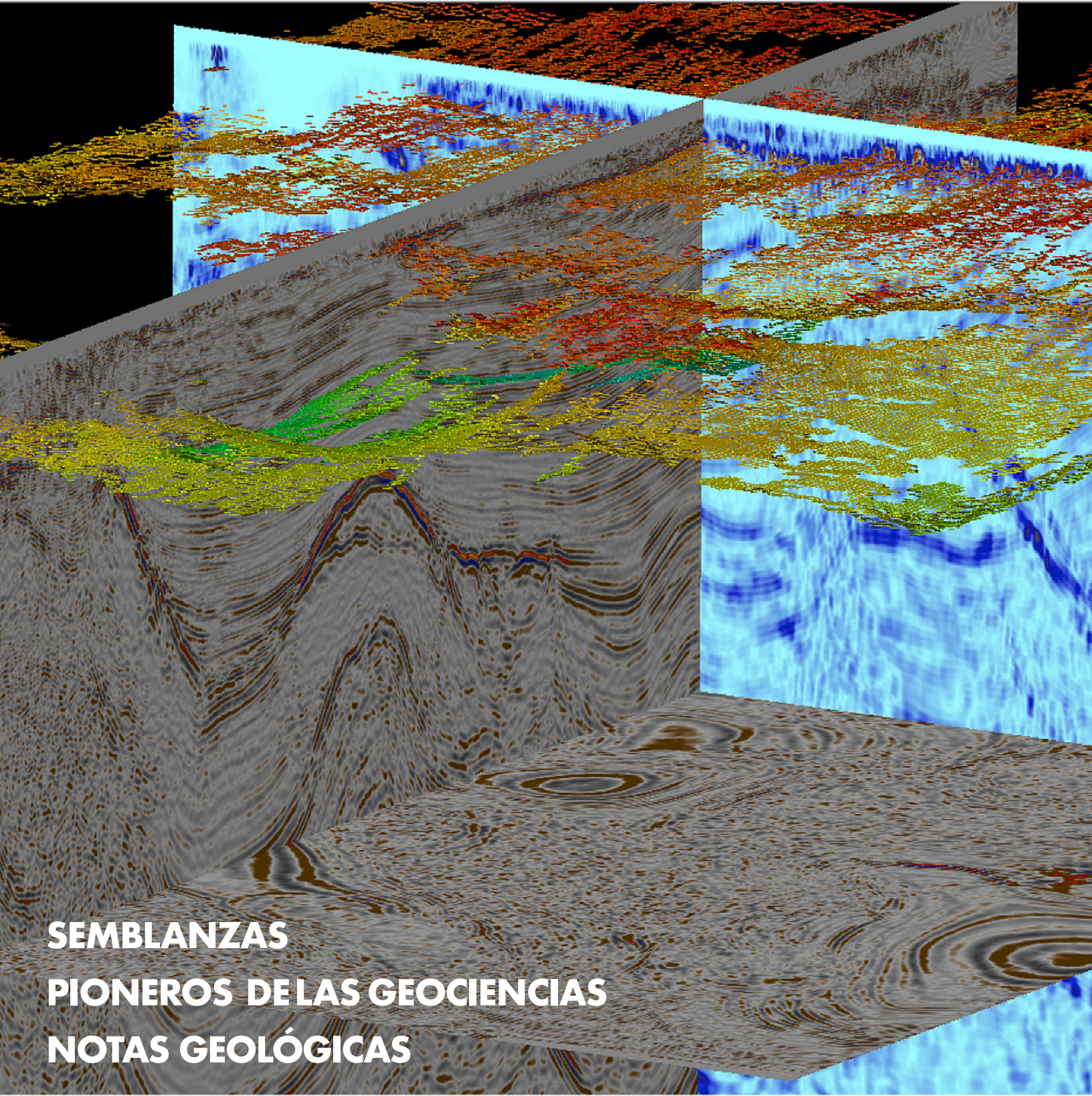


**DICIEMBRE
2021**



MAYA

REVISTA DE GEOCIENCIAS



**SEMBLANZAS
PIONEROS DE LAS GEOCIENCIAS
NOTAS GEOLÓGICAS**



MAYA

REVISTA DE GEOCIENCIAS

Revista Maya: Revista Maya de Geociencias que (RMG) nace 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 de Geociencias es incentivar a profesionales, académicos, e investigadores, a participar activamente en beneficio de nuestra comunidad joven de geociencias.

La Revista tendrá una publicación mensual, por medio de un archivo PDF, el cual será distribuido por correo electrónico y compartido en las redes sociales. Esta revista digital no tiene fines de lucro. La RMG es internacional y bilingüe. Si desean participar o contribuir con algún manuscrito, por favor comuníquense con cualquiera de los editores.

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.

**Es importante aclarar, que las opiniones científicas, comerciales, culturales, sociales etc., no son responsabilidad, ni son compartidas o rechazadas, por los editores de la revista.*

Portada de la revista: Información sísmica 3D, en donde se aprecian cuerpos salinos que contribuyen a la generación de potenciales trampas geológico-petroleras en el Golfo de México. La imagen muestra la combinación de sísmica de amplitudes y el atributo RMS. Autor: Luis Angel Valencia Flores.

Revista Maya: Revista Maya de Geociencias was originally created with the aim of supporting students and young professionals in the earth sciences, as well as the geoscience communities of the Americas.

The fundamental conception was a magazine that would cover a wide range of earth science themes with a general focus on the western hemisphere for an audience with varied experience in geology and related disciplines. The Magazine is independent and not associated with any geological society or investigative institution, although informal connections have been established with geoscientific associations around the world.

The RMG is prepared by four editors and six collaborators, all volunteers, who are responsible for the compilation, organization and presentation design of the information. It is published monthly with contributions in either Spanish and English.

The Revista is distributed by electronic mail, LinkedIn and Facebook, and plans exist for a webpage where the geoscience community can download the Revista in the future.

The Revista Maya de Geociencias (RMG) includes, among other topics, a section entitled "Geological Notes" wherein manuscripts sent by geoscientists from different parts of the world are published.

With this issue, eight numbers of the Magazine have been distributed and it has achieved wide acceptance by our readers, with a flow of contributions for future issues. Contributions and commentary for the editors are always welcome.

EDITORES



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 y

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



Bernardo García-Amador es candidato a doctor en Ciencias de la Tierra por la UNAM. Su pasión es entender las causas y consecuencias de la tectónica. Actualmente se encuentra en proceso de graduarse del doctorado, con un trabajo que versa en la evolución tectónica de Nicaragua (Centroamérica). Además imparte el

curso de tectónica en la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Recientemente Bernardo ha publicado parte de su trabajo de doctorado en las revistas Tectonics y Tectonophysics, además de ser coautor de otros artículos científicos de distintos proyectos.

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



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

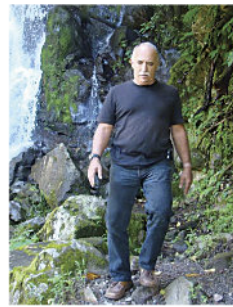
COLABORADORES



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



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



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



José Antonio Rodríguez Arteaga es un ingeniero geólogo con 31 años de experiencia en investigación de geología de terremotos y riesgo geológico, asociado o no a la sismicidad. Es especialista en sismología histórica e historia de los sismos en Venezuela, recibiendo entrenamiento profesional en Geomática Aplicada a la Zonificación de Riesgos, Bogotá, Colombia. En sus inicios profesionales y por 5 años consecutivos, fue geólogo de campo, trabajando en prospección de yacimientos minerales no- metálicos en la región centro

occidental de Venezuela. Tiene en su haber como autor, coautor o coordinador, tres libros dedicados a la catalogación sismológica del siglo XX, al pensamiento sismológico venezolano y un Atlas geológico de la región central del país, preparado de manera conjunta con la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela. Actualmente prepara un cuarto texto sobre los estudios de un inquieto naturalista alemán del siglo XIX y sus informes para los terremotos destructores en Venezuela de los años 1812, 1894 y 1900.

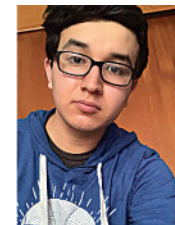
rodriguez.arteaga@gmail.com



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



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

*Nuestro agradecimiento a **Manuel Arribas**, un gran fotógrafo y excelente diseñador gráfico Español, por la creación del nuevo logotipo de la Revista Maya de Geociencias y sus indicaciones para la compaginación de la misma. <https://manuelarribas.es/>*

Instrucciones básicas para los autores

Apreciables autores, al someter su material para la publicación en la Revista Maya de Geociencias, por favor mantener los siguientes lineamientos editoriales de su manuscrito al momento de enviarlo al equipo editorial y colaboradores:

Semblanzas: 3 páginas máximo.

Notas sobre pioneros de las geociencias: 4 páginas máximo.

Los "temas de interés para la comunidad": 4 páginas máximo.

Notas geológicas: 10 páginas máximo.



Palabras de los editores y colaboradores

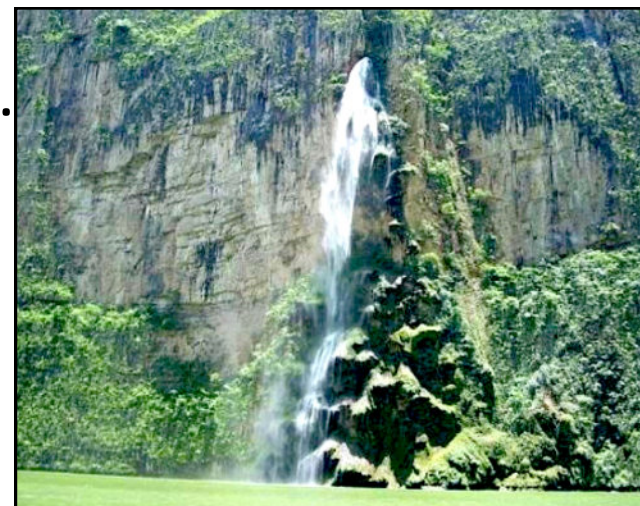
Seguimos en tiempos en que la incertidumbre está presente día con día, no obstante, el espíritu del ser humano es incansable y siempre busca sobreponerse a todas las adversidades.

El 2022 será un año mejor para todos y traerá muchas satisfacciones como recompensa del arduo trabajo y el esfuerzo de cada persona por la superación personal, en equipo y de familia.

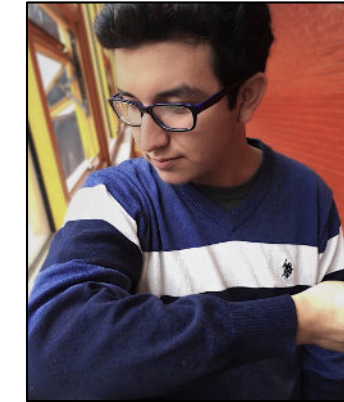
Los editores y colaboradores de la Revista Maya de Geociencias agradecemos enormemente a todos sus lectores, deseando que el próximo año esté lleno de salud, felicidad en sus hogares, buenos deseos y mucha fe en que el mundo será mejor cada día. Nosotros por lo pronto, seguiremos trabajando en la selección de temas que sean de interés para toda nuestra comunidad geocientífica.

Sinceramente, el equipo de la Revista Maya de Geociencias (RMG).

**Árbol de Navidad
en el Cañon El
Sumidero, Chiapas,
México**



Diego Gabriel Miguel Vázquez



Soy **Diego Gabriel Miguel Vázquez**, nací en Hidalgo el 3 de marzo de 1999, toda mi vida he residido en un municipio llamado Tequixquiac, el cual tuvo una gran influencia en mi decisión de estudiar Geología, ya que era una zona rural, por lo que siempre estuve en contacto con el campo, de hecho, de niño siempre me encantó ir a explorar e incluso llegaba a traer muestras que me llamaran la atención. Hidalgo también influyó mucho, ya que gracias a la cercanía que tenía con mi municipio, podía ir a visitar las minas y traerme muestras como recuerdos.

Realice mis estudios de preparatoria en la ENP 3 de la UNAM, la cual fue una etapa de muchos cambios, debido a que no conocía la ciudad, por lo que fue un nuevo mundo para mí, tuve que aprender a viajar en metro y en camión, ya que yo viajaba desde mi casa hasta la escuela (alrededor de 3 horas de viaje a diario), pero fue una etapa que me encantó, porque conocí gente extraordinaria, lugares nuevos, y profesores que abrieron mi visión del mundo, ahí descubrí que me gustaba la ciencia, gracias a materias como fisicoquímica, física, química y matemáticas, aunque también me encantaban literatura y pintura.

En mi último año de preparatoria tomé la carrera técnica de auxiliar laboratorista químico, y me ayudó a darme cuenta de a que no me quería dedicar a eso, pues me encantaba su parte de química, pero todo lo que era biología y temas de salud simplemente no me gustaban.

Al ser mi último año tenía la presión de escoger carrera, pero aún no había decidido nada, tenía varias opciones, QFB, Química, Física, Lengua y literaturas hispánicas, Artes visuales, Nanotecnología, y curiosamente entre mis opciones no estaban Geología ni Geofísica o algo relacionado a Ciencias de la Tierra, al estar en una preparatoria de la UNAM, las licenciaturas visitan a los del último año para dar informes, por lo que yo fui a las carreras que me interesaban, sin embargo, aunque me gustaban realmente, ninguna me lograba convencer del todo, por lo que decidí ir a pedir informes en todas las carreras, hasta que llegue a los de ingeniería en minas y metalurgia, la cual me llamó mucho la atención por el tema de andar en las minas, pero las que realmente me convencieron fueron ingeniería geofísica e ingeniería geológica, me encantaban los temas a los que se

dedicaban, poder tener la versatilidad de estar en campo o en un laboratorio o en gabinete me fascinaba, ya que no estaba tan limitado como en Química o Lengua y literatura hispánica, pero ahora tenía el dilema de escoger entre geofísica o geología, ¿Por qué me decidí por geología? Incluso a día de hoy no lo sé, ya que hasta la fecha hay temas de geofísica que me gustan mucho, pero creo que es lo bueno de estas carreras, que elijas una no quiere decir que no puedas aprender temas de otra, al contrario, al estar tan relacionadas siempre está la oportunidad de que un geólogo aprenda sobre geofísica y viceversa.

Mi primer año de universidad fue algo duro, ya que la carrera no era lo que esperaba debido a que solo llevaba materias de tronco común, y ahora ya no viajaba 3 horas si no alrededor de 4, junto con mi trabajo realmente terminaba agotado, y por supuesto eso se veía reflejado en mi desempeño académico.

Afortunadamente encontré un lugar más cerca de CU para vivir, y para el tercer semestre empecé a recuperarme, empecé a ya cursar materias enfocadas a geología, por lo que mi entusiasmo aumentó, sobre todo con mis primeras prácticas de campo que fueron una gran experiencia para mí, tristemente se cruzó la pandemia y ya no pude tener todas mis prácticas y laboratorios, pero a pesar de eso sigo disfrutando la carrera, las materias que más he disfrutado han sido geoquímica, mineralogía, SIG, tectónica, geología estructural, prospección geofísica, petrología ígnea y metamórfica.

Aún no tengo decidido en que enfocarme para trabajar, sin embargo, me gustaría estudiar un postgrado en un futuro, enfocado a la geología planetaria, que parece ser el nuevo boom en las ciencias de la Tierra, es un tema que he visto en distintos seminarios y un poco en diversas materias, y me encantaría aprender más sobre él, pero también estoy abierto a hacerlo en otras áreas.

Actualmente soy **Colaborador** de la Revista Maya de Geociencias, en donde llevo a cabo la compilación de tesis y artículos científicos para su publicación en la misma. También realizo la búsqueda internacional de instituciones de investigación y universidades, con la finalidad de establecer lazos de colaboración y apoyo.

Ponente: <http://areas.geofisica.unam.mx/geomag/pages.php?listado=visualizar&persona=juf>



Martes de la Academia de Ingeniería

La CEI Geofísica invita



Dr. Jaime Urrutia Fucugauchi

Laboratorio de Paleomagnetismo,
Instituto de Geofísica UNAM
Instituto de Investigación y
Estudios Avanzados Chicxulub

“Paleomagnetismo, Meteoritos, Campos Magnéticos y la Formación del Sistema Solar”

30 de noviembre de 2021 | 18:00 horas

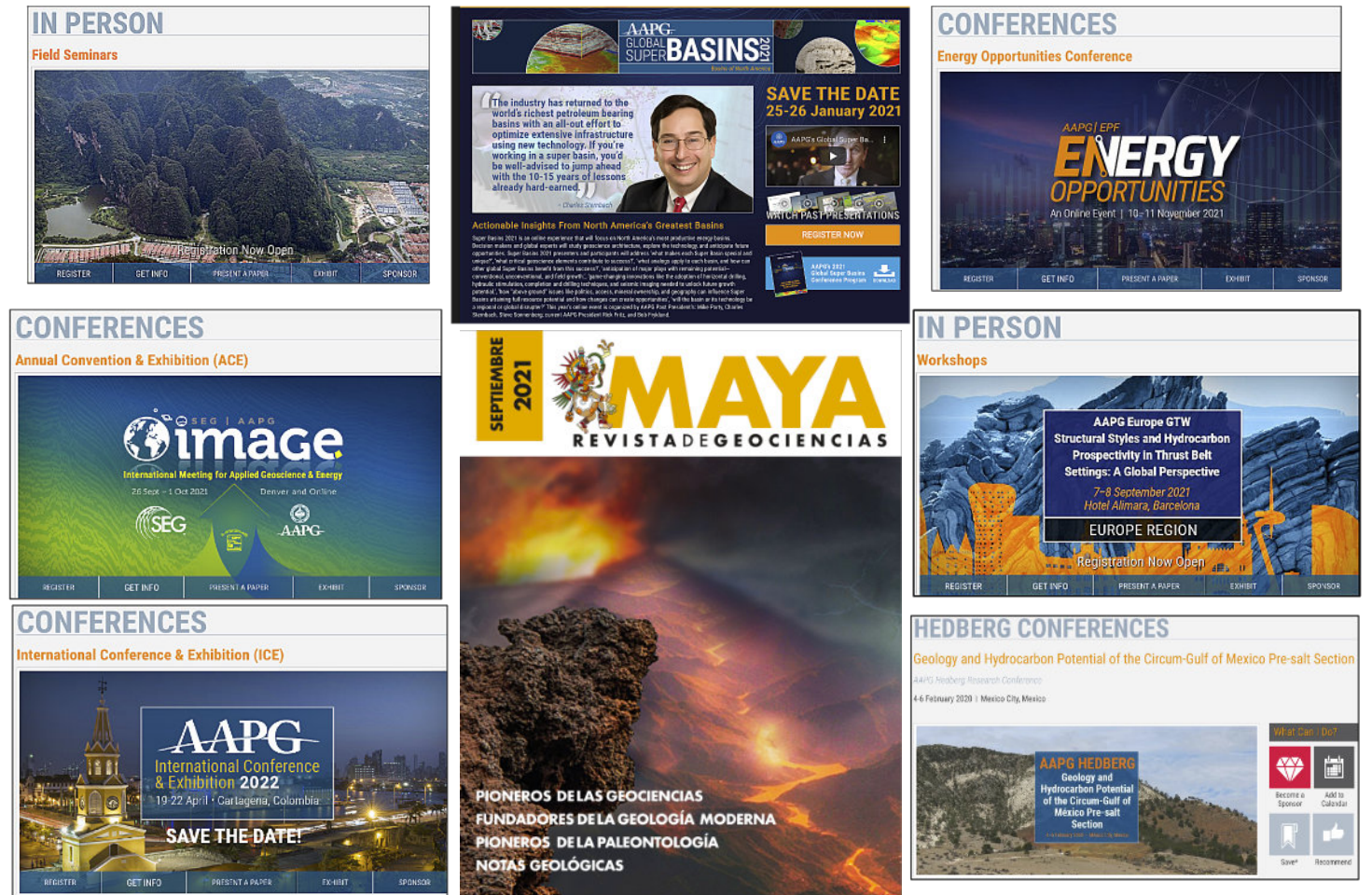
Transmisión en vivo
Síguenos en nuestras redes



ENLACES PARA VER LA CONFERENCIA

- <https://www.youtube.com/c/academiadeingenieriamexico>
- <https://www.facebook.com/MXAcademia>
- <https://mx.linkedin.com/company/academia-de-ingenieria-mexico>
- https://twitter.com/MXAcademia?ref_src=twsrc%5Egoogle%7Ctwcamp%5Eserp%7Ctwgr%5Eauthor

Lazos de colaboración y amistad con la AAPG



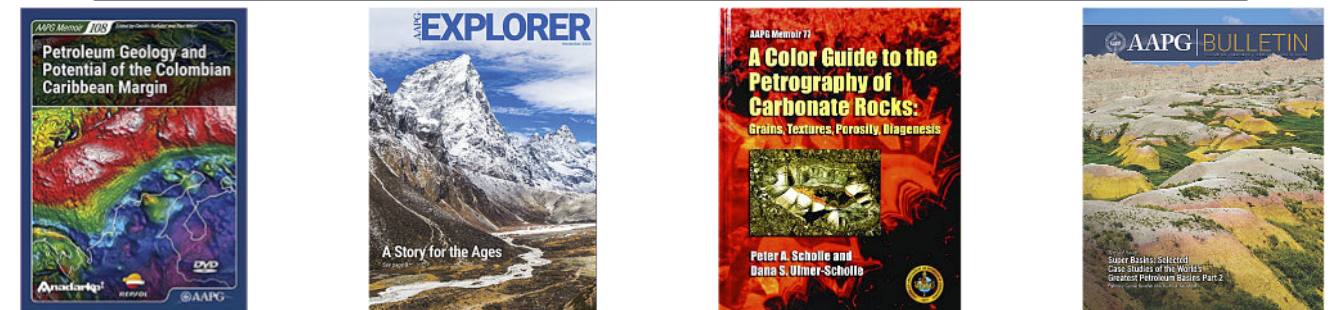
The collage features several AAPG event posters and magazine covers. Key elements include:

- IN PERSON Field Seminars:** A poster for a field seminar with a scenic landscape background.
- CONFERENCES Energy Opportunities Conference:** A poster for an online event on November 10-11, 2021.
- CONFERENCES Annual Convention & Exhibition (ACE):** A poster for the 'image' conference held from September 25 to October 1, 2021.
- CONFERENCES International Conference & Exhibition (ICE):** A poster for the AAPG International Conference & Exhibition 2022, held from April 19-22 in Cartagena, Colombia.
- CONFERENCES HEDBERG CONFERENCES:** A poster for a research conference on the geology and hydrocarbon potential of the Circum-Gulf of Mexico Pre-salt Section, held from February 4-6, 2020 in Mexico City.
- Workshops:** A poster for an AAPG Europe GTW workshop on structural styles and hydrocarbon prospectivity in thrust belts, held from September 7-8, 2021 in Barcelona.
- Magazine Covers:** Several covers of the 'MAYA' journal, including 'PIONEROS DE LAS GEOCIENCIAS' and 'A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks'.



AAPG

Advancing the World of Petroleum Geosciences



A row of four AAPG publications:

- Petroleum Geology and Potential of the Colombian Caribbean Margin:** A colorful geological map.
- EXPLORER: A Story for the Ages:** A landscape photograph of a mountain range.
- A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks:** A book cover with a microscopic view of carbonate grains.
- AAPG BULLETIN:** A landscape photograph of a desert valley.

CONTENIDO

DICIEMBRE
2021

Semblanzas.....	11
Pioneros de las Geociencias.....	17
Resúmenes de tesis y publicaciones.....	20
Los libros recomendados.....	27
Temas de interés.....	29
Fotografías de afloramientos/microscopio.....	45
Notas geológicas.....	49
Misceláneos	
Museos de historia natural.....	76
Open source scientific software.....	77
La casa de los minerales.....	78
Glosario de términos geológicos.....	79
Asociaciones geológicas hermanas.....	80
Drones para las geociencias.....	81
Caverna del arte.....	82
Biblioteca digital/Geoparque-Cuba.....	83

SEMBLANZAS

Enrique Martínez Hernández: (1942 - 2021)



Dra. Elia Ramírez-Arriaga, **Dr. Enrique Martínez Hernández** (centro), y Dr. Rodolfo Corona Esquivel (derecha).

El **Dr. Enrique Martínez Hernández** nació el 28 de mayo de 1942 en la Ciudad de México. Cursó la carrera de Biología en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), obteniendo el título de Biólogo en enero de 1970. Su tesis de licenciatura lleva por título “Estudio palinológico de las especies dominantes de la vegetación de los alrededores de la Laguna Madre, Tamaulipas”.

Dicha tesis la realizó bajo la dirección del célebre científico Dr. Agustín Ayala Castañares, en ese entonces director del Instituto de Biología de la UNAM, quien lo introdujo al extraordinario mundo de la Palinología y a la investigación científica, los que nunca abandonaría durante el resto de su vida. Siendo la Palinología el estudio del polen, esporas, dinoflagelados, acritarcas, así como de diversos palinomorfos con pared altamente resistente de esporopolenina, quitina y dinosporina, tanto actuales como fósiles, la carrera profesional del Dr. Martínez se orientaría hacia el campo de la Paleontología, y por ende, de la Geología, aunque no sería ajeno a otras disciplinas, como la Palinología forense.

Subsecuentemente a su graduación, al entonces biólogo Martínez se le presentó una oportunidad para trabajar como ayudante de investigador (*Research assistant*) en el *Southwest Center for Advanced Studies*, en Dallas, Texas, E.U.A., institución que recientemente había cambiado su nombre al de Universidad de Texas en Dallas (*UT Dallas*). Ahí se dedicó a la investigación en Palinoestratigrafía principalmente, pero incursionando en las áreas de Paleobotánica, Palinología y Evolución Vegetal.

La ocupación anterior lo motivó a realizar estudios de posgrado en la *Southern Methodist University*, con sede en Dallas, Texas, donde obtuvo el grado de Maestro bajo la tutela del Dr. James Urban. Posteriormente, su creciente entusiasmo por la investigación palinológica lo encausó a cursar el doctorado en la *Michigan State University, East Lansing*, E.U.A., con el proyecto *Palynologic analysis of paleoenvironments of deposition at the Mesa-Verde Group, CRAIG, Colorado, U.S.A.*, con especialidad en Palinoestratigrafía y ambientes sedimentarios del Cretácico, bajo la dirección del reconocido investigador Dr. Aureal T. Cross.

En el año de 1975, ya dotado de una sólida formación científica así como de suficiente experiencia, el Dr. Enrique Martínez Hernández regresó a México donde fue contratado por el Instituto de Geología de la UNAM, en el que alcanzaría el nivel de “Investigador definitivo Titular A de tiempo completo” en 1979. En esta dependencia instauró un laboratorio de Palinología en el que se dedicaría hasta sus últimos días a las labores de investigación científica, así como a la formación de recursos humanos.

Desarrollando el universo palinológico

Desde los años 70, el Dr. Enrique Martínez emprendió arduas labores de investigación, siempre acompañadas de la formación de recursos humanos. Su innovación en las diferentes ramas de la Palinología en México lo llevaron a ser un referente nacional e internacional. Tales áreas fueron:

- *Melisopalínología*: Análisis del polen contenido en la miel para conocer el origen botánico y geográfico de la misma.
- *Aeropalínología*: Examen del polen y las esporas de interés alérgico presentes en la atmósfera.
- *Palinotaxonomía*: Estudio del polen y las esporas aplicado a taxonomía y relaciones filogenéticas.
- *Palinoestratigrafía*: Identificación de palinomorfos recuperados de cuencas del Mesozoico y el Cenozoico de interés bioestratigráfico.
- *Palinología del Cuaternario*: Determinación de los palinomorfos presentes en sedimentos de cuencas del Cuaternario para establecer las condiciones paleoambientales y paleoclimáticas.

Formación de recursos humanos

Dada la generosidad de su carácter, la formación de recursos humanos fue una práctica fundamental en el quehacer académico del Dr. Enrique Martínez Hernández. En su laboratorio de Palinología formó a varias decenas de palinólogos a nivel licenciatura, maestría y doctorado. Varios de ellos se incorporaron como investigadores a importantes instituciones en México, tales como el Instituto Politécnico Nacional, la Universidad Autónoma Metropolitana, el Instituto Mexicano del Petróleo, el Instituto Nacional de Antropología e Historia y la Universidad Nacional Autónoma de México, entre otras.

En forma paralela, el Dr. Martínez asesoró a innumerables estudiantes en todas las áreas de la Palinología ya mencionadas, provenientes de instituciones tales como la Universidad de Sonora, la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, la Escuela Normal Superior de Puebla, Petróleos Mexicanos, la Benemérita Universidad de Puebla, el Instituto Mexicano del Seguro Social (en Torreón, Coahuila), la SAGARPA, la Universidad Autónoma de Querétaro y la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, por mencionar algunas.

Promotor de la investigación paleopalínológica y actuopalínológica

Entre los proyectos de investigación desarrollados por el Dr. Martínez destacan los efectuados con:

- Petróleos Mexicanos: Estudios palinológicos de pozos en la Zona Sur, en Coatzacoalcos, Veracruz.
- Consejo de Recursos Minerales (actual Servicio Geológico Mexicano): Paleopalínología de la cuenca Tubutama, Sonora.
- SAGARPA: Examen de aluviones en el área de Hermosillo, Sonora.
- Instituto Mexicano del Petróleo: Análisis palinoestratigráfico de rocas del Jurásico-Cretácico en Chiapas, y paleopalínológico del Terciario en la Cuenca Tampico-Misantla.
- CONACyT: Aspectos geológicos y paleontológicos de la zona fosilífera de Tepexi de Rodríguez, Puebla.
- CONABIO: Sistematización de la colección de polen fósil y reciente del Instituto de Geología de la UNAM.
- Instituto de Geología: Impulso a la iniciativa de creación del museo de Tepexi de Rodríguez, Puebla.
- Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT): Participación en diversos proyectos palinoestratigráficos y paleontológicos (vertebrados e invertebrados) en paleocuenas cenozoicas y mesozoicas del centro-sur de México.

Genuina vocación docente

Resulta digna de admiración en el Dr. Enrique Martínez Hernández su innata vocación docente, la que empezó a manifestar tempranamente, desde la etapa de estudiante de la licenciatura en Biología. Así, en la década de los 60, impartió clases de Biología, Zoología y Botánica en los planteles 1, 2, 3 y 5 de la Escuela Nacional Preparatoria de la UNAM. También, se desempeñó como ayudante de profesor de las materias de Botánica I, II y III, así como de Ecología Vegetal en la Facultad de Ciencias de la UNAM. En la década de los 70, condujo la materia de Biología de Campo en Paleontología.

De manera conjunta a la investigación palinológica, el Dr. Martínez complementó su vida académica desempeñándose a partir de 1980, y durante el resto de su prolífica vida, como profesor de Asignatura B definitivo en la Facultad de Ciencias de la UNAM a nivel licenciatura, impartiendo las materias de Paleontología y Paleobiología, así como en el Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM, dictando la cátedra de Temas Selectos de Palinología. Adicionalmente, impartió diversas asignaturas, entre las que destacan los cursos teórico-prácticos de Morfología Polínica y de Aplicaciones de la Palinología a estudiantes del Colegio de Posgraduados, Campus Tabasco, y de la Universidad de Cauca, Colombia.

Es importante reconocerle entre sus actividades docentes, el papel como sinodal de exámenes de licenciatura y posgrado, así como el haber sido miembro de varios comités tutoriales y comités evaluadores del Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM.

Reconocimientos a sus labores de investigación y docencia

Entre las distinciones hechas al Dr. Enrique Martínez Hernández en reconocimiento a su brillante carrera académica están las siguientes:

- Jefe del Departamento de Paleontología del Instituto de Geología de la UNAM durante el periodo 1986-1994.
- Miembro del Consejo Consultivo Interno del Instituto de Geología de la UNAM durante el periodo 1986-1994.
- Miembro de la Comisión Dictaminadora del Instituto de Biología de la UNAM durante el periodo 1992-1998.
- Representante del director del Instituto de Geología ante el Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM.
- Miembro del Consejo Interno del Instituto de Geología.
- Distinguido por la UNAM con la membresía en el PRIDE, con el nivel C.
- Designado por el CONACyT, desde 1983, como Investigador Nacional, nivel 1, en el Sistema Nacional de Investigadores.
- Honrado con el nombramiento en 2003 y 2004 de *Director-at-Large* por parte de la *American Association of Stratigraphic Palynologists (AASP)*, sociedad científica de la que fue miembro desde 1970 hasta la fecha de su sentido deceso.

Labor editorial

En relación a su labor editorial, el Dr. Martínez formó parte del Comité Editorial de la revista *Palinológica et Paleobotánica* del Consejo Consultivo de Anales (Serie Botánica) del Instituto de Biología; también, fue coeditor científico de la Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, participó como árbitro en diversas revistas nacionales y extranjeras, y fue evaluador de proyectos CONACyT.

Estimado hombre de ciencia, profesor, colega y amigo

Independientemente de los grandes logros ya mencionados, el doctor Martínez destacó por su gran sencillez y calidad humana. Su conversación franca y amena invitaba a una discusión enriquecedora, despertando en todo aquel con quien dialogaba el interés por el apasionante universo de la Palinología. Aun cuando conducía con seriedad los asuntos académicos, de difusión y de formación de recursos humanos, siempre lo hacía haciendo gala de su fino sentido del humor, tornando agradable el trabajo de estudiantes, profesores, investigadores y amigos que convivieron con él tanto en el laboratorio como durante el arduo trabajo de campo.

En síntesis, el doctor Enrique Martínez Hernández seguirá siendo admirado y recordado como un investigador y profesor exigente, comprometido de por vida con la Universidad Nacional Autónoma de México. Además de por su destacada

trayectoria científica y docente de más de 55 años, el PhD. Enrique Martínez Hernández será recordado como “*el Padre de la Palinología en México*”, debido a su participación señera en el estudio de palinomorfos recientes y fósiles.

Artículos publicados

Con relación a su producción científica, el Dr. Enrique Martínez Hernández publicó más de 80 artículos en revistas nacionales e internacionales, fue autor de tres libros y colaboró en cuatro capítulos de libro. A continuación se citan algunas contribuciones del doctor. <https://www.researchgate.net/profile/Enrique-Martinez-Hernandez>



El Dr. Enrique Martínez Hernández con Elia Ramírez-Arriaga y Rodolfo Corona-Esquivel, estos últimos autores de la presente semblanza.



El Dr. Enrique Martínez Hernández en práctica de campo con estudiantes en la localidad de Ahuehuetes, Tepexi de Rodríguez, Puebla. Año 2010.



El Dr. Enrique Martínez Hernández en la localidad de capas de yeso en Jolalpan, Puebla, obteniendo muestras de polen. Julio de 2004.

Elaborado por:

Elia Ramírez-Arriaga

Departamento de Paleontología

Instituto de Geología

Universidad Nacional Autónoma de México

Rodolfo Corona Esquivel

Museo de Geología

Instituto de Geología

Universidad Nacional Autónoma de México



El Dr. Enrique Martínez Hernández en su laboratorio de Palinología observando palinomorfos fósiles en un fotomicroscopio Zeiss. Febrero de 2019.



El Dr. Enrique Martínez Hernández efectuando trabajo de campo en un afloramiento cenozoico de Tehuacán, Puebla. Diciembre de 2016.

José Carrillo Bravo: (1928 - 2021)



Ricardo José Padilla y Sánchez
Universidad Nacional Autónoma de México

El Ing. **José Carrillo Bravo** nació en Zapotitlán Salinas, Puebla, en donde realizó su instrucción primaria y secundaria para después mudarse a la Ciudad de México y continuar su preparación en la Escuela Vocacional del Instituto Politécnico Nacional. Sus aspiraciones lo llevaron a elegir su futura profesión dentro del recién inaugurado campo de la Geología, en donde obtuvo con honores en 1951 el título de Ingeniero Geólogo de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura.

A partir de entonces, Don José, como le llamábamos cariñosamente sus amigos, se dedicó a trabajar arduamente en su profesión, pero, sobre todo, a aportar nuevas ideas e interpretaciones sobre la compleja geología mexicana como Ingeniero Geólogo contratado por Petróleos Mexicanos en 1952, empresa en donde laboró hasta su jubilación en 1989. A su ingreso trabajó un año en actividades de Geología del Subsuelo y fue ascendido a jefe de Brigada de Geología Superficial en 1953, puesto que ocupó hasta 1962, cuando fue nombrado jefe del Departamento de Geología Superficial de la Zona Norte hasta 1969. En 1970 fue designado jefe de Geólogos de la Zona Norte (1970-1972). Sus últimos años de trabajo en Pemex se desempeñó como Gerente de Exploración en la Subdirección de Producción Primaria.

Don José fue único en muchos aspectos. En aquel tiempo, las primeras generaciones de Ingenieros Geólogos se enfrentaron a la expropiación petrolera con la responsabilidad de encontrar nuevos yacimientos, además de apoyar a la explotación de los ya existentes. En esa época era muy difícil que consiguieran permiso de las dependencias oficiales para publicar sus resultados, mismos que se conservaban en los archivos de Pemex como reportes internos. Pero Don José fue uno de los pocos Ingenieros Geólogos de Pemex que logró publicar y dar difusión a las interpretaciones de sus trabajos de campo.

