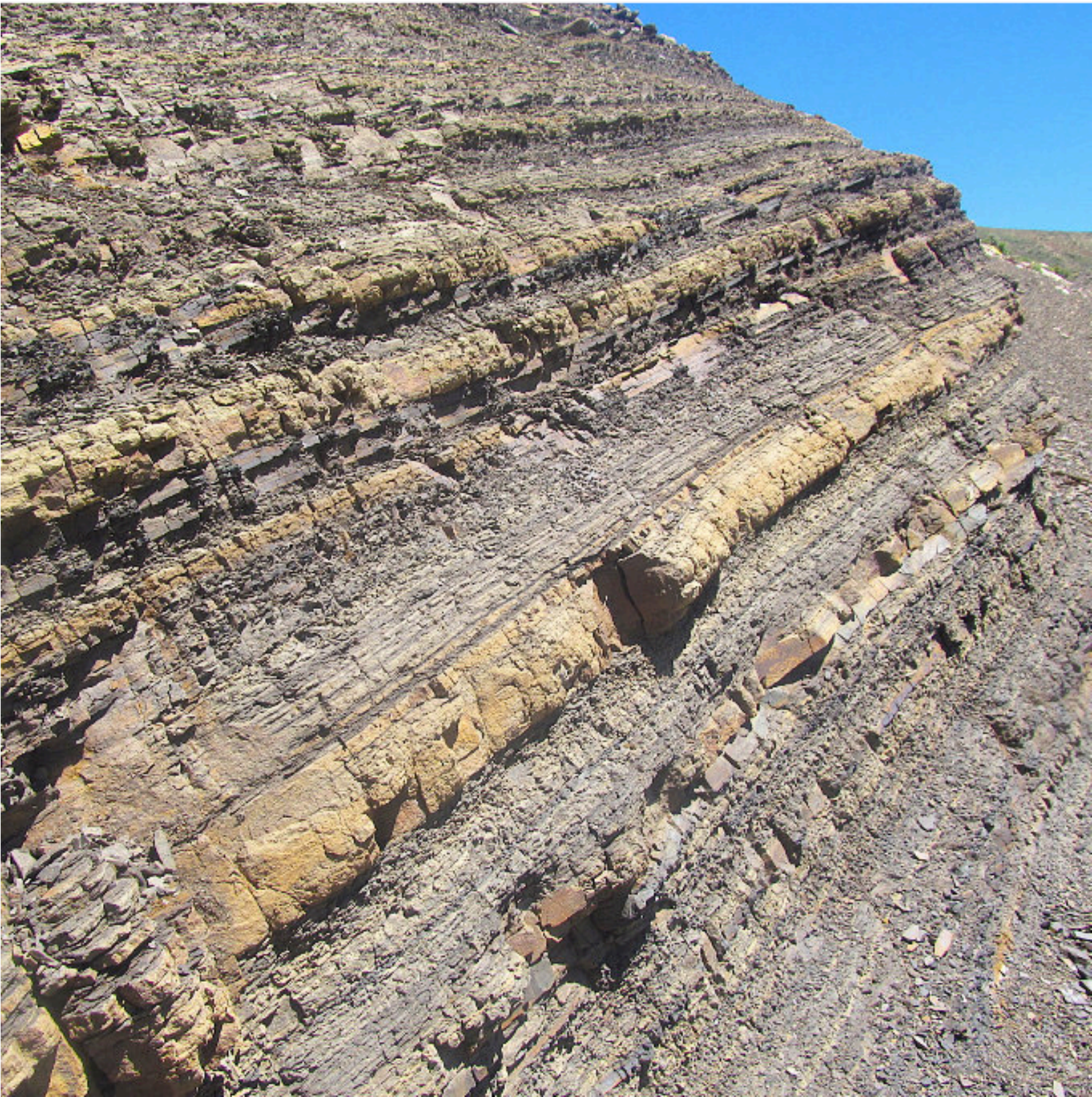
FEBRERO
2024

MAYA

REVISTA DE GEOCIENCIAS



FEBRERO 2024

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 cuál será distribuido por correo electrónico y compartido en las redes sociales. Esta revista digital no tiene fines de lucro. La RMG es internacional y bilingue. Si deseas participar o contribuir con algún manuscrito, por favor comunícate 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 escencialmente de divulgación, con resultados y conocimientos nuevos, en beneficio de nuestra comunidad de geociencias. Estas notas no están sujetas a arbitraje.

Revista Maya: The Revista Maya de Geociencias (RMG) springs from the enthusiasm of professionals with a desire to distribute knowledge related to academic research, exploration for resources and geoscience in general.

The main objective of the RMG is to provide a place for young professionals who wish to distribute their publications. The founders of the Revista are Luis Ángel Valencia Flores, Bernardo García and Claudio Bartolini.

A further objective of the RMG is to encourage professionals, academicians and researchers to actively participate for the benefit of our community of young geoscientists.

The RMG is published monthly as a PDF file distributed by email and shared through social media. This digital magazine has no commercial aim. It is international and bilingual (Spanish and English). If one wishes to participate or contribute a manuscript, please contact any of the editors.

The geological notes aim to synthesize work carried out in Mexico and other parts of the world both by young professionals and prestigious geoscientists. These notes are produced principally to reveal new understandings for the benefit of our geoscientific community and are not subjected to peer review.

Revista de difusión y divulgación geocientífica.

**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: Cyclic bedding of the Los Molles Formation, Neuquen Basin, Argentina. Different composite beds including sandstone hyperpycnal flows, slump deposits, and turbidite facies are observed in the outcrop. The Los Molles Formation (Jurassic) is the second largest source rock in the basin. Photo by **Jesus Porras**.

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 geo-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 evolucion 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.

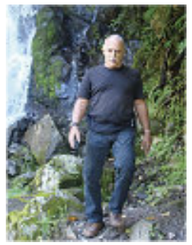
Claudio was made an Honorary Member of the AAPG in 2022 in recognition of his service to the Association, and his devotion to the science and profession of petroleum geology.

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



Ing. Humberto Álvarez. Más de 5 décadas dedicadas a la geología de Cuba occidental y central. Cartógrafo en los macizos metamórficos y ofiolíticos de Cuba central y editor cubano de la Expedición checoeslovaca Escambray II. Autor/coautor de 23 unidades del Léxico Estratigráfico de Cuba y miembro de las subcomisiones del Jurásico, Cretácico y Paleógeno de la Comisión del Léxico. Es el descubridor del mayor depósito cubano de fosforitas marinas. Gerente de Operaciones de Geotec, S.A.; dirigió exploraciones de Cu y Au en la Cordillera Central de Panamá y Perú para Juniors canadienses. Country Manager de Big Pony Gold de Utah y Geólogo Senior de Gold Standard Brasil, exploró prospectos de oro en el basamento cristalino de Uruguay y en los Estados de Santa Catarina y Mato Grosso del Norte. El Ministro de Comercio e Industrias lo nombró Miembro de la Comisión “Ad Honorem” del Plan Maestro de Minería de Panamá. El Banco Interamericano de Desarrollo le encargó de redactar el Proyecto de Geología y Minería y parte de su Misión Especial para su entrega al Gobierno panameño. Anterior Miembro del Consejo Científico de GWL de la Federación Rusa y Representante del BGS en América central. Director de Miramar Mining Panamá y Minera Santeña, S. A., reside en Panamá y redacta obras sobre geología de Cuba y Panamá. En el repositorio Academia edu, se encuentran 22 artículos suyos.

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

Marisol Polet Pinzon Sotelo. Ingeniera Geóloga egresada de la Universidad Autónoma de Guerrero y Maestra en Ciencias Geológicas por la Universidad Autónoma de Nuevo León; ha colaborado en proyectos de investigación en el noroeste de México; cuenta con 9 años de experiencia en exploración de hidrocarburos en PEMEX Exploración y Producción. Se ha desarrollado en el modelado de sistemas petroleros y estudios de Plays en Proyectos de aguas ultra profundas, profundas y someras en el norte del Golfo de México. Actualmente pertenece al Activo de Exploración Marina Norte de la Subdirección de Exploración.

poletpinzon@gmail.com

José Antonio Rodríguez Arteaga es Ingeniero geólogo, egresado de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela, Caracas, con más de 30 años de experiencia. En sus inicios profesionales laboró como geólogo de campo por 5 años consecutivos en prospección de yacimientos minerales no-metálicos de la región Centro-Occidental de Venezuela.
Tiene en su haber labores de investigación en Geología de Terremotos y Riesgo Geológico asociado o no a la sismicidad. Es especialista en Sismología Histórica, Historia de la Sismología y Geología venezolanas. Ha recibido entrenamiento profesional en Metalogenia, Ecuador y Geomática Aplicada a la Zonificación de Riesgos en Colombia. Tiene en su haber como autor y coautor, tres libros dedicados a la catalogación sismológica del siglo XX; a la historia del pensamiento sismológico venezolano y la coordinación de un atlas geológico de la región central del país, preparado junto al Dr. Franco Urbani, profesor por más de 50 años de la Escuela de Geología de la Universidad Central. 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

María Guadalupe Cordero Palacios es candidata para obtener el grado de maestra en ingeniería por la UNAM, geocientífica entusiasta por la divulgación en México. Se ha desempeñado como geocientífica en el área de exploración de recursos naturales en las empresas Fresnillo PLC, SGM y ha colaborado con la Universidad Complutense de Madrid. Su principal gusto en las geociencias se centra en la geología estructural.

lup@comunidad.unam.mx

Jon Blickwede egresó de la Universidad de Tufts en Boston, Massachusetts, EEUU con un Bachillerato en Ciencias de la Tierra en 1977. Entró a la Universidad de New Orleans, Louisiana en 1979, donde hizo su tésis de Maestría en Geología sobre la Formación Nazas en la Sierra de San Julián, Zacatecas, México. Jon comenzó su carrera en 1981, trabajando por 35 años como geólogo de exploración petrolera para varias compañias tal como Amoco, Unocal, y Statoil. Realizó proyectos de geología sobre EEUU, México, Centroamerica y el Caribe para estas empresas. Durante 2018, Jon fundó la empresa Teyra GeoConsulting LLC (www.teyrageo.com), donde está realizando un proyecto de crear afloramientos digitales y excursiones geológicas virtuales en EEUU y México, utilizando imágenes tomados con su drone, integrados con otros datos geoespaciales.

jonblickwede@gmail.com

Natalia Silva (MSc): Geóloga de la Universidad Industrial de Santander, Postgrado en Petroleum Geoscience de la Heriot-Watt University y Máster en Energías Renovables y Sostenibilidad Energética de la Universitat de Barcelona. Su carrera empieza en la minería de esmeraldas en el Cinturón Esmeraldífero Oriental de Colombia y en proyectos mineros de Níquel colombianos. Tiene más de 10 años de experiencia en el sector de hidrocarburos en desarrollo de yacimientos y geomodelado en cuencas petrolíferas de los Estados Unidos, Colombia, Ecuador y Brasil. Más recientemente, su carrera está enfocada en el aprovechamiento de energías renovables, principalmente de energía solar, ha elaborado proyectos de generación eléctrica a partir de instalaciones fotovoltaicas en Europa y los Estados Unidos.

ensilvacruz@gmail.com

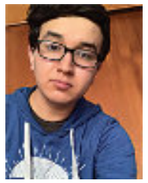
Laura Itzel González León / Ingeniera geóloga ambiental

Profesionista inclinada a la Geología aplicada a obras de ingeniería civil y a riesgos geológicos desencadenados por fenómenos antrópicos y naturales. Experiencia en levantamientos geológico-estructurales, logueo geológico, instrumentación geotécnica, cartografía de riesgos, supervisión de perforaciones y difusión de geopatrimonio.

gleon.laura@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 Ingeniera), sus principales areas 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

Nuevo Canal Youtube de la Revista Maya de Geociencias

Es un gran placer informarles que hemos establecido un Canal Youtube de nuestra Revista Maya para la difusión de videos de temas de Ciencias de la Tierra. Ya iniciamos nuestras actividades en: https://www.youtube.com/channel/UCYJ94EyLj4LqnVbbTXh5vpA

Estimados colegas,

Te invitamos a que visites la página web de nuestra Revista Maya de Geociencias, donde podrán encontrar (en formato PDF), todas las revistas que hemos publicado hasta ahora, mismas que pueden descargar de la página. También estaremos incluyendo información adicional que sea de utilidad para nuestras comunidades de geociencias.

http://www.revistamaya.com/

Visítanos en Revista Maya de Geociencias

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

Tertiary mylonites, Catalinas metamorphic core complex, Tucson, Arizona. Photo by Claudio Bartolini.

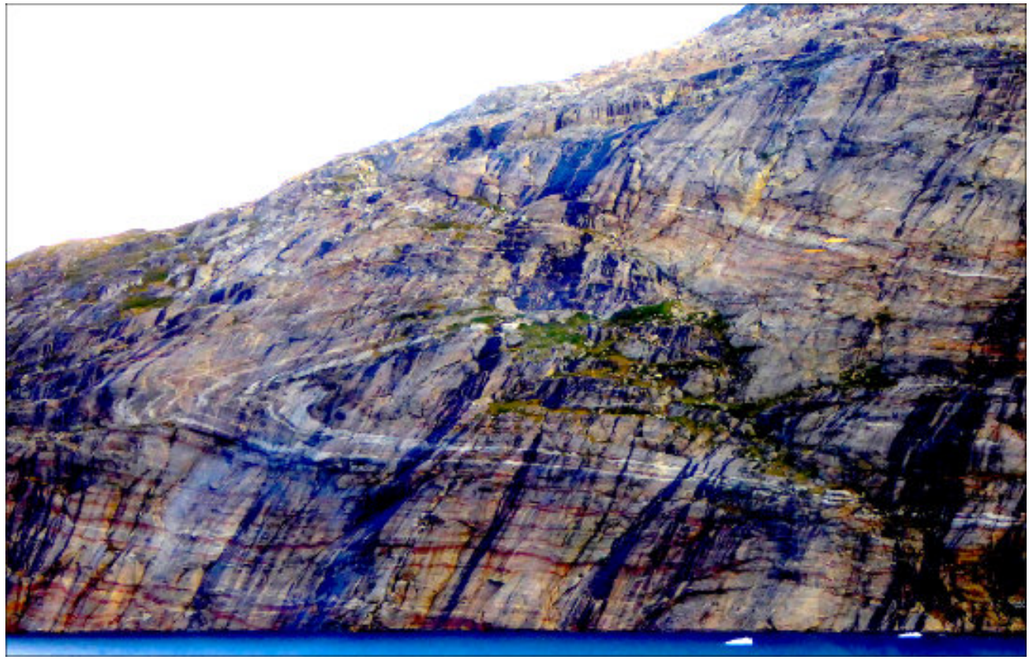
Estimados Colegas

Ahora que hemos llamado su atención, aprovechamos la oportunidad para invitarlos cordialmente a participar en nuestra Revista Maya de Geociencias, con diversos Temas de Interés y Manuscritos Cortos relacionados a cualquier tema de las Ciencias de la Tierra y similares. Todos los trabajos son bienvenidos, puesto que la función primordial de la revista es la difusión de las geociencias.

Si los manuscritos son relativamente largos, también pueden ser publicados, pero en nuestras Ediciones Especiales de la revista, las cuales no tienen las limitaciones de tamaño, como los números mensuales de la revista.

*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/

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS



Prince Christian Fjord in Greenland. It shows a recumbent fold in the metamorphic rocks with some puzzling faulting. Photo by Joshua Rosenfeld.

Esteemed colleagues

Now that we have your attention, we take this opportunity to cordially invite your participation in the Revista Maya de Geociencias in the form of short manuscripts touching upon diverse relevant themes of interest. All work is welcome, as the primary function of the magazine is to broadcast geoscientific ideas.

If the manuscripts are relatively long, they will be published in our magazine's Special Editions since the Special Editions do not have size limitations, as do our monthly issues (below).

Basic Instructions for Authors

Authors submitting material to be published in the Revista Maya de Geociencias are asked to adhere to the following editorial guidelines when sending manuscripts to the editing team and/or its collaborators:

(biographical sketches): a maximum of 3 pages

Notes on pioneers in the geosciences: a maximum of 4 pages

Themes "of interest to the community": a maximum of 4 pages

Geological notes: a maximum of 10 pages

Palabras del 3er aniversario

Panta rei

Heráclito de Éfeso

Apreciables lectoras y lectores,

Nos complace anunciarles que en este número de febrero 2024 festejamos con júbilo el tercer aniversario de la Revista Maya de Geociencias (RMG). Y, como dicta el aforismo de Heráclito, *panta rei*, "todo fluye", un febrero de 2021, en medio de la pandemia del COVID-19 esta gran aventura de construir una revista de difusión y divulgación de Ciencias de la Tierra comenzó… simplemente a fluir. Cada año, cada número, cada nota geológica, y cada contribución pequeña o grande ha sido especial, diversa e inspiradora. Mes con mes colegas alrededor de Latinoamérica y el mundo han contribuido a esta revista, engrandeciéndola y haciéndola cada vez más parte del día a día de la comunidad de geociencias.

Es posible que cada uno de nosotros tengamos una sección favorita dentro de la RMG, pero sin duda, el corazón de la revista son las notas geológicas. Por ello, en esta ocasión queremos darles honor a todas las notas geológicas publicadas en los primeros 3 años (ó primeros 36 números), tomando una selección representativa de éstas y publicándolas en conjunto en este número de febrero 2024.

El tiempo transcurre, todo está en movimiento y la Revista Maya de Geociencias, continúa fluyendo en el quehacer de la difusión y divulgación de la Ciencias de la Tierra que a partir de este número desembocará en un intrigante nuevo año de publicaciones, hechas por ustedes y para ustedes.

Atentamente,

Los editores de la Revista Maya de Geociencias

3rd Anniversary Statement

Panta rei

Heracles of Ephesias

Dear readers,

It is our pleasure to announce that with this February issue we joyfully celebrate the third anniversary of the Revista Maya de Geociencias (RMG). Following the aphorism of Heracles , *panta rei*, "everything flows", in February of 2021 during the COVID pandemic a great adventure started to build this magazine in order to capture and distribute information about the Earth Sciences…and for everything to flow. Every year with each issue, each geological note and each contribution, large or small, this has been especially diverse and inspirational. Month by month colleagues from around Latin America and the rest of the world have contributed to this magazine, making it grow, and with each issue becoming a daily part of the geoscience community.

It is possible that each of us has a favorite section of the RMG, but without doubt the heart of the magazine is the Geological Notes. Therefore, at this time we wish to honor all of the geological notes published in the first 3 years by selecting some representative works that are published again in this February 2024 issue.

As time passes, things stay in motion at the Revista Maya de Geociencias, and will continue flowing by broadcasting the Earth Sciences, and with this issue begins another intriguing new year of publication, created by you, for you.

Sincerely,

Editors of the Revista Maya de Geociencias

CONTENIDO

FEBRERO 2024

Semblanzas……..13
Resúmenes de tesis y publicaciones……..24
Los libros recomendados……..39
Temas de interés……..44
Fotografías de afloramientos/microscopio……..77
Notas geológicas……..81
Misceláneos
Museos de historia natural……..113
GeoLatinas – GeoSeminarios……..114
2024 NAPE Summer Summit……..116
Revista enseñanza y comunicación de las Geociencias……..117
La casa de las cavernas……..118
Caverna del Arte……..119
Geo–caricatura (Wilmer Pérez Gil)……..122
The Danakil Depression……..123
Asociaciones geológicas hermanas……..124

SEMBLANZAS

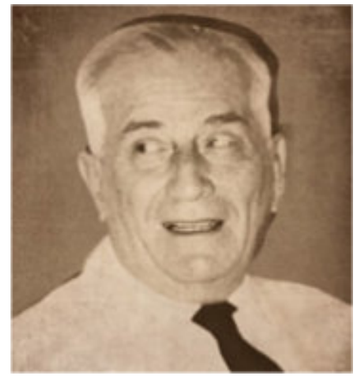
Juan C. Alzáibar Ramos : 1890 - 1984

Se presentan las actividades de **Juan Carlos Alzáibar Ramos**, ingeniero de minas profesional, mineralogista y autor de por lo menos 10 textos sobre la materia en Venezuela escritos a partir de 1930.

A la vez se muestran los resultados obtenidos de una reunión de expertos profesionales -quizás la primera y única- (J. H. Ríos, *com. pers,* 2023) cuyos datos fueron muy útiles luego del hallazgo de un *texto oculto*, casi de colección, encontrado hace más de 40 años en por el suscrito, en los estantes de la Biblioteca Juan Pablo Pérez Alfonzo del desaparecido Ministerio de Energía y Minas, MEM.

Dicho libro cuya autoría es atribuida al propio Alzáibar, lleva por título: ***Minería (actividades de la Iª Convención Mineralógica*)**, elaborado como resultado conclusivo de las discusiones suscitadas en un evento todo público con casi 15 días de duración a partir del día 19 de diciembre de 1938, reunión de especialistas en la ciudad de Caracas-Venezuela. Esta reunión fue inaugurada el 17 de diciembre del mismo año 1938 con un haber de especiales discusiones en torno a la mineralogía del país y su necesario impulso.

Además de las presentaciones, fueron recogidas las opiniones de cada delegación cuyo punto focal fue entre otros, la presentación de la realidad del laboreo de minas en que para la época Venezuela era esencialmente un país de escasa preparación tras el despertar de una fase en ciernes sobre el estudio petrolero en general, exploración y producción. De esta Iª reunión mineralógica se hizo eco la prensa caraqueña en las páginas de los diarios: *La Esfera, El Universal, El Heraldo, La Crítica, Ahora* y el



semanario *Crónica*, así como una representación del recién inaugurado *Instituto de Geología* cuyas actividades se iniciaron ese mismo año (Rodríguez, 2023).

SU HOJA DE VIDA Y EXPERTICIA GEO-MINERA

Nace en la ciudad de Mercedes, República Oriental del Uruguay en 1890, falleciendo en Caracas en 1984 a los 94 años de edad. Hijo de Almanzor Alzáibar dirigente político del Partido Blanco y Josefa Ramos, modista, crearán junto a sus 2 hermanos, Gregorio y Luis con quienes realizan sus estudios básicos en el colegio San Carlos de Buenos Aires, Argentina. Luego de concluida dicha etapa Juan Carlos obtiene una plaza de estudios de ingeniería en París-Francia, en donde obtendría un grado en minas y su respectiva maestría de fechas inciertas. Pese a la búsqueda, desconocemos el tiempo que empleó en ello (*Chimbe* Alzáibar, *com, pers.*, a Juan C. Alzáibar, 2023).

En 1917 y ya con 27 años de edad contrajo nupcias con Rosa Belfort viviendo en Venezuela junto una numerosa prole al sumarse progresivamente 6 hijos a la pareja: Tita, José de Jesús, Rosa; Juan Carlos, Anita y Artigas, algunos de ellos vinculados al ambiente hípico como veterinarios; dueños de caballos de carrera y otros a la medicina,

algunos a la banca privada (J. H. Ríos, *com. pers*., 2023). La afición por la hípica estuvo muy alejada a su persona.

ACTIVIDADES PROFESIONALES

La empresa francesa Dreyfuss, comercializadora y procesadora de productos agrícolas, petroleros y energéticos, presente en Argentina desde el siglo XIX, *circa* de 1910-1911, le dará su primer empleo. Quizás lejano a ello estuvieron involucradas sus actividades ingenieriles, pero aprovechó esta primera oportunidad de trabajo.

En 1913 y principios del 14´, Dreyfus-Argentina envía a Alzáibar en misión de trabajo a su sede central en Europa, Francia y allí estalla la I Guerra Mundial, evento histórico que definirá el acontecer del siglo XX, devastando el orden político económico y social europeo.

Juan Carlos muy joven con apenas 24 años de edad, pero determinado como era, nunca regresó a la Argentina o al Uruguay en donde tenía familia y conseguirá condiciones para trasladarse a Venezuela en barco, o *vapor* como le llamaban acá para esos tiempos. En la prenombrada nación hará vida propia hasta el final de sus días (*Chimbe* Alzáibar, *com, pers.*, a Juan C. Alzáibar, 2023).

Siempre conservaría la nacionalidad uruguaya y no ejercerá presuntamente la ingeniería de minas carrera en la que se había titulado. En todo caso a su llegada al país viajará al interior con destino incierto y ubicación no especifica. Tras algunos años, recalará en la capital.

Ejerció labores mineralógicas contando con representación formal en una asociación nacional de la que era uno de sus fundadores y en la que fungió de secretario por varios años, practicando incluso para asombro de la ingeniería, un muy efímero acercamiento a las labores sismológicas al describir ... *la geología de la región*.... (Leal y Córcega, 2003) afectada por el terremoto de Cumaná de 1929 artículo a 2 páginas publicado en un diario de la época (*La Esfera*, 25 de enero de 1929). Huelga decir que por sus estudios previos era instruido en términos alusivos a la geología de terremotos.

Una búsqueda en la base de datos del Colegio de Ingenieros de Venezuela revisada hasta el año 1914 en procura de un número de adscripción y membresía que lo vinculase al mismo, dio como resultado que el apellido Alzáibar no fue encontrado (Requena, *com. escrita*, 2023). Una factible reválida de su grado francés en la Universidad Central de Venezuela, dio idéntico resultado. No obstante, ello no fue obstáculo para procurarse un trabajo acorde con el estado de sus conocimientos y de la experticia adquirida que probablemente lo llevaron a la mineralogía tal como a Emilio Menotti Spósito, (1891-1951) a hacerse "guardaminas". Menotti al igual que Alzáibar fue un singular personaje emeritense: abogado, escritor, periodista, poeta, *aficionado a la mineralogía*, impresor, oculista -oftalmólogo-, explorador y enemigo del régimen político imperante para la época. Por dichas razones fue hecho prisionero, condenado y recluido en el castillo de San Carlos, Maracaibo, estado Zulia (Colmenares, 1997).

Poseía Alzáibar una especial habilidad en su condición empresarial y comercial. Al respecto, abastecía a la Proveeduría del Ejército en la zona de Catia, Caracas, siendo representante de la empresa *Anglo* (¿?) entre otras (Da Rosa Alzáibar, com. *escrita*., 2023).

Cercano al año 14´será nombrado cónsul ad *honorem* sin conocer razones, lapsos que duró en el cargo diplomático entre ambos gobiernos, y el por qué el Uruguay lo nombró. No obstante, en tiempos de Gumersindo Torres (1875-1947) específicamente el 19 de marzo de 1934, éste es nombrado por Juan Vicente Gómez, presidente de la Junta Administradora de la Compañía Ganadera Industrial de Venezuela haciéndose acompañar por 3 miembros en la Junta administradora, que a los efectos de este ensayo no se mencionan.

Alzáibar, propició y mantuvo relaciones uruguayo-venezolanas pese a no recibir de su país, estipendio alguno. En dicha actividad no todo fue sencillo pues surge una animadversión Torres- Alzáibar ante la compra venta de productos cárnicos en salazón venida de una empresa comercializadora uruguaya y sus representantes, que en boca del primero toma un muy especial sesgo evidenciado

por las destempladas palabras que éste expresase de Alzáibar quien lo tildará de "aventurero, intrigante y vulgar especulador" (Mayobre, 2007: 64).

Pasaporte diplomático de Juan Carlos Alzaibar en 1952 (Cortesía de su nieto J. C. Alzáibar, diciembre 5, 2023).

ALZÁIBAR EN PRO DE UNA ESCUELA DE MINERÍA

Para el año 1938, dos años luego de fundada la Asociación Minera de Venezuela, esta se ubicaba entre las esquinas de Pineda a Cuartel Viejo N° 39 (Rodríguez, 1997) manifestando por boca de sus fundadores la necesidad de poner en marcha una *Escuela de Minería Práctica*.

Para atender el compromiso será propuesto, J. C. Alzáibar quién entregará al Ministerio de Educación Nacional y en representación de la asociación *ad hoc*, la documentación necesaria. El ministerio no dará respuesta alguna de tal acto desconociéndose las razones ante la negativa; las características de los documentos solicitados; los datos recabados y entregados al ente educativo, así como la ausencia de respuestas.

No Obstante...

En la *Pequeña historia de la Escuela de Geología* (Royo y Gómez, 1959: 56:57) hemos topado con un hallazgo:

(...) *la Ingeniería de Minas puede decirse que prácticamente no llegó a funcionar, pues las propias autoridades que debían estar interesadas en ello* (*Dirección de Minas, etc*.) *eran las primeras en decir que no hacían falta en el país ingenieros de minas venezolanos. Sin contar que toda explotación minera debe tener por lo menos un ingeniero de minas venezolano, está todo lo que se refiere a la estadística de producción y a la inspección de minas y canteras, cuya función técnica es más propia de ellos que de los funcionarios del Ministerio del Trabajo que no pueden comprobar la seguridad en las minas, la buena marcha de la explotación y la supresión de las enfermedades como la silicosis, que tanto se está desarrollando en minas como las de Aroa* (...). Es evidente que hasta las propias autoridades señalarían como un contrasentido el "innecesario" laboreo de minas, así como la presencia de profesionales en el área.

En fecha posterior, probablemente hacia el año 1952, volverá a ejercer el cargo de cónsul encargado (desconocemos si con goce de sueldo) de la R. O. del Uruguay en la época del presidente de Venezuela, General Marcos Evangelista Pérez Jiménez.

El antecedente positivo de una Primera Escuela de Minería

Los datos consignados para la fundación de la prenombrada escuela, con asiento en Guasipati estado Bolívar proceden de Miguel Emilio Palacio Viso (1849-1931) quien fuera el precursor de los estudios formales de minería en Venezuela en las postrimerías del siglo XIX ante la carencia de personal técnico adiestrado (Mariño y Urbani. 2022).

A diferencia de la AMV y la ausencia de respuesta gubernamental, la iniciativa de Palacio contará con el

apoyo del Gobierno y el presidente, Joaquín Crespo primer mandatario de los Estados Unidos de Venezuela, nombre utilizado a la época, quién ordenará su establecimiento el 28 de marzo de 1893 con la intención de formar bachilleres e ingenieros de minas (Méndez, 2011). Así lo señala Alzáibar en 1937... *para formar los futuros profesionales que se encargarían de la explotación de los ricos yacimientos del Distrito del Yuruari* (Mariño y Urbani, 2021). Esta escuela tuvo corta duración, estando operativa hasta 1900, sin embargo, fue la primera con buen potencial aurífero.

LA Iª CONVENCIÓN MINERALÓGICA DE VENEZUELA

En 1938 es convocada una primera reunión -quizás la única- sobre mineralogía nacional auspiciada por el Ministerio de Fomento e inaugurada en el auditorio de la Sociedad Bolivariana de Venezuela. Tal convocatoria contrasta lo señalado 14 años después con (...) *la poca necesidad que el Ministerio del Trabajo, en cuanto a los ingenieros de minas* (...) (Royo y Gómez, 1959).

La prensa capitalina durante 3 días consecutivos manifestó el interés que dicha convención traía al país (e. g.: *Diario La Esfera, «Cartera social», 1938, N° 4.024, Diario La Esfera, «Convención mineralógica venezolana», 1938, N° 10.605; Diario La Esfera, «Convención mineralógica venezolana», 1938, N° 10.606; Diario La Esfera, «Convención mineralógica venezolana», 1938, N° 10.607; Diario El Universal, «Sugerencias a la Convención mineralógica», 28 de diciembre, N° 10.616, p. 1, 4*).

El propósito era claro fomentar la actuación de asociaciones minero-estadales las cuales tendrían como tarea primordial la centralización y el control de los estudios técnico-mineros con el objeto de despertar el interés de empresas connacionales y/o foráneas para la realización de programas de exploración y explotación mineral del país**.** Alzáibar igualmente se encontraba en este dilecto grupo como secretario.

Durante los días que duró la convención, la prensa señaló los posibles obstáculos a salvar para el desarrollo minero sustentable de la nación: **(1)** el empirismo de muchas explotaciones de minerales metálicos y no-metálicos; **(2)** la escasa dirección científica en el laboreo de minas; **(3)** la poca divulgación de los recursos existentes y **(4)** la carencia de una organización minera adecuada. Es así que a título de ejemplo *La Esfera* casi instó a la AMV a:

(...) *trabajar para la creación de una Dirección de Minas, dirección que debe asumir las funciones relacionadas con el subsuelo* (...) (*La Esfera*, diciembre 24, 1938, N° 4.211), condicionando a 2 entes ministeriales, Minas e Hidrocarburos, sin aparente conexión para que el Servicio Técnico de Minería y Geología llevase los pasos a una verdadera regulación, puesto que tampoco estaba enlazada con las salas técnicas de Minas e Hidrocarburos. Por ello instan a la Convención Mineralógica, para que (...) *trabajen y se cree una Dirección de Minas que debería asumir las funciones relacionadas con el subsuelo* (...).

SEGUIMIENTO DE LAS ACTIVIDADES MINERALÓGICAS DE JUAN CARLOS ALZÁIBAR

Se puede afirmar que el ingeniero Alzáibar aprendió y practicó aquellos aspectos básicos de la mineralogía, poniéndolos en práctica en Venezuela. En 1936 acompañado de Lorenzo Mendoza Mercado, J. G. Capriles Delgado, Rodolfo G. Rincón, Emilio Menotti Spósito, Isaac Capriles, George Peyrel, José María Romero y P. Aquatella fundarán el ente que los agruparía por lo menos hasta casi finales de los 60' s (no hay datos que sustenten la desaparición del ente o la transformación en otra dependencia. Simplemente hacia los años 80´s existían a nivel de cada estado comisiones de minería que mantenían su funcionamiento con regularidad y bajo la coordinación del director de Minas de la época).

Para el año 1937, el ingeniero Luis F. Calvani (presidente) y Juan Carlos Alzáibar (secretario) fundan el que será el órgano informativo de la AMV, *Minería* -revista informativa desaparecida actualmente-. Ya en 1944, la AMV y sus fundadores atenderán los comienzos de un ente empresarial que sigue hasta nuestros días pese a no disponer de información adecuada de cuál fue su papel al apoyar su fundación, lo que señala que la AMV era un ente no-gubernamental apoyando a esta Federación de Cámaras y Asociantes, FEDECÁMARAS, apareciendo 10

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

años después entre 1954 y 1955, artículos informativos de contenido minero empleando datos *ad hoc* de pocas páginas y editado por la Embajada de Venezuela en Washington: *Venezuela-up-to-date.*

En la misma hacían peso específico, los productos minerales a obtener e incluso su localización estratégica. Dicha información era recogida por los señores Luis F. Calvani (presidente); Mario Veroes (vicepresidente) y Juan Carlos Alzáibar (secretario) elaborando un estudio general sobre la minería nacional, condensando sus resultados en otro informe cuyos datos no se incluyen en esta aproximación biográfica.

RECONOCIMIENTOS O CONDECORACIONES

Durante el primer mandato presidencial del Dr. Rafael Caldera (1916-2009) y en reconocimiento a sus cualidades, Alzáibar recibió del Ejecutivo Nacional la Orden Mérito al Trabajo (juan Carlo Alzáibar, 2023).

UN RECUENTO MÍNIMO DE SUS TEXTOS

No solo Don Juan Carlos se dedicará a la reivindicación del trabajo del minero y de la minería en general, también tendrá tiempo y dedicación para la escritura. Sus textos aquí incluidos reflejan apenas unos títulos y pueden ser encontrados no con poca dificultad en catálogos de la Biblioteca General de Venezuela y en el Banco de Datos de la Universidad Central de Venezuela, solo por mencionar algunos:

(e. g. *Esmeraldas*, 1930; *Petróleo* 1931; *Formaciones andinas, Apuntes mineralógicos, 1935*; *La personalidad del Dr. Miguel Emilio Palacio. Algunos datos de su vida. Estudio preliminar del libro: Palacio M. E.*, 1937; *Información general sobre minerales en Venezuela*, 1939; *La Industria Minera del Yuruari. Caracas: Asociación Minera* Nacional; *Grandes recursos minerales de Venezuela*¸1944; *Apuntes sobre algunos minerales de Venezuela*, 1956. Aunque se han podido identificar otros que nada tienen que ver directa o indirectamente con la minería: *Uruguay*, 1930; *Los cónsules a través de los tiempos*, 1953 o más recientemente el prólogo al texto *La leyenda d las piedras preciosas*, 1969 (...).

Ellos son apenas una muestra de su actividad de escritor, ya folleto, ya libro, escrito entre 1930 y 1956, el último de ellos en edición bilingüe. Algunos otros trabajos han sido reproducidos *a posteriori* muchos años después y sería pertinente su reproducción en cualquier formato, incluso el digital, el más adecuado a estos tiempos para hacer conocer el legado que un individuo de su valía, nos dejó.

SU COTIDIANIDAD FUERA DEL CONTEXTO MINERAL

Fuera de su actividad "mineralógica", lejos de la AMV, mantuvo por muchos años una oficina privada ubicada en las cercanías del Pasaje Zingg quizás la única edificación existente en Caracas que tuvo, mantuvo y ha conservado la única escalera eléctrica de la capital. Este despacho se conservó por muchos años como una oficina familiar, compartidos sus espacios entre el tío, y los sobrinos al estilo de bufetes legales.

Don Juan Carlos la mantuvo como despacho de relaciones públicas esencialmente, dados los nexos que tenía y mantenía. Muy lamentablemente, enfermo de una afección respiratoria y tras unos años sumados a su avanzada edad, falleció de la misma. Sus restos fueron inhumados en el Cementerio del Este de la ciudad de Caracas.

UN NECESARIO COROLARIO

Ubicar citas, lugares y fechas incluso condecoraciones profesionales en el contexto biográfico de cualquier individuo no es tarea fácil. En el caso de Juan Carlos Alzáibar la tarea ha sido complicada y vital -en ese orden- pues, aunque su *curriculum vitae* es apenas conocido por muy pocos, lleva la impronta de contar con la *data* aportada por el recuerdo de familia. Parte de lo acá escrito ha permitido adoptar el criterio de "*más útil que oír al biógrafo es escuchar al biografiado*", y ello ha significado el uso de la obligada voz de sus recuerdos recaídos por fortuna, entre sus familia, los Alzáibar, cuya ayuda ha sido de inestimable valor al compartir con el autor, las vivencias de un personaje muy real que ejecutó innumerables trabajos en el orden mineralógico venezolano y como representante diplomático de su país de origen,

manteniéndose este último en permanente oscuridad hasta el presente.

Es factible que para muchos, Alzáibar sea un personaje "menor" de la ingeniería, pero no por ello menos importante. No son necesarios *el frac y las condecoraciones* para hacerse de los datos de un importante hombre que aportó prolijamente al conocimiento mineralógico de Venezuela. Falleció casi centenario pero lego su trabajo a Venezuela, que lo acogió como su tierra originaria. Su *modus vivendi*, aparentemente no fue la ingeniería de minas *sensu stricto,* pero sí el detalle de cada mineral. Sea pues este un reconocimiento al geocientista que aún aguarda el reconocimiento de sus pares. El trabajo está sembrado, corresponde a las nuevas generaciones averiguar de su vida.

BIBLIOGRAFÍA

COLMENARES, S. 1997. *Emilio Menotti Spósito* Diccionario de Historia de Venezuela, [Documento en línea], (diciembre 16, 2023) [Documento en línea], diciembre 15, 2023, https.//bibliofep.fundacionempresaspolar.org/dhv / resultados?s=Emilio+Menotti+Sposito-

DIARIO LA ESFERA, *Cartera social*, 17 de diciembre de 1938, N° 4.024, p. 7

DIARIO LA ESFERA, *Convención mineralógica venezolana*, 17 de diciembre de 1938, N° 10.605, p. 9

DIARIO LA ESFERA, *Convención mineralógica venezolana*, 18 de diciembre de 1938, N° 10.606, p. 1,7

DIARIO LA ESFERA, *Convención mineralógica venezolana*, 19 de diciembre de 1938, N° 10.607, p. 1, 5

DIARIO LA ESFERA, *Sugerencias a la Convención mineralógica*, 28 de diciembre, N° 10.616, p. 1.

MARIÑO PARDO, N. y URBANI PATAT, F. 2022. *Miguel Emilio Palacio Viso* (*1849 – 1931*), *un ícono en la minería del siglo XIX en el Yuruari, en la Guayana venezolana*. Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat, Caracas, (57): 1-18 + apéndices.

MAYOBRE, E. 2007. *Gumersindo Torres*. Biblioteca Biográfica Venezolana, Banco del Caribe y C.A. Editora El Nacional, Caracas, 135 pp.

MÉNDEZ, N. 2011. *Para la historia de la enseñanza de la ingeniería en Venezuela: itinerario de fechas, hechos, procesos y personajes*. RFI-UCV, 26(1). [Documento en línea] (noviembre, 20, 2023) <http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652011000100004>.

RODRÍGUEZ A. J. A. 2023. *El problema minero y el establecimiento de una Asociación de Minería en la Venezuela de los años 30´s*., X Jornadas de Historia de las Geociencias, 67 aniversario del Departamento de Minas, Universidad Central de Venezuela, Caracas 6 de diciembre de 2023, 2 pp. (inédito).

RODRÍGUEZ, J. A. 1997. *Trascendencia de la Primera Convención Mineralógica de Venezuela. III Jornadas de Historia de las Ciencias Geológicas en Venezuela*. (Geos Nº 32, diciembre 1997. Memorias de las Jornadas 55º Aniversario de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, 1938-1993), Fundación Geos, ed., año 2000, 122-127 p.

ROYO Y GÓMEZ, J. 1959. *Pequeña historia de la Escuela de Geología* [Documento en línea], (domingo 16, 2023), https.//saber.ucv..ve/ojs/index.php/rev_heos/issue/view/1185

José Antonio Rodríguez Arteaga es Ingeniero geólogo, egresado de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela, Caracas, con más de 30 años de experiencia. En sus inicios profesionales laboró como geólogo de campo por 5 años consecutivos en prospección de yacimientos minerales no-metálicos de la región Centro-Occidental de Venezuela.

Tiene en su haber labores de investigación en Geología de Terremotos y Riesgo Geológico asociado o no a la sismicidad. Es especialista en Sismología Histórica, Historia de la Sismología y Geología venezolanas. Ha recibido entrenamiento profesional en Metalogenia, Ecuador y Geomática Aplicada a la Zonificación de Riesgos en Colombia. Tiene en su haber como autor y coautor, tres libros dedicados a la catalogación sismológica del siglo XX; a la historia del pensamiento sismológico venezolano y la coordinación de un atlas geológico de la región central del país, preparado junto al Dr. Franco Urbani, profesor por más de 50 años de la Escuela de Geología de la Universidad Central. 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

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

José I. Corral Alemán : 1882 - 1946

El ingeniero **José Isaac Corral Alemán** fue, sin lugar a dudas, el principal actor en la geología y minería cubanas en la primera mitad del siglo XX, ocupando durante más de treinta años el cargo de Director de Montes Minas y Aguas, con una conducta ética intachable. Esta ejecutoria y sus grandes aportes al derecho minero le habría bastado para ocupar un lugar importante en la historia de la geología en Cuba. Pero más allá de esto, fue una figura absolutamente descollante en las ciencias, con grandes logros en la matemática, la física, la geología, los yacimientos de petróleo y minerales, la geodesia, el catastro, la hidrología, la mineralogía, la antropología, la hidráulica, la piscicultura y la silvicultura. Fue un enconado luchador por la conservación del medio ambiente y por una explotación racional de los recursos naturales, lo cual le granjeó enemistades de poderosos y no pocas dificultades.

Nació en la ciudad de Cárdenas, Matanzas, el 3 de junio de 1882, hijo de José Corral García, natural de Santander, España y de la cubana Victoriana Alemán Morejón. Con apenas 19 años viaja a la península para cursar estudios. Regresa a Cuba graduado de la Escuela Central de Ingenieros de Madrid, donde estudió ciencias exactas y geología.[1] A su regreso, trabaja en la Secretaría de Obras Públicas. Desde 1909 comienza a trabajar en el Negociado de Minas de la Secretaría de Agricultura, donde tuvo diferentes responsabilidades hasta que es nombrado su Director en 1916, cargo que ocupó hasta su deceso en 1946.[2]

La labor de Corral fue enorme, pues desde la instauración de la Republica en 1902, habían sido muy pocas las acciones del Negociado de Minas por promover y organizar esta rama de la economía. En esos primeros años, la legislación minera era básicamente la misma de los tiempos de la colonia, con algunos cambios menores.[3] En un inicio, el trabajo del Negociado de Minas se reducía a registrar los denuncios y emitir concesiones, así como realizar visitas de inspección. Corral comienza a transformar la actuación de esta oficina con investigaciones, no solo de los recursos minerales y de la legislación. En esta última, defendió la propiedad del estado de los recursos en el subsuelo, para lo cual tuvo que enfrentar las tendencias dentro de los primeros gobiernos de la república, de derogar las leyes española para sustituirlas por otras inspiradas en principios y leyes de los Estados Unidos.

Fue un incansable publicista toda su vida, con centenares de libros, monografías y artículos. Publica en 1910 sus tres primeros artículos relacionados con la geología: una compilación del asfalto en Cuba,[4] otra sobre el manganeso[5] y una sobre la radioactividad de gases, aguas y rocas.[6] Incurre en investigaciones matemáticas como vía para mejorar la fundamentación de la demarcación minera y forestal.[7] En 1911 publica un reconocimiento geológico y minero del Valle de Viñales,[8] continuación de los resonados trabajos de Carlos de la Torre comprobando la existencia de un horizonte jurásico en Cuba.[9] El 28 de septiembre de 1914 publica el Reglamento Orgánico para la Minería Cubana, y además, una memoria explicativa.[10] El reglamento, permitió ordenar el proceso de otorgamiento de las licencias, continuación de los cambios incorporados en 1904. El reglamento mantenía

ciertos pasos, vigentes la Ley de Minas española de 6 de Julio de 1858.

En 1916, Corral crea la revista Boletín de Minas de la Dirección de Montes Minas y Aguas, con el carácter de órgano oficial de la Secretaría de Agricultura.. En este propio año, comienza la promoción de la Comisión del Mapa Geológico de Cuba, labor a la que va a dedicar no pocos esfuerzos a lo largo de toda su vida. Desde 1915, junto al ingeniero Jorge Broderman,[11] asume la responsabilidad de encaminar lo mejor posible la avalancha de denuncias y solicitudes luego del sonado descubrimiento al Este de La Habana. En 1916 la producción de petróleo se extiende al antiguo campo de Motembo. Como parte de los esfuerzos para una mejor utilización de los recursos, efectúa un análisis de la composición básica de los gases de este yacimiento.[12] Este mismo año, Corral publica sus evaluaciones sobre el área de Matahambre y otro relacionado con el área La Niña, también en Pinar del Río.[14] Isaac Corral publica "El petróleo en Cuba",[15] en el *Ohio's Oilmen's Journal* el cual tuvo especial repercusión en los Estados Unidos, no solo por la amplia exposición de las potencialidades del país para la producción industrial de petróleo y asfalto, sino también porque promueve una nueva teoría sobre el origen de los hidrocarburos."[16]

José I. Corral publica a partir de 1920 el resultado de su profunda investigación sobre derecho minero. Su voluminosa obra denominada "Derecho Minero Cubano" es una compilación histórica sobre el marco jurídico en el cual se desarrolla la actividad minera durante la colonia y los primeros años de la república. Comienza a aparecer en dos tomos que abarcan más de 1300 páginas; en 1920 el primer tomo[17] y en 1923 el segundo.[18] El Decreto Presidencial No. 105 de enero 20 de 1925, trazó un programa de estudios urgentes, con el objetivo de conocer las posibilidades de minerales útiles del subsuelo cubano. José Isaac Corral fue un impulsor de esos estudios y publicaciones. En 1928, publica una actualización de las disposiciones para la adquisición de permisos mineros[19] y un estudio histórico de los inicios de la minería en Cuba.[20]

José Isaac Corral ingresó como Miembro de Número en la Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de La Habana, el 17 de marzo de 1923, tras la presentación de su trabajo titulado: "La nueva ley de la gravitación universal". José Isaac Corral Alemán fue el primer cubano en defender la teoría de la relatividad de Albert Einstein.[21]

Corral organiza en 1931 un servicio de gran importancia para el desarrollo de la minería, que consiste en los análisis gratis que el Laboratorio Químico, Mineralógico y Petrográfico de la Dirección de Montes, Minas y Aguas, de todas las muestras de rocas y minerales que se les hacen llegar. Ese mismo año, publica un artículo sobre la importancia general de la minería en la revista de la Sociedad Geográfica de Cuba.[22]

En 1938, está al frente de la comisión para el mapa geológico de Cuba, culminándose finalmente la larga lucha por implementar en Cuba una institución para la cartografía geológica de la isla. El trabajo en mayor escala moderna, fue emprendido luego de crearse esta comisión, estando a cargo esta importante labor de los mejores técnicos sobre esta materia, como son el ingeniero Jorge Broderman y Vignier, con la colaboración del Dr. Mario Sánchez Roig y Pedro Bermúdez.

El principal logro de Corral en 1938 es la aprobación ley de Minerales Combustibles de 9 de mayo de 1938, de la cual fue su primer redactor. Corral es el autor del Reglamento de la Ley de Minerales Combustibles de 1939. La Ley de Minerales Combustibles preveía en su artículo XXV la creación del "Fondo Especial de Minas", que apoyaba financieramente las acciones de fomento y desarrollo de la minería y los trabajos del Catastro geológico Nacional. En este mismo año de 1938, la Dirección de Montes, Minas y Aguas del Ministerio de Agricultura, organiza el 22 de noviembre la primera Convención Nacional de Minería. La conferencia magistral de la convención fue su trabajo: "La geología como ciencia fundamental de la agricultura y de la minería".[23] El voluminoso trabajo, de 86 páginas, hace una descripción detallada del estado de las ciencias geológicas y geofísicas en el mundo, así como una explicación de todo el potencial de recursos minerales del país.

