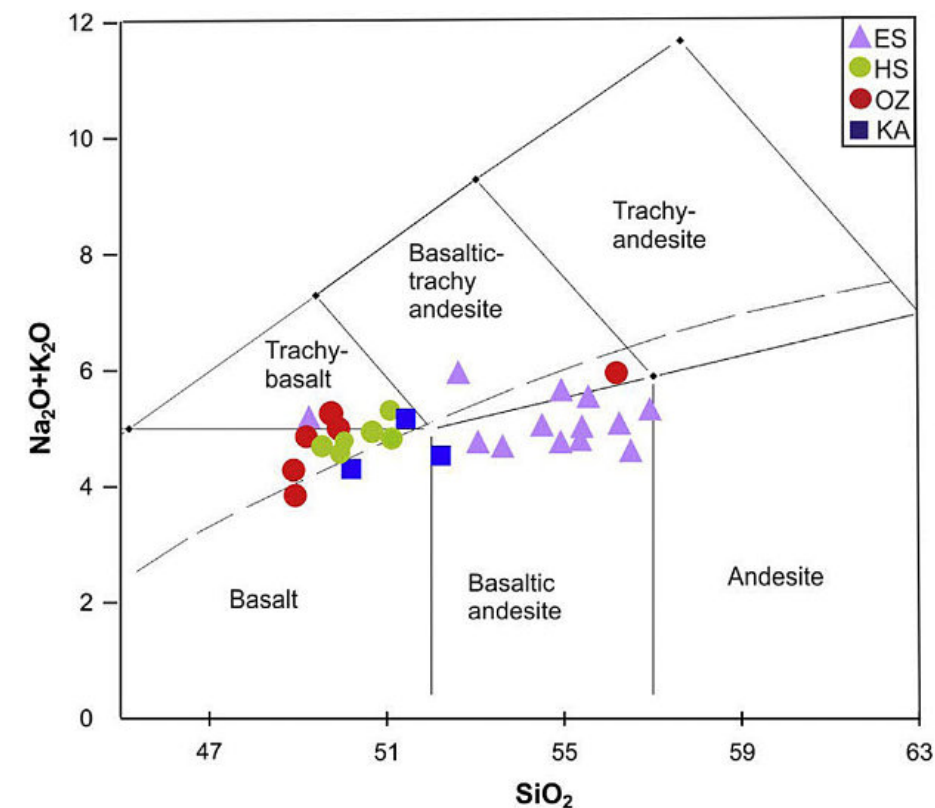
Fiji: <https://imagej.net/software/fiji/>

Para Gráficos científicos:

Veusz: <https://veusz.github.io/>

Inkscape: <https://inkscape.org/>

**EJEMPLOS DE ILUSTRACIONES**







# La casa de los volcanes

Volcanoes of the World > <https://www.swisseduc.ch/stromboli/>

Volcanoe World > <https://volcano.oregonstate.edu/>

USGS – Science Explorer > <https://www.usgs.gov/science/science-explorer/geology>

The Geological Society - Volcanoes > <https://www.geolsoc.org.uk/volcanoes>

Smithsonian – Global Volcanism Program > <https://volcano.si.edu/>

How Volcanoes Form > <https://www.bgs.ac.uk/discovering-geology/earth-hazards/volcanoes/how-volcanoes-form-2/>

Hawai’s Volcanoes Ntl. Park > <https://www.nps.gov/havo/index.htm>

Guide to Volcanoes: Iceland > <https://guidetoiceland.is/nature-info/the-deadliest-volcanoes-in-iceland>



# Servicio Nacional del Patrimonio Cultural Santiago, Chile

## Haz click en la imagen

MNH  
Servicio Nacional del Patrimonio Cultural

Quiénes somos    Áreas curatoriales    Exhibiciones    Educación    Servicios

Cartelera  
Colecciones digitales  
Galerías  
Noticias  
Publicaciones

ZOOLOGÍA VERTEBRADOS

Escuchar

Inicio / Menú Secciones / Áreas curatoriales / Zoología vertebrados





Aspice in mundi circa te

LITOESTRATIGRAFIA DEL MACIZO METAMÓRFICO ESCAMBRAY. El Grupo La Sierrita. Unidad superior del Macizo Metamórfico Escambray.

Por Humberto Álvarez-Sánchez y Luis Bernal Rodríguez

TOMO TRES

<https://independent.academia.edu/HumbertoFlores%20IvarezS%20A1nchez>

**Necesitas la Tabla del tiempo geológico?**

[https://www.geosociety.org/GSA/Education\\_Careers/Geologic\\_Time\\_Scale/GSA/timescale/home.aspx](https://www.geosociety.org/GSA/Education_Careers/Geologic_Time_Scale/GSA/timescale/home.aspx)

**Asociaciones de Geología y Geofísica**

AMGP: <https://www.amgp.org/>

AAPG: <https://www.aapg.org/>

AMGE: <https://amge.mx/>

SEG: <https://seg.org/>

UGM: <https://ugm.org.mex>

**Gaceta Geológica de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros**

<https://www.amgp.org/publicaciones/gacetas/nacional>

**Sequence Stratigraphy: Methodology and Nomenclature**

Octavian Catuneanu, William E. Galloway, Christopher G. St. C. Kendall, Andrew D. Miall, Henry W. Posamentier, André Strasser, and Maurice E. Tucker