Entre sus numerosas aportaciones destaca la descripción detallada de la estratigrafía del Paleozoico del Cañón de Caballeros y Peregrina, en donde identificó por primera vez el Silúrico. Fue el primero en acreditar y fechar los lechos rojos continentales del Triásico y Jurásico en la Planicie Costera del Golfo, así como también en postular y comprobar la existencia de la Plataforma de Valles – San Luis Potosí, los Cañones Terciarios de la costa del Golfo de México y la Cuenca Mesozoica del Centro de México.

Adicionalmente se dio tiempo para incursionar en la docencia impartiendo la clase de Geología de México en la Facultad de Ingeniería de la UNAM durante 4 años y 27 años como profesor en el Instituto Politécnico Nacional. En esas instituciones asesoró y/o dirigió más de setenta tesis profesionales de la carrera de Ingeniero Geólogo.

Su actividad gremial lo llevó a ocupar las presidencias de la Sociedad Geológica Mexicana durante el bienio 1983-1984, y de la Comisión de Especialidad de Ingeniería Geológica de la Academia Mexicana de Ingeniería durante el bienio 1995-1997.

Por sus contribuciones al conocimiento de la Geología de México fue nombrado Miembro de Honor de la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) (1976), Académico de Honor de la Academia Mexicana de Ingeniería (21 de marzo del 2013) y designado por el Gobierno del Estado de Puebla como Personaje Ilustre de Zapotitlán Salinas.

También fue reconocido con los siguientes premios: Premio Nacional de Ingeniería Geológica y Petrolera (1982) y Premio al Servicio Distinguido de la Asociación Americana de Geólogos del Petróleo (AAPG).

Recomendación final de Don José en su discurso sobre la ingeniería y la ética profesional:

El ingeniero haciendo uso de su libertad y de su autonomía debe forjar su propio valor como persona y nunca encerrarse en los límites estrechos del egoísmo y de los valores materiales ya que esto equivale a mutilar la capacidad que tiene el ser humano de lanzarse a la conquista de los grandes valores.

Algunas Referencias

- Carrillo Bravo., J., 1959, Notas sobre el Paleozoico de la Región de Ciudad Victoria, Tamps.: Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol., v. 11, p. 671-680.
- Carrillo Bravo., J., 1961, Geología del Anticlinorio Huizachal - Peregrina al N-W de Cd. Victoria, Tamps.: Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol., v. 13, 98 p.
- Carrillo Bravo., J., 1965, Estudio geológico de una Parte del Anticlinorio de Huayacocotla: Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol., v. 17, p. 73-96
- Pantoja Alor, Jerjes y Carrillo Bravo., J., 1966, Bosquejo geológico de la región de Santiago-San José del Cabo, Baja California: Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol., v. 18
- Carrillo Bravo., J., 1971, La Plataforma Valles-San Luis Potosí: Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol., v.23, Nos. 1-6, 102 p.
- Carrillo Bravo, J., 1980, Paleocañones Terciarios de la Planicie Costera del Golfo de Mexico: Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol., v.32, No. 1, p. 17-55
- Carrillo-Bravo, J., 1982, Exploración Petrolera de la Cuenca Mesozoica del Centro de México: Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol., 34, 21-46.
- Carrillo Bravo, José, 1984, La Ingeniería y la ética profesional: Simposio de la Tectónica de la Mixteca: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, V. 45, Nos. 1 y 2, p. 117-120, <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM1984v45n1a10>



PIONEROS DE LAS GEOCIENCIAS

Karl Theodor Sapper: (1866 - 1945)

Karl Theodor Sapper, nació el 6 de febrero de 1866 en Wittislingen, Baviera, Alemania; creció en el ambiente geográfico de la montaña del Jura, sierra pintoresca con sus riscos y peñascos calcáreos, en los cuales un sinnúmero de fósiles llama la atención, cadena de montañas desde cuyas cumbres se desarrolla un vista extensa a través de la altiplanicie de la Suabia hasta los Alpes con sus picos nevados; región que despierta la afición a la belleza de la naturaleza y emprender viajes para conectar con el entorno, aspectos que motivaron desde muy joven a Carlos.

Carlos como le llamaremos en el siguiente viaje por su vida, fue geólogo, topógrafo y etnógrafo en sus primeros años de visita por América.

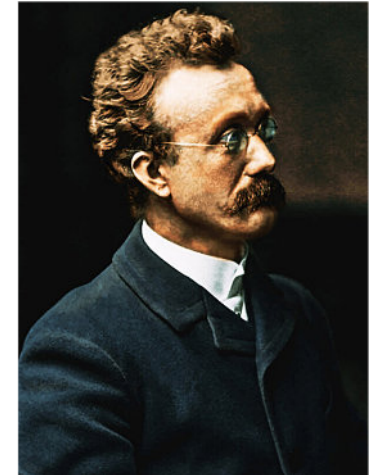
La razón principal de la migración y primer viaje a América y especialmente a Guatemala se debió a la invitación de su hermano, Ricardo Sapper, quien residía en Cobán, Alta Verapaz desde 1884, y el objetivo del viaje, se enfocaba en mejorar su salud.

Su débil salud lo acompañaba desde muy pequeño, y diversos procesos le enseñaron que las caminatas y el clima templado del trópico podrían ayudarle a mejorar o mantenerle estable.

Hacia 1888 Carlos no solo se graduaba de doctor en ciencias de la Tierra de la Universidad de Munich, sino que además emprendía su primer viaje hacia el continente americano.

“Acepté una invitación a este hermoso país con tanta facilidad que el conocimiento de esa área aún era muy pequeño, y por lo tanto, parecía ofrecerme un campo de trabajo muy productivo, [...] comencé a llevar a cabo estudios geológicos, topográficos y etnográficos en el área alrededor de Cobán, mi base, y gradualmente lo extendí a cada vez más áreas”

Pero para lograr la hazaña de extender y realizar todos los aportes a su gusto, necesitaba fondos, razón por la cual tomó un puesto como agrimensor (antiguamente, la rama de la topografía destinada a la delimitación de superficies)



en las fincas, trabajos que lo condujeron a la tierra caliente de la Alta Verapaz del norte, área que por aquel entonces apenas abría sus puertas al comercio.

Paralelo a esto, Carlos comenzó por mejorar el idioma del país y además emprendía el viaje por aprender el idioma kekchí; además de la geología y topografía del área, llamó su atención las costumbres de los indígenas y según se menciona, reconoció la importancia de investigarlos, observando no solo su estructura social resultado de las épocas anteriores (Época Prehispánica y Colonial respectivamente) sino además estudiar su vida espiritual, mezcla de paganismo y cristianismo, que a pesar del progreso aún se mantenía latente para aquellos años.

Finalmente contó con el capital suficiente para emprender su primer viaje por Guatemala, el cual comenzó en la segunda mitad del invierno del año 1889.

Para realizar el mismo decidió hacerlo utilizando la técnica que mejor conocía: a pie y con poco equipaje; al mismo le sumó 3 compañeros kekchíes, quienes además de cargadores (cada uno equipado con 99 – 110 libras extras) escogidos entre los colonos de las fincas de su hermano Ricardo se convirtieron en sus compañeros perpetuos de andanzas; estos tres individuos no solo soportaron sus días buenos y malos sino que juntos sufrieron las inclemencias del ambiente, sed y hambre. Carlos siempre les recordó con gratitud y cariño.

Karl Sapper sostenía que los Kekchí y los Choles tenían mucho en común, les dejamos el siguiente párrafo como un adelanto de las cartas que vendrán próximamente. En uno de sus viajes, cita la sorpresa de los kekchies al llegar a una aldea en Tabasco:

... cuando mis cargadores kekchí entraron en la primera aldea chol en Tabasco —muy lejos de sus lugares de residencia— y se quedaron con la boca abierta y con exclamaciones de sorpresa. Sin esperar que yo les iba a preguntar al respecto, me comentaron que las mujeres de este lugar se parecían completamente a las de Lanquín. De hecho no solamente se parecen en su tipo somático, sino también en su atuendo; igualmente hay un patrón de tejido del traje masculino que es muy parecido al de ellos, así como la construcción de las casas y los productos de alfarería (Sapper 123-124).

Referencias:

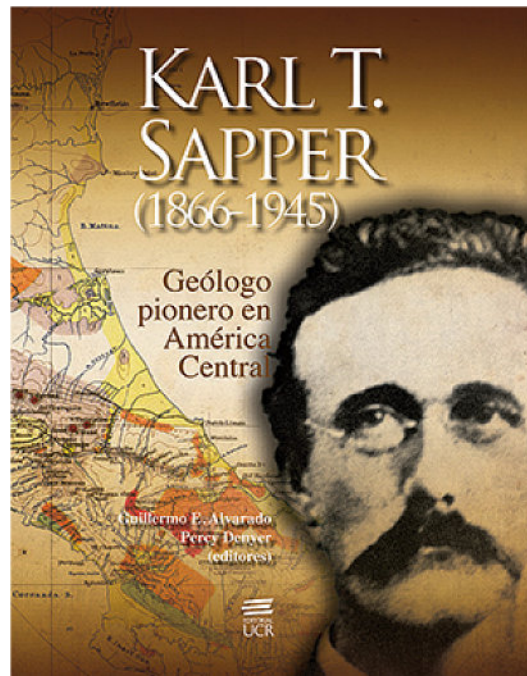
Franz Termer

1966 Carlos Sapper, Explorador de Centro América en Revista Conservadora del Pensamiento Centroamericano, Vol. 14 – No. 69, segunda época, junio 1966. Editorial Alemana, Managua, Nicaragua. Digitalizado por: Fundación Enrique Bolaños

Karl Sapper

1888 – 1895 Das Nördliche Mittel-Amerika Nebst Einem Ausflug Nach Dem Hochland Von Anahuac. Reisen Und Studien Aus Den Jahren 1888 – 1895 Von Dr. Carl Sapper. Braunschweig, Druck Und Verlag Von Friedrich Vieweg Und Sohn.

Fuente: *. Adaptaciones y modificaciones de los textos originales son del equipo de Verapaseando: <https://verapaseando.com/>



KARL T. SAPPER (1866-1945). GEÓLOGO PIONERO EN AMÉRICA CENTRAL (PASTA SUAVE)

Formato digital disponible: [ePub](#)

Autores(as): ALVARADO INDUNI, GUILLERMO-DENYER CHAVARRÍA, PERCY (EDITORES)

Edición: 1.a ed. 2012

Medidas: 20,32 cm x 26,04 cm

Páginas: 232 pp.

ISBN: 9789968463119

Resumen: Por primera vez accesible a todo tipo de público, se presenta la traducción de una de las obras más completas del afamado geólogo, vulcanólogo, geógrafo, lingüista y etnólogo, el Dr. Karl Sapper (1866-1945), así como una transcripción de su biografía y bibliografía.

<http://www.editorial.ucr.ac.cr/geografia/item/2002-karl-t-sapper-1866-1945-geologo-pionero-en-america-central-pasta-suave.html>

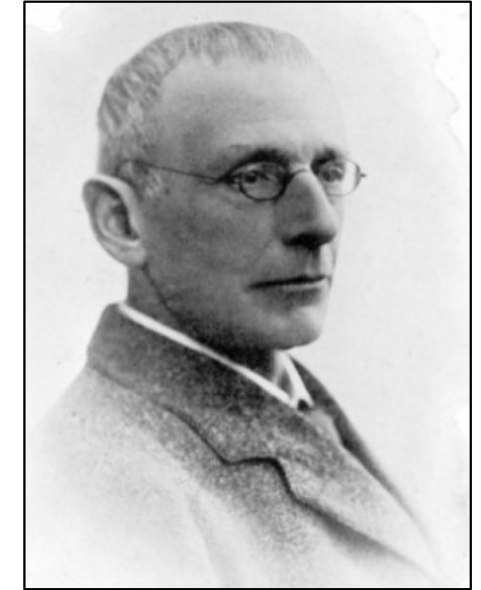
Edward Greenly: (1861-1951)

Edward Greenly is best remembered for his geological survey of Anglesey, to which he devoted nearly 25 years of his life. Edward Greenly's crowning achievement was the completion of a detailed geological survey of Anglesey. The Geology of Anglesey was published in two volumes in 1919, followed by the one-inch geological map in 1920. Although aspects of the work have been revised during the succeeding decades, it remains an internationally renowned classic.

In mapping Anglesey Greenly made extensive use of tectonic ideas developed during earlier fieldwork he had carried out in the Scottish Highlands. He was faced with three main problems: poor rock exposure, especially in critical inland areas; the presence of patchy cover rocks often obscuring the older Precambrian basement; and the presence of tectonic breaks such as faults and shear zones which often hampered correlation between the different rock units. Greenly's wife Annie (née Barnard), who shared his interests both in geology and theology, played a crucial role in producing the index to the Anglesey memoir.

Greenly was born in Bristol and educated at Clifton College. He studied at University College London before joining the Geological Survey in 1889. Initially he was sent to survey in the North-west Highlands of Scotland. He became a close friend and colleague of Ben Peach, whose investigations had been instrumental in unravelling the complex structure of Scotland (including the identification and significance of the Moine Thrust). Greenly resigned from the Survey in 1895 to begin his self-imposed survey of Anglesey.

In recognition of his major contributions to geology, Edward Greenly was made an honorary member of the Geological Societies of both Edinburgh and Liverpool, and



of the Anglesey Antiquarian Society. He was awarded the prestigious Lyell Medal by the Geological Society in 1920, the medal of the Liverpool Geological Society in 1933, and an honorary doctorate by the University of Wales in 1920.

With Howel Williams, Greenly published Methods of Geological Surveying in 1930 and his autobiography A Hand through Time: Memories Romantic and Geological appeared in 1938. He died in Bangor and, appropriately, is buried in Llangristiolus churchyard on Anglesey. His grave has been registered as a Regionally Important Geodiversity Site (RIGS).

Source: <http://angleseynature.co.uk/Greenly.html>

Greenly's geological map of Anglesey: <https://www.geolsoc.org.uk/Geoscientist/Archive/April-2010/Greenlys-geological-map-of-Anglesey>

PUBLICACIONES

**TESIS &
RESÚMENES**

Rosa Itzel Gallegos Meza
Petrogénesis del anillo de toba Xico,
en el Estado de México

Instituto Politécnico Nacional. Tesis para obtener grado de: Maestro en Ciencias - 2018

Asesora: **Dra. Julie Roberge**

Resumen.

La Faja Volcánica Trans-Mexicana (FVTM), cuenta con ~8000 estructuras volcánicas, entre ellas volcanes monogenéticos, estratovolcanes, calderas, domos etc. que reflejan la diversidad tanto en la composición de los magmas como en el estilo eruptivo. Actualmente la atención científica está enfocada en los volcanes Popocatepetl y Colima debido a su intensa actividad eruptiva. Sin embargo, los volcanes monogenéticos son los más comunes en la Tierra, y sus génesis aun presentan un misterio. Esta investigación se enfocó en la petrogénesis del volcán de Xico (del náhuatl xictli "ombligo"), localizado en el municipio de Chalco, Estado de México. Se trata de un volcán monogenético con actividad freatomagmática (actividad explosiva caracterizada por la interacción del magma/agua).

Una herramienta para poder estudiar el comportamiento eruptivo de un volcán es a través de las inclusiones magmáticas (IM). Estas son pequeñas porciones de magma silicatado atrapadas en fenocristales de origen ígneo. Tienen la capacidad de preservar la información de la composición del magma y su contenido en volátiles antes de la erupción lo que permite modelar y entender la dinámica eruptiva que dio origen a un volcán.

Se analizaron 6 depósitos de cenizas, de los cuales se obtuvieron un total de 23 inclusiones magmáticas en cristales de olivino. Cada inclusión fue analizada por espectroscopia infrarroja (FTIR) para obtener el contenido pre-eruptivo de H₂O y CO₂. También se midió los elementos mayores de cada inclusión y su cristal huésped mediante microsonda electrónica (USGS, Denver, Colorado).

El magma del Xico se caracteriza por su composición traqui-andesita-basáltica a basáltica-andesítica. El contenido pre-eruptivo de H₂O en las inclusiones del Xico varía de 0.49 a 1.79 w% mientras los contenidos S y CL varían desde 976-3971 ppm y 658 a 851 ppm, respectivamente. Mientras el agua muestra un comportamiento de desgasificación inducida por cristalización, el S y el Cl no fueron afectados por desgasificación porque tiene una solubilidad mucho mayor.

En final, se propone que el Xico se formó encima de una falla NE-SW donde durante su ascenso el magma interactuando con un acuífero a una profundidad de 400 a 500 m, creando un cráter de ~1 km de diámetro y ~100 metros de profundidad.



Figura 1.1. Entorno tectónico de la parte centro occidental de la FVTM. Algunos de los principales centros volcánicos principales como Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato (CVMG) y el Campo Volcánico Chichinautzin (CVC). Ubicación estratovolcanes como el volcán de Colima, Popocatepetl e Iztaccíhuatl, algunos volcanes monogenéticos como el volcán Jorullo el volcán Parícutín y el volcán de Xico (Ferrari, 2000; Tuena et al., 2005).

Estructura del subsuelo entre el borde sureste de la Sierra Cucapah y la falla Cerro Prieto, noreste de Baja California, a partir de sísmica de reflexión

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE)

Tesis para obtener grado de: Maestro en Ciencias: 2017

Sustentante: **Miguel Angel Mares Agüero**

Director de tesis: Dr. Mario González Escobar

Resumen.

El presente trabajo investiga la arquitectura y distribución de estructuras en el Valle de Mexicali, Baja California, México con el objetivo de mejorar el marco actual del conocimiento en un sector entre el noroeste la falla Cerro Prieto y el sureste de la sierra Cucapah.

Mediante datos sísmicos de reflexión 2D con perfiles quebrados, los cuales requieren un tratamiento especial tanto en su geometría como en su procesado, se obtienen imágenes del subsuelo. Estas imágenes sugieren la existencia de fallas desconocidas como La Puerta y Sonora, también la confirmación de estructuras inferidas como es el caso de la falla Nayarit. La geometría de fallas a menudo es pobremente delimitada debido a su ubicación o que se encuentran sepultadas por sedimentos, lo cual proporciona restricciones importantes con respecto a su interacción y no dejan comprender los peligros actuales que representan para la región. La falla Cerro Prieto está presente en el trazo de los perfiles sísmicos, por lo que estos datos proveen comprensión de la arquitectura de esta falla en el borde del pull – a – part de Cerro Prieto. Finalmente, esta tesis investiga sismo-reflectores, incluido el basamento acústico y características de la subsidencia, donde se puede apreciar la forma incipiente del levantamiento de una cordillera.

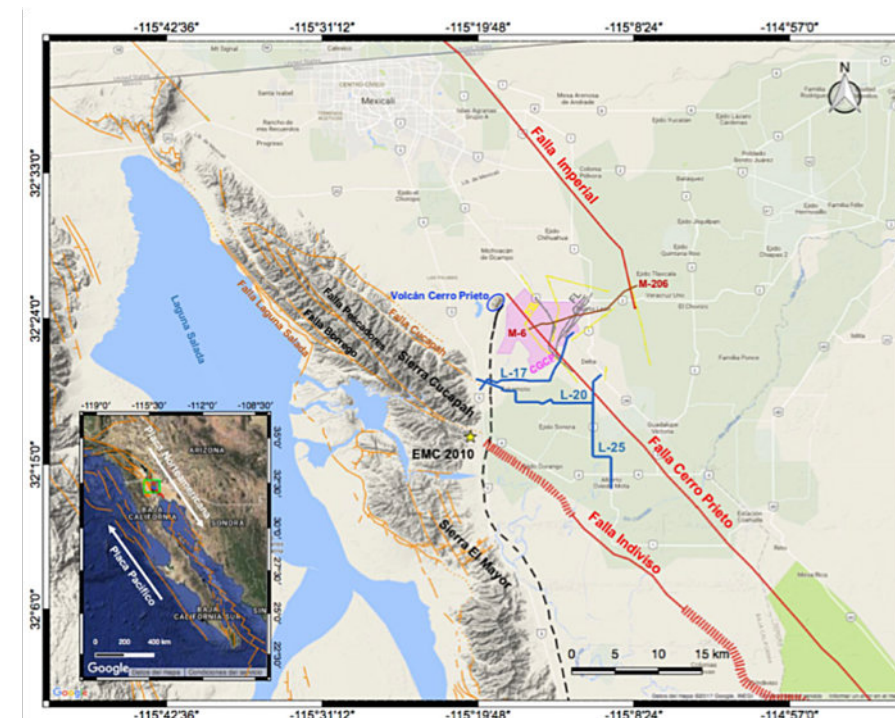


Figura 1.1. Área de Estudio al sur del CGCP en el Valle de Mexicali. L-17, L-20, L-25 perfiles quebrados de sísmica de reflexión colectados por PEMEX. FB (amarillo): Fallas a nivel de Basamento (Lira, 2005), FL (gris): Fallas a Nivel Lutita reportadas por CFE. M-6 y M-206: Pozos en los extremos de la sección geológica (línea guinda) de Lira (2005) que se muestra en la [Figura 2]. Línea negra discontinua es una estructura de acomodamiento (Armstrong et al., 2010). EMC 2010 (estrella): Epicentro sismo del 4 de abril de 2010 Mw 7.2. CGCP (sombra rosa): campo geotérmico Cerro Prieto, propiedad de CFE. En rojo las fallas regionales principales. En naranja, fallas en la vecindad de la región (Fletcher et al., 2014)

Estudio geofísico para la prospección de fuentes alternativas de agua libre de arsénico en el área de Cerrito Blanco, Matehuala, SLP

Instituto Potosino De Investigación Científica Y Tecnológica, A. C.

Tesis para obtener grado de: Maestría en Geociencias Aplicadas - Agosto 2019

Sustentante: **Karla de Jesús Pérez Hernández**

Directores de tesis: Dr. Omar Delgado Rodríguez y Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas

Resumen.

En la única concesión de agua otorgada al ejido de Cerrito Blanco para fines agrícolas se ha reportado consistentemente contaminación con arsénico. Por tal motivo, en esta tesis se realizó una exploración geo-eléctrica al sur de Cerrito Blanco en busca de agua subterránea libre de arsénico que pudiera servir de fuente alternativa de agua a dicha comunidad. Para dicho efecto, el objetivo de este estudio fue explorar y modelar mediante Tomografía Eléctrica Resistiva (TRE), Magnetometría Área y Terrestre, así como Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) la zona acuífera al sur de Cerrito Blanco, Matehuala, SLP., para ubicar zonas prospectivas de perforación de pozos y excavación de norias. Los resultados de este trabajo permitieron modelar que, de manera local, el acuífero regional, previamente reportado por CONAGUA e INEGI, en un material aluvial constituido de limo-grava y conglomerado entre el estrato superficial de yesos y la Formación carbonatada El Abra, tiene un techo a una profundidad variable entre 7 m y 30 m y un espesor variable entre 100 y 250 m que pudiera servir de fuente alternativa. Los resultados de este estudio nos permitieron proponer los sitios prospectivos

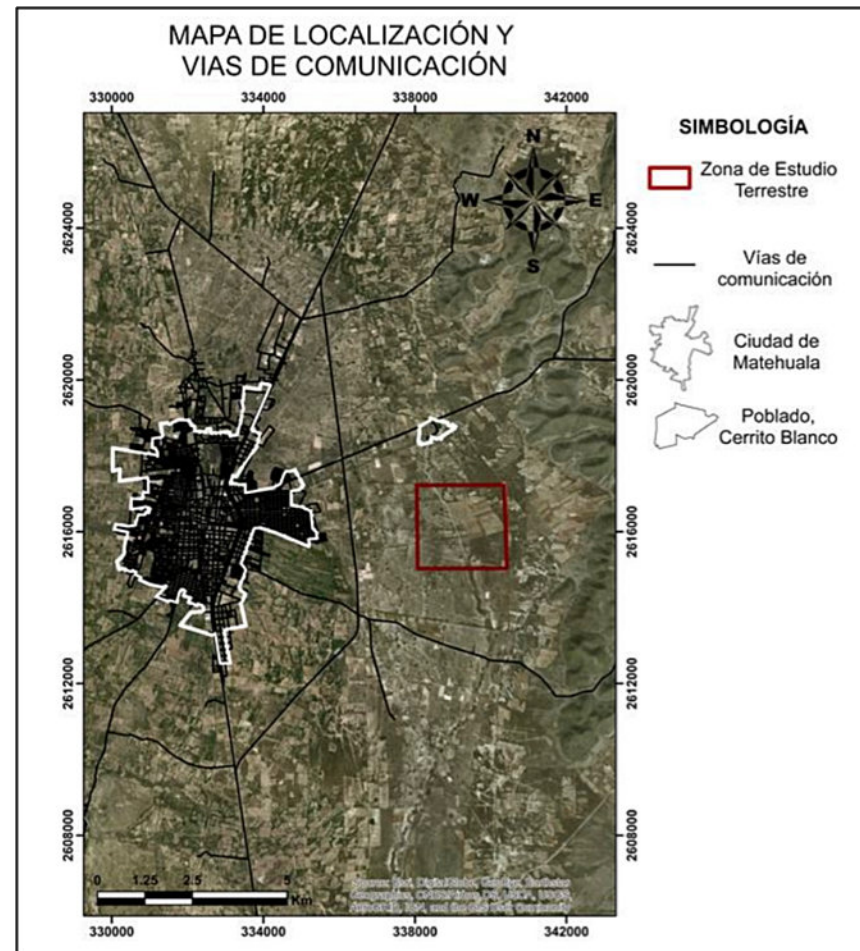


Figura 1.1. Ubicación de la zona de estudio y vías de comunicación, en el valle de Matehuala, San Luis Potosí.

Cenozoic structural deformation between the southern Lamprea fold-belt and Salina del Bravo salt province by interacting salt and shale detachments, western Gulf of Mexico

Jack J. Kenning, Paul Mann

Department of Earth and Atmospheric Sciences, University of Houston, 3507 Cullen Blvd., Houston, TX, USA

ABSTRACT

The Lamprea fold-belt is a 300 km-long, 20-60 km-wide, deep-water, passive margin fold-belt located southeast of the Salina del Bravo salt province and trending parallel to the eastern continental margin of Mexico. The Lamprea fold-belt detaches along Eocene shale layers to form a compressional toe of the gravitationally-driven system that forms a transitional domain between the salt province to the north and the shale-detached Mexican Ridges fold-belt to the south. Area-depth strain measurements performed for ten characteristic folds across two regional seismic profiles through the Lamprea fold-belt provide insight into its timing of deformation, depth to detachment, and controls on the pre-growth and syn-growth sedimentary deposits. Miocene-age deformation across the Lamprea fold-belt coincides with a phase of renewed salt canopy emplacement driven by ongoing updip sediment loading and extensional deformation west of the Salina del Bravo salt province. These results are consistent with early Miocene fold growth onset controlled primarily by the advancing salt canopy and only minor influence from underlying autochthonous salt. The timing of trap formation, tectonic interaction of SALT bodies with shale structures, and the mechanisms for fold-belt formation all control hydrocarbon migration from deep Mesozoic source intervals into overlying Oligocene fold-belt reservoirs.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0191814121001826?via%3Dihub>

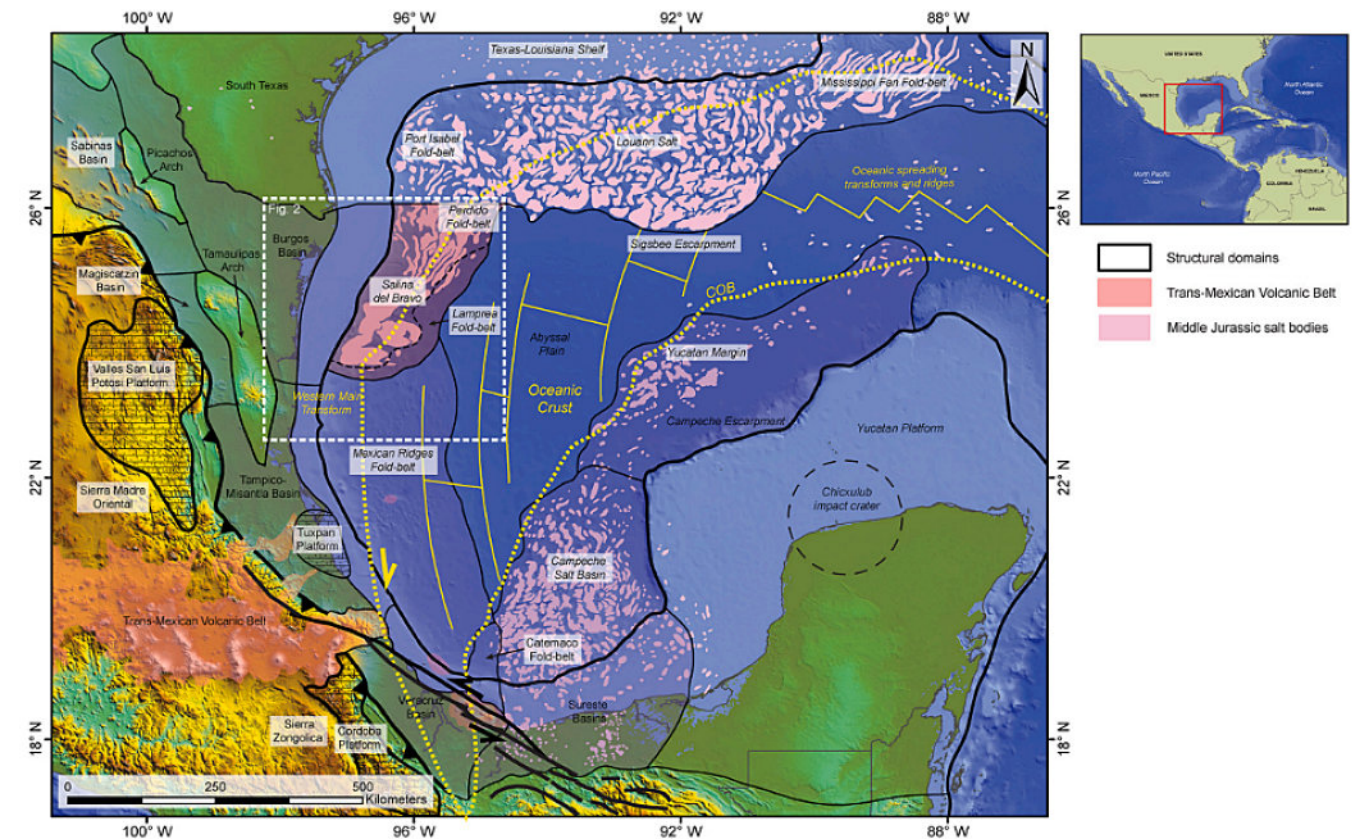


Fig. 1. - Regional map of the western and central Gulf of Mexico showing the offshore location of the Salina del Bravo fold-belt and its adjacent and distal Lamprea fold-belt. The transform-dominated, continental margin of western Gulf of Mexico exhibits a steep and narrow continental slope with part of the Salina del Bravo salt canopy and Lamprea fold-belt extruding over late Jurassic oceanic crust underlying the deep-water area. Structural and tectonic elements are modified from Garcia-Palomo et al. (2004); Andreani et al. (2008); Ferrari et al. (2012); CNH (2015); Nguyen and Mann (2016); Yarbuh and Contreras (2017), and Kenning and Mann (2020).

Evolución del relieve en los ríos Ameca y Santiago, sector norte del bloque Jalisco, México

Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis que para optar por el grado de: Doctor en Ciencias de la Tierra -2021

Sustentante: **Arturo Godínez Tamay**

Tutor: Dr. Miguel E. Castillo Rodríguez (Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, UNAM)

Resumen.

La actividad tectónica extensional del Oligoceno-Mioceno en la Sierra Madre Occidental, el emplazamiento del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano en el Plio-Cuaternario, y la actividad tectónica actual en los márgenes del Bloque Jalisco han controlado el desarrollo de la topografía del sector centro-occidental de México. En esta investigación se realizaron diversos análisis morfométricos con la finalidad de (1) detectar las zonas más erosivas y controladas por la tectónica actual (2) conocer la propagación de la respuesta erosiva del relieve derivada de los controles mencionados e (3) identificar los eventos que han configurado el patrón erosivo actual. Los análisis de relieve por medio de morfometría corroboran que las porciones consideradas activas tienen ríos más incisionales, tales como los ríos Ameca, Santiago, y los transectos meridionales de los ríos de la Sierra Madre Occidental. La posible preservación del paleorelieve del Oligoceno-Mioceno en la Sierra Madre Occidental y desde el Plioceno para el Cinturón Volcánico Trans Mexicano se analizó con el uso de perfiles longitudinales de los ríos, en los cuales las inexistencias significativas en las variaciones de elevación y en la edad estimada de los marcadores del paleorelieve, o knickpoints, apoyan el planteamiento de una preservación del paleorelieve por millones de años. La datación del U-Pb en zircones detríticos colectados en las cuencas de los ríos Ameca y Santiago sugieren que una antigua red fluvial del Oligoceno-Mioceno transportó materiales de la Sierra Madre Occidental a la planicie de la bahía de Banderas, esta conexión habría sido interrumpida en el Plioceno por el emplazamiento del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano, el cual es ahora la fuente de materiales que alimenta a la planicie de la bahía de Banderas junto con el bloque Jalisco. El Cinturón Volcánico Trans-Mexicano habría reorganizado y/o reposicionado las divisorias de las cuencas fluviales del centro-occidente de México, esto abre un campo de análisis en otras porciones a fin de esclarecer las consecuencias de la actividad volcánica en la reconfiguración de los sistemas fluviales y por tanto, en los patrones de erosión a nivel regional.

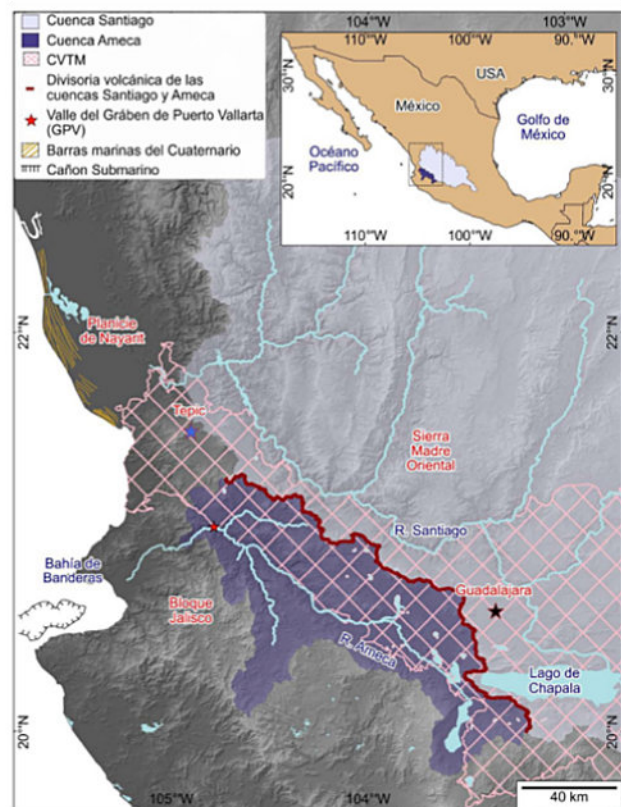


Figura 1.1. Contexto geográfico-geológico del centro-occidente de México. El empalme del CVTM durante el Plioceno (Gómez-Tuena et al., 2007; Ferrari et al., 2012) habría creado y/o reorganizado los límites de las cuencas Ameca y Santiago. Además de modificarlos patrones de erosión y acumulación del centro-occidente de México.

Update on the Paleogene water-level drawdown hypothesis, Gulf of Mexico

Stephen P. J. Cossey¹, Joshua Rosenfeld², Mark Bitter³, and James Pindell⁴

¹Cossey and Associates Inc., P.O. Box 1510, Durango, Colorado 81302, U.S.A. ²7302 Ravenswood Rd., Granbury, Texas 76049, U.S.A. ³Marbit Consulting, LLC, 14322 Spanish River Ln., Cypress, Texas 77429, U.S.A. ⁴Tectonic Analysis Ltd., Chestnut House, Dunton, West Sussex, GU28 0LH, U.K.