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

Uno de los trabajos de mayor repercusión científica en la rama geológica de José I. Corral, fue sin dudas "La unión de Cuba con el continente americano". En el mismo se van a revisitar todas las teorías emitidas hasta el momento sobre la evolución geológica de la región caribe – mexicana, en especial la de Schuchert. Corral promueve la idea que Cuba originalmente se encontraba en el norte de Sudamérica, de donde se desprendió y movió a partir del Mioceno Superior. Su teoría, inspirada en la deriva de las masas sialinas de Wegener, fue precursora de la nueva tectónica de placas que se va a desarrollar treinta años después.[24]

Teoría de José I. Corral sobre la ubicación de Cuba al norte de América del Sur.

En 1940 presenta otro de sus trabajos raigales sobre la geología cubana, se trata de "El geosinclinal cubano", que obtuvo el máximo galardón, medalla de oro y Diploma, en el Tercer Congreso de la Sociedad Cubana de Ingenieros. Además de los elementos de constitución geológica profunda, el trabajo contiene una teoría muy personal para orientar la busca del petróleo en Cuba, basado en primer lugar en la pertenencia de las rocas sedimentarias mesozoicas presentes al antiguo océano de Tetis.[25] En 1945, el Boletín de Minas presentó un excelente informe sobre un estudio de las asfaltitas cubanas, y existen otros artículos que fueron en su tiempo de referencia. Uno de ellos, es del ingeniero José Isaac Corral nombrado "Monografía del asfalto y el petróleo", donde abogó por las posibilidades petrolíferas de la isla y una exposición detallada del yacimiento Motembo, ya conocido desde el decenio de los ochenta del siglo XIX. En 1945 publica un trabajo sobre el origen de las terrazas recientes en varias regiones de la isla.[26]

Fallece en La Habana, el 14 de diciembre de 1946. En el elogio pronunciado en su sepelio por Eduardo Montoulieu, este dijo que fue "un hombre de ciencia de los más eminentes de nuestro país y de nuestra época". Al momento de su fallecimiento José I. Corral era reconocido como el mejor matemático que había existido en Cuba en cualquier época.

Recibió numerosas distinciones y reconocimientos a su labor entre los que se destacan: Miembro de la Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de La Habana y en 1941 ocupó la Presidencia de la Sección de Ciencias, de la Academia; Miembro de la Sociedad Cubana de Historia Natural "Felipe Poey"; Miembro Vitalicio de la Sociedad Cubana de Ingenieros; Miembro Titular de la Sociedad Geográfica de Cuba y Miembro Correspondiente de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid, así como Miembro de la Sociedad Geográfica de Lima, Perú. El Laboratorio Central de Minerales (Lacemi)

del Grupo Geominero-Salinero del Ministerio de Energía y Minas, lleva su nombre desde su fundación.

En 1940 presenta otro de sus trabajos raigales sobre la geología cubana, se trata de “El geosinclinal cubano”, que obtuvo el máximo galardón, medalla de oro y Diploma, en el Tercer Congreso de la Sociedad Cubana de Ingenieros. Además de los elementos de constitución geológica profunda, el trabajo contiene una teoría muy personal para orientar la busca del petróleo en Cuba, basado en primer lugar en la pertenencia de las rocas sedimentarias mesozoicas presentes al antiguo océano de Tetis. En 1945, el Boletín de Minas presentó un excelente informe sobre un estudio de las asfaltitas cubanas, y existen otros artículos que fueron en su tiempo de referencia. Uno de ellos, es del ingeniero José Isaac Corral nombrado “Monografía del asfalto y el petróleo”, donde abogó por las posibilidades petrolíferas de la isla y una exposición detallada del yacimiento Motembo, ya conocido desde el decenio de los ochenta del siglo XIX. En 1945 publica un trabajo sobre el origen de las terrazas recientes en varias regiones de la isla.

Fallece en La Habana, el 14 de diciembre de 1946. En el elogio pronunciado en su sepelio por Eduardo Montoulieu, este dijo que fue “un hombre de ciencia de los más eminentes de nuestro país y de nuestra época”. Al momento de su fallecimiento José I. Corral era reconocido como el mejor matemático que había existido en Cuba en cualquier época.

Recibió numerosas distinciones y reconocimientos a su labor entre los que se destacan: Miembro de la Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de La Habana y en 1941 ocupó la Presidencia de la Sección de Ciencias, de la Academia; Miembro de la Sociedad Cubana de Historia Natural “Felipe Poey”; Miembro Vitalicio de la Sociedad Cubana de Ingenieros; Miembro Titular de la Sociedad Geográfica de Cuba y Miembro Correspondiente de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid, así como Miembro de la Sociedad Geográfica de Lima, Perú. El Laboratorio Central de Minerales (Lacemi) del Grupo Geominero-Salinero del Ministerio de Energía y Minas, lleva su nombre desde su fundación.

[1]Trelles Carlos M. Biblioteca Científica Cubana por el autor de la Bibliografía cubana (1600 – 1916). Matanzas Imprenta Juan M. Oliver. Vera 92, 1918. 472 páginas.
[2]Castellanos García, Gerardo: Panorama histórico. Ensayo de cronología cubana (Desde 1492 a 1933). 3 tomos. Tomo II" Guerra de los diez años - Guerra chiquita. 1934, Ucar, García y Cía. La Habana.
[3]Legislación de minas de la Isla de Cuba con todas las modificaciones. Habana. Imp. de Rambla y Bouza. 1904. En 4c. M, 112 (4) ps.
[4]José I. Corral. El asfalto en Cuba. "Cathedra". Mayo, 1910.
[5]José I. del Corral. Producción y aplicación del manganeso. "Revista de la Soc. Cubana de Ingenieros." No. 2. Enero, 1910 p. 5-11.
[6]José I. Corral. “Determinación de la radioactividad de los gases, aguas y rocas”, Revista de la Sociedad Cubana de Ingenieros. 1910
[7]José I. Corral “Demarcaciones mineras”, Revista de la Sociedad Cubana de Ingenieros. 1911
[8]José I. Corral. Reconocimiento geológico-minero del Valle de Viñales. Secretaría de Agricultura, Com. y Trabajo. Habana, Boletín Oficial, 6. 1911. p. 101-110.
[9]Torre, Carlos Investigaciones paleontológicas en las Sierras de Viñales y Jatibonico. Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de la Habana. Habana 1910; Torre, Carlos Comprobation de l'éxistence d'un horizon jurassique dans la región occidentale de Cuba. Compte rendus. du Xle, Congres Geologique International, pag. 1021-1022, Suecia 1910.
[10]José I. Corral. Disposiciones vigentes para la adquisición de la propiedad minera y la explotación de sus riquezas (edición oficial cor. de los decretos aquí contenidos). Habana. Imp. y papelería de Rambla y Bouza. 1914. 177 páginas.
[11]Broderman Jorge. El petróleo en la región de Bacuranao. Conferencia. "Fomento". Habana. 1917.
[12]José I. Corral. Examen industrial de los gases combustibles naturales, Boletín de Minas. No. 3. 1918
[13]José I. Corral y Alemán. Nuestra excursión a Matahambre. Revista de la Sociedad Cubana de Ingenieros, 10: 1918. Pag. 391-422.
[14]José I. Corral. Informe sobre el reconocimiento de la mina de cobre La Niña (Pinar del Río). Boletín de Minas, 5: 1919. pag. 71-82.
[15]José I. Corral. El petróleo en Cuba. Cuba Contemporánea. Marzo 1921.
[16]José I. Corral. Cuba Abounds in Evidences of Oil Existing in the Subsoil known Prior to Arrival of the Spaniards. The Ohio gas and oil men's journal, Volume 3. 1921, Page 15 -27.
[17]José I. Corral. Derecho Minero Cubano. Una compilación de todas las disposiciones de carácter legislativo y administrativo dictadas, desde los más remotos tiempos hasta la fecha. Sociedad editorial Cuba contemporánea, T. I. 1920

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

[18]José I. Corral. Derecho Minero Cubano, Sociedad editorial Cuba contemporánea, Tomo II. 1923
[19]José I. Corral. Disposiciones vigentes para la adquisición de la propiedad minera y la explotación de sus riquezas. Habana, Cuba, 1928. Imprenta y papelería de Rambla y Bouza. La Habana, (1 enero 1928): 165 páginas.
[20]José I. Corral Los primeros pasos de la minería cubana. Revista de la Sociedad Geográfica de Cuba, 2: 1929. Pag. 131-138.
[21]José I. Corral. La nueva ley de la gravitación universal. Discurso ante la Real Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de la Habana 17 de marzo de 1923 Imprenta El siglo XX, La Habana, 1923.
[22]José I. Corral. Importancia general de la. Minería en Cuba. Revista Soc. Geogr. de Cuba. 4. 1931. p. 7-12.
[23]José I. Corral. La geología como ciencia fundamental de la agricultura y de la minería. Boletín de Minas, No. 18. 1939. 86 páginas.
[24]José I. Corral. La Unión de Cuba con el continente americano. En: Anales de la Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de La Habana. T. 76. La Habana, 1939, pp. 201-284.
[25]José I. Corral. El Geosinclinal Cubano, por José I. Corral, Rev. Soc. Cub. de Ings. 1940; José I. Corral. El geosinclinal cubano. 1940. La Habana. Imprenta Campania editora de Libros y Folletos. O’Reilly 304.
[26]José I. Corral. Terrazas pleistocénicas cubanas. Revista de la Sociedad Cubana de Ingenieros, 1945. 40 (1): 5-44.

Rafael Tenreyro Pérez, se gradúa de ingeniero en geofísica de exploración de petróleo en 1974 en la Academia Estatal de Petróleo de Azerbaiyán, Master en Ciencias en Geología del Petróleo en la Universidad Politécnica CUJAE de la Habana en 1981 y Doctor en ciencias en Geofísica de Exploración la Universidad de Petróleo Gubkin de Moscú, Rusia, en 1987.

Tiene cuarenta y ocho años de experiencia en la Industria petrolera en Cuba y en otros países fundamentalmente en la especialidad de exploración de yacimientos de petróleo y gas. Durante este tiempo transitó desde ingeniero geofísico de adquisición hasta Jefe de Exploración de la empresa petrolera nacional de Cuba - Cupet, cargo que ocupó por 16 años hasta su retiro en 2016. Investigador científico también recorre desde Aspirante a Investigador a Investigador Titular. Fue Jefe técnico del programa de exploración en la Zona Económica Exclusiva del Golfo de México. Director Técnico del Comisión para la Plataforma Extendida de Cuba. Tiene más de doscientas publicaciones que incluyen artículos científicos, presentaciones en eventos, conferencias, mapas, monografías y libros de texto. Premio de Geología Antonio Calvache Dorado de la Sociedad Cubana de Geología en 1992. En estos momentos trabaja en la empresa australiana Melbana Energy Limited. tenreyro2015@gmail.com

PUBLICACIONES

TESIS & RESÚMENES

Marcos J. Mollo-Yaulli

Optimización del sistema de transporte de mineral a cargo de la Empresa DCR Minería y Construcción, en la unidad minera Inmaculada

Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa, Perú

Tesis para optar el título profesional de: Ingeniero de Mina, 2022

Director de Tesis: *Dr. Valenzuela Salas, Marco Antonio*.

Resumen

Las actividades relacionadas con el transporte en la industria minera, representan aproximadamente el 30% de los costos totales de producción, puesto que éstas, en su gran mayoría, se llevan a cabo de manera empírica sin contar con un programa de transporte enfocado en optimizar los tiempos, el costo y, por ende, obtener una mayor relación costo/beneficio.

Este estudio se lleva a cabo en DCR Minería y construcción y se orienta en plantear una propuesta para optimizar el actual sistema de transporte en la Unidad Minera "Inmaculada". El estudio se enfoca en el análisis del transporte desarrollado por los volquetes, la empresa cuenta con una flota de 24 volquetes que desarrollan actividades tanto en el interior como en la superficie de la mina.

El análisis determina que las demoras innecesarias en los puntos de carga, descarga y pesaje incrementan el tiempo de ciclo de transporte, por otro lado, gran parte de los viajes realizados, especialmente por los volquetes FMX 6x4 llevan aproximadamente 30% menos de su carga optima lo que implica realizar más viajes para una misma cantidad de material.

Finalmente, se determina que la empresa tiene un alto número de paradas de mantenimiento correctivo, siendo que el 60% de las paradas de mantenimiento corresponden a mantenimiento correctivo, lo que implica mayores costos en el sistema de producción.

Por tanto, la propuesta de optimización se enfoca en mitigar estos tres principales problemas, su implementación permite disminuir el tiempo ciclo de transporte, incrementar la productividad diaria por volquete y minimizar el número de paradas por mantenimiento correctivo.

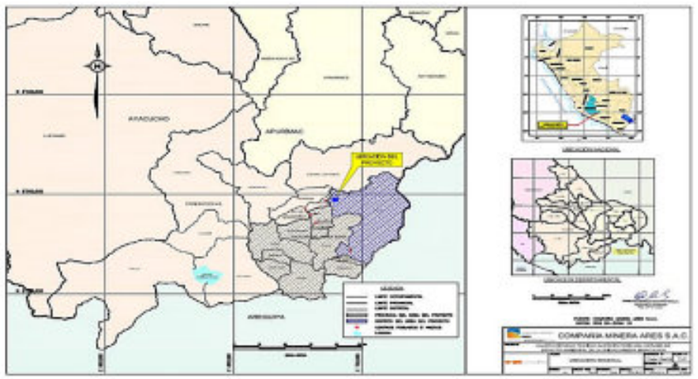


Figura 1.1. Ubicación de la Unidad Minera Inmaculada Fuente: (ARES, 2016).

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

Tectonics®

RESEARCH ARTICLE
10.1029/2021TC007157

Key Points:

- Structural and stratigraphic interpretations are integrated with two-dimensional and three-dimensional gravity models to test the composition of the crust
- Analyses suggest a crustal evolution from hyperextended continental crust to exhumed mantle and proto-oceanic to normal oceanic crust
- We show that the crustal breakup of the Camamu-Almada was remarkably magma-poor with no obvious seaward-dipping reflectors, intrusions, or crustal underplating

Supporting Information:

Supporting Information may be found in the online version of this article.

Correspondence to:

P. Mann,
pmann@uh.edu

Citation:

Romito, S., & Mann, P. (2022). Crustal structure of the Camamu-Almada margin along the northeasternrift segment of Brazil from an integration of deep-penetrationseismic reflection profiles, refraction, and gravity modeling. *Tectonics*, *41*, e2021TC007157. https://doi.org/10.1029/2021TC007157

Received 29 NOV 2021
Accepted 10 AUG 2022

© 2022. American Geophysical Union.
All Rights Reserved.

Crustal Structure of the Camamu-Almada Margin Along the Northeastern Rift Segment of Brazil From an Integration of Deep-Penetration Seismic Reflection Profiles, Refraction, and Gravity Modeling

Sean Romito[1] and Paul Mann[1]

[1]Departmentof Earth and Atmospheric Sciences, University of Houston, Houston, TX, USA

Abstract The Camamu-Almada segment of the northeastern Brazil rifted-passive margin covers an area of 22,000 km^2 and includes: (a) thin to ultra-thin metamorphic continental crust; (b) a transitional zone of unknown composition; and (c) Albian and younger oceanic crust. We investigate the structural-magmatic evolution of the region by interpreting 19,000 line km of two-dimensional reflection seismic data, 105 offshore well logs, and 15 seismic refraction stations. Interpretation of these data suggests that the 100 km-wide rifted zone is structurally complex and composed of at least three discrete crustal blocks: (a) 10–40 km-wide and 4–6 km-thick zones of hyperextended continental and possibly unroofed lower continental crust with an average density of 2.88 g/cc; (b) two 20 km-wide sub-circular zones of exhumed mantle with an average density of 3.1 g/cc; and (c) 40–60 km-wide and 6–7 km-thick proto-oceanic crust that formed in situ. These blocks are similar in thickness and composition to rifted zones described by previous workers along its conjugate margin in Gabon, West Africa, and on the rifted-passive margin of the western Mediterranean.

Plain Language Summary The offshore Camamu-Almada basin is a 250 km-long segment of the rifted-passive margin along the northeastern coast of Brazil whose syn-rift history has been interpreted differently by previous workers. To better understand the crustal structure of the margin, we integrate two, deeply-penetrating seismic reflection transects with grids of seismic reflection data, seismic refraction surveys, and well logs. Based on our interpretations, we conclude that this 40–110 km wide transitional zone includes thinned continental crust, exhumed mantle, and non-steady state oceanic crust, and that the Camamu-Almada basin is underlain by a non-volcanic rifted margin similar to its conjugate rifted margin in Gabon, West Africa, and to other analogs like the Gulf of Lion magma-poor, rifted margin in the western Mediterranean.

1. Introduction

Significant questions remain on the evolution from unstretched, full-thickness continental crust to the final stage of the emplacement of oceanic crust along an organized spreading ridge (Boillot & Froitzheim, 2001; Brune et al., 2017; Vangone & Doglioni, 2021). An important variable during the continental rift phase is the relative amount of magmatic activity that accompanies the necking of the continental lithosphere (e.g., Brune et al., 2017; Desmurs et al., 2001; Mutter et al., 1988; Péron-Pinvidic et al., 2019; White & McKenzie, 1989; Whitmarsh et al., 2001). We use the terms *magma-rich* and *magma-poor* to define the broad spectrum of varying magmatic influence (e.g., Tugend et al., 2018).

Magma-rich end-member systems are characterized by large volumes of flood basalts, manifested as >10–15 km-thick units of seaward-dipping reflectors (SDRs) as interpreted from seismic reflection sections (Eldholm et al., 1989, 2000; Quirk et al., 2014; Reuber & Mann, 2019; White et al., 2008). SDRs commonly overlie igneous high-velocity lower crust (HVLC) that Becker et al. (2014) attribute to lower crustal intrusions.

Magma-poor end-member margins are characterized by hyper-extended continental crust that lacks extrusive and intrusive magmatic emplacement during its syn-rift phase. In extreme cases of lithospheric thinning, tracts of exhumed mantle can be exposed at the seafloor surface (Boillot et al., 1980; Péron-Pinvidic et al., 2019; Péron-Pinvidic & Manatschal, 2010; Reston, 2009). Some rifted margins display a hybrid magmatic evolution with an early magma-poor stage followed by a later magma-rich phase, or vice-versa (Armitage et al., 2011; Belgarde et al., 2015; Gernigon et al., 2015; Lundin & Doré, 2011).

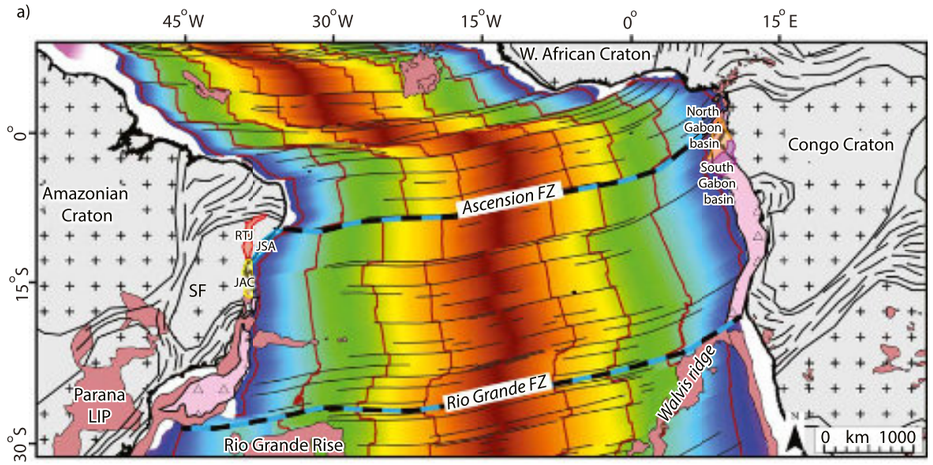


Figure 1. (a) Location map showing the Africa-Brazil conjugates with generalized, Precambrian and Paleozoic orogenic trends from these cratons shown in black (Gray et al., 2008), large igneous provinces in ochre (Coffin & Eldholm, 1994) and large salt-filled sag basins in pink (Davison, 2007). Ages of oceanic crust are based on magnetic isochrons from Seton et al. (2020) are contoured on a 30 My interval. (b) Geologic model for the northeasternBrazil margin as imaged in the Almada sub-basin with crustal domains described within this paper. (c) Geologic model for the conjugate margin along the South Gabon basin that is based on our depth conversion of time-migrated seismic from Scott (2015) with crustal domains described within this paper. (d) GPlates restoration from Matthews et al. (2016) of Gondwana immediately following breakup in the Albian (113 Ma) showing the location of the two seismic lines shown in (c); green is continental crust, black are large igneous provinces, and gray is oceanic crust.

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

Conos piroclásticos de aguas Zarcas: Evidencia de la transición de un régimen magmático de arco a trasarco, Costa Rica

Universidad De Costa Rica.

Tesis para para optar por el grado de licenciatura en Geología, Enero 2020

Sustentante: **Esteban Jarquín Sánchez**

Directores de tesis: *Madrigal Quesada, María del Pilar.*

Resumen.

Los Conos Piroclásticos de Aguas Zarcas, son un grupo de ocho conos de escoria y lava ubicados al norte del volcán Platanar de Costa Rica de edad 300 ka. Se desarrolló un estudio petrológico en estos conos, donde se realizó cartografía geológica, se levantaron columnas tefroestratigráficas, y se recolectaron muestras de bombas y lavas para su posterior análisis petrográfico y geoquímico. Esta información fue posteriormente procesada con el fin de estimar las condiciones que intervinieron en el origen de estos conos. Se determinó la existencia de dos componentes magmáticos. El primero, enriquecido en elementos de alto potencial iónico (HFSE), presenta alta influencia de la cuña mantélica y es típico de una tectónica extensional de trasarco que originó cinco conos alineados en una fractura (Morera, Juan Murillo, Vuelta Kooper, Valle Hermoso y Los Chiles) así como el cono Pital, que se encuentra aislado del resto. La actividad eruptiva de estos conos inició con una actividad efusiva fisural, que generó flujos de lava basálticos de baja viscosidad y posteriormente ocurrió una actividad más explosiva que formó los conos piroclásticos. El otro componente se evidencia solo en el cono Buenos Aires y está enriquecido en elementos móviles, por tanto, muestra mayor influencia de la losa de subducción. Loma Barrantes muestra características mixtas entre ambos componentes magmáticos. En Loma Barrantes y Buenos Aires la actividad ocurrió en una sola fase eruptiva de carácter explosivo. Se concluye que los Conos Piroclásticos de Aguas Zarcas representan una transición de un magmatismo de arco a trasarco, debido a que presentan características intermedias entre ambos ambientes geotectónicos, además, seis de los conos muestran más afinidad con un volcanismo de trasarco, mientras que los otros dos conos son más afines a un volcanismo de arco. Estas diferencias entre los conos se atribuyen a distintas fuentes magmáticas y a diferencias en la profundidad de la losa, la cual presenta un cambio en el ángulo de subducción al extremo noroeste de la Cordillera Volcánica Central, donde se encuentran los Conos de Aguas Zarcas.

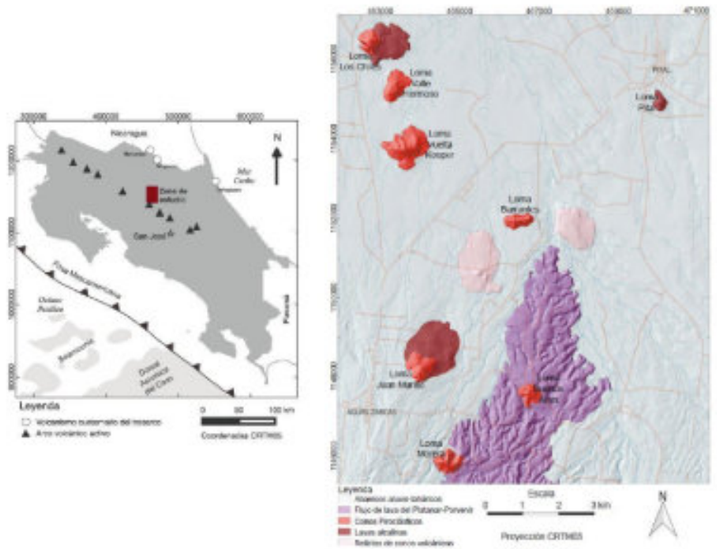


Figura 1.1. Ubicación de la zona de estudio.

Magmatic and rare Eocene to Precambrian xenocrystic zircons in Dominica reveal discrete crystallization episodes and multiple sediment sources

Holli M. Frey†, Matthew R.F. Manon, Sarah Kittross, Mollie D. Pope§, and Sarah K. Brehm#
Department of Geosciences, Union College, Schenectady, New York 12308, USA

ABSTRACT

The effects of sediment contribution to the Lesser Antilles island arc have been well explored with whole-rock trace-element chemistry and isotopic studies. To better understand the source of these sediments, we analyzed >400 zircons for U-Pb ages and trace-element chemistry in eight andesitic-dacitic ignimbrites and lavas younger than 100 ka from the island of Dominica in the central Lesser Antilles arc. The overwhelming majority of the zircons analyzed were magmatic in origin, with U-Pb ages younger than 10 Ma, but predominantly younger than 300 ka. Zircon trace-element chemistry is consistent with derivation from an oceanic-island arc, and positive εHf(*t*) values (+5 to +15) support a juvenile depleted mantle source.

Rare Precambrian to Eocene xenocrystic zircons (36) were also found in the Dominican volcanics and record sediment dispersal from several different terranes as the Caribbean plate migrated eastward along the northern margin of South America. Although some previous detrital zircon studies in the region suggested zircons younger than 100 Ma were derived from the Great Arc of the Caribbean, the younger Dominican zircon xenocrysts (300–50 Ma) have elevated Th/Yb and U/Yb, as well as variable positive/negative εHf(*t*) values, inconsistent with an oceanic arc origin. These zircons in Dominica were most likely derived from the Eastern and Central Cordillera of the Andes, which experienced a flare-up in magmatism ca. 65–45 Ma. As the Great Arc of the Caribbean traversed along the South American margin, terrigenous sediments transported via river systems and turbidites accumulated in the forearc basin. Older zircons (1800–300 Ma) have a slightly different chemistry and equivocal source(s), including the Andes, northern Venezuelan coastal ranges, and/or the Guyana Shield.

INTRODUCTION

The genesis and evolution of the Caribbean region are complex and have been explored through seismic reflection data, marine magnetic anomalies, geochemistry, isotopes, and geochronology, with various models and mechanisms proposed. The most recent and active island arc, the north-south–trending Lesser Antilles arc, emerged in the middle Miocene (Aitken et al., 2011) or late Oligocene (Garrocq et al., 2021) through extension in the oceanic Grenada basin. It features a wide range of magmatic compositions (Macdonald et al., 2000) and isotopic heterogeneities (e.g., White and Dupré, 1986) that correlate in part to geographic position and proximity to South America, which provides high sediment flux into coastal basins. The northern islands of the Lesser Antilles arc have typical oceanic arc compositions, whereas the central and southern Lesser Antilles arc lavas are considerably more isotopically heterogeneous, with some whole-rock isotopic ratios (e.g., $^{87}Sr/^{86}Sr$, $^{143}Nd/^{144}Nd$, and $^{206}Pb/^{204}Pb$) recording "continental" values (e.g., Davidson, 1985; White et al., 1985; van Soest et al., 2002). This along-arc heterogeneity has long been a subject of much debate, and two processes have been proposed to account for the variation: (1) incorporation of sediment into the mantle source (e.g., White and Dupré, 1986; Carpentier et al., 2008, 2009; Labanieh etal., 2010, 2012) and (2) assimilation of sediment-rich arc crust (e.g., Thirlwall and Graham, 1984; Davidson, 1987; Davidson and Harmon, 1989; Smith et al., 1996; Thirlwall et al., 1996; van Soest et al., 2002; Bezard et al., 2014). Irrespective of the process that involved the sediment (subducted sediment or crustal assimilation), the primary sediment source in the Lesser Antilles arc has been inferred to be South America, with sediments transported by the Orinoco River Delta (e.g., Carpentier et al., 2008, 2009) and precursor drainage basins east of the Maracaibo Basin. However, additional sediment sources, including the Great Arc of the Caribbean and the Central and Eastern Cordilleras of the Andes, should also be considered in light of the age and chemistry of xenocrystic zircons reported in this study.

Herein, we report >400 U-Pb laser-ablation–inductively coupled plasma–mass spectrometry (LA-ICP-MS) ages of zircons from the relatively young (younger than 100 ka) andesite-dacite eruptions across the island of Dominica in the central Lesser Antilles arc, which provide insight into the crystallization history of the modern arc and preexisting crustal material through which the magmas ascended. In addition to establishing that Dominican magmatism is younger than 10 Ma, we found a unique age distribution of xenocrystic zircons that suggests the Dominica magmas assimilated sediment derived from multiple sources in South America.

GEOLOGIC BACKGROUND

Great Arc of the Caribbean and Lesser Antilles Arc

Today, the Lesser Antilles arc in the eastern Caribbean is ~750 km in length and extends from Saba in the north to Grenada in the south with a total of 11 volcanic islands (Fig. 1). It is the most recent manifestation of island-arc migration in the eastern Caribbean that began in the Early Cretaceous in the paleo-Pacific Ocean (Bouysse,

Holli M. Frey https://orcid.org/0000-0002-3981-9043
†freyh@union.edu
§Present addresses: Department of Geology and Geophysics, University of Wyoming, Laramie, Wyoming 82107, USA
#Present address: Atmospheric and Geological Sciences Department, State University of New York–Oswego, Oswego, New York 13126, USA

GSA Bulletin;
published online 16 January 2024

https://doi.org/10.1130/B37238.1.

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

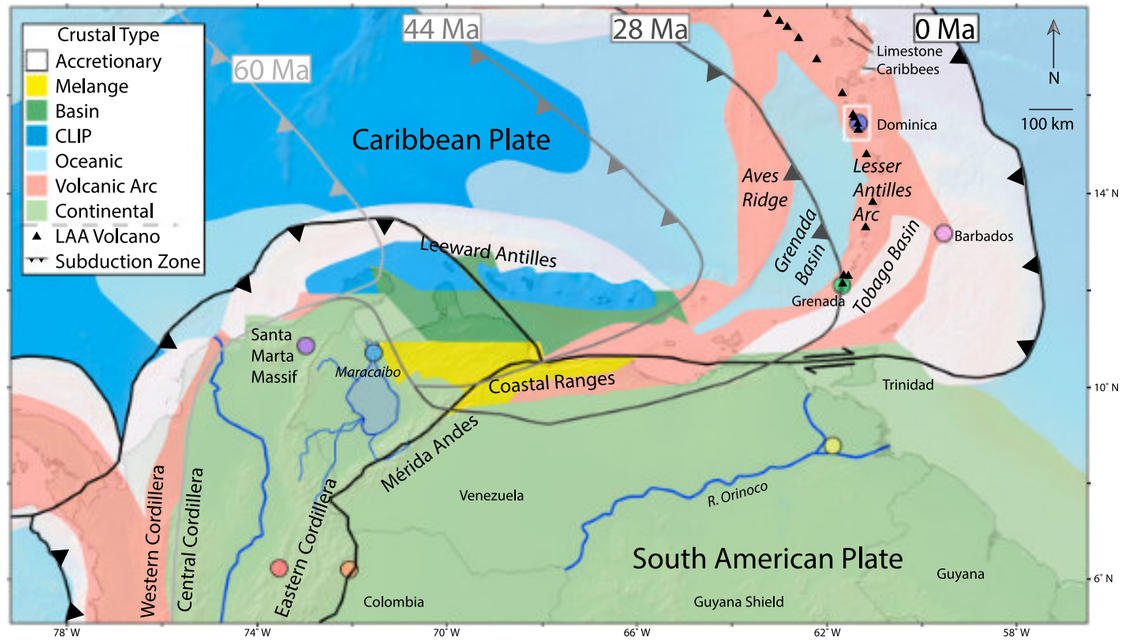


Figure 1. Overview map of the present-day Caribbean, with crustal types (modified from Zimmermann et al., 2021). The inferred position of the leading edge of the Great Arc of the Caribbean (GAC) as it migrated eastward is denoted by the labeled subduction zones (adapted from Xie et al., 2010). Volcanoes in the Lesser Antilles arc (LAA) are denoted by black triangles. Colored circles correspond to locations of comparative detrital zircon studies discussed in the text and shown in Figure 13. CLIP—Caribbean large igneous province.

Geochemistry, Geophysics, Geosystems®

RESEARCH ARTICLE
10.1029/2023GC010933

Special Section:
A fresh look at the Caribbean plate geosystems

Late Cretaceous-Recent Tectonostratigraphic Evolution of the Yucatan Back-Arc Basin, Northern Caribbean Sea

Juan Pablo Ramos[1] and Paul Mann[1]

[1]Department of Earth and Atmospheric Sciences, University of Houston, Houston, TX, USA

Key Points:

- We integrate gravimetric, magnetometric, and seismic reflection data to identify oceanic crust in the Yucatan back-arc basin
- Heat flow and depth to the seafloor constrain a Late Paleocene-Middle Eocene age for the oceanic crust adjacent to the Cuban volcanic arc
- Similar back-arc basins nearby were inverted, subaerially exposed, and left-laterally offset during the late Eocene-Recent

Correspondence to:
J. P. Ramos and P. Mann,
jramosvargas@uh.edu;
pmann@uh.edu

Citation:
Ramos, J. P., & Mann, P. (2023). Late Cretaceous-recent tectonostratigraphic evolution of the Yucatan back-arc basin, northern Caribbean Sea. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, *24*, e2023GC010933. https://doi.org/10.1029/2023GC010933

Received 1 MAR 2023
Accepted 27 JUN 2023

© 2023 The Authors. Geochemistry, Geophysics, Geosystems published by Wiley Periodicals LLC on behalf of American Geophysical Union.
This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs License, which permits use and distribution in any medium, provided the original work is properly cited, the use is non-commercial and no modifications or adaptations are made.

Abstract The 110,000 km² Yucatan Basin in the northern Caribbean Sea is critical for understanding the Late Cretaceous to Recent tectonic evolution of the Caribbean-North American plate boundary. This study integrates gravity, magnetic, and a 5,500 km grid of 2D seismic data to carry out a tectonostratigraphic analysis of the Yucatan Basin. These data provide the first recognition of 38–102 km-long spreading ridges that constrain a SW-NE opening direction in the western Yucatan Basin. The age of this oceanic crust is constrained to be late Paleocene-middle Eocene (57–42 Ma) based on heat flow measurements, depth-to-seafloor, and three sedimentary sequences inferred to be Eocene—Recent in age based on stratigraphic correlations to distant wells. We interpret the Yucatan Basin as a back-arc basin formed during the northeastward movement of the Caribbean volcanic arc that is now exposed in Cuba, evolved during the early Cretaceous to middle Eocene, and was terminated by collision with the Bahama carbonate platform during the late Paleocene to middle Eocene. We identify regional, left-lateral strike-slip faults that extend into the Cuban volcanic arc, as observed in other active back-arc basins. We propose that the Yucatan back-arc basin once formed the northwestern extension of age-equivalent back-arc basins in Hispaniola, where the basin is inverted, topographically elevated, and strongly shortened, and in the Lesser Antilles where the Paleogene back-arc basin has remained undeformed and submarine. This once-continuous back-arc basin was disrupted and left-laterally offset by ~500 km during the Late Eocene-Recent formation of the Cayman trough strike-slip system.

Plain Language Summary This study utilizes seismic reflection data to carry out a tectonostratigraphic analysis of the Yucatan Basin.

1. Introduction and Significance

Geologic and geophysical data from decades of previous work has led to a widespread consensus that the present-day Caribbean area evolved as a consequence of the Great Arc of the Caribbean (GAC) moving in a northeastward and eastward direction and subducting an extensive area of the Proto-Caribbean Sea of Jurassic and early Cretaceous age that had formed as the result of the opening between North and South America (Boschmann et al., 2014; Burke, 1988; Burke et al., 1984; Escalona & Mann, 2011; Pindell & Dewey, 1982) (Figure 1). The importance of the formation, subduction, volcanic history, and collision of the GAC have led to detailed studies of its various volcanic arc segments that can be traced as a semi-continuous feature over a 4,300-km-long and strongly curved arc that can be traced on bathymetric-topographic maps (Figure 1a) and gravity maps (Figure 1b) from southern Mexico and northern Central America (Pindell et al., 2023; Ratschbacher et al., 2009; Rogers et al., 2007); western Cuba (Gordon et al., 1997; Hu et al., 2022; Pardo, 2009), southeastward through Hispaniola (Escuder-Viruete et al., 2023; Hernáiz-Huerta & Pérez-Estaún, 2002; Mann et al., 1991) and Puerto Rico and the Virgin Islands (Román et al., 2021), southward to the small volcanic islands of the Lesser Antilles volcanic arc and largely submarine Aves Ridge remnant arc (Allen et al., 2019; Bouysse, 1988; Garrocq et al., 2021), and westward along the subaerial and submarine Caribbean margins of Trinidad and Tobago (Christeson et al., 2008), Venezuela, and Colombia (Gorney et al., 2007; Kroehler et al., 2011; Neill et al., 2011; Vence & Mann, 2020; Ysaccis, 1997; Ysaccis & Bally, 2021).

The terminal collision between the northeastward and eastward-moving Great Arc and continental masses of North and South America with its accompanying deformation and cessation of arc volcanism has been described for segments of the northern and southern boundaries of the Caribbean including studies in southern Mexico and northern Central America (Pindell et al., 2023), western Cuba (Gordon et al., 1997; Saura et al., 2008), central Cuba (Cruz-Orosa et al., 2012; Rojas-Agramonte et al., 2008), southern Cuba (Rojas-Agramonte et al., 2011), Hispaniola (Dolan et al., 1991; Escuder-Viruete et al., 2016), Puerto Rico and the Virgin Islands (Laó-Dávila, 2014;

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

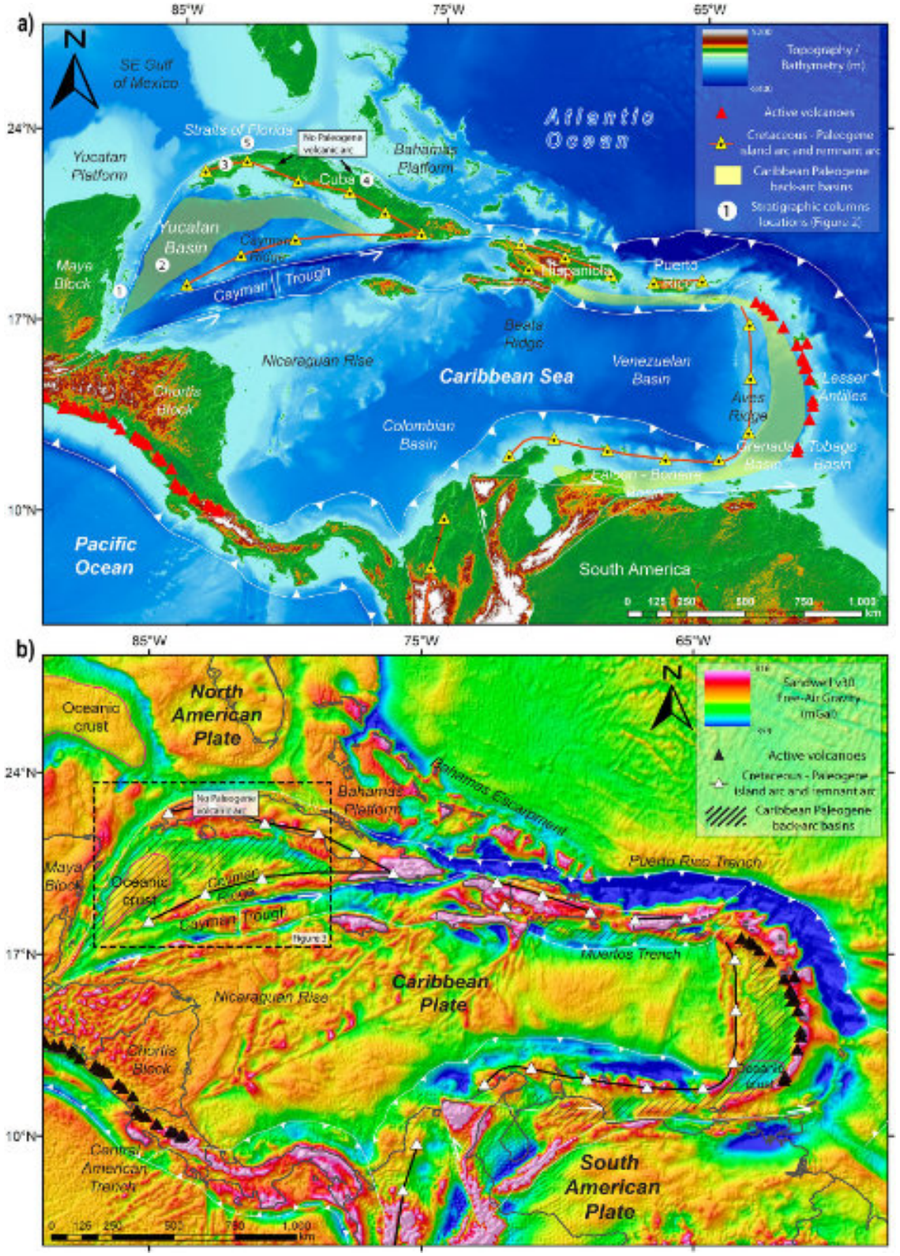


Figure 1. (a) Bathymetric-topographic map of the Caribbean region compiled from Tozer et al. (2019) and GEBCO Compilation Group (2020) showing the location of the study area of the Yucatan back-arc basin in the northern Caribbean Sea and the extent of the extinct, Cretaceous-Paleogene Great Arc of the Caribbean (GAC) and the still-active Lesser Antilles arc in the eastern Caribbean. Numbers 1–5 are keyed to the stratigraphic columns from the Belize margin, the Yucatan back-arc basin, and the Cuban segment of the GAC that are shown in Figure 2. The proposed continuation of the Yucatan back-arc basin into Hispaniola and the Lesser Antilles is shown by the yellow-shaded areas. The continuity of the back-arc basin has been disrupted by 500 km of Eocene-Recent eastward displacement of the Caribbean Plate relative to the area of the Yucatan back-arc basin and Cuban arc segment that has remained sutured to the North American Plate. (b) Free-air gravity from Sandwell et al. (2014) showing the distinctive high gravity anomaly related to the elongated basement high of the GAC. The area of the more detailed map of the Yucatan back-arc basin is boxed and shown in Figure 3.

Regional source rock thermal stress modeling and map-based charge access modeling of the Port Isabel passive margin foldbelt, northwestern Gulf of Mexico

Muhammad Nawaz Bugti[1] and Paul Mann[1]

ABSTRACT

The Port Isabel passive margin foldbelt covers 17,000 km^2 of the northwestern deepwater U.S. Gulf of Mexico. Seven oil exploration wells have been drilled in the area from 1996 to 2007, yielding a single uncommercial gas discovery. The 5–7 km thick Oligo-Miocene section prevents drilling from penetrating the underlying Paleogene and Mesozoic source rocks. Accommodation space for the Oligo-Miocene section is created by the collapse of a paleo-salt wall, leading to linked fault systems in the upper decollement to the east. We use 13 exploration wells to construct 1D and map-based 2D basin models to investigate the burial and thermal history of three inferred source rock horizons (Paleogene, Turonian, and Tithonian). We interpret a 2D seismic data grid tied to four wells to constrain stratigraphic depths and thicknesses of the younger and shallower Wilcox source rock horizons, and the Jurassic and Cretaceous source rock horizons. Our results indicate that vitrinite reflectance is a proxy for the thermal stress levels reached by the source rocks as supported by maps of hydrocarbon charge access. We conclude that all three source rock intervals have reached varying degrees of maturity, expelled hydrocarbons in late Paleogene to mid-Neogene, and likely continue expelling hydrocarbons to the present-day at a reduced rate. The deposition of the Oligocene and Middle Miocene sedimentary section has buried the underlying source intervals and likely brought them into the gas/condensate window in the present-day. Our mapping of the extensive seismic reflection grid reveals four-way structural closures, three-way stratigraphic traps, and salt truncation structures associated with amplitude anomalies which may support our predictions for maturity in the underlying source rocks. Our thermal stress maps predict that the modeled source rocks are mature and our charge access models for the available wells constrain migration patterns, although the timing of the early hydrocarbon charge and late trap formation remain significant risk factors.

Introduction

Significance and objectives of the study

The Port Isabel foldbelt area of the deepwater, northwestern Gulf of Mexico (GOM) basin is remarkable for being one of the least productive hydrocarbon areas of the U.S. sector of the GOM as shown by the scarcity of oil and gas production in this area (Figure 1). This study integrates all available wells with an extensive grid of industry 2D seismic reflection data to construct 1D and map-based 2D basin models to investigate the burial and thermal history of three inferred source rock horizons of the Paleogene, Turonian, and Tithonian ages. Our primary objective is to explain why this area of the northwestern GOM has remained unproductive for hydrocarbons in comparison to the adjacent and much more productive north-central GOM (Figure 1).

The study area in the northwestern GOM and its adjacent hydrocarbon-rich "superbasin" in the north-central GOM share the same stratigraphy, source rocks, reservoir units, and oil families that were deposited during a Triassic-Jurassic period of early continental rifting and oceanic crust formation that was followed by a Cretaceous to recent passive margin phase (Marton and Buffler, 1999; Hood et al., 2002; Weimer et al., 2017; Snedden and Galloway, 2019; Snedden et al., 2020; Pepper and Roller, 2021; Pindell et al., 2021). During the late Cenozoic, the Port Isabel and Perdido passive margin foldbelts formed with an updip zone of extension (the Corsair fault zone) and a downdip zone of compression (Fiduk et al., 1999; Trudgill et al., 1999).

The well penetrations in the Port Isabel foldbelt are stratigraphically limited with no wells penetrating the deeply buried Paleogene, Cretaceous, and Jurassic source rock intervals. We infer the source rock distribution in this area from the bulk composition and biomarker data either recovered from wells outside of the

[1]University of Houston, Department of Earth and Atmospheric Sciences, Houston, Texas, USA. E-mail: s.bugti@gmail.com; pmann@uh.edu (corresponding author).

Manuscript received by the Editor 18 January 2023; revised manuscript received 9 May 2023; published ahead of production 4 July 2023; published online 7 September 2023. This paper appears in Interpretation, Vol. 11, No. 4 (November 2023); p. T717–T734, 20 FIGS., 3 TABLES.
http://dx.doi.org/10.1190/INT-2023-0004.1.©2023Society of Exploration Geophysicists and American Association of Petroleum Geologists

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

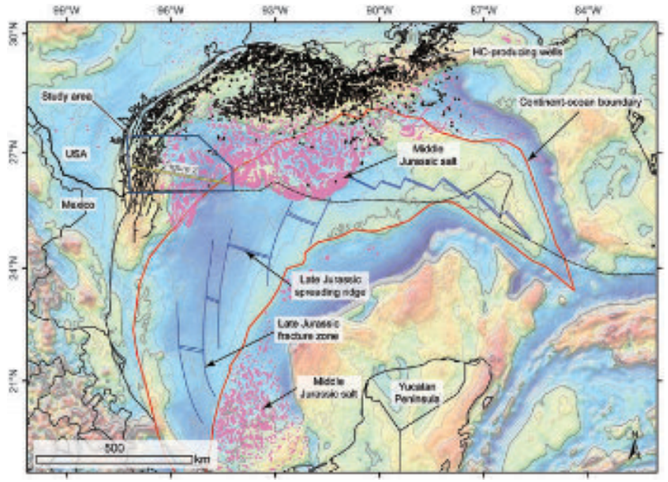


Figure 1. Topographic and bathymetric map showing the main structural and basinal areas of the GOM and its surrounding area. The Port Isabel passive margin foldbelt is located in the U.S. maritime zone of the northwestern region of the deepwater GOM. The continent-ocean boundary is from Bugti (2022) and was compiled from Sandwell et al. (2014) and BOEM (2021). The black dots are hydrocarbon-producing wells.