[https://pdfs.semanticscholar.org/011f/5297d-b5d4661d42f5b7148e87d07677e0f63.pdf?\\_ga=2.234966403.38414444.1612560076-1551899140.1612560076](https://pdfs.semanticscholar.org/011f/5297d-b5d4661d42f5b7148e87d07677e0f63.pdf?_ga=2.234966403.38414444.1612560076-1551899140.1612560076)

**Visítanos en Facebook y hazte miembro: Mexico Petroleum Geology**

<https://www.facebook.com/groups/430159417618680/>

**Aquí puedes bajar la Tabla Cronoestratigráfica Internacional:**

<https://stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2018-07.pdf>

**Comparative Sedimentology Laboratory:** <http://www.cslmiami.info/>

**Clasificación de las rocas sedimentarias:** <http://www.kgs.ku.edu/General/Class/sedimentary.html>

**Escala Granulométrica:** <https://www.britannica.com/science/grain-size-scale>

**Glosario de Geología (España)**

Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas, y Naturales

[https://www.ugr.es/~agcasco/personal/rac\\_geologia/rac.htm](https://www.ugr.es/~agcasco/personal/rac_geologia/rac.htm)

**English-Spanish and Spanish-English Glossary of Geoscience Terms**

Gary L. Prost

<https://garyprostgeology.com/publications>

**COMO PARTE DE LAS ACTIVIDADES DE DIFUSIÓN DE NUESTRA REVISTA DE GEOCIENCIAS, TENEMOS UNA RELACIÓN DE BUENA FE Y AMISTAD CON LAS ESCUELAS, SOCIEDADES Y ASOCIACIONES GEOLÓGICAS EN OTROS PAÍSES DEL MUNDO.**