ABSTRACT

We provide an update on the Gulf of Mexico Paleogene water-level drawdown hypothesis by revising and augmenting the original observations to provide new grounds for the continuing assessment of this concept, which has important implications for hydrocarbon exploration. This paper assimilates information on 7 issues from a variety of sources that suggests attention should be focused on the 56 Ma sequence boundary as the most likely time of drawdown, just before the Paleocene-Eocene Thermal Maximum (PETM), rather than mid-Paleocene as was first thought. The younger timing downplays the possible association between the Paleocene “Whopper Sandstone” and drawdown, and provides the time necessary for the Cuban Arc to begin collision with the Bahamas Platform and close the Florida Straits, a necessary part of the hypothesis. We highlight data from other authors that appear to show that the fastest rate of clastic deposition for all Wilcox time was at about 56 Ma. We also focus on evidence that there may have been Paleogene evaporative conditions in the Gulf, and whether evaporites are even necessary for the viability of the hypothesis. We highlight and discuss evidence from a selection of more than 33 paleo-canyons around the Gulf rim, most of which could have been formed at ~56 Ma given current dating, and we consider the apparent formation of a Gulf-wide unconformity at this time, just before the PETM. The magnitude of the proposed drawdown is estimated from evidence along the thalweg of the Chicontepec paleo-canyon in eastern Mexico. Evidence for subaerial exposure and erosion along the margins of western Florida and northern Yucatán, including at Chicxulub, is also reviewed. Finally, the enigmatic Georgia Channel System is highlighted, and we call for detailed work to confirm if short-lived interruptions in circulation between the Gulf and the Atlantic Ocean during the Paleogene might have occurred, particularly at ~56 Ma. Another good thesis topic would be to deconstruct the last stages of the Cuban orogen and further test the required continuity of a land bridge from southern Florida to Yucatán at ~56 Ma, using comprehensive seismic and well databases in the Yucatán and Florida Straits and the western Bahamas.

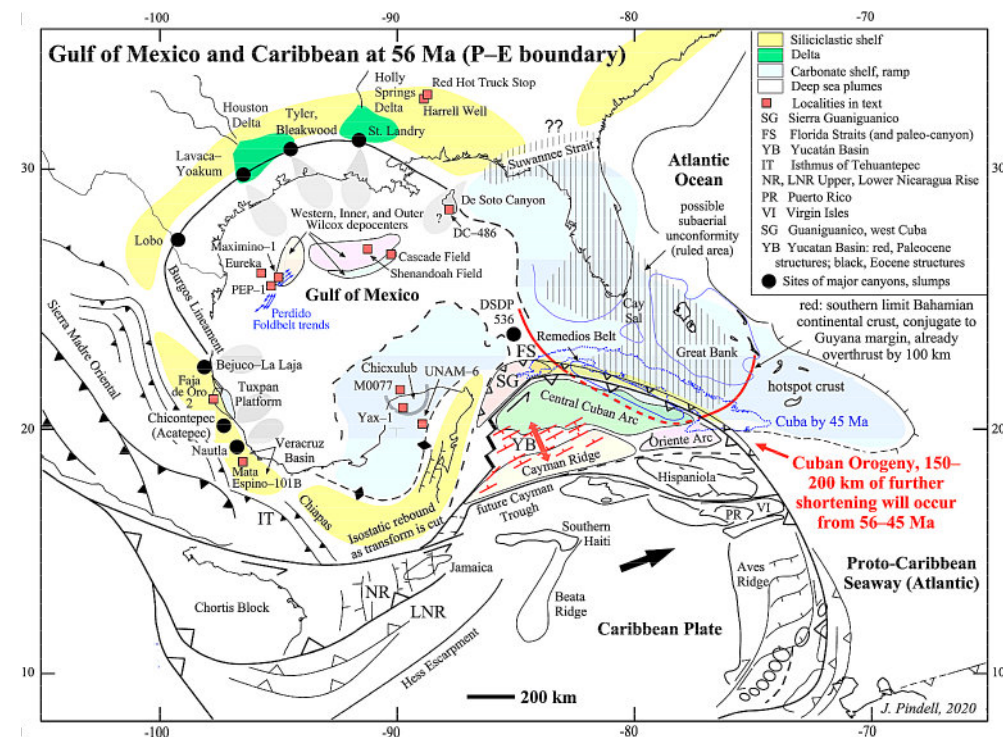


Figure 1. Gulf of Mexico and Caribbean at the 56 Ma most likely time of drawdown in the Gulf of Mexico, with localities cited in text (modified after Rosenfeld and Pindell, 2003; Rosencrantz, 1990; Pindell et al., 1988, 1998, 2005). The Cuban Arc/prism had begun obduction onto the shallow-water “Remedios Belt” defining the southern edge of the Bahamas Platform, imbricated with- in Cuban thrust sheets after 150–200 km of further shortening.

CONCLUSIONS

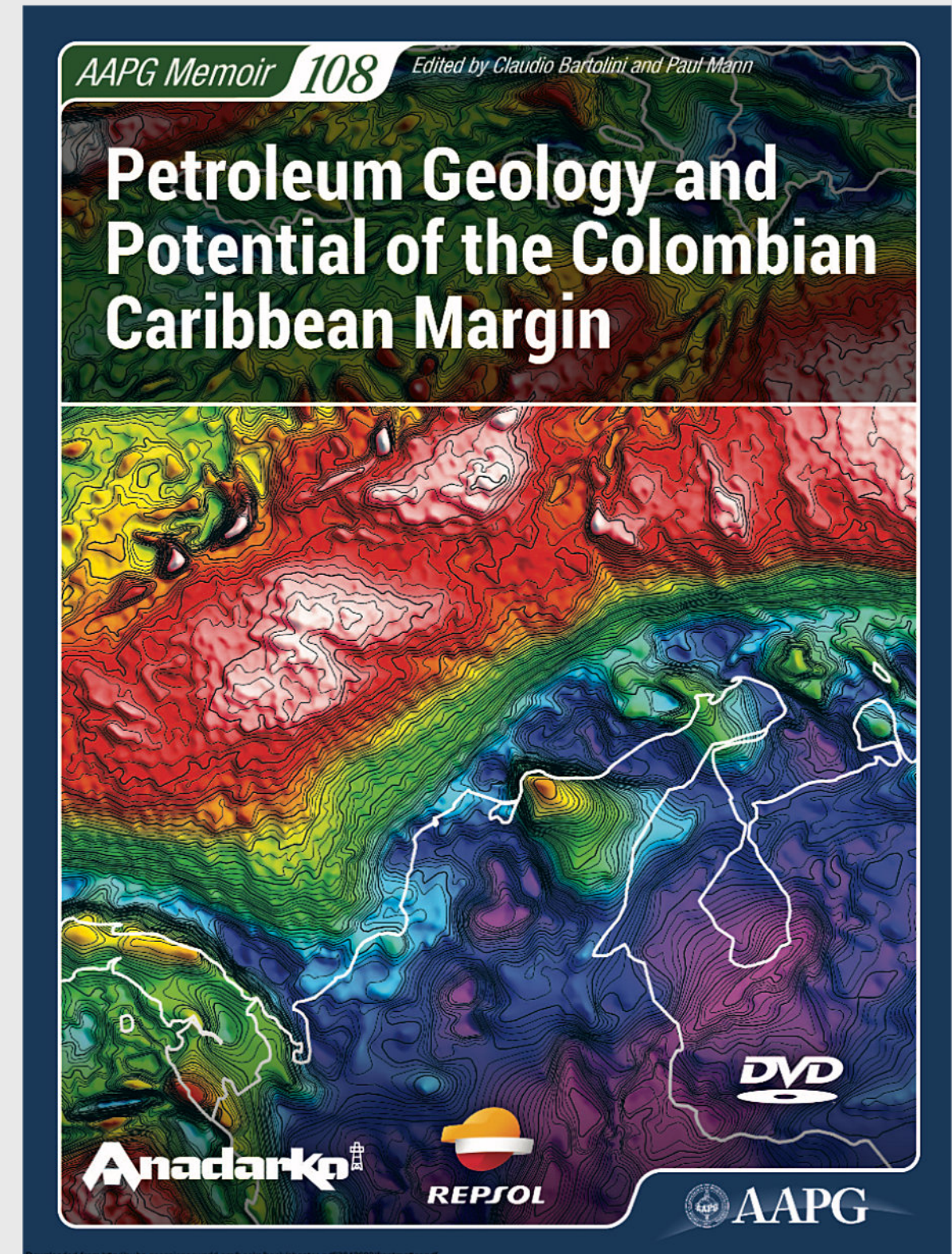
This paper summarizes the present status and new observations relevant to the Gulf of Mexico drawdown hypothesis proposed by Rosenfeld and Pindell (2003). We highlight observations that might best be explained by a drawdown, and harder to explain otherwise, such as:

- (1) reported Paleogene evaporites in a well in the Yucatán Peninsula, Mexico;
- (2) differing water salinities between the Paleocene and Eocene stratigraphy in the Gulf Basin;
- (3) at least 19 paleo-canyons around the Gulf of Mexico rim, which appear to have been formed at the same time, and the longest of which is the Chicontepec paleo-canyon with features atypical of a submarine canyon;
- (4) bitumen and paleosols preserved within upper bathyal depositional sequences in two outcrop sections in the Chicontepec Basin;
- (5) approximately 2500 m of missing (eroded) stratigraphy in the thalweg of the Chicontepec paleo-canyon of eastern Mexico;
- (6) hypogene karsting in the Chicontepec Basin formed by the expulsion of large amounts of water from the basin during the Eocene;
- (7) potential correlation of a type-1 sequence boundary at 56 Ma just before the PETM in several locations around the Gulf rim and even in deepwater wells;
- (8) clinoforms in southeastern Texas preserved 5 km basinward of the contemporaneous shelf-edge during the early Eocene;
- (9) at least a 7 m.y. hiatus in the Florida Straits where the middle Eocene overlies the Paleocene;
- (10) abundant sinkholes and the heads of steep-walled canyons with possible plunge pools at the present-day shelf edges of the western Florida and Yucatán escarpments;
- (11) a revised ~56 Ma reconstruction of the northern Proto-Caribbean that shows potential isolation of the Gulf of Mexico by the collision of the Cuban Arc with the Bahamas; and
- (12) the Upper Wilcox (Wilcox 1A and 1B) sequences in the deep Gulf contain an extremely high and disproportionate volume of sediment for their time spans.

The points above are all consistent with a short-lived (<1 m.y.) drawdown in the Gulf of Mexico on the order of 900 to 1300 m (and possibly over 2000 m) at approximately 56 Ma, far larger than any eustatic fluctuation, but not enough to promote regional evaporitic deposition. Current interpretations of the 500 km long Suwannee Channel of Georgia and northern Florida are inconsistent and do not disprove a continuous land bridge from Georgia to Florida for parts of the Paleogene. More studies with specific attention on the Paleocene-Eocene transition will hopefully resolve this issue.

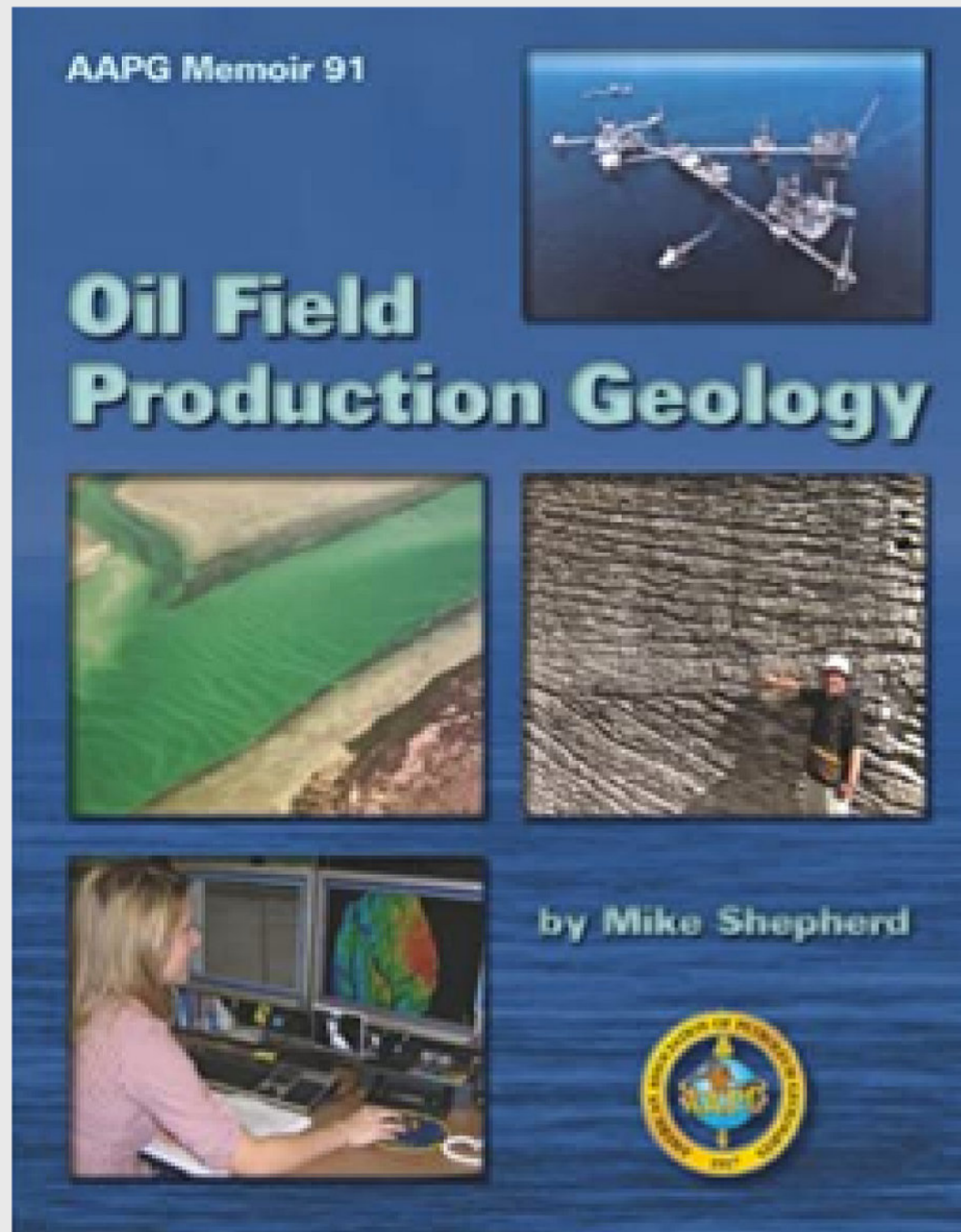
El libro recomendado

<https://store.aapg.org/detail.aspx?id=1218>



El libro recomendado

<https://store.aapg.org/detail.aspx?id=788>



TEMAS DE INTERÉS

UNA APROXIMACIÓN AL TSUNAMI DE ARICA DEL 13 DE AGOSTO DE 1868 Y SU INCIDENCIA EN VENEZUELA

Aspectos introductorios

Recientemente, el 13 de agosto de 1868 se conmemoró el 113° aniversario de la ocurrencia del tsunami o maremoto de Arica, que se constituirá en el evento natural y catastrófico de mayor fuerza destructiva luego del evento de Lisboa el cual llegó a Venezuela, presuntamente sin ocasionar daños y con una magnitud estimada de 8,2 M_w según la *data* histórica.

El tsunami de Arica arribará a las costas de Venezuela tras un largo “viaje” de 8 complicadas horas, pero lamentablemente sus reportes nacionales son muy escasos como para acometer a fondo un estudio. Recabado uno que otro texto peruano y venezolano, los hechos son los siguientes.

Del sismo de Arica a las costas de Venezuela

La ausencia de medios de comunicación provocada por los destrozos, hicieron acaso poco factible la información a punto y la recopilación documental de los daños en nor-Venezuela. Los lugares eran lejanos para llegar con tiempo noticioso, así como la densidad poblacional, con excepciones. La *data* disponible era limitada pero había nombres conocidos y muy probablemente obras en edición, cartas recogidas, una que otra crónica religiosa, o narraciones de viajeros que visitaban el Perú sin conocer lo que había ocurrido al noreste a kilómetros de distancia y estaría por catalogar.

De un grupo de textos en el que se hace presente el sismo de Arica ocurrido a las 15:30 (HLP), con una intensidad (I_0MM) equivalente al grado XI, la devastada población, además de otras ciudades cercanas como Tacna y Arica, serán pasto de la catástrofe con grandes pérdidas y fenómenos asociados a estos. El poderoso sismo tuvo un “agravante”, la generación de un tsunami el cual conmocionó al Océano Pacífico, llegando a Japón, Nueva Zelandia, Australia y las costas suramericanas, entre otros sitios.

13 de agosto de 1868, el terremoto

Se han podido recoger un nutrido grupo de efectos provenientes de Arica, escritos por historiadores, sin pretender un trabajo ni exhaustivo ni intensivo en este artículo. Recurrimos sí, a unas cuantas referencias ante la vastedad de información existente, y así, el historiador José Toribio Polo (1841-1918) señala para 1904, que: “*las observaciones macrosísmicas indicaban que el epicentro se encontraba cercano al pueblo de Arica, percibiéndose el movimiento hasta 1.400 km. al NO de Salamanco, Perú*”. “Con un área de mayor conmoción fue aproximadamente calculada en 700 km², y “Según testigos la tierra “crujía y ondulaba” siendo difícil permanecer en pie. Las estadísticas de la época señalan que a consecuencia del terremoto murieron cercanas a 180 personas en todo el sur y se observaron en el suelo aperturas de las que brotó agua cenagosa [licuación o licuefacción de suelos: americanismo regularmente empleado, tratándose del mismo fenómeno geológico que se produce ante sollicitación sísmica]. Otro informante, Ernst W. Middendorf (1830-1908), médico, antropólogo y viajero alemán en ruta por Bolivia y Perú, dedicado a recorrer y realizar estudios de variada naturaleza, de su estancia en Lima escribe: ... *estaba trabajando en mi escritorio, cuando repentinamente tuve la sensación de un vértigo, me puse de pie y creí tambalear, cuando el movimiento las cortinas en las ventanas me dio a entender que la tierra temblaba, salí apresuradamente y ví que las torres de San Agustín y Santo Domingo [dos iglesias] se movían como*

dos grandes péndulos, en amplias y largas ondulaciones, era como si toda la ciudad fuera zarandeada como una balsa sobre el agua, sin que se sintiese sacudida. (...) 5 minutos duraría debilitándose el movimiento luego de los 3 primeros.

Continúa el autor: ...se desbordó el mar. La primera ola alcanzó una altura de 12 metros y arrasó completamente el puerto, llevándose... todo lo que encontró al paso. El flujo y reflujo marino duraría unos 40 minutos y se sucedieron una serie de "correntadas" [sic]. A las 18:50 el mar irrumpió nuevamente con olas de 16 metros de altura. La tercera ola, la más violenta, invadió tierra a las 19:10 y varó la corbeta peruana "América" de 1560 toneladas, "El Wateree" y el Portón Fredonia de los EE.UU., que fueron arrojados 300 metros tierra dentro.

Cálculos recientes de inundación, empleando a doble vía: fotos aéreas e historia, señalan: 10 metros de ascenso de la ola por encima del nivel del mar; áreas de inundación hasta la actual Iglesia de San Marcos; barcos varados en los arenales, y arrastre de "El Wateree" hasta 7,4 km, de su posición original, entre otros datos.

Por su parte Polo menciona haciendo una interesante nota: ... mucho después de las 19 horas, a pesar de la mucha oscuridad se creyó percibir tres oleajes más de intensidad decreciente y que transcurrieron 26 minutos entre el máximo de altura de cada oleaje y la vaciante inmediata. Las salidas del mar arrasaron gran parte del litoral peruano, desde Pisco hasta Iquique, muriendo en Chala 30 personas.

En 2007, Elías Pizarro Pizarro, historiador y docente de la Universidad de Tarapacá, su ciudad de habitación y matriz docente, divulga 3 cartas referidas a los sucesos que ponen en ruina a Arica y compañía. No serán trascritas las mismas en razón de su extensión. No obstante todos dan cuenta de lo oído, visto y sentido en la ciudad y que irá a terminar en el inusual desarrollo de efectos naturales en la costa de Venezuela.

La amenaza costera venezolana en 1868 y su extensión en el tiempo

Como una contribución al conocimiento histórico-sísmico venido de lejos a Venezuela y sus efectos de orden natural vislumbramos lo violento de la naturaleza en la región septentrional de Venezuela, convertidos en incidentes de ocurrencia y riesgo geológico-marino, asociados a la sismicidad, con repercusiones medio-ambientales. Esta compilación tiene como objetivo presentar parte de la documentación existente que generó variaciones temporales del nivel del mar, ser interpretadas como tsunamis o *seiche*, de acuerdo a su descripción y localización.

Es necesario aclarar que los tsunamis históricos para la nación (al menos los ocurridos durante el periodo (1498-1929), el fenómeno que nos ocupa suele aparecer como "inundación", y en ninguno de los documentos revisados se utiliza el término tsunami o su equivalente más acorde en español: maremoto. Con alcance al trabajo de Melchor Centeno Graü y sus "Estudios Sismológicos", este señala [que]: *a consecuencia del terremoto de Arequipa, Tacna, Arica, etc., un gran terremoto... llegó a las costas de Venezuela, atravesando el Pacífico y el Atlántico. Suponen algunos sismólogos [sin mencionar cuáles] que la ola sísmica alcanzó 11 metros y se movieron las aguas de los ríos Orinoco, Apure, Arauca, Meta, Zulia, Catatumbo, Escalante, Caño Colorado en la ciudad de Maturín, y las de Lago de Maracaibo, costas de Cumaná, Barcelona, Margarita, Güiría, Río Caribe, La Guaira, Puerto Cabello, costas de Coro, etc. [pág. 173], vale decir toda la costa norte de Venezuela.* Otra importante acotación para el trabajo es el uso del término *water-bore* [fenómeno asociado a un maremoto o tsunami y que consiste en la elevación del nivel del río y su desbordamiento subsecuente en la desembocadura del mismo al igual que en lagos, lagunas, ríos, grandes tanques e incluso ríos o canales, que debido al largo período de los líquidos, estos pueden ser exitados por ondas sísmicas superficiales y de período comparable con los componentes del caso de vibración, esencialmente horizontal tipo ondas "Love", dando lugar a oscilaciones de la masa de líquido: Ref: Grases, 2002:95]] *en los ríos Arauca y Apure, estado Apure, y en los ríos Yuruari y Orinoco, estado Bolívar... que podrían asociarse al fuerte terremoto de magnitud 9,0 [sic] Mw ocurrido en las costas de Arica, Perú, que generó tsunamis simultáneamente en el Océano Pacífico y en el Mar Caribe (San Juan, Puerto Rico, con altura de 0,60 metros).*

En 2002, José Pablo Grases reporta en su libro publicado en 2002, a: *Arequipa, Tacna, Arica etc. ... como un maremoto de 15 a 20 minutos en el Orinoco, Apure, Escalante... así como en el Lago de Maracaibo y costas del oriente venezolano.* Ya en 2015, Javier Oropeza y Franck Audemard, elaboraron un artículo con la data parcial de Andre Singer y otros, bajo el título "Contribución al estudio de tsunamis y otras amenazas costeras en Venezuela", señalando en las costas las mismas

características mencionadas. Algunas fuentes primarias que refieren el tsunami, son específicamente reportes de la prensa de la época, cuyos repositorios pueden ser ubicados en el *Catálogo de Sismos Sentidos o Destruyores. Venezuela 1530-1998*, texto publicado en 1999.

Textualmente dice: *Perú, 3:30 pm. Por terremotos habidos en ciudades y puertos del Perú hubo maremoto de 15 a 20 minutos en los ríos Orinoco, Apure, Arauca, Zulia, Catatumbo, Escalante, Lago de Maracaibo, en las costas norte de la Isla de Margarita, Costa de Cumaná, Río Caribe, etc... Hay dos cartas de septiembre de 1868 de Cúcuta y Santa Bárbara del Zulia [Venezuela, estado Zulia, aun sin encontrar] publicadas en la prensa de esa fecha que describen el maremoto.* La de Santa Bárbara dice: *que las aguas del río Escalante se movían de tal modo, que una de sus riberas quedaba en seco y la otra se inundaba.* Otras referencias de fecha 17/08, señalan: *Enseguida se dio lectura a un trabajo del señor Aristides Rojas. El autor trató de establecer (el 17 de agosto de este año) el crecimiento repentino del Orinoco, observado el mismo día en Ciudad Bolívar.* Por otra parte: ... *El señor licenciado J. J. Aguerrevere y el Presidente [de la Sociedad de Ciencias Físicas y Naturales de Caracas, Adolfo Ernst] hicieron algunas objeciones contra esta explicación, la cual necesita para su robustecimiento de más datos positivos... Avance continuo que nos dá la ciencia y para la época que hacía discutir a los conocedores del fenómeno.* Para concluir, ese mismo día 17/08 sin hora determinada... *el señor A. Rojas comunicó noticias relativas a la creciente repentina del Orinoco, el día del cataclismo del Perú. Según estas noticias el ascenso de la ola fue como de dos varas [167,18 cm] y duró muy poco. Igual se notó en algunos afluentes del Orinoco... un bore-hole.*

A modo de conclusión

Los tsunamis históricos como lo demostró el sismo de Arica, 13 de agosto de 1868, ha afectado las costas venezolanas siendo originados por sismos locales de magnitud intermedia en asociación al sistema principal de fallas sismogénicas de Venezuela. Como quiera que igualmente han sido producidos por sismos regionales de magnitud intermedia a alta y epicentro en distintas regiones del Caribe e incluso en el Margen Pacífico de la Placa Suramericana, se han constituido en amenaza costera. Poco común. Son escasos los que nos han afectado, y no tenemos un marcador geológico que lo indique pero igualmente no esperemos el siguiente en la actualidad, siendo necesario tomar acciones de prevención de inmediato.

Bibliografía selecta

- Adolfo Ernst y F. de P. Álamo, *Sesión 47°- 18-01-1868*, página 117. En: Blas Bruni Celli, *Actas de la Sociedad de Ciencias Físicas y Naturales de Caracas (1867-1878)*, Banco Central de Venezuela Colección historia-económica de Venezuela, Caracas, 1968 (XI) 634.
- Adolfo Ernst y M. G. de Lowenfels, *Sesión 41°- 23-11-1868*, página 102. En: Blas Bruni Celli, *Actas de la Sociedad de Ciencias Físicas y Naturales de Caracas (1867-1878)*, Banco Central de Venezuela Colección historia-económica de Venezuela, Caracas, 1968 (XI) 634.
- Beauperthuy Urich, Luis Daniel, *Análisis histórico de las amenazas sísmicas y geológicas de la ciudad de Cumaná, Venezuela*, En: Revista de la Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 2006, 21(4):103-115. pp.
- Centeno Graü, Melchor, *Estudios sismológicos*. Litografía del Comercio, Caracas. 2ª edición, Caracas, Talleres Cartografía Nacional, 1969, (aumentada y corregida), *Volumen VIII, Academia Nacional de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*, Caracas, (1940-1969), 365 pp.
- Hochstetter, F. Von *Über das Erdbeben. und Peru am 13 August 1868 und die dadurch veranlassten, Fluthwellen in Pacifischen Ocean Sitzber.* Wien, 1868, Vol. 58, p. 837.
- Oropeza, Javier y Audemard, Franck Albert, *Contribución al estudio de tsunamis Y otras amenazas costeras en Venezuela*, 2015, Revista Nuestro Sur Historia, Memoria y Patrimonio, Centro Nacional de Historia, Caracas, 193-215.
- Grases, José, Lugo Miguel y Alte, Rogelio, *Catálogo de sismos sentidos o destructores. 1530/1998. Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela*, Caracas, 654 pp.

Middendorf, E. W. *Perú Die Erdbeben*. Tomo I., 1893. Berlín, 138 pp.

Pizarro Pizarro, Elías *Lo que el presente no ve: el terremoto y maremoto de Arica (1868). Fuentes para su historia*, Diálogo Andino, Departamento de Ciencias Históricas y Geográficas, Facultad de Educación y Humanidades, Universidad de Tarapacá, Arica-Chile, Chile. (29):47-64.

Polo, José Toribio Sinopsis de los Temblores y Volcanes del Perú. *Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima*. Tomos VIII y XVI, Lima, 1904, 323 pp.

Silgado Ferro, Enrique, Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú, (1513-1974), *Instituto de Geología y Minería, Lima, Perú, Sector Geología y Minas, Instituto de Geología del Perú, Serie C., Geodinámica e Ingeniería Geológica*, Bol. 3, 134 pp.

Singer, A., Rojas, C., y M., Inventario Nacional de Riesgos Geológicos. Estado preliminar, mapa, glosario y comentarios; *Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), Serie Técnica, Caracas, 1983, 03-83, 126p.*

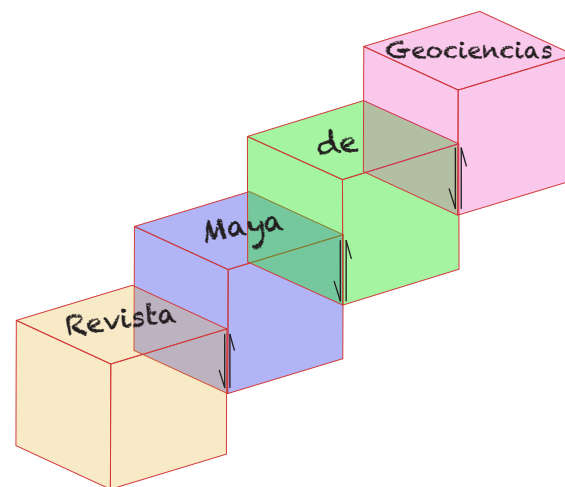
José Antonio Rodríguez Arteaga
rodriguez.arteaga@gmail.com
Colaborador de la Revista



José Antonio Rodríguez Arteaga es un ingeniero geólogo con 31 años de experiencia en investigación de geología de terremotos y riesgo geológico, asociado o no a la sismicidad. Es especialista en sismología histórica e historia de los sismos en Venezuela, recibiendo entrenamiento profesional en Geomática Aplicada a la Zonificación de Riesgos, Bogotá, Colombia. En sus inicios profesionales y por 5 años consecutivos, fue geólogo de campo, trabajando en prospección de yacimientos minerales no- metálicos en la región centro

occidental de Venezuela. Tiene en su haber como autor, coautor o coordinador, tres libros dedicados a la catalogación sismológica del siglo XX, al pensamiento sismológico venezolano y un Atlas geológico de la región central del país, preparado de manera conjunta con la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela. Actualmente prepara un cuarto texto sobre los estudios de un inquieto naturalista alemán del siglo XIX y sus informes para los terremotos destructores en Venezuela de los años 1812, 1894 y 1900.

rodriguez.arteaga@gmail.com



Hablemos sobre litio: Parte I

Compilado por

Saúl Humberto Ricardez Medina

El litio (Li) es el primer metal de la tabla periódica de los elementos, el cual se identifica con el número atómico 3, forma parte del grupo 1 de los metales alcalinos y posee una densidad de 0.53 g/cm³ un poco mayor a la mitad de la del agua, este metal fue reconocido como un elemento en 1817 por el químico sueco Johan Arfvedson cuando se encontraba analizando minerales de petalita. Para 1855 se había encontrado litio en otros minerales del grupo de los silicatos como la lepidolita y espodumena y se tenía detectadas trazas cuantitativas en planas de agua potable, aguas termales e incluso el cuerpo humano.

Durante la segunda mitad del siglo 20 tuvo lugar un cambio drástico en la producción de carbonato de litio (y un poco en cloruro de litio) al cambiar de su usual fuente de pegmatitas a salmueras. Actualmente todo el carbonato de litio el cual es la base de varios derivados de químicos de litio, proviene principalmente de las salmueras del salar de Atacama, Chile y de Clayton Valley, Nevada (Estados Unidos). Durante la segunda guerra mundial se comenzó una investigación a fondo de todos los componentes y propiedades del litio debido a la necesidad de tener una fuente de hidrógeno que fuese compacta y liviana para su uso en cohetes y submarinos, descubriéndose el hidruro de litio el cual era ideal para realizar esta tarea, posteriormente se descubriría su uso como lubricante siendo muy eficaz en contra de cambios abruptos de temperatura funcionando a muy altas y bajas temperaturas ampliando su uso en múltiples áreas.

El litio se puede explotar de dos fuentes distintas como de roca dura (pegmatitas graníticas y/o arcillas) y salmueras (también llamadas playas). Se estima que el contenido de litio en rocas ígneas es de 28 ppm, mientras que en rocas sedimentarias en un promedio de 53 ppm y esta alta concentración se encuentra principalmente en lutitas. Las rocas volcánicas particularmente la obsidiana, contiene altas concentraciones de litio y una inusual acumulación litio puede encontrarse en minerales de arcilla como lo son la hectorita, el cual es expansible y pertenece a la familia de la esmectita (el grupo de la montmorillonita). El litio es también asociado en zonas geotérmicas.

Aunque en litio puede tener presencia en alrededor de 145 minerales, solamente la espodumena, la lepidolita y la petalita y algunos otros minerales como amblygonita y la eucrytita pueden ser fuentes comerciales de litio en roca dura. Actualmente las principales menas y químicos de litio provienen de la espodumena y la petalita.

Minerales mena de litio

Espodumena

Es un silicato de litio y aluminio con fórmula general (LiAlSi₂O₆) presenta una dureza de 6.5 a 7 en la escala de Mohs y con una densidad de 3.1 – 3.2 kg/m³. De acuerdo con el servicio geológico de estados unidos (USGS) la espodumena sufre una alteración pseudomórfica en una variedad de minerales donde puede describirse el reemplazo de la espodumena por cuarzo, albita, pertita, moscovita, berilio y amblygonita, apatito y turmalina. La meteorización comúnmente altera la espodumena a caolinita y montmorillonita. La espodumena tiene presencia en múltiples cinturones pegmatíticos alrededor del mundo y era la fuente convencional de concentrado de litio y sus derivados productos químicos en los Estados Unidos, hasta que el descubrimiento de las salmueras las cuales provocaron el cierre de las dos únicas menas de espodumena en Carolina del Norte, Estados Unidos.

Lepidolita

La lepidolita es un filosilicato con fórmula general K₂(Li,Al)₅₋₆{Si₆₋₇Al₂₋₁O₂₀}(OH,F)₄ presenta una dureza de 2.5 a 3 en la escala de Mohs y una densidad de 2.8 - 3kg/m³. Esta gran variabilidad química expresada en su fórmula se debe a su complejidad estructural atribuida a su mezcla de polimorfos, donde se incluye la moscovita, moscovita de litio y la polilitonita.

Adicionalmente al litio, la lepidolita puede tener concentraciones substanciales de potasio, rubidio y cesio como subproductos valiosos.

Petalita

Petalita es un mineral monoclinico con estructura de silicato con fórmula general $LiAlSi_4O_{10}$ presenta una dureza de 6 en la escala de Mohs y una densidad aproximada de 2.4 kg/m³ En ciertos casos existe evidencia de que la petalita altera la mezcla de espodumena y cuarzo.

Eucryptita

Es un silicato de litio y aluminio con fórmula general $LiAlSiO_4$ presenta una dureza de 6.5 en la escala de Mohs y una densidad de 2.6 kg/m³ y una densidad de 2.6 kg/m³ y puede contener 5.53% Li. El único depósito de gran tamaño de eucryptita se encuentra en Zimbabwe donde tiene presencia de cuarzo insinuando un origen por espodumena. Estos depósitos son sumamente raros y con muy poca relevancia económica.

Amblygonita

La amblygonita con una fórmula general $LiAl(PO_4)(F,OH)$ presenta una dureza de 5.5 en la escala de Mohs con densidad de aproximada de 3 kg/m³ es un mineral de la serie de los fosfatos y montebrasita enriquecido en flúor representando el miembro final enriquecido en hidroxilo. La amblygonita se transforma en apatito terroso, wavellita y otros fosfatos deficientes en litio.

Hectorita

La Hectorita es un mineral de arcillas perteneciente al grupo de las esmectitas trioctraedricas con fórmula general $Na_{0.3}(Mg,Li)_3Si_4O_{10}(OH)_2$ presenta una dureza de 1 a 2 en la escala de Mohs con densidad de 2 - 3 kg/m³ se forma por la alteración de rocas volcanoclasticas por actividad hidrotermal o aguas termales. El litio sustituye al magnesio dentro de la estructura reticular del mineral.

Jadarita

Es un mineral relativamente nuevo al ser descubierto en Serbia en 2007, La jadarita con fórmula general $LiNaSiB_3O_7(OH)$ presenta una dureza de 4 a 5 en la escala de Mohs y una densidad de 2.45 kg/m³ es un mineral de borosilicato blanco monoclinico. Actualmente en 2021 no se extrae jadarita para la producción de litio, pero tiene el potencial de ser una fuente importante en el futuro, hasta la fecha no se tiene reportes de jaderita en ningún otro lugar de la Tierra y el proyecto de la mina de Jadarita a cargo de Rio Sava (subsidiaria de Grupo Rio Tinto) se encuentre en una fase de estudio de factibilidad, el equipo está enfocado en completar la documentación técnica, completar el estudio de recursos y reservas de acuerdo con las regulaciones serbias y obtener los permisos necesarios y comprar terrenos.