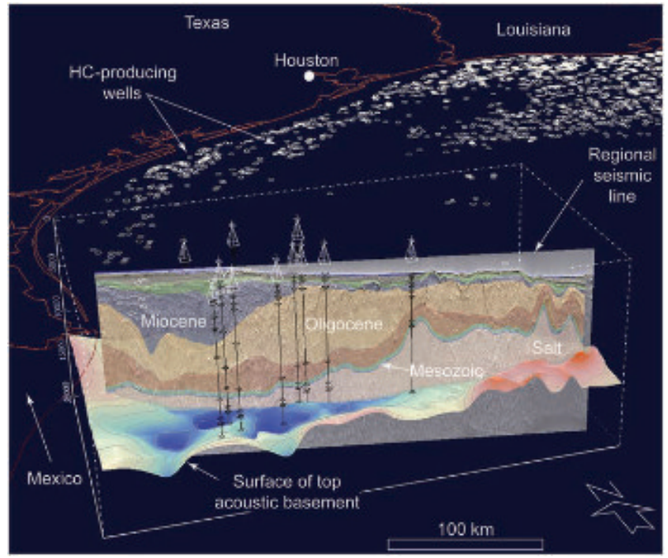


Figure 2. 3D perspective view from the southwest of our study area in the northwestern GOM showing an interpreted 2D regional seismic section in the dip direction with the mapped seismic horizons of the area. The surface of the top acoustic basement is shown beneath the Middle Jurassic Louann salt. The Oligo-Miocene salt withdrawal basin described in detail by Bugti (2022) is present on the western end of the seismic line. The wells shown were used for 1D basin model building for the entire stratigraphic column. A broad zone of hydrocarbon-producing wells are shown in the map view as the white circles that extend across the U.S. sector of the GOM.

Simulación de propagación de ondas elásticas en medios con fracturas conectadas

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

Tesis para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Maestro en Ciencias, 2021.

Sustentante: **José Manuel Fermín Antonio.**

Director de tesis: *Dr. Jonás de Dios de Basabe Delgado.*

Resumen

La presencia de fracturas es común en formaciones geológicas y tienden a dominar las propiedades hidráulicas y mecánicas en las rocas, por lo que el flujo de fluidos a través de estas no puede ser entendido sin un detallado conocimiento de la conectividad y geometría de las redes de fractura que las componen.

El rango de potenciales aplicaciones abarca la exploración y explotación de hidrocarburos, almacenamiento de desechos nucleares, geohidrología, almacenamiento de CO_2, entre otras, por lo que existe un gran interés en mejorar las técnicas para detectar y caracterizar redes de fracturas. Con ayuda de modernas computadoras y el desarrollo de nuevos métodos numéricos, se han impulsado nuevas metodologías para estudiar mejor el efecto de los medios fracturados en el campo de ondas sísmico. El método de Galerkin Discontinuo de Penalización Interior es un esquema numérico que permite simular la ecuación de onda elástica y evaluar modelos representativos de rocas fracturadas con diversas geometrías. Se construyeron volúmenes representativos con fracturas conectadas y no conectadas, para estudiar, no solo el efecto que tiene la conectividad en el campo de ondas, sino también la longitud de fracturas y la frecuencia de la fuente. Se implementó el medio equivalente llamado T-Matrix, que es una solución analítica que describe el comportamiento elástico de un medio con inclusiones, en este caso las fracturas. La principal característica de T-Matrix es que permite caracterizar la interacción de fracturas y su efecto en el campo de ondas. Este método busca replicar los modelos con fracturas discretas y así evaluar su efectividad en la caracterización de medios fracturados. Los análisis espectral y de coherencia en un plano tiempo-frecuencia muestran un efecto considerable producto de la conectividad, sugiriendo la posibilidad de incluir este efecto en los esquemas de evaluación de yacimientos fracturados.

Figura 1.1. Ejemplo de un mallado de elementos finitos para un modelo fracturado. Las fracturas se indican con gruesas lineas rojas(De Basabe et al., 2016).

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

Insights into Caribbean tectonics from a detrital zircon U-Pb provenance study of siliciclastic strata in western and central Cuba

Patricia Ascanio-Pellon†, Daniel F. Stockli, Daniel Ruiz-Arriaga, and Lisa Stockli
Department of Geological Sciences, Jackson School of Geosciences, University of Texas at Austin, Austin, Texas 78712, USA

ABSTRACT

The tectonic affinity and origins of the Jurassic, siliciclastic San Cayetano and Constancia formations exposed in western and central Cuba in the Caribbean region remain debated. The scarcity of modern geochronologic studies on these Cuban units hampers both sedimentary provenance and palinspastic reconstructions, resulting in Caribbean models that tend to oversimplify the formation of Cuba and correlate the Jurassic strata to various regions such as North America, South America, the Yucatán margin, or the conceptual Caribeana domain. Using laser ablation–inductively coupled plasma–mass spectrometry (LA-ICP-MS), we conducted a detailed detrital zircon (DZ) U-Pb provenance study of these Cuban siliciclastic strata that provides critical insights into understanding the formation of Cuba during the Early Jurassic rifting stages of Pangea. Results from 19 San Cayetano Formation samples show a dominant Oaxaquia (ca. 1 Ga) and Chiapas batholith (ca. 250 Ma) signature, while six Constancia samples display variable ca. 1 Ga and ca. 250 Ma grains. The Lower Cretaceous Polier Formation and the Paleocene Moncada Formation also display the same ca. 1 Ga and ca. 250 Ma signatures. After comparing these Cuban data with data from other regional DZ studies, we propose that that the San Cayetano and Constancia formations are correlative to the Todos Santos Formation located in the southwestern Yucatán region of Mexico. These Cuban units were predominantly deposited adjacent to the Chiapas batholith during the Early Jurassic in northwest–southeast-trending basins created by Pangean rifting. They were eventually sheared during eastward migration of the Caribbean plate and transported northward until they collided with the North American continent in the Paleogene. This DZ study provides new constraints on the tectonic provenance of western and central Cuba and improves plate tectonic reconstructions of the Caribbean.

INTRODUCTION

The early Mesozoic tectonic history of the Caribbean region during the equatorial breakup of western Pangea and development of the proto-Caribbean is widely debated, leading to significantly different Caribbean plate models. These models largely fall into two broad categories in which the Caribbean either formed in situ (e.g., James, 2006, 2009) or originated in the Pacific realm and was translated at least 1000 km eastward to its current position (e.g., Ross and Scotese, 1988; Draper and Barros, 1994; Meschede and Frisch, 1998; Pindell and Kennan, 2009; Boschman et al., 2014, to name a few). Cuba, the largest island of the Caribbean region, holds a critical position within the Caribbean tectonic framework, yet its Mesozoic-era geologic and tectonic evolution remain poorly understood. This limited understanding is partially attributed to the enigmatic origins of Jurassic syn-rift siliciclastic strata in western and central Cuba, which could provide valuable insights into the tectonic evolution of the early Caribbean region during the fragmentation of the supercontinent Pangea (Pardo, 2009; Iturralde-Vinent et al., 2016).

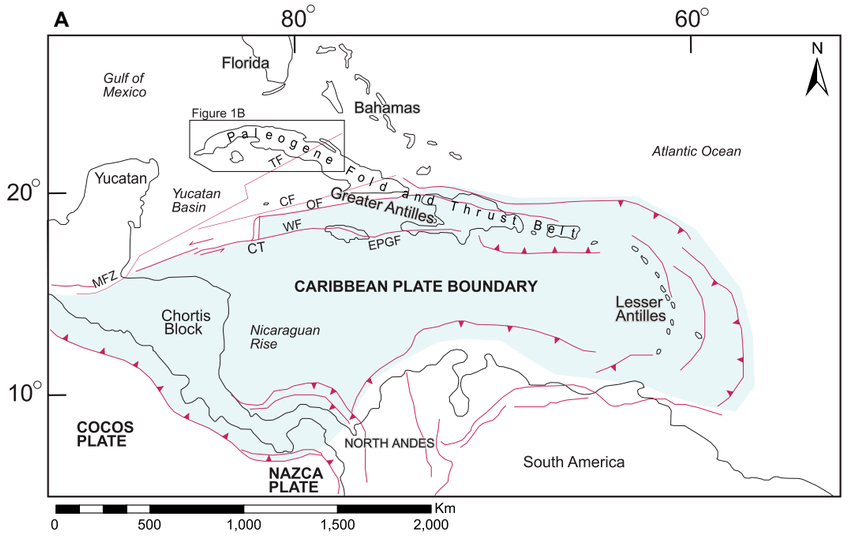
While previous studies attempted to determine the tectonic affinity and provenance of these Cuban Jurassic units through various methods, they were either inconclusive or arrived at conflicting conclusions. For example, paleocurrent directions observed in the western Cuban San Cayetano Formation indicate sourcing from late Paleozoic orogenic regions of southern Mexico, Guatemala, and Honduras (Haczewski, 1976). Ammonites in the same western Cuban strata were used to argue for deposition along the northeastern margin of the Yucatán peninsula (Pszczółkowski, 1999). Stratigraphic similarities between the San Cayetano Formation in western Cuba and the San Pedro de Gallo terrane in central Mexico were used to suggest that these two geological units shared a depositional environment during the Jurassic period (Pessagno et al., 1999). In stark contrast, Alva-Valdivia et al. (2001) implied no major latitudinal displacement in western Cuba since the Jurassic period based on paleomagnetic and rock-magnetic data. Modern isotopic provenance studies employing limited detrital zircon (DZ)-dated samples (18; Rojas-Agramonte et al., 2008) and muscovite-dated samples (67; Hutson etal., 1998) were also unable to resolve the source of the San Cayetano Formation; the authors attributed the formation to either South or North America. These previous geologic studies were used for regional Mesozoic paleogeographic reconstructions that generally place the depocenter of the San Cayetano Formation either in northern South America or along the Yucatán margin (García-Casco et al., 2008; Pindell and Kennan, 2009; Pindell et al., 2021). In central Cuba, stratigraphic and faunal successions in the Jurassic Constancia Formation were used to suggest a depositional origin near its current location along the southeastern Gulf of Mexico or the Florida, USA-Bahamas margin and to argue against a correlation with the San Cayetano Formation (see Pszczółkowski and Myczyński, 2003). Currently, no geochronologic or isotopic data are available for the Constancia Formation that could provide critical insights into the provenance and paleogeographic origins of these central Cuban Mesozoic strata.

These conflicting results and the lack of comprehensive geochronologic data highlight the challenges of determining the precise source and tectonic history of the Jurassic strata in Cuba. Our DZ U-Pb study of the Jurassic strata of western and central Cuba provides the additional data needed to develop a more comprehensive understanding of the provenance and geological evolution of these formations. In addition to the DZ U-Pb data from the Jurassic San Cayetano and Constancia formations, this study also provides DZ U-Pb data from the Lower Cretaceous Polier

Daniel F. Stockli https://orcid.org/0000-0001-7652-2129
†pascanio@utexas.edu

GSA Bulletin;
published online 17 January 2024

https://doi.org/10.1130/B37114.1.



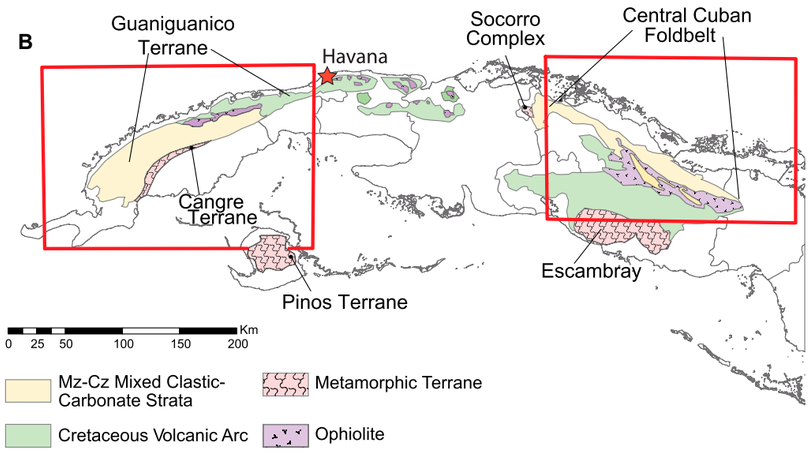


Figure 1. (A) Present-day tectonic and geographic map of the Caribbean region highlighting plate boundary configurations after Boschman et al. (2014). Abbreviations of tectonic features: CF—Cauto Fault; CT—Cayman Trough; EPGF—Enriquillo–Plantain Garden Fault; MFZ—Motagua Fault Zone; OF—Oriente Fault; TF—La Trocha Fault; WF—Walton Fault. (B) Generalized geologic map of western and central Cuba showing major lithotectonic units after Iturralde-Vinent (1998).

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Structural Geology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jsg

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

ARTICLE INFO

Keywords:
Gulf of Mexico
Lamprea fold-belt
Salina del Bravo
Area-depth strain
Shale detachment
Salt tectonics

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 up-dip 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.

1. Introduction

The offshore Burgos Basin in the Mexican sector of the western Gulf of Mexico Basin displays an extensive system of sediment-load-driven normal faults that are detached along deeply-rooted, autochthonous Jurassic salt bodies and a series of overpressured Cenozoic shale horizons (Le Roy et al., 2008; CNH, 2015; Hudec et al., 2019) (Fig. 1). These seaward-dipping, normal detachments connect down-dip into a contractional domain that forms a deep-water, passive-margin fold-belt that includes: 1) an Eocene detached series of thrusts known as the Kama fold-belt, 2) a series of allochthonous Jurassic salt bodies known as the Salina del Bravo that overlie the Perido fold-belt; and 3) a shallow, Eocene shale-detached fold-belt located east of the Salina del Bravo called the Lamprea fold-belt (CNH, 2015; Vazquez-Garcia, 2018; Hudec et al., 2019) (Fig. 2).

Recent exploration wells have helped extend the Perdido fold-belt plays from US waters into the Mexican Salina del Bravo salt province. However, most wells to date are located in the northern part of the Mexican margin, while the southernmost extension of the western Gulf of Mexico salt province remains much less explored (CNH, 2015; Smith et al., 2019). The southernmost edge of the middle Jurassic salt province is less well defined. This southern limit of middle Jurassic salt transitions into the compressional systems of the Lamprea and Mexican Ridges fold-belts, which both are detached on Paleogene shale and overlie late Jurassic oceanic crust (Kenning and Mann, 2020) (Fig. 1). The name Lamprea fold-belt was previously used by Salomón-Mora (2013) and Vazquez-Garcia (2018) to refer to shallow, shale-detached folds forming the peripheral deformation front of the southeastern Salina del Bravo and is distinguished from the neighboring Perdido and Mexican Ridges fold-belts to the north and south, respectively. The Lamprea belt is also called the 'Peripheric fold-belt' by CNH (2015) and the 'Outer fold-and-thrust belt' by Bilotti et al. (2019b).

Significant differences in structural style are apparent between the Jurassic-detached Salina del Bravo and Perdido fold-belt to the Eocene-detached Lamprea fold-belt (Fig. 2). This study aims to improve the understanding of whether deeper, salt-related detachments interact with and control the development of the shallower, Paleogene, shale-detached Lamprea fold-belt along the deep-water deformation front

* Corresponding author.
E-mail addresses: jjkenning@uh.edu (J.J. Kenning), pmann@uh.edu (P. Mann).

https://doi.org/10.1016/j.jsg.2021.104458
Received 8 June 2021; Received in revised form 16 September 2021; Accepted 21 September 2021
Available online 29 September 2021
0191-8141/© 2021 Elsevier Ltd. All rights reserved.

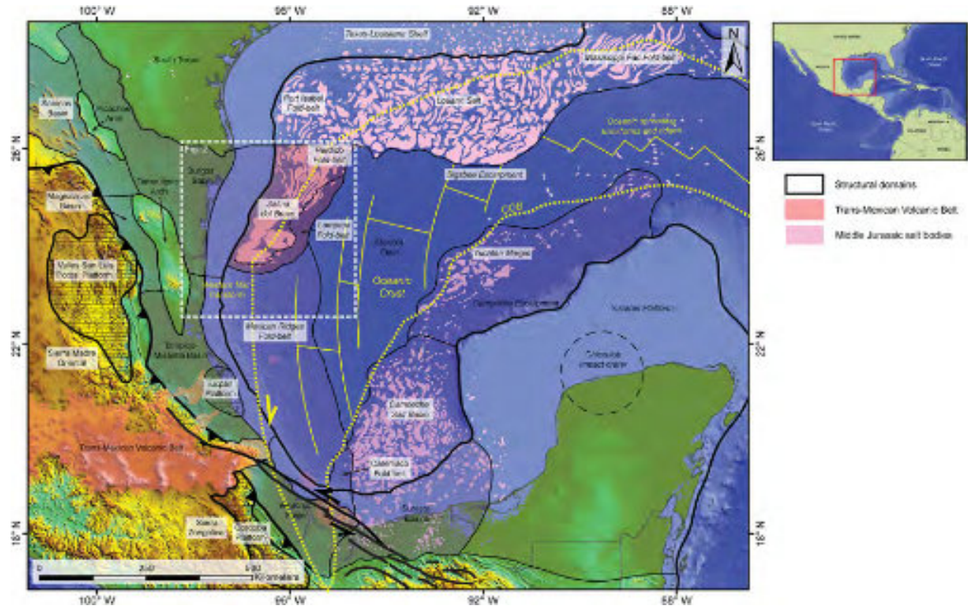
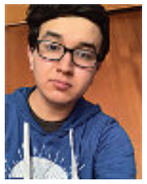


Fig. 1. - Regional map of the western and central Gulf of Mexico showing the offshore location of the Salina del Bravo fold-belt and its adjacent and distal Lamprea fold-belt. The transform-dominated, continental margin of western Gulf of Mexico exhibits a steep and narrow continental slope with part 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).

Compilación mensual de publicaciones y tesis por **Diego G. Miguel Vázquez,** Colaborador de la Revista.



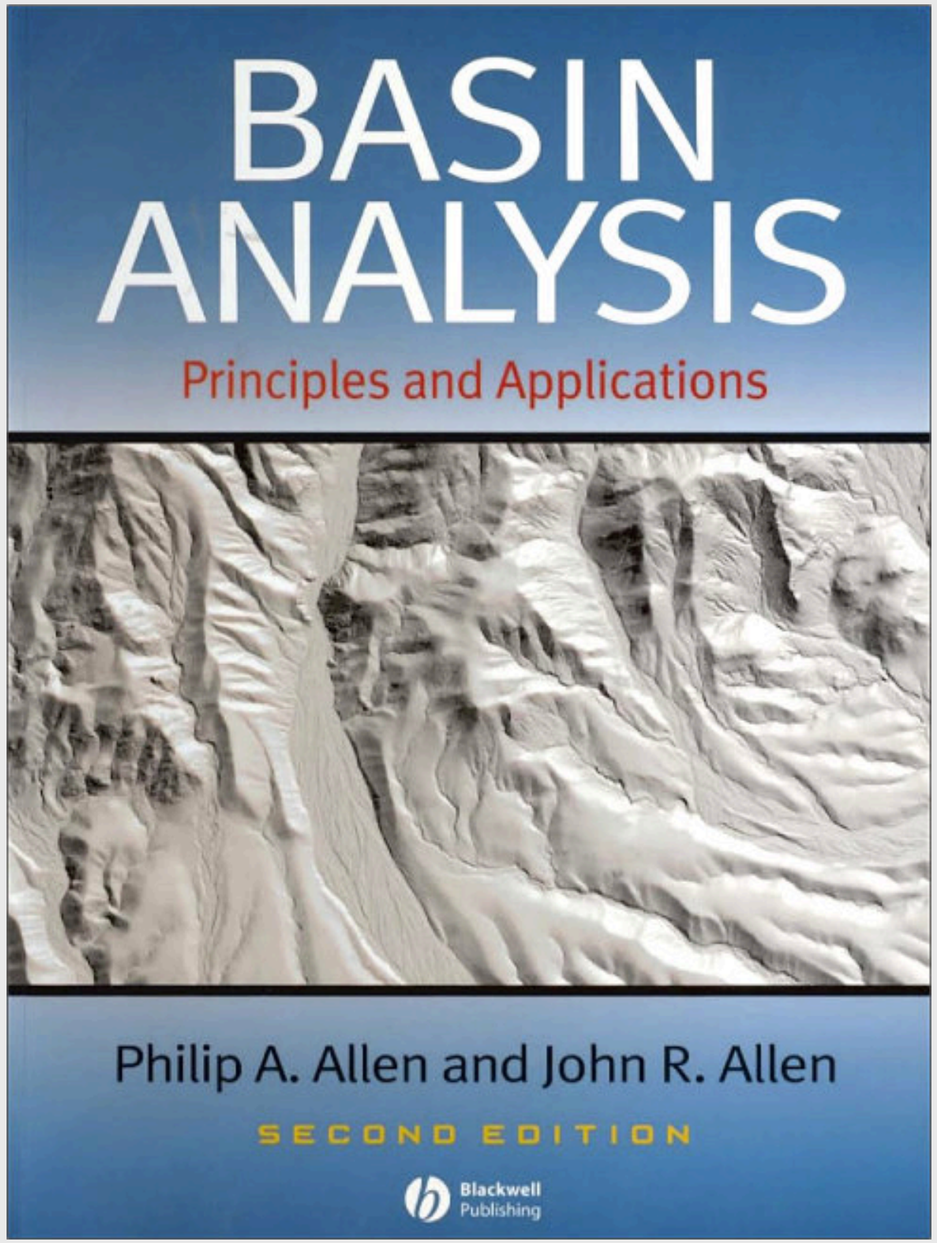
Miguel Vazquez Diego Gabriel, es estudiante de la carrera de Ingeniería Geológica en la Universidad Nacional Autónoma de México (Facultad de Ingeniera), sus principales areas de interés a lo largo de la carrera han sido la tectónica, geoquímica y mineralogía. Es un entusiasta de la divulgación científica,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

diegogabriel807@gmail.com

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

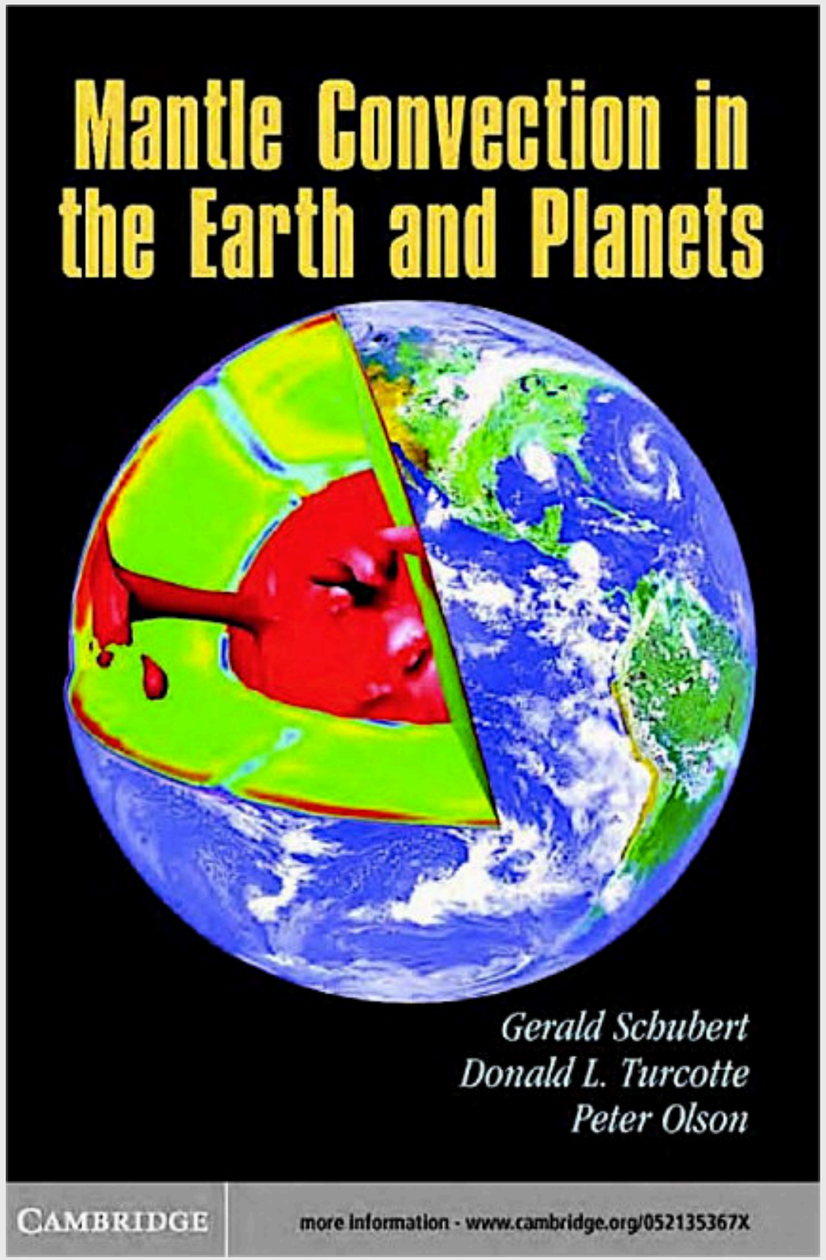
El libro recomendado

https://drive.google.com/file/d/1ZZoAj2nD2dRyf9STvD3MGhagwJV6fvtK/view?usp=drivesdk



El libro recomendado

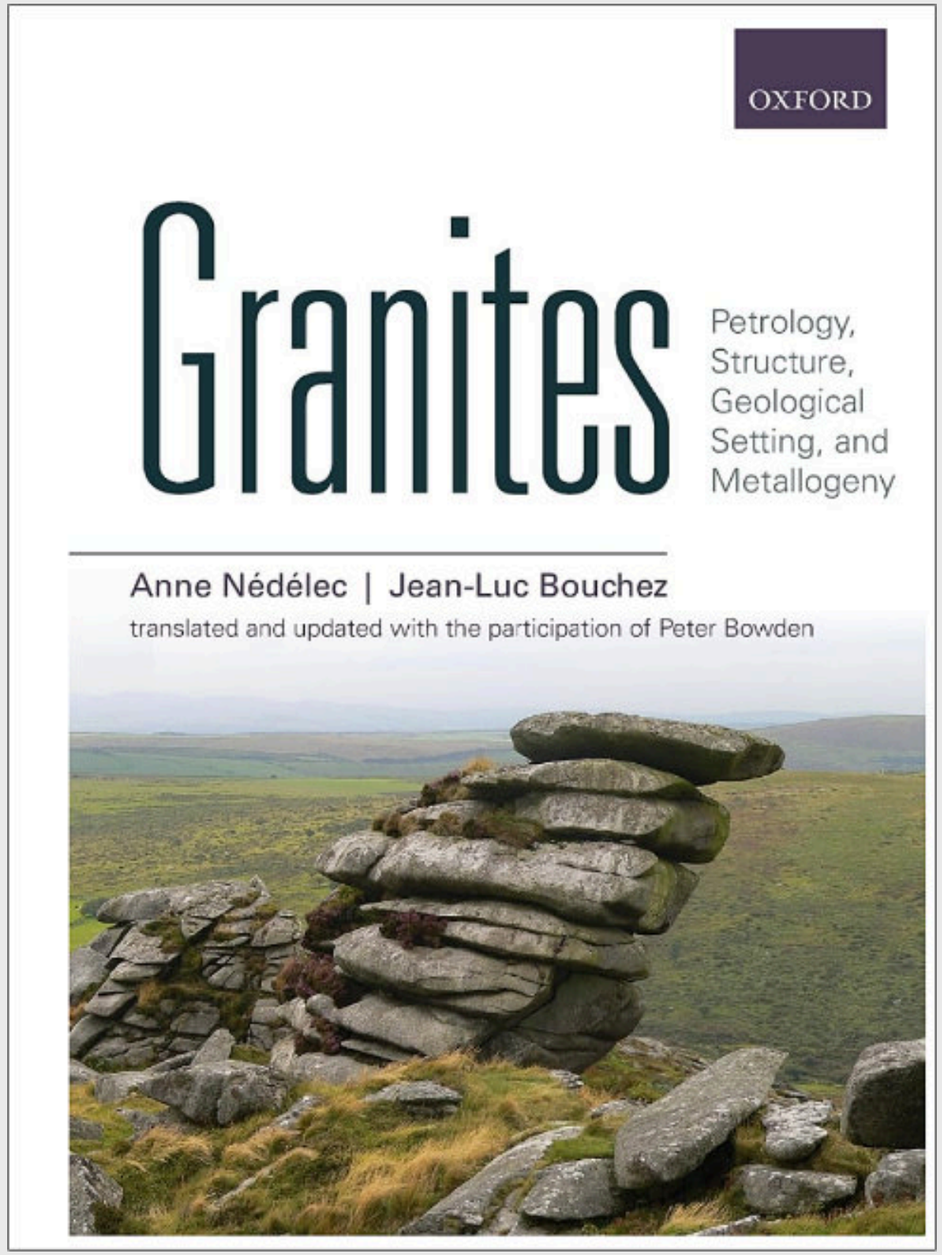
https://drive.google.com/file/d/12mjE2uj6K3Z5I1Lzpnp0tRxTXggMFtQg/view?usp=drivesdk



MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

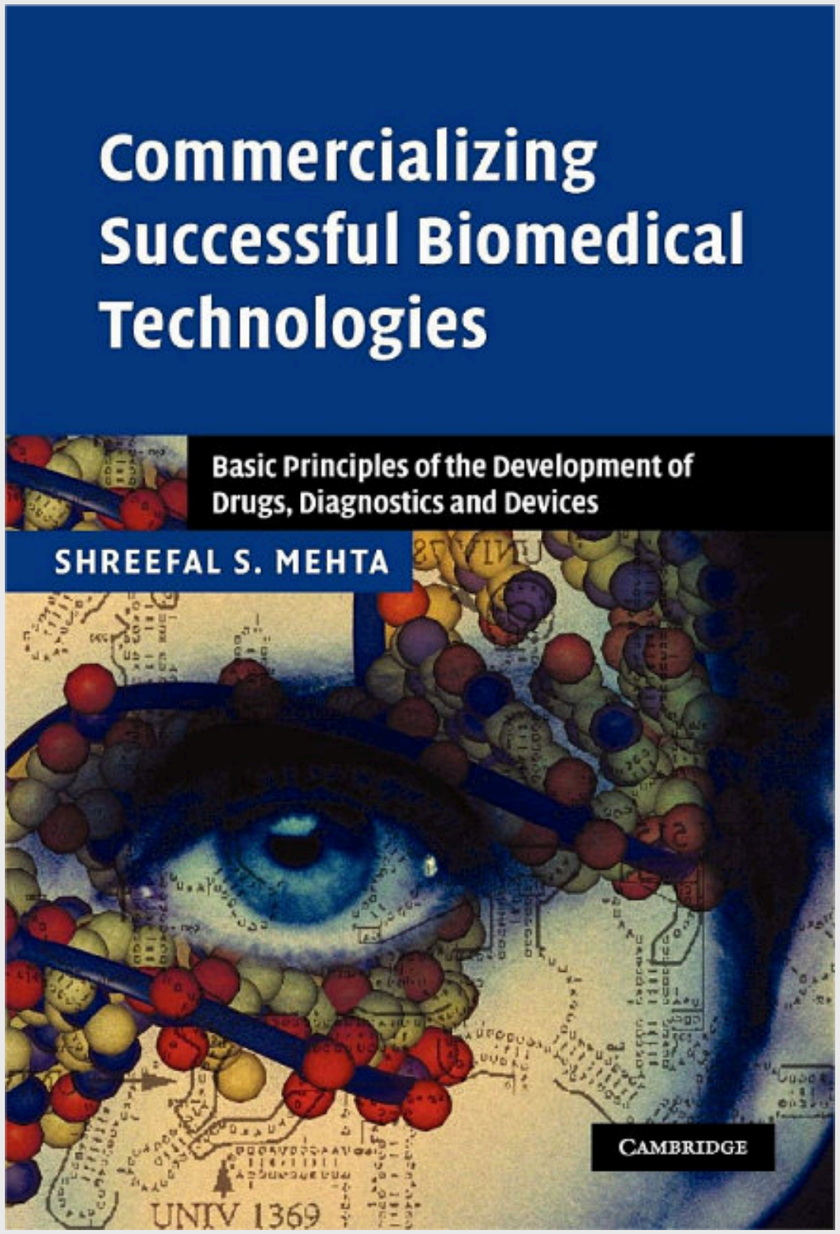
El libro recomendado

https://academic.oup.com/book/27088



El libro recomendado

https://www.cambridge.org/core/books/gravity-and-magnetic-exploration/20BABB4AAFCDF8DC7F4CB36B8359D482



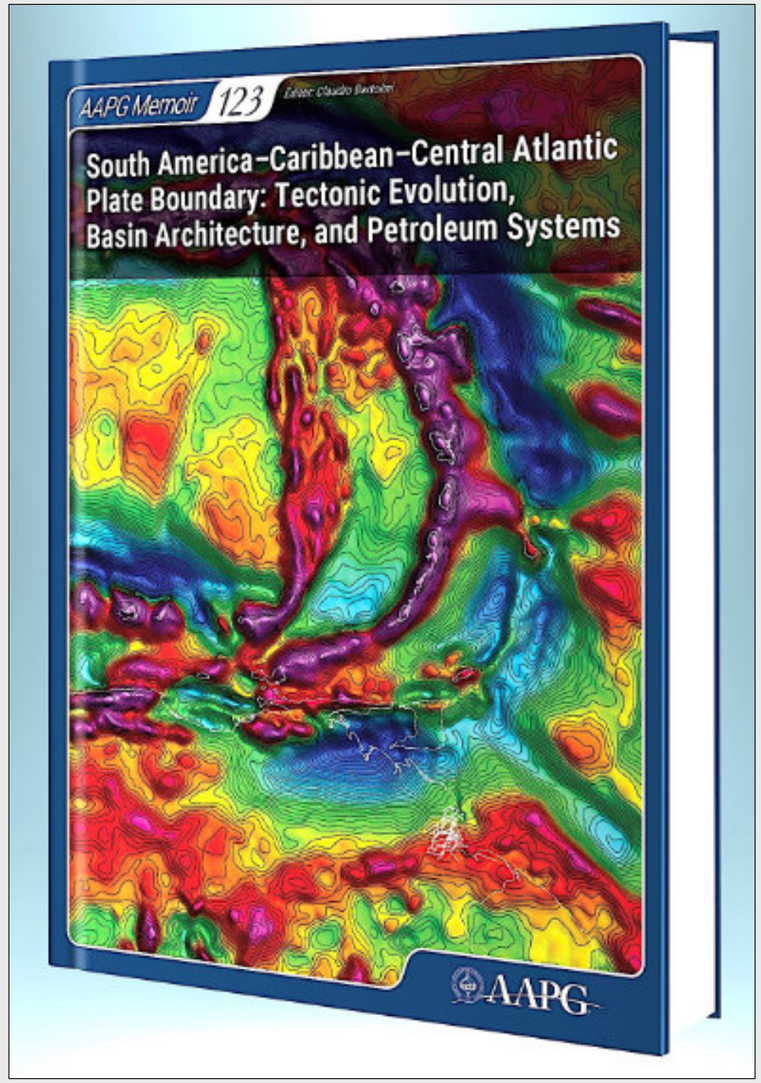
MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

El libro recomendado

https://store.aapg.org/detail.aspx?id=1317

Table of Contents

https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2024/01/Claudio-Bartolini-AAPG-Memoir-123.pdf



TEMAS DE INTERÉS

Sostenibilidad en la transición energética. Materiales para la construcción.

Natalia Silva Cruz
Colaboradora de la Revista

Existe una industria que no siempre recibe la notoriedad que debería por sus emisiones de gases de efecto invernadero asociados, hablo de la construcción, que es nuestro tema de conversación para hoy. Es común relacionar las edificaciones con las emisiones generadas una vez son utilizadas para el fin que fueron construidas, se habla de los sistemas de climatización, del calentamiento de agua, de la electricidad consumida por la iluminación y otros procesos operativos, entre otros, pero es indispensable incluir en la ecuación los gases que son liberados para la obtención y el manejo de los materiales involucrados durante todas las fases. La Agencia Internacional de la Energía estima que esta industria aporta un 39% del total de las emisiones de CO_2 mundiales, y que el 11% son generadas solamente durante la etapa de manufactura de materiales comunes de construcción, como el cemento, el acero, el aluminio y el vidrio[1], hoy hablaremos sobre ellos y lo que podemos hacer para mitigar su impacto en el cambio climático, porque a diferencia de otras industrias, aquí tenemos más de una opción que puede ser implementada para minimizarlo.

Cemento – Concreto. Este material es por lo menos, bastante peculiar, por un lado, es uno de los tejidos principales de nuestras ciudades y nuestro estilo de vida depende completamente de él, pero, por otro lado, es uno de los mayores agresores contra el ambiente, se estima que la obtención del cemento es responsable del 7% de todas las emisiones de CO_2 a nivel global[2]. Aunque el cemento no tiene un volumen mayoritario en el concreto (aproximadamente 10 – 15%), sí genera el 90% de sus emisiones (el concreto produce un total de 8%)[3]. Ahora, ¿de dónde sale tanto CO_2? El cemento tiene la particularidad de que puede producir gases en más de una manera: 1) mediante el uso de combustibles fósiles durante la minería de la piedra caliza, 2) durante la reacción química que se presenta cuando se calienta la caliza para obtener cal ($CaCO_3 + \Delta \rightarrow CaO + CO_2$), y 3) a través de la quema de combustibles fósiles, principalmente carbón mineral, para alcanzar las temperaturas requeridas para dar lugar a la reacción, de unos 1.300 °C.

¿Qué podemos hacer? En este momento, y esto es algo que ya se está practicando con éxito, es realizar la captura del CO_2 que libera la caliza durante su calcinado para luego ser almacenado (solo este proceso emite unas dos terceras partes del total asociado al cemento), en paralelo, también está en uso el reciclaje selectivo de desechos de construcción, la disminución del contenido de cemento en el concreto mientras sea técnicamente factible, y la utilización de fuentes energéticas más limpias para el proceso de calentamiento. Actualmente se evalúan materiales y técnicas alternativas al cemento, como algunas cenizas y otros materiales ricos en calcio, también se recomienda el uso de muros que puedan ser reutilizados en nuevas edificaciones, incentivar las renovaciones frente a las demoliciones, integrar otros materiales como ladrillos o fibras de origen natural y reevaluar los requerimientos de cemento para reducir la utilización en exceso, entre otros. Sin embargo, la capacidad de producción de materiales nuevos limita enormemente su utilización, además se deben tener en cuenta los tiempos de construcción de las instalaciones necesarias, por lo que no es algo que se vea como una opción en el corto plazo.

Acero. Es el segundo material más utilizado en la construcción, después del concreto. Tiene emisiones totales que representan poco más del 7% a nivel global[1], que se presentan principalmente durante el proceso de reducción del hierro en altos hornos, que se alimentan con coque para poder alcanzar las temperaturas de fundición requeridas de cerca de 1.200 °C. Aunque se quisiera reutilizar el acero, y, de hecho, es algo que ya se hace en la actualidad, la demanda excede ampliamente el volumen disponible, de manera que, a pesar de que siempre se recomienda reciclar materiales, se necesitan otras opciones.

¿Qué podemos hacer? Como mencionamos previamente, la etapa en la que se libera la mayoría de los gases a la atmósfera corresponde a la fundición de los minerales mena de hierro, así, lo que más se recomienda es reemplazarlo por otras técnicas, como la reducción directa. Ésta consiste en poner en contacto los minerales de hierro (como la hematita) después de un proceso de granulado, con un gas reductor que contiene hidrógeno o carbón, que remueve el oxígeno, permitiendo la obtención de hierro libre. También se recomienda evaluar si es técnicamente viable reemplazar el acero por plantas como bambú u otras maderas en algunos escenarios puntuales, así como el uso de energías limpias para los demás procesos.

Aluminio. La producción de este elemento genera el 3% del total de CO_2 industrial de manera directa[4], y a pesar de que esa cifra está disminuyendo, no lo hace a la tasa necesaria para alcanzar los objetivos planteados en el Escenario Emisiones Netas Cero (*NZE Scenario*), que es la guía de la Agencia Internacional de la Energía para limitar el calentamiento global en 1.5 °C por encima de los niveles preindustriales. Actualmente se recicla con éxito mediante técnicas que exigen bastante menos energía que refinándolo a partir de la bauxita, pero igual que para el caso del acero, la demanda supera la disponibilidad.

¿Qué podemos hacer? Afortunadamente, la energía necesaria es principalmente eléctrica, así que mientras se amplíe el uso de fuentes sostenibles, como la hidroeléctrica, es posible disminuir ampliamente la emisión de gases de efecto invernadero.

Vidrio. El vidrio es uno de nuestros principales aliados para controlar el cambio climático porque nos permite capturar el calor proveniente del sol, nos ayuda a controlar el clima al interior de las edificaciones, nos permite filtrar longitudes de onda nocivas, además, es esencial en las aplicaciones fototérmicas y fotovoltaicas, entre muchas otras. No obstante, su producción requiere el uso de hornos que alcancen temperaturas entre 800 °C y 1.700 °C, dependiendo de la variedad, aquí es cuando se generan la mayoría de los gases de efecto invernadero asociados.

¿Qué podemos hacer? Incrementar el uso de energías renovables y aumentar la eficiencia en los procesos, aprovechar el calor residual, promover el estudio de nuevas aplicaciones del vidrio como la captura y utilización posterior del calor para reducir las emisiones de procesos como la climatización y calentamiento de agua.

La reducción de gases de efecto invernadero emitidos por los materiales de construcción es posible, es una de las pocas industrias donde no solamente tenemos opciones, sino que además pueden ser implementadas desde ahora. Según las tecnologías disponibles, es indiscutible que la limitación más significativa es la financiación, si no se crean facilidades con tasas de interés atractivas, subsidios o beneficios tributarios, el costo final recaerá sobre el consumidor final. La crisis mundial de vivienda nos ha demostrado que el ciudadano de a pie no cuenta con los recursos suficientes para cubrir los sobrecostos que significaría implementar nuevos procedimientos de obtención de materiales, de manera que es urgente que los gobiernos fomenten mecanismos de financiación que hagan estos materiales más asequibles, partiendo del hecho de que todos ganamos si logramos reducir las emisiones de CO_2 y controlar el cambio climático.

---

[1]IEA. Global Status Report for Buildings and Construction 2019. https://iea.blob.core.windows.net/assets/3da9daf9-ef75-4a37-b3da-a09224e299dc/2019_Global_Status_Report_for_Buildings_and_Construction.pdf
[2]UN Environment Programme (2023). Building materials and the climate: constructing a new future. Nairobi
[3]Skinner B. and Lalit R. Concrete: 8% of global emissions and rising. Which innovations can achieve net zero by 2050? (2023). https://energypost.eu/concrete-8-of-global-emissions-and-rising-which-innovations-can-achieve-net-zero-by-2050/
[4]IEA. Aluminium, 2023. https://www.iea.org/energy-system/industry/aluminium

Natalia Silva (MSc): Geóloga de la Universidad Industrial de Santander, Postgrado en Petroleum Geoscience de la Heriot-Watt University y Máster en Energías Renovables y Sostenibilidad Energética de la Universitat de Barcelona. Su carrera empieza en la minería de esmeraldas en el Cinturón Esmeraldífero Oriental de Colombia y en proyectos mineros de Níquel colombianos. Tiene más de 10 años de experiencia en el sector de hidrocarburos en desarrollo de yacimientos y geomodelado en cuencas petrolíferas de los Estados Unidos, Colombia, Ecuador y Brasil. Más recientemente, su carrera está enfocada en el aprovechamiento de energías renovables, principalmente de energía solar, ha elaborado proyectos de generación eléctrica a partir de instalaciones fotovoltaicas en Europa y los Estados Unidos.

ensilvacruz@gmail.com

Lo más eterno que existe es el planeta Tierra

Enrique Gustavo Espinosa Arámburu
Servicio Geológico Mexicano

El planeta Tierra es sorprendente, es una masa libre, flotante en el espacio y el universo, que no es ni más grande, ni más frio, ni más caliente, ni más veloz que otros; es materia móvil en la que comenzaron a ocurrir una cadena de prodigios casi mágicos desde hace unos 4.6 mil millones de años, lo que es, por supuesto, más tiempo de lo que cualquier mente humana puede imaginarse.

Tuvieron que sucederse cientos de fenómenos en perpetuo orden para que, finalmente, hace unos cuantos años, comenzara a desarrollarse la especie humana, sobreviviendo a muchas otras que florecieron, evolucionaron e incluso desaparecieron de la faz de la Tierra, comenzado por seres vivos elementales, tan elementales que es todo un suceso que no se extinguieran justo al inicio de su vida.

Por eso el planeta Tierra es lo más cercano al concepto de la eternidad –divina o no–, porque, aunque es difícil de creer, para que la humanidad se instalara y prosperara en la muy delgada corteza de este deslumbrante astro, tuvieron que pasar millones de años y miríadas de cambios, de acomodos y reacomodos para que el milagro se diera: el clima perfecto, la atmósfera protectora, mares y esbeltos continentes en perfecto equilibrio, válvulas de alivio, movimientos perenes, eternos…

La humanidad habita el planeta desde hace unos 100 mil años (1,000 siglos apenas). Evoluciona, se sabe inteligente, domina, se expande, invade y toma posesión plena de todo territorio que le conviene. Convive con otras especies, se comunica, se moviliza, se protege; pelea, siempre pelea. Se maravilla con los paisajes, aunque los hiere y los transforma. Está consciente de que ocurren cambios, de que siempre han ocurrido cambios que seguirán pasando por aquello de la inmutable eternidad. Ninguna otra especie intenta siquiera modificar nada de su entorno, vive con la naturaleza, pelea por instinto, ama y mata por instinto… no por gusto, ni por envidia, ni mucho menos por codicia o por fronteras. Comer, sobrevivir y reproducirse guían las intuiciones de las especies.

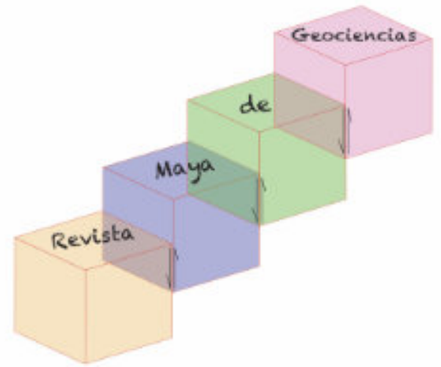
Conocer el planeta y entenderlo no es tarea fácil; es como comprender el cuerpo humano: todos los días lo vemos, lo estudiamos y lo tratamos, aunque siempre la tarea médica está evolucionando. Así sucede con la Tierra que pisamos, con las montañas, las selvas, los desiertos y los mares: ahí están, ahí han estado siempre, y sin embargo hay quienes se dedican, investigan y se apasionan con su estudio: ¿cómo llegaron hasta la posición que ocupan? ¿por qué el planeta *vive* y reacciona? ¿Por qué el clima cambia? ¿Por qué tiembla la corteza? ¿Por qué los volcanes rugen, amenazantes? ¿Por qué hay minerales y petróleo? ¿Por qué todo? Por un milagro de eternidad y de vida que no cesa, aunque fascine y atemorice al mismo tiempo.

La vida (humana) seguramente se acabará antes que el planeta. Estamos de paso, viviendo el portento, aunque la Tierra persistirá, y no es que esté profetizado, sino que así fue, es y será. Por eso es necesario entender al planeta, cuidarlo, mimarlo… velar por la atmósfera, un espacio también milagroso que permite la vida, uno que armoniza con los ciclos de la tierra: las aguas, los mares, los vientos, las fuerzas intrínsecas que sacuden a los continentes con poderío inaudito, infinito, que no se podrá detener nunca, por eso, el más señalado acto de soberbia es justamente no percibir y descuidar deliberadamente el planeta en el que vivimos.

De modo que es buena noticia que existan quienes se apasionan por comprenderlo, por escucharlo: los geólogos, los geofísicos. ¡Qué bueno que nacieron las ciencias geológicas! porque se entienden con la Tierra y tal parece que sólo a ellos les comparte sus secretos perdurables. Hablemos pues, de Geología, de vida, de planeta, de eternidad…

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

Enrique Gustavo Espinosa Arámburu. Es Ingeniero Geólogo egresado en 1974 de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Inició su carrera laboral en 1972 para GEOCA, S.A., en donde aprendió de connotados profesionales como el Dr. Alejandro Calderón, el Ing. Gustavo Díaz-Velarde, el Ing. Leovigildo Cepeda y el inolvidable Ing. Benjamín Márquez. Pasó a ser geólogo de exploración en Industrial Minera México y en GYMSA, Estudios de Planeación Regional, en donde participó en proyectos de geología minera y petrolera bajo la dirección del Dr. Jorge de la Torre Robles. En San Luis Potosí fundó las empresas GOES, Servicios Geológicos y Minexplora para ocuparse como consultor y explorador de yacimientos minerales. En 2008 se incorpora al Servicio Geológico Mexicano como Subdirector de Geología, Subdirector de Recursos Minerales y, actualmente, como Director de Investigación y Desarrollo. Tiene un diplomado en teledetección por la Universidad de las Américas y ha publicado diversos artículos relacionados con poco más de 50 años de experiencia en geología aplicada a la exploración de los yacimientos minerales. Fue maestro de asignaturas en la UNAM y en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Reside en la ciudad de Pachuca, Hidalgo y su especialidad es la interpretación geológica y verificación en campo de imágenes de satélite. Es lector apasionado de la historia universal y de México.



Nuestra mayor gloria no está en no haber caído nunca, sino en levantarnos cada vez que caemos.

Oliver Goldsmith

Riesgos geológicos – Movimientos de ladera

Saul Ricardez

Colaborador de la Revista

La evolución de las laderas ha sido afectada por el proceso de remoción de masa asociados a su dinámica intrínseca aun desde antes de la aparición de los seres humanos. Si bien se ha demostrado que algunas actividades antropogénicas han acelerado la ocurrencia de ese tipo de procesos, tambien es importante recordar que la superficie terrestre no es estática y, por ende, la interacción endógena y exógena ofrece una amplia gama de diversidad en el paisaje. Los procesos de remoción en masa se presentan sobre la superficie terrestre en una extensa variedad de escalas, lugares, condiciones geológicas, geomorfológicas, climáticas e inclusive sociales (Alcántara, I & Murillo, F, 2008).