**Asociación de Geólogos y Geofísicos Españoles del Petróleo**

<https://aggep.org/>



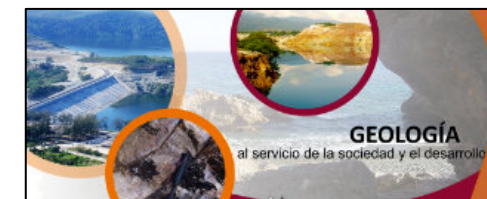
**Sociedad Geológica de España**

<https://sociedadgeologica.org/>



**Sociedad Cubana de Geología**

<http://www.scg.cu/>



**Sociedad Dominicana de Geología**

<http://sodogeo.org/>



**Universidad Tecnológica del Cibao Oriental, República Dominicana**

<https://uteco.edu.do/>







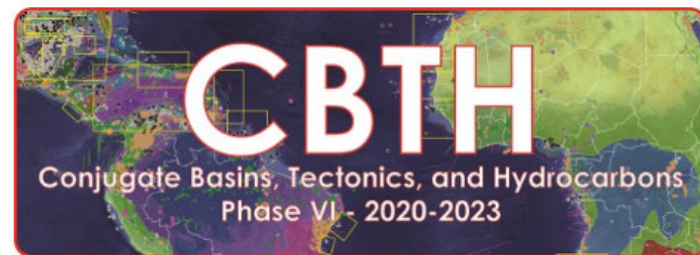
# CBTH

Conjugate Basins, Tectonics, and Hydrocarbons

Department of Earth and Atmospheric Sciences

University of Houston

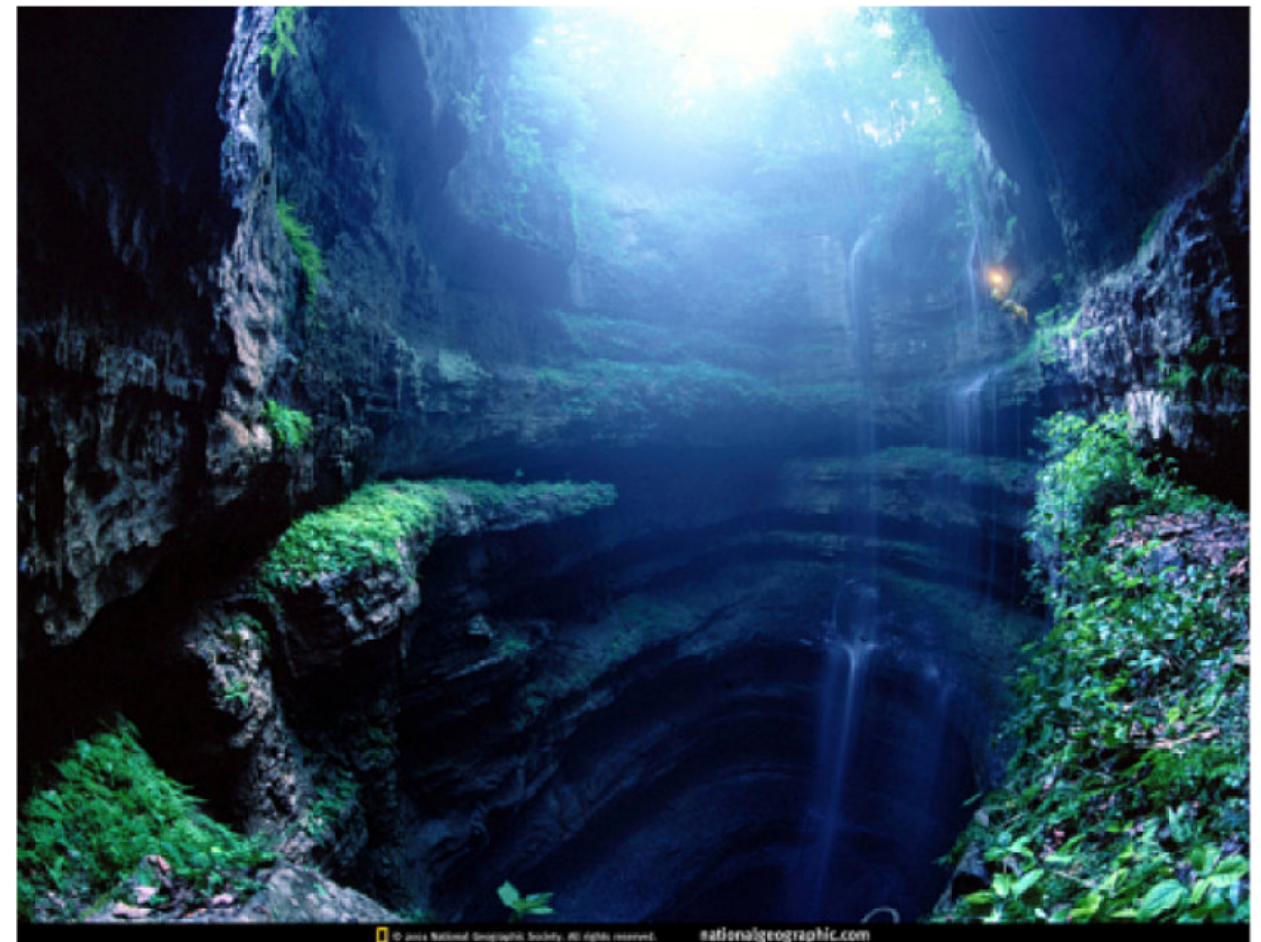
<http://cbth.uh.edu/>



UH Dept. of Earth & Atmospheric Sciences | UIS Dept. of Energy Resources

## Curiosidades de geociencias y cultura...

### Sótano de las Golondrinas – México



Inmerso en la densa vegetación de la huasteca potosina se localiza este abismo natural con una profundidad de 512 m, 60 m de diámetro y 376 m de caída vertical, por ello considerado uno de los más grandes e impresionantes del mundo y que ocupa el segundo puesto la República Mexicana. El sótano se encuentra a 56 km. de Ciudad Valles, en el municipio de Aquismón, San Luis Potosí.





Descubierto gracias a unos espeleólogos texanos en el año de 1967. A partir de entonces esta gigantesca cavidad destaca por su belleza y dimensiones.

Se trata de una cueva de origen kárstico formada por la erosión del agua en una falla impermeable de una planicie de piedra caliza, y que tiene la característica de tener una abertura exterior notoriamente más estrecha que el fondo, dándole una forma general cónica. La abertura superior se encuentra a nivel del suelo.

La temperatura anual es de 24.7 °C, con una máxima absoluta de 44.0 °C y una mínima de 7.0 °C. La temperatura cálida comprende los meses de abril a septiembre y el período frío de octubre a marzo.

El tipo de vegetación predominante es el de selva mediana, la vegetación se define en el área del municipio por las siguientes especies: bosque de encino, bosque de pino, selva alta perennifolia y pastizal cultivado.

La fauna se caracteriza por las especies dominantes como: tlacuache, tejón, mapache, venado, ardilla, reptiles y abundantes aves canoras de exóticos plumajes.



En el sótano de las golondrinas han encontrado que casi todo el esponjoso suelo está cubierto de musgos, algas y distintos tipos de hongos, en cuanto a la fauna se han observado salamandras, arácnidos, culebras, etc.

El Sótano de las Golondrinas fue declarado Área Natural Protegida bajo la modalidad de Monumento Natural, con una superficie total de 285 hectáreas. Con ello, se pretende frenar cualquier acción que destruya el entorno.

A este grandioso abismo todavía lo hace más admirable los miles de seres que lo habitan, se trata de vencejos, pericos y murciélagos que anidan en las paredes interiores de la cavidad. Los lugareños llaman a los vencejos "golondrinas", y de ahí el nombre del pozo.

Estas aves día a día muy temprano, por eso de las 6:00 am salen en forma de espiral y al atardecer regresan a su singular guarida penetrando en picada y produciendo un ruido ensordecedor, van en busca de sus nidos en las majestuosas paredes de roca caliza.

Fuente: Biblioteca de investigaciones, Ciencias de la Tierra.