Mineral	Formula Química	Contenido de Litio (Li%)	Marco geológico
Espodumena	$LiAlSi_2O_6$	3.7	Intrusión pegmatitica en cinturones orogenicos.
Lepidolita	$K_2(Li,Al)_{5-6}\{Si_{6-7}Al_{2-1}O_{20}\}(OH,F)_4$	1.39 - 3.6	""
Petalita	$LiAlSi_4O_{10}$	1.6 - 2.27	""
Eucryptita	$LiAlSiO_4$	2.1 - 5.53	""
Amblygonita	$LiAl(PO_4)(F,OH)$	3.4 - 4.7	""
Hectorita	$Na_{0.3}(Mg,Li)_3Si_4O_{10}(OH)_2$	0.54	Alteración hidrotermal de ceniza volcánica en climas áridos y cuencas endorreicas
Jadarita	$LiNaSiB_3O_7(OH)$	7.3	""

Tabla 1: Resumen de los minerales menos de Litio Modificado de: British Geological Survey (BGS) (agosto 2, 2016).

Yacimientos de pegmatitas de litio-cesio-tantalio (LCT)

Los minerales de litio se forman solo cuando se combinan multiples factores favores que son sumamente extraños, estos minerales se encuentran en granitos con cristales gruesos pero con un tamaño variable (mayor a 2mm) y por otras texturas únicas, particularmente las conocidas como intercrecimientos de cuarzo y feldespato alcalino en los que el cuarzo aparece como inclusiones en forma de V encerradas por el feldespato conocidos como pegmatitas de litio-cesio-tantalio (LCT). El litio no se encuentra presente en la naturaleza en estado puro debido a que es muy reactivo y siempre viene asociado con otros minerales, los minerales más comunes de los que se extraen litio en roca dura son la espodumena y la petalita (ambos silicatos de litio y aluminio) y la mica rosa lepidolita (silicato de potasio, litio y aluminio). El principal mineral de litio en las rocas sedimentarias es la arcilla hectorita.

El USGS ha resumido los factores tectónicos en la génesis de la pegmatita. Las pegmatitas LCT se encuentran en el interior de cinturones metamórficos-ígneos y son una consecuencia de la convergencia de placas tectónicas. La mayoría de las pegmatitas LCT se formaron durante la colisión entre continentes o microcontinentes (fig. 3) y están asociadas con granitos ricos en aluminio que se originaron por la fusión de rocas sedimentarias metamorfoseadas, creando un zoneamiento genético de la mineralización (Fig. 1).

Las pegmatitas LCT se pueden datar utilizando geocronología isotópica. La edad es función de la relación entre la abundancia de un isótopo radiactivo y su producto de desintegración. En las pegmatitas, los minerales columbita-tantalita, monacita y zircón se datan mediante la explotación de la desintegración del uranio-238 a plomo-206. Las pegmatitas LCT de seis continentes ya han sido datadas siendo las pegmatitas australianas las más antiguas las cuales se formaron hace unos 2.829 Ma y el más joven, en Italia, a unos 7 Ma. La distribución global por edades es episódica, con algunos momentos importantes separados por largos intervalos de pocas o ninguna pegmatita. Los episodios que mas se destacan son 2.638; 1.809; 962; 485; 309; 274; y 97 Ma correspondiendo a momentos en que los continentes de la Tierra se estaban ensamblando y formando supercontinentes (fig. 2). A escala regional, las pegmatitas LCT tienden a ocurrir en distritos junto a granitos fértiles (granitos propensos a ser fértiles en metales), con la mayor concentración de litio y otros elementos incompatibles en las pegmatitas más distales. Las pegmatitas individuales adoptan diversas formas, desde diques tabulares y umbrales hasta cuerpos irregulares.

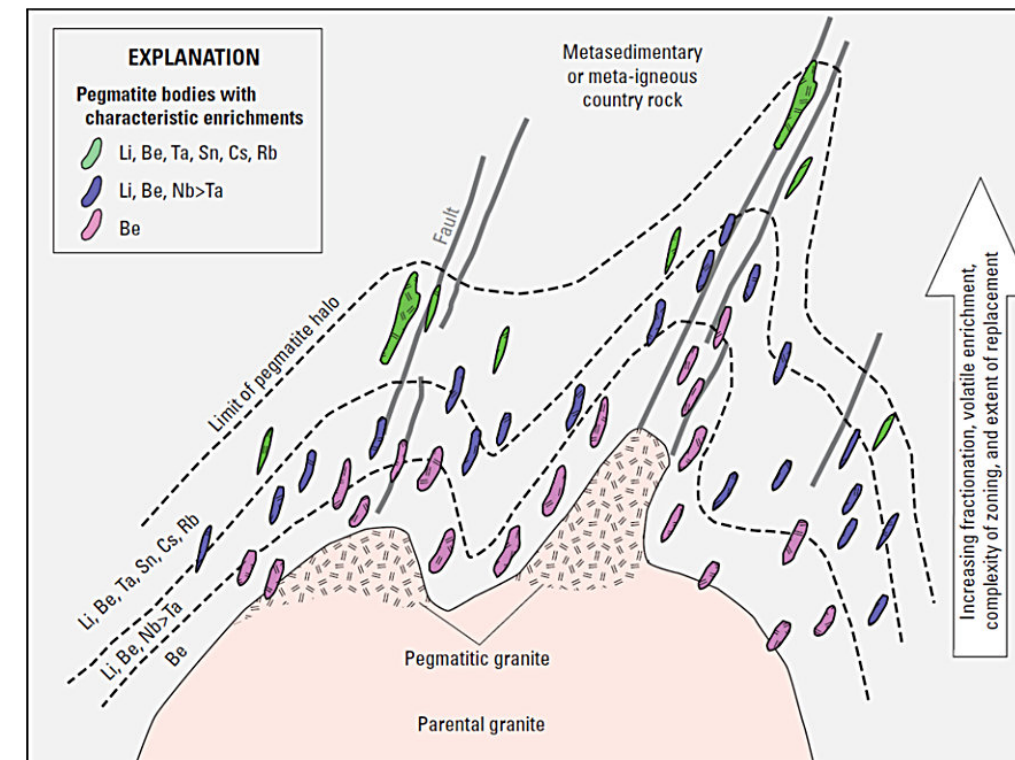


Figura 1: Sección transversal del modelo esquemático que muestra la disposición concéntrica de pegmatitas de litio-cesio-tantalio (LCT) (pequeños cuerpos de color púrpura, azul y verde) alrededor de un plutón de granito parental. En este modelo, las pegmatitas comunes se forman cerca del granito parental, mientras que las pegmatitas con enriquecimientos en elementos incompatibles (indicados por símbolos químicos) y los minerales raros correspondientes se forman más lejos Tomado de: United States Geological Survey (USGS) (diciembre 19, 2017).



Figura 2: Ubicación de los depósitos o distritos de pegmatita LCT, incluidos los distritos más pequeños de los Estados Unidos. Los símbolos están codificados por colores por edad Tomado de: Bradley, Dwight, and McCauley, Andrew, (2013).

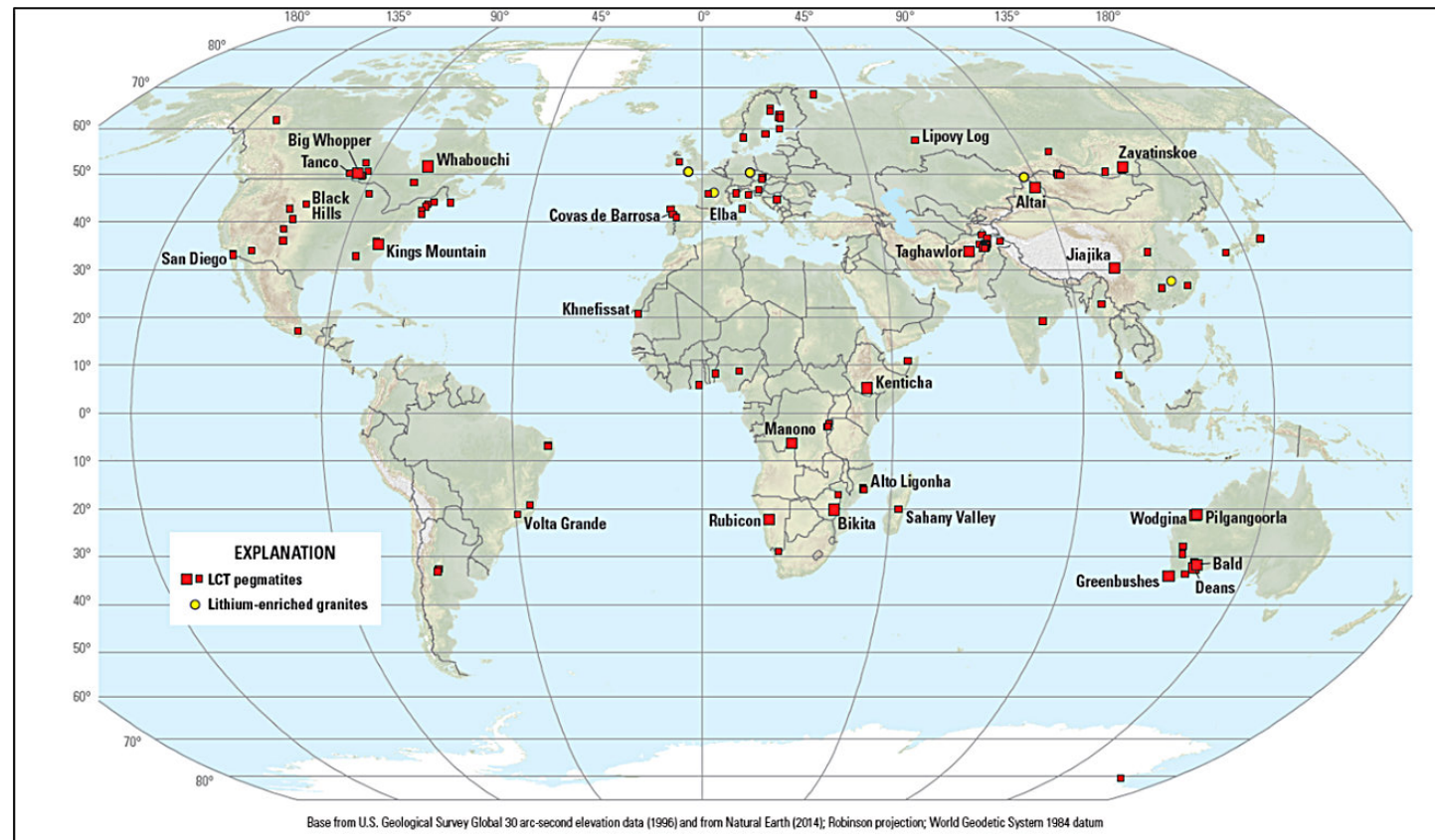


Figura 3: Ubicaciones de pegmatitas y granitos de litio seleccionados de litio-cesio-tantalio (LCT). Los cuadrados rojos más grandes indican pegmatitas que contienen importantes recursos de litio y (o) tantalio Tomado de: United States Geological Survey (USGS) (diciembre 19, 2017).

Yacimientos de salmuera de litio en cuencas endorreicas

Los yacimientos de salmuera de litio en cuencas endorreicas contienen aproximadamente el 58 por ciento de los recursos de litio identificados en el mundo. Los depósitos de salmuera de litio son acumulaciones de agua subterránea salina que están enriquecidas en litio disuelto. Las ubicaciones de los principales depósitos de salmuera de litio del mundo se muestran en el mapa de la figura 4. Los depósitos productores tienen concentraciones promedio de litio que van de 160 a 1,400 ppm y recursos estimados de 0.3 a 6.3 millones de toneladas métricas de litio. Los depósitos productores están ubicados en Asia, América del Norte y América del Sur, y se encuentran dentro de los cinturones latitudinales áridos y septentrionales a ambos lados del ecuador. Estos depósitos comparten una serie de características las cuales se pueden en listar:

1. Un clima árido.
2. Cuenca cerrada que contenga un lago salado o un salar.
3. Hundimiento impulsado tectónicamente.
4. Actividad ígnea o geotérmica asociada.
5. Rocas generadoras que contienen litio.
6. Uno o más acuíferos adecuados, para albergar el reservorio de salmuera.
7. Tiempo suficiente para concentrar una salmuera.

(Los aspectos clave del modelo de depósito de salmuera de litio propuesto se muestran en la figura 5.)

A medida que se evapora el agua en un salar, el litio se comporta de manera algo diferente a otros metales disueltos porque es más soluble. En lugar de cristalizar un mineral evaporítico, el litio permanece en solución y termina en una salmuera residual de sabor amargo. Esta salmuera es más densa que el agua dulce y se hunde en el subsuelo donde se acumula en uno o más acuíferos (zonas o capas de roca o sedimento poroso y permeable).

La presencia de un clima árido es de vital importancia para que la formación y producción del salar tengan lugar, debido a que el primer paso en la extracción de litio es la evaporación solar. En cada estanque del proceso, la salmuera entra por un extremo, pierde parte de su agua durante las semanas o meses siguientes y se drena o bombea desde el otro extremo al estanque siguiente. Se utilizan múltiples estanques y/o piletas para mantener separados los diversos minerales evaporíticos que cristalizan en secuencia. Se necesitan casi 2 años para lograr un concentrado enriquecido en litio (hasta 5,000 ppm) y empobrecido en otros elementos más abundantes. Está concentrado se bombea desde el último estanque a una planta química para la producción de carbonato de litio e hidróxido de litio.

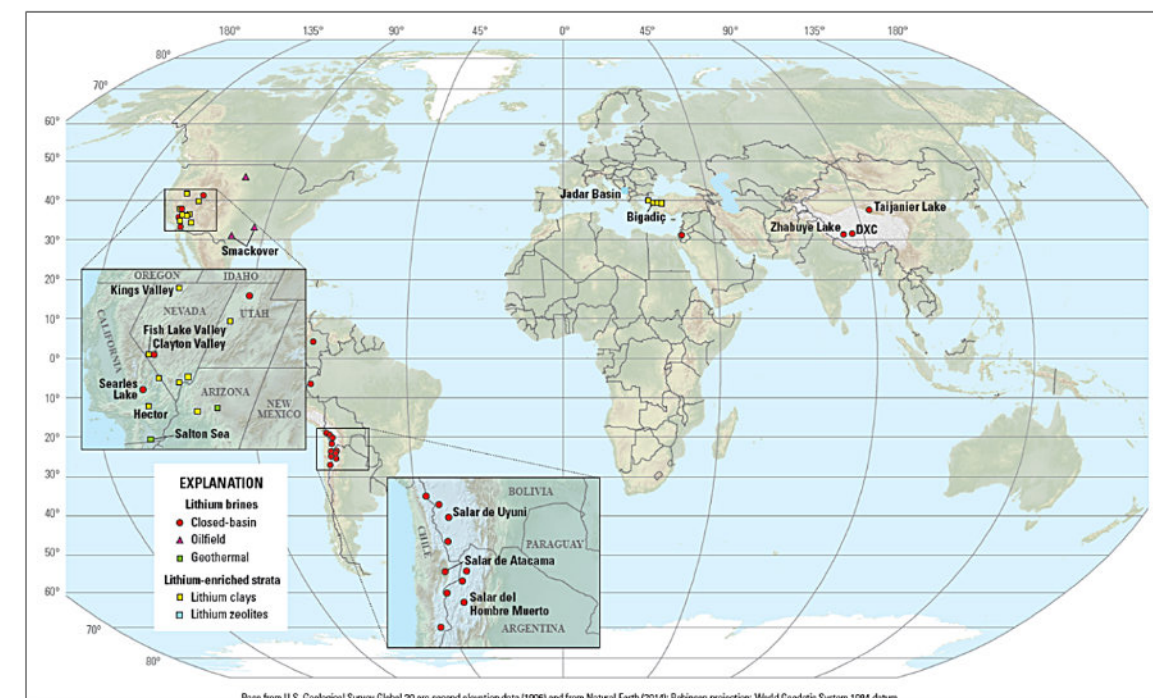


Figura 4: Ubicación de depósitos seleccionados de salmuera de litio en cuencas endorreicas, salmueras de yacimientos petrolíferos enriquecidos con litio, salmueras geotérmicas, arcilla de litio y zeolita de litio Tomado de: United States Geological Survey (USGS) (diciembre 19, 2017).

Litio en otras salmueras

Las salmueras de los campos petrolíferos profundos pueden contener hasta varios cientos de partes por millón de litio. El USGS informó de altos tonelajes de litio contenidos en salmueras de campos petrolíferos en Arkansas, Dakota del Norte, Oklahoma, Texas y Wyoming, con concentraciones de litio de hasta 700 ppm. Una de las salmueras de campos petrolíferos más conocidas está contenida en la Formación Smackover en el área de la Costa del Golfo del centro-sur de los Estados Unidos. Se ha interpretado que la salmuera es agua de mar atrapada que posteriormente se enriqueció hidrotermalmente en litio y otros oligoelementos.

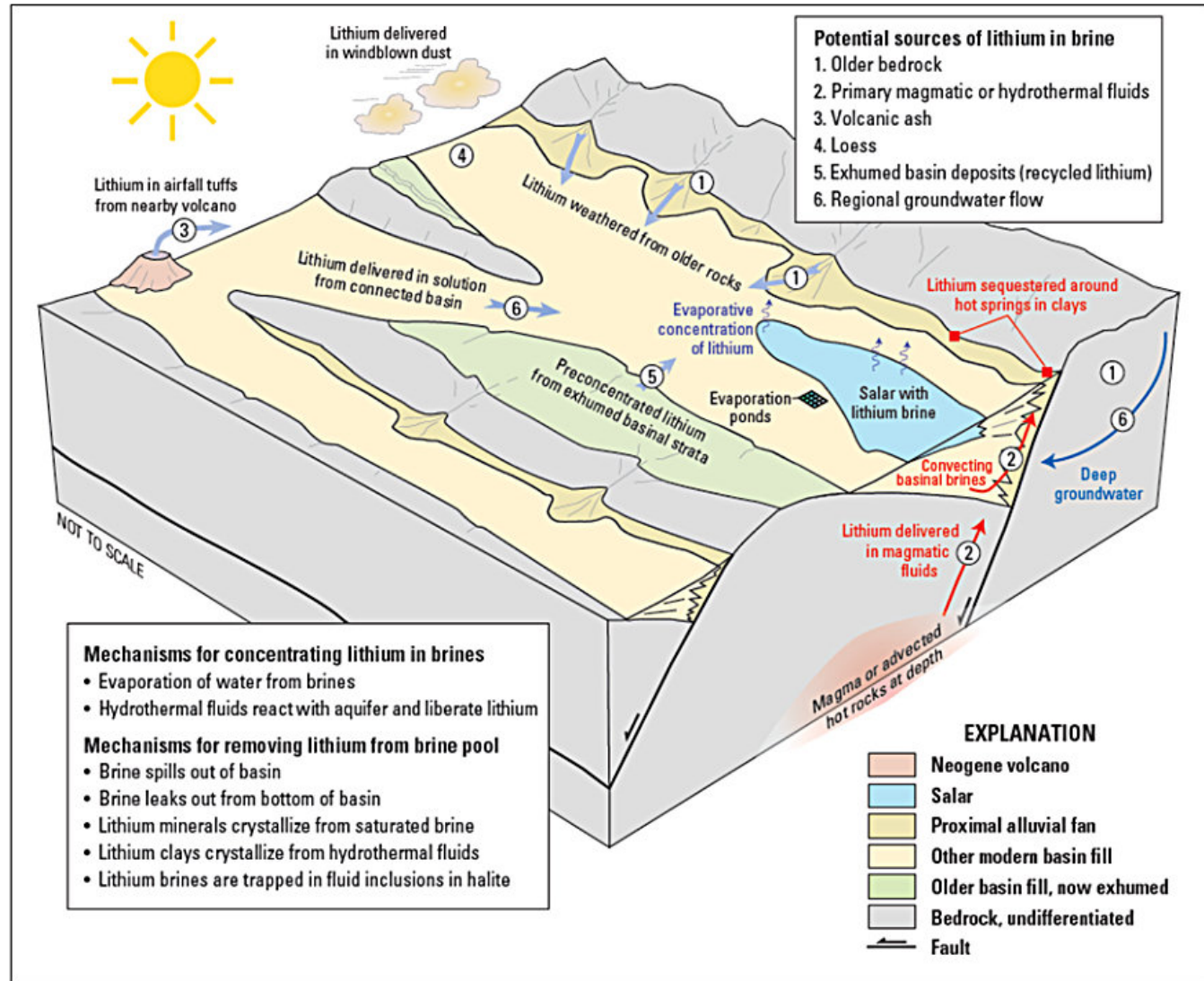


Figura 5: Modelo conceptual de yacimientos de salmuera de litio. Se muestra una cuenca extensional, pero las cuencas con configuraciones tectónicas compresionales y de cizallamiento también son prospectivas, el requisito es si es que la cuenca esté cerrada Tomada de: United States Geological Survey (USGS) (diciembre 19, 2017).

Las salmueras de los campos petrolíferos tienen dos inconvenientes como recursos potenciales de litio. Primero, por lo general ocurren a profundidades mucho mayores (más de 1 km) que las salmueras en cuencas endorreicas. En segundo lugar, a menos que se encuentren en un clima árido, la recuperación de litio mediante el método conveniente y económico de la evaporación solar no será factible.

Las salmueras geotérmicas son otra fuente potencial de litio. Estos fluidos tradicionalmente obtienen su valor de su calor contenido, que se puede convertir en energía mecánica, pero algunos fluidos geotérmicos contienen metales disueltos anómalos, incluido el litio. De acuerdo a Simbolm, Inc. Ahora está recuperando litio de una salmuera geotérmica en el área del Mar de Salton a lo largo de la frontera entre California y México.

Depósitos de arcilla de litio

Un pequeño subconjunto de los depósitos de arcilla del mundo está enriquecido en litio. Los depósitos de arcilla que contienen litio contienen aproximadamente el 7 por ciento de los recursos de litio del mundo. El análisis de arcillas enriquecidas con litio de varias ocurrencias en el oeste de los Estados Unidos reveló que todas muestran enriquecimientos en magnesio, flúor y litio, una combinación atribuida a procesos hidrotermales. La hectorita parece ser la más extendida, pero también se han reportado arcillas enriquecidas con litio en la familia de la illita, así como mezclas de illita-esmectita.

Las arcillas de litio se encuentran en sedimentos derivados de los volcanes alterados hidrotermalmente de los lagos que ocuparon la caldera. El yacimiento de hectorita más importante descubierto hasta 2012 es Kings Valley en donde tenemos la presencia de litio se encuentra en sedimentos derivados de los volcanes alterados hidrotermalmente debido a los lagos que ocuparon el espacio de una caldera donde se planea realizar la recuperación de litio mediante la lixiviación de la arcilla con ácido sulfúrico, la cual ha demostrado ser factible. El depósito se está desarrollando para la producción, pero la producción de litio al año 2017 aún no ha comenzado.

Depósitos de zeolita de litio

El único depósito de zeolita de litio documentado es de un sistema de cuencas neógenas en la región de los Balcanes de Europa del Este. Los lechos lacustres del Mioceno en la cuenca del Jadar incluyen pizarra bituminosa, rocas carbonatadas, evaporitas y toba. Estos estratos han sido auténticamente cubiertos por capas masivas de jadarita, que es un mineral de silicato de boro-litio recientemente reconocido de la familia de las zeolitas. Según los informes, las capas de jadarita tienen varios metros de espesor. Este único depósito de jadarita contiene aproximadamente el 3 por ciento de los recursos de litio del mundo.

Bibliografía

Alatorre, A. (2018) "Minerales y Rocas Industriales", Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura ESIA Ticoman Unidad Ciencias de la Tierra. Ciudad de México. Octubre 15, 2018 [apuntes de clase].

Bradley, Dwight, and McCauley, Andrew, (2013). A preliminary deposit model for lithium-cesium-tantalum (LCT) pegmatites. Noviembre 3, 2021, de U.S. Geological Survey Open-File Report 2013-1008, 7 p., <https://doi.org/10.3133/ofr20131008>.

British Geological Survey (BGS). (agosto 2, 2016). Mineral profile – Lithium. Noviembre 3, 2021, de British Geological Survey Sitio web: <https://www.bgs.ac.uk/news/mineral-profile-lithium/>

Kogel, J., Trivedi, N., Barker, J., & Krukowski, S. (2006). Industrial Minerals & Rocks, Commodities, Markets and Uses. 7th Edition Book, . Estados Unidos de America: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, (SME).

Serbia Energy & Mining. (marzo 19, 2021). ICT metal mining case study at jadarite mine in Serbia. noviembre 6, 2021, de Serbia Energy & Mining Sitio web: <https://serbia-energy.eu/ict-metal-mining-case-study-at-jadarite-mine-in-serbia/>

United States Geological Survey (USGS). (diciembre 19, 2017). Critical mineral resources of the United States—Economic and environmental geology and prospects for future supply. noviembre 6, 2021, de United States Geological Survey Sitio web: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/pp1802>

La geología discreta de la Península de Yucatán

Octavio H. Rodríguez Tapia

1.- Vaguadas: los rasgos estructurales más distantes del cráter de impacto.

**Esta es la primera parte, de una miniserie de puntos sobre la geología de la península de Yucatán.*

¿Alguna vez te preguntaste sobre la geología de la Península de Yucatán?

Un tema acorde a la geociencia de éste esplendido lugar son las vaguadas. En la zona arqueológica de Cobá, Quintana Roo, se pueden distinguir a un costado de las pirámides, además en el poblado de El Tintal, Yucatán, se pesca sobre ellas. Se trata de lagunas alargadas con orientación NE-SW, con deflexiones al NW-SE, que fueron definidas como sistema de lineamientos Holbox-Tulum por Perry et al., 2002. La inigualable laguna de los siete colores en Bacalar, Quintana Roo, le debe su belleza, a este evento geológico. La fotografía 1 muestra una de las Vaguadas en Cobá, Quintana Roo.



Fotografía 1. Vaguadas en Cobá, Quintana Roo.

Todos conocemos el trabajo extraordinario que realizó el distinguido geocientífico Eduardo López Ramos (López-Ramos, 1973); dónde a través de sondeos exploratorios, desenmascaró las entrañas del subsuelo de la Península de Yucatán, con núcleos de más de 2,000 metros de profundidad, estableciendo las relaciones estratigráficas de las formaciones Chichén Itzá, Carrillo Puerto e Ichaiché. Además, realizó las bases de las correlaciones bioestratigráficas de dicha zona, sin embargo, a pesar de mencionar los rasgos estructurales generales de la región, no mencionó nada acerca del cráter de impacto, que tiene como centro la ciudad de Mérida, capital del estado de Yucatán: el cráter de Chicxulub. La Fotografía 2 es otro ejemplo de una Vaguada sobre la autopista Mérida-Cancún, con escala de medición de nivel, cerca del poblado El Tinta, Yucatán.



Fotografía 2. Vaguada sobre la autopista Mérida-Cancún, con escala de medición de nivel, cerca del poblado El Tinta, Yucatán.

La delantera la tomaron Perry et al. (1995), con una serie de manuscritos que actualizaron año con año, para ofrecer una respuesta cada vez más próxima a la estrecha relación que existe entre el anillo de cenotes y las “ondas de impacto” de un cráter producido por un bólido (meteorito) de 10-18 km de envergadura, que dejó un agujero en la tierra 180 km de diámetro por 20 km de profundidad. Algunos geocientíficos lo llaman el último día en la tierra, ya que marcó una de las extinciones masivas más impactantes en la historia de la tierra, la división conocida como K-T, Cretácico-Terciario.

Un aspecto para considerar es la apertura del Golfo de México (GoM), considerando que la península de Yucatán, no se encontraba emergida durante el impacto. La apertura del GoM, es una serie de eventos estructurales regionales relacionados con la separación de Pangea (rifting). La falla transformante de Tamaulipas-Oaxaca, propició un deslizamiento lateral del Bloque de Yucatán, la cual giró a la península unos 49° en sentido contrario a las manecillas del reloj, este evento finalizó en el Calloviano, cuando el bloque de Yucatán alcanzó la posición que ocupa actualmente.

La península de Yucatán emergió del agua con la apertura del golfo, previo al impacto del bólido, pero, este evento no culminó hasta finales del Oligoceno, cuya edad relativa se encuentra fosilizada en los microorganismos de la Formación Carillo Puerto.

Los rasgos que podemos encontrar en la península de Yucatán se pueden distinguir a través de imágenes satelitales, el reto de esta foto interpretación, es cuando el terreno casi plano, imposibilita a cualquier imagen ráster (MDE) obtener un modelo de sombras (Hillshade).

El origen de las vaguadas es inexacto, puesto que los científicos señalan, que son la unión de varios cenotes, los cuales colapsaron formando estas alargadas estructuras. Por otro lado, considerando que, el surgimiento del Bloque Yucateco es el ascenso de tierras sumergidas en el mar, por un evento orogénico, es razonable pensar que, el basamento es el que se encuentra fracturado y, precisamente, estos acercamientos científicos, tiene como expresión en el relieve, dichas estructuras (fotografía 3). La idea de las ondas distales de impacto surge con el detallado estudio del *karst*¹ el cual tiene como protagonista a los cenotes de Yucatán y Quintana Roo, dispuestos en dos anillos, uno interno, con *karst*¹ maduro y abundante y otro externo, con *karst*¹ maduro, pero menos abundante, cuya profusión es determinada por la abundancia por kilómetro cuadrado (Figura 1). Si bien la apertura del Golfo de México fue previa al impacto del bólido, la reactivación del fracturamiento de las fallas del basamento fue gracias a dicho evento, incluso, podemos concluir, que esta serie de fallas, son actualmente activas, en tanto que se siguen expresando en las rocas más jóvenes. En las fotografías 3 y 4, se muestran estructuras a nivel de piso (fracturas), expresadas en la formación Carillo Puerto, cuya edad relativa, remonta al Oligoceno.



Figura 1. Generada en: <https://es-mx.topographic-map.com/maps/6c35/Yucat%C3%A1n/>



Fotografía 3. Fracturas a nivel de piso, orientadas a los lineamientos de Holbox-Tulum.



Fotografía 4. Fracturas asociadas a una vaguada, a un costado de esta, cerca del poblado El Tintal, Yucatán.

Bibliografía

- López Ramos, E. (1973). Estudio Geológico de la Península de Yucatán. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 23-75.
- Perry, E., Marin, L., McClain, J., & Velazquez, G. (1995). Ring of Cenotes (sinkholes), northwest Yucatan, Mexico: Its hydrogeologic characteristics and possible association with the Chicxulub impact crater. THE GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA, 17-20.
- ¹Perry, E., Velazquez Oliman, G., & Marin, L. (2002). The Hydrogeochemistry of the Karst Aquifer System of the Northern Yucatan Peninsula, Mexico. International Geology Review, 191-221.



Pas. **Octavio Heriberto Rodríguez Tapia**, Geólogo Jr. de Geotest.

Apasionado por las geociencias, egresado del Instituto Politécnico Nacional como Ing. Geólogo.

Mi experiencia en la geología de la Península de Yucatán es gracias a la participación como geólogo de campo en el proyecto ejecutivo del Tren Maya Tramo 4, Izamal-Cancún y Tramo 5 Sur, Playa del Carmen-Tulum.

Mystery of Death Valley's Moving Stones Solved

For decades, scientists have been trying to solve Death Valley's mystery of the \"moving stones.\" Now, two scientists say they have figured out what makes the rocks move on the desert floor. <https://www.youtube.com/watch?v=89-AFHieDpM>

What moves the sailing stones of Death Valley?

How could rocks – driven by some unseen force – slide across the ground, leaving behind a trail? At Racetrack Playa, a dry lake bed at Death Valley National Park in California, it was a long-standing mystery that was finally cracked in 2014 by two cousins. They discovered that the rocks were nudged into motion by melting panels of thin floating ice, driven by light winds, in winter. The sailing stones, or sliding stones, of Racetrack Playa have been observed and studied since the early 1900s. It was long thought that strong winds pushed the stones. More fanciful theories involved magnetic fields. And as is the case in any good mystery, space aliens were implicated.

In August 2014, a group of (very patient) researchers aided by the Scripps Institution of Oceanography, NASA and others announced they had solved the mystery. In a statement, Richard D. Norris and his cousin James M. Norris said that the rock movements occurred during a rare combination of conditions in winter. There had to be a shallow layer of water in the dry lake bed and nighttime temperatures cold enough for the formation of a thin layer of ice. On sunny days, melting caused the ice to break into large floating panels that, driven by light winds, pushed against the rocks to move them, leaving tracks on the desert floor. The editor- and peer-reviewed journal PLOS ONE published their study.

The two cousins launched their investigation of sailing stones in 2011. That's when they founded what they called the Slithering Stones Research Initiative. They established a weather station near Racetrack Playa and added 15 of their own stones to the playa. The added stones had GPS tracking units attached. Then, they watched. On December 4 and December 20, 2013, their setup – which used time-lapse photography – caught on camera rocks that were sliding across the playa at up to 15 feet (3-5 meters) per minute. They saw many other instances of sailing stones as well, becoming the first people in the world to see the stones in motion.

In the statement, Richard Norris said, Science sometimes has an element of luck. We expected to wait five or ten years without anything moving, but only two years into the project, we just happened to be there at the right time to see it happen in person. They described what they saw in their PLOS ONE paper: The largest observed rock movement involved >60 rocks on December 20, 2013, and some instrumented rocks moved up to 224 meters between December 2013 and January 2014 in multiple move events. They said in their paper that watching the stones move enabled them to see the cause: In contrast with previous hypotheses of powerful winds or thick ice floating rocks off the playa surface, the process of rock movement that we have observed occurs when the thin, 3- to 6-millimeter 'windowpane' ice sheet covering the playa pool begins to melt in late morning sun and breaks up under light winds of ~4–5 meters/second [about 10 miles per hour].

Floating ice panels tens of meters [yards] in size push multiple rocks at low speeds of 2–5 meters/minute [.2 mph or less] along trajectories determined by the direction and velocity of the wind as well as that of the water flowing under the ice. Bottom line: The mystery of the sailing stones of Racetrack Playa in Death Valley was solved in 2014. Scientists found that the rocks were pushed by thin floating panels of ice driven by light winds.

Source: <https://earthsky.org/earth/death-valley-sliding-slithering-sailing-stone-mystery-solved/>



Compilado por Nimio Tristán,
Geólogo,
Houston, Texas

Fotografías enviadas por estudiantes de geología



Figura 1: Perfil de la Formación Tenamastepec.

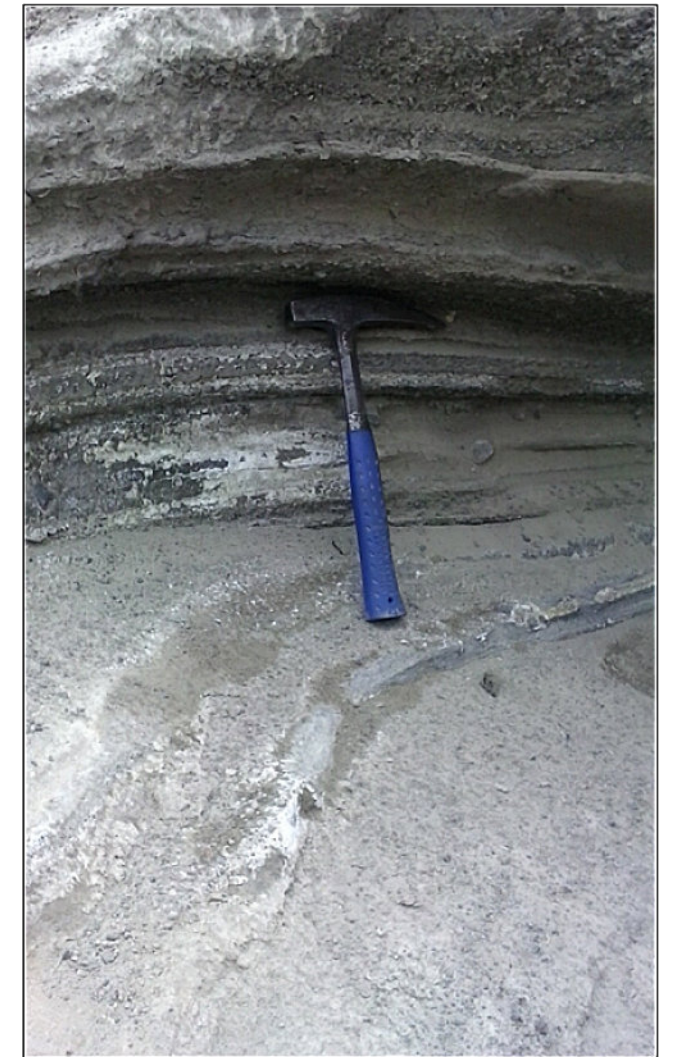


Figura 2: Acercamiento en la base del perfil.

Laguna de Alchichica

Fotografías de un perfil de 2.5 a 3.0 m de altura aproximadamente en el Lago de Alchichica, en el estado de Puebla, México. Se aprecia parte de la Formación Tenamastepec, constituida por escoria basáltica y producto de erupciones de conos monogenéticos del Pleistoceno (Maraver, 2012) como una serie de lahares de matriz areno-arcillosa no consolidada. En la sección se logran distinguir las secuencias laminares de depositación del material piroclástico. Aportaciones: **Nayra Atziri Aguilar García**. Pasante de Ingeniería geológica. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Ticomán, Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México, México.



Formación Zicapa - KIZ (Cretácico inferior: Barremiano - Aptiano).