Existen diversas definiciones y clasificaciones de los movimientos de ladera de acuerdo con Lario, J & Bardají, T. (septiembre, 2017) un movimiento de ladera (*mass movement, slope movement, slope failure*) es un proceso por el cual un material terrestre se desplaza por la acción de la gravedad, sin intervención directa del agua, hielo o viento. Este proceso se llega a confundir con el proceso de deslizamiento (*slide, landslide*) utilizándose como sinónimo, la diferencia radica en que el deslizamiento es un tipo especifico de movimiento en masa o de ladera, caracterizado por superficies de rotura bien definidas y frecuentemente profundas y escasa deformación en los materiales movilizados.

Los movimientos de ladera son parte del proceso continuo entre intemperismo y transporte fluvial. Los movimientos de ladera causan regolito (*Regolith,* una pérdida de partículas de suelo y roca sin mezclar que cubren la superficie de la Tierra) y las rocas se mueven siguiendo la pendiente donde tarde o temprano la perdida de partículas utilizara algún otro agente de transporte y eventualmente llegara a un lugar de depósito como una cuenca oceánica o un lago.

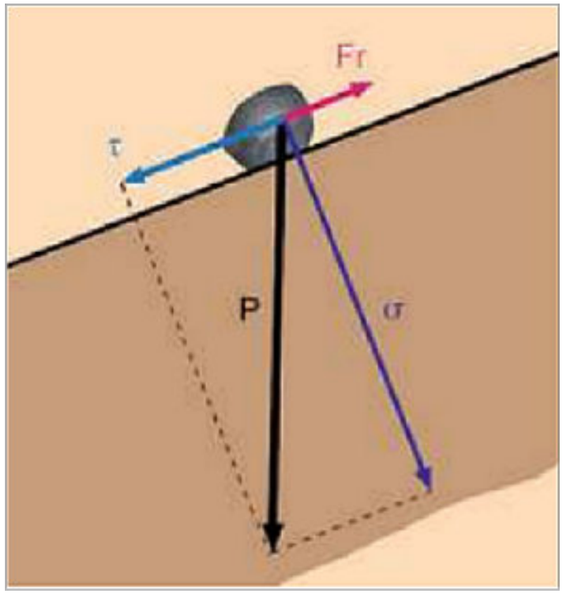


Figura 1: Fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras en un movimiento de ladera. Claves: Fuerza de corte (τ); Resistencia al corte (Res): Res= Fr + c (siendo Fr la fuerza de rozamiento y c la cohesión del propio material); Fuerza de rozamiento: Fr= s μ (siendo s la componente del peso del material normal a la superficie y μ el coeficiente de rozamiento); coeficiente de rozamiento: μ= tg f (siendo phi el ángulo de rozamiento interno). Tomado de: Lario, J & Bardají, T. (septiembre, 2017).

En la mecánica de los movimientos de laderas existe dos tipos de fuerzas que tiene un rol importante, las fuerzas desestabilizadoras y las estabilizadoras. Las fuerzas desestabilizadoras o fuerza de corte (τ), de un material terrestre es la componente tangencial a la superficie de ruptura del peso del material. La superficie de ruptura suele ser paralela a la superficie sobre la que se encuentra el material (ladera) o a un plano de debilidad del propio material (planos de estratificación, fracturas, etc). Por otro lado, las fuerzas estabilizadoras o las fuerzas de resistencia al corte (Res) de un material terrestre, es la relación de las fuerzas de rozamiento (Fτ) entre el material y la superficie de rotura, y de cohesión (c) de las partículas de la propia materia.

Lario, J & Bardají, T. (septiembre, 2017) mencionan que se puede expresar la estabilidad de un material con el factor de seguridad (Fs). Este factor se define como la relación entre la resistencia al corte y la fuerza de corte (Fs = Res/τ). A partir de esta relación existen tres condiciones de estabilidad.

- Fs > 1: La resistencia al corte es mayor que la fuerza de corte (Res > τ).
- Fs = 1: La resistencia al corte es igual a la fuerza de corte (Res = τ)
- Fs < 1: La resistencia al corte es menor que la fuerza de corte (Res < τ), siendo el material inestable.

Tipos de movimientos de ladera

La clasificación de los movimientos de ladera tiene distintas formas de clasificarse, las aquí expuestas son las más conocidas de acuerdo con Lario, J & Bardají, T. (septiembre, 2017) y se basan en su mayoría en el mecanismo de propagación y en el tipo de material involucrado.

Reptación (*Creep*)

Es un movimiento extremadamente lento que puede afectar tanto al material suelto que recubre las laderas como a rocas poco resistentes. Las tasas de movimiento oscilan entre mm/año y cm/año, con esas tazas de movimiento solo son observables a largo plazo mediante la presencia de árboles curvados o en estructuras de edad conocida. La delimitación cartográfica de este proceso no es evidente, la reptación suele generar un transporte neto de sedimento en las laderas, originando depósitos característicos en la base de estas. Se pueden distinguir tres tipos de reptación.

1) Reptación superficial: Movimiento del material suelto que recubre las laderas por los procesos de ascenso (perpendicular a la ladera) y descenso (vertical) de las partículas relacionadas con variaciones de temperatura y humedad muy frecuentemente con ciclos de hielo y deshielo.
2) Reptación continua: Se trata de la deformación del material que forma las laderas originadas por la actuación continuada de la componente del peso de los materiales tangencial a la ladera. Estas deformaciones pueden superar los 10 metros de profundidad.
3) Terracitas; En la superficie de algunas laderas se reconocen pequeños escalones, perpendiculares a la linea de máxima pendiente y con una continuidad lateral variable.

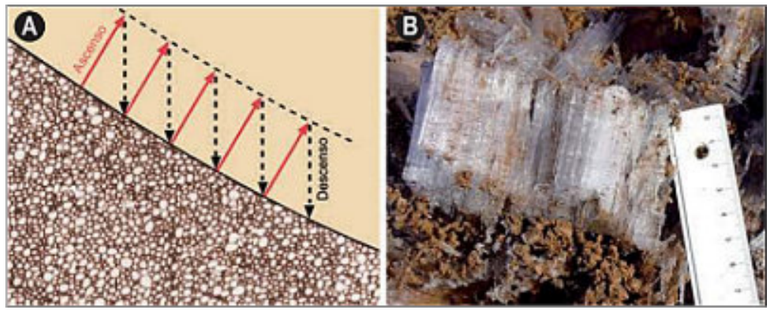


Figura 2: A) Proceso de reptación superficial. B) Expansión de fibras de hielo Tomado de: Lario, J & Bardají, T. (septiembre, 2017).

Figura 3: Capas curvadas por efecto de procesos de reptación continúa Tomado de: Lario, J & Bardají, T. (septiembre, 2017).

Flujos de Tierra

Son movimientos en masa con deformación plastia de material suelto en el que predominan la fracción fina (tamaño arcilla, limo, y arena) y no necesariamente muy húmedo. Ocurre en laderas de inclinación moderada.

Tambien existe flujos de fango, son flujos de tierra muy rápidos con predominio de tamaños de arcilla y limo y con más de un 20% de agua, en muchos casos los movimientos en masa (deslizamiento, flujos de tierra, avalanchas etc.) al ir progresando, van incorporando mucha agua hasta pasar a un flujo de fango.

Flujo de derrubios (*debris flow*) son movimientos frecuentemente rápidos de material suelto, en el que predomina la fracción gruesa (tamaño arena, grava y bloque) y con mas de un 20% de agua. Los depósitos de flujos de derrubios se distinguen por su granulometría, sus canales de desagüe y *leeves*. Se localizan frecuentemente en conos de deyección y abanicos aluviales a la salida de barrancos.

Los lahares por otro lado hacen referencia a un flujo que afecta a materiales piroclásticos de origen volcánico localizados sobre laderas con cierta pendiente caracterizados por su inestabilidad, su origen puede deberse a la propia actividad volcánica a procesos que pueden estar relacionados o no con la actividad volcánica (fusión de nieve y hielo o rotura de cráteres ocupados por lagos).

Slide-flows

Entre los movimientos complejos más frecuentes destacan aquellos que generan depósitos con poca deformación en cabecera (deslizamiento) y alta deformación en el pie (flujo) (Figura 4A). Esta tipología de movimientos en masa es muy frecuente en movimientos de grandes dimensiones; a favor de una fractura circular superior se produce un deslizamiento, usualmente rotacional, y la parte inferior de la masa deslizada se deforma llegando a fluir, al menos parcialmente.

Avalanchas

La mayoría de las avalanchas comienzan como grandes desprendimientos a partir de una serie de rotura profunda de grandes masas de fragmentos de roca, derrubios o tierra no necesariamente muy húmedas, continúan como flujos acelerados por el choque entre partículas, llegando a alcanzar velocidades superiores a los 50 m/s y finalizan en un depósito con una gran fragmentación heterométrica y en ocasiones una granoselección inversa que ocupa un área superior al área fuente (Lario, J & Bardají, T. 2017).

Figura 4: A) Movimiento complejo *(Slide-flow)* en el puerto de Somiedo, Asturias. Claves: linea discontinua: cicatriz; a: superficie de rotura; linea continua: límite del depósito; b: deposito. B) avalancha de rocas en el desfiladero de la Hermida, Cantabria. La principal característica de estos movimientos son su elevada velocidad y la mayor extensión que presenta el área de depósito respecto al área fuente. Tomado de: Lario, J & Bardají, T. (septiembre, 2017).

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

Consecuencias de los movimientos de ladera.

A escala mundial los datos reflejan que hay un aumento de acontecimientos catastróficos causados por fenómenos naturales y un aumento de los daños causados por ellos. Los paises menos desarrollados son los más afectados atendiendo al número de víctimas, pero por los más desarrollados registran mayores pérdidas económicas porque el valor de los bienes expuestos al riesgo es mayor (Copons, R & Tallada, A. 2009).

Los movimientos de ladera ocurren como resultado de cambios, tanto repentinos como graduales, en composición, estructura condiciones hidrológicas o vegetación de una ladera. Esto puede ser debido a terremotos, explosiones, maquinaria, tráfico y truenos; cambios en el contenido en agua provocados por lluvias torrenciales y elevaciones del nivel freático, removilización de materiales del soporte lateral de laderas por erosión, construcción, excavaciones, deforestación o por perdida de vegetación estabilizadora. Los movimientos en masa pueden causar importantes daños a nivel social y económico. Afectando a personas, edificaciones, núcleos de población, vías de comunicación, conducción de abastecimiento, causes y embalses. Los costes económicos directos son los que provienen de la reparación de los desperfectos causados por los movimientos de laderas y de las soluciones para reducir el riesgo. Las pérdidas económicas indirectas se imputan a la población afectada por los movimientos de ladera. La disminución de la actividad económica a causa de la interrupción de las comunicaciones o del transporte energético, la disminución del precio de una propiedad afectada por un deslizamiento y la afectación ecológica son perdidas indirectas de alto coste y de difícil valoración (Copons, R & Tallada, A. 2009). De acuerdo con la Lario, J & Bardají, T. (septiembre, 2017) se estima que los movimientos en masa tienen un impacto económico de cientos de millones de euros anuales en todo el mundo. En España se calcula que este impacto fue de 36 millones de euros (en costes de estabilización).

¿Cómo reducir el riesgo?

Como se ha tratado en números anteriores de la revista maya de geociencias en las notas de interés de “Riesgo geológicos” el concepto de riesgo geológico solo se aplica cuando los procesos geológicos actúan sobe la población humana poniendo en peligro sus vidas y sus bienes. Para reducir el riesgo es necesario implementar acciones de prevención, predicción y protección, las acciones de prevención pueden ser básicamente de dos tipos: las cartográficas y las educativas. Las cartográficas se basan en la delimitación y caracterización de zonas propensas a tener movimientos de laderas, siendo útiles en la planeación y gestión de tipo y uso de suelos. Por otro lado, las acciones divulgativas y educativas sobre la autoprotección a nivel escolar y poblacional son utilices ya que es la estrategia más económica y eficaz a largo plazo.

En el caso concreto de México los procesos de remoción de masas son poco estudiados la falta de información se convierte en un obstáculo para la correcta evaluación de su impacto y prevención, existe la necesidad de crear conocimientos básicos y aplicados relacionados con este tipo de fenómenos, un ejemplo podría ser la creación de base de datos estandarizadas para ser el punto de partida para el analizar la distribución espacio-temporal de los movimientos y entender las interrelaciones de los factores que determinan sus mecanismos y complejidad.

Bibliografía

Lario, J & Bardají, T. (septiembre, 2017). Introducción a los riesgos geológicos. Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Alcántara, I & Murillo, F, (febrero 21, 2008). Proceso de remoción en masa en México: hacia una propuesta de elaboración de un inventario nacional. *Investigaciones geográficas del Instituto de Geografía*, UNAM. 66, 47 - 64 URL: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112008000200004

Copons, R & Tallada, A. (2009). Movimientos de ladera. *Enseñanza de las ciencias de la tierra.*

17, 284 – 294 URL: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3309150

Ogura, A & Soares, E. (enero, 5). PROCESOS Y RIESGOS GEOLOGICOS. *ResearchGate.* URL: https://www.researchgate.net/publication/242162084_PROCESOS_Y_RIESGOS_GEOLOGICOS

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

GALACTIC AND SOLAR SYSTEM INFLUENCE OVER SEDIMENTARY CYCLES, CLIMATE AND EXTINCTIONS ON EARTH

JHONNY E. CASAS[1]
[1] Escuela de Petróleo, Universidad Central de Venezuela

The path our Solar System through our Galaxy may affect the number of asteroids and comets buzzing around Earth. Scientists have uncovered possible evidence of this galactic crossing in an apparent periodic cycle, matching the rate of large crater impacts. For example, the frequency of impact fluctuations closely matches the rate at which the Sun (and the whole Solar System) passes through the plane of the galactic disk (Rampino, 2015). Asteroids and comets impact events appear to have played a significant role in shaping Earth's geological history, creating not only craters, possibly causing climate changes and mass extinctions.

Many of these bodies come from the Oort cloud (sometimes called the Öpik–Oort cloud), a spherical envelope of icy bodies in the outer edge of our Solar System, and also from the Kuiper belt, a circumstellar disc in the outer Solar System, extending from the orbit of Neptune (bodies from Oort and Kuiper are collectively referred to as trans-Neptunian objects). Because the Oort cloud and the Kuiper belt are so distant from the Sun, they are highly susceptible to perturbations from gravitational forces coming from other bodies. During the last few decades, there have been indications that the frequency of impacts (comets and asteroids) on Earth oscillates on a timescale of about 25-35 million years, which suggests a connection between the dynamics of our Galaxy, the outer edge of the Solar System and the asteroid/comet shower strikes on Earth (Rampino & Stothers, 1984; Rampino, 2015; Rampino & Caldeira, 2015).

IMPACTS AND MASS EXTINCTIONS

The 25–35 Myr cycle reported in mass extinctions and terrestrial impact cratering have been attributed by many authors to the Sun's vertical oscillations through the Galactic disc, estimated to take around 32 (up to 42) Myr between Galactic plane crossings. Near the Galactic mid-plane, the Solar system's trans-Neptunian bodies could be perturbed by Galactic tidal forces, and possibly a thin dark matter (DM) disc (Randall & Reece, 2014), which might produce periodic asteroid/comet showers and possibly extinctions on the Earth (Rampino, 2015). Passage of the Earth through especially dense clumps of DM, composed of Weakly Interacting Massive Particles (WIMPs) in the Galactic plane, could also lead to heating in the core of the planet through capture and subsequent annihilation of DM particles. This new source of periodic heating in the Earth's interior might also explain a similar ~30 Myr periodicity observed in terrestrial geologic activity, which may also be involved in extinctions. These results suggest that cycles of geological and biological evolution on the Earth may be partly controlled by the rhythms of Galactic dynamics, through the motion of our Solar System (Figure 1) across and around the Milky Way (Rampino, 2015). These perturbations could lead to periodic asteroid/comet showers in the inner Solar system, and hence impacts, and associated mass extinctions on the Earth.

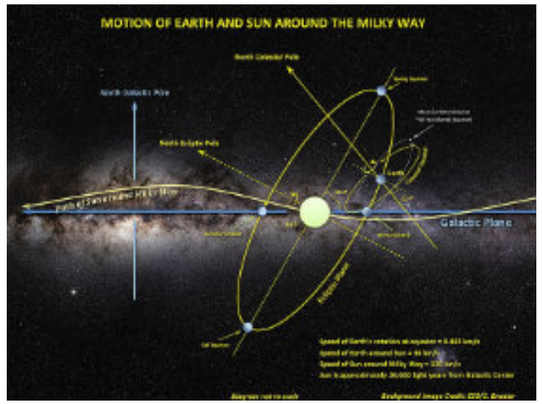


Figure 1. Motion of Earth and Sun across and around the Milky Way.

In Figure 2, Rampino (2015) shows that, over the last 260 Myr, 9 of the 13 proposed impact pulses correlate closely with times of mass extinction (including the Late Paleocene warming event), 7 impact pulses correlate with flood-basalt eruptions, 7 flood basalts correlate with mass extinctions and 6 impact pulses can be correlated with estimated times of the Solar system crossing the Galactic plane in the last 260 Myr.

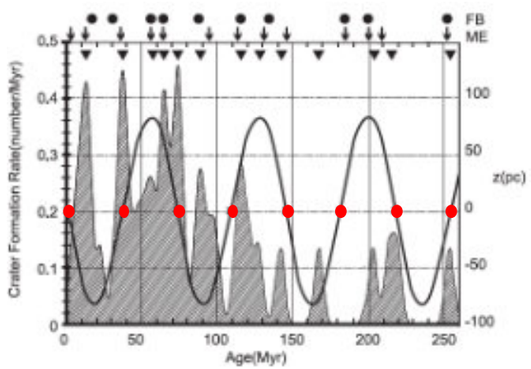


Figure 2. Comparison of ages of impact craters, mass extinctions and floodbasalt eruptions, and relation to estimated times of Galactic plane crossings. Probability distribution of crater-formation rate (hatched) (number of impacts perMyr), for the last 260 Myr. The probability distribution has been smoothed by a Gaussian function. Peaks in the cratering record are indicated by dark inverted triangles; times of mass extinctions (ME); times of continental flood basalts (FB, dots), all plotted against the Sun's estimated height above and below the Galactic plane (Z, in parsec), with a half cycle of ~35 Myr. Estimated times of Galactic plane crossings of the Solar system are marked by red dots. Figure modified from Rampino (2015).

Rampino & Caldeira (1993) extended the study to include the timing of 77 major terrestrial geologic events of various kinds during the past 250 Myr (continental flood basalts, tectonic episodes, extinctions, changes in sea-floor spreading, sea level and oceanic anoxic events) and reported a persistent cycle of ~25–35 Myr in the occurrence of these events (Rampino, 2015; Rampino & Caldeira, 2015). The hypothesis involves a gravitational influence of the dense galactic disk on the Solar System (Randall & Reece 2014). The Sun orbits around the Galactic center, however, this trajectory is not a perfect circle.

The Solar System moves up and down, crossing the plane of the Milky Way approximately every 32 million years, which coincides with the presumed periodicity of the impact variations (Rampino, 2015). Because the density drops off in the vertical direction, there is a gravitational gradient, or tide, that may perturb the orbits of celestial bodies in the Oort cloud, causing some of those bodies to fly into the inner Solar System, attracted by the Sun, raising the chances of collision with Earth. However, as Rampino (2015) pointed out, the problem with this idea is that the estimated galactic tide is too weak to cause many waves in the Oort cloud, so an additional piece of the puzzle has to be included. Randall & Reece (2014) focus on this hypothesis and suggest that the galactic tide could be made stronger crossing a thin disk of dark matter. Here, these researchers consider a specific model, in which our Galaxy hosts a dark disk with a thickness of 30 light years, consistent with astronomical data on our Galaxy.

ENCOUNTERS OF THE SOLAR SYSTEM WITH DARK MATTER

Since a disc of DM is expected to be strongly concentrated in the plane of the Galaxy (Randall & Reece 2014), encounters of Earth with dense clumps of DM should preferentially occur when the Solar system is crossing the Galaxy's mid-plane, and hence would give those encounters an underlying periodicity calculated by those authors of ~32 Myr. Collar (1996) op cit., by

Rampino (2015) further suggested that in passing through a dense clump of DM, increased doses of radiation, such as alpha particles, fast neutrons and heavy ions could also contribute directly to major extinctions in our planet.

Larson & Olson (1991) suggested that mantle plumes control magnetic reversal frequency by a sequence of events, and concluded that episodic heating of the Earth's core might affect the functioning of the geodynamo and thus the frequency of geomagnetic reversals. Excess heat near the core-mantle boundary might trigger upwelling plumes of mantle material that could rise to the surface in possibly as short as a few million years, depending on mantle viscosity. These plumes would perturb mantle convection, create volcanic hotspots, rift apart continents and possibly leading to pulses of tectonic unrest, changes in direction and rate of sea-floor spreading, and associated changes in volcanism, sea level and of course climate. Thus, large meteorite and cometary impacts may well increase the amount of volcanism from already active mantle plumes (Abbott & Isley, 2001), and periodic encounters of the Earth with dense clumps of DM particles may also partially explain the episodic nature of terrestrial volcanism, geomagnetism and plate tectonics (Rampino, 2015). Geologic events that have been thought of as independent occurrences might have common roots, and might be partly related galactic forces.

THE GALACTIC CYCLE OF EXTINCTION

But global extinction and geological events not only have been linked with galactic events such as galactic plane oscillations as we discussed previously. Some intriguing data point out also to spiral arm crossings. Svensmark (2006) and Gillman & Erenler (2008) identified three time zones of high geological activity which relate to the timings of the passage of the Solar System through the spiral arms of our Milky Way (Perseus, Carina-Sagittarius, Crux-Scutum and Cygnus-Norma). These zones are shown in Figure 3 to include a significantly large proportion of high extinction periods. Global mass extinction and geological events occurs at predicted midpoints and end crossing of the spiral arms. The repetition of extinction events at the same points in different spiral arm crossings suggests a common underlying galactic cause of mass extinctions, through galactic effects on geological processes. The mean difference between successive values in the sequences was 175.96 Myr, which is interpreted as the time to move from a point in one galactic arm to the same point in the next arm. With a total time of 703.8 Myr to pass through the four arms and inter-arm gaps of the whole Milky Way (Gillman & Erenler, 2008).

The same authors mapped the major extinction events to the position of the arms (Figure 3). Three high extinction events and associated geological periods (end-Ordovician 444 Myr, end-Permian 251 Myr and end-Cretaceous 65.5 Myr) are placed approximately at the midpoints of the last three arms (Carina-Sagittarius, Crux-Scutum and Cygnus-Norma) crossed by the Solar System. The remaining three mass extinction events originally identified by Raup & Sepkoski (1982) occur at later positions after passing through the Perseus, Cygnus-Norma and Crux-Scutum arms (start of the Cambrian, Late Devonian and Late Triassic, respectively). In conclusion, a coherent pattern of mass extinction emerges from these studies, with the galactic forces as the possible causal mechanism (Gillman & Erenler, 2008). These results accounts not only for past events but may act as a predictor of future extinctions.

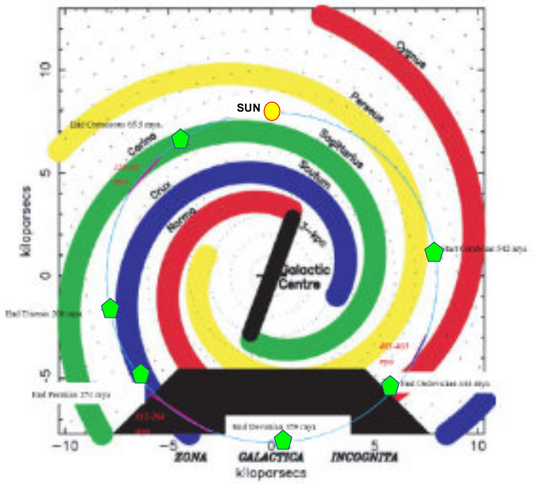


Fig. 3. Cycle of high extinction events in a four-spiral arm model of the Milky Way Galaxy. The current position of the Sun is indicated with an approximately circular orbit shown by the light blue circle (yellow dot). The positions of the six extinctions (green pentagon) are determined from a cycle of 703.8 Myr (175.96 x 4), as the time to pass through all four arms. Figure modified from Gillman & Erenler (2008).

THE SOLAR SYSTEM INFLUENCE ON THE SEDIMENTARY RECORD

Concerning our backyard (the Solar System), very interesting studies have been developed during the last two decades about the relationship between sedimentary cycles on earth and the influence of different planets of the solar system. To a first approximation, the orbital planes of the planets are slowly deformed by the gravitational forces of the other celestial bodies in our Solar System, in a quasiperiodic way, that can be decomposed into a series of secular fundamental frequencies, representing roughly each planet's contribution to the deformation of the orbits (Olsen et al, 2019).

Years ago, Olsen (1986) and Olsen & Kent (1999) described long periods Milankovitch cycles from the Late Triassic and Early Jurassic of eastern North America, and this observed cyclicity, using refined Fourier analysis techniques, was related by those authors, with long term behavior of planets within our solar system. The same authors studied more than 7,000 meters of core rock with a 30% stratigraphic redundancy to produce a 4,600 meters' composite section of continuous cores from a continental sedimentary environment (lacustrine to fluvial), of Late Triassic-Early Jurassic (200-227 Myr), located in the Newark Rift Basin, North America (Figure 4).

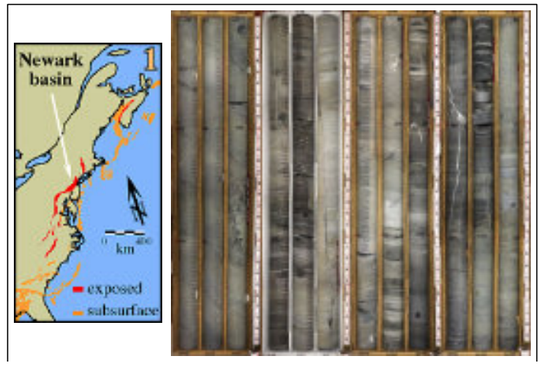


Figure 4. Location of the Newark Basin and example of an extracted core interpreted as lake sediments, spanning about 40,000 years (modified from Callier, 2019)

The stratigraphic study defined a very clear cyclicity, that can be characterized by facies classification or depth ranks, as a measure of lake depths, based on a classification of water-depth-related sedimentary facies suitable for statistical analysis. The cyclicity is also evident in the color of the strata which reflects redox conditions of the sediments and other physical lithological characteristics.

The fundamental lithofacies variation is called the Van Houten cycle, which is recognized on a stratigraphic scale of 3 to 6 m in the cores (Figure 5). This cycle was confirmed by Olsen (1986) and Olsen & Kent (1996) to correspond to lake level variations (due to climate) at a precessional periodicity of 20 kyr, close to today's 21 kyr average period because of recession of the Moon (Kent et al, 2017).

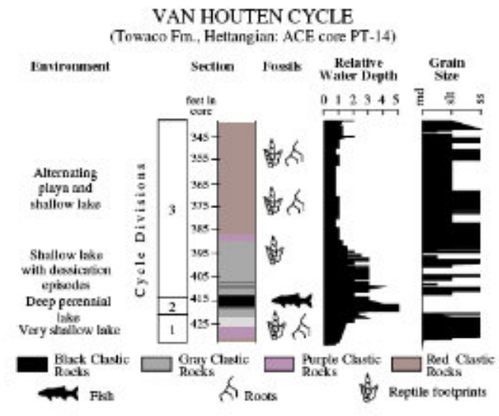


Figure 5. Example of the fundamental Van Houten cycle based on core PT-14 in New Jersey (Kent et al, 2017).

Olsen & Kent (1999) and Kent et al (2017, 2018), using different proxies for water depth estimation and hence climate, sedimentary structures and sediment colors, calibrate the sedimentary sections with radiometric data, stablishing highly significant periods of climatic precession modulation mainly at 1,75 Myr, 1,0 Myr, 700 kyr and 405 kyr.

In a more recent study published in the Proceedings of the National Academy of Science, Olsen et al (2019) argue that astronomical cycles of the planets definitely can be measured in sedimentary rock from our planet. Cores extracted from the subsurface, covering thousands of meters and spanning millions of years, contain traces of the influence of other planets gravity, allowing scientists to estimate the historical positions of planets hundreds of millions of years ago. Today we know that a sedimentary section may contain the record of past climates, and those climates were influenced by celestial movements called Milankovitch cycles. The Earth's rotation around its axis, and the

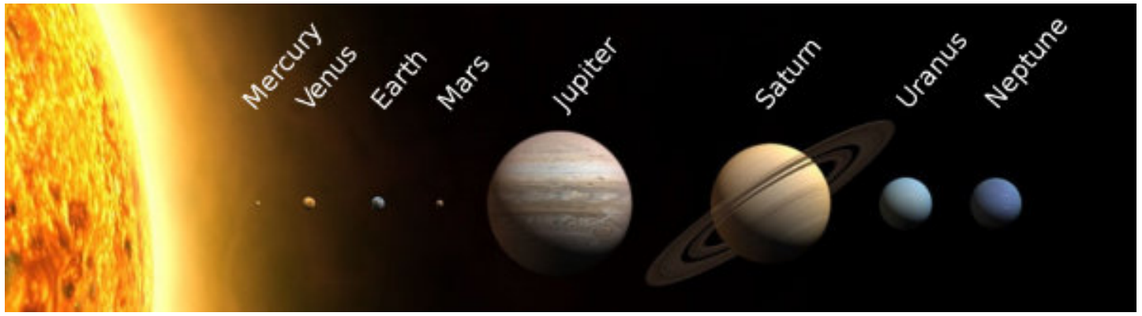
revolution around the Sun, evolve over time due to gravitational interactions with other planets in the solar system, which influence Earth's trajectory around the Sun, including the shape of its elliptical path (eccentricity), as well as the tilt (obliquity) and wobbling (precession) of our planet axis.

Olsen (1986), Olsen & Kent (1999) and Kent et al (2018) discovered that for example, the long cycle of 1,75 Myr was a period orbital cycle caused by the interactions between Mars and Earth. Their analysis also revealed that the 405 kyr cycle in celestial mechanics was caused by the interaction of our planet with Jupiter and Venus.

In Olsen et al (2019) the authors also include the analysis of other geological expressions (natural radioactivity, rock density and sonic velocity) of these cycles in the same basin. Geophysical measurements of the core holes point out that synthetic seismic traces generated from borehole data exhibit the same big cyclicity. When tied deep exploratory borehole records from the Newark Rift Basin, to seismic, both the Jupiter–Venus 405 kyr and Mars–Earth 1,75 Myr cycles can be clearly seen as the most coherent components of the seismic profiles across the basin.

CONCLUSIONS

Understanding the relationships of the Earth rock record with celestial bodies, with the solar system itself, and with our Milky Way galaxy, is going to become a crucial element to understand what controlled the long-term sedimentary record, the long-term climate, even the extinctions; and all these ideas, will contribute to enhance the understanding of the Earth's climate system and has the potential to help us better understand past, present and future. climate behavior, and even potential hazards from our own galaxy.



REFERENCES

Abbott, D. & Isley, A. (2002) Extraterrestrial influences on mantle plume activity. Earth and Planetary Science Letters 205 pp. 53-62 https://www.researchgate.net/publication/263365150_Extraterrestrial_influences_on_mantle_plume_activity
Gillman, M. & Erenler, H. (2008) The galactic cycle of extinction International Journal of Astrobiology 7 (1): pp. 17–26
Kent, D., Olsen, P. & Muttoni (2017) Astrochronostratigraphy polarity time scale (APTS) for the Late Triassic and Early Jurassic from continental sediments and correlation with standard marine stages. Earth-Science Reviews 166, p. 153-180.
Kent, D., Olsen, P., Rasmussen, C., Lepre, C., Mundil, R., Irmis, R., Gehrels, G., Giesler, D., Geissman, J. & Parker, W. (2018). Empirical evidence for stability of the 405-kiloyear Jupiter-Venus eccentricity cycle over hundreds of millions of years. PNAS, Vol 15, No 24, pp. 6153-6158. https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1800891115
Larson, R. & Olson, P. (1991). Mantle plumes control magnetic reversal frequency. Earth and Planetary Science Letters. Vol. 107, Issues 3–4, pp. 437-447
Olsen, P. (1986). A 40-million-year Lake record of Early Mesozoic Orbital Climatic Forcing. SCIENCE Vol. 234, Pages 789-912 https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17758107/
Olsen P. & Kent, D (1999) Long period Milankovitch cycles from the Late Triassic and Early Jurassic of eastern North America and their implications for the calibration of the Early Mesozoic time-scale and long-term behavior of the planets. Phil. Trans. R. Soc. Lond. A. 357, pp. 1761-1786.
Olsen, P., Laskar, J., Kent, D., Kinney, S., Reynolds, D. Sha, J. & Whiteside, J. (2019) Mapping Solar System chaos with the Geological Orrey. PNAS, pp. 1-10 https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1813901116

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

Rampino, M. & Stothers, R. (1984). Terrestrial mass extinctions, cometary impacts and the Sun's motion perpendicular to the galactic plane. Nature Vol. 308, pp. 709-712 https://www.nature.com/articles/308709a0
Rampino, M. & Caldeira, K. (1993) Major episodes of geologic change: correlations, time structure and possible causes. Earth and Planetary Science Letters, 114 (1993) pp. 215-222
Rampino, M. (2015) Disc dark matter in the Galaxy and potential cycles of extraterrestrial impacts, mass extinctions and geological events. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 448, pp. 1816–1820 https://academic.oup.com/mnras/article/448/2/1816/1046525
Rampino, M. & Caldeira, K. (2015) Periodic impact cratering and extinction events over the last 260 million years. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 454, pp. 3480–3484
Randall. L. & Reece, M. (2014) Dark Matter as a Trigger for Periodic Comet Impacts. Physical Review Letters, 112, 161301-05 https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.112.161301
Raup, D.M. & Sepkoski, J.J. (1982). Mass extinctions in the marine fossil record. Science 215, pp. 1501–1503 https://www.science.org/doi/10.1126/science.215.4539.1501
Svensmark, H. (2006) Imprint of Galactic dynamics on Earth's climate. Astron. Nachr. / AN 327, No. 9, pp. 866 – 870

jcasas@geologist.com

Jhonny E. Casas es Ingeniero Geólogo graduado de la Universidad Central de Venezuela, y con una maestría en Sedimentología, obtenida en McMaster University, Canadá. Tiene 37 años de experiencia en geología de producción y exploración, modelos estratigráficos y secuenciales, caracterización de yacimientos y estudios integrados para diferentes cuencas en Canadá, Venezuela, Colombia, Bolivia, Ecuador and Perú.

Autor/Co-autor en 50 publicaciones para diferentes boletines y revistas técnicas, como: Bulletin of Canadian Petroleum Geology, Geophysics, The Leading Edge, Asociación Paleontológica Argentina, Paleontology, Journal of Petroleum Geology, y Caribbean Journal of Earth Sciences; incluyendo presentaciones en eventos técnicos: AAPG, SPE, CSPG-SEPM y Congresos Geológicos en Venezuela y Colombia, así como artículos históricos de exploración en la revista Explorer.

Profesor de Geología del Petróleo en la Universidad Central de Venezuela (1996-2004). Profesor de materias de postgrado tales como: Estratigrafía Secuencial, Modelos de Facies y Análogos de afloramiento para la caracterización de yacimientos (2003-2023), en la misma universidad. Mentor en 11 tesis de maestría. Representante regional para la International Association of Sedimentologist (2020-2026) y ExDirector de Educación en la American Association of Petroleum Geologists (AAPG) para la región de Latinoamérica y del Caribe (2021-2023).

La inundación invisible en las costas de México

Christian Felipe Narváez Montoya, Jürgen Mahlknecht, Juan Antonio Torres Martínez,

Abrahan Rafael Mora Polanco

Escuela de Ingeniería y Ciencias, Tecnológico de Monterrey

jurgen@tec.mx

Enfoque del artículo

En las costas del mundo los acuíferos sufren de un problema de contaminación conocido como intrusión salina, que es la mezcla no natural del agua dulce de los acuíferos y el agua del mar causado por la sobreexplotación. Este texto explora el estado de conocimiento de los acuíferos afectados por sobrexplotación e intrusión salina en las costas mexicanas. En general, las actividades humanas que han causado el deterioro de los acuíferos en el país son el crecimiento poblacional, la agricultura y el turismo.

Palabras claves: Agua subterránea**,** Intrusión salina**,** Contaminación**,** Sobrexplotación.

Cuando llueve el agua cae y se almacena en depósitos superficiales como ríos, lagos y lagunas; mientras que otra gran parte aporta al crecimiento de la vegetación y/o se evapora. El agua restante se infiltra entre la tierra hasta llegar y conformar depósitos de agua subterránea llamados acuíferos. Estos depósitos subterráneos han acumulado agua por millones de años a tal punto que hoy representan el 90% de la disponibilidad de agua dulce del planeta. Sin embargo, es muy difícil gestionar esta fuente, ya que al estar en el subsuelo no es fácil entender su comportamiento de flujo, como sí lo es en un rio. Un ejemplo de la importancia del agua subterránea es que el 95% de la población de ciudad de México confía en esta fuente para satisfacer sus necesidades. A nivel mundial, la mitad del agua para uso humano proviene de acuíferos y el 43% del agua usada en agricultura proviene de esta misma fuente. Este recurso es más relevante aún en zonas costeras, ya que hay poca disponibilidad de agua de ríos y lagos, se tienen climas áridos y semiáridos, y es donde se concentra el 70% de la población mundial (IGRAC, 2016).

Los acuíferos costeros presentan la característica diferenciadora de que el agua subterránea se conecta con el agua de mar. En un escenario sin intervención humana, el agua subterránea que proviene desde los valles y montañas (agua de recarga) transita muy lentamente a través de la porosidad de la rocas y sedimentos. El almacenamiento cambia de acuerdo con la cantidad de agua de recarga, y una porción del agua se descarga en el mar en la parte superior del litoral; mientras que, el agua salada del mar, que tiene mayor densidad que el agua dulce, genera una cuña hacia dentro del acuífero (Figura 1a). Los factores que gobiernan estos procesos de flujo, y a su vez el límite entre el agua dulce y el agua de mar, son entre otros: la geografía costera, la geología del acuífero, el tipo de clima, la variabilidad climática y la variación del nivel del mar. El aumento de la cuña salina hacia dentro del acuífero es conocido como **intrusión salina** y naturalmente sucede con un lento avance en un delicado equilibrio (Ferguson y Gleeson, 2012).

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

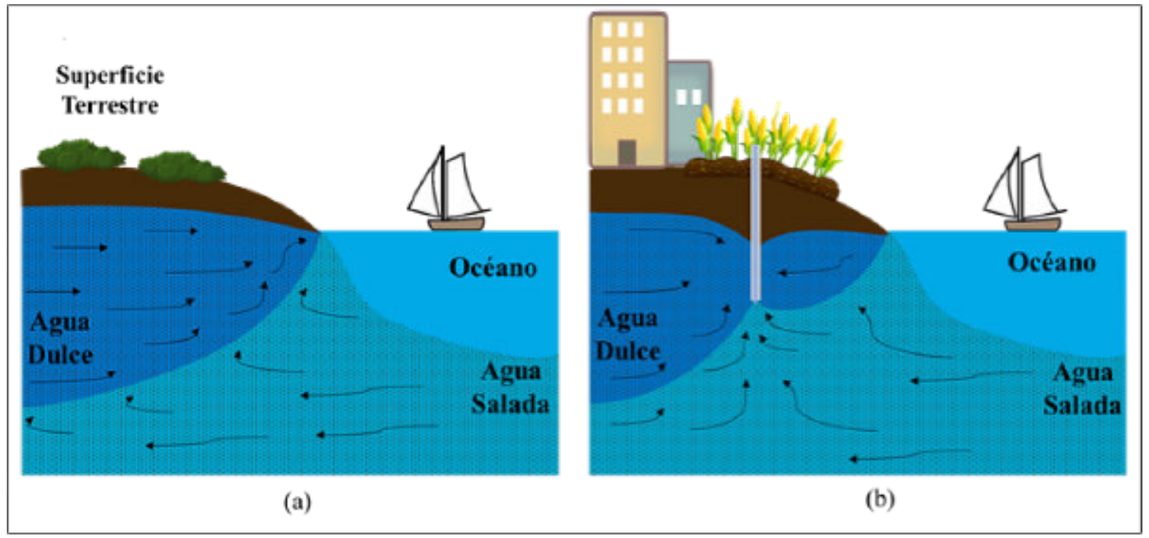


Figura 1. a) límite natural del agua dulce y agua de mar en un acuífero, b) límite alterado de la cuña salina a causa de la actividad humana.

Aunque es un proceso natural, la intrusión salina es asociada como una fuente de contaminación a causa de la actividad humana. En las zonas costeras, el agua subterránea es extraída para riego de campos agrícolas y para consumo humano por medio de pozos, que por lo general succionan el agua con una bomba electromecánica. Esta extracción tiene un efecto negativo si la cantidad de agua tomada es mayor que la cantidad que el acuífero puede reponer de forma sustentable con el agua de recarga, y a este desequilibrio se le llama **sobrexplotación**. La sobrexplotación es un problema que además de reducir las reservas de agua, puede dañar el equilibrio natural entre el agua dulce y el agua de mar, atrayendo la cuña salina cada vez más adentro del acuífero. Este avance no natural de la cuña salina mezcla los dos depósitos de agua, contaminando con sal las reservas de agua dulce (Figura 1b). Por más de un siglo, la intrusión salina, ha sido una de las principales causas de contaminación de las zonas costeras del mundo y presenta un peligro para la pérdida de calidad de agua para uso humano, la reducción de productividad de agua para riego, pérdida de bosques costeros, e invasión de especies. Además, este problema puede considerarse como **irreversible**, ya que las medidas de mitigación podrían llevar varios cientos de años (Tully y otros, 2019; Michael y otros, 2017).

Si bien el problema de intrusión salina y sus efectos son conocidos, cada acuífero presenta un gran reto para la identificación y la gestión de este fenómeno. Los procesos químicos y de flujo en el agua subterránea están dados por las condiciones de cada caso, y el hecho de que ocurran en el subsuelo les da un carácter oculto y de difícil comprensión. La limitada información disponible de los acuíferos por lo general es obtenida de los pozos, como la composición química del agua, el nivel que alcanza el agua con respecto a la superficie, y las características hidrogeológicas de la zona en donde se perforó. Sin embargo, esta información sólo está disponible en ciertos sitios y no está homogéneamente distribuida a lo largo del territorio, por lo que los hidrólogos y geólogos deben desarrollar estrategias creativas para entender el funcionamiento de los acuíferos con pocos datos. A su vez, este conocimiento debe ser transmitido a las autoridades de gestión de agua para elaborar alternativas de manejo y al público en general para concientizar sobre el uso de agua en los territorios.

La intrusión salina en los acuíferos mexicanos

Actualmente la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la cual está encargada de administrar y proteger las aguas nacionales de México, reconoce que 157 de los 653 acuíferos en el país están sobrexplotados (Figura 2a). En promedio, la

extracción de los acuíferos sobreexplotados en México supera en 2.14 veces el valor estimado de la recarga, por lo que se está extrayendo más del doble de lo que se debería para no afectar el equilibrio natural. El problema de contaminación por intrusión salina ha sido reconocido en 18 acuíferos costeros del país, y 14 de estos tienen el estatus de sobreexplotados (Figura 2b) (CONAGUA, 2020). La mayoría de los casos (16) se localizan en el noroeste mexicano en donde se emplaza el Desierto de Sonora y Baja California, mientras que en el sureste se han reportado dos casos del fenómeno, uno en la Península de Yucatán y el otro en la Isla de Cozumel. Bajo la información previa se puede inferir que el problema de intrusión salina está mayormente asociado con la sobreexplotación y el clima árido del noroeste de México. A continuación, se profundizará un poco más sobre el estado general de ciertos casos y las relaciones socioeconómicas que dan lugar a este problema.

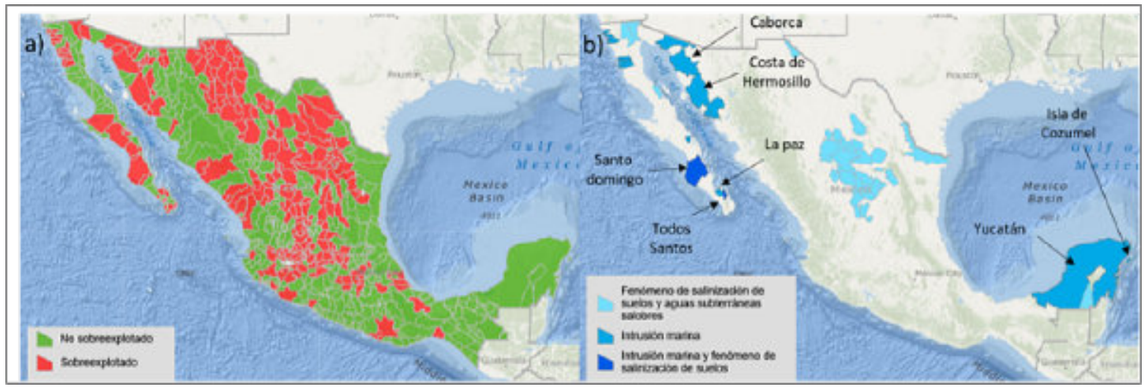


Figura 2. a) Condición de acuíferos, b) Acuíferos afectados por intrusión salina y otros problemas de salinización (CONAGUA, 2020).

En la Península de Baja California ubicada en el noroeste de México, se encuentran dos de los destinos turísticos más famosos de la región, la ciudades de Los Cabos y La Paz, siendo esta última la capital del estado de Baja California Sur y muy conocida como punto focal de comercio y turismo (más de 320,000 visitantes por año). La ciudad depende completamente del agua subterránea para todos los usos y este recurso ha sido sobrexplotado en las últimas cinco décadas, a pesar de un decreto de veda emitido por CONAGUA en 1954. De acuerdo con un análisis hidrogeoquímico del 2013, al menos un tercio de los pozos ubicados en el acuífero de La Paz extrajeron mezcla de agua dulce con agua de mar (Mahlknecht y otros, 2017; Torres-Martinez y otros, 2019). Otro caso en la península, es el acuífero de Santo Domingo, en el que el 80% del agua subterránea que se sobrexplota es para producción agrícola, lo que ha traído consigo contaminación por agua de mar. Un análisis químico hasta el 2005 concluyó que al menos 13% de las muestras tomadas en el acuífero habían extraído mezcla de agua dulce con agua de mar (Wurl y otros, 2018). Un caso que resalta la vulnerabilidad de la península ante la intrusión salina es el acuífero de Todos Santos, en éste no ocurre sobrexplotación, ni CONAGUA reconoce el problema, sin embargo un estudio reciente muestra leves niveles de contaminación y resalta el delicado equilibrio de este ecosistema (Mora y otros, 2020).

El Estado de Sonora presenta un contexto similar al de la Península de Baja California. En éste se emplazan los dos acuíferos con intrusión salina con la mayor sobrexplotación de México: el acuífero de la Costa de Hermosillo y el de Caborca. La actividad agrícola es altamente predominante en la costa de Hermosillo, en la que se utiliza 92% de los recursos hídricos para este fin. La extracción es insostenible y existen enormes pérdidas de agua debido a técnicas de riego agrícola ineficientes (Quintana y otros, 2018). El estudio más reciente de la química del agua para la costa de Hermosillo fue en 1995, en el que se mostró que alrededor de 27% de las muestras de agua podrían estar mezcladas con agua de mar. En cuanto al acuífero de Caborca, la mayoría de la extracción también se hace predominantemente para uso agrícola, y en el

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

2017 se realizó un estudio en una porción de la costa que mostró que un 78% de las muestras posiblemente estaban contaminadas por intrusión salina (Araiza y Dayna, 2009).

Los dos casos reportados que parecen ser más leves de intrusión salina se presentan en Yucatán. Estos difieren de los demás en que los acuíferos no se encuentran sobreexplotados y que tienen un clima tropical en vez de árido. De hecho, el acuífero de la Península de Yucatán, que es la única fuente segura de agua potable para cerca de dos millones de personas, es el más grande y el que tiene mayor disponibilidad hídrica en todo México. Sin embargo, este acuífero es vulnerable a la contaminación en sus costas. A partir de análisis estadísticos y químicos de muestras de agua del 2011 se concluyó que 13 pozos estaban contaminados por intrusión salina, mostrando que el delicado equilibrio del agua subterránea puede ser alternado aún con las condiciones más favorables (Pacheco y otros, 2018). Con las mismas características, pero a una escala mucho menor, también se ha reportado el problema de intrusión salina en acuífero de la Isla de Cozumel. En este caso el agua subterránea es la única fuente de abastecimiento convencional para este destino turístico, por lo que la calidad de agua de primer uso está comprometida para habitantes y visitantes (SECTUR 2018).