Afloramiento sobre el arroyo de la Formación Zicapa a las faldas de la Sierra del Tentzo recubierto por clastos de caliza procedentes de la Formación Morelos. La unidad aflora en el flanco sur de la Sierra del Tentzo y corresponde litológicamente a depósitos continentales (lechos rojos) constituidos por areniscas de grano fino, limolitas y lutitas de coloración rojiza a morado que meteorizan a pardo verdoso claro. La unidad esta en contacto transicional con la caliza de la formación Morelos, este tipo de afloramiento pueden observarse en la base sur de la Sierra del Tentzo. De acuerdo a la literatura, la litología también puede asociarse a la formación Agua de Cordero (Zepeda, 2013), sin embargo, no se asocia no se ubicó la presencia de esquistos verde. De igual forma, es posible asociarla con la Unidad B de Capas Rojas propuesta por Monroy M. & Sosa A. (1984) pero al no ser un nombre formal se optó por Fm. Zicapa.



Formación Mexcala - KsM (Cretácico superior: Cenomaniano – Santoniense).

Unidad litológica que corresponde a una sucesión calcárea tipo flysch compuesta por estratos tabulares de calizas intercaladas con estratos delgados de lutitas de color gris a gris claro y café rojizo meteorizado. Se ubica en la zona norte de la Sierra del Tentzo y se asocia con un ambiente de aguas profundas. Se encuentra en contacto discordante con la Formación Morelos debido a la actividad tectónica del área, se infiere una cabalgadura. Esto se sustenta en las evidencias del sur del municipio de Tzicatlacoyan, Puebla. Aportaciones: **Jessica Graciela Silva Ródriguez**. Pasante de Ingeniería geológica. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Ticomán, Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México, México.

Las fotografías en la página 47 fueron provistas por:

Humberto Álvarez Sánchez

Colaborador de la revista

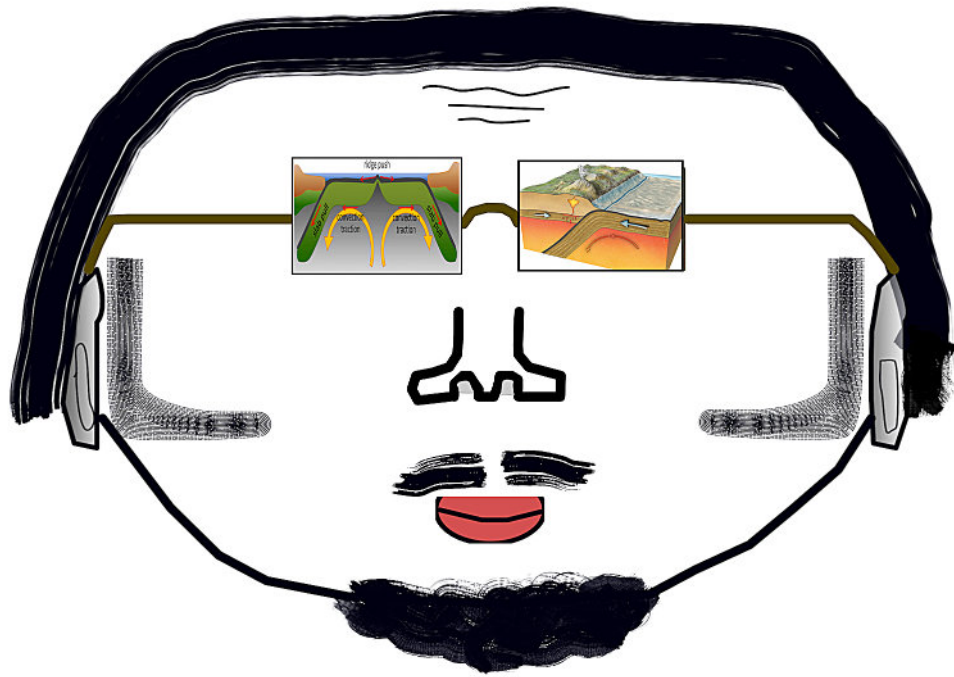


Litodema Anfibolitas Hanabanilla - Cuba Central
Anfibolitas bandeadas biotíticas, presentes en todos los niveles de las Anfibolitas Hanabanilla. Probablemente representan a las secuencias tobáceas con material sedimentario. Desde el punto de vista petrográfico, pertenecen al grupo de las anfibolitas con la asociación hb+plg/accesorios/ y hb+plg+otro mineral principal (+accesorios). Los espesores de las bandas son variables, desde algunos centímetros hasta metros. Las bandas de anfibolitas son más o menos masivas. Las bandas con contenidos de biotita o/y actinolita tienen esquistosidad bien expresada, paralela al bandeamiento. A veces se puede observar en detalle bandeamiento que coincide con la estratificación primaria (Foto: Cortesía de **Yamirka Rojas Agramonte**).



Litodema Anfibolitas Hanabanilla - Cuba Central
Anfibolitas blastoporfídicas hb+plag+accesorios. La hornblenda predomina un 80%. Los porfidoblóstos con diámetro de 3 hasta 10 mm. La hornblenda sustituye los fenocristales (o cristaloclastos) de clinopiroxeno primario magmático. A veces se observan relictos de augita dentro de la hornblenda. La plagioclasa corresponde a la andesina, pero a veces a plagioclasa básica (labradorita-bytownita). En la parte inferior aplopegmatitas y venas de aplita entrecruzadas. (Foto: Cortesía de **Yamirka Rojas Agramonte**).

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.



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

quien está a cargo de organizar esta información.

NOTAS GEOLÓGICAS

Ring structures on transverse sections of the basaltic columns in Santa Maria Regla, Hidalgo State, Mexico

Shunshan Xu, Angel F. Nieto-Samaniego

Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Blvd. Juriquilla No. 3001. Querétaro, 76230, México.

Abstract

Columnar basalts are very interesting geological structures which occur in several regions around the world. Columnar joints usually have polygonal cross-section with typical size from few centimeters to meters. The horizontal parting surfaces of basaltic columnar joints in Santa Maria Regla, central Mexico, show polygonal pattern with more common number of sides equal to 5. On some polygons, ring structures can be observed. The form of the rings changes depending on the distances between the ring and polygon edge. That is, the rings are more rounded with the distances to the center of one polygon. The change of polygon shape can be explained by anisotropy derived from crystallization-induced melt migration.

Key words: Basalt, columnar joint, ring structure, Mexico

Introduction

Columnar jointing has long been described and discussed in indigenous oral traditions. Scientific publications on columnar jointing date back to Bulkeley's (1693) paper, rapidly followed by several others at the end of the seventeenth century (Tomkeieff 1940 and their references). The most extensive and well-studied polygonal basalt is the Giants Causeway columnar basalt in the United Kingdom (UK). Columnar joints commonly have straight edges and faces, they generally have polygonal cross-section with typical dimensions varying from few centimeters to meters in diameter. Columnar joints are rarely observed in thick lava flows and are common in thin

flows (Price and Cosgrove, 1990), although the lava flow thickness can reach 100 m (Hetényi et al., 2012). Igneous columnar jointing occurs in lava flows, lava lakes, sills, dikes, and ash-flow tuffs (Spry, 1962; Hetényi et al., 2012). Similar features are also observed in starch-water mixtures (e.g., Müller 1998). Over the years much research has targeted the processes of columnar joint formation, but a few studies have described in detail the internal variations within individual columns (e.g., Ellwood, 1979) and the morphology on transverse fractures (e.g., Spry, 1962; Guy, 2010).

In this contribution we study the polygonal basalts at Santa Maria Regla. General features of the basalts have been described for geotourism purposes and the geological features for the prisms have been studied in detail by several authors (Sánchez-Rojas and Osorio-Pérez, 2008; Xu et al., 2014, 2020; Xu and Nieto-Samaniego, 2020). In this paper, attention is focused on the characteristics of the ring structure of transverse sections across columnar joints.

Basic geological background of the studied area

The basaltic prisms of Santa Maria Regla are located at Huasca de Ocampo, Hidalgo State, Mexico (Fig. 1). They are exposed on the sides and bottom of the canyon known by the name "Barranca de Alcholya", Geologically, it is located in the eastern part of the Transmexican Volcanic Belt (TMVB), with coordinates of 20° 13' 11.60" N, 98° 33' 34.38" W at the northern end of a Quaternary lava (Fig. 2). The Transmexican Volcanic Belt (TMVB) is a 1000 km long Neogene continental volcanic arc that crosses central Mexico.

There were three periods of the volcanic activity in the Huasca area (Miocene, Pliocene, and Pleistocene), each represented by one or more lava flows and associated with normal faulting (Moore et al., 1994). The basalt columns have been uncovered by erosion of the Tulancingo River and are estimated to be 30 - 50 m in height. The rocks in the region include those originating from lava flows, pyroclastic flows and debris avalanches with laminar structures and composition varying from rhyolitic to basaltic. The Plio-Quaternary rocks are more basic and are

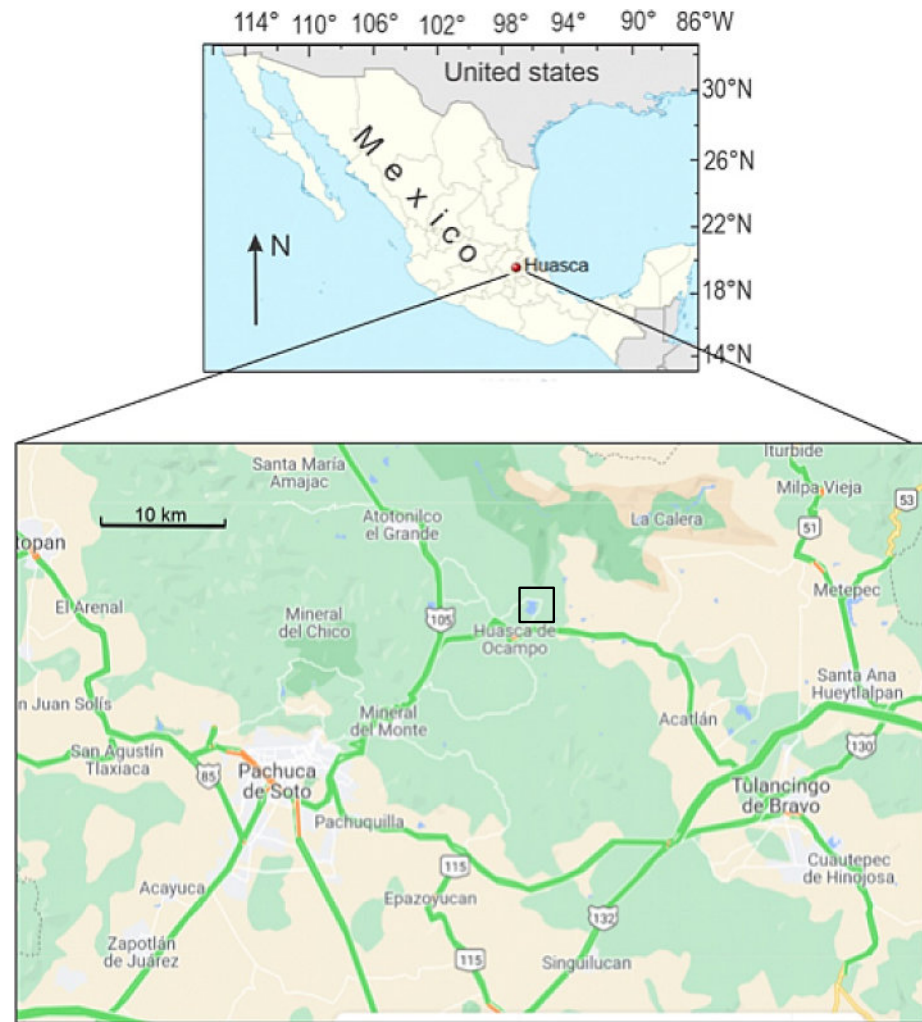


Figure 1. The studied area is located at Huasca de Ocampo. Pachuca de Soto is the capital city of the Hidalgo state, Mexico

associated with cinder cones and lava flows that develop the prismatic structures. Sánchez-Rojas and Osorio-Pérez (2008) obtained ages of 2.58 ± 0.15 Ma and 2.29 ± 0.23 Ma (K-Ar whole rock) from the lower and upper parts of the columnar lava flow, respectively.

General Feature

The Santa María Regla basalt shows a well-defined polygonal/columnar structure with a 5-15 m thick entablature overlying a 25-35 m thick colonnade. The entablature exhibits narrow curved columns. The colonnade comprises regular columns with near-planar sides (Fig. 3a). The columns are commonly polygonal shaped, with the diameter being approximately constant over a significant fraction of their height.

Concentric ring structures

On some polygons, the concentric ring structures are visible. In most cases, the form of rings shifts depending on

the distance between the ring and polygon edge (Figs. 4a-4c). For small distances, the rings show polygonal and/or rounded polygonal shape. The sides of polygonal rings are nearly parallel to the column sides either in three dimensions (3D) or transversal view (2D). The corners in the rounded polygonal rings are commonly rounded, whereas other parts remain straight line and are parallel to the column sides. In this way, a somewhat wider rim occurs on the column corners. For large distances, the polygonal rings are completely rounded and shift into elliptical shapes. Generally, the concentric ring structures are separated by changes in colors with darker color in the rims than that at the central part. Some ring structures do not show color contrast between the rim and the central part. In most cases, the rings occur as inscribed circles or ellipses, whereas in some cases, pseudo-hexagonal rings are cross-cut by the column-bounding joints, indicating that the ring structures have formed prior to the jointing of the columns. In the three-dimensions the ring structures

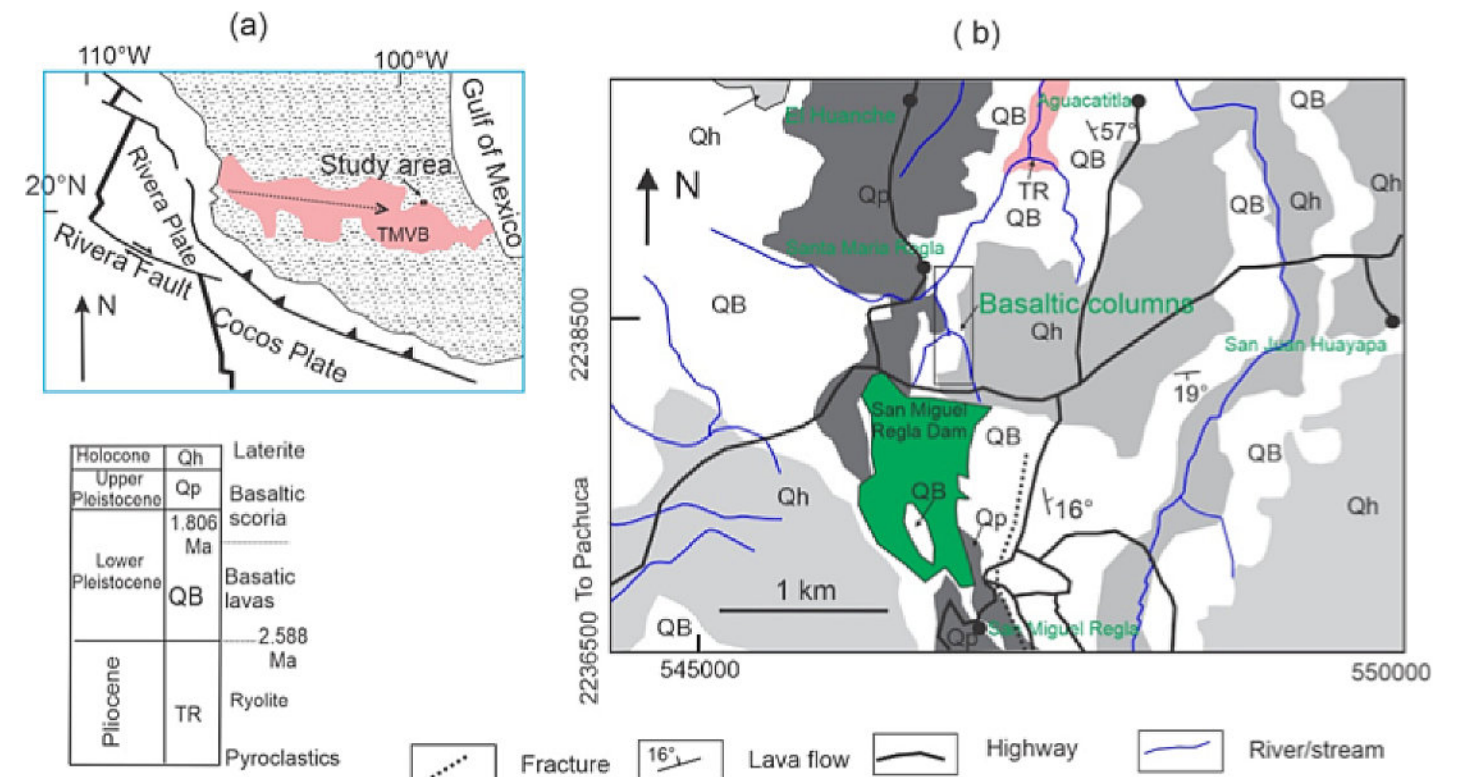


Figure 2. (a) Geological location of study area. TMVB: Transmexican Volcanic Belt. (b) Geological map of the study area. (Modified from Xu et al., 2020).

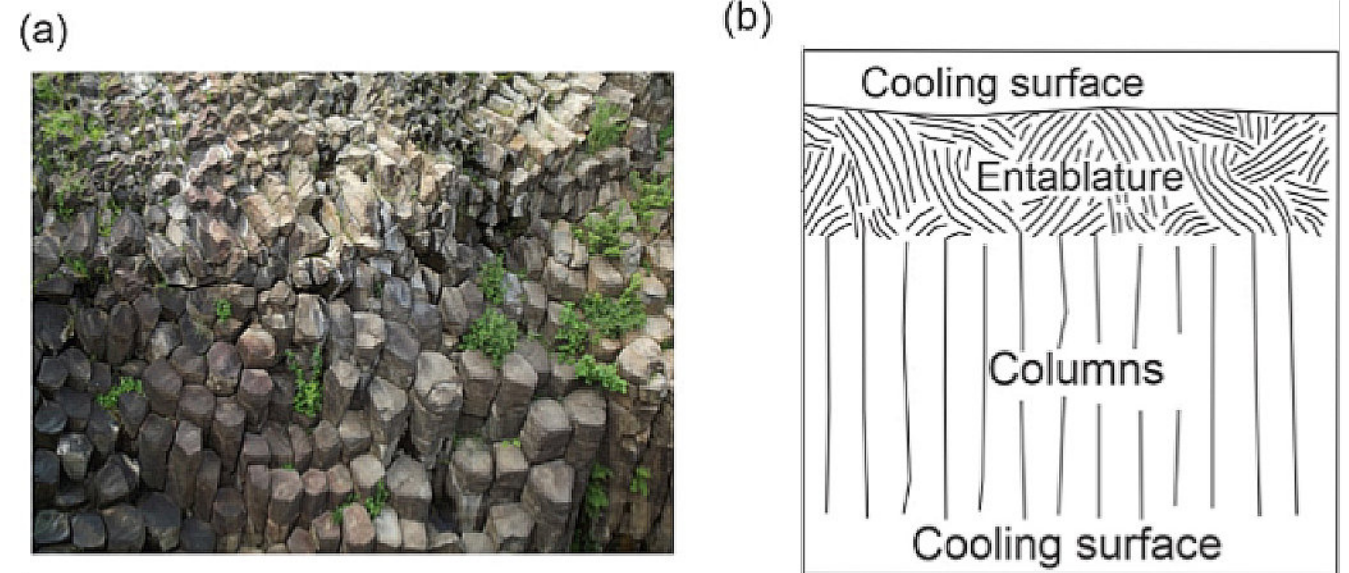


Figure 3. (a) Exposed columnar joint formation at Santa María Regla, Hidalgo. (b) Sketch of a columnar jointed basalt flow cooled from the top and the bottom. The colonnade contains regular polygonal columns with a more or less constant diameter, whereas the entablature region is highly disorganized with small and curvy columns (modified from Xu and Nieto-Samaniego, 2020).

are columnar in form in the lower part, whereas in the upper part are cone shape (Fig. 4d). The forms of the ring structures are consistent with the distribution of isotherm

within a column (Fig. 4e). The change of ring shape seems to agree with the model of deuteric alteration. For this model, water circulates in the columnar joints after

emplacement and systematically leaches elements out of the column towards the center. The leaching affects deeper into the columns with time and the overall shape of the leaching front becomes progressively more rounded towards the central parts. This process can generate a darker rim compared with a lighter-colored core (Smedes

and Lang 1955). However, the bulk rock compositions of individual samples in the Huasca de Ocampo do not show the systematic change produced by deuteric alteration (Sánchez-Rojas and Osorio-Pérez, 2008). Therefore, the deuteric alteration model can be ruled out as the

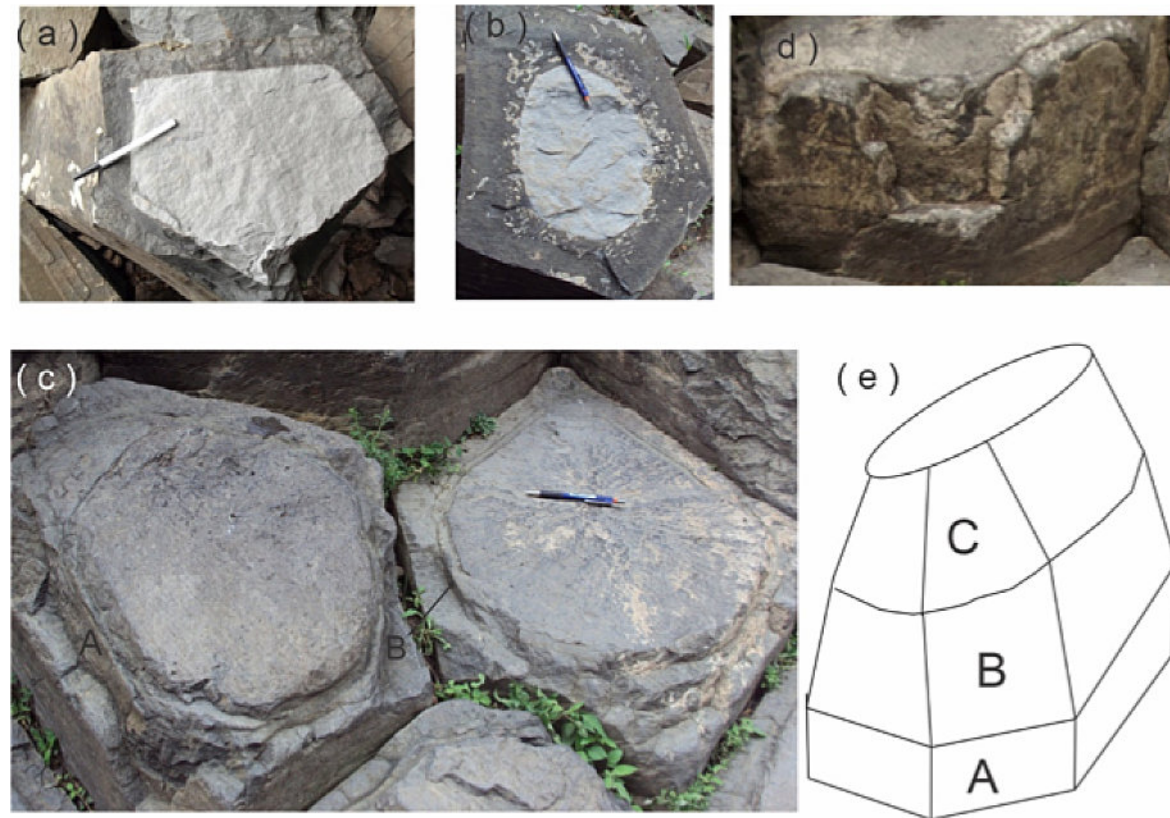


Figure 4. (a) Polygonal ring structure. (b) Elliptic ring structure. (c) Rounded polygonal structures. (d) Dips of ring structure is equal to those of the polygonal edges. (e) Possible form of ring structure in 3D.

mechanism responsible of color changes in the columns of the study area.

Discussion

The phenomenon that the ring structures successively become more rounded towards the center is also reported from the columnar-jointed basalts at Hrepphólar (Iceland). The internal structures in that location are explained by crystallization-induced melt migration (Mattsson et al., 2011). They proposed that the melt migration is driven by gravity and decrease of the volume during crystallization. The main evidences for this model are: (a) The principal axes of susceptibility in titanomagnetite have higher inclination near the center of a column (Mattsson et al., 2011); (b) The plagioclase orientations measured in 2D in a vertical plane vary systematically from the center to the

edge of a column (Bosshard et al., 2012); (c) Plagioclase crystal size distributions also display a systematic change across the column that agrees well with late-stage migration of melt inside the column (Bosshard et al., 2012).

A sketch to explain crystallization-induced melt migration is shown in Fig. 5a. Melt migration enhances the inclination of interfaces between solidified zones, the partly solidified zone and the melt zone. Although the early crystallizing plagioclase network is strong enough to resist most of the deformation associated with melt migration, such networks are permeable, allowing continuous migration of melt through the network. The added plagioclases in the melt zone predict that there are more plagioclases in this zone. The plagioclase

concentration in the center of a column was documented by Sánchez-Rojas and Osorio-Pérez (2008) (point C in Fig. 5b), which agree well with the melt migration model. On the other hand, since early crystallizing plagioclase and olivine depletes the melt in elements like Na, Mg, Ca, and Al, the melt is more enriched in Ti and Fe (e.g., Philpotts

and Dickson 2002). Therefore, zone 2 is slightly enriched in Ti and Fe as shown in Fig. 9a. The results from the thin sections indicate that the opaque minerals between the center and the edge across a column increases in percentage (Fig. 5b), which is also consistent with this model.

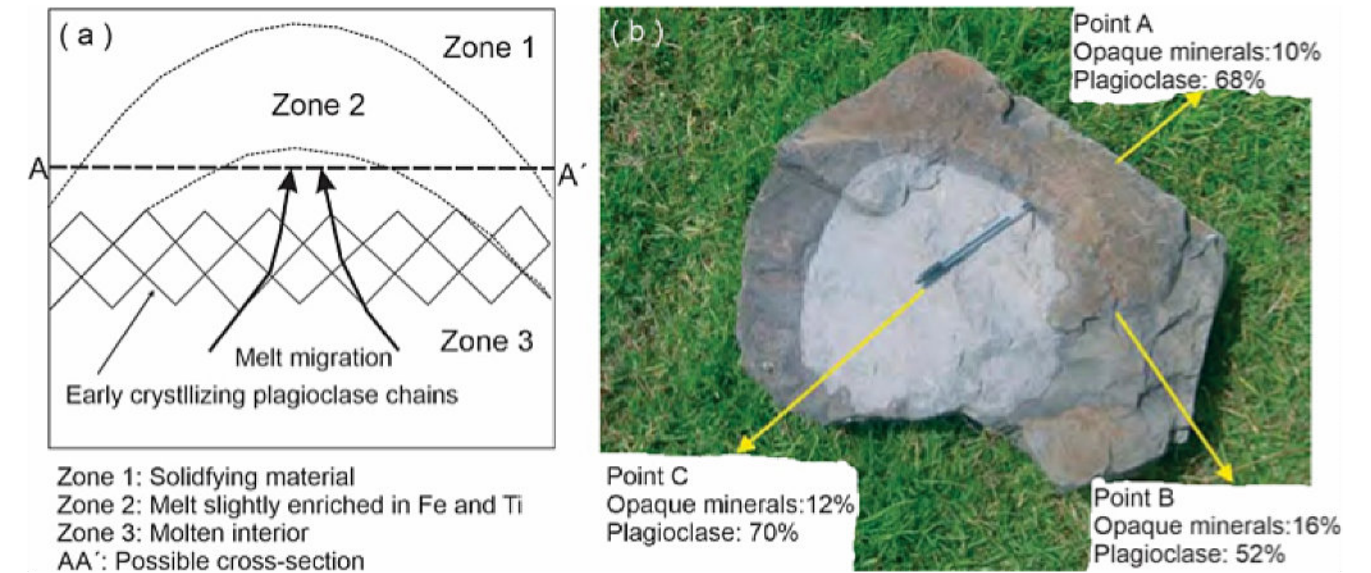


Figure 5. (a) The increased load due to the solidified crust and the stresses associated with volume loss inside the column drive melt migration upward. This process involves slight variations in melt composition (Modified from Mattsson et al., 2011). (b) Percentage of opaque minerals and plagioclase in different positions within a polygon. Data are adapted from Sánchez-Rojas and Osorio-Pérez (2008).

Conclusions

In this paper, our study is focused on the characteristics of transverse sections across column joints in Santa Maria Regla, Hidalgo State, Mexico. On some polygons, the ring structures can be observed. The form of rings varies depending on the distances between the ring and polygon edge. For small distances, the rings show polygonal shape and are nearly parallel to the polygonal edges. For large distances, the rings have elliptical shape. For medium distances, the rings have a form between the polygonal and elliptical pattern. The systematic change of polygon shape and mineral percentage in the different positions of the ring structures agree with crystallization-induced melt migration model.

Acknowledgments

This work is supported by the project PAPIIT (No. 102919). We thank Paola Botero for the help of field work.

References

- Bosshard, S.A., Mattsson, H.B., Hetényi, G., 2012, Origin of internal flow structures in columnar-jointed basalt from Hrepphólar, Iceland: I. Textural and geochemical characterization: *Bulletin of Volcanology*, v.74, p.1645-166.
- Bulkeley, R., 1693, Part of a letter from Sir R.B.S.R.S. to Dr. Lister, concerning the giants causeway in the county of Atrim in Ireland: *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, 17, p.708-710.
- Ellwood, B.B., 1979, Anisotropy of magnetic susceptibility in variations in Icelandic columnar basalts: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 42, p.209-212.
- Guy, B., 2010, Comments on "Basalt columns: large scale constitutional supercooling?" by John Gilman (JVGR, 2009) and presentation of some new data: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 194, p.69-73.
- Hetényi, G., B. Taisne, F. Garel, Médard, É., Bosshard, S., Mattsson, H. B., 2012, Scales of columnar jointing in igneous rocks: Field measurements and controlling factors: *Bulletin of Volcanology*, v. 74(2), p.457-482, doi:10.1007/s00445-011-0534-4.

Mattsson, H.B., Caricchi, L., Almqvist, B.S.G., Caddick, M.J., Bosshard, S.A., Hetény, G., Hirt, A.M., 2011, Melt migration in basalt columns driven by crystallization-induced pressure gradients: *Nature Communications*, v.2., 299.

Moore, G., Marone, C., Carmichael, L.S., Renne, P., 1994, Basaltic volcanism and extension near the intersection of the Sierra Madre volcanic province and the Mexican volcanic belt: *Geological Society of America Bulletin*, 106, 383-394.

Müller, G., 1998, Experimental simulation of basalt columns. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 86, p.93-96.

Philpotts, A.R., Dickson, L.D., 2002, Millimeter-scale modal layering and the nature of the upper solidification zone in thick flood-basalt flows and other sheets of magma: *Journal of Structural Geology*, v. 24, p.1171-1177.

Sánchez-Rojas, E., Osorio-Pérez, M., 2008, Geología y petrogénesis de los prismas basálticos, Santa María, Hgo., *Geociencia: Revista del Servicio Geológico Mexicano*, v. 2 (3), p.5-24.

Smedes, H.W., Lang, A.J.J., 1955, Basalt column rinds caused by deuteric alteration: *American Journal of Science*, v. 253, p.179-181.

Spry, A., 1962, The origin of columnar jointing, particularly in basalt flows: *Australian Journal of Earth Science*, v. 8, p.191-216.

Tomkeieff, S.I., 1940. The basalt lavas of the Giant's Causeway district of Northern Ireland: *Bulletin of Volcanology*, v. 6, p. 89-146.

Xu, S.S., Botero-Santa, P.A., Alaniz-Alvarez, S.A., Nieto-Samaniego, A.F., 2014. Cross-section features of columnar joints in basalt in the Huasca de Ocampo, Hidalgo of Mexico. Abstract in: The 5th International MAAR Conference, UNAM, 11, 2014.

Xu, S.-S., Nieto-Samaniego, A.F., Alaniz-Alvarez, S.A., 2020, Column-normal fracture features of the basaltic joints in Santa María Regla, Hidalgo State: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 101. 102611.

Xu, S.-S., Nieto-Samaniego, A.F., 2020, Geometría de los prismas basálticos de Santa María Regla, Hidalgo, México: *Revista Nthe*, v. 32, p.1-8.



Shunshan Xu is a structural geologist with a broad experience in fault dynamics, basin and petroleum geology, and largescale structures. He received a Ph.D. in 1998 from the China University of Geosciences (Beijing). Currently he is particularly interested in the kinematics and dynamics of faults, as well as the fractal behavior of faults and fractures. He has dedicated many years of research to the study of deformation in central Mexico, especially in the Mesa Central. His research and technical work have been documented in 33 publications including in SCI.



Angel Francisco Nieto Samaniego es de nacionalidad mexicana, en 1985 obtuvo su licenciatura como Geólogo Minero en la Universidad de Guanajuato, su doctorado lo obtuvo en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en 1995. Su especialidad es la Geología Estructural, con énfasis en la deformación frágil. Ha publicado estudios sobre geología regional y estructura de la corteza superior en el sur y centro de México. También ha realizado estudios teóricos sobre deformación frágil, abordando temas como la deformación tridimensional acomodada por fallas y la distribución de parámetros geométricos en poblaciones de fallas y fracturas. Ha sido editor de revistas científicas nacionales y extranjeras, fue presidente de la Sociedad Geológica Mexicana, es miembro de la Academia Mexicana de Ciencias, pertenece al Sistema Nacional de Investigadores con el nivel 3 y actualmente es investigador Titular C en el Centro de Geociencias de la UNAM.

Return to the Moon: Exploration and Resources

William A. Ambrose¹ and Bruce Cutright²

¹Bureau of Economic Geology, The University of Texas at Austin

²Thermal Energy Partners, Austin, Texas

Introduction

For the first time since the Apollo 17 mission in December, 1972, humans are returning to the Moon—to explore, to test resource-extraction and production technologies, and most importantly, to learn how to live on another world in preparation for the long-range goal of landing humans on Mars and beyond.

NASA's Artemis mission is named after Apollo's twin sister and the Greek Goddess of the Moon. Its goal is to land humans on the Moon by 2024 (NASA, 2020). To reach the Moon and safely return astronauts to Earth, Artemis will use a variety of new spacecraft systems. These include the Space Launch System (SLS), Orion Crew Vehicle, and the Lunar Terrain Vehicle (LTV) for reconnaissance missions (Fig. 1). Artemis is planned to be a measured, step-by-step program over a three-year period (Fig. 2). Early Artemis missions, beginning in 2021-2022, will first characterize the Lunar surface with an assortment of 16 instruments. Polar soil samples will be collected and analyzed for contents such as water and other volatiles. Later in 2022, Artemis will test navigation techniques in Low Lunar Orbit (LLO). An uncrewed mission (Artemis I) will be launched in Low Earth Orbit (LEO) to test the heat-shield system designed to withstand the high temperatures (ca. 5,000° F) of Earth re-entry. The crewed phase of the Artemis program begins in 2023 with launch of the PPE (Power and Propulsion Element) and HALO (Habitation and Logistics Outpost) systems, followed by Artemis II, a 10-day crewed flight around the Moon to test navigation, communication, and life-support systems in a lunar flyby. Finally, in 2024, astronauts will land near the Moon's South Pole, where abundant water-ice resources are known to occur in permanently shadowed regions in crater floors.

China is also seriously engaged in lunar exploration. The objectives of China's Chang'e program are to (1) explore and characterize both the lunar Nearside and Farside, (2) evaluate the lunar-resource potential, and (3) establish a permanent human presence on the Moon. The Chang'e-5 mission recently returned samples of the lunar regolith (unconsolidated upper soil layer) to Earth. This is the first sample-return mission since 1976 when the former Soviet Union's 1976 Luna 24 mission successfully returned samples from Mare Crisium (The Planetary Society, 2021). The Chang'e lander, which touched down in Oceanus Procellarum, located in the northwestern quadrant of the lunar Nearside, collected 1.7 kilograms (3.7 pounds) of regolith with a mechanical scoop and a drill capable of penetrating 2 meters (6.6 ft) underground. An ascent vehicle transported these samples to a service module in lunar orbit. The service module left lunar orbit for Earth, and then released the Earth-return capsule shortly before arrival to Earth. Future Chang'e missions will target the Lunar Farside and Polar areas.

Lunar Resources

The Moon has a variety of resources that can be used for manufacture of rocket fuel, power systems, and construction for long-term, human habitation (Ambrose, 2013). Water-ice is an important lunar commodity. It is the source of hydrogen and oxygen for rocket propellant, with hydrogen being the fuel and oxygen being the oxidizer. For example, the Saturn V rocket that took astronauts to the Moon in the Apollo program in the 1960s and 1970s used hydrogen for its second and third stages, with liquid oxygen for combustion.

A long-term presence on other worlds such as the Moon, to be economically viable and sustainable, will require *in situ resource utilization* (ISRU) of a variety of resources, including regolith materials for construction of a Moon base and solar power installations. Optimal sites for human habitation are located near the poles. These are areas where deposits of water ice and other volatiles occur in topographically low areas such as crater floors in areas of no solar illumination (Bussey et al., 2005; Spudis, 2008, 2018). In addition, topographically high crater rims exposed to near-constant sunlight in polar regions can serve as areas for solar-power installations.

Other important lunar resources include (1) hydrogen and oxygen occurring other than water ice (implanted in the lunar regolith from the solar wind [Wurz, 2005; Crider and

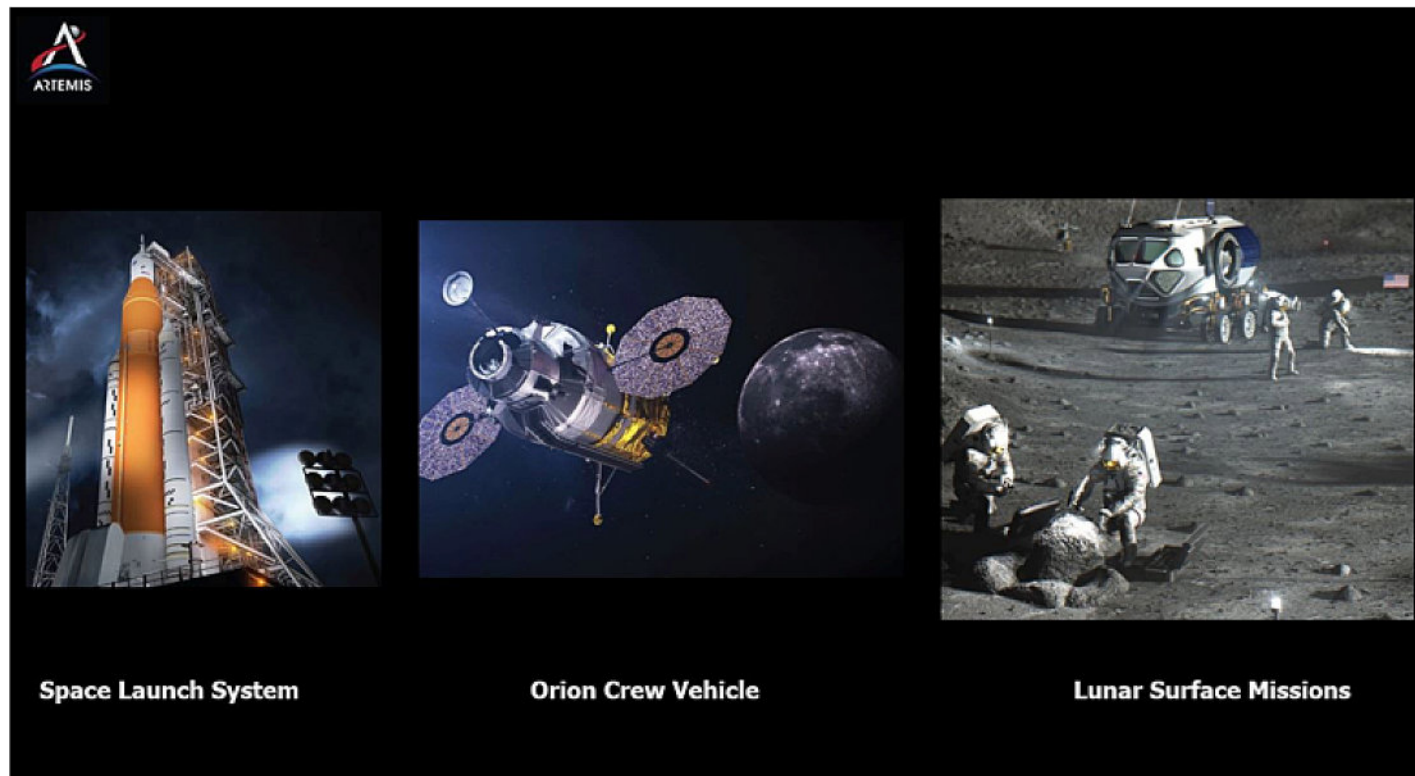


Figure 1. Major components of the Artemis mission, including from left to right, the Space Launch System (SRS), Orion Crew Vehicle, and the Lunar Terrain Vehicle (LTV) for reconnaissance missions. Modified from NASA (2020).

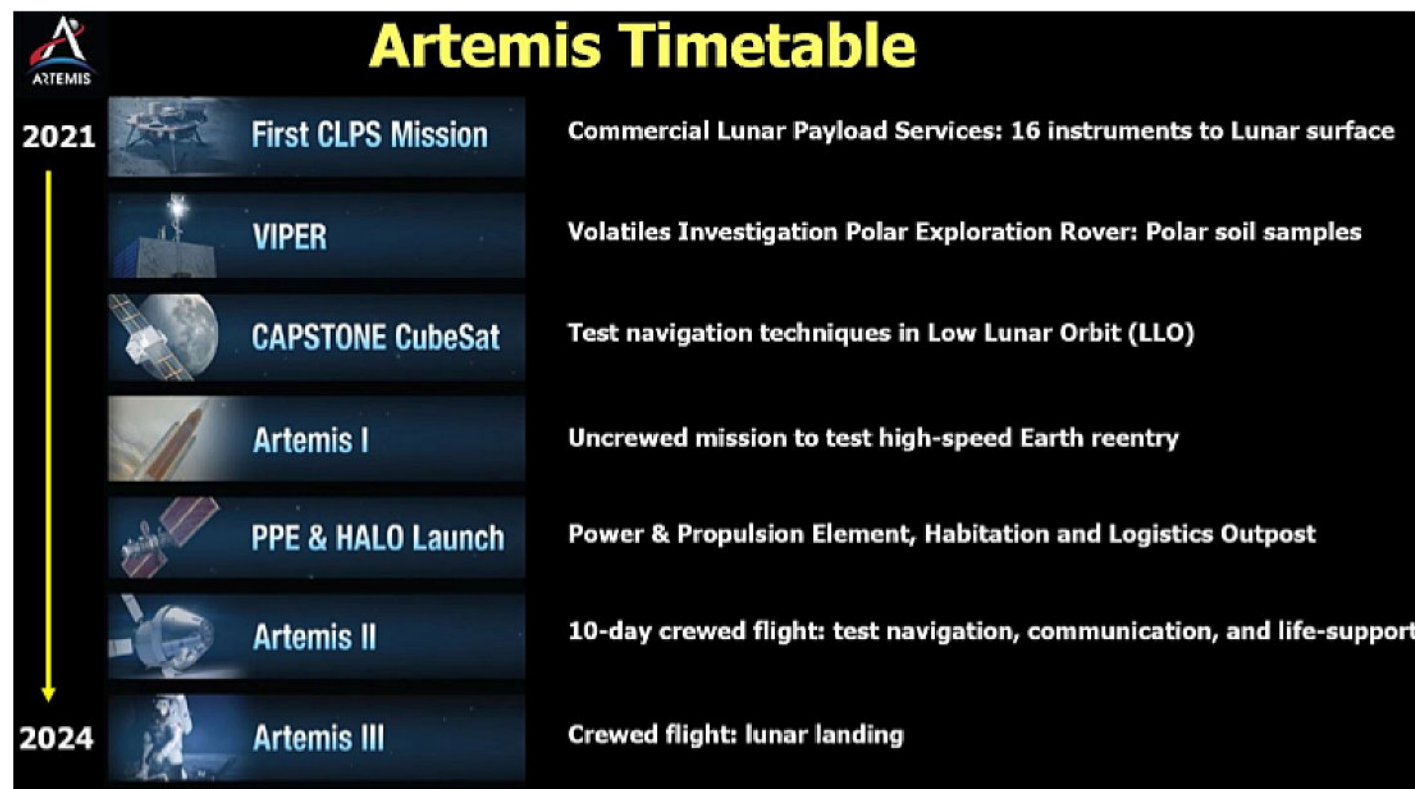


Figure 2. Artemis timetable. The first crewed flight to the Moon is scheduled for 2024. Modified from NASA (2020).

Vondrak, 2000; Sinitsyn, 2014]), (2) helium-3 also implanted in the regolith (Schmitt, 2006; 2013), (3) uranium and thorium (Glotch et al., 2010; Yamashita et al., 2010), (4) regolith-related metals such as titanium, iron, and aluminum (Papike et al., 1998; Elphic et al., 1998; Meyer et al., 2010; Wieczorek et al., 2012), (5) volatiles and elements of pyroclastic origin that include iron, zinc, cadmium, mercury, lead, copper, and fluorine, (Saal et al., 2008), (6) rare metals and platinum-group elements such as nickel, platinum, palladium, iridium, and gold that may occur within segregated impact melt sheets and layered mafic extrusives (Taylor and Martel, 2003; Schmitt, 2008), and (7) other volatiles such as nitrogen, carbon, and lithium that occur either with breccias or in exhalative deposits (Mathew and Marti, 2000). Many of these resources are summarized in Heiken et al. (1991) and more recently in Crawford (2015).

Water-Ice

The average lifting cost today to exit materials from Earth's gravity well into LEO is approximately \$35,000 per kilogram, although this number is being reduced with more-efficient rockets and reusable lift vehicles. Rather than manufacture rocket fuel on Earth and incur the tremendous cost of escaping Earth's gravity well, it will be cheaper to manufacture rocket fuel in space. Because the Moon's axis has a low, 1.5-degree tilt, numerous permanently shadowed regions (PSRs) exist near the poles. Commonly occurring in deep crater floors, PSRs are cold, only a few degrees above absolute zero. For most of the Moon's long, 4.5-billion year history, volatiles such as water-ice and ammonia, and a host of elements and other compounds such as methanol, sodium and sulfur dioxide, accumulated in PSRs as ejecta from impacts of volatile-rich asteroids and comets (Fig. 3). These polar volatiles have for many years hypothesized to exist near the lunar poles (Watson et al., 1961). Although most of these volatiles were lost to space where they settled in sunlit areas, some accumulated in shadowed, *cold* traps in polar areas that have been relatively stable over long periods of time (Fig. 4).

Studies regarding the abundance of cometary and asteroidal material in the Solar System suggest that 20 to 50% of these volatiles should be in the form of water ice near the poles (Hodges, 1980; Ingersoll et al., 1992; Butler, 1997). Other volatiles of cometary origin that may be present at the Moon's poles include methane and ammonia ices, as well as lesser amounts of carbon

monoxide, carbon dioxide, methyl cyanide (CH₃CN), and sulfur (Whipple, 1985). However, several long-term processes operating over billions of years are suspected to have reduced this percentage of water ice and other volatiles, including losses from meteorite impacts (Arnold, 1979), photodissociation from ultraviolet light associated with hydrogen Lyman- α emissions (Morgan and Shemansky, 1991), and erosion as a result of collisions from other cosmic-ray and solar-wind particles (Lanzerotti et al., 1981; Crider and Vondrak, 2003; Crider and Vondrak, 2007).

The late Paul Spudis with the Lunar Planetary Institute estimated that between 100 million and 1 billion metric tons of lunar water-ice exist at each pole (Spudis, 2018). This range reflects uncertainties in actual thickness and depth of burial of the water ice, and from the variety of imaging techniques that have been used.

Helium-3

The Moon's regolith is the unconsolidated, upper layer that composes the lunar soil. It contains Helium-3, an isotope of helium that originates from Helium-4 atoms from the solar wind interacting with high-energy cosmic rays. Planetary bodies in the Solar System with atmospheres and magnetospheres such as the Earth and Jupiter are shielded from accumulation of Helium-3, but airless bodies and those with weak to non-existent magnetic fields such as the Moon, Mercury, and asteroids have been passively accumulating Helium-3 from the solar wind for billions of years.

Helium-3 is a potential source of nuclear energy from fusion. It's value as a new source of energy stems from being a low-neutron-emitting source of nuclear energy with a low potential for damage to reactor vessels. In addition to its potential for power generation, Helium-3 can also serve as rocket fuel for nuclear engines, reducing reliance on conventional, chemical propellants.

The distribution of Helium-3 on the Moon is in part controlled its affinity for titanium-iron oxides (for example ilmenite: FeTiO₃) in basalts in the regolith (Fig. 5). Lunar Helium-3 occurs in the first few meters of the regolith, which means that it could potentially be mined by strip-mining. It can then be liberated by heating the regolith to 600° C. Even though greatest concentrations of Helium-3 range from only 30 to 50 parts per billion (ppb), the global resource, which includes all concentrations ≥ 10 ppb, is

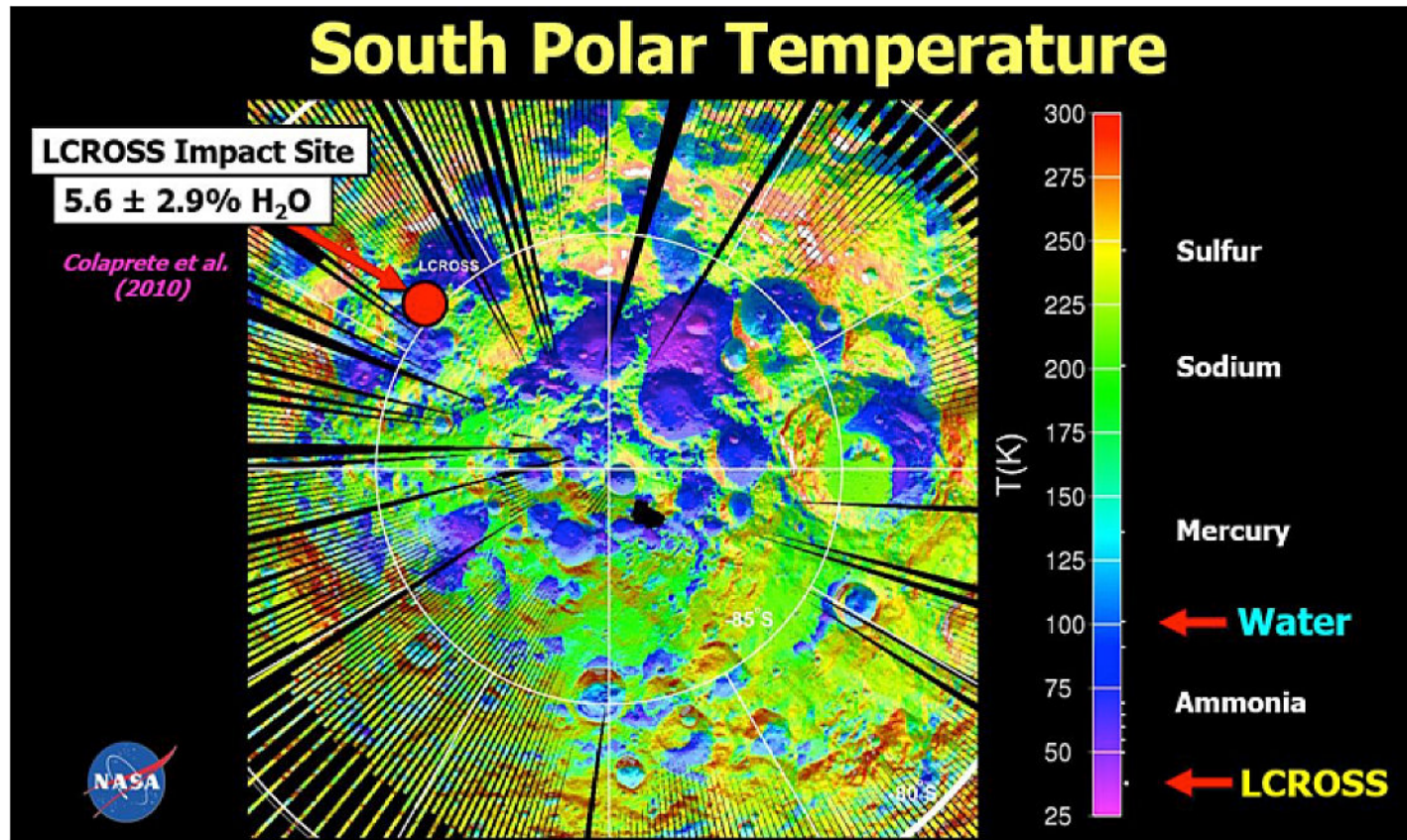


Figure 3. South polar temperatures, LCROSS (Lunar Crater Observation and Sensing Satellite) impact site, and stability temperature of volatiles potentially occurring in polar regions of the Moon. Temperature scale is Kelvin. Modified from Colaprete et al., (2010).

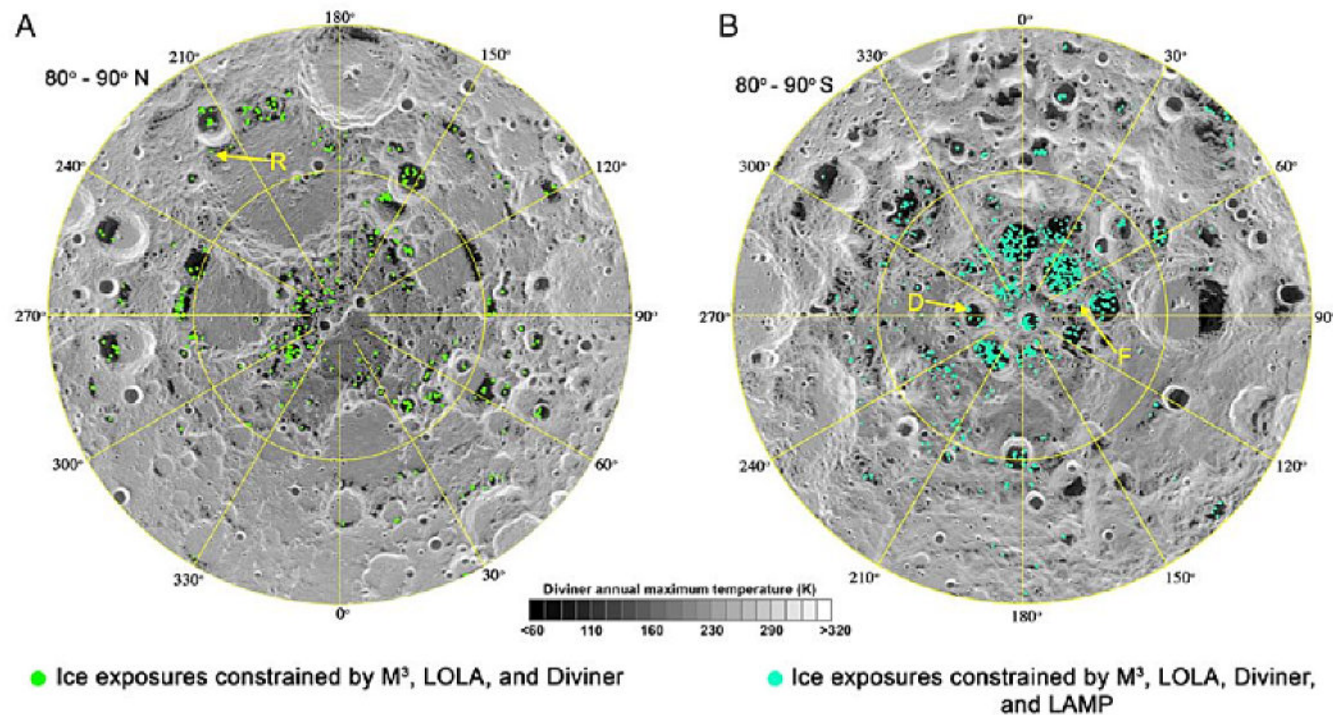


Figure 4. Presence of surface water ice (green and aqua-green dots) in permanently shadowed regions (PSRs) at the North (A) and South Polar (B) Regions of the Moon. Abbreviations: M³ (Moon Mineralogy Mapper), LOLA (Lunar Orbiter Laser Altimeter), Diviner (Full name Diviner Lunar Radiometer Experiment [DLRE]), and LAMP (Lyman Alpha Mapping Project). From Li et al., 2018).

estimated to be approximately 650 million metric tons (Fa and Jin, 2007). Apollo 17 astronaut Harrison Schmitt estimates that potential Helium-3 resource at 40 ppb in the north and south polar regions alone are more than 33,000 metric tons. Schmitt states that 100 kilograms of Helium-3 has the steam coal equivalent value of \$140 million with coal valued at \$2.50/million Btu, so the economic potential is considerable (Schmitt, 2006, 2013).

Titanium and Other Metals

Recent analysis of crater-penetration data in Mare Imbrium in the northwestern quadrant of the lunar nearside, as well as other mare-fill units (and therefore potential related metal resources) are thicker than previously inferred (Thomson et al., 2009). The bulk regolith also has a variety of metals, principally titanium, and aluminum, and lesser concentrations of iron. High values of titanium concentration (TiO_2 content 1 to 11 wt.%) occur in young (2.7-3.6 Ga [billion-year]) mare-fill units in Oceanus Procellarum on the northwestern part of the lunar nearside (Elphic et al., 1998). In addition, high concentrations of titanium (>6 wt.% TiO_2) occur in 3.4- to 3.8-Ga basalts in Mare Tranquillitatis (Hiesinger et al., 1998).

Aluminum is ubiquitous on the Moon, being a common component of silicates in breccias and basalts. In addition, many lunar basalts are rich in iron, with some having FeO

abundances between 17 and 22 wt.% (Papike et al., 1998). Potassium, associated with rare-earth elements and phosphorus, occurs in late-stage intrusive melts in Oceanus Procellarum and isolated areas in Mare Imbrium. Although K_2O concentrations in KREEP (Potassium/Rare-Earth-Elements/Phosphorus) materials is commonly only 1 to 2 wt.%, the K_2O content in granitic materials, which may be concentrated in silicic domes, may be as great as 5 to 8 wt.% (Glotch et al., 2010; Jolliff et al., 2011).

Thorium and Uranium, Rare Earth Elements, and Volatiles

Thorium and uranium are also sources for power generation and rocket propulsion in Space (Campbell et al., 2013). Thorium is relatively abundant in the southern part of Oceanus Procellarum, where it is associated with late-stage melts rich in KREEP constituents (Jolliff et al., 2000). Although thorium and uranium are present only as trace elements in most lunar rocks, even in those with abundant KREEP constituents, they may be most concentrated in regolith developed on the slopes and at the base of rhyolitic domes such as Mons Gruithuisen in northwest Mare Imbrium, Compton-Belkovich on the lunar farside (Jolliff et al., 2011), and in pyroclastic deposits in Rima Bode superimposed on highlands between Sinus Aestuum and Mare Vaporum, all of which are located on the lunar nearside (Hagerty et al., 2009). Compounds containing rare earth elements (REEs) are also associated with KREEP deposits and silicic domes.

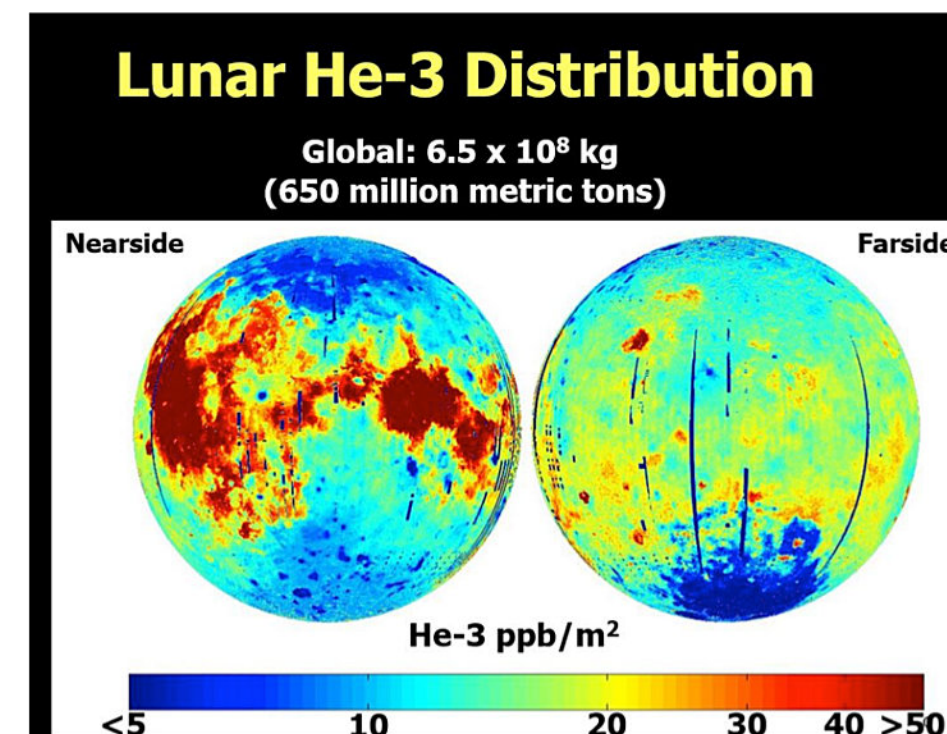


Figure 5. Distribution of Lunar Helium-3 in the lunar regolith. Relatively greater concentrations (more than 30 parts per billion) are much more abundant in nearside lunar maria. In contrast, the lunar farside is relatively sparse in Helium-3 because it is dominated by felsic crust (Jolliff et al., 2000). Modified from Fa and Jin (2007).

The Moon also contains volatiles such as nitrogen and carbon, the building blocks of plastics and foodstuffs that will be vital to sustain life on the Moon, in very low levels of concentration (commonly <2 and <10 ppm, respectively) that are bound in breccias, the regolith, and possibly in recent volatile deposits (Mathew and Marti, 2000). Volatiles, including water, also occur in lunar pyroclastic glasses, many at levels greater than 300 parts per million (ppm) (Milliken and Li, 2017) and some greater than 600 ppm (Saal et al., 2008). Hauri et al. (2011, 2015) have also demonstrated that the source of Apollo 15 and 17 pyroclastic glasses sampled by the Apollo 15 and Apollo 17 missions are as volatile-rich as the Earth's upper mantle.

Conclusions

The Moon contains a variety of resources that can be used for manufacture of rocket fuel, power systems, and construction for long-term, human habitation. A primary rationale for in-situ resource development on the Moon and on other bodies in the Solar System is cost-effectiveness—i.e., cheaper than lifting materials from Earth's gravity well. This especially pertains to rocket propellants and construction materials for lunar facilities, where dwellings can be constructed directly from the lunar regolith, helium-3 can be mined in titanium-rich regolith, and water-ice can be harvested and processed in non-illuminated areas in polar regions. Moreover, the Moon also hosts other valuable commodities that include metals (titanium, aluminum, and iron), as well as radiogenic materials such as thorium and uranium.

The Moon is a nearby, natural laboratory where we will learn how to live off-world. Lessons learned on the Moon—construction, mining, fuel processing, energy development, and human survival—will enable us to more efficiently and safely live on other worlds—notably Mars, a more Earthlike planet that is currently the focus of exploration by the Curiosity and Perseverance missions.

References

Ambrose, W. A., 2013, The significance of lunar water ice and other mineral resources for rocket propellants and human settlement of the Moon, *in* Ambrose, W. A., Reilly, J. F., II, and Peters, D. C., eds., Energy resources for human settlement in the solar system

and Earth's future in space: AAPG Memoir 101, p. 7–31.

Arnold, J. R., 1979, Ice in the lunar polar regions, *Journal of Geophysical Research*, v. 84, p. 5659–5668.

Bussey, D. B., Fristad, K. E., Schenk, P. M., Robinson, M. S., and Spudis P. D., 2005, Constant illumination at the lunar north pole: *Nature*, v. 434, p. 842.

Butler, B. J., 1997, The migration of volatiles on the surfaces of Mercury and the Moon: *Journal of Geophysical Research*, v. 102, no. E8, p. 19283–19291.

Campbell, M. D., King, J. D., Wise, H. M., Handley, B., Conca, J. L., and Campbell, M. D., 2013, Nuclear power and associated environmental issues in the transition of exploration and mining on Earth to the development of off-world natural resources in the 21st century, *in* Ambrose, W. A., Reilly, J. F., II, and Peters, D. C., eds., Energy resources for human settlement in the solar system and Earth's future in space: AAPG Memoir 101, p. 163–213.

Colaprete, A., Schultz, P., Heldmann, J., Wooden, D., Shirley, M., Ennico, K., Hermaly, B., Marshall, W., Ricco, A., Elphic, R. C., Goldstein, D., Summy, D., Bart, G. D., Asphaug, E., Korycansky, D., Landis, D., and Sollitt, L., 2010, Detection of water in the LCROSS ejecta plume: *Science*, v. 330, p. 463–468.

Crawford, I. A., 2015, Lunar resources: A review: *Progress in Physical Geography*, v. 39, no. 2, p. 137–167.

Crider, D. H., and Vondrak, R. R., 2000, The solar wind as a possible source of lunar polar hydrogen deposits. *Journal of Geophysical Research (Planets)*, v.105, p. 26,773–26,782.

Crider, D. H., and Vondrak, R. R., 2003, Space weathering of ice layers in lunar cold traps: *Advances in Space Research*, v. 31, no. 11, p. 2293–2298.

Crider, D. H., and Vondrak, R. R., 2007, Understanding stratigraphy in lunar polar cold traps (ext. abs.): *Lunar and Planetary Science*, v. 38, abstract 2225.

Elphic, R. C., Lawrence, D. J., Feldman, W. C., Barraclough, B. L., Maurice, S., Binder, A. B., and Lucey, P. G., 1998,

Lunar Fe and Ti abundances: comparison of Lunar Prospector and Clementine data: *Science*, v. 281, p. 1493–1496.

Fa, W., and Jin, Y-Q, 2007, Quantitative estimation of helium-3 distribution in the lunar regolith layer: *Icarus*, v. 190, no. 1, p. 15–23.

Glotch, T. D., Lucey, P. G., Bandfield, J. L., Greenhagen, B. T., Thomas, I. R., Elphic, R. C., Bowles, N. E., Wyatt, M. B., Allen, C. C., Donaldson-Hanna, K. L., and Paige, D. A., 2010, Identification of highly silicic features on the Moon (ext. abs.): *Lunar and Planetary Science*, v. 41, abstract 1780, 2 p.

Hagerty, J. J., Lawrence, D. J., Hawke, B. R., and Gaddis, L. R., 2009, New estimates of thorium abundances for the Rima Bode pyroclastic glass deposit (ext. abs.): *Lunar and Planetary Science*, v. 40, abstract 1852, 2 p.

Hauri, E. H., Weinreich, T., Saal, A. E., Rutherford, M. C., and Van Orman, J. A., 2011, High pre-eruptive water contents preserved in lunar melt inclusions: *Science*, v. 333, p. 213–215.

Hauri, E. H., Saal, A. E., Rutherford, M. J., and Van Orman, J. A., 2015, Water in the Moon's interior: truth and consequences. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 409, p. 252–264.

Heiken, G., Vaniman, D., and French, B., 1991, eds., *Lunar Sourcebook: A User's Guide to the Moon*: Cambridge University Press, 736 p.

Hiesinger, H., Jaumann, R., Neukum, G., and Head, J. W., III, 1998, On the relation of age and titanium content of lunar mare basalts (ext. abs.): *Lunar and Planetary Science*, v. 29, abstract 1243, 2 p.

Hodges, R. R., Jr., 1980, Lunar cold traps and their influence on argon-40: *Proceedings of the 11th Lunar and Planetary Science Conference*, p. 2463–2477.

Ingersoll, A. P., Svitek, T., and Murray, B. C., 1992, Stability of polar frosts in spherical bowl-shaped craters on the Moon, Mercury, and Mars: *Icarus*, v. 100, p. 40–47.

Jolliff, B. L., Gillis, J. L., Haskin, L. A., Korotev, R. L., and Wieczorek, M. A., 2000, Major lunar crustal terranes: surface expressions and crust-mantle origins: *Journal of Geophysical Research*, v. 105, no. E2, p. 4197–4216.

Jolliff, B. L., Wiseman, S. A., Lawrence, S. J., Tran, T. N., Robinson, M. S., Sato, H., Hawke, B. R., Scholten, F., Oberst, J., Hiesinger, H., van der Bogert, C. H., Greenhagen, B. T., Glotch, T. D., and Paige, D. A., 2011, Non-mare silicic volcanism on the lunar farside at

Compton–Belkovich: *Nature Geoscience*, v. 4, p. 566–571.

Lanzerotti, L. J., Brown, W. L., and Johnson, R. E., 1981, Ice in the Polar Regions of the Moon: *Journal of Geophysical Research*, v. 86, p. 3949 .

Li, S., Lucey, P. G., Milliken, R. E., Hayne, P. O., Fisher, E., Williams J-P, Hurley, D. M., and Elphic, R. C., 2018, Direct evidence of surface exposed water ice in the lunar polar regions: *Proceedings of the Natural Academy of Science*, v. 115, no. 36, p. 8907–8912.

Mathew, K. J., and Marti, K., 2000, Lunar nitrogen: indigenous signature and cosmic-ray production rate: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 184, p. 659–669.

Meyer, C., Becker, H., Wombacher, F., and Wiechert, U., 2010, Abundances of lithophile trace elements in iron meteorites: *Lunar and Planetary Science Conference 41*, Abstract Number 1912, 2 p.

Milliken, R. E., and Li, S., 2017: Remote detection of widespread indigenous water in lunar pyroclastic deposits: *Nature Geoscience*, v. 10, p. 561–565.

Morgan, T. H., and Shemansky, D. E., 1991, Limits to the lunar atmosphere: *Journal of Geophysical Research*, v. 96, no. A2, p. 1351.

NASA, 2020, NASA's lunar exploration program overview: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/artemis_plan-20200921.pdf, last accessed October 29, 2021.

Papike, J. J., Ryder, G., and Shearer, C. K., 1998, Lunar Samples, *in* Papike, J. J., ed., *Planetary Materials: Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, Mineralogical Society of America, Washington, DC, p. 5.1–5.234.

Saal, A. E., Hauri, E. H., Lo Cascio, M., Van Orman, J. A., Rutherford, M. C., and Cooper, R. F., 2008, Volatile content of lunar glasses and the presence of water in the Moon's interior: *Nature*, v. 454, p. 192–196.

Schmitt, H. H., 2006, *Return to the Moon*: Praxis Publishing, Ltd., New York, NY, 335 p.

Schmitt, H. H., 2008, The case for Lunar maria as potential layered extrusives (abs.): AAPG Search and Discovery, http://www.searchanddiscovery.net/abstracts/html/2008/intl_capetown/abstracts/464240.htm, last accessed October 29, 2021.

Schmitt, H. H., 2013, Lunar helium-3 energy resources, *in* Ambrose, W. A., Reilly, J. F., II, and Peters, D. C., eds., Energy resources for human settlement in the solar

system and Earth's future in space: AAPG Memoir 101, p. 33–51.

Sinitsyn, M. P., 2014, The hydrogen anomalies in KREEP terrain according to the results of LEND and LPNS neutron spectrometer data, *in* Anand, M., and Russell, S., organizing co-chairs, 2nd European Lunar Symposium, London, May 2014, p. 17–18: http://sservi.nasa.gov/wp-content/uploads/2014/05/ELS2014_ProgAbstractBook_07May.pdf, last accessed October 29, 2021.

Spudis, P. D., 2008, Lunar polar exploration: questions, issues and missions (ext. abs.): Lunar and Planetary Science, v. 39, abstract 1359, 2 p.

Spudis, P. D., 2018, How much water is there on the Moon?: Airspacemag.com, <https://www.airspacemag.com/daily-planet/how-much-water-moon-180967751/>, last accessed October 29, 2021.

Taylor, G. J., and Martel, L. M. V., 2003, Lunar prospecting: *Advances in Space Research.*, v. 31, no. 11, p. 2403–2412.

The Planetary Society, 2021, Chang'e-5: China's Moon sample return mission: <https://www.planetary.org/space-missions/change-5>, last accessed October 29, 2021.

Thomson, B. J., Grosfils, E. B., Bussey, D. B. J., and Spudis, P. D., 2009, A new technique for estimating the thickness of mare basalts in Imbrium Basin, *Geophysical Research Letters*, v. 36, no. L12201, 5 p.

Watson, K. W., Murray, B. C., and Brown, H., 1961, The Behavior of Volatiles on the Lunar Surface: *Journal of Geophysical Research*, v. 66, no. 9, p. 3033-3045.

Whipple, F. L., 1985, *The Mystery of Comets*: Smithsonian Institution Press., Washington, D. C., 276 p.

Wieczorek, M. A., Weiss, B. P., and Stewart, S. T., 2012, An impactor origin for lunar magnetic anomalies. *Science*, v. 335, p. 1212–1215.

Wurz, P., 2005, Solar wind composition, *in* Danesy, D., Poedts, S., De Groof, A., et al., eds., *Proceedings of the 11th European Solar Physics Meeting on the Dynamic Sun: Challenges for Theory and Observations*. ESA SP-600, p. 44.1–44.9.

Yamashita, N., Hasebe, N., Reedy, R. C., Kobayashi, S., Karouji, Y., Hareyama, M., Shibamura, E., Kobayashi, M.-N., Okudaira, O., d'Uston, C., Gasnault, O., Forni, O., and Kim, K. J., 2010, Uranium on the Moon: global distribution and U/Th ratio. *Geophysical Research Letters*, v. 37: L10201, 5 p.