Echándole sal a la herida

No cabe duda de que el agua subterránea es un recurso indispensable en México. En el país, a partir de la década del 50, el crecimiento demográfico, la creación de extensas zonas de riego y el desarrollo industrial demandaron grandes cantidades de agua principalmente para las regiones en donde se concentró el desarrollo. Al igual que el resto del mundo, la agricultura en México es el sector productivo que más extrae agua subterránea, creando dependencias económicas a costa de los acuíferos. En el país, esta situación se ha producido a lo largo de los años con la construcción incontrolada de pozos de extracción por usuarios individuales y la rápida expansión agrícola de grupos con gran capacidad económica en los estados áridos de México. Aunque las autoridades, a través de los años, han impuesto restricciones al uso de agua subterránea en zonas costeras desde la década del 50, parece que las medidas no han sido lo suficientemente eficaces para evitar la sobreexplotación y la consecuente intrusión salina, por lo que CONAGUA tiene un gran reto para gestionar el recurso hídrico en los años venideros.

Actualmente, el crecimiento demográfico y el desarrollo de los sectores productivos en México siguen generando grandes demandas de agua. La población urbana sigue en aumento, por lo que el suministro de agua de estas zonas metropolitanas es cada vez más grande y difícil de satisfacer (CONAGUA, s.f.). Adicionalmente, una mayor población exige una mayor cantidad de alimentos e intensifica las actividades humanas, como el turismo. A este inevitable aumento de la demanda de agua, se le suman las predicciones climáticas que estiman menos lluvia y aumento de la temperatura en zonas áridas costeras para los años venideros, lo que se traduce en menos agua de recarga y menos disponibilidad. Los costos de satisfacer la demanda humana con agua subterránea en las zonas costeras, entre muchos otros son: la reducción de las reservas de agua dulce, el aumento de la salinización por intrusión salina y la reducción de la rentabilidad agraria. Adicionalmente, el uso no regulado entre diferentes usuarios da lugar al enfrentamiento entre comunidades, entidades públicas y privadas por el preciado líquido. Para una mejor gestión del agua en zonas costeras se requiere la actualización constante de información acerca del fenómeno de intrusión salina de los acuíferos afectados, para que CONAGUA pueda brindar soluciones aplicables a cada contexto socio-hidrológico.

Conclusiones

En definitiva, el cambio climático, el crecimiento de la población, el turismo y las actividades agrícolas solo pueden exacerbar la contaminación de acuíferos con agua de mar en los próximos años; por lo tanto, las autoridades del agua, los técnicos y científicos deben seguir entendiendo y definiendo los sistemas acuíferos mediante actualizaciones periódicas. Adicionalmente CONAGUA y los gobiernos venideros deben tomar medidas extremas en las zonas costeras para encontrar una solución adecuada a este problema ambiental. A su vez, los consumidores debemos ser conscientes del uso que le damos al agua para no desperdiciarla en su forma líquida, como alimento, o insumo de producción. Sólo la cooperación entre todos para cuidar los acuíferos en la zona costera va a permitir amortiguar y mitigar los impactos de la contaminación por intrusión salina, que se puede ver como una **inundación invisible** en las costas de México.

Referencias bibliográficas

Araiza, C. and Dayna, A. (2009) Caracterización hidrogeoquímica y situación actual de la intrusión marina en la porción costera del acuífero Caborca, Sonora, México. Universidad de Sonora.

CONAGUA (2020) Acuiferos (Nacional). Available at: http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=acuiferos&ver=mapa (Accessed: 19 May 2021).

CONAGUA (no date) Suspensión Provisional de Libre Alumbramiento. Available at: https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/sections/LibreAlumbramiento.html (Accessed: 23 September 2021).

Ferguson, G. and Gleeson, T. (2012) 'Vulnerability of coastal aquifers to groundwater use and climate change', Nature Climate Change, 2(5), pp. 342–345. doi: 10.1038/nclimate1413.

IGRAC (2016) What is Groundwater? Available at: https://www.un-igrac.org/what-groundwater (Accessed: 1 May 2021).

Mahlknecht, J. et al. (2017) 'Assessing seawater intrusion in an arid coastal aquifer under high anthropogenic influence using major constituents, Sr and B isotopes in groundwater', Science of The Total Environment. The Authors, 587–588, pp. 282–295. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.02.137.

Michael, H. A. et al. (2017) 'Science, society, and the coastal groundwater squeeze', Water Resources Research, 53(4), pp. 2610–2617. doi: 10.1002/2017WR020851.

Mora, A. et al. (2020) 'Dynamics of major and trace elements during seawater intrusion in a coastal sedimentary aquifer impacted by anthropogenic activities', Journal of Contaminant Hydrology. Elsevier, 232(November 2019), p. 103653. doi: 10.1016/j.jconhyd.2020.103653.

Pacheco Castro, R. et al. (2018) 'Groundwater Quality: Analysis of Its Temporal and Spatial Variability in a Karst Aquifer', Groundwater, 56(1), pp. 62–72. doi: 10.1111/gwat.12546.

SECTUR (2018) Programa Marco para fomentar acciones para restablecer el balance del ciclo del agua en Cozumel. México. Available at: SECTUR (Secretaria de Turismo).

Torres-Martinez, J. A. et al. (2019) 'Constraining a density-dependent flow model with the transient electromagnetic method in a coastal aquifer in Mexico to assess seawater intrusion', Hydrogeology Journal, 27(8), pp. 2955–2972. doi: 10.1007/s10040-019-02024-w.

Tully, K. et al. (2019) 'The Invisible Flood: The Chemistry, Ecology, and Social Implications of Coastal Saltwater Intrusion', BioScience, 69(5), pp. 368–378. doi: 10.1093/biosci/biz027.

Wurl, J. et al. (2018) 'Socio-hydrological resilience of an arid aquifer system, subject to changing climate and inadequate agricultural management: A case study from the Valley of Santo Domingo, Mexico', Journal of Hydrology. Elsevier B.V., 559, pp. 486–498. doi: 10.1016/j.jhydrol.2018.02.050.

Zepeda Quintana, D. S. et al. (2018) 'Sustainability strategies for coastal aquifers: A case study of the Hermosillo Coast aquifer', Journal of Cleaner Production. Elsevier Ltd, 195, pp. 1170–1182. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.05.191.

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

Christian Felipe Narváez Montoya es Ingeniero Mecánico colombiano con grado en la Universidad Tecnológica de Pereira. Obtuvo una Maestría en Ciencias de la Ingeniería en el área de Uso Sostenible del Agua en el Tecnológico de Monterrey en 2021, y actualmente es estudiante del programa de Doctorado en Ciencias de la Ingeniería en la misma institución. Sus esfuerzos se centran en analizar datos de agua subterránea con métodos innovadores para explicar el comportamiento de los acuíferos y las presiones a las que han sido sometidos por la actividad humana. Otros de sus intereses son el cambio climático y la relación entre la gestión del agua y el entorno social.

https://www.linkedin.com/in/christian-narvaez-montoya-b77362135/

https://www.researchgate.net/profile/Christian-Narvaez-Montoya-2?ev=prf_overview

https://scholar.google.com/citations?user=-YZgAsIAAAAJ&hl=es

https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57263432400

Jürgen Mahlknecht es Ingeniero Civil e Hidráulico con Doctorado en Hidrogeología por la Universidad de Recursos Naturales y Ciencias de la Vida (Universität für Bodenkultur), Viena, Austria. Experiencia de 25 años en estudios de acuíferos, calidad y contaminación del agua, hidrología isotópica, manejo del agua y nexo agua-energía-alimentos. Actualmente trabaja como profesor investigador y coordinador del Grupo de Investigación en Ciencia y Tecnología del Agua del Tecnológico de Monterrey. Del 2008 al 2017 fungió como director fundador del Centro del Agua para América Latina y el Caribe. Ha publicado más de 100 artículos científicos y 3 libros. Es editor asociado de la revista científica Science of the Total Environment (Elsevier) y miembro editorial de la revista Environmental Pollution (Elsevier). Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores - CONACyT, Nivel 2. Por su labor y desempeño ha sido galardonado con varios premios, entre ellos el Premio Dr. Karl-Heinz Schleinzer (Austria, 1999), el Premio Eternit-Tie au (Austria, 1999) y el Premio Rómulo Garza (México, 2019).

https://www.linkedin.com/in/j%C3%BCrgen-mahlknecht-8564b351/

https://www.researchgate.net/profile/Juergen-Mahlknecht

https://scholar.google.com.mx/citations?hl=en&user=h4QHghoAAAAJ&view_op=list_works&sortb

https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57195502689

Dr. Juan Antonio Torres Martínez es Ingeniero Civil por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Cuenta con una Maestría en Ciencias en Sistemas Ambientales y Doctorado en Ciencias de Ingeniería por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, ambos en la línea de investigación de Uso Sostenible del Agua. Desde 2021 es investigador postdoctoral en el Grupo de Geoprocesos Ambientales y forma parte del Grupo de Investigación con Enfoque Estratégico en Ciencia y Tecnología del Agua del Tecnológico de Monterrey. Sus principales líneas de investigación son gestión de recursos hídricos, hidrología isotópica, modelación de acuíferos y machine learning. Actualmente, es miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel 1. Ha sido profesor de posgrado en la Universidad Nacional de Trujillo (Perú) y en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Ha participado en diferentes proyectos de consultoría relacionados con la gestión y monitoreo de calidad de recursos hídricos superficiales y subterráneos, así como modelación de acuíferos costeros.

https://scholar.google.com/citations?user=mylWSGsAAAAJ&hl=en

https://www.researchgate.net/profile/Juan-Antonio-Torres-Martinez

https://www.linkedin.com/in/j-antonio-torres/

https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57204824779

Abrahan Rafael Mora Polanco es Licenciado en Química egresado de la Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela y Doctor en Ciencias Ambientales egresado de la Universidad Politécnica de Madrid, España. Desde Abril 2003 hasta Noviembre 2010 desempeño funciones como Jefe del laboratorio de fisicoquímica en la Estación de Investigaciones Hidrobiológicas de Guayana de Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Venezuela. A partir de Enero 2012 se desempeñó como investigador asociado al Centro de Oceanología y Estudios Antárticos del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC) en Caracas, Venezuela. Entre 2014 y 2015 se desempeñó como Investigador Prometeo Nivel II en la Universidad Nacional de Loja (Ecuador). A partir del 2016 ejerció como Postdoctorante en el Centro del Agua para América Latina y El Caribe del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. Desde Enero 2020 se desempeña como Profesor Investigador del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey en el Campus Puebla, específicamente en el grupo de enfoque en Ciencias y Tecnología del Agua. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) de México Nivel I. Miembro del comité editorial de la Revista "Journal of Aquatic Pollution and Toxicology" y Editor invitado del Journal "Current Opinion in Environmental Science and Health" (Elsevier).

https://research.tec.mx/vivo-tec/display/PID_302003

https://www.researchgate.net/profile/Abrahan-Mora

https://scholar.google.co.ve/citations?user=e0VGrkMAAAAJ&hl=es

https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=23668358800

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

PIEDRAS NATURALES DE CONSTRUCCIÓN DEL SUR DE AUSTRALIA

(BUILDING STONES OF SOUTHERN AUSTRALIA)

Jesús S. Porras M.[1]

1 Consultor Independiente

INTRODUCCIÓN

Las piedras naturales, en un concepto amplio, han sido empleadas por el hombre desde la antigüedad, desde hace más de 2,5 millones de años. Evidencias históricas indican su uso en la fabricación primitiva de armas, herramientas y utensilios de caza y pesca, hasta llegar a pasar a ser unos de los materiales más utilizados en la construcción de monumentos, murallas, viviendas y edificios, acueductos, esculturas, sarcófagos y templos. Incluyendo también la pavimentación y adoquinado de calles y veredas.

Civilizaciones dispersas por todo el mundo han utilizado las rocas o piedras naturales como elemento arquitectónico de cuantiosas obras, rudimentarias o majestuosas, con una finalidad u otra, pero en todas, han dejado expresada la cultura y tradiciones de sus pueblos.

Las obras en piedra han servido como indicadoras fortuitas de la memoria, evolución y modernidad de la raza humana y representan un patrimonio cultural cuando alcanzan un valor universal excepcional desde el punto de vista de la historia, del arte o de la ciencia.

Enclavada en la Región Asia-Pacífico de la Unesco, segunda zona con la mayor cantidad y porcentaje de obras patrimoniales culturales y naturales en el mundo, Australia, específicamente, la provincia del Sur de Australia, ofrece la oportunidad de apreciar la maravilla del uso de la piedra natural en la construcción y su valoración como elemento ornamental e histórico, además de ser privilegiada por la variedad y relevancia de sitios de interés geológico de su territorio (Fig 1).

En este artículo, resultado de observaciones y anotaciones de viajes, se revela el protagonismo de la piedra natural en el patrimonio arquitectónico y geológico en la mencionada región, por su recurrente aplicación y uso en el primer caso y por la geodiversidad en el segundo.

.

***Fig. 1**. Mapa Topográfico de Australia. En el recuadro se señala la ubicación de la zona de estudio (izq). En el mapa de la derecha se indica más a detalle la zona de estudio dentro de la Provincia del Sur de Australia (www.freeworldmaps.net).*

HISTORIA y ANTECEDENTES

En el sur de Australia (SA), las evidencias del uso de las piedras naturales son muchas y variadas. Los aborígenes utilizaron herramientas de piedra para cortar y tallar madera y cortezas de árboles, para crear herramientas, utensilios y armas, entre las que se distinguen arpones, puntas de lanzas y cuchillos y para triturar y moler alimentos (www.aboriginalculture.com.au). Entre los utensilios de uso común se han recolectado yunques, cinceles, martillos, hachas, piedras de moler, mazos, trépanos y punzones, raspadores y pesas de pesca.

Mención especial merece el uso de la piedra natural como elemento sagrado, mágico y religioso. Piedras de diversas formas, moldeadas y desgastadas por el agua, o talladas y pintadas, fueron utilizadas como piedras sagradas y guardadas en sitios, también sagrados, escondidas en árboles, grietas de rocas, cuevas y refugios rocosos o enterradas bajo tierra. Muchos aborígenes utilizaron pequeñas piedras mágicas, de colores o formas inusuales, para curar enfermedades y alejar a los espíritus malignos.

El SA tiene una larga tradición en el uso de la piedra natural como elemento de construcción y ornamental

debido a la carencia de especies madereras en la región. La piedra natural fue el elemento primario utilizado en tiempos de la colonización en la construcción de edificios y casas tanto de ciudades como de zonas rurales. Hasta mediados del siglo XIX las casas eran predominantemente construidas con tierra y piedra y llevaban techos de paja o tejas, aunque en muchos casos éstos fueron sustituidos por láminas de hierro galvanizado corrugado importado por los colonos. Para comienzos de 1900, la piedra aún era el material de construcción predominante de Australia Meridional, llegando a alcanzar, según el censo de 1911, el 62% y 71% de las casas de piedra locales y de toda Australia, respectivamente. *(https://adelaidia.history.sa.gov.au/subjects)*

Ante el incremento progresivo de los costos de explotación de los materiales pétreos, la depresión económica post-guerra y por mejoras en la comercialización y transporte de otros materiales desde lejanas canteras, el granito y el mármol entran en la escena de la construcción del sur del Australia, situación que perdura hasta 1945, cuando son reemplazadas por el acero y el concreto y por nuevas tendencias y diseños en la construcción (Young, 1993). Las piedras naturales como el granito y el mármol comienzan a emplearse más como elementos estéticos y decorativos que estructurales.

El periodo de 1950, hasta hoy, ha estado marcado por el uso de materiales modernos donde el acero, metales, vidrio y el concreto predominan.

Desde el punto de vista geográfico, turístico y patrimonial, las piedras naturales y/o los sitios donde se localizan, siempre han sido los protagonistas del paisaje y la naturaleza en el Sur de Australia. Muchas constituyen verdaderos iconos geológicos de interés nacional y universal, por lo que históricamente siempre han sido valoradas, reconocidas y protegidas por su significado científico, estético o conservacionista.

CASAS Y EDIFICACIONES

Aunque existe una aceptación generalizada de que el carácter nómada de los primeros pobladores del sur de Australia motivó el precario y limitado uso de la piedra natural para la construcción de viviendas, hay evidencias concretas de que la piedra fue un elemento utilizado por los aborígenes australianos en sus asentamientos. Recientes excavaciones, han puesto al descubierto estructuras circulares en piedra, a manera de fundaciones, y restos de más de un centenar de casas de piedras en las provincias de Australia occidental y al noroeste de Victoria, respectivamente. (Source: Aboriginal houses-Creative Spirits, *(https://www.creativespirits.info/aboriginalculture/land/aboriginal-houses)*.

Más hacia Australia Meridional, las prácticas de construcción prehistóricas incluían muy pocos elementos pétreos. Las piedras, en general, servían de soporte a albergues temporales, de forma semi-dómica y estructura interna de madera y troncos atados, o de huesos de ballena, y recubiertos con ramas, hojas de palmas y corteza de árboles. Las viviendas primitivas eran éstas o los refugios pétreos, especialmente en épocas de lluvias y clima húmedo, emplazados en cuevas, cavernas, pliegues o fracturas naturales de las rocas, generalmente areniscas, cuarcitas y calizas. Particular mención el descubrimiento del refugio Warratyi, una fisura en las rocas del Flinders Range, ubicado a 550 km al norte de Adelaide, capital de la provincia del Sur de Australia, el cual, junto con la caverna Devil's Lair, en Australia Occidental, representan unas de las más importantes evidencias de dormitorio, ocupación humana y sitios de interés arqueológico del país.

El uso de la piedra como material de construcción adquiere notoriedad con la colonización. Young (1993) en publicación del Departamento de Ambiente y Recursos Naturales divide la historia del uso de la piedra en Adelaide (SA) en cuatro períodos:

- Fase Temprana (1836-1855)
- Período de auge victoriano (1855- 1885)
- Período de diversificación (1885-1945)
- Período moderno (1945-1990)

Durante la colonia, y hasta entrado el siglo XX, en el periodo 1836-1910, la piedra fue el material preferido en la construcción. La escasez de madera, la diversidad y disponibilidad de recursos pétreos y el uso extensivo de la piedra natural de construcción, impulsó la explotación y comercialización de la piedra de canteras locales, llegando a ser elemento indispensable de la arquitectura precursora en Australia meridional.

Cooper (2011) menciona que los recursos pétreos naturales del SA son tan diversos, de uso tan generalizado y tan fácilmente disponibles, aún más que en el resto del país, que fueron factores determinantes en la colonización de la región y la planificación de ciudades. Canteras de calizas, mármol, granito, arenisca, pizarras, esquistos y limolitas se localizan en las cercanías de Adelaide, capital de la provincia.

Para esa época, muchas casas de esta ciudad eran de madera, otras de paredes de tierra y piedra con techos de paja o tejas, que posteriormente fueron reemplazados, por normativa gubernamental, por láminas de hierro galvanizado corrugado. En algunas pocas áreas rurales se incluían, excepcionalmente, troncos de madera revestidos con arcilla en las paredes. La piedra se utilizaba además de la construcción de viviendas y refugios, para hacer muros divisionales y corrales, en desagües, bordillos y canaletas de carreteras y en vías de tranvías y ferroviarias (Beder & Piddock, 2006)

Desde mediados del siglo pasado la construcción en Australia Meridional sigue las pautas de la industria nacional utilizando las mismas prácticas y materiales y bajo una fuerte influencia inglesa. En esta época de postguerra, se fundan las bases de las políticas habitacionales y los sistemas públicos de vivienda en el SA.

Los grandes edificios comienzan a desplazar a las antiguas áreas residenciales e industriales y a ocupar las partes céntricas de las ciudades. Hoy la arquitectura moderna se mezcla con las históricas y antiguas edificaciones.

Pocos años más adelante, el acero y el hormigón o concreto reemplazarían estos materiales, llegando a ser los componentes utilizados no solo para las obras civiles de ingeniería sino para la construcción de los primeros grandes edificios y viviendas.

En los años sucesivos, los materiales predominantes para la construcción comienzan a ser el metal (acero), cemento, la madera, el plástico y los ladrillos y bloques. La piedra pasó a un segundo plano, aunque aún se utiliza como elemento decorativo y ornamental en el revestimiento de edificios y monumentos y en la pavimentación de calles.

En la Tabla 1 se resume la historia del uso de la piedra natural como elemento principal de construcción. Cada periodo de tiempo sigue la clasificación sugerida por Young en 1993.

Tabla Nº 1. *Historia del uso de la piedra en el Sur de Australia (modificado de Young, 1993)*

Año (s)	Periodo	Materiales Predominantes
< 1836	Pre-Colonización	Piedras naturales varias
1836-1855	Fase Temprana	Calizas, calcretas, gravas, areniscas, pizarras (flagstones) y bluestones
1855-1885	Auge Victoriano	Areniscas y bluestones
1885-1945	Diversificación	Calizas, bluestones, areniscas, granitos y mármol
1945-1990	Moderno	Granito, mármol y areniscas, construcción moderna
1990-2021	Actual	Acero, vidrio, concreto, fibra, granitos y mármoles

Principales Piedras de Construcción del Sur de Australia

En el SA existe una gran disponibilidad de recursos pétreos, por lo que una gran variedad de piedras naturales para la construcción ha sido utilizada desde tiempos de la colonia. Se estima que las canteras en el SA se explotan sistemáticamente desde el año 1837 y fueron la industria principal, ante la escasez de recursos madereros, durante el asentamiento de los pioneros europeos en el S. XIX (Bender & Piddock, 2006; Cooper, 2011; Cooper, 2019)

La extraordinaria diversidad geológica y esta abundancia de rocas, y su potencial uso en la construcción de las primeras viviendas y edificaciones de los colonizadores, aceleró la explotación de este recurso natural en más de un centenar de canteras. Canteras de rocas de caliza, mármol, granito, arenisca, pizarra y limolita y minerales y rocas de origen orogénico, epitermal, volcánico, intrusivo, sedimentario y metasomático se encuentran en la provincia.

Destacan las variedades locales de piedras de construcción como los *bluestones, flagstones, freestones e ironstones*, que no son más que denominaciones

particulares asociadas más al destino o uso de la piedra que al origen, color y/o composición de la roca.

Los *bluestones* son rocas de grano fino, afines a las limolitas o esquistos micáceos, con cierto grado de fisilidad que les permite separarlas naturalmente en lajas o que pueden ser fácilmente cortadas en bloques de construcción o losas de formas convenientes, aunque esta misma denominación se aplica a basaltos en otras provincias. Por lo general, tienen superficies de texturas moderadas y son muy resistentes. Pueden ser de tonos azulados y grises, aunque suelen presentar muchos otros tonos mezclados.

Los *flagstones* son generalmente limolitas o areniscas unidas por minerales como sílice, calcita u óxido de hierro, con la particularidad de dividirse en capas a lo largo de planos de estratificación. La denominación de *flaggy* se da por la propiedad de la roca de separarse en lajas o cortarse en bloques y losas de formas cuadradas y/o rectangulares (i.e *flaggy bluestone*). Son reconocidas en una amplia gama de colores que van desde marrones, grises, ocres y azules y por su textura. Por su aspecto rústico, generalmente se utilizan para pavimentos, patios, caminerías y paredes.

El término *freestone* se aplica a areniscas y en ocasiones a calizas arenosas de grano fino (Cooper, 2011), a diferencia de muchos países de Europa donde es aplicado a todas las piedras de origen sedimentario que tienen un color uniforme y facilidad de corte y/o tallado para obtener bloques de piedra de dimensión ornamental, y de Inglaterra, donde el término está restringido a las calizas (Pereira & Marker, 2016).

Los *ironstones* fueron las piedras de construcción utilizadas por los primeros colonos del SA y explotadas en varias canteras locales especialmente al oeste del Barossa Valley. Son gravas cenozoicas cementadas con óxido de hierro las cuales forman una particular, espesa y muy resistente superficie ferruginosa que cubre crestas, colinas, arroyos y valles de la zona (ie. Lyndoch Valley, Barossa Valley).

Poseen distintivos colores, variables entre marrón claro a oscuro, anaranjado-amarillo, tonos rojizos y ocres.

Tabla Nº 2. *Principales piedras de construcción y canteras de Australia Meridional*

Tipo	Piedra	Variedades	Canteras
Igneas	Gabro y Basaltos	Negro	
	Granitos y granodioritas	Negro, rosado, gris claro, verde, azul	Black Hill, Monarto, Murray Bridge, Victor Harbor, West Island
Metamórficas	Pizarra & *Flagstones*	Gris, ocre, amarillento	Mintaro, Willunga, Delabole, Martin & Bastian's, Bangor, Spalding, Jones Hill
	Esquisto *(Bluestone)*	Micáceo	Wistow, Kanmantoo
	Mármol	Blanco, Carrara, gris - azulado	Angaston, Kapunda, MacClesfield
Sedimentarias	Bluestone	*Flaggy siltstone*, gris oscuro a azulado, pátina ocre	Auburn, Beaumont, Clare, Dry Creek, Gawler, Glen Osmond, Magill, Mitcham, Tapley Hill, Tarlee
	Limolita *(Bluestone)*	*Bluestone, flaggy siltstone*	Green Hill Slate, Flag Quarry
	Areniscas *(Freestone)* y gravas	Gris, ocre, naranja, cuarcíticas, *ironstone*	Backet Range, Carey Gully, Finnis River, Glen Ewin, Kapunda, Manoora, Mitcham, Mount Barker, Mount Lofty, Tea Tree Gully
	Calizas y Calcretas	*Freestones* (calizas arenosas), fosilíferas	Adelaide, Murray Bridge, Mount Gambier, Overland Corner, Ramco, Waikerie

Edificios Públicos: Gubernamentales y Académicos

Adelaide, la ciudad más importante del SA es una mezcla de estilos arquitectónicos. Se distinguen edificaciones con los estilos característicos de cada uno de los períodos arquitectónicos instituidos: Colonial Antiguo, hasta 1840; Victoriano, hasta 1890; Federación hasta 1915; Intra-guerras, Post-guerra y Finales del Siglo XX desde 1960. Los primeros muy influenciados por las arquitecturas inglesas y americanas, y los últimos con mayor identidad local, multicultural.

Si bien la arquitectura moderna ha reemplazado los materiales de construcción, muchas edificaciones antiguas, la mayoría erigidas en el siglo XIX y comienzos del siglo XX, en las cuales la piedra natural fue el elemento principal de construcción, aún se conservan y mantienen en pie.

Las edificaciones comprenden edificios gubernamentales, públicos, académicos y utilitarios. Incluyen bibliotecas, teatros, clubes y salones, museos y galerías, estaciones y terminales, entre otros. Fueron en parte diseñados y construidos con recursos, materiales y mano de obra local. Representan el patrimonio y orgullo cívico y traen consigo una fuerte componente de simbolismo ciudadano.

Entre los materiales más comúnmente empleados en fachadas y exteriores se distinguen calizas, granitos, mármoles, areniscas y limolitas, en las denominaciones locales *freestones* y *bluestones*, respectivamente, y pizarras en los techos y pavimento. La piedra caliza fue uno de los primeros materiales utilizados para la construcción de los nacientes edificios públicos, ya que era muy fácil de obtener (Fig 2). En interiores se utilizaron mármoles y granitos de diversos colores.

Fig. 2. *Edificaciones públicas notables construidas con piedras naturales (a) City Hall (Tea Tree Gully freestone y Dry Creek bluestone) (b) General Post Office (arenisca Tea Tree Gully) (c) Mortlock Library (arenisca Tea Tree Gully) (d) Cort House (arenisca crema-rosa)*

La pizarra fue el material de uso común empleado para el techado de edificaciones en el sur de Australia después de 1840, fecha de su descubrimiento. La pizarra era extraída de canteras locales, aunque en un momento llegó a ser importada de Inglaterra y Gales. Con el tiempo, los tejados de pizarra se hicieron populares y accesibles a la población.

Casas y Edificios Residenciales

Muchas de la viviendas domésticas y edificios residenciales de Adelaide, construidos entre 1840 y 1920 fueron fabricadas con las abundantes piedras naturales de las diversas canteras de la región.

Meinig (1962) informa, según datos del censo de 1862, que más del 60% de las casas permanentes estaban construidas de piedra, mientras que Fenner (1927) con datos del censo de 1911, afirma que el 85% de los edificios en Australia Meridional eran de piedra, ladrillo u hormigón, al contrario de otras regiones australianas, donde los porcentajes eran claramente menores (Cooper 2011, 8). Esta diferencia se atribuye a la disponibilidad de recursos pétreos que siempre tuvo Australia Meridional.

Lloyd (2002), en Cooper (2011), sostiene que el 70% de todos los edificios de Australia Meridional en 1911 se construyeron en piedra.

Si bien esa práctica del uso de piedras naturales se perdió a mediados del siglo XX, en los últimos años, gran parte de las viviendas domésticas de las décadas de 1950 a 1980 han empleado piedras naturales, pero más con fines decorativos. Destacan las limolitas multicolores provenientes de las canteras de Manoora y Kapunda (Cooper 2011).

Aunque hoy en día, la vivienda suburbana de Australia Meridional es una mezcla diversa de estilos modernos y tradicionales, hacia las zonas rurales, costeras y poblados más pequeños, de áreas suburbanas y fuera de la capital Adelaide, las casas residenciales de piedra natural son más modestas en tamaño y en los materiales empleados en su construcción (Fig 3).

Se logran identificar residencias coloniales hechas de la piedra *bluestone* con techos de pizarra. En el poblado de Goolwa, edificaciones pequeñas que fungen como oficinas públicas locales están construidas de travertino con bordes exteriores de ladrillo. Se distinguen casas rurales hechas de caliza y creta con techos de hierro corrugado. Otras viviendas domésticas presentan paredes de *bluestone*.

En Víctor Harbor, una pequeña cabaña de piedra que data de 1850, y utilizada como lugar para hacer mantequilla y queso y para almacenamiento de productos lácteos, así como también como refugio temporario de pastores, cuando esa área era toda tierra de cultivo, está construida de la piedra *bluestone (Fig 3e)*.

Hacia la región vinícola de McLaren, se emplea mucho más la piedra *ironstone* en la construcción local de viviendas. Es notable el color amarillo-ocre de las piedras en las paredes (Fig 3f).

Fig. 3. *Edificaciones residenciales, públicas y rurales del Sur de Australia. (a) Harbor Station (bluestone) (b) Goolwa Libray (caliza travertino) (c) Railway's Superintendent Cottage (caliza) (d) Casa Rural Goolwa (bluestone) (e) Stone Hut (bluestone) (f) Casa Rural MacLaren Valley (ironstone)*

Templos, Capillas e Iglesias

La ciudad de Adelaide también es conocida por la gran cantidad de iglesias y templos que posee. Solo la iglesia cristiana posee más de 500 templos.

Los materiales empleados para la construcción de iglesias y templos no difieren mucho de los utilizados en el resto de las edificaciones de la época. Se consiguen principalmente calizas y calcretas, areniscas (*freestones*) y limolitas (*bluestones*), de colores beige, crema, pardo amarillento, ocre y gris (Fig 4).

Fig. 4. *Edificaciones religiosas donde se emplearon piedras naturales para su construcción (a) Holy Trinity (caliza de Adelaide) (b) St Francis Xavier (arenisca y caliza Murray Bridge) (c) Pilgrim Uniting (bluestone Glen Osmond, freestone Glen Ewin y caliza Caen) (d) St Peter's (areniscas Tea Tree Gully y Glen Osmond y caliza Murray Bridge)*

Se utilizan en las fachadas, cabecera, coros, crucero y partes de la nave de templos. Algunas catedrales combinan piedras de diferente composición y origen, de canteras de la zona o importadas. La Catedral San Francisco Javier es un ejemplo de ello, registra el cambio de areniscas a calizas. La construcción comenzó en areniscas y culminó en la caliza Murray Bridge. La técnica empleada para la construcción de la Catedral de San Pedro fue de sillares de arenisca y mampostería de caliza.

La iglesia Holy Trinity primera edificada en todo el SA, que data del año 1838, fue construida con caliza (calcreta) blanquecina-crema de la variedad Adelaide. Se han reconocido mármoles blancos Angaston en la Capilla Metodista Wesleyana (1855) y rosado MacClesfield en la Iglesia Anglicana St James construida en 1870 (Cooper 2011).

MONUMENTOS y ESTATUAS

Las estatuas, esculturas y monumentos históricos están ubicados principalmente en los barrios centrales de las ciudades y pueblos. Se consiguen en plazas, parques, jardines, paseos y mausoleos de cementerios. En Adelaide, particularmente, se distingue una gran variedad de monumentos y estatuas en el boulevard North Terrace y en la plaza Victoria. Muchas otras también se concentran en la zona céntrica de la ciudad. En cada poblado costero, por pequeño que sea, se encuentra un monumento. Rememoran, principalmente, a personas notables que contribuyeron a la construcción de la sociedad sud-australiana, o bien son símbolos de las múltiples guerras en las cuales ha participado el país. Cada una cuenta una historia.

Generalmente son de mármol y granito, aunque se identifican areniscas, calizas, cuarcitas y otras rocas duras, combinadas con metales como el bronce y hierro forjado. Se les utiliza en bloques cortados y pulidos, tallados y/o con acabado natural (Fig 5).

Los mármoles son diversos, predominan las variedades blancas y amarillo pálido, incluyendo el de Carrara. Generalmente importados, son la principal piedra utilizada en la escultura de estatuas y bustos. Los mayormente empleados en esta zona del país son el mármol gris y crema proveniente de la cantera Paris Creek en Battunga Country, en Australia del Sur, utilizado para el State War Memorial en North Terrace en Adelaida; el mármol rosado de Macclesfield, de la misma zona; y el mármol de Sellick's Hill, el cual presenta una notable variación cromática en negros y marrones.

Los granitos suelen ser negros, rojos y rosados, si bien se han identificado grisáceos, anaranjados, marrones, verdosos y azules. Componen los revestimientos de pedestales, bases y columnas de estas obras y también son utilizados en pavimentación. En un momento llegaron a ser importados, aunque canteras locales suplen la piedra principalmente para la construcción y pavimentación de las calles desde mediados del siglo pasado.

También se han identificado granodioritas y gabros. El gabro, mal denominado "granito negro", es el componente principal del Centenary Memorial Walk en Adelaide. El granito negro es en realidad una "norita" por su poco contenido de cuarzo y alto porcentaje de minerales de color oscuro.

Estatuas, Bustos y Pedestales

La mampostería de estatuas y bustos está basada principalmente en el uso de mármol blanco a amarillento, en un principio importado.

Otras obras están elaboradas con bronce o metal y erigidas en pedestales de piedras tales como areniscas, mármoles y granitos en incluso en otras piedras como el gabro, que pueden estar pulidas o no (Fig 5).

Rinden tributo a personajes de la nobleza, ciencia y artes e históricos, héroes de guerra y pioneros y personajes mitológicos, entre otros. Todos de significancia en el desarrollo y avance de Australia meridional como sociedad.

Fig. 5*. (a) Pedestal Estatua Captain Charles N. Sturt (mármol Angaston) (b) Base de Estatua Captain Charles N. Sturt (granito Murray Bridge) (c) Pedestal de estatua Sir Thomas Elder (granito Aberdeen)*

Memoriales

Una de las más grandes obras monumentales, el Centenary Memorial Walk, está construida de mármol, en dos variedades blanco (Angaston) y gris (Macclesfield), en gabro pulido (granito negro de Adelaide) y en granito gris-marrón (Harcourt) en escalones y relieves.

El "granito negro" de Adelaide ha sido propuesto como Patrimonio Pétreo Mundial por su intenso uso monumental, tanto nacional como internacionalmente, y en pavimentación, revestimiento y recubrimiento de paredes (Cooper, 2019).

El State War Memorial, construido en 1931 para conmemorar la I Guerra Mundial, está construido de bloques de granodiorita gris semi-labrada. El pedestal y el relleno y grabados del arco son de mármol gris y blanco, respectivamente (Fig 6b).

Al noroeste de Adelaide, en el suburbio playero de Semaphore, el Soldier Memorial Clock, monumento erigido en 1925, consiste en una estatua de un ángel de la paz en mármol blanco Winged Victory montada sobre una torre de granito gris (Fig 6e)

En el condado costero de Alexandrina, en el poblado de Goolwa, fue erigido un monumento en honor a los soldados que sirvieron en la I Guerra Mundial. El monumento consta de una estatua de un soldado de pie, en posición firme, y de un tronco de árbol tallados en mármol blanco coronados sobre un pedestal y base en hormigón y mármol, respectivamente, con inscripciones y detalles en negro. Una cerca de hierro fundido y muros de piedra caliza bordean el monumento y plazoleta, respectivamente.

***Fig. 6**. Monumentos del sur de Australia (a) Pioneer's/First Settler Memorial (b) Pioneer Memorial (c) Flagstaff Lookout Revees Point (d) State War Memorial (e) Soldier's Memorial Clock. Se nota la variedad de piedras utilizadas: caliza (a); mármol y granito (b, d, e); calizas, cuarcitas y basaltos (c).*

En el mismo pueblo, el RSL War Memorial, monumento que conmemora a aquellos que han servido en los diversos conflictos en los que Australia ha estado involucrada, está formado por un monumento principal el cual es una histórica asta de bandera la cual formaba parte del mástil utilizado para controlar el movimiento de los buques entre Goolwa y la desembocadura del Río Murray, apostada en bloques tallados de caliza. En sus jardines están dispuestos varios bloques de piedras calizas naturales, sin tallar, con placas conmemorativas. (Fig 6c)

LÁPIDAS, TUMBAS y MAUSOLEOS

Las lápidas y mausoleos de cementerios urbanos están confeccionadas principalmente en mármol de Carrara y en granitos grises, rojos y negros pulidos. Otras más antiguas, actualmente de poco uso por su alta susceptibilidad a la intemperie, erosión y humedad, estaban elaboradas de areniscas y pizarras.

La mayor parte del mármol utilizado en las tumbas en el sur de Australia es mármol italiano importado de Carrara, de grano fino y color blanquecino-grisáceo. El mármol de Angaston, más blanco y de grano más grueso que el mármol italiano se usa a veces para bordillos y alrededores de lápidas (McDougall & Vines, 2004).

La arenisca se utiliza para bloques de bordillos o barandillas o como zócalos para lápidas de mármol. Las primeras lápidas en la mayoría de los cementerios, particularmente cerca de las áreas de canteras, fueron cortadas de pizarra, generalmente de la variedad Mintaro o Willunga (McDougall & Vines, 2004).

Las lápidas de la iglesia metodista y del cementerio del poblado de Willunga fueron construidos de esta variedad de pizarra (Piddock, 2007).

HITOS PÉTREOS y PLACAS CONMEMORATIVAS

Generalmente son rocas o peñascos en estado natural, masivas, en bloques de dimensiones métricas a submétricas, partidas y a menudo labradas, muchas inscritas con información relevante que sirven para marcar un límite geográfico o para la conmemoración de un

acontecimiento especial, generalmente histórico, cultural o patrimonial.

Las inscripciones pueden estar sobre la piedra misma o sobre una placa metálica, comúnmente de bronce, colocada en ésta. En ocasiones las placas esta fijadas directamente sobre el monumento o edificación.

Entre las piedras usadas con estos fines se identifican granitos, areniscas, mármoles y calizas (Fig 7).

***Fig. 7**. Hitos pétreos y placas conmemorativas localizados en diversos lugares del SA. (a) Horseshoe Bay Shipwreck, Port Elliot (b) Ewen Reserve Memorial, Victor Harbor (c) First Harbourmaster's Cottage, Horseshoe Bay, Port Elliot (d) Flinders-Baundin's Encounter Memorial, The Bluff (e) Grimshaws Corner, Kangaroo Island (f) Soldier Memorial Gardens, Goolwa (g) Sir Douglas Mawson Memorial, Adelaide (h) Naiming of Victor Harbor, Granite Island*

PAVIMENTOS, TECHOS, ESCALERAS y PAREDES

Los pavimentos de calles, paseos y escaleras suelen ser de piedras duras como el granito, aunque espectaculares escaleras de mármol se distinguen en edificaciones históricas. En la Terraza Norte se utilizó un granito verde (Balmoral Green Granite/Tatiara Green Granite) para pavimentar la caminería exterior de acceso. Más hacia el Museo del Sur de Australia se identifica un granito de color rojizo (GSA, 2016). Los pisos internos de ciertas edificaciones son de granitos grisáceos o rojizos (Fig 8a).

La elegante escalera de mármol del Ayuntamiento de Adelaide (Town City Hall) fue construida de mármol Macclesfield pulido. Este mármol, de edad Precámbrico Inferior, tiene un color variable entre blanco puro y crema a azul-grisáceo y rosado (Fig 8b).

Calizas, mármoles, travertinos, areniscas, pizarras, pórfidos, cuarcitas y *bluestones*, por su alta duración y resistencia a la erosión también se utilizan para pavimentar pisos externos o internos de residencias y edificios. También son utilizadas como losas decorativas de paredes y columnas (Fig 8 c,d,e).

Las pizarras fueron el elemento pétreo principal para el techado, inicialmente como reemplazo de la escasa madera hacia mediados y fines del Siglo XIX, y luego en las épocas de guerra como sustitución del hierro galvanizado, que la había desplazado en uso, y cuya comercialización se vio afectada en esos años. Hoy se utilizan para recubrimiento de paredes y en pavimentación. Era extraída de canteras locales, aunque en un momento llegó a ser importada del Reino Unido.

***Fig. 8.** Uso de piedras en pavimentos, paredes y escaleras (a) Granitos rojo y gris verdoso en vereda del North Terrace, Adelaide (b) Mármol MacClesfield en escalinatas del City Hall, Adelaide (c) Caliza-creta en pared del Harbour Master's Reserve, Port Elliot (d) Ironstone en pared de bodega vinícola, Mac Laren Vale (e) Ironstone en pared de local comercial, Hahndorf.*

MUROS (DRY-STONE WALLS)

Presentes en numerosos predios rurales, las paredes o muros de piedra seca son un elemento característico del paisaje del SA. Datan de los primeros días de la colonización, de la década de 1850. Se hicieron necesarias cuando muchos de los pastores dejaron sus puestos para ir

a los yacimientos de oro victorianos y aun mucho más como resguardo de los pastos y aguas del ganado, tras las sequías de 1860 (*https://dswaa.org.au/dswaa-in-the-states/dswaa-in-sa-2/)*

Consisten en muros o estructuras de piedra construidas con piedras dispuestas manualmente, superpuestas y/o apiladas y entrelazadas unas a otras, que por gravedad se mantienen firmes y estables y en su lugar, sin usar otros elementos de mampostería como argamasas, morteros o cementos. Originalmente, pudieron llevar morteros de lodo, los cuales actualmente se encuentran ausentes por la meteorización. Su construcción en piedra fue propiciada por la ausencia de madera y abundancia de piedra en la región, además de la resistencia al fuego y al ataque de termitas que ésta ofrece.

Generalmente resultaban de la limpieza de predios agrícolas y su fin era divisorio, para delimitar tierras y campos, de protección, de refugio o de encerramiento. Consideradas por muchos como genuinas expresiones de arte rural, los cercados de piedra reflejaban en cierta forma el estatus económico del constructor o propietario del predio. Servían para cercar, dividir o parcelar tierras en la industria pastoril y agrícola (recinto y terrazas); para proteger los huertos del ganado doméstico o para confinar las existencias de pasto para racionamiento. También para soportar caminos, carreteras y vías férreas (Fig 9).

Tienen patrones distintivos y particulares, paredes de 1-1.5 metros de alto y llegan a alcanzar distancias tan largas como 65 km. Suelen contener piedras naturales tabulares o redondeadas, en bruto y sin tallar, desgastadas o no, y de tamaño múltiple (centimétrico a métrico).

Si bien esta particular artesanía surgió a mediados del siglo XIX, en los tiempos de la colonización, y las técnicas de construcción fueron adoptadas de los países europeos de donde provenían los constructores (Munday, 2012, 2014), se han encontrado evidencias, en ciertos lugares de Australia, de estructuras bajas y circulares de piedra generalmente seca, algunas techadas con ramas y corteza, construidas por los primeros aborígenes y previas al asentamiento europeo *(http://dswaa.org.au/dry-stone-walls/form-and-function/)*

Fig. 9. *Diferentes cercados de piedra-seca (dry stone walls) de Australia Meridional (a) New Honiton Road, Peninsula Yorke (b) Costa oeste, Eyre Peninsula, de Lago Hamilton a Elliston (vista aérea) (c) Cut Hill, Victor Harbor (fotos tomadas de https://dswaa.org.au/dswaa-in-the-states/dswaa-in-sa-2/)*

Otro tipo de cercados con piedras, son aquellos construidos con lajas de pizarra como los utilizados por la industria ovina de las colinas de Willinga. Servían de refugio y como corrales y bretes de las ovejas para la esquila. Las lajas, o recortes de ellas, eran clavadas en tierra en posición vertical y sostenidas precariamente con troncos de madera (Piddock, 2007), formando un cercado abierto o cerrado según lo dispuesto.

USOS DIVERSOS

Aparte del uso decorativo para exteriores e interiores y como piedra monumental, otras piedras ornamentales han sido utilizadas con fines artísticos en festivales y simposios de esculturas que se celebran recurrentemente en las colinas de Adelaide. El mármol está bien representado en sus variedades locales rosadas y grises de Paris Creek, MacClesfield y Mount Torrens; blancas de Angaston; gris de Kapunda; y gris oscuro-ocre de Sellick Hills. Noritas y gabros negros ordovícicos del Complejo Black Hill también han sido utilizados por algunos escultores en muchas de sus obras.

El basalto Wisanger, extraído en las canteras de la isla Kangaroo, fue empleado como piedra de lastre en los barcos que cubrían la ruta Isla Kangaroo-Puerto de Adelaide en los primeros tiempos de la colonización suraustraliana.

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

Además del uso doméstico de las pizarras para techado, revestimiento de paredes y pavimentado, se reporta de su utilización como postes de cercado de pasto de ganado vacuno y en la construcción de pequeñas represas locales para abastecimiento de agua (Piddock, 2007).

CONCLUSIONES

En Australia es notoria la tradición e interés de identificar y evaluar sistemáticamente las edificaciones y monumentos antiguos, instalaciones, sitios industriales, arqueológicos y paisajes desde la perspectiva cultural-antropológica, científica, estética, social e histórica, con claros fines de preservación y cuidado del patrimonio y medio ambiente.

Son innumerables los estudios y documentos que se poseen y se han realizado en ese sentido. Cada año emergen nuevos estudios y se suman más investigadores al respecto. Decenas de reportes, listas, registros, surveys y censos de sitios de interés, de significancia patrimonial, y de otros potenciales, promovidos por organismos privados o gubernamentales, son divulgados para ser conocidos y valorados por el público y autoridades australianas. En ellos se trata la identificación y documentación de lugares y áreas significantes a adoptar, las metodologías de evaluación y las recomendaciones de rescate, uso y conservación como principales objetivos.

Al igual que en el resto del país, en el Sur de Australia, los sitios de interés patrimonial están estrechamente vinculados a la colonización iniciada a mediados del siglo XIX y a la consolidación de estos asentamientos en la zona. Las edificaciones, facilidades y locales de servicios fueron construidos para satisfacer las necesidades de los pobladores locales asentados recientemente en las ciudades o en zonas rurales o mineras. Los materiales empleados para la construcción provenían principalmente de canteras locales, ricas en recursos pétreos y cuya explotación data de esos mismos tiempos.

Desde el punto de vista del patrimonio natural, el SA posee muchos elementos geológicos de valor científico, patrimonial y turístico a destacar. Varios de ellos también vinculados a las actividades sociales, industriales y mineras desarrolladas por los pioneros en época de la colonia.

REFERENCIAS

Amos, J., 2016, Rock shelter used by speedy early Australians https://www.bbc.com/news/science-environment-37854246.

Bender, C. and Piddock S., 2006, Quarries and quarrymen of the foothills, in book: Valleys of Stone. The Archaeology and History of Adelaide's Hills Face., Publisher: Kopi Books Editors: Pamela Smith, Donald Pate, Robert Martin Chapter 3, p. 29-55

Bender, C., & Piddock, S., 2006, Quarries and quarrymen of the foothills. In Valleys of Stone: The Archaeology and History of Adelaide's Hills Face (pp. 29-55). Kopi Books.

Bourman R.P., Murray-Wallace C.V. and Harvey N., 2016, Coastal Landscapes of South Australia, Published by University of Adelaide Press, 405 p. DOI: http://dx.doi.org/10.20851/coast-sa

Bourman R.P & Milnes A.R., 2016, The Geology & Landforms of the Inman River Catchment, Report to Inman River Catchment Landcare Group, Australian Government, National Landcare Programme, 237 p.

Cooper, B.J., 2011, The historic use and trading of building stone in South Australia, and support for the associated industry [online]. South Australian Geographical Journal, Vol. 110, 2011:5-29. https://search.informit.com.au/documentSummary;dn=259764808325442;res=IELAPA> ISSN: 1030-0481. [cited 29 Sep 20].

Cooper B.J. & Geological Society of Australia, South Australian Division, 2016, North Terrace Adelaide, Geological Trail, Second Edition, www.sa.gsa.org.au

Cooper B. J., 2019, Heritage stone in South Australia, Australian Journal of Earth Sciences, DOI: 10.1080/08120099.2018.1547323

DSWAA The Dry Stone Walls Association of Australia Inc. (https://dswaa.org.au/dswaa-in-the-states/dswaa-in-sa-2/) acceso 17/10/2023

Fairburn W.A., Olliver J.G., Preiss W.V. and White P., 2010, Geology of the McLaren Vale Wine Region, leaflet edited by the McLaren Vale Grape, Wine and Tourism Association and the Government of South Australia, Primary Industries and Resources SA (PIRSA)

Hiern, Noel, 2012, Victor Harbor Geological Trail, Field Guide Subcommittee, Geological Government of South Australia, Society of Australia (South Australian Division).