William A. Ambrose is a Senior Research Scientist (retired) at the Bureau of Economic Geology, the University of Texas at Austin, where he holds a Master of Arts degree in geological sciences. He is currently Co-Chair of the Astrogeology Committee of the American Association of Petroleum Geologists (AAPG). His research interests in planetary geology include energy resources in the Solar System and lunar geology, with an emphasis on crater morphology and secondary craters associated with large impact basins. Bill has given numerous presentations on planetary science at meetings of the LPSC (Lunar and Planetary Science Conference), GSA (Geological Society of America), and AAPG. He is co-editor of GSA Special Paper 477, "Recent Advances and Current Research Issues in Lunar Stratigraphy" and AAPG Memoir 101 "Energy Resources for Human Settlement in the Solar System and Earth's Future in Space".



Mr. Bruce L. Cutright is Chief Executive Officer for GeoFrame Energy engaged in the development and production of geothermal energy. Prior to founding GeoFrame Energy, Mr. Cutright served as a Research Associate at the University of Texas Bureau of Economic Geology, leading the geothermal energy research group and serving as a leading contributor to the National Geothermal Data System. Prior to joining the BEG, he was the Chief Operating Officer for a large investment and development firm based in New York and a senior consultant and shareholder for an international earth science and engineering consulting firm.

Mr. Cutright has devoted his career to seeking out and working to realize innovation. Innovation in the energy sector and in the exploration and development of space resources. His research has led to new understandings of the use of underground space, geothermal energy and the extraction of water, heat, industrial minerals and rare earth elements through non-disruptive methods without adverse environmental impact. His interests in space resources have been devoted to understanding the value of space exploration and the economics necessary to intelligently expand the energy and critical resources here on earth to near-earth space and to the solar system. His efforts have identified the key areas where innovation can significantly change the economics of in situ resource utilization, space access and exploration beyond near earth space.

Notes on Fracture Analogs

Sergio Sarmiento (Ph.D.)

Consulting Reservoir Modeler and DFN Expert

Houston, Texas

Notes on Fracture Analogs

Natural fractures play an important role in reservoir permeability and potentially storage in oil and gas reservoirs. Fractures in nature range widely in scale from microfractures to large scale faults of tens of kilometers in length (figure 1). The difficulty in characterizing length, height and apertures on fractures resides in sampling these discontinuities in depth due to their scale being much less than the seismic resolution; an additional challenge is the uncertainty to determine if the fractures that are recorded on a core or borehole image are representative of the reservoir in question.

Fracture surface analogs are used in lieu of the lack of sampled fractures below the seismic resolution. Budgetary restrictions to drill new wells and acquire borehole image logs and core influence the scarcity of measured sub-seismic fractures in depth. These analogs are the best approximation in the surface of the spatial organization of fractures in depth.

What is a Fracture Analog?

Fracture surface analogs are outcrops where fractured formations associated to a prospective or proven reservoir in depth are exposed at the surface. Fracture spatial organization must not be assumed the same of the reservoir in depth for the following reasons:

- Differences in structures and/or structural position between the analog and the reservoir (figure 2).
- Differences in vertical stress as fracture apertures and organization are affected by the effect of the overburden or residual stress at the surface. Fractures that appear open for flow might not be in depth as the stress ratios are different
- Influence of diagenesis is usually localized and can make a big impact specially on carbonates.

Finding the correct analog requires a knowledge of the existing reservoir if wells are drilled and if there is a frontier prospect, the key is to build a fracture conceptual model and determine the fracture drivers.

What is a Fracture Conceptual Model?

A fracture conceptual Model is the framework used to build a Discrete Fracture Network. A conceptual model has the goal to develop a visual representation of the fracture spatial distribution for a reservoir in depth based on data if available (seismic, wells, production) and enhanced by the information observed on a fracture analog. For instance, a fracture conceptual model might establish a fracture scale hierarchy each scale with a spatial distribution either confined to a mechanical or stratigraphic layer or a fracture that cut across multiple layers (figure 3).

An important question of a conceptual model is how well this model can reproduce or forecast the spatial fracture distribution in the reservoir. The fracture driver which is the mechanism(s) that best explained that distribution must be included in any conceptual model.

There are two main fracture drivers: Structural and Stratigraphic or a combination of both of them.

When the spatial arrangement of fractures is mainly associated to structures, the driver is structural. If fractures are layer confined or bounded, mechanical stratigraphy might be a driver. Mechanical layers not necessarily coincide with a uniform lithology or lithologies as what determine the fracture generation is a combination of the rock mechanical properties and the effective stresses present at the time of fracture formation.

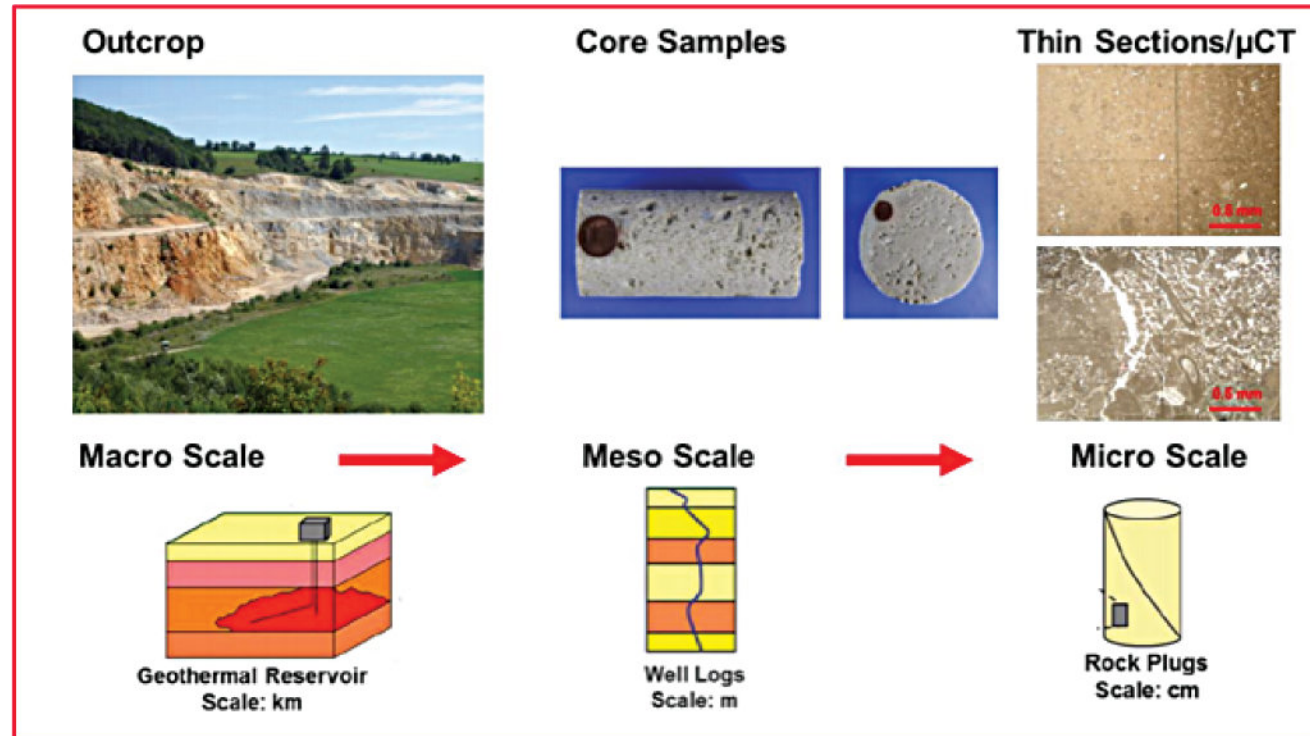


Figure 1. Fracture Scale Ranges. (figure after Homuth and Saas, 2014). Fractures characterization needs to include multiple scales and determine what is their relation between them. Power law distributions are noted in many fracture sets with more of the smaller scale and less of larger scales.

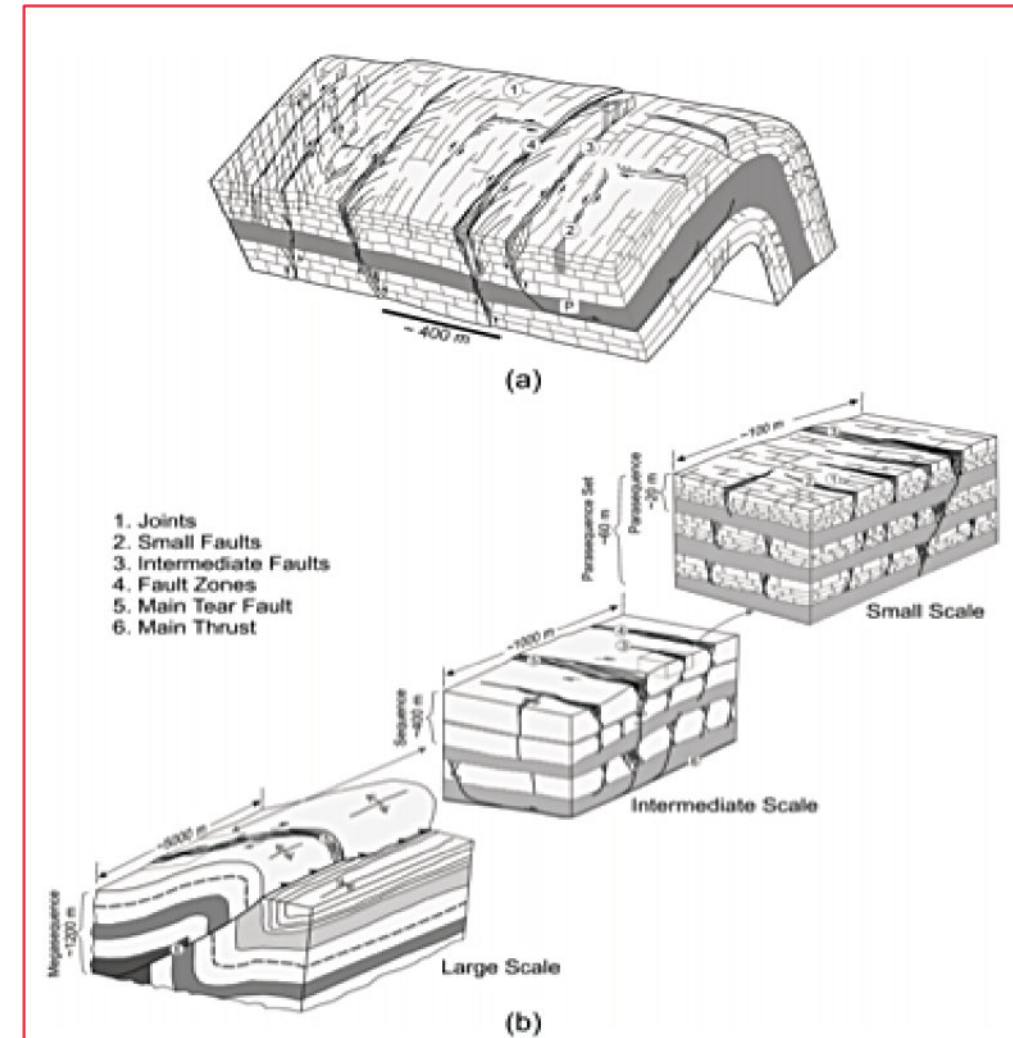


Figure 3. Example of a fracture conceptual model where there is a hierarchy in fractures at different scales. (figure after Florez-Nino et al, 2004).

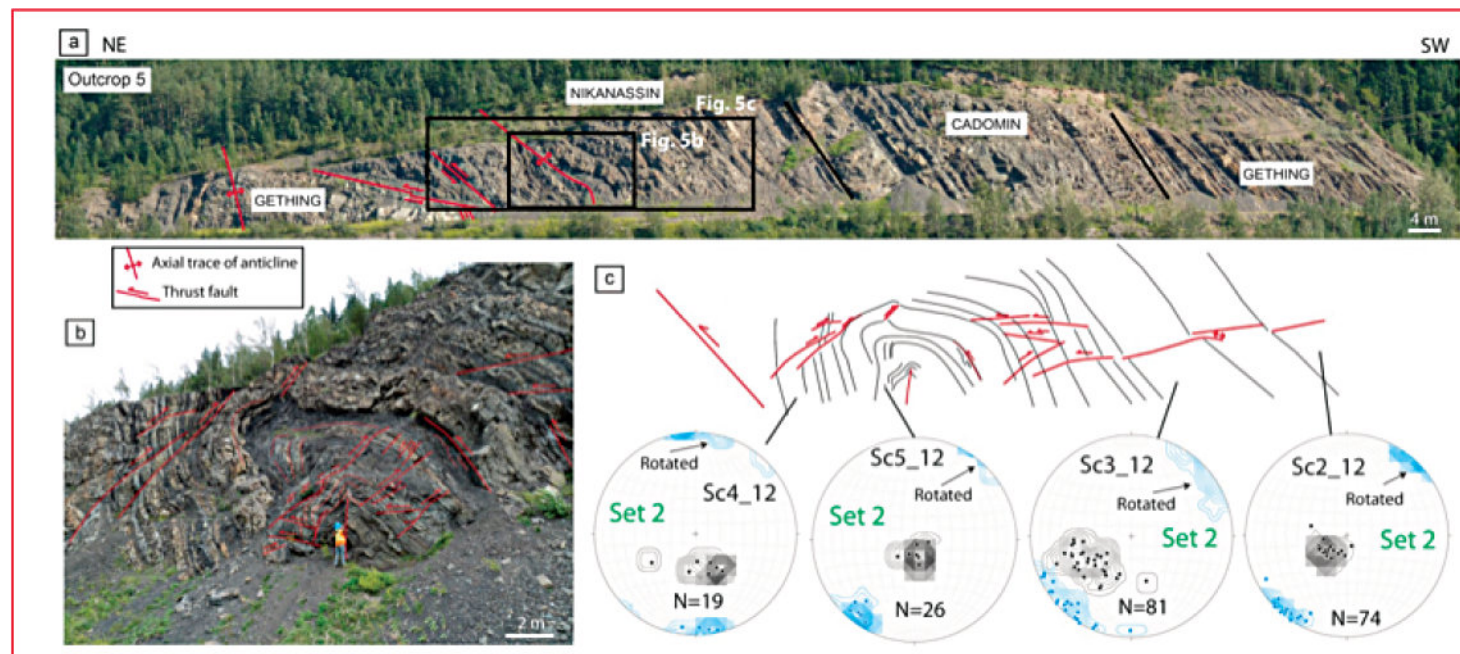


Figure 2. Fracture distribution across an anticline (Figure after Ukar et al, 2019). Observe how fracture distribution change according to the structural position.

Characterization of a Fracture Surface Analog

Data collection of fracture analogs include the generation of scanlines where fracture types, apertures and orientations are recorded and fracture intensity calculations are derived. Limitations on the number of scanlines and the presence of vegetation and other physical barriers make methods like LiDAR (Light Detection and Ranging), drones and giga pans image improve the resolution and scan the entire exposed volume of the analog.

References

- Florez-Niño, J, M. Aydin, A. Mavko, G. Antonellini, M and A. Ayaviri. *Fault and fracture systems in a fold and thrust belt: An example from Bolivia*; 2005. American Association of Petroleum Geologists, Bulletin. 89: pp. 471-493.
- Homuth, S; and I. Saas. 2014. Outcrop Analogue vs. Reservoir Data: Characteristics and Controlling Factors of Physical Properties of the Upper Jurassic Geothermal Carbonate Reservoirs of the Molasse Basin, Germany. Proceedings, Thirty-Eighth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, February 24-26, 2014.
- Ukar, E., S.E. Laubach and J.N. Hooker; 2019. Outcrops as guides to subsurface natural fractures: Example from the Nikanassin Formation tight-gas sandstone, Grande Cache, Alberta foothills, Canada. *Marine and Petroleum Geology* 103: pp 255-275.

Sergio Sarmiento (Ph.D.)

Consulting Reservoir Modeler and DFN Expert

Houston, Texas

Sergio Sarmiento holds a Bachelor of Science in Geology from Universidad Nacional de Colombia- Bogota; Master of Science in Geological & Geophysical Oceanography from Texas A&M University at College Station and a Ph.D. in Geology from the University of Houston.

Sergio has 20+ years of professional experience in reservoir modeling for conventional, unconventional and crystalline basement reservoirs with emphasis in fracture & geomechanics modeling, including the interaction between natural and hydraulic fractures and the dynamic calibration of multi-scale discrete natural fracture networks (DFN). Sergio has worked in R&D of numerical and analytical Discrete Fracture Network applications. He has also been involved in the use of novel technologies for the characterization of fractured outcrop analogs to more precisely determine the mineral composition and geometry of fracture networks from individual fracture forming events and the effect of diagenesis on fracture distribution and reservoir permeability.



<https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Sergio-Sarmiento-2078201848>

<https://www.linkedin.com/in/sergio-sarmiento-ph-d-reservoir-modeler-dfn-expert>

PUBLICATIONS

Sarmiento, S, A. Briceno, B. Fontecha, S. Winstanley, and L. Navarrete. A Clustered DFN from sequence spacing analysis in the Mississippian Lime; 2018. Proceedings of the 2th International Discrete Fracture Network Engineering Conference and 52th American Rock Mechanics Association symposium. DFNE 18-215. Seattle.

García-Sellés, D; S. Sarmiento, O. Gratacós, P. Granado, N. Carrera, M.R. Lakshmikantha; J.C. Cordova, and J.A. Muñoz. 2018. Fracture Analog of the subandean devonian of southern Bolivia: LIDAR applied to Abra del Condor. AAPG Memoir 117: pp. 577-612. Petroleum Basins and Hydrocarbon Potential of the Andes of Peru and Bolivia, Editors Gonzalo Zamora Valcarce, Ken McClay, Victor A. Ramos.

Biber, K., S.D. Khan, T.D. Seers, S. Sarmiento, and M.R. Lakshmikantha; 2018. Quantitative characterization of a naturally fractured reservoir analog using a hybrid lidar-gigapixel imaging approach. Geosphere.14. n.2, 1-21.

Sun, L., S.D. Khan, S. Sarmiento, M.R. Lakshmikantha, and H. Zhou. 2017. Ground-based hyperspectral imaging and terrestrial laser scanning for fracture characterization in the Mississippian Boone Formation. Int. J Appl Earth Obs Geoinformation. 63, 222-233.

Sarmiento, S, E. Macaulay, V. Sifontes, J. Arregui, and M.R. Lakshmikantha; 2016. A Novel Approach to model DFNs Validating the Geological Evolution with Present Day Fracture Distributions. Proceedings of the 50th American Rock Mechanics Association/ Geomechanics symposium. ARMA 16-172. Houston.

Okay, U. S.D. Khan, M.R. Lakshmikantha, and S. Sarmiento. 2016. Ground-based hyperspectral image analysis of the Lower Mississippian (Osagean) Reeds Spring Formation rocks in Southwestern Missouri. Remote Sensing 8, 1-21.

CONFERENCE PRESENTATIONS

Sarmiento, S; Walker, G; Briceno, A; Fontecha, B; Segnini, C; Navarrate, L; 2018. Fracture Intensity as a False Positive for Productivity: Indications of Geothermal Activity, American Geophysical Union Fall Meeting Conference. Washington DC.

Sarmiento, S., E. López Puiggené, A. Díaz Aguado, N. Rodríguez Morillas, and C. Santos. 2015. Holistic Approach to Determine Wellbore Fracture Density, 77th EAGE Conference & Exhibition Madrid.

Díaz, A., E. López, J. Alvarelos, C. Santos, C., S. Sarmiento, and M.R. Lakshmikantha. 2015. Integration of Multiple Tools for Geomechanical Models Across Fractured Formations, 77th EAGE Conference, Madrid, Spain.

SOME OBSERVATIONS ABOUT THE POSSIBLE WESTERN EXTENSION OF THE MOTAGUA FAULT IN GUATEMALA; WHERE IS IT?

Carlos A. Dengo

Principal, Tierranos Consulting, LLC

This article explains a variety of geologic observations to support the hypothesis that the western extension of the Motagua fault in Guatemala could be joined, via a right-stepping restraining bend, to the western Polochic fault and that Motagua and Polochic faults are nearly coincidental in this area. The western Polochic fault may have been part of the original Motagua suture zone prior to major strike-slip displacements across the plate boundary.

It is widely recognized that there are at least three major fault systems that define a diffuse plate boundary between the North American and Caribbean Plates and in Guatemala these faults separate the Maya Block to the north from the Chortis Block to the south, as defined by G. Dengo (1969). These are the Polochic, Motagua and Jocotan-Chamelecon faults (Figure 1) of which the least well studied fault is the Jocotan-Chamelecon fault system, and for which there is no evidence of Holocene age slip (Schwartz et al. 1979; Gordon & Muehlberger 1994). The Polochic fault has a striking geomorphic expression across all of Guatemala, whereas the Motagua and Jocotán-Chamelecon faults do not (Figure 1 and satellite images; Muehlberger and Ritchie, 1975).

There have been numerous studies proposing different amounts of displacement on the Polochic and Motagua faults (Burkart,1978, 1983; Anderson et al., 1973, 1985; Erdlac and Anderson, 1985; Burkart et al., 1987; Ratschbacher et al., 2009; Authemayou et al., 2010; Solari et al. (2013). Regardless of differences in interpretations of the amount of slip on each individual fault system it is generally agreed that the amount of cumulative displacement distributed across this plate boundary must correspond to approximately 1100 km of left-lateral strike-slip motion since the Eocene, linked to the magnetic anomalies in the Cayman Trough (Rosencrantz et al.,1988; Rosencrantz and Mann, 1991). It also appears that the Chortis block is undergoing extension whereas the Maya block by and large is under compression and lacks significant extensional structures of comparable age to those found on the Chortis Block. It has been proposed that grabens in Honduras and southern Guatemala, and strike-slip and reverse faults in southern Mexico accommodate some of the distributed strain across the plate boundary (Plafker 1976; Burkart & Self 1985; Guzman-Speziale & Meneses-Rocha 2000; Guzman-Speziale, 2001; Rogers & Mann 2007). Rodriguez et al. (2009) proposed, on the basis of GPS studies and finite element modeling of the plate boundary, that more than half of the strike-slip motion that occurs along the Motagua-Polochic faults in easternmost Guatemala is transferred southwards into the grabens of Honduras and Guatemala. Ratschbacher et al. (2009) state that the normal faulting exemplified by these grabens extends across the Motagua fault zone into various different units extending from central to western Guatemala but not across the Polochic fault, leading them to suggest that the Polochic fault is the major plate boundary.

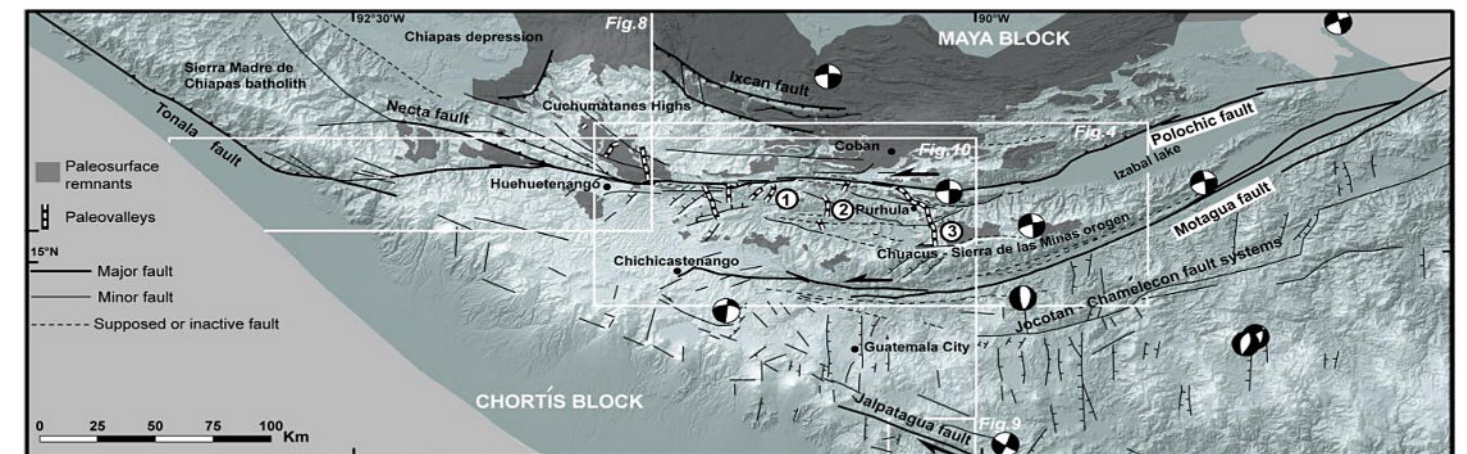


Figure 1. Faults associated with the North America (Maya Block; Caribbean (Chortis Block) plate boundary in Guatemala (figure taken from Authemayou et al., 2011. (Refer to their paper for description of all symbols).

The February 4, 1976 Guatemalan earthquake, with a surface-wave magnitude of 7.5, was generated by left lateral strike-slip motion along the Motagua fault (Espinosa et al., 1976). A maximum of 325 cm of left-lateral offset was observed, with an average of 100 cm. The earthquake was responsible for over 23,000 deaths, injured more than 76,000 people and caused enormous property damage (Espinosa et al., 1976). This earthquake demonstrated that the Motagua fault is presently the active segment of the North American and Caribbean plate boundary. The surface rupture propagated from the epicenter, near the town of Los Amates, westward to about the town of Chuarrancho, just north of Guatemala

City (Espinosa et al., 1976; Figure 2). Furthermore, the earthquake produced a surface rupture that extended 85 kms further west than the previously mapped termination of the Motagua fault (Plafker 1976). West of Chuarrancho, an area covered extensively by Tertiary and Quaternary volcanic rocks, (Mapa Geológico de Guatemala, Bonis et al., 1970) there was no surface rupture associated with the earthquake. The modified Mercalli intensity distribution in Guatemala for the main event (Figure 2) shows that in addition to the highest damage occurring near the epicenter, a zone of very high damage corresponds to where the surface trace of the Motagua fault terminates near the Chuarrancho area (Figure 2).

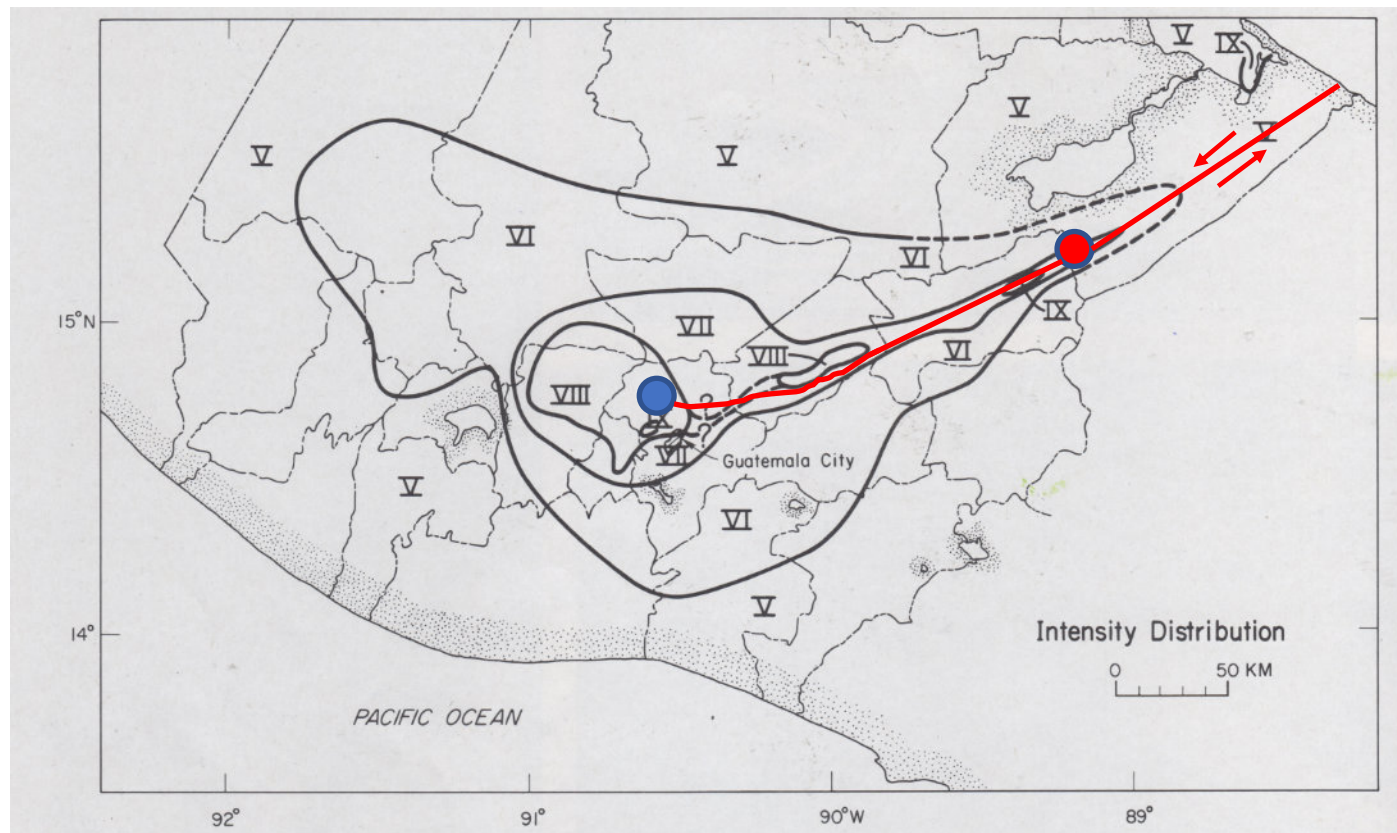


Figure 2. Modified Mercalli intensity distribution in Guatemala from the February 4, 1976 main event (figure from Espinosa et al., 1976). Red dot is location of epicenter, blue dot is location of Chuarrancho. Motagua fault trace (red) is superimposed.

Although the February 4, 1976 earthquake indicates that the Motagua fault has most recently accommodated the slip along the plate boundary several authors have proposed that the Polochic fault is the main plate boundary (for example, Ratschbacher et al., 2009; cited

above). In a more recent study of the infill of the Lake Izabal basin, a pull apart basin along the eastern Polochic fault zone (Figure 3), Obrist-Farner et al. (2020) concluded that at ~12 Ma the Polochic Fault served as the main fault of the plate boundary 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.

Much has been written about the serpentinites, and in general the ophiolites, that are remnants of a fossil subduction zone along the northern border of the Caribbean plate (Donnelly et al., 1990). These are found along the Motagua and Polochic fault zones and adjacent areas north and south of the Motagua fault (Figure 3). I do not intend to review this body of work here, which is extensive (Bonis, 1967; McBirney and Bass, 1969; G. Dengo, 1972; Donnelly et al., 1990; Rosenfeld, 1981; Beccaluva et al., 1995; Giunta et al., 2002; Harlow et al., 2004; Ortega-Gutierrez et al., 2004; Martens et al., 2007; Ratschbacher et al., 2009; and references contained therein). The Sierra de Santa Cruz and Baja Verapaz serpentinite belts have been interpreted as having been thrust onto the Maya Block (see above references). Small, perhaps less studied, bodies of serpentinite are also found along the western Polochic Fault zone in the area adjacent to and east of Huehuetenango (Blount 1967; Anderson et al., 1973; C. Dengo, 1982). I note that the extensive work done on the Motagua suture zone, and its associated ophiolites (references above), have not identified the physical location of the suture zone west of about the area shown

in Figure 3. Presumably because it's covered by younger volcanic rocks; but the question remains - where is it?

Extensive areas of western Guatemala are covered by ignimbrite flows (Bonis et al., 1970) which are grouped as the Central America Ignimbrite Province, which extends from Guatemala to Nicaragua (Williams et al., 1964; Williams and McBirney, 1969; Molina Garza et al., 2012). These volcanic rocks have been described and interpreted as an ignimbrite flare-up due to break-off in the Cocos plate below the Chortís block, between 17 and 10 Ma (Rogers et al., 2002; Jordan et al., 2007). Ignimbrites are only found on the Chortis Block and primarily south of the Motagua fault, yet they are found in northwestern Guatemala, near Huehuetenango along the valley of the Selegua river and within the Polochic fault zone, but not across on the northern side of the fault zone (Bonis et al., 1970). Ratschbacher et al. (2009) also conclude that these volcanic rocks are likely part of the Cenozoic Ignimbrite Province of Central America.

Along the western Polochic fault, in the general area between Cuilco and Aguacatán (Figure 4) are found some of the best exposures of fault-deformed rocks anywhere along the entire trace of the Polochic fault. Across the

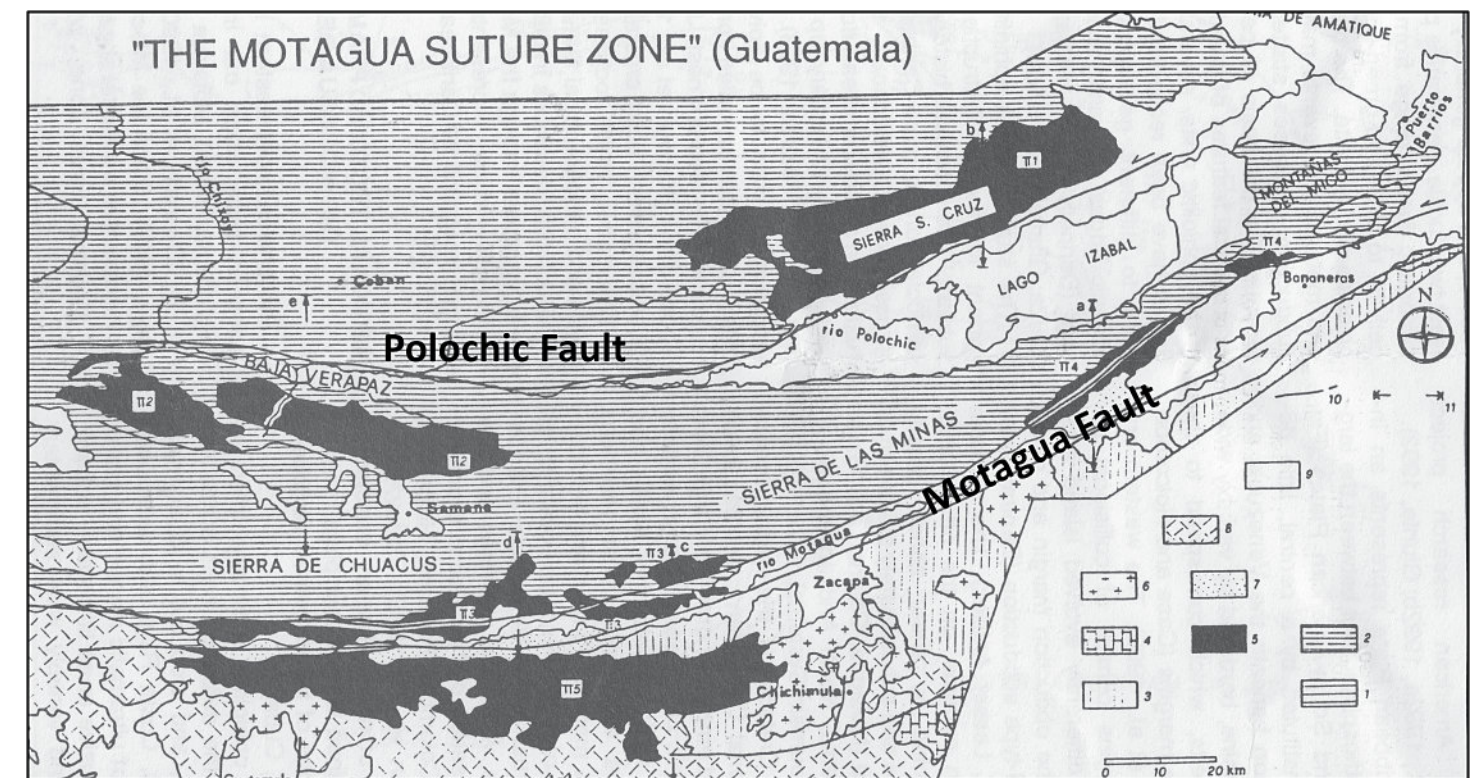


Figure 3: Map of the Motagua suture zone (figure from Beccaluva et al., 1995) showing the Motagua and Polochic faults in central-eastern Guatemala. Refer to authors for explanation for geologic legend. The serpentinite/ophiolite outcrops shown in black.