PIEDRAS NATURALES DE CONSTRUCCIÓN DEL SUR DE AUSTRALIA *(BUILDING STONES OF SOUTHERN AUSTRALIA)*

Jesús S. Porras M.[1]

[1] **Consultor Independiente**

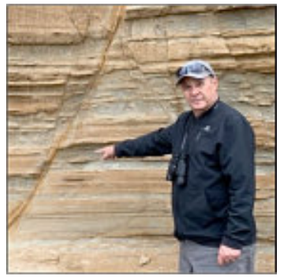
INTRODUCCIÓN

Las piedras naturales, en un concepto amplio, han sido empleadas por el hombre desde la antigüedad, desde hace más de 2,5 millones de años. Evidencias históricas indican su uso en la fabricación primitiva de armas, herramientas y utensilios de caza y pesca, hasta llegar a pasar a ser unos de los materiales más utilizados en la construcción de monumentos, murallas, viviendas y edificios, acueductos, esculturas, sarcófagos y templos. Incluyendo también la pavimentación y adoquinado de calles y veredas.

Civilizaciones dispersas por todo el mundo han utilizado las rocas o piedras naturales como elemento arquitectónico de cuantiosas obras, rudimentarias o majestuosas, con una finalidad u otra, pero en todas, han dejado expresada la cultura y tradiciones de sus pueblos.

Las obras en piedra han servido como indicadoras fortuitas de la memoria, evolución y modernidad de la raza humana y representan un patrimonio cultural cuando alcanzan un valor universal excepcional desde el punto de vista de la historia, del arte o de la ciencia.

Enclavada en la Región Asia-Pacífico de la Unesco, segunda zona con la mayor cantidad y porcentaje de obras patrimoniales culturales y naturales en el mundo, Australia, específicamente, la provincia del Sur de Australia, ofrece la oportunidad de apreciar la maravilla



Jesús S. Porras M. es ingeniero geólogo de la Universidad de Oriente con Maestría en Ciencias Geológicas de la Universidad Central de Venezuela. Posee más de 30 años de experiencia profesional tanto en proyectos de exploración como de desarrollo en reservorios convencionales y no convencionales en Venezuela, Colombia y Argentina.

Comenzó su carrera en 1983 como geólogo de operaciones y de producción para empresas estatales y privadas en diversos campos de la Cuenca Oriental de Venezuela. En 1995, se unió a Pérez Companc (luego Petrobras) donde ocupó varios cargos, desde geólogo senior del campo Oritupano-Leona, hasta Gerente Técnico y de Reservorios del campo La Concepción en la Cuenca de Maracaibo.

En 2008 es transferido a Argentina, al Grupo de Operaciones de Geología y Geofísica de Exploración de Petrobras Argentina (luego Pampa Energía) donde trabajó como Technical Advisor por espacio de 10 años, destacando una participación activa en proyectos de no convencionales en la Cuenca Neuquina.

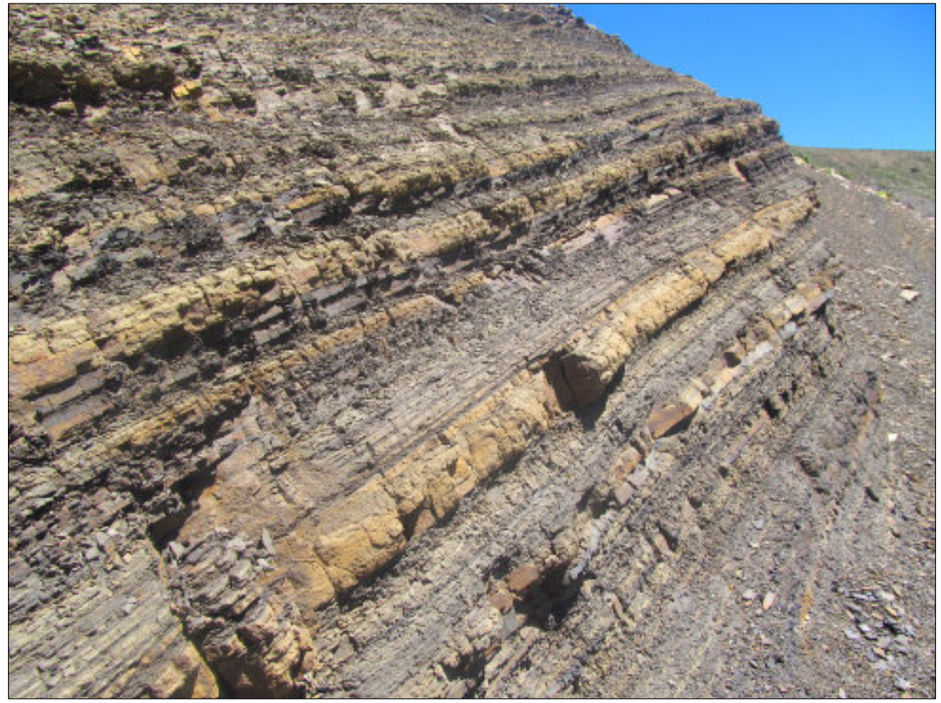
Actualmente se desempeña como Geólogo Consultor Senior liderando grupos de estudios integrados de yacimientos para operadoras nacionales e internacionales.

Su principal interés es la evaluación técnico-económica tanto de áreas exploratorias como de campos maduros, la caracterización de reservorios convencionales y no convencionales, y el monitoreo a proyectos exploratorios, de avanzada y desarrollo.

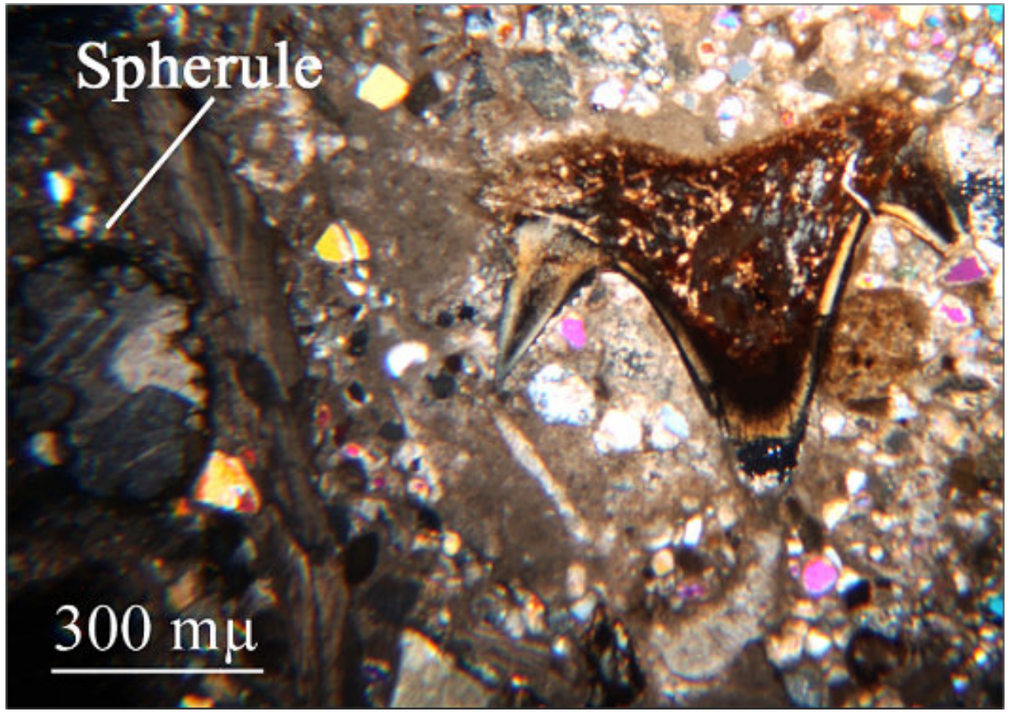
Es miembro activo de diversas asociaciones profesionales y autor o coautor de más de 40 trabajos presentados en diferentes congresos geológicos nacionales e internacionales.

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

Panoramic view of Lajas Formation at the Picún Leufú canyon, Neuquen Province, Argentina. The Jurassic Lajas Formation consists of low permeability fluvial-deltaic sands and is part of the Cuyo Group, one of the most important petroleum systems in the basin. Photos by **Jesus Porras**.

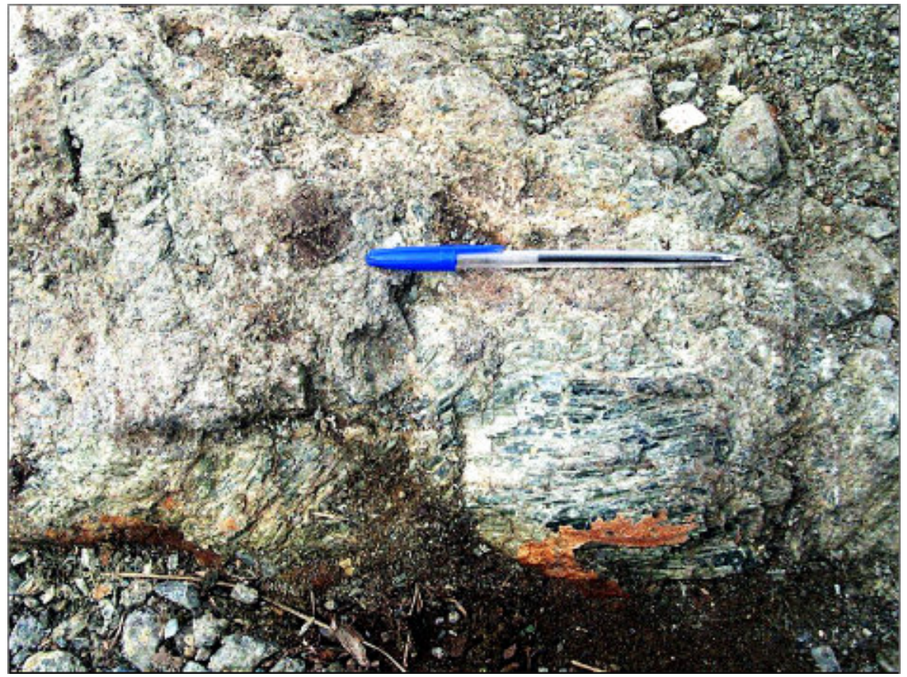


Cyclic bedding of the Los Molles Formation, Neuquen Basin, Argentina. Different composite beds including sandstone hyperpycnal flows, slump deposits, and turbidite facies are observed in the outcrop. The Los Molles Formation (Jurassic) is the second largest source rock in the basin.



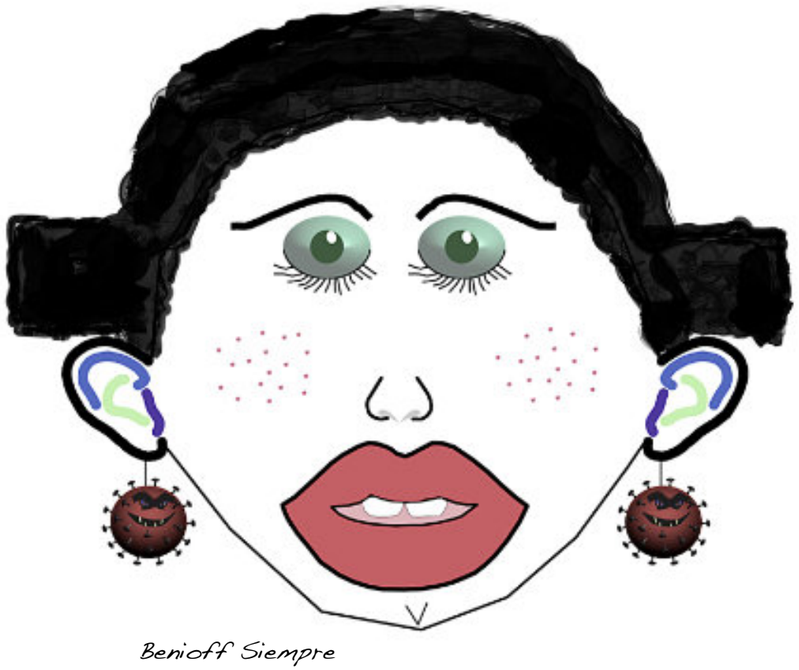
Diente de tiburón microscópico (en luz polarizada), transportado junto con el tsunami backwash de la Cuenca de La Popa, Nuevo León, México. A la izquierda se alcanza a ver parte de una esférula del impacto de Chicxulub. Fotomicrografías del **Dr. Francisco Javier Vega**, Instituto de Geología, UNAM.

Corte de cutícula (luz polarizada) de cangrejo en la tsunamita de la Cuenca de La Popa, Nuevo León, México.



Pequeño bloque de cristales de actinolita conservado en el seno de una serpentinita listwanitica. Cinturón de Serpentinitas de Cuba Central. Al norte de la Ciudad de San Clara. Las listwanitas en esta región forman parte de yacimientos auríferos con oro finamente disperso en vetillas en la serpentinita (Fotografías de **Luís Bernal**. Instituto de Geología de Cuba).

Lavas y basaltos en el Río Hireguenoso, del complejo ofiolitico del sur de la Península de Azuero, al sur de la Falla Torio. República de Panamá.



Benioff Siempre

A nosotras las 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

Geología arqueológica: Potencial estudio en la Zona de Monumentos Arqueológicos de Huapalcalco en Tulancingo De Bravo, Hidalgo, México.

Ing. Laura Itzel González León
Colaboradora de la Revista

Nuestro planeta es un sistema dinámico en busca del equilibrio a través de procesos endógenos y exógenos que pueden tener una duración tan fugaz como persistente durante miles de millones de años. Tal como lo expresa Ellen Prager (2001), en épocas remotas, nuestros antepasados intentaban explicar los fenómenos que ocurrían a su alrededor a través de mitos relacionados con dioses y otras formas de cultura esotérica. Con el tiempo, esta curiosidad innata por entender el entorno dio lugar al nacimiento de las "Ciencias de la Tierra" con el objeto de estudiar el origen y evolución de los eventos que han afectado a dicho astro desde su formación, hace aproximadamente 4570 millones de años, y la interacción de éste con la porción biótica que se desarrolla en su superficie. En épocas más recientes, la Arqueología vio la luz como ciencia al intentar describir y/o interpretar la evolución de las civilizaciones a través del estudio de sus restos materiales. Esto último nos suena familiar a los geólogos, ¿verdad? Pues bien, tanto la Geología como la Arqueología tienen en común esta curiosidad por entender el pasado; pero no piensen que esta conexión es un descubrimiento reciente, por el contrario, arqueólogos del siglo XVIII como los daneses Worsaae, Forchhammer o Steenstrup ya utilizaban la interpretación de paleoambientes para explicar y comprender como las antiguas poblaciones se relacionaban con el medio. En 1982, Karl Butzer fue el primero en definir a la "Geoarqueología" como una investigación arqueológica usando métodos y conceptos de las ciencias de la Tierra; pero ojo, porque este término no debe ser confundido con el aquí considerado, la "Geología Arqueológica" que va más enfocada a aquellas investigaciones de naturaleza geológica – como la cartografía enfocada a exploración de yacimientos - que puedan aportar información a algún trabajo de índole arqueológica (Acevedo, 2014).

Conociendo este término, nos encauzaremos a la recientemente - 5 de junio de 2023 – decretada "Zona de Monumentos Arqueológicos de Huapalcalco", ubicada en el municipio de Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México (Figura 1) para ejemplificar cómo la Geología y Geomorfología de una zona gobiernan, en cierta medida,

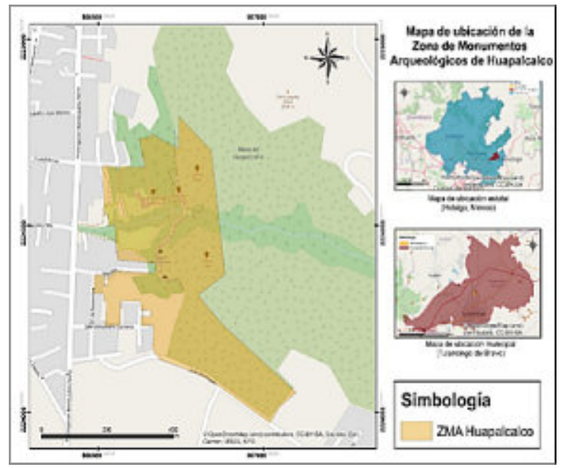


Figura 1. Localización de la ZMA de Huapalcalco.

los asentamientos humanos. Huapalcalco proviene del náhuatl huapalli, que significa “casa de madera” (INAH, 2023). Este nombre corresponde al sitio arqueológico del llamado periodo “Tulancingo” que abarca de los 14000 a los 7000 a. C., el cual se caracteriza por la presencia de asentamientos prehistóricos precerámicos en sus cuevas. En esta zona arqueológica -conformada por monumentos piramidales, una plaza y un altar- es notable la influencia de las culturas teotihuacana y totonaca (SIC, 2022).

Esta zona arqueológica, como la gran mayoría de ellas, está estrechamente relacionada con la Geología y geomorfología regional: La ZMA de Huapalcalco sigue una dirección N-S con respecto a la ladera oeste de los cerros El Huiztli y La Mesa (constituidos por tobas riolítica-dacítica del Plioceno), mismos que limitan el sitio al este; al oeste y norte, la ZMA colinda con el Valle de Tulancingo (cubierto por sedimento aluvial del Cuaternario) y al sur con el yacimiento de obsidiana El Pizarrín (SIC, 2022) (Figura 2).

Según datos del INEGI (2001), la región en la que se encuentra la ZMA de Huapalcalco pertenece a la provincia fisiográfica conocida como Eje Volcánico Transversal Mexicano, subprovincia de Lagos y volcanes de Anáhuac dentro del sistema de topoformas de valles y laderas tendidas con una altitud oscilante entre 2150 y 2300 m s.n.m, al oeste de la ZMA predominan las topoformas de sierra volcánica.

La mayor parte de este territorio fue originado por procesos endógenos y posee una superficie semiplana con pendientes de 8° que son interceptadas por cerros y barrancas; tal es el caso de los mencionados cerros de la Mesa y el Huiztli, cuya intersección forma una pequeña cascada en las épocas de lluvia y una serie de cañadas. Los taludes de estas topoformas, con escasa vegetación, presentan pendientes mayores, que pueden ir de los 30° a los 85°. Sobre las paredes de estos cerros se han hallado pinturas rupestres y ocupaciones precerámicas en abrigos rocosos. En la parte central de la ZMA, muy cerca del

Figura 2. Vista panorámica hacie el oeste de la ZMA de Huapalcalco. Al centro, el conjunto El Huiztli - La Mesa.

centro cívico-ceremonial, destaca la cueva del Tecolote (figura 3), en la que se han hallado restos óseos; además de algunas “habitaciones” al borde del acantilado, evidenciando el importante papel que jugaron estas geoformas en el establecimiento y desarrollo de grupos humanos de la región. Las formas del relieve mencionadas son producto de la erosión del macizo rocoso; mismo proceso que ha alcanzado a los vestigios arqueológicos que resisten ante el imparable curso de los agentes erosivos (INAH, 2021; Olguín, 2006).

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

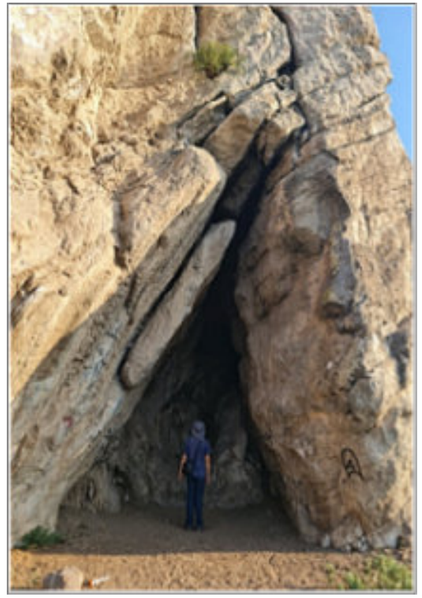


Figura 3. Cueva del Tecolote.

Las rocas ígneas de la zona son producto del vulcanismo del Cenozoico cuyos comienzos se remontan al Oligoceno (33.9 m.a.) con tres episodios magmáticos diferenciados y superpuestos con múltiples conos volcánicos asociados a fallas regionales, característicos de la parte oriental del arco volcánico conocido como Faja Volcánica Transversal Mexicana, producto de la subducción de la placa tectónica de Cocos bajo la placa del Pacífico. Las capas anteriores sobreyacen a rocas sedimentarias del Cretácico, correlacionables con la Fm. Soyatal (KtcLu-Cz), constituida por caliza en estratos delgados y laminaciones finas de lutitas calcáreas. Los sedimentos del cuaternario rellenaron las cuencas de origen tectónico (fosas) originadas por fallas normales; la mayor parte de estos lineamientos poseen una orientación NE y NW (Solana, 2010; Cruz, et al., 2020). El yacimiento de obsidiana el Pizarrín, constituido por brechas volcánicas con intercalaciones de lentes de obsidiana del Neógeno (23 millones de años) se localiza 6 km al sureste de la ZMA de Huapalcalco; la cercanía entre estos sitios fue relevante para la extracción de materias primas para la civilización asentada en la ZMA de la cual se reconocen vestigios líticos característicos de la región (Olguín, 2006).

Las paredes de los cerros circundantes de la ZMA poseen alturas de entre 15 y 40 metros, la escases de vegetación en ellas hacen posible visualizar la roca que constituye este afloramiento; una ignimbrita de composición riolítica con matriz de grano fino de tonalidades que van del gris al crema. Dicha unidad se encuentra afectada por disyunción columnar, expresada como diaclasas perpendiculares a la dirección del flujo producto de un rápido enfriamiento de la lava (Figura 4). Esta unidad forma parte del complejo volcánico “El Yolo”, al sur de “El Napateco”, ambos complejos asociados a cuerpos domícos de composición ácida a intermedia. El desnivel generado entre estas elevaciones riolíticas y el valle que domina el paisaje, da lugar a una cuenca endorreica de drenaje tipo dendrítico con corrientes de agua intermitentes; el principal flujo intermitente de la ZMA la atraviesa en el centro con dirección E-W, mientras que la corriente perenne del río Tulancingo sigue su curso N-S a menos de 1 km al Oeste. La presencia de estas corrientes y la existencia de un acuífero, habla de la abundancia de agua a nivel regional que sin duda alguna fue imprescindible para el establecimiento de los antiguos pobladores del Valle.

Figura 4. Ignimbritas con disyunción columnar y flujos piroclásticos no consolidados en Huapalcalco.

Aunque el descubrimiento y desentierro de los vestigios de la Zona de Monumentos Arqueológicos de Huapalcalco dio comienzo en la década de 1960, los trabajos de investigación y preservación del sitio persisten; aún es necesaria la colaboración multidisciplinaria de profesionales que permitan desentrañar la evolución de esta zona y la historia de la sociedad que hizo de este valle y estos acantilados su hogar.

Referencias:

Acevedo, B. (2014). Geoarqueología: interpretaciones interdisciplinarias para la investigación arqueológica. Rev. Geol. América Central, Número Especial 2014: 30 Aniversario: 123-131, DOI: 10.15517/rgac.v0i0.16574

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2010). Compendio de Información Geográfica: Tulancingo de Bravo, Hidalgo. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/13/13077.pdf

Instituto Nacional de Antropología e Historia [INAH]. (2023). Lugares INAH: Huapalcalco. Recuperado el 8 de noviembre de 2023 de https://lugares.inah.gob.mx/es/zonas-arqueologicas/zonas/1734-huapalcalco.html?lugar_id=1734

Prager, E. (2001). La furia de nuestra madre Tierra: Ciencia y naturaleza de los terremotos, volcanes y tsunamis. Mc Graw Hill.

Olguín, E. (2006). Los entierros humanos prehispánicos de Huapalcalco. En Instituto de Investigaciones Antropológicas (Ed.), Estudios de Cultura Otopame (pp. 119-140). Universidad Nacional Autónoma de México

Sistema de Información Cultural. (3 de octubre de 2022). Zonas arqueológicas: Huapalcalco. Recuperado el 8 de noviembre de 2023 de https://sic.cultura.gob.mx/ficha.php?table=zona_arqueologica&table_id=53

Solana, J. (2010). Geología Regional y Petrogénesis Del Vulcanismo Silícico De La Región Circundante A La Ciudad De Tulancingo, Estado De Hidalgo. [Tesis de Maestría] Instituto Politécnico Nacional.

Laura Itzel González León / Ingeniera geóloga ambiental

Profesionista inclinada a la Geología aplicada a obras de ingeniería civil y a riesgos geológicos desencadenados por fenómenos antrópicos y naturales. Experiencia en levantamientos geológico-estructurales, logueo geológico, instrumentación geotécnica, cartografía de riesgos, supervisión de perforaciones y difusión de geopatrimonio.

gleon.laura@gmail.com

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

Exploración en Geotermia: Fases de conocimiento que sigue un geólogo para aprovechar el recurso.

Eduardo González Partida*, Alejandro Carrillo-Chávez, Sumit Mishra y Joseph Madondo

Laboratorio de Yacimientos; Centro de Geociencias; UNAM, Campus Juriquilla, Blvd. Juriquilla 3001

*Autor de Correspondencia: Correo Electrónico: egp@geociencias.unam.mx

En general, "*la palabra geotermia se refiere a la energía térmica natural existente en el interior de la Tierra*". Así, el calor geotérmico es producido constantemente por la Tierra a partir de la descomposición del material radioactivo en su núcleo. La energía geotérmica es, en su más amplio sentido, la energía calorífica que la tierra transmite desde sus capas internas hacia la parte más externa de la corteza terrestre, pero se denomina "*recurso geotérmico*" a la porción de calor desprendido desde el interior de la tierra que puede ser aprovechado por el hombre en condiciones técnicas y económicas. las condiciones clásicas para la existencia de un yacimiento geotérmico son la presencia de (ver figura 1): 1º). - Un foco de calor activo; 2º). - Un material permeable (el almacén geotérmico), con su cima impermeable por el que circula un fluido y se acumula (en general agua de origen meteórica), en fase líquida o vapor; 3º). - Una cobertura o sello que impida (o que al menos limite) el escape del fluido. La manifestación más espectacular del calor interno terráqueo, se observa mediante la actividad de los volcanes y calderas volcánicas recientes principalmente. Pero otra forma más sutil y permanente ocurre a través del flujo térmico conductivo, medible con precisión en diferentes regiones de la superficie terrestre a travez de la circulación de aguas profundas en grandes sistemas de fallas geológicas que no tienen asociada una camara magmática. La energía geotérmica que utilizamos hoy día, proviene del calor transportado por agua subterránea, calentada por camaras magmáticas someras situadas en sitios relacionados normalmente a zonas de contacto entre placas tectónicas, aunque algunos sistemas geotérmicos igualmente se localizan es sistemas de fallas transformantes. Esos lugares privilegiados se localizan en la corteza terrestre superior, dentro de un espesor en el rango de 1.5 a 3.5 km de profundidad. Más abajo de los 4 Km la temperatura es obviamente superior é infinita, pero no es economicamente explotable: Tres mil metros es el rango factible más profundo para la geotermia convencional de acuerdo a la actual tecnología.

En efecto, teóricamente las zonas afectadas por fenómenos volcánicos recientes, son localidades geotérmicas potenciales. Sin embargo, las áreas de mayor interés, son aquellas donde un gran volumen de magma (llamado camaras magmáticas) se encuentra a relativamente a poca profundidad (entre 7 Km a 8 Km), y son regiones muy delimitadas y especîales del globo tererestre, en estos ambitos geológicos el gradiente térmico es muy superior al gradiente normal (y ronda entre 100º/Km a 150º/Km). Estas regiones se sitúan sobre áreas geológicamente activas de la corteza terrestre, por ejemplo, en México se localizan preferencialmente sobre lo que se conoce como el Eje Neovolcánico Transmexicano. A la fecha se han identificado cinco tipos de sistemas geotérmicos: (1) hidrotermales; (2) roca seca caliente; (3) geopresurizados; (4) marinos y (5) magmáticos. El primero es el más explotado.

¿Qué hacen los geólogos para encontrar el recurso?.

Una gran diferencia entre la energîa geotérmica y otras energîas renovables es que la geotérmia requiere una estrategia de búsqueda que se debe al carácter de recurso que, como otros recursos energéticos, posee, si bien con la caracterîstica de la renovabilidad que los otros recursos no poseen. La localización y evaluación de yacimientos geotérmicos requiere de la aplicación de diversas técnicas, gran parte de ellas adaptadas de la investigación en los hidrocarburos, aunque también de la investigación hidrogeológica y de recursos minerales. Un proyecto de energîa geotérmica se puede dividir en una serie de fases de desarrollo antes de que inicie la fase real de operación/producción/mantenimiento y que son: inspección preliminar del sitio geológico, exploración (pre-factivilidad), perforación de prueba, revisión y planificación del proyecto, desarrollo del campo, construcción, arranque y puesta en servicio de la planta productura de energía eléctrica. El desarrollo de un proyecto tîpico geotérmico para la industria de servicios públicos usualmente toma entre 5 y 10 años, dependiendo de las condiciones geológicas del paîs, la información disponible sobre el recurso, el clima institucional y normativo (leyes) y otros factores ambientales, sociales, pólitico y económicos. En general

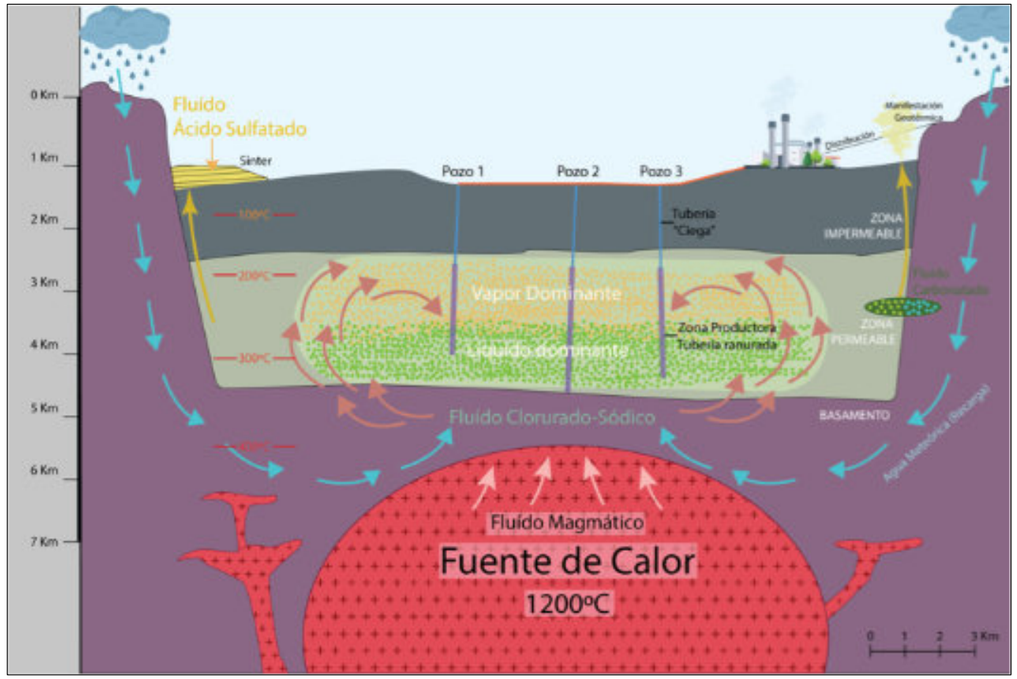


Figura 1.- Corte esquemático que muestra los elementos geológicos fundamentales necesarios para que existan las condiciones necesarias para la existencia de un recurso geotérmico de alta entalpia para la producciòn de electricidad.

las fases que se siguen estan en el siguiente orden de ejecución: exploración, desarrollo, producción; Si la exploración tiene éxito, se realiza una perforación de prueba para comprovar le existencia del recurso (usualmente esto se ven como una las partes de mayor riesgo del desarrollo de proyectos geotérmicos), si el pozo resulta caliente (exitoso) se procede con la continuación de las siguientes fases: Equilibrar la probabilidad de éxito contra los costos de la incapacidad de alcanzar el mejor resultado esperado se manejan con técnicas formales como el uso de un árbol de decisiones. La primera parte del desarrollo del proyecto (a la que podrîa llamársele en términos generales la fase de exploración) tiene como objetivo confirmar la existencia, o ausencia, de un yacimiento geotérmico adecuado para la generación de electricidad; usualmente se ve como la parte más riesgosa del desarrollo del proyecto. Si el resultado de las primeras fases, incluidas las perforaciones de prueba, es positivo y se confirma el potencial geotérmico (fase de pre-factivilidad), se inicia la fase de diseño real del proyecto de electricidad, lo que incluye el estudio de factibilidad, la ingenierîa, perforación de los pozos geotérmicos de producción (desarrollo), la construcción de tuberîas, la construcción de la central eléctrica y la conexión de la central a la red eléctrica.

La fase de exploración, incluye un primer reconocimiento de un área geotérmica con base en un estudio a nivel nacional o regional. Si no hay estudios de planes maestros geotérmicos disponibles, los desarrolladores usualmente realizan sus propios estudios basándose en literatura y datos disponibles, o ejecutan su propio trabajo de reconocimiento para seleccionar áreas en las que solicitarán concesiones de exploración. Una vez que se otorga la concesión o se selecciona el campo, se inicia un estudio de prefactibilidad a fin de explorar la probabilidad de la existencia de un yacimiento geotérmico comercial y para obtener un primer cálculo estimado del potencial explotable del mismo, esto empieza tan pronto como el desarrollador del proyecto está satisfecho con los resultados de la exploración regional y ha cumplido con los requisitos legales y de impacto ambiental. Esta fase puede tomar hasta dos años, dependiendo del tamaño y la accesibilidad del campo geotérmico y los datos ya disponibles. Al inicio de esta fase, se produce un plan de

exploración que puede incluir algunos o todos de los siguientes métodos de exploración:

- Exploración geoquimica: Se toman muestras de las fuentes termales existentes y se analizan. El resultados permiten hacer cálculos estimados con respecto a la temperatura del fluido y la profundidad del yacimiento y un cálculo estimado del origen y la recarga del fluido dentro del yacimiento geotérmico, indicando asî el grado de permeabilidad de la estructura de roca del yacimiento (zona permeable).
- Exploración geológica (la más importante): se toman muestras de rocas, sedimentos y lava ya sea de la superficie u obtenerse mediante sondeo con testigos para exponer el tipo de fuente de calor y estimar la ubicación y el potencial geotérmico: la cartografía geológica, la tectónica y vulcanología juegan su principal papel aquí. Una vez realizada la selección del área o áreas de mayor interés, se deberán proporcionar las recomendaciones para los estudios de la fase de pre-factibilidad, señalando en detalle los trabajos que se tendrán que realizar en lo que respecta a geologîa, geoquîmica, geofisica, hidrogeologîa, impacto ambiental y algunas perforaciones someras (entre 500 m a 1000 m). Así los objetivos generales del estudio de pre-factibilidad de un área geotérmica, están dirigidos a: Optimizar el modelo preliminar del área geotérmica investigada, el cual deberá aportar información sobre los siguientes aspectos:

-Naturaleza, ubicación y dimensión estimada de la fuente de calor.

-Presencia y caracterîsticas de la cobertura o capa sello.

-Extensión del área y profundidad del posible yacimiento.

-Modelo preliminar del sistema de circulación hîdrica, el cual incluirá un balance hidrológico preliminar, zonas de recarga y definición de la cuenca subterránea.

- Identificación y caracterización del eventual yacimiento con base en la información de los estudios de superficie, buscando describir su litologîa, y estimando su temperatura y las caracterîsticas fisicoquîmicas del fluido geotérmico.

Si en esta primer etapa se tiene éxito, se prosigue con el desarrollo del campo, esta fase incluye la evaluación de todos los datos existentes por parte del desarrollador, incluidos los datos nuevos de las fases de exploración. Los resultados de las perforaciones de prueba le permitirán al desarrollador del proyecto terminar su estudio de factibilidad, incluidos todos los cálculos nancieros; la ingenierîa conceptual de todos los componentes a construir, y el programa de perforación. En esta fase, el desarrollador del proyecto determina el tamaño de proyecto más ventajoso a nivel financiero y las inversiones necesarias, dado que la energîa geotérmica es diferente de otras tecnologîas de generación de energîa, como carbón vegetal, gas o hidroenergîa, porque no se puede hacer un estudio de factibilidad de producción de electricidad hasta que se haya demostrado el potencial del yacimiento geotérmico luego de hacer las perforaciones, y porque el suministro de combustible (energîa geotérmica) está intrînsecamente relacionado al desarrollo de una central eléctrica. Principalmente desarrollar un campo, consiste en perforar pozos de producción y reinyección, y construir parcialmente la tuberîa para conectar los pozos a la planta productora. Dependiendo del programa de perforación, se requieren una o más plataformas de perforación para perforar los pozos de producción necesarios para alcanzar la capacidad proyectada de la central eléctrica. Una vez instalada la planta, la electricidad generada se envîa a una subestación y desde ahî a la red de transmisión.

Como fuente de energîa primaria, la geotermia no es solamente una esperanza para el futuro, ya que desde hace décadas tiene usos y propósitos múltiples: genera electricidad, enfrîa o calienta el espacio habitable, produce diversas materias primas, participa en agricultura, oricultura, hidroponîa, acuacultura, en procesos industriales y de manufactura. El uso de los recursos geotérmicos se ve fuertemente influido por la naturaleza del sistema que los produce. En términos generales, los recursos de los sistemas volcánicos calientes se utilizan principalmente para generación de energîa eléctrica, en tanto que los recursos de sistemas de temperatura más bajos se utilizan principalmente para calefacción de espacios y otros usos directos. Se debe considerar una serie de factores para determinar el uso óptimo de un recurso geotérmico, estos incluyen el tipo (agua o vapor caliente), velocidad de flujo, temperatura, composición quîmica y presión del fluido geotérmico, asî como la profundidad del yacimiento geotérmico. En efecto, los recursos geotérmicos no solamente son susceptibles de ser aprovechados en la generación de electricidad, sino también en una gran variedad de actividades agrupadas bajo el nombre genérico de usos directos, entre los mismos se pueden mencionar los siguientes y los paises que más los aprovechan: calefacción (Islandia, Estados Unidos, Nueva Zelanda),

procesado de alimentos (Estados Unidos y Filipinas), lavado y secado de lana (China y Nueva Zelanda), fermentación (Japón), industria papelera (Australia, China y Nueva Zelanda), producción de ácido sulfúrico (Nueva Zelanda), manufactura de cemento (Islandia y China), teñido de telas (Japón), en México aun no existe una regulación legal clara que permita su plena utilizacion, aun cuando somos uno de los paises con el cuarto potencial más grande en cuanto a este recurso se refiere. Actualmente un grupo de investigadores de la UNAM, con el proyecto CONAHCyT# CF-2023-G-490 denominado "Determinación Geoquimiométrica de Tierras Raras en Matrices Geotérmicas de Interacción Roca-Fluido para la Evaluación Teórica-Experimental de Estructuras Moleculares y Patrones Multivariados de Fraccionamiento y Movilidad" (a quien se agradece), se esta investigando sobre estos temas, para apoyar a la industria productiva (CFE) del país.

Eduardo González Partida Se graduo de Ingeniero Geólogo (UNAM) en 1977 y en 1979 se graduado de Ingeniero Experto en Exploración y Valorización de Recursos Naturales en la Escuela Nacional Superior de Geología de Nancy, Francia, obteniendo posteriormente, los grados de Doctor Ingeniero en Materias Primas Minerales y Energéticos en 1981 y Doctor de Estado en Ciencias en 1985. Actualmente tiene 41 años de antigüedad docente/académico en la UNAM, es nivel III en el SNI. En 2020-21 fue Co-fundador y nombrado Rector de la Universidad Polotécnico de Nochixtlan Abraham Castellano.En su aportación científica y tecnológica cuenta con 350 productos. En la formación de recursos humanos ha dirigido 86 tesis, de las cuales 58 son de Licenciatura, 21 de Maestría y 7 de doctorado. Sus campos de acción son los yacimientos minerales y energéticos: geotérmia, carbón, hidrocarburos.

Dr. Alejandro Carrillo-Chávez. Ingeniero Geólogo del Instituto Politécnico Nacional, Maestría en La Universidad de Cincinnati, y Doctorado en la Universidad de Wyoming. Inicio su trabajo en el Instituto Mexicano del Petroleo y después inicio vida académica en la Universidad Autónoma de Baja California Sur. En 1998 ingreso al a Unidad Investigación en Ciencias de la Tierra (UNICIT) UNAM, Campus Juriquilla (actual Centro de Geociencias). Su trabajo inicial fue sobre petrografía ígnea y metamórfica. En academia inicio dando clases de petrología ígnea y metamórfica. Actualmente es Tutor del Posgrado en Ciencias de la Tierra UNAM. Su maestría fue sobre yacimientos minerales metálicos y su doctorado sobre geoquímica ambiental. Actualmente sus líneas de investigación son: Metales Pesados en Medio Ambiente, Hidrogeoquímica, Geoquímica Isotópica de Metales Pesados e Hidrogeoquímica de Salmueras Petroleras. A la fecha es responsable de un Proyecto UNAM sobre Concentraciones de metales e isotopía estable de Zn y Hg en agua de lluvia, nieve y núcleos de hielo en glaciares mexicanos. ambiente@geociencias.unam.mx

Dr. Sumit Mishra actualmente trabaja como investigador postdoctoral en el Centro de Geociencias de la UNAM. Su área de especialización son la geoquímica de rocas ígneas, la geocronología y la geología isotópica. Actualmente se concentra en la diagénesis del carbón de la Cuenca de Sabinas y depósitos de Manganeso en Autlán.

El **Dr. Joseph Madondo** es investigador postdoctoral en el Centro de Geociencias de la UNAM. Se graduó como doctor en Ciencias de la Tierra en la UNAM. Su área de especialización es la metalogénesis de los depósitos de manganeso en Mexico. Actualmente está trabajando en los depósitos de Manganeso en Autlán.

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

Hard-linking the Chiapas Massif northeastward translation with deformation in the Sureste Basin

Enrique Novoa, Independent Geoscientist
novoa.enrique@gmail.com

Abstract

I discuss a tectonic model that hard-links displacement of the Chiapas Massif with deformation within the Sureste Basin from Mid Miocene to the Present. This model integrates observations from diverse data sets: shortening estimations, published structural element maps, GPS, geothermal, paleomagnetic, and borehole breakout data.

Geothermal data suggests that the uplift occurred in the Chiapas Massif during the Eocene and Mid Miocene. Paleomagnetic data in Early to Middle Eocene sediments show that the Massif has rotated 20° clockwise. GPS data show that currently, Chiapas is moving to the northeast at an average speed of about 10 mm/year.

In addition, published structural restoration work on regional cross-sections across the fold belt suggests that it accommodates 50 km of shortening in the central area. Shortening possibly increases to 108 km towards the northwest. The shortening increment along the strike is consistent with a clockwise rotation of the Massif.

The ongoing deformation in the Sureste Basin may be hard-linked with the displacement of the Chiapas Massif. The Catamaco fold belt and contractional trend in the Akal High develop during the uplift and northeast displacement of the Massif in the Mid Miocene. The Chiapanecan shortening propagates in the Sureste Basin as the Massif moves northeastward from the Late Miocene to the Present. During that time, the Comacalco and Pescadores basins developed as pull-apart basins related to a NE striking right-lateral shear zone. Shortening in the Sureste Basin seems to increase from east to west; therefore, the shallow allochthonous salt and post-salt section in relatively shallow water rotates anti-clockwise.

Introduction

The northwest-trending Chiapas fold belt is located in southern Mexico and extends into northern Guatemala. It develops due to the displacement of the Chiapas Massif towards the northeast (Figure 1).

I have compiled observations from other researchers that help constrain and quantify the kinematics of the Massif:

- Geothermal data show that the Massif cooled off: at 40 - 25 My and 14 - 7 My, Villagomez and Pindell (2020).
- Early Eocene to Middle Eocene sediments in the Chiapas fold belt records a 20° clockwise rotation of the Massif, Molina-Garza et al. (2020).
- Graham et al. (2021) report a 50 km of shortening on a cross-section across the central part of the fold belt.
- Mandujano-Velasquez & Keppie (2009) estimate that the Chiapas fold belt may accommodate 106 km of shortening on a cross-section from Cantarell to Chiapas Massif, located in the north-western part of the fold belt.
- Kazachkina et al. (2020) publish GPS data that show the Chiapas Massif moving to the northeast (Figure 1).
- CNH (2014 and 2015) released a set of structural element maps of the Sureste Basin and adjacent onshore areas. We combined them with a Geological Map of Mexico (Ortega-Gutierrez et al. 1992) to help illustrate the structural trends from the Massif to Deepwater Sureste Basin (Figure 1).
- Suter (1991) compiles and interprets borehole breakout data in southern Mexico: orientation of minimum horizontal stress component (SHmin) in the Pescadores and Comacalco basin area is NE-SW. On the other hand, the maximum horizontal stress component (SHmax) has a similar direction in the Cantarell-Hux area and the onshore Chiapas fold belt (Figure 1).
- Henza & Novoa (1919) observe on seismic data that multiple deep water thrust faults show growth during the Paleocene and Eocene, and many of these faults get reactivated during the Miocene. These two phases of fault growth are coeval with the Chiapas Massif uplifts.

A common model for the ongoing deformation in the Sureste Basin is gravity/differential loading-driven deformation, similar to the northern margin of the Gulf of Mexico. In this model, the Comacalco, Pescadores, and Macuspana basins are the up-dip extensional component of the system, and the deep-water contractional salt-involved features are the downdip component. The gravity/differential loading model suggests that the SHmin orientation in the Pescadores and Comacalco basin area is NW-SE. However, the borehole breakout data do not support this. Instead, the data show that SHmin has a NE-SW direction. Moreover, the Comacalco and Mascupana bounding faults strike parallel to the GPS displacement vector orientation, indicating that they may be accommodating shear (Figure 1).

In contrast, I argue that the Mid-Miocene to Present deformation in the Sureste Basin may be hard-linked with

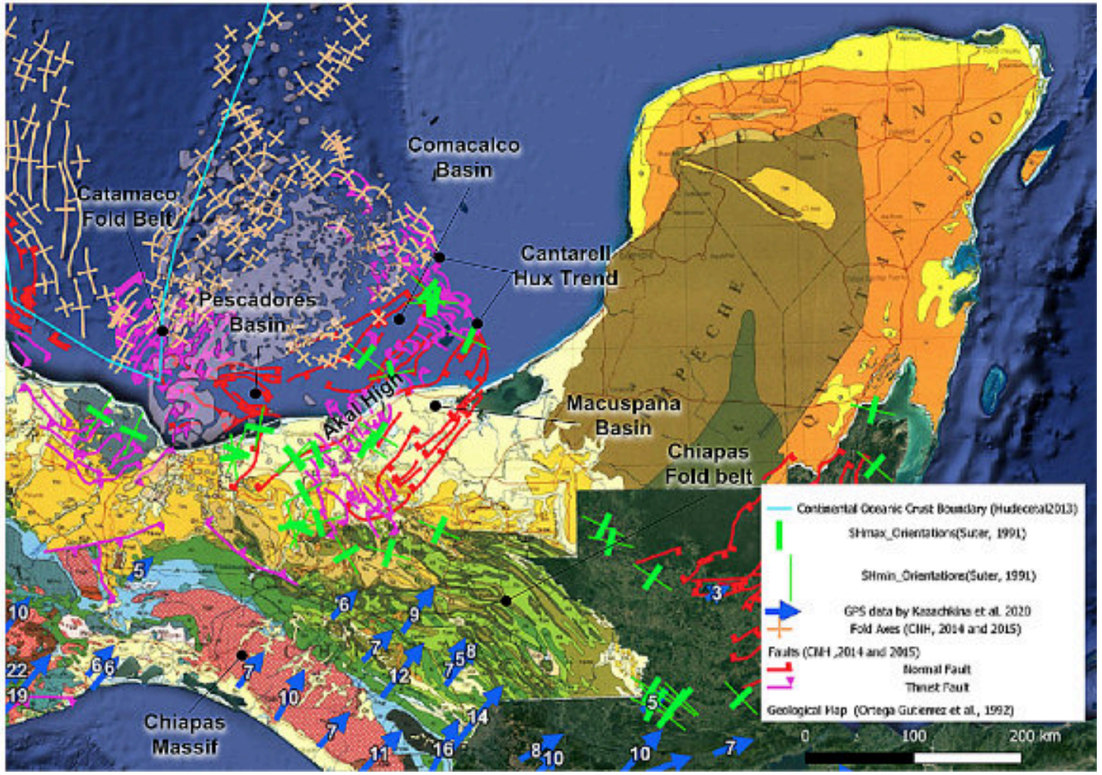


Figure 1. Compilation of regional data; The geological map in the background by Ortega-Gutierrez et al. (1992); Structural element map in the Sureste Basin by CNH(2014, 2015); GPS data (in mm/year) with respect to North America by Kazachina et al., (2020); Borehole-breakout data by Suter (1991) and Lund-Snee & Zoback (2020). Notice that the GPS arrows are parallel to the Mascupana and Comacalco basins. It suggests they may be pull-apart basins related to NE striking shear zones. The borehole-breakout data show contraction in the Chiapas fold belt, Akal High, and Cantarell-Hux trend. These data also suggest that the Pescadores Basin is a pull-apart basin related to a right-lateral shear zone (Figure 2).

the northeast displacement of the Chiapas Massif. Although, a minor component of gravity-driven deformation may exist.