Polochic fault in this area Cretaceous Ixcoy limestones, on the north, are juxtaposed against greenschist facies mylonitic gneisses and schists, on the south, with local granitic intrusions. Several small serpentinite bodies are also found along this trace of the fault and most are in fault contact with surrounding rocks (Anderson et. al., 1973; C. Dengo, 1982). The metamorphic and igneous rocks exhibit

textures ranging from cataclasites to mylonites whereas the Ixcoy carbonates on the north side of the fault zone exhibit only cataclastic deformation (C. Dengo, 1982). In this area C. Dengo (1982) first reported the occurrence of pseudotachylite (Figure 4). Pseudotachylite is a rare rock and difficult to classify according to petrologic classifications. It is recognized that it is usually found in

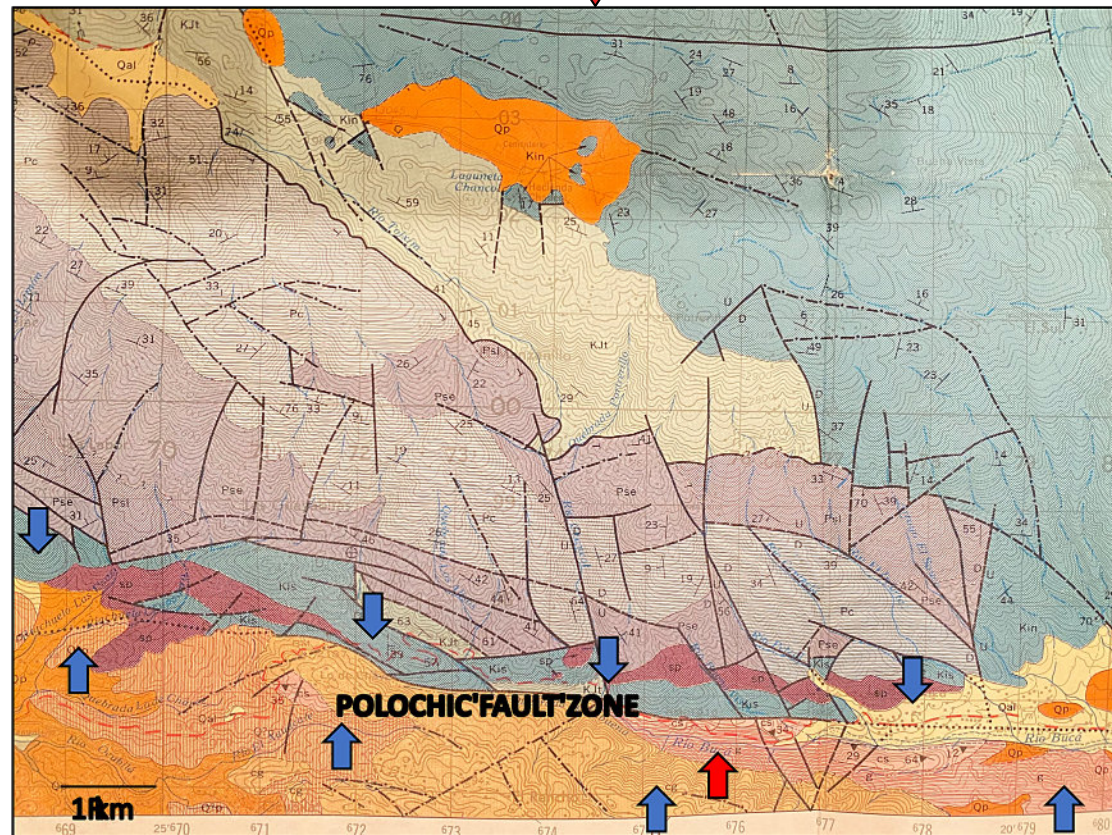
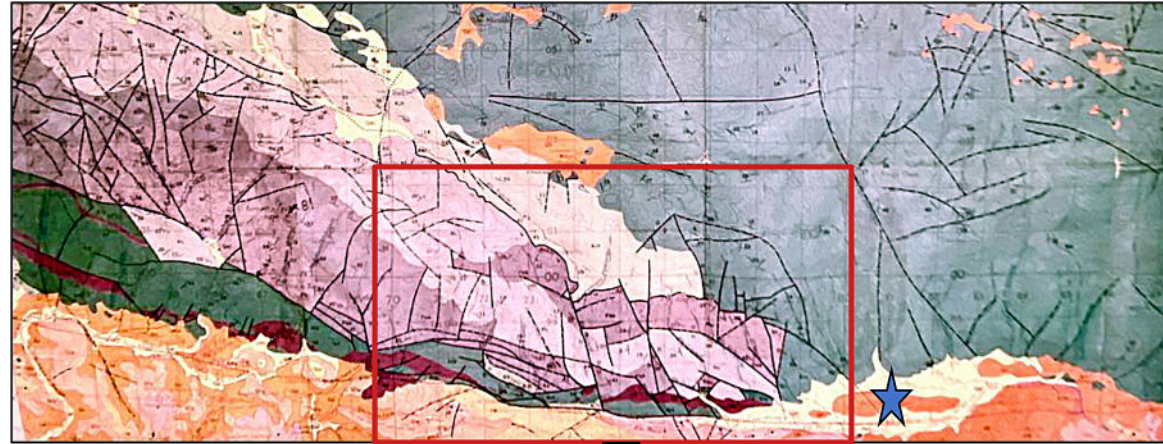


Figure 4: Geologic map of the Chiantla quadrangle Blount, 1967; Instituto Geográfico Nacional de Guatemala, 1968) at an original scale of 1:50,000. Area outlined in box is shown enlarged. Zone of deformation described in text is between blue arrows. Refer to original map for legend but note that Cretaceous Ixcoy limestones are in dark green, serpentinite in purple and gneisses and granites in orange tones. The town of Aguacatán is indicated with the star on upper map. Locations where pseudotachylite is found along Rio Bucá shown with red arrow on lower map.

zones of intense shear deformation and is the product of frictional melt produced during seismogenic faulting (Sibson, 1975). Detailed petrofabric analyses of the various fault-involved rocks demonstrate a number of microstructures, quartz deformation mechanisms and kinematic indicators all consistent with left-lateral shear deformation (C. Dengo, 1982). Furthermore, a number of strain softening processes were documented in the metamorphic and igneous fault-deformed rocks (C. Dengo, 1982). These processes are more typical of deformation at near hypocentral depths (greenschist facies). All indications are that the rocks on the south side of the fault have undergone intense quasi-plastic shear deformation (as defined by Sibson, 1977) with an overprint of shallower-depth cataclastic deformation.

There are several suggested models and fault geometries that link the Motagua and other faults to the Tonalá fault in southern Mexico (Figure 1), which is also considered to be the most plausible westward extension of the Polochic fault (Carfantan, 1976; Molina-Garza et al., 2015). For example, Ortega-Gutierrez et al. (2010) stated that the Motagua fault, although apparently interrupted or buried in central Guatemala by recent volcanic deposits, may be traced into Mexico following the east-trending Belisario Domínguez mylonitic shear zone that intersects the Mexico-Guatemala border near the Tacaná volcano. Rodriguez et al. (2009) proposed a relay zone and a restraining bend at the western termination of the Motagua fault. Authemayou et al. (2011) proposed a trench-parallel faulted zone that links the Jalpatagua - Motagua fault terminations to the Tonalá fault and propose a relay zone and a restraining bend at the western termination of the Motagua fault. How exactly do these proposed relay and restraining bend configurations fit into the geology is unclear because they would be in areas covered by Tertiary and Quaternary volcanic rocks that showed no fault offsets of the magnitude observed by the average slip that occurred during the February 4, 1976 earthquake. It does seem though that many authors favor a kinematic model that links the Motagua fault with major shear zones in southern Mexico.

If one considers in total the different observations that involve 1) an abrupt westward termination of the Motagua fault displacement near Chuarrancho and associated high damage there caused by the February 4, 1976 earthquake, 2) the position of serpentinites along the Polochic fault in the vicinity of the Huehuetenango area, that may be part of the overall assemblage of serpentinites interpreted by

many authors as part of a mélangé associated with the Motagua suture zone, 3) ample evidence for intense, deeper crustal shear deformation within the Polochic fault between Cuilco and Aguacatán and further west, in particular on the southern block of the Polochic fault and 4) the distribution of ignimbrites abutting the Polochic fault near Huehuetenango, that are generally associated with the Chortis Block, one may speculate that there could in fact be a right-stepping restraining bend on the Motagua fault between at about Chuarrancho striking northwest to meet the present Polochic fault in the vicinity of the Aguacatán area (Figure 5). In this interpretation, the Polochic fault west of the Aguacatán area is actually the ancestral Motagua suture zone and places the Maya and Chortis blocks in direct fault contact. It is, therefore, possible that the Polochic fault records different convergent margin and strike-slip displacement histories across the North America-Caribbean plate boundary, similar to what has been interpreted to be the kinematic history of the Motagua suture zone/left lateral strike-slip fault. If so, the western Polochic fault segment may have preserved the initial Motagua suture zone.

Now, the problem remains as to what happened during the February 4, 1976 earthquake where the surface displacement along the Motagua fault terminated near the Chuarrancho area. If in fact there is a restraining bend that initiates near this area that links the Motagua and Polochic faults, whatever it's geometry may be, it stands to reason that if this segment of the fault is locked, it is akin to a stress singularity point along the fault trace. This is possibly the next segment of the Motagua fault to fail in a major earthquake. The restraining bend does not need to be a single fault trace. As noted by Plafker (1976), the 1976 earthquake had several surface ruptures that are not all linked to each other. The restraining bend proposed here is only a model and models require testing and refinement. The acquisition of long-offset, deep crustal seismic reflection profiles in the area between the termination of the Motagua fault and extending north to the Polochic fault may clarify the location of the Motagua suture zone across western Guatemala.

The geologic domain between the Polochic and Jocotan-Chamelecon fault systems comprises slices of metamorphic, ultramafic, igneous and sedimentary rocks that are complexly deformed and that may have been offset in varying amounts by not only the three main fault systems but also other fault splays, such as the Baja Verapaz shear zone (Ortega-Obregón et al., 2004, 2008).

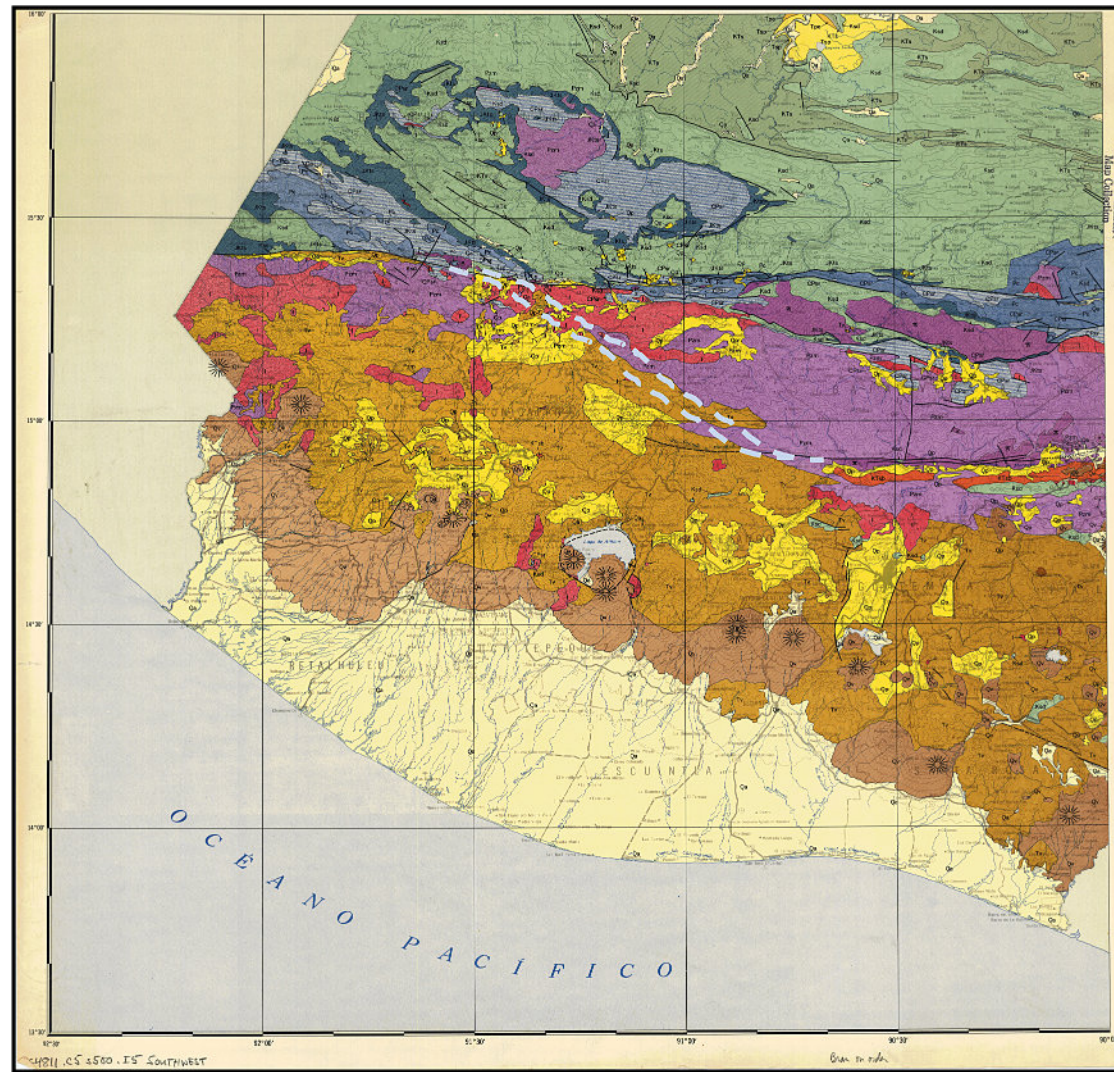


Figure 5: Southwest quadrant of the Geologic Map of Guatemala (Bonis et al., 1970) showing, in dashed lines, the proposed location of a right-stepping retraining bend linking the Motagua fault termination with the Polochic fault. See Bonis et al. (1970) for legend of rock units.

Thrust faults within this zone have also accommodated the deformation. One has to recognize there are differences in published interpretations and even some contradictory conclusions reached between different authors. It is likely that the full kinematic history of this plate boundary will never be fully resolved or that the preserved rock record will not permit such resolution. However, additional knowledge will be obtained as seismic events occur.

REFERENCES

Anderson, T. H., Burkart, B., Clemons, R. E., Bohnenberger, O. H., and Blount, D. N., 1973, Geology of the western Altos Cuchumatanes, northwestern Guatemala: *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 85, p. 805-826.

Anderson, T. H., Erdlac, R. J., Jr., and Sandstrom, M. A., 1985, Late-Cretaceous allochthonous and post-Cretaceous strike-slip displacement along the Chixoy-Polochic fault, Guatemala: *Tectonics*, v. 4, p. 453-475.

Authemayou, C., Brocard, G., Teyssier, C., Simon-Labric, T., Gutierrez-Orrego, A., Cacao-Chiquin, E. N. and Moran-Ical, S., 2011: The Caribbean-North America-Cocos triple junction and the dynamics of the Polochic-Motagua fault systems: Pull up and zipper models: *Tectonics*, v. 30, p. 2-23.

Beccaluva, L., Bellia, S., Coltorti, M., Dengo G., Giunta G., Mendez J., Romero J., Rotolo S. and Siena F. 1995. The northwestern border of the Caribbean Plate in Guatemala: new geological and petrological data on the Motagua ophiolitic belt: *Ofioliti*, 20, 1-15.

Bonis, S., 1967, Age of Guatemalan serpentinite: *Geol. Soc. Am. Abs. for 1967, Spec. Paper 115*, p. 18.

Bonis, S., Bohnenberger, O. H., and Dengo, G., 1970, Mapa Geológico de la República de Guatemala: Instituto Geográfico Nacional, Guatemala.

Blount, D. N., 1967, Geology of the Chiantla quadrangle, Guatemala: Ph.D. dissertation, Baton Rouge, Louisiana State Univ., 135 p.

Burkart, B. (1978), Offset across the Polochic fault of Guatemala and Chiapas, Mexico: *Geology*, v. 6, p. 328-32.

Burkart, B. (1983), Neogene North America-Caribbean plate boundary across northern Central America: Offset along the Polochic fault: *Tectonophysics*, 99, 251-270.

Burkart, B., and Self, S., 1985. Extension and rotation of crustal blocks in northern Central America and effect on the volcanic arc: *Geology* 13, 22-26.

Burkart B., Deaton, B.C., Dengo, C. A., Moreno, G., 1987, Tectonic wedges and offset Laramide structures along the Polochic fault of Guatemala and Chiapas, Mexico: reaffirmation of large Neogene displacement: *Tectonics*, v. 6, p. 411- 422.

Carfantan, J. C., 1976, El prolongamiento del Sistema de fallas Polochic-Motagua en el sureste de Mexico; una frontera entre dos provincias geológicas: paper presented at III Congreso Latino Americano de Geología, Acapulco, Mexico.

Dengo, C. A. (1982), Structural analysis of the Polochic Fault in western Guatemala, Central America: Ph.D. dissertation, Texas A&M University, 295 p.

Dengo, G., 1969, Problems of tectonic relations between Central America and the Caribbean: *Transactions of the Gulf Coast Association of Geological Societies*, v. 29, p. 311-320.

Dengo, G., 1972, Review of Caribbean serpentinites and their tectonic implications: in, Shagam, R., Hargraves, R. B., Morgan, W. J., Van Houten, F. B., Burk, C. A., Holland, H. D., and Hollister, L. C. (eds.) *Studies in Earth and Space Sciences*, *Geol. Soc. Am. Mem.* 132, p. 303-312.

Donnelly, T. W., Horne, G. S., Finch, R. C., and López-Ramos, E., 1990, Northern Central America; the Maya and Chortís blocks. In Dengo, G. and Case, J.E., (eds.), *The Caribbean Region: Boulder, Colorado, Geological Society of America, The Geology of North America*, v. 11, p. 37-76.

Espinosa, A. F., Husid, R., and Quesada, A., 1976, Intensity distribution and source parameters from field observations. In Espinosa, A. F., (ed.), *The Guatemalan Earthquake of February 4, 1976, A Preliminary Report: U.S. Geological Survey Professional Paper 1002*, United States Printing Office, p. 52-66.

Erdlac, R. J., and Anderson, T. H., 1985, The Chixoy-Polochic fault and its associated fractures in western Guatemala: *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 93, p. 57-67.

Giunta, G., Beccaluva, L., Coltorti, M., Cutrupia, D., Dengo, C., Harlow, G.F., Mota, B., Padoa, E., Rosenfeld, J. & Siena, F. (2002). The Motagua suture zone in Guatemala. Field-trip guide book of the IGCP. 433 Workshop and 2nd Italian-

Latin American Geological Meeting 'In Memory of Gabriel Dengo': *Ofioliti*, Vol. 27, No. 1, pp. 47-72.

Gordon, M.B., and Muehlberger, W. R., 1994, Rotation of the Chortis block causes dextral slip on the Guayape fault: *Tectonics*, v. 13, p. 858-872.

Guzman-Speziale, M., and Meneses-Rocha, J. J., 2000, The North America-Caribbean plate boundary west of the Motagua-Polochic fault system: A fault jog in southeastern Mexico: *J. South Am. Sci.*, v. 13, p. 459-468.

Guzman-Speziale, M., 2001, Active seismic deformation in the grabens of northern Central America and its relationships to the relative motion of the northern Central America-Caribbean plate boundary: *Tectonophysics*, v. 337, p. 39-51.

Harlow GE, Hemming SR, Ave` Lallement HG, Sisson VB, Sorensen SS., 2004. Two high-pressure-low-temperature serpentinite-matrix melange belts, Motagua Fault Zone, Guatemala: a record of Aptian and Maastrichtian collisions: *Geology*, v. 32: p. 17-20.

Jordan, B.R., Sigurdsson, H., Carey, S., Lundin, S., Rogers, R.D., Singer, B., Barquero- Molina, M., 2007, Petrogenesis of Central American Tertiary ignimbrites and associated Caribbean Sea tephra: *Geol. Soc. of Am. Special Papers* 428, 151-179.

Martens, U., Solari, L., Sisson, V., Torres de León, R., Ligorria, J. P., Tsujimori, T., Ortega, F., Brueckner, H., Giunta, G., and Ave Lallemand, H. A., 2007, High -Pressure belts of central Guatemala: The Motagua suture and Chuacús complex: Field trip guide 1st Field Workshop of IGCP 546 "Subduction Zones of the Caribbean": Ministerio de Energía y Minas, República de Guatemala, 32 p.

McBirney, A.R., and Bass, M.N., 1969, Structural relations of pre-Mesozoic rocks of northern Central America. In: *Tectonic Relations of Northern Central American and the Northern Caribbean - The Bonacca Expedition*: In, McBirney, A.R. (ed.), *Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem.*, v. 11, p. 269-280.

Molina-Garza, R.S., van Hinsbergen, D.J.J., Rogers, R.D., Ganerød, M., Dekkers, M.J., 2012, The Padre Miguel Ignimbrite suite, central Honduras: Paleomagnetism, geochronology, and tectonic implications: *Tectonophysics*, v. 574-575, p. 144-157.

Molina-Garza, r S., Geissman, J. W., Wawrzyniec, T. F., Peña Alonso, T. A., Iriando, A., and Weber, B., 2015, Geology of the coastal Chiapas (Mexico) Miocene plutons and the Tonalá shear zone: Syntectonic emplacement and rapid exhumation during sinistral transpression: *Lithosphere*, v.7, p. 257-274.

Muehlberger, W. R., and Ritchie, A. W., 1975, Caribbean-Americas plate boundary in Guatemala and southern Mexico as seen on Skylab IV orbital photography: *Geology*, v. 3, p. 629-632.

Obrist-Farner, J., Eckert, A., Locmelis, Crowley, J. L., Mota-Viduaré, B., Lodolo, E., Rosenfeld, J., and Duarte, E (2020) 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: *Basin Research*, vol. 32, Issue 6, p. 1347-1364.

Ortega-Gutiérrez, F., Solari, L. A., Ortega-Obregón, C., Elías-Herrera, M., Martens, U., Morán-Icál, S., Chiquín, M., Keppie, J. D., Torres De León, R., and Scaal, P., 2010: The Maya-Chortís boundary: a tectonostratigraphic approach: *International Geology Review*, v. 49, p. 996-1024.

Ortega-Obregon, C., Solari, L., Ortega- Gutierrez, F., Solé-Viñas, J. & Gomez-Tuena, A., 2004, Caracterización estructural, petrológica y geocronológica de la zona de cizalla "Baja Verapaz", Guatemala: Libro de Resúmenes, IV Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra, Juriquilla, P. 2004, 204.

Ortega-Obregon, C., Solari, L., Keppie, J. D., Ortega-Gutierrez, F., Sole, J. & Mora, N. S., 2008, Middle – Late Ordovician magmatism and Late Cretaceous collision in the southern Maya block, Rabinal-Salama´ area, central Guatemala: implications for North America – Caribbean Plate tectonics: *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 120, p. 556–570.

Plafker, G., 1976, Tectonic aspects of the Guatemala earthquake of 4 February, 1976, *Science*, v. 193, p. 1201-1208.

Ratschbacher, L., Franz, L., Min, M., Bachmann, R., Martens, U., Stanek, K., Stubner, K., Nelson, B.K., Herrmann, U., Weber, B., Lopez-Martinez, M., Jonckheere, R., Sperner, B., Tichomirowa, M., McWilliams, M.O., Gordon, M., Meschede, M., and Bock, P., 2009, The North American–Caribbean plate boundary in Mexico-Guatemala-Honduras: In James, K.H., Lorente, M.A., and Pindell, J.L., (eds.), *Origin and Evolution of the Caribbean Region: Geological Society of London Special Publication 328*, p. 219–293.

Rodriguez, M., DeMetes, C., Rogers, R., Tenorio, C., and Hernandez, D., 2009, A GPS and modelling study of deformation in northern Central America: *Geophys. J. Int.*, v. 178, p. 1733-1754.

Rogers, R., and Mann, P., 2007, Transtensional deformation of the western Caribbean–North America plate boundary zone, In Mann, P., (ed.), *Geologic and Tectonic Development of the Caribbean Plate in Northern Central*

America: Geological Society of America Special Paper 428, p. 37–64.

Rogers, R.D., Kárason, H. and van der Hilst, R.D., 2002. Epeirogenic uplift above a detached slab in northern Central America: *Geology*, v. 30, p. 1031–1034.

Rosencrantz, E., M. I. Ross, and J. G. Sclater (1988), The age and spreading history of the Cayman trough as determined from depth, heat flow, and magnetic anomalies: *J. Geophys. Res.*, 93, 2141-2157.

Rosencrantz, E., and Mann, P., 1991. SeaMARC II mapping of transform faults in the Cayman Trough, Caribbean Sea: *Geology*, 19: 690-693.

Rosenfeld, J., 1981, *Geology of the Western Sierra de Santa Cruz, Guatemala*, Ph.D. dissertation: State University of New York at Binghamton, 313 p.

Schwartz, D. P., Cluff, L. S., and Donnelly, T. W., 1979, Quaternary faulting along the Caribbean North-American plate boundary in Central America: *Tectonophysics*: v. 52, p. 431-445.

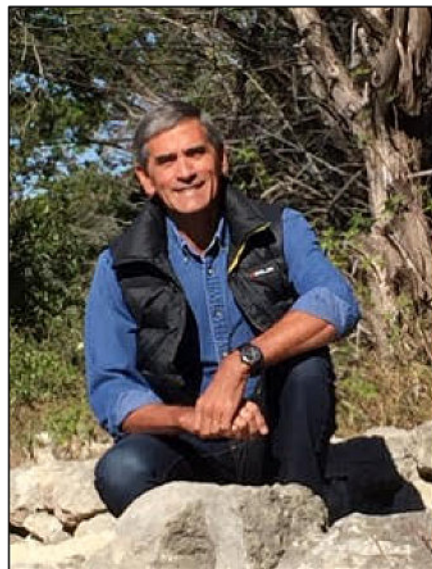
Sibson, R. H., 1975, Generation of pseudotachylite by ancient seismic faulting: *Roy. Astron. Soc. Geophys. Jour.*, v. 43, p. 775-794.

Sibson, R. H., 1977, Fault rocks and fault mechanisms: *Geol. Soc. London*, v.133, p. 191-213.

Solari, L.A., Garcia-Castro, A., Marten, U., Lee, J. K.W., Ortega-Rivera, A. (2013), Late Cretaceous subduction of the continental basement of the Maya Block (Rabinal granite, central Guatemala): Tectonic implications for the geodynamic evolution of Central America: *Geol. Soc. Am Bull.*, v. 125, no. ¼, p. 625-639.

Williams, H., McBirney, A.R., Dengo, G., 1964. *Geologic Reconnaissance of Southeastern Guatemala*: Univ. Calif. Berkeley, Publ. Geol. Sci., 50. 62 pp.

Williams, H., McBirney, A.R., 1969. *Volcanic History of Honduras*: Univ. Calif., Berkeley, Publ. Geol. Sci., 85, pp. 1–101.



Carlos Dengo received a B.S. in Geology (1972) from Syracuse University; M.S. (1978) and Ph.D. (1982) in Geology from the joint program with the Center for Tectonophysics at Texas A&M University. He worked for ExxonMobil for 30 years in global exploration and research and retired in 2012 as Geoscience Vice-President of ExxonMobil Upstream Research Company. From 2014-2107 he was Director of the Berg-Hughes Center for Petroleum and Sedimentary Systems at Texas A&M University.

He is a member of the American Geophysical Union (AGU), the American Association of Petroleum Geologists (AAPG) and the Geological Society of America (GSA). He has served on various industry, academic and government advisory boards including the College of Geosciences, Texas A&M University, Cambridge University Arctic Research Program, Stanford University School of Earth Sciences, Executive Council of the AAPG, Sandia National Laboratories Research Foundation and Sandia National Laboratories Geoscience Research Advisory Board, AGU Development Board and AGU Board of Directors.

He is recipient of the Winchell Distinguished Alumni Award from the Department of Earth Sciences, Syracuse University, best paper awards from the U.S. National Rock Mechanics Committee and the American Association of Petroleum Geologists (Wallace E. Pratt Memorial Award), and the Halbouty Medal from the College of Geoscience, Texas A&M University. He has been an AAPG International Distinguished Lecturer.

MISCELÁNEOS

Ek Chuah, Dios de la Guerra



Ek Chuah es la sexta deidad más comúnmente representada en los códices y se presenta en ellos 40 veces. Tiene un labio inferior grueso y colgante y aparece generalmente pintado de negro, el color de la guerra. El jeroglífico de su nombre es un ojo con un aro negro. Este dios parece haber tenido un carácter doble y un tanto contradictorio; como dios de la guerra era malévolo, pero como dios de los mercaderes ambulantes era propicio. En el carácter primeramente indicado aparece con una lanza en la mano, a veces combatiendo y aun vencido por otro dios de la guerra. Lo hemos visto ya con Ixchel, armado de jabalinas y de lanza, tomando parte en la destrucción del mundo por el agua. Como un dios favorable aparece con un fardo de mercancías sobre la espalda, semejante a un mercader ambulante, y en algún lugar se le muestra con la cabeza de Xamán Ek, dios de la estrella polar, "guía de los mercaderes". Ek Chuah era también el patrono del cacao, y los que poseían plantaciones de este fruto celebraban una ceremonia en su honor en el mes de Muán. En uno de sus aspectos parece haber sido hostil al hombre, y en el otro su amigo, una deidad de dos caras, parecida al dios Jano de la antigua Roma.

Museo Argentino de Ciencias Naturales: Bernardino Rivadavia

Haz click en la imagen



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:

Rawtherapee: www.rawtherapee.com

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

XnViewMP: <https://www.xnview.com/en/xnviewmp/>

Estadística:

Past4: <https://www.nhm.uio.no/english/research/infrastructure/past/>

Open Geoscience:

<https://github.com/softwareunderground/awesome-open-geoscience>

Para GIS:

GIS: <https://grass.osgeo.org>

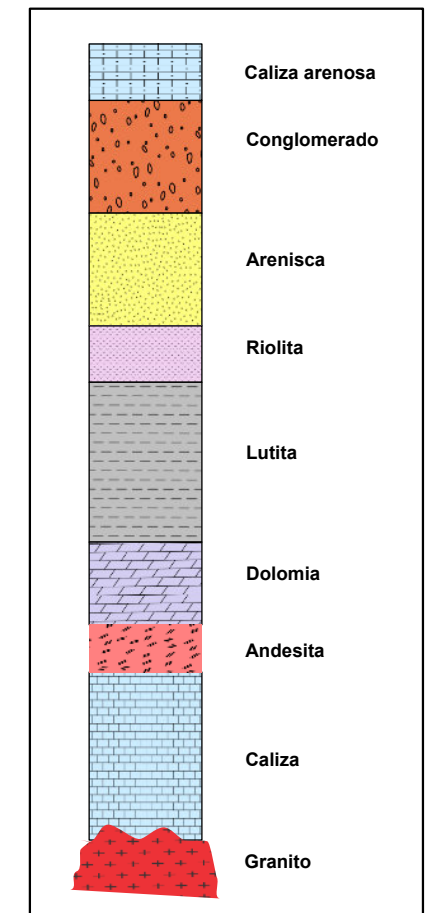
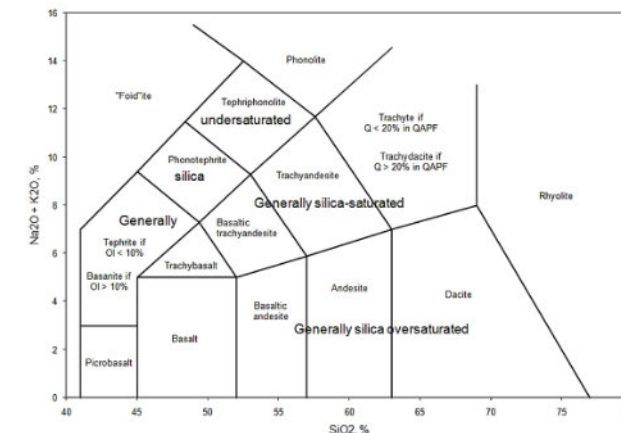
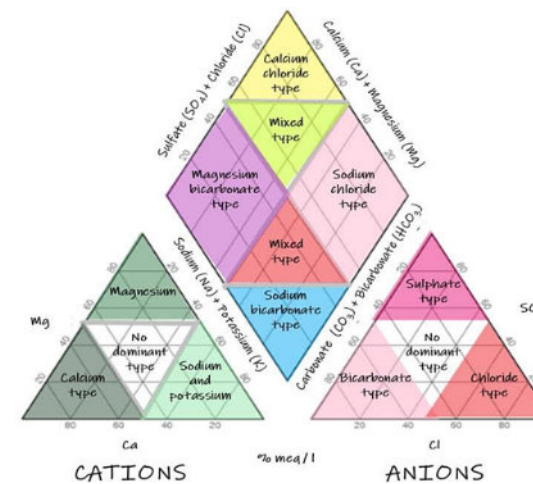
Administradores de Referencias:

Jabref: <https://www.jabref.org>

Zotero: <https://www.zotero.org>

Mendeley: <https://www.mendeley.com/>

EJEMPLOS DE ILUSTRACIONES



La casa de los minerales

<https://geology.com/minerals/>

<https://www.britannica.com/science/mineral-chemical-compound>

<https://www.gemsociety.org/gemstone-encyclopedia/>

https://www.rocksandminerals4u.com/mineral_classification.html

<https://www.geologyin.com/2014/12/the-complete-classification-of-minerals.html>

<http://webmineral.com/danaclass.shtml#YWOE6xDMKeI>

<https://opengeology.org/historicalgeology/earth-materials/>

<https://isgs.illinois.edu/outreach/geology-resources/using-characteristics-minerals-identify-them>



Glosario de términos geológicos

Compilado por:

E.P Saul 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.

Acuífero: Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que permite que circule a través de ella con facilidad.

Acuícludo: Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que no permite que el agua circule a través de ella.

Acuitardo: Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable pero que el agua circula a través de ella con dificultad.

Acuífugo: Formación geológica que no contiene agua porque no permite que circule a través de ella.

Sistema hidrogeológico: Es un conjunto de formaciones geológicas cuyo funcionamiento hidrogeológico conviene considerar conjuntamente. Dentro del sistema podrá haber uno o varios acuíferos, acuitardos o acuícludos entre ellos.

Acuíferos no confinados: está limitado por su extremo inferior por un acuitardo y carece de una capa superior que lo confine. Su límite superior es el nivel del agua, que sube y baja libremente.

Agua freática: Es el agua que se encuentra en la parte superior de la zona saturada.

Acuífero colgado: un acuífero no confinado que se encuentra por encima del nivel freático regional. Esto ocurre cuando hay una capa impermeable de roca o sedimento (acuícludo) o una capa relativamente impermeable (acuitardo) sobre el nivel freático principal / acuífero pero debajo de la superficie terrestre.

Acuíferos confinados: es el nivel saturado de agua que se encuentra delimitados por estratos impermeables o semipermeables (acuícludos o acuífugos).

Pozo fluyente: cuando la superficie piezométrica de un acuífero confinado está por encima de la superficie del suelo.

Soto, P. (2017) "Geohidrología", Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura ESIA Ticoman Unidad Ciencias de la Tierra. Ciudad de México. septiembre 2, 2017 [apuntes de clase].

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/>



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

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

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



DRONES PARA LAS GEOCIENCIAS

Sitios de interés

https://geoinfo.nmt.edu/publications/periodicals/earthmatters/18/n1/em_v18_n1.pdf

<https://www.longdom.org/open-access/from-dronebased-remote-sensing-to-digital-outcrop-modelingintegrated-workflow-for-quantitative-outcrop-interpretation-2469-4134-1000237.pdf>

<https://www.commercialuavnews.com/energy/usgs-making-drones-work-scientific-research/>

<https://www.geosociety.org/gsatoday/archive/25/7/article/i1052-5173-25-7-50.htm>

<https://eos.org/features/drones-in-geoscience-research-the-sky-is-the-only-limit>

<https://www.bgs.ac.uk/geology-projects/geodesy/drone-research/>

<https://eitrawmaterials.eu/game-of-drones-unmanned-aerial-vehicles-in-mineral-exploration-and-geological-mapping/>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7014457/>

<http://www.geologyin.com/2014/08/drones-for-geology.html>

<https://www.queensu.ca/geol/two-uavs-join-geology>



Caverna del arte

A Viri y Ale.

Pondré mi caña en tu mirada,
como un viejo pescador de aguas quietas
y sonrisas barrocas.

Este día y otros
y otras agradecidas noches,
pondré mis sueños en tu temazcal
de piedras mías
abundantes.

Nos escurriremos en la noche del cimarrón,
tú serena
yo recorriéndote a pasos suaves,
hasta tu santuario
azul y mar de estrellas.

Así, podremos encontrarnos
sin sombra
siendo uno
entre la marea de tu febrero.

Amós Maar

Biblioteca Cubana de geociencias

<http://www.redciencia.cu/geobiblio/inicio.html>



Aprobado en Viñales, el primer geoparque de Cuba

<https://marketresearchtelecast.com/the-vinales-valley-becomes-the-first-geopark-in-cuba/195751/>

<http://www.cubadebate.cu/noticias/2021/11/04/aprobado-en-vinales-el-primer-geoparque-de-cuba/>





Pieza de Mayapán, Yucatán. INAH. MUSEO REGIONAL DE ANTROPOLOGÍA