The Chiapas Massif driven tectonic model

The Chiapas Massif arose between 14 and 7 My ago (Villagomez and Pindell, 2020) and moved to the northeast. This deformation caused shortening to be translated along the Jurassic Louann salt, creating the Onshore Chiapas fold belt. A similar trend also developed in Akal High. The northeast tip of the High contains the shallow water Cantarell-Hux trend in the Bay of Campeche (Mandujano-Velasquez & Keppie, 2009). The transpressional Catamaco fold belt also formed at the same time.

The work of Molina-Garza et al. (2020) indicates that the Massif rotates 20°clockwise. Thus, the northwest side of the fold belt should accommodate more shortening than the southwest. Mandujano-Velasquez and Keppie (2009) estimate that the Chiapas fold belt accommodates 106 km of shortening on a cross-section from Cantarell to Chiapas Massif. Graham et al. (2021) report a shortening of 50 km on a cross-section in the central part of the fold belt.

GPS data show that the Massif moves at the Present (Kazachkina et al., 2020). The Macuspana and Comacalco basins are oriented parallel to the GPS displacement vectors. Borehole breakouts in the onshore side of the Comacalco basin (Suter, 1991) confirm that this basin is part of a right-lateral shear zone. The ellipse of deformation predicts the orientation of the Pescadores basin bounding normal faults; and the orientation of

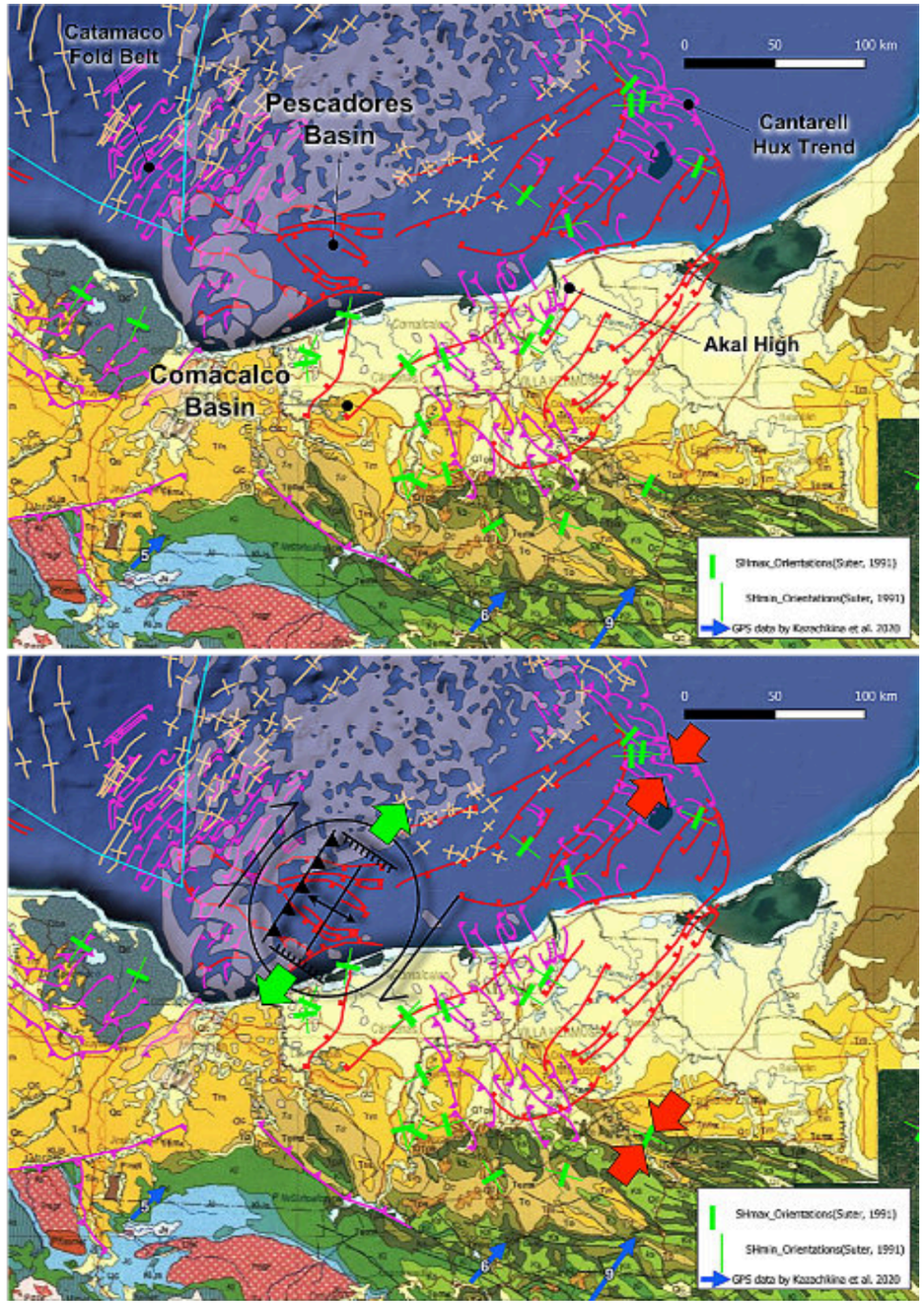


Figure 2a,b: Average SHmax orientation (red arrows) suggest that the Cantarell-Hux trend, Akal High, and the frontal part of the Chiapas fold belt are in NE-SW contraction (Suter, 1991). Moreover, average SHmin orientation (green arrows) in Salinas del Istmo indicate NE-SE extension. The SHmin and SHmax orientations are consistent with the strike of the normal faults bounding the Pescadores basin, and the thrust faults and anticlines in the Catamaco fold belt. These observations suggest that the Catamaco fold belt, Pescadores and Comacalco basins are part of a right-lateral north-east striking shear zone.

thrust faults in the Catemaco fold belt (Figure 2a, b). Furthermore, the Geological Map of Southern Mexico (Ortega-Gutierrez et al., 1992) shows that the Chiapas Massif plunges towards the northwest, probably up to a strike fault at the northwest edge of the Mixtequita Block. A GPS station in that area shows a 5 mm/year velocity vector pointing to the northeast (Figure 3). We predict that blind thrusting is likely happening between Chiapas Massif and the Tuxtla shield volcano. Therefore, integrating these observations allows us to interpret that the Sureste Basin accommodates Chiapanecan shortening at Present.

With that in mind, we have reinterpreted dip sections in the Sureste Basin published by CNH (2015). Section A accommodates more shortening than section B (Figure 4). Hence, this implies that shortening increases from East to West, and the shallow allochthonous salt and post-salt section rotate counterclockwise. That is consistent with the right-lateral shear zone along the Pescadores and

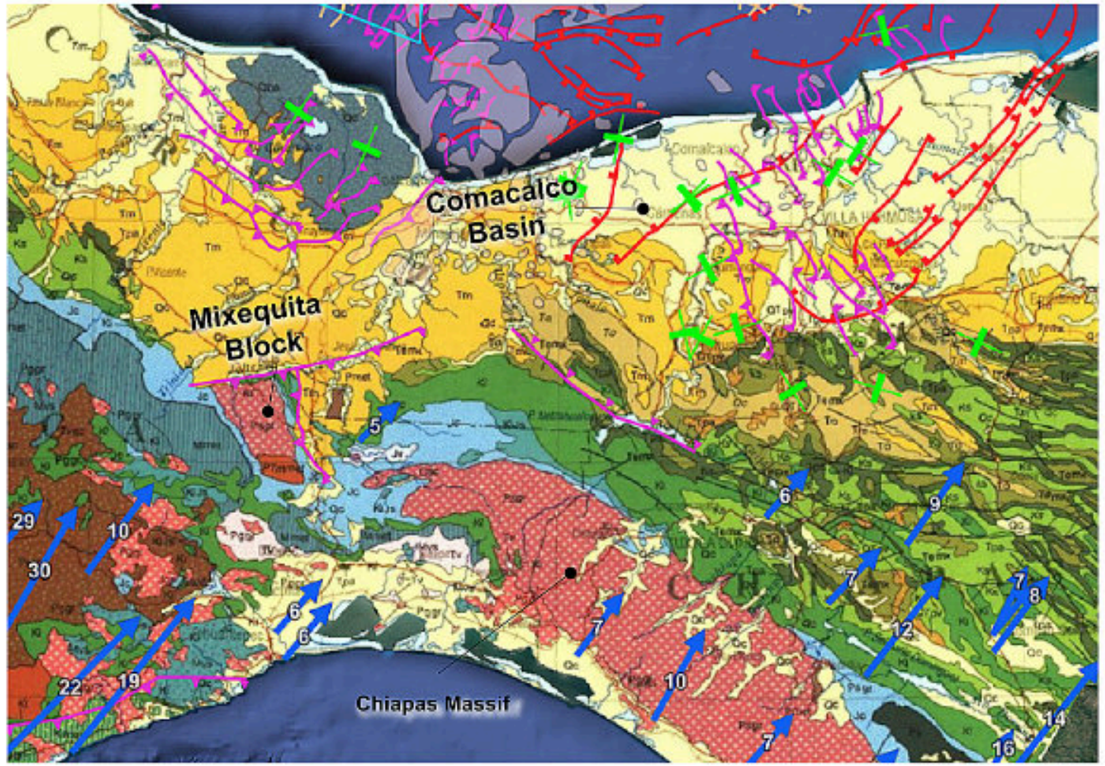


Figure 3. The Geological Map shows that the Chiapas Massif plunges towards the northwest up to the transpressional strike-slip fault bounding the Mixequita Block. A GPS station positioned at that location shows a velocity vector with northeast orientation and a velocity of 5 mm/year. Thus, the northern tip of the Massif may be sending out shortening along the right-lateral north-east striking Pescadores/Comacalco shear zone.

Comacalco pull-apart basins. The interpretation also predicts that Chiapanecan shortening propagates into the northernmost part of the basin.

Figure 5 summarizes how the tectonic model works. The Chiapas Massif translates to the northeast, transferring shortening through the Louann Salt. The onshore Chiapas fold belt, including the Akal High, accommodate shortening from the Mid-Miocene to the Present. Two northeast striking shear zones develop: Comacalco, Pescadores, and Mascupana basins are pull-apart basins related to those shear zones. Shortening propagates to the Sureste Basin along the NE striking right-lateral

Pescadores-Comacalco shear zone, forming the transpressional Catamaco fold during the Mid Miocene. The shallow allochthonous salt and post salt sections in the Sureste Basin rotate because the east side accommodates more shortening than the west side.

Hydrocarbon Exploration Implications

Hard-linking deformation in the Sureste Basin with the translation of the Chiapas Massif has consequences from the regional exploration of the Sureste Basin.

- Paleogeography maps for the Mesozoic will be different. Cross-sections suggest two salt sub-basins separated by a high (**Figure 4**).
- Basin models of the Sureste Basin should consider a

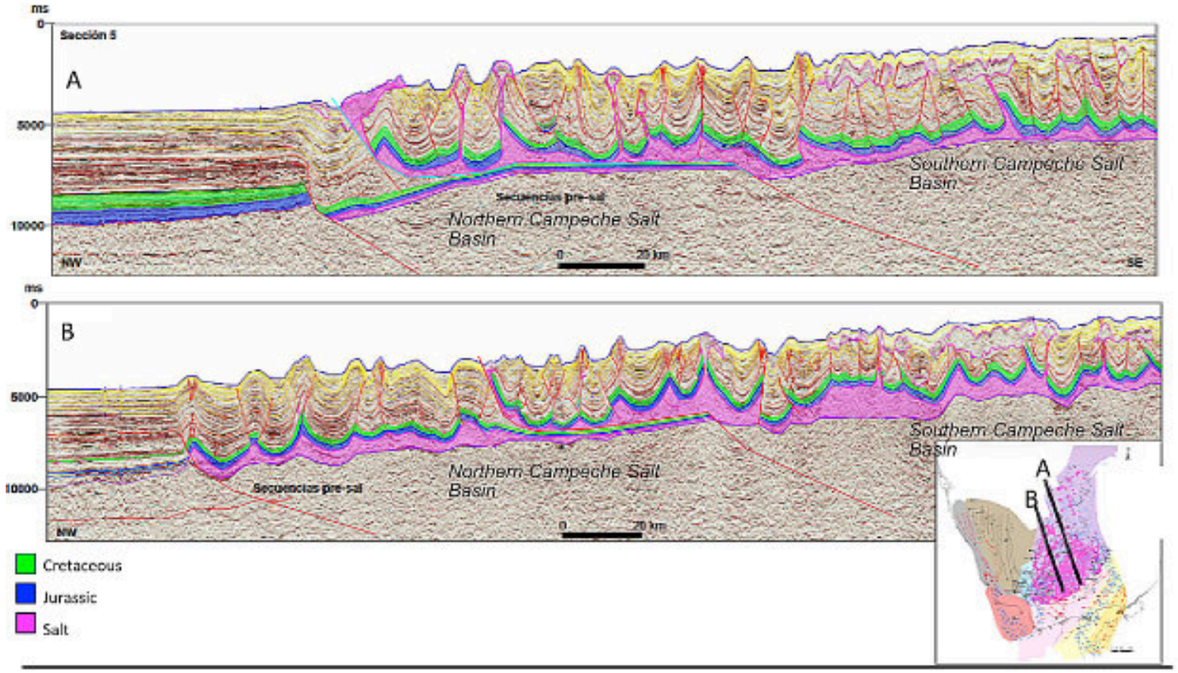


Figure 4. The model that links Chiapas northeastward translation and deformation in the Sureste Basin allows for increasing shortening in the basin. Accordingly, the interpretations of the seismic profiles released by CNH(2015) were modified to reflect that possibility. The sections show significant shortening, but this should be considered the maximum case scenario.

potential sub-thrust Tithonian source rock and a post-salt Tithonian source rock in some areas of the basin. The sub-thrust source rock will be more mature.
- There is a potential for sub-thrust Mesozoic prospects within the basin.

References

CNH(2014) Cuencas del Sureste Aguas Someras: Sintesis Geologico Petrolera. www.cnh.gob.mx, 64 p.

CNH(2015) Cuenca Salina: Sintesis Geologico Petrolera. www.cnh.gob.mx, 47 p.

Henza, A. & E. Novoa Structural Evolution of the Deepwater Campeche Salt Basin: Regional Tectonics, Structural Inheritance, and Implications for Petroleum Exploration. Petroleum Geology of Mexico and the Northern Caribbean, Programme, and Abstract Volume, p.52.

Hudec, M.R; I. O. Norton; M. P. A. Jackson & F. J. Peel (2013) Jurassic evolution of the Gulf of Mexico salt basin. AAPG Bulletin, v. 97, no. 10 pp. 1683–1710.

Graham, R.; J. Pindell; D. Villagómez; R. Molina-Garza; J. Granath & M. Sierra-Rojas (2021) Integrated Cretaceous–Cenozoic plate tectonics and structural geology in southern Mexico *in* Davison, I., Hull, J. N. F. and Pindell, J. (eds) 2021. The Basins, Orogens, and Evolution of the Southern Gulf of Mexico and Northern Caribbean. Geological Society, London, Special Publications, 504, 285–314.

Kazachkina E.; V. Kostoglodov; N. Cotte; A. Walpersdorf; M.T. Ramirez-Herrera; K. Gaidzik; A. Husker & J.A. Santiago (2020) Active 650-km Long Fault System and Xolapa Sliver in Southern Mexico. Front. Earth Sci. 8:155.

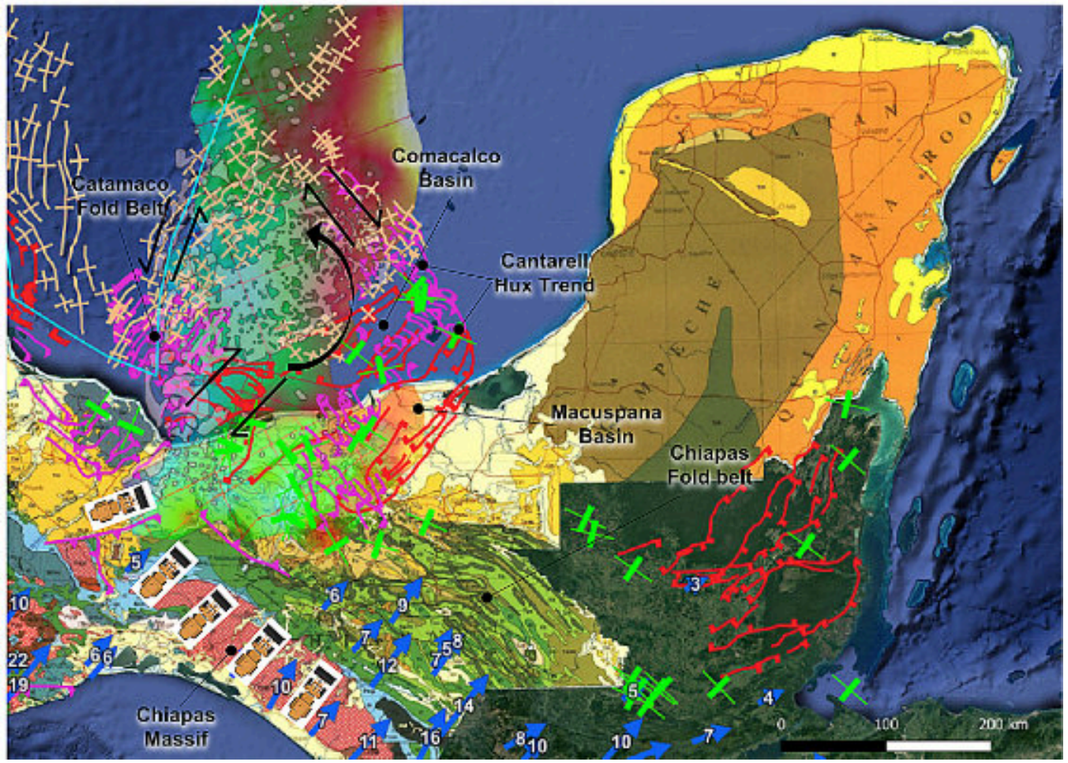


Figure 5. The Chiapas Massif arose in the Middle Miocene. It has translated to the northeast and rotated clockwise 20° since then. The initial phase of the Chiapaneca orogeny causes the development of the Chiapas fold belt onshore, the fold belt in the Akal High, and the Cantarell-Hux trend. At the same time, the transpressional Catamaco fold belt develops related to a NE striking shear zone in Salinas del Istmo. As the Massif continues translating up to the present day, the Sureste basin accommodates more shortening causing an anticlockwise rotation of the shallow allochthonous salt, and further development of the Pescadores and Comacalco pull-apart basins. A structural map of the base of salt (Pascoe, comm. pers.) is shown in the background (red = shallow, blue = deep).

Lund Snee, JE. & M.D. Zoback (2020). Multiscale variations of the crustal stress field throughout North America. *Nat Commun* 11, 1951.

Mandujano-Velasquez, J.J & J. D. Keppie (2009) Middle Miocene Chiapas Fold and thrust belt of Mexico: a result of collision of the Tehuantepec transform/Ridge with the Middle America trench. In: Murphy, J.B., Keppie, J.D., Hynes, A.J. (Eds.), Ancient Orogens and Modern Analogues. Geological Society London Special Publications, 327, 55–69.

Molina-Garza, R.; J. Pindell & P. C. Montaño Cortés (2020) Slab flattening and tractional coupling drove Neogene clockwise rotation of Chiapas Massif, Mexico: Paleomagnetism of the Eocene El Bosque Formation. Journal of South American Earth Sciences, 104.

Ortega-Gutierrez, F.; L.M. Mitre-Salazar; J. Roldan-Quintana; J. Aranda-Gomez; D. Moran-Zenteno, S. Alaniz-Alavarez & A. Nieto-Samaniego (1992) Carta Geologica de la Republica Mexicana, Instituto de Geología, scale 1:2,000,000.

Suter, M. (1991) State of stress and active deformation in Mexico and western Central America in Slemmons, D. B., Engdahl, E. R., Zoback, M. D. & Blackwell, D.D., eds., Neotectonics of North America: Boulder, Colorado, Geological Society of America, Decade <Map Volume 1, 401-421.

Villagómez, D. & J. Pindell (2020) Cooling and uplift history of the Chiapas Massif and its influence on sedimentation and deformation in the adjacent Sierra de Chiapas Basin, in Martens, U., and Molina Garza, R.S., eds., Southern and Central Mexico: Basement Framework, Tectonic Evolution, and Provenance of Mesozoic–Cenozoic Basins: Geological Society of America Special Paper 546.

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

Dr. Enrique Novoa holds a Ph.D. in structural geology from Princeton University and has 25 years of experience in the oil and gas industry.

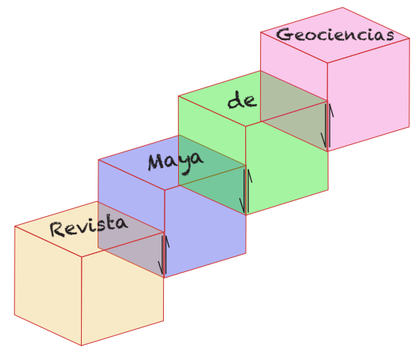
His experience includes working in different tectonic settings: from fold-and-thrust belts (Venezuela, Southern California, Mexico, and Argentina) to passive margins (The Barents Sea, Norwegian Sea, and North East Canada)

In addition, he has extensive salt tectonics experience: U.S. and Mexico sides of the Gulf of Mexico, Norwegian Sea, North-East Canada, Brazil, and the Barents Sea.

Dr. Novoa has also experience maturing and evaluating prospects, developing Common-Risk-Segment maps, and estimating Yet-To-Find volumes.

He has worked for PDVSA-Intevep, Midland Valley Exploration, and Equinor, became an independent geoscientist in 2020, and since then, has done projects for Avos Oil, Saiph Energy, and Shell.

For more details: www.linkedin.com/in/enrique-novoa1



Huellas de aves, pterosaurios, dinosaurios y el límite K/Pg en Coahuila, México

Serrano-Brañas, Claudia I. [1, 2], Espinosa-Chávez, B. [1], Flores-Ventura, J. [3], Barrera-Guevara, D. [4], Torres-Rodríguez, E. [5], Cadena-González, D. [6], Vega, F.J. [5]

[1] Benemérita Escuela Normal de Coahuila, Calzada de los Maestros 858, Zona Centro Poniente, Saltillo, Coahuila, 25000, México

[2] Department of Paleobiology, National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, Washington, DC, 20013-7012, EUA

[3] Santa Engracia 257, Fraccionamiento Santa Elena, 25015, Saltillo, Coahuila, México

[4] Prepa Tec Garza Lagüera, Puerto Topolobampo 4603, Las Brisas Sexto Sector, 64790, Monterrey, Nuevo León, México

[5] Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, México, CDMX, México

[6] Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, México, CDMX, México

Resumen

Recientemente, distintos tipos de huellas de aves, pterosaurios y dinosaurios fueron reportados en dos localidades de la Formación Las Encinas (San Francisco y Amargos), al norte de la Cuenca de Parras en el estado de Coahuila y cuya edad corresponde al Maastrichtiano superior (66.1 Ma). La localidad Amargos presenta una capa por encima del horizonte con huellas de aves, que representa depósitos del tsunami que se registró en el área como producto del impacto de Chicxulub. Esta capa contiene numerosas esférulas y bioclastos de ostréidos, ammonites, crustáceos, briozoarios y madera. Estos sitios (San Francisco y Amargos) representan una gran oportunidad para el estudio de las últimas faunas que habitaron durante este período de tiempo geológico antes del límite K-Pg. Particularmente, la localidad San Francisco es muy importante debido a la gran abundancia de icnitas que contienen los diferentes estratos presentes en ella. Con referencia a las huellas de pterosaurios, se ha reportado la presencia de miembros de la Familia Azhdarquidae; mientras que los dinosaurios están representados por huellas tridáctilas que al parecer corresponden a un tiranosaurido. El registro de huellas de aves en esta localidad es mucho más abundante y diverso, el cual estaba constituido hasta el año 2016 por cinco morfotipos distintos; sin embargo, tres nuevos tipos de huellas de aves palmípedas fueron descritos recientemente. Estas nuevas huellas son ecomorfológicamente comparables con miembros modernos de aves anseriformes (gansos, cisnes y patos) y de la Familia Ardeidae (garzas y garcetas). En particular, las nuevas huellas de aves palmípedas junto con los otros seis morfotipos de huellas de aves descritos previamente para dicha localidad, indican que San Francisco puede considerarse a nivel mundial, como el sitio icnológico más diverso de aves cretácicas hasta la fecha. La presencia de huellas de aves junto con diferentes trazas de invertebrados (nematodos, anélidos y larvas de insectos) y vertebrados (pterosaurios y tiranosáuridos), sugiere que esta zona pudo representar una extensa área de alimentación con abundantes recursos.

Introducción

El Grupo Difunta (Coahuila y Nuevo León) corresponde a una secuencia sedimentaria de origen marino, transicional y continental, representado por dos cuencas sedimentarias conocidas como Parras y La Popa, con edades que van del Campaniano tardío al Paleoceno tardío (McBride et al., 1974; Eberth et al., 2004; Lawton et al., 2009, 2021). Los fósiles reportados para las formaciones que afloran al suroeste, sur y sureste de Coahuila incluyen foraminíferos, corales, anélidos, gasterópodos marinos y continentales, ostréidos, rudistas, otros bivalvos marinos y continentales, ammonites, nautiloideos, arácnidos, insectos, ostrácodos, decápodos, briozoarios, equinodermos, peces cartilaginosos y óseos, dinosaurios, reptiles marinos, pterosaurios, cocodrilos, tortugas, mamíferos, algas, hojas y frutos. El registro de vertebrados cretácicos se centra en la Formación Cerro del Pueblo de edad campaniana, en donde se han realizado importantes hallazgos de dinosaurios y otros reptiles, además de peces, invertebrados y plantas (Hernández-Rivera, 1992, Hernández-Rivera y Kirkland, 1993; Kirkland et al., 2006; Rivera-Sylva et al., 2006; Gates et al., 2007; Calvillo-Canadell y Cevallos-Ferriz, 2007; Vogt et al., 2016; Serrano-Brañas y Prieto-Márquez, 2022). Huellas de aves, pterosaurios y dinosaurios han sido reportadas recientemente para dos localidades del Cretácico Superior (Maastrichtiano superior) de la Formación Las Encinas, norte de la Cuenca de Parras, Coahuila. Los afloramientos sugieren facies transicionales marino-estuarinas, en

estratos de arenisca fina que además incluyen trazas de invertebrados. Las localidades son conocidas como San Francisco y Amargos, ubicadas en la porción norte de la Cuenca de Parras y estratigráficamente cercanas al límite K/Pg (Figura 1). La Formación Las Encinas sobreyace a la Formación Cerro Grande, e incluye la transición Cretácico-Paleógeno, lo cual fue indicado inicialmente por Murray et al. (1959) y confirmado posteriormente (McBride et al., 1974; Wolleben, 1977; Vega et al., 1999, 2019; Perrilliat et al., 2008). Las unidades litoestratigráficas que afloran en el área de estudio corresponden a las formaciones Cerro Grande, Las Encinas y Rancho Nuevo **(**Figura 2). Con base en edades geocronológicas publicadas por Lawton et al. (2009) y correlación entre las formaciones Cerro Grande y Peedee (Carolina del Norte, EUA) basadas en edades isotópicas obtenidas de cutícula de crustáceos, Vega et al. (2013) sugieren una edad aproximada de 66.1 Ma para los estratos portadores de icnitas en la localidad de Amargos, en donde se encuentra una capa portadora de elementos de eyecta del impacto de Chicxulub, 10 metros por encima de las huellas de vertebrados (Figura 3)**.** Marcas de oleaje predominan en los estratos portadores de icnitas en ambas localidades, aunque la interpretación paleoambiental para San Francisco es la de una zona marginal estuarina, con mayor aporte de materia orgánica, en comparación con las condiciones marinas marginales de Amargos (Figura 4).

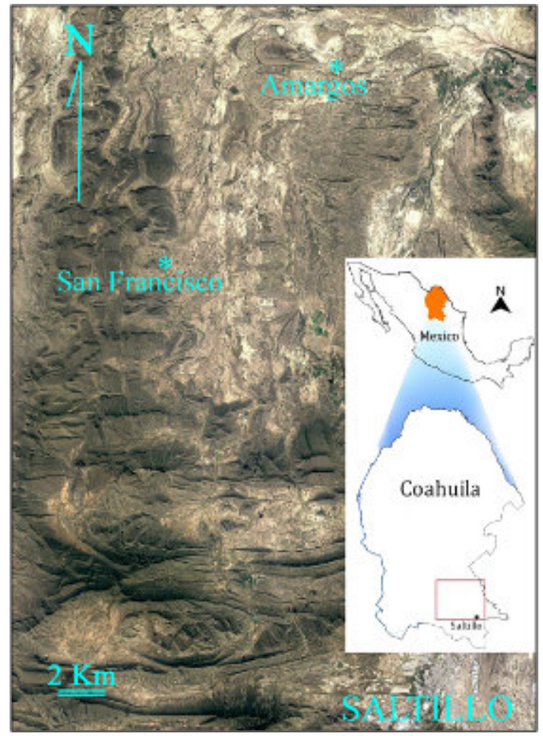


Figura 1.- Ubicación de las localidades San Francisco y Amargos, Coahuila, México.

El límite K/Pg

En la Cuenca de Parras, la porción superior de la Formación Las Encinas contiene el límite K/Pg, discordante y sin evidencia de depósitos de elementos de eyecta en la mayor parte de los afloramientos, con excepción, hasta el momento, de la localidad Amargos, en donde una capa de calcarenita gris contiene abundantes esférulas de esmectita y calcita, delimitada en su porción superior por un estrato delgado de arenisca y conglomerado (Figura 5.1). Por debajo de la capa portadora de eyecta se encuentran abundantes ostréidos de talla pequeña, identificados como *Gorizdrella gorizdroae* (Figura 5.2), especie que indica el inicio del Paleoceno en cuencas de Afganistán (Stinnesbeck et al., 2016). Además del ostréido, se encuentran formas enanas de equinodermos (Figura

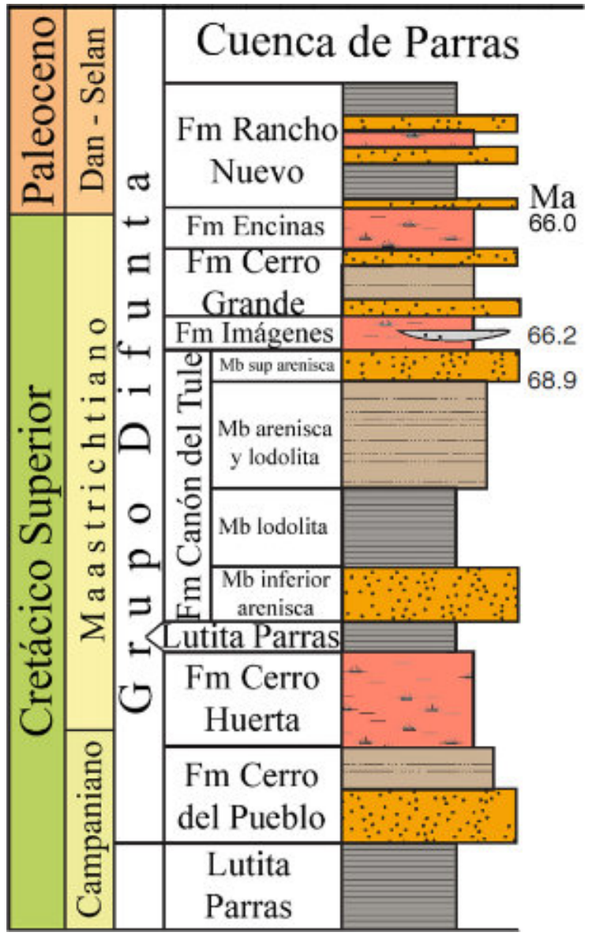


Figura 2.- Unidades litoestratigráficas de la Cuenca de Parras. Modificado de Lawton et al., 2009.

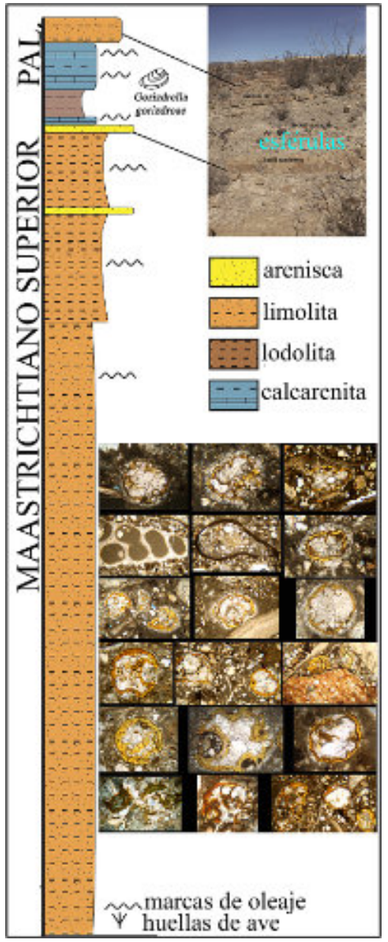


Figura 3.- Sección estratigráfica de la localidad Amargos, la cual incluye depósitos de la tsunamita K/Pg con esférulas de esmectita y calcita.

5.3), las cuales se encuentran en estudio. Stinnesbeck et al. (2016) sugieren que la fauna de ostréidos y equinodermos representa algunos de los primeros elementos que habitaron la zona durante el Paleoceno temprano, lo cual implica que los depósitos de eyecta serían retrabajados debido a elevaciones producto de la Orogenia Laramide, la cual habría comenzado en la zona durante el Maastrictiano tardío. Esto significa que tanto los ostréidos como los equinodermos tendrían una talla pequeña debido al efecto "Liliput", el cual se ha documentado también para especies de crustáceos que lograron sobrevivir al evento K/Pg, mediante la estrategia de reducción de talla e incremento poblacional (Martínez-Díaz et al., 2016).

El límite K/Pg fue ubicado inicialmente en la Cuenca de La Popa por Vega et al. (1989), situándolo entre los miembros Medio de Limolita y Superior de Lodolita de la Formación Potrerillos. Posteriormente, Lawton et al. (2005) documentaron con mayor precisión el límite K/Pg en la porción superior de una nueva unidad de la Formación Potrerillos, a la cual llamaron el Miembro de Arenisca Delgado, de donde describieron la historia sedimentaria de los depósitos del regreso del tsunami, producto del

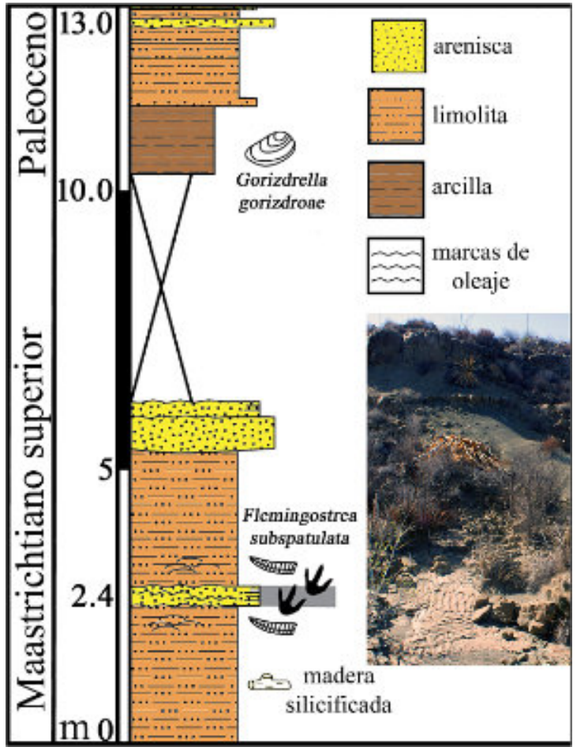


Figura 4.- Sección estratigráfica de la localidad San Francisco. Modificado de Stinnesbeck et al., 2016.

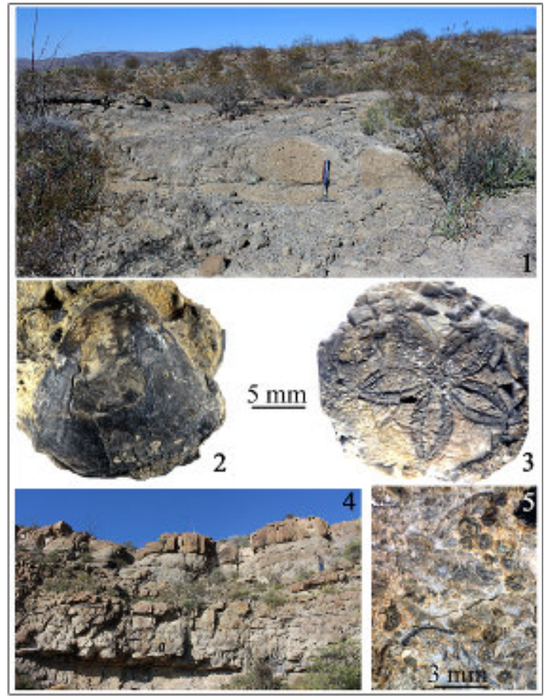


Figura 5.- 1, Capa portadora de elementos de eyecta, localidad Amargos. 2, *Gorizdrella gorizdroae* (Daniano), Amargos. 3, Equinoideo, Amargos. 4, Unidad 1 del Miembro de Arenisca Delgado, Hornets nest, SE del diapiro El Papalote. 5, Esférulas de Unidad Hornets nest.

impacto de Chicxulub. Los afloramientos estudiados se ubican en la porción sureste del diapiro El Papalote, y representan el relleno irregular de valles y cañones/ canales submarinos, con un espesor máximo de 4.6 metros, divididos en dos unidades, siendo la unidad basal (Unidad 1) la que contiene mayor cantidad de elementos de eyecta (Figura 5.4). Schulte et al. (2012) realizaron un estudio detallado de los afloramientos con elementos de eyecta, ubicados al sureste del diapiro El Papalote. Actualmente se encuentran en estudio otros afloramientos con eyecta en las Cuencas de Parras y La Popa, como parte del proyecto doctoral de uno de nosotros (DCG).

Paleoicnitas

Huellas de pterosaurios del Campaniano en la Formación Cerro del Pueblo han sido reportadas para la localidad del Pelillal (Rodríguez-de la Rosa y Cevallos-Ferriz, 1998; Rodríguez-de la Rosa, 2003; Bravo-Cuevas and Rodríguez-de la Rosa, 2014). De acuerdo a Stinnesbeck et al. (2016), las huellas (manos y patas) de pterosaurios presentes en San Francisco (Figura 6), pertenecen a individuos de la Familia Azhdarquidae, que corresponde a los pterosaurios de mayor talla registrados, incluyendo a *Quetzalcoatlus*. Los individuos que convivieron con aves en la localidad de San francisco, tendrían una envergadura de al menos 4 metros. Las únicas huellas de dinosaurio halladas en San Francisco corresponden al tipo tridáctilo, de las cuales se ha descrito una pata derecha de un posible tiranosaurio (Stinnesbeck et al., 2016) (Figura 7).

El registro fósil de aves mesozoicas es muy escaso, por lo que se conoce poco sobre los diferentes grupos que vivieron durante ese intervalo de tiempo geológico. Sin embargo, durante las últimas dos décadas se han descubierto diferentes sitios a nivel mundial que contienen preservadas distintos tipos de huellas de aves mesozoicas, lo que permite proporcionar una mayor evidencia sobre la evolución de estos organismos y su paleoecología, especialmente durante el Período Cretácico

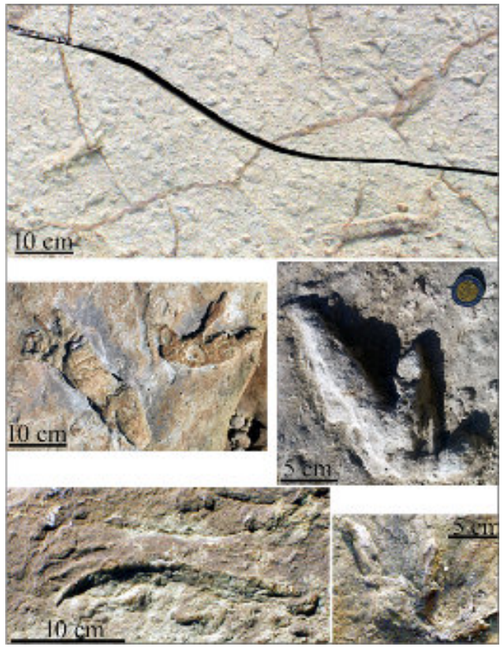


Figura 6.- Huellas de pterosaurios (pes y manus) de la localidad San Francisco.

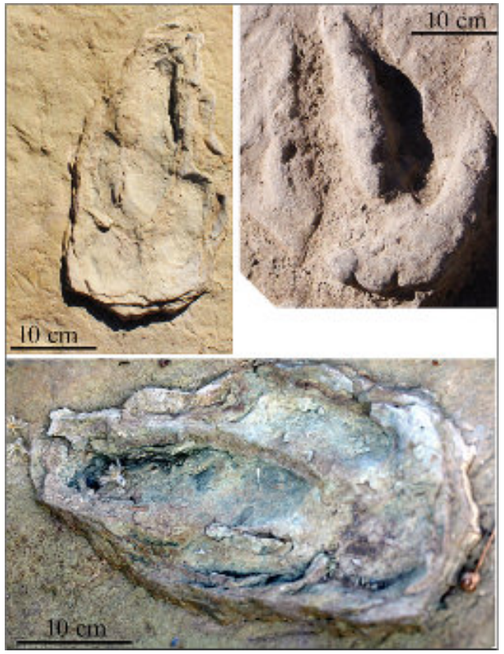


Figura 7.- Huellas de dinosaurios en la localidad San Francisco.

(Kim et al., 2006, 2012, 2013; Lockley et al., 2006; Lockley and Harris, 2010; Xing et al., 2011, 2015; Buckley et al., 2018). Ocho icnoespecies de aves se conocen para el Cretácico Superior de Dakota (Mehl, 1931), Argentina (Alonso y Marquillas, 1986; Leonardi, 1994; Coria et al., 2002), Corea del Sur (Yang et al., 1995), Wyoming (Lockley et al., 2004), Alaska (Fiorillo et al., 2011). En el caso de México, existen algunos reportes de huellas de aves correspondientes al Cretácico Superior (Campaniano-Maastrichtiano), particularmente para las formaciones Cerro del Pueblo y las Encinas (Maastrichtiano superior) (Bravo-Cuevas and Rodríguez-de la Rosa, 2014; Stinnesbeck et al., 2016; Serrano-Brañas et al., 2021). La diversidad de aves reportada hasta el momento para las localidades de la Formación Las Encinas representa la mayor registrada a nivel mundial, pues incluye nueve morfotipos, seis de los cuales fueron reportados por Stinnesbeck et al. (2016) (Figura 8). Tres tipos de huellas de aves semipalmeadas fueron reportadas recientemente por Serrano-Brañas et al. (2021) (Figuras 9 y 10). El primer tipo de huella de ave corresponde al icnogénero *Leptoptilostipus* isp., el cual está representado por siete huellas pequeñas (3.8 cm de largo) y asimétricas que poseen tres impresiones de dedos con almohadillas interfalángicas dirigidos hacia adelante y un hallux pequeño orientado posteromedialmente. La impresión de la membrana interdigital en estas huellas conecta por completo los extremos de los dedos laterales (dígitos II y IV); sin embargo, ésta sólo se encuentra unida a cada lado del dedo central (dígito III) en su parte media. El segundo tipo de huella de ave colectado en la localidad Rancho San Francisco fue designado como morfotipo A, el cual está representado por una sola huella semipalmeada pequeña (6 cm de largo), la cual se caracteriza por presentar tres dedos frontales muy delgados y un hallux alargado dirigido hacia atrás. En este caso, la impresión de la membrana interdigital solamente se encuentra presente entre el dedo central (dígito III) y un dedo lateral (dígito IV). Finalmente, el tercer tipo de huella de ave corresponde al morfotipo B, el cual está representado por siete huellas completas y una parcial, las cuales están distribuidas en dos rastros pertenecientes a dos individuos de tamaños similares. Estas huellas también poseen tres dedos frontales y un hallux trasero alargado como en el caso del morfotipo A pero a diferencia de éste, las huellas del morfotipo B poseen membranas interdigitales asimétricas entre ambos dedos laterales y el central, es decir, se observa un mayor desarrollo de la membrana entre los dedos II y III en

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

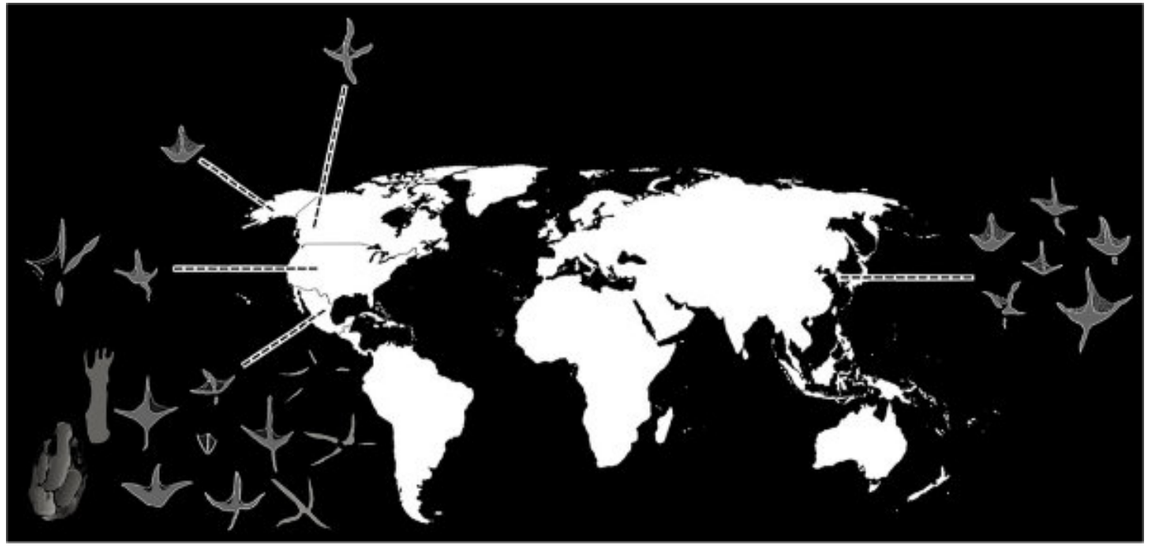


Figura 8.- Registro mundial de localidades cretácicas con registro de huellas semi-palmeadas de aves. Modificado de Serrano-Brañas et al., 2021.

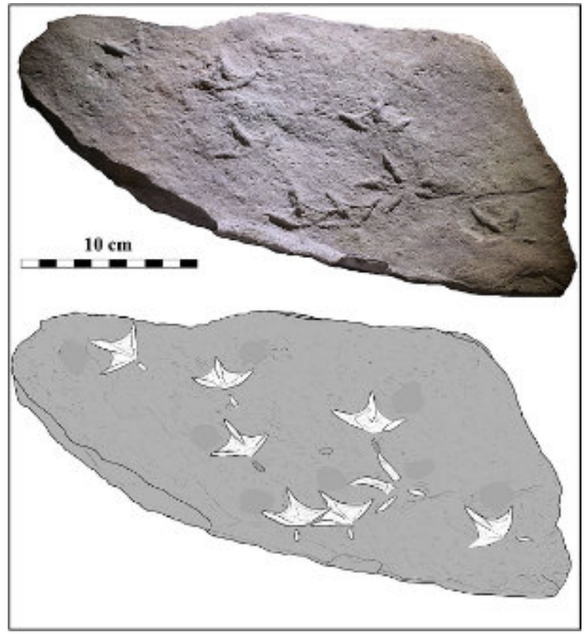


Figura 9.- Huellas de aves de la localidad San Francisco. Modificado de Serrano-Brañas et al., 2021.

Figura 10.- Huellas de aves de las localidades Amargos y San Francisco.

comparación con la que se encuentra entre los dedos III y IV, la cual es mucho más pequeña. El primer tipo de huella es similar a las de las aves modernas del Orden Anseriformes [por ejemplo, el ganso urraca (*Anseranas semipalmata*)]; mientras que los morfotipos A y B se asemejan ecomorfológicamente a las huellas de las aves zancudas modernas pertenecientes a la Familia Ardeidae (por ejemplo, garzas y garcetas) (Figura 11).

Estudios previos llevados a cabo en la localidad San Francisco indican que esta área en el pasado representaba una zona marginal estuarina, con mayor aporte de materia orgánica. En la actualidad, se sabe que miembros modernos de las aves zancudas y del grupo de los anseriformes habitan en este tipo de ambientes donde encuentran numerosas fuentes de alimentación. De esta manera, la co-ocurrencia de huellas de aves junto con diferentes trazas producidas por distintos grupos de invertebrados (por ejemplo, *Cochlichnus* y *Skolithos* correspondientes a nematodos, anélidos y larvas de insectos, respectivamente), así como también de huellas de pterosaurios y de dinosaurios en el mismo estrato, sugiere que esta zona pudo haber representado un área de alimentación importante la cual contenía abundantes recursos disponibles para estos organismos.

Conclusiones

Los estudios de huellas llevados a cabo en las localidades de San Francisco y Amargos, indican la presencia de diferentes tipos de grupos de vertebrados (aves, pterosaurios y dinosaurios) (Figura 12) y de invertebrados (por ejemplo, nematodos, anélidos y larvas de insectos) que habitaron en esa zona durante la parte más tardía de la era Mesozoica. Especialmente, los registros de huellas de aves hallados dentro de estas localidades son muy importantes, ya que sugieren una gran diversidad y abundancia de estos organismos justo antes del límite K-Pg. En particular, el reciente hallazgo de tres huellas de aves cretácicas palmípedas colectadas en la localidad de San Francisco y denominadas como *Leptoptilostipus* isp., morfotipo A y morfotipo B, indica que éstas pueden ser ecomorfológicamente comparables con las de aves modernas. Por ejemplo, la morfología de *Leptoptilostipus* isp. es similar a las huellas de miembros modernos del grupo anseriformes (por ejemplo, el ganso urraca), mientras que los morfotipos A y B son comparables con las huellas de garzas y garcetas de la Familia Ardeidae. Ahora bien, la presencia de huellas de aves con diferentes trazas de invertebrados y vertebrados (pterosaurios de la Familia Azhdarquidae y tiranosauridos) en el mismo estrato, sugiere que esta zona pudo representar en el pasado una extensa área de alimentación con abundantes recursos disponibles. Finalmente, el descubrimiento de estas tres nuevas huellas de aves palmípedas, además del registro de los otros seis morfotipos descritos previamente para dicha localidad, indican que la localidad San Francisco representa a la fecha, el sitio icnológico más diverso de este tipo de organismos a nivel mundial para el Cretácico Superior.

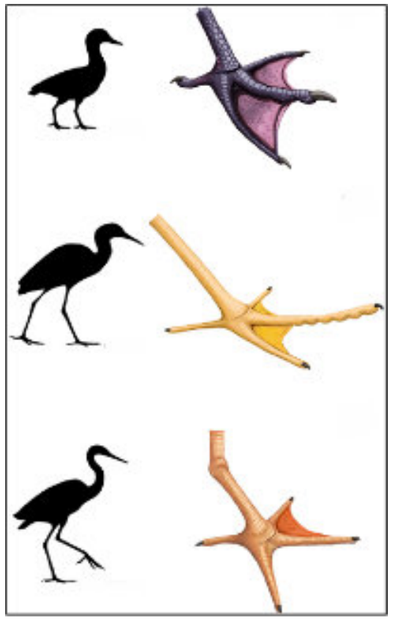


Figura 11.- Aves semi-palmeadas actuales, cuyas icnitas son similares a las encontradas en la localidad San Francisco. Modificado de Serrano-Brañas et al., 2021.

Figura 12.- Reconstrucciones ambientales para la localidad San Francisco durante el Maastrichtiano tardío (66.1 Ma).

Referencias

Alonso, R.N., Marquillas, R.A., 1986. Nueva localidad con huellas de dinosaurios y primer hallazgo de huellas de aves en la Formación Yacoraite (Maastrichtiano) del norte argentino. 4◦ Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía, Actas 2, 33–42.

Bravo-Cuevas, V.M., Rodríguez-de la Rosa, R.A., 2014. A summary of the Mesozoic vertebrate tracks of Mexico. In: Rivera-Sylva, H.E., Carpenter, K., Frey, E. (Eds.), Dinosaurs and Other Reptiles from the Mesozoic of Mexico. Indiana University Press, pp. 181–191.

Buckley, L.G., McCrea, R.T., Xing, L., 2018. First report of Ignotornidae (Aves) from the Lower Cretaceous Gates Formation (albian) of western Canada, with description of a new ichnospecies of *Ignotornis, Ignotornis canadensis* ichnosp. nov. Cretaceous Research 84, 209–222.

Calvillo-Canadell, L. and Cevallos-Ferriz, S.R., 2007. Reproductive structures of Rhamnaceae from the Cerro del Pueblo (Late Cretaceous, Coahuila) and Coatzingo (Oligocene, Puebla) Formations, Mexico. American Journal of Botany 94, 1658-1669.

Coria, R.A., Currie, P.J., Eberth, D., Garrido, A., 2002. Bird footprints from the anacleto formation (late cretaceous), neuqu´en, Argentina. Ameghiniana 39, 453–463.

Eberth, D.A., Delgado De Jesús, C.R., Rodríguez-de La Rosa, R.A., Lerbekmo, J.F., Brinkman, D.B., Sampson, S.D., 2004. Cerro del Pueblo Fm (Difunta Group, Upper Cretaceous), Parras Basin, southern Coahuila, Mexico: Reference sections, age, and correlation. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 21(3), 335–352.

Fiorillo, A.R., Hasiotis, S.T., Kobayashi, Y., Breithaupt, B.H., McCarthy, P.J., 2011. Bird tracks from the Upper Cretaceous Cantwell Formation of Denali National Park, Alaska, USA: A new perspective on ancient northern polar vertebrate biodiversity. Journal of Systematic Palaeontology 9(1), 33–49.

Gates, T.A., Sampson, S.D., Delgado De Jesús, C.R., Zanno, L.E., Eberth, D., Hernández-Rivera, R., Aguillón-Martínez, M.C., and Kurkland, J.I., 2007. *Velafrons coahuilensis*, a new lambeosaurine hadrosaurid (Dinosauria: Ornithopoda) from the late Campanian Cerro del Pueblo Formation, Coahuila, Mexico: Journal of Vertebrate Paleontology 27(4), 917–930.

Hernández-Rivera, R.R. 1992. New dinosaur finds in the Cerro del Pueblo Fm. (Upper Cretaceous, Campanian) from Coahuila State, Mexico. Journal of Vertebrate Paleontology 12, (Sup. To 3), 32A.

Hernández-Rivera, R.R., Kirkland, J.I. 1993. The rediscovery of a rich uppermost Campanian dinosaur locality in the Cerro del Pueblo Fm., Coahuila, Mexico. Journal of Vertebrate Paleontology 13, (Sup. To 3), 41A.

Kim, J.Y., Kim, S.H., Kim, K.S., Lockley, M., 2006. The oldest record of webbed bird and pterosaur tracks from South Korea (Cretaceous Haman Formation, Changseon and Sinsu Islands): more evidence of high avian diversity in East Asia. Cretaceous Research 27, 56–69.

Kim, J.Y., Lockley, M.G., Seo, S.J., Kim, K.S., Kim, S.H., Baek, K.S., 2012. A paradise of Mesozoic birds: the world's richest and most diverse Cretaceous bird track assemblage from the Early Cretaceous Haman Formation of the Gajin Tracksite, Jinju, Korea. Ichnos 19(1–2), 28–42.

Kim, J.Y., Kim, M.K., Oh, M.S., Lee, C.Z., 2013. A new semi-palmate bird track, *Gyeongsangornipes lockleyi* ichnogen. et ichnosp. nov., and *Koreanaornis* from the Early Cretaceous Jindong Formation of Goseong County, Southern Coast of Korea. Ichnos 20(2), 72–80.

Kirkland, J.I., Hernández-Rivera, R., Gates, T., Paul, G.S., Besbitt, S., Serrano-Brañas, C.I., García-de La Garza, J.P., 2006, Large hadrosaurine dinosaurs from the latest Campanian of Coahuila, Mexico, *in* Lucas, S.G., Sullivan, R.M., eds., Late Cretaceous Vertebrates from the Western Interior: New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin 35, 299–316.

Lawton, T.F., Shipley, K.W., Aschoff, J.L., Giles, K.A., Vega, F.J., 2005. Basinward transport of Chicxulub ejecta by tsunami-induced backflow, La Popa basin, northeastern Mexico, and its implications for distribution of impact-related deposits flanking the Gulf of Mexico. Geology 33(2), 81–84.

Lawton, T.F., Bradford, I.A., Vega, F.J., Geherls, G.E., Amato, J.M., 2009. Provenance of Upper Cretaceous–Paleogene sandstones in the foreland basin system of the Sierra Madre Oriental, northeastern Mexico, and its bearing on fluvial dispersal systems of the Mexican Laramide Province. Geological Society of America Bulletin 121(5/6), 820–836.

Lawton, T.F., Giles, K., Rowan, M., 2021. La Popa Basin, Nuevo León and Coahuila, México: Halokinetic Sequences and Diapiric Structural Kinematics in the Field. Springer Geology Fieldguides, 97 p.

Leonardi, G., 1994. Annotated Atlas of South America Tetrapod Footprints (Devonian to Holocene). Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Rio de Janeiro, p. 224.

Lockley, M.G., Harris, J.D., 2010. On the trail of early birds: a review of the fossil footprint record of avian morphological and behavioral evolution. In: Ulrich, P.K., Willet, J.H. (Eds.), Trends in Ornithology Research. Nova Science Publishers, pp. 1–63.

Lockley, M.G., Nadon, G., Currie, P.J., 2004. A diverse dinosaur-bird footprint assemblage from the Lance Formation, Upper Cretaceous, eastern Wyoming: implications for ichnotaxonomy. Ichnos 11(3–4), 229–249.

Lockley, M.G., Houck, K., Yang, S.Y., Matsukawa, M., Lim, S.K., 2006. Dinosaur dominated footprint assemblages from the Cretaceous Jindong Formation, Hallyo Haesang National Park area, Goseong County, South Korea: evidence and implications. Cretaceous Research 27, 70–101.

Martínez-Díaz, J.L., Phillips, G.E., Nyborg, T., Espinosa, B., Távora, V. de A., Centeno-García, E., Vega, F.J., 2016. Lilliput effect in a retroplumid crab (Crustacea: Decapoda) across the K/Pg boundary. Journal of South American Earth Sciences 69, 11–24.

McBride, E.F., Weidie, A.E., Wolleben, J.A., Laudron, R.C., 1974, Stratigraphy and structure of the Parras and La Popa Basins, northeastern Mexico. Geological Society of America Bulletin 85(10), 1603–1622.

Mehl, M.G., 1931. New bird record from the Dakota Sandstone, of Colorado. Geological Society of America Bulletin 42, 441–452.

Murray, G.E., Wolleben, J.A., Boyd, D.R., 1959. Difunta strata of Tertiary age, Coahuila, Mexico. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 43, 2493–2495.

Perrilliat, M.C., Vega, F.J., Espinosa, B., Naranjo-García, E., 2008. Late Cretaceous and Paleogene freshwater gastropods from Northeastern Mexico. Journal of Paleontology 82(2), 255–266.

Rivera-Sylva, H.E., Rodríguez-de la Rosa, R., Ortiz-Mendieta, J.A., 2006. A review of the dinosaurian record from Mexico, *in* Vega, F.J. et al., Studies on Mexican Paleontology: Dordrecht, Netherlands, Springer, p. 233–248.

Rodríguez-de la Rosa, R.A., 2003. Pterosaur tracks from the latest Campanian Cerro del Pueblo Formation of southeastern Coahuila, *in* Buffeteau, E., Manzin, J.M., eds., Evolution and Paleobiology of Pterosaurs: Geological Society of London Special Publication 217, p. 275–282,

Rodríguez-de la Rosa, R.A., Cevallos-Ferriz, S.R., 1998. Vertebrates of the El Pelillal locality (Campanian, Cerro del Pueblo Formation), southeastern Coahuila, Mexico. Journal of Vertebrate Paleontology 18(4), 751–764.

Schulte, P., Smit, J., Deutsch, A., Salgess, T., Friese, A., Beichel, K., 2012. Tsunami backwash deposits with Chicxulub impact ejecta and dinosaur remains from the Cretaceous–Palaeogene boundary in the La Popa Basin, Mexico. Sedimentology 79, 737–765.

Serrano-Brañas, C.I., Prieto-Márquez, A., 2022. Taphonomic attributes of the holotype of the lambeosaurine dinosaur *Latirhinus uitstlani* from the late Campanian of Mexico: Implications for its phylogenetic systematics. Journal of South American Earth Sciences 114, 103689, 1–16.

Serrano-Brañas, C.I., Espinosa-Chávez, B., Flores-Ventura, J., Barrera-Guevara, D., Torres-Rodríguez, E., Vega, F.J., 2021. New insights on the avian trace fossil record from NE Mexico: Evidences on the diversity of latest Maastrichtian web-footed bird tracks. Journal of South American Earth Sciences 113, 1-15.

Stinnesbeck, W., Frey, E., Espinoza-Chávez, B., Zell, P., Flores-Ventura, J., Rivera-Sylva, H.E., González-González, A.H., Padilla-Gutiérrez, J.M., Vega, F.J., 2016. Theropod, avian, pterosaur, and arthropod tracks from the uppermost Cretaceous Las Encinas Formation, Coahuila, northeastern Mexico, and their significance for the end-Cretaceous mass extinction. Geological Society of America Bulletin 129 (3–4), 331–348.

Vega, F.J., Mitre-Salazar, L.M., and Martínez-Hernández, E., 1989, Contribución al conocimiento de la estratigrafía del Grupo Difunta (Cretácico Superior-Terciario) en el noreste de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología 8, 179–187.

Vega, F.J., Perrilliat, M.C., Mitre-Salazar, L.M., 1999. Paleocene ostreids from the Las Encinas Formation (Parras basin, Difunta Group), northeastern Mexico; stratigraphic implications, *in*: Bartolini, C., Wilson, J.L., Lawton, T.F. (Eds.), Mesozoic Sedimentary and Tectonic History of North-Central Mexico, vol. 340. Geological Society of America Special Paper, p. 105–110.

Vega, F.J., Phillips, G.E., Nyborg, T., Flores-Ventura, J., Clements, D., Espinosa, B., Solís- Pichardo, G., 2013. Morphology and size variation of a portunoid crab from the Maastrichtian of the Americas. Journal of South American Earth Sciences 47, 116–135.

Vega, F.J., Naranjo-García, E., Aguillón, M.C., Posada-Martínez, D., 2019. Additions to continental gastropods from the Late Cretaceous and Paleocene of NE Mexico. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana 71(1), 169–191.

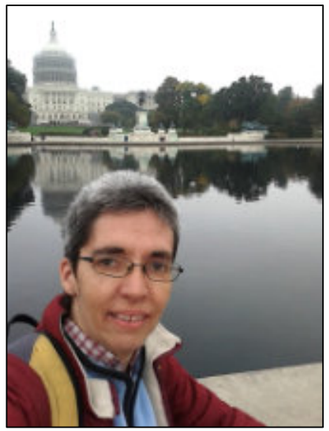
Vogt, M., Stinnesbeck, W., Zell, P., Kober, B., Kontny, J., Herzer, N., Frey, E., Rivera-Sylva, H.E., Padilla-Gutiérrez, J.M., Amezcua, N., and Huerta, D.F., 2016. Age and depositional environment of the “dinosaur graveyard” at Las Águilas, southern Coahuila, NE Mexico. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 441, 758–769.

Wolleben, J., 1977, Paleontology of the Difunta Group (Upper Cretaceous–Tertiary) in northern Mexico. Journal of Paleontology 51(2), 373–398.

Xing, L.D., Harris, J.D., Jia, C.K., Luo, Z.J., Wang, S.N., An, J.F., 2011. Early Cretaceous bird-dominated and dinosaur footprint assemblages from the northwestern margin of the Junggar Basin, Xinjiang, China. Palaeoworld 20, 308–321.

Xing, L.D., Buckley, L.G., McCrea, R.T., Lockley, M.G., Zhang, J., Piñuela, L., Klein, H., Wang, F., 2015. Reanalysis of *Wupus agilis* (Early Cretaceous) of Chongqing, China as a large avian trace: Differentiating between large bird and small non-avian theropod tracks. PLoS One 10(5), e0124039.

Yang, S.Y., Lockley, M.G., Greben, R., Erickson, B.R., Lim, S.K., 1995. Flamingo and duck-like traces from the Late Cretaceous and early Tertiary: evidence and implications. Ichnos 4(1), 21–34.



La **Dra. Claudia Serrano Brañas** es egresada de la licenciatura en Biología de la Universidad Simón Bolívar. Estudió la Maestría en Ciencias y el Doctorado en Ciencias en el Instituto de Geología de la UNAM. Sus áreas de interés son la taxonomía y tafonomía de vertebrados, el registro fósil y la reconstrucción paleoambiental; particularmente se especializa en la taxonomía, la tafonomía y la paleoecología de las faunas de dinosaurios mexicanos, con énfasis en los procesos biológicos y geológicos que controlaron su preservación dentro del registro fósil. Actualmente se encuentra investigando los diferentes yacimientos de dinosaurios del Cretácico Superior de México. Ha participado en diferentes congresos nacionales e internacionales. Cuenta con 19 artículos publicados en revistas de arbitraje Nacional e Internacional y un capítulo de libro. Actualmente, se encuentra trabajando como investigadora asociada al Museo de Paleontología de la Benemérita Escuela Normal de Coahuila (BENC) y al departamento de Paleobiología del Museo Nacional de Historia Natural del Instituto Smithsoniano, Washington D.C.

El **Dr. Francisco J. Vega** nació en la Ciudad de México en 1960. Estudió la carrera de Biología en la Facultad de Ciencias, UNAM, en donde obtuvo el doctorado en Ciencias Biológicas en 1988. Ingresó como profesor de asignatura a la Facultad de Ciencias en 1985 y hasta la fecha imparte la asignatura de Biología de Animales I. Fue contratado como investigador en el Instituto de Geología, UNAM, en 1987. Sus principales líneas de investigación son la paleobiología de crustáceos, taxonomía de moluscos y el límite Cretácico/Paleógeno. Su colaboración internacional incluye EUA, Colombia, Brasil, Cuba, España, Marruecos, Irán, e India. Ha publicado más de 160 trabajos, un libro editado, varios capítulos en libro y ha impartido más de 200 conferencias de divulgación y en congresos. Actualmente es investigador nacional nivel III y editor en jefe del Journal of South American Earth Sciences y el Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana.

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

Caja[1], M.A., Tritlla[2], J.

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

Key words:

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

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

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

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

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

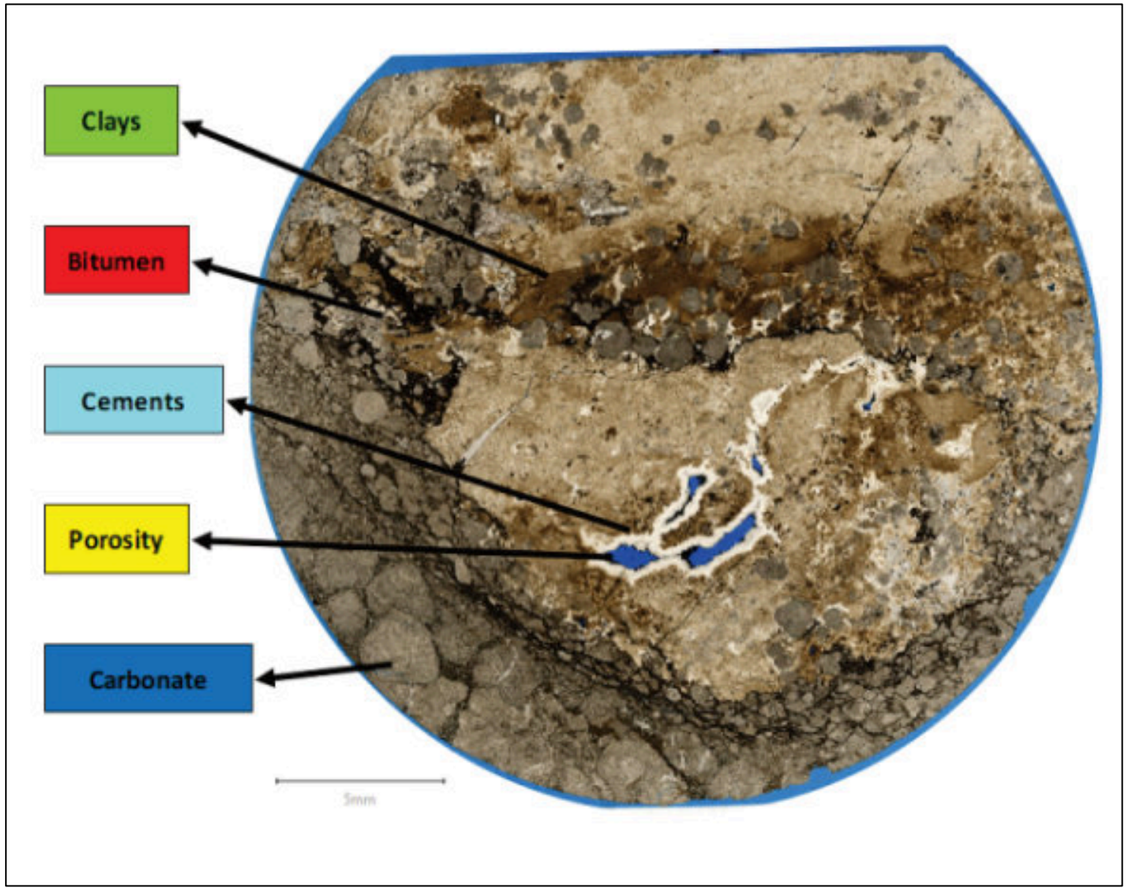


Figure 1. Example of one scanned whole thin section from the studied well, prepared from one inch diameter Side Wall Core rock, with identification of the five categories differentiated.

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

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

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

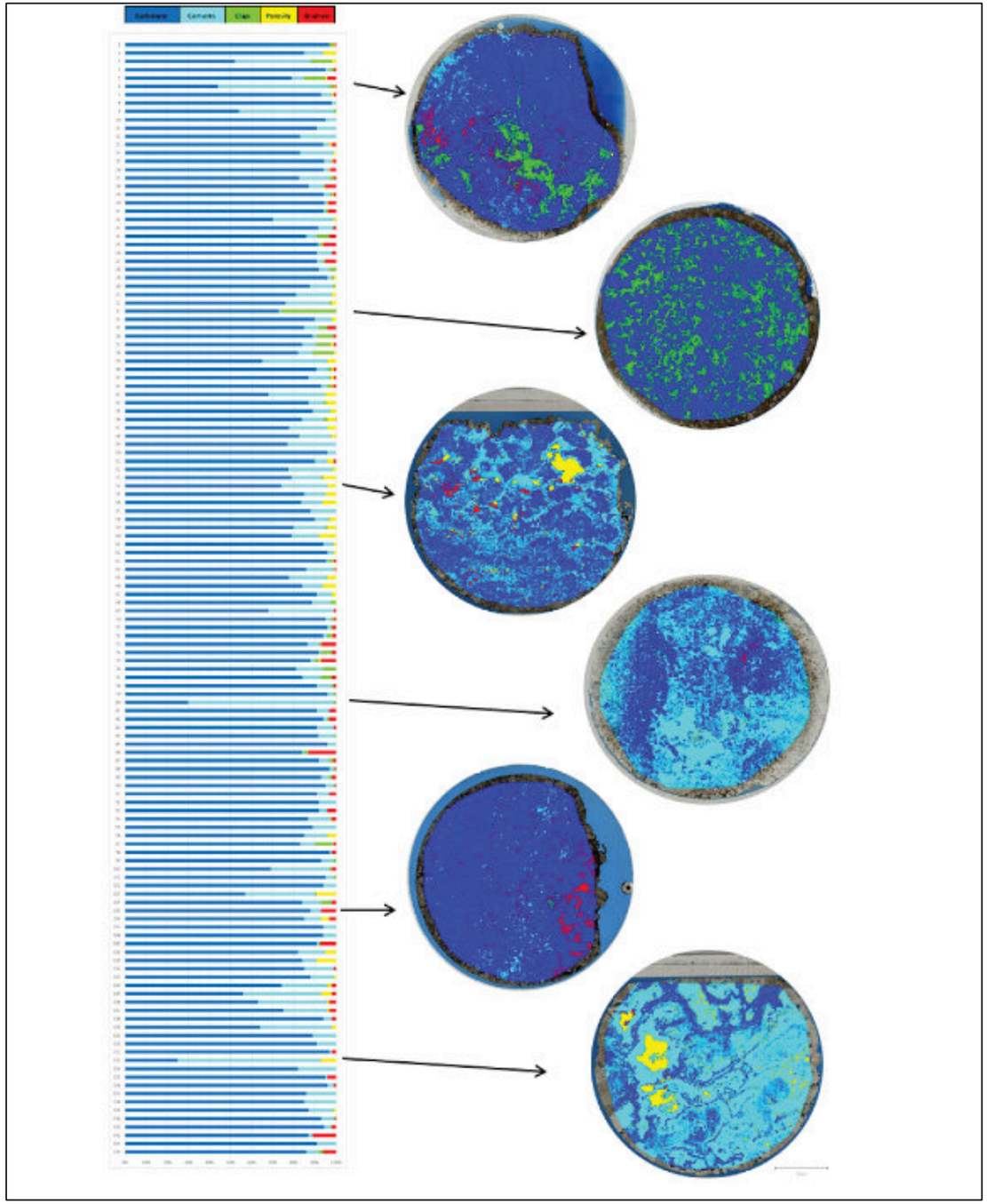


Figure 2. Results of the machine learning supervised classification in thin section images in an exploration well.

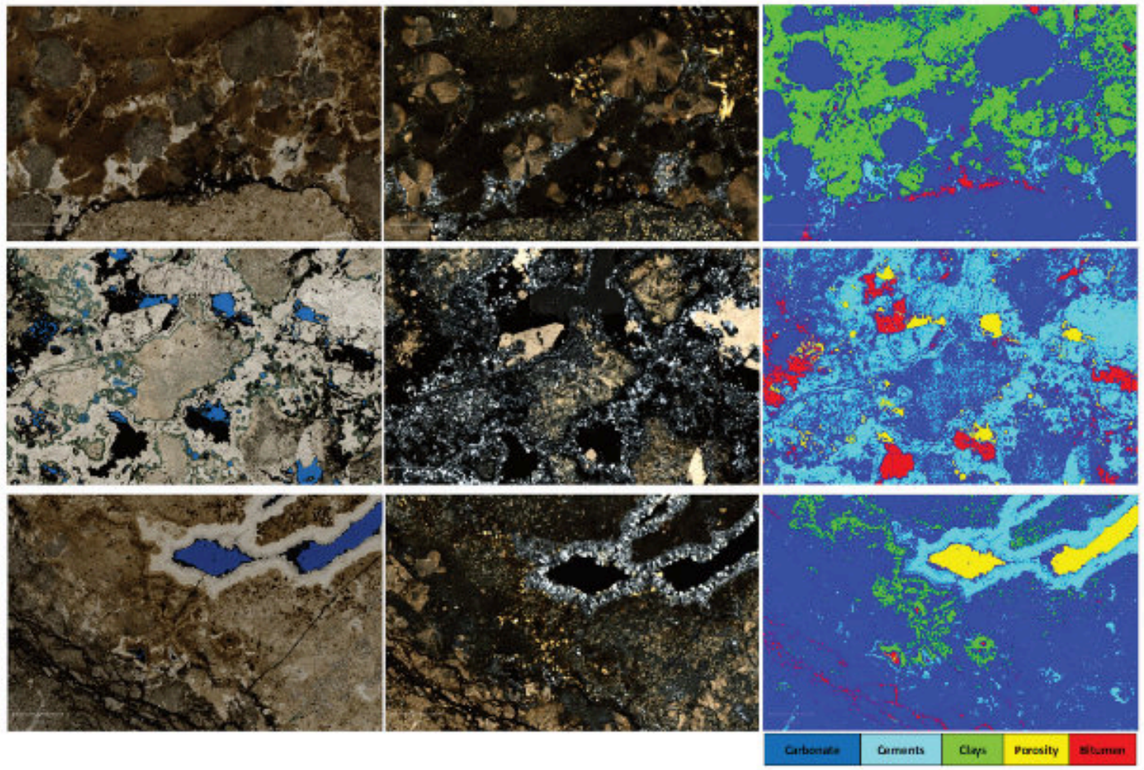


Figure 3. Selected examples of the visual comparison of the obtained classifications using the supervised machine learning algorithm: left column correspond to plane-polarized Light images, middle column to cross-polarized light and right column to the obtained classification (distribution map).

Conclusions

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

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

References

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

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

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

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

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

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

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

Linkedin: www.linkedin.com/in/miguelangelcaja

Research Gate: www.researchgate.net/profile/Miguel-Angel-Caja

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

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

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

Email: gemix.earth@gmail.com

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

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

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

Foro de discusión
Discussion Forum

A sugerencia de uno de nuestros lectrores, a partir de la revista de agosto de 2022, estaremos incluyendo las opiniones y discusiones de nuestros lectores en relación a las Notas Geológicas publicadas, lo que permitirá la participación activa de los interesados. En definitiva, este foro de discusión será de gran valor para mantener el interés en una gran variedad de temas geológicos, y creará un ambiente de colaboración cordial entre nuestras comunidades de Geociencias.

Por favor envíen sus observaciones, comentarios y sugerencias a cualquiera de los Editores de la Revista Maya de Geociencias.

At the suggestion of one of our readers, beginning with this August issue we will be including opinions and discussions from our readers relating to the published geological notes. This will permit active participation by interested parties. This discussion forum will certainly have great value for maintaining interest in a wide variety of geological themes, and will create a cordial, collaborative atmosphere among our geoscience community.

Please send your observations, comments and suggestions to any of the Editors of the Revista Maya de Geosciencias.

MISCELÁNEOS

Xaman Ek, Dios de la Estrella Polar

La quinta deidad más común en los códices es Xaman Ek, el dios de la estrella polar, que aparece 61 veces en los tres manuscritos. Se le representa siempre con la cara de nariz roma y pintas negras peculiares en la cabeza. No tiene más que un jeroglífico de su nombre, su propia cabeza, que se ha comparado a la del mono. Esta cabeza, con un prefijo diferente al de su nombre, es también el jeroglífico del punto cardinal norte, lo cual tiende a confirmar su identificación como dios de la estrella polar. La naturaleza de su aparición en los manuscritos indica que ha de haber sido la personificación de algún cuerpo celeste, importante.

Museo DITSONG de Ciencias Naturales: Sudáfrica

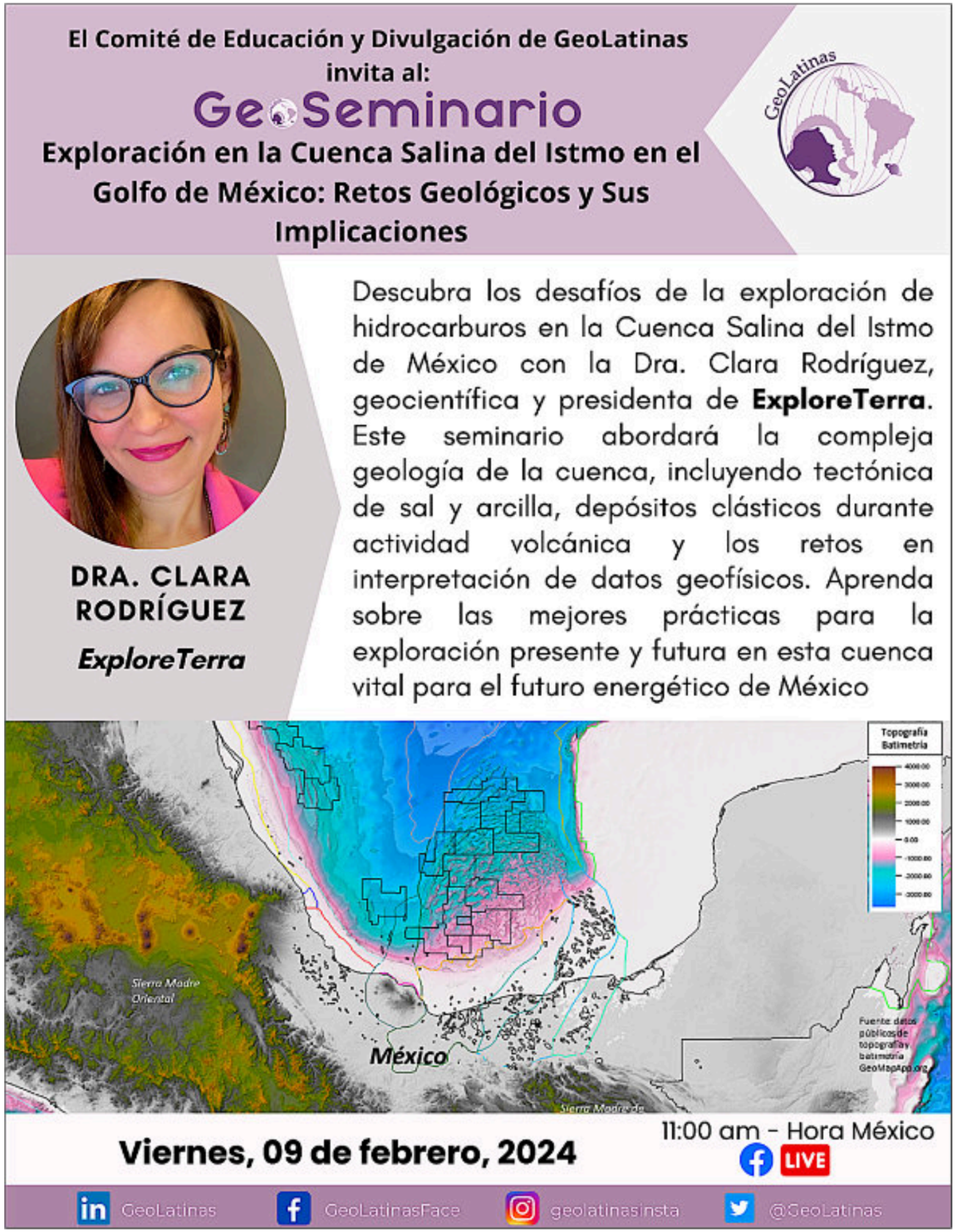
Haz click en la imagen

GeoLatinas involucra a las/los científicas/cos de la Tierra y el Espacio, facilitando colaboraciones y relaciones entre estudiantes, profesionales y académicos, incluso fuera de las Geociencias, es una organización inclusiva, colaborativa y dirigida por sus miembros, trabajamos mediante subcomités dirigidos por pequeños equipos permitiendo alcanzar nuestros objetivos, e impactar más allá de la comunidad científica llegando al público en general.

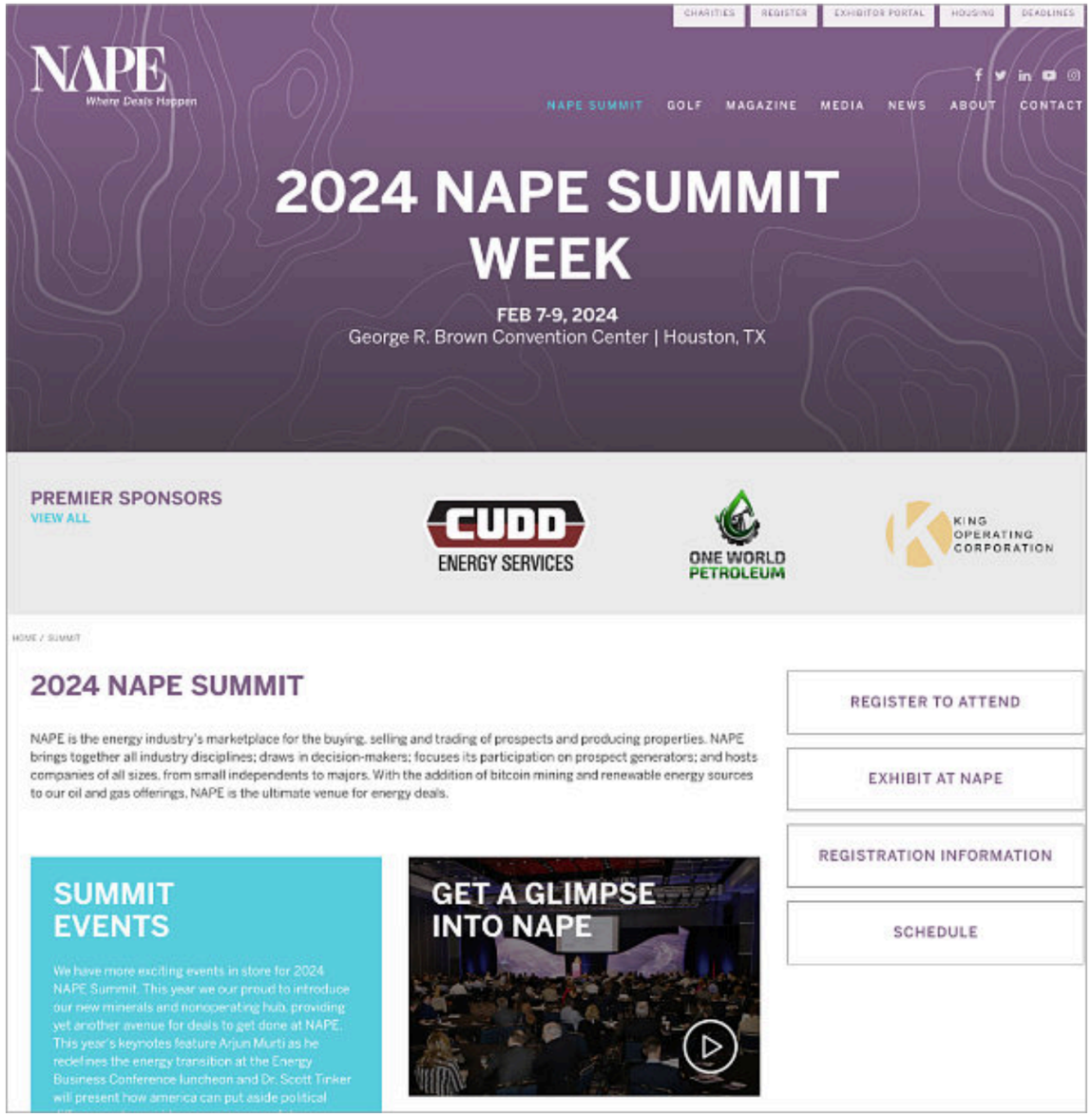
Queremos presentarles nuestra iniciativa de GeoSeminarios en su edición en español y para trabajos de tesis, formando parte del área de Educación y Divulgación, con esta iniciativa abrimos un medio más para la divulgación y promoción de los trabajos de investigación, así como también para que se presenten los proyectos de tesis de grado de todos los niveles académicos, ofreciendo un espacio para que nuevos investigadores desarrollen sus habilidades de comunicación científica a todo tipo de público, permitiendo que tengan un alcance nacional e internacional, destacando la participación principalmente de las mujeres. Desde el 08 de octubre del 2021 que realizamos el primer GeoSeminario a la fecha hemos llevado a cabo 26 presentaciones de temas variados con impacto científico, social, y en la salud. Te invitamos a presentar en nuestro espacio tu trabajo en Geociencias ya sea de tema especializado tanto de interés para la academia como para la industria o tu proyecto de grado de cualquier nivel académico. **Sigue nuestros GeoSeminarios, ya sea en vivo o visitando nuestras redes sociales y viendo las grabaciones:** https://geolatinas.org/ https://www.facebook.com/GeoLatinasFace/

Comité de Educación y Divulgación de GeoLatinas. División GeoSeminarios

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS



https://napeexpo.com/summit



http://encomunicacionct.geociencias.unam.mx/

La casa de las cavernas

https://www.thetravel.com/caves-largest-ranked-size/

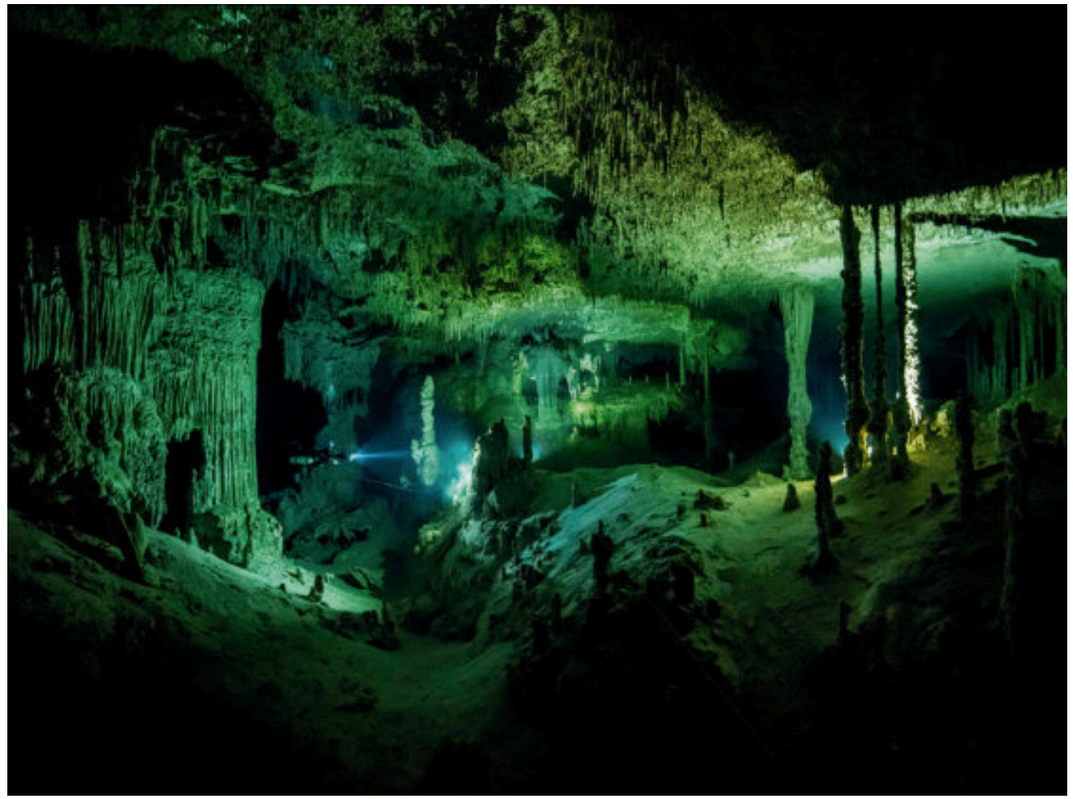
https://www.nps.gov/maca/learn/nature/stalactites-stalagmites-and-cave-formations.htm

https://cavern.com/learn/formations.asp

http://www.goodearthgraphics.com/virtcave/largest.htm

https://petapixel.com/2021/11/05/photographing-the-expansive-underwater-caves-of-the-yucatan/

https://theculturetrip.com/north-america/mexico/articles/mexico-s-cenotes-hidden-gems-of-the-yucatan/



Caverna del arte

Cuento: El Encuentro

Autor: Claudio Bartolini

Diego de Velázquez Cuéllar fue un avezado conquistador y aventurero. Formó parte del segundo viaje de Cristóbal Colón en 1493, sólo un año después del descubrimiento de América. Años después fue nombrado gobernador de Cuba, y administró esta colonia española desde 1511 hasta su muerte en 1524. Fue el fundador de seis ciudades en la isla y un importante gobernante durante el reinado español. En 1519, Diego de Velázquez asignó al Capitán Hernán Cortés la exploración del continente americano, localizado al oeste de la isla. Sin embargo, días antes de la partida, Velázquez cambio de idea y designó a alguien diferente para esta aventura. Cortés hizo caso omiso a las órdenes del gobernador, y empezó a organizar su viaje.

Hernán Cortés seleccionó a 943 valientes soldados y a varios cocineros para que le acompañaran en este incierto viaje. Dado el pequeño ejército que le acompañaría, Cortés no tenía la menor duda de que sería derrotado fácilmente por las tribus indígenas. También pensaba que era muy probable le faltarían municiones para los cañones y mosquetes. Tenía que pensar en algo que le garantizara la victoria en sus aventuras por el Nuevo Mundo, y lo conseguiría, puesto que poseía una ambición y una crueldad que superaban infinitamente la imaginación de Julio Verne. Así que, un día entró a la "La Conquista", la cantina más popular de La Habana, donde estuvo sumido por varias horas en pensamientos progresistas y constructivos, hasta que concibió la idea esperada: construiría un arma letal con los virus de la viruela, el sarampión y la rubéola. Nadie imaginaría que cientos de años después, la humanidad apostaría por la producción de armas biológicas, para la destrucción del ser humano.

Las órdenes estrictas de Cortés fueron no llevar cañones ni mosquetones, porque no habría batallas. Para sorpresa de sus hombres, hizo que cargaran cien cuerpos embalsamados de personas que habían muerto a causa de los virus de la viruela, el sarampión, y la rubéola. Un día 18 de febrero de 1519, Hernán Cortés y sus hombres partieron de Cuba en tres submarinos de fabricación soviética construidos con madera altamente resistente, de árboles de alerce de la región de Siberia. Estaba dispuesto a conquistar las tierras mexicanas para la corona de España. Jamás, mente alguna imaginaría que ésta sería una de las aventuras de conquista que cambiarían el curso de las historias de México y España.

La travesía de Cuba al continente fue relativamente corta. Hernán Cortés y sus hombres desembarcaron en lo que ahora se conoce como el Estado de Veracruz, sin incidentes. Llegando a tierra fueron enfrentados por grupos de indígenas de la región y, para sorpresa de todos, Cortés no respondió violentamente, sino que muy cordialmente les invitó a comer las exquisitas viandas preparadas por sus cocineros con los cadáveres infectados con rubéola. La pérdida de vidas entre las tribus indígenas fue catastrófica, y él pudo avanzar sin problemas hacia la región central de México.

A escazos días de su presencia en la región selvática del actual Estado de Veracruz, las tribus indígenas ofrecieron a Cortés veinte doncellas esclavas, pero él solamente escogió a una de ellas llamada Malinche, quien aprendió el castellano de una manera asombrosa. Ella no fue solo un elemento clave en el avance de la fuerza invasora, sino además la responsable de la estrategia en ese nuevo y extraño mundo. La inteligencia y la belleza de la mujer nativa americana pronto conquistaron a Cortés, quien la hizo su compañera sentimental. Durante el tiempo en que Malinche colaboró con los españoles, fue alimentada con los productos del ejército. Pero cuando Cortés se enteró que la Malinche estaba esperando

un hijo de él, decidió eliminarla, y fue precisamente en la Nochebuena, que se levantó muy temprano para prepararle el desayuno a su querida mujer, y utilizó las carnes infectadas en el sabroso desayuno. La que pudo haber sido la madre del primer mestizo, falleció sin honores ni glorias.

Conforme el ejército español se movía tierra adentro, particularmente a la región del centro de lo que ahora es México, poblada por miles de tribus, destacadamente la de los tlaxcaltecas, fueron atacados súbitamente con gran violencia. De nuevo, la respuesta militar fue culinaria. Se tendieron grandes manteles blancos para servir los deliciosos platillos y postres con sarampión. En cada ocasión se alimentaba a los indígenas con carne infectada, pero con gran esmero y amabilidad. La inmensa bondad de Hernán Cortés se extendió como reguero de pólvora en tierras mexicanas. El hombre blanco y barbudo enviado por Dios, quien montaba una extraña bestia de cuatro patas, se convirtió en el gran benefactor del nuevo mundo. Incluso sus cocineros gozaban de una reputación excepcional, que sin duda despertaría hoy la envidia de los cocineros franceses.

El primer encuentro del emperador de esta región, Moctezuma, con Hernán Cortés fue en la Ciudad de Tenochtitlan, el 8 de noviembre de 1519. Moctezuma agasajó a los españoles con toda clase de atenciones y lujos, ya que los consideraba enviados de los dioses. También dio instrucciones para que trajeran los tesoros de oro, plata y piedras preciosas, que había acumulado durante siglos, y se los entregaran a Hernán Cortés. Siendo varias toneladas de metales preciosos y joyas, Cortés concibió la idea de enviar los tesoros directamente al Rey Carlos I de España, evitando que Diego de Velázquez pudiera apoderarse de los mismos. Los tesoros fueron enviados a Veracruz, y cargados en los tres submarinos, en que había llegado Cortés, con destino a España. Para su mala suerte, no tomaron en cuenta la enorme distancia, y los tres submarinos de madera soviéticos que, a pesar de haber sido construidos con tecnología de punta, comenzaron a desclavarse, partiéndose en mil pedazos en medio del Océano Atlántico, donde todavía yacen sobre el piso oceánico. Ésta fue una gran pérdida económica para la Corona Española que, en represalia, forzó a Cortés a quedarse para siempre en tierras mexicanas.

El encuentro entre diferentes individuos de la especie *Homo sapiens,* quienes habían evolucionado y migrado en diferentes tiempos a variadas regiones del mundo, fue realmente impresionante. Los españoles representaban la migración del *Homo sapiens* desde el centro de África hacia Europa, hacía más de 300 mil años, mientras que los indígenas americanos representaban la etapa final de la migración del *Homo sapiens* a través Asia, cruzando el Estrecho de Bering para poblar las tierras americanas hacía 30 mil años. Irónicamente, después de migrar a través del mundo durante trescientos mil años, *Homo sapiens* se reencontró a sí mismo hace solo quinientos años, en la Ciudad de Tenochtitlan. Independientemente de los rasgos físicos, el lenguaje y los dioses en los que creían, ambos, españoles e indígenas americanos, tenían un origen común: el centro de África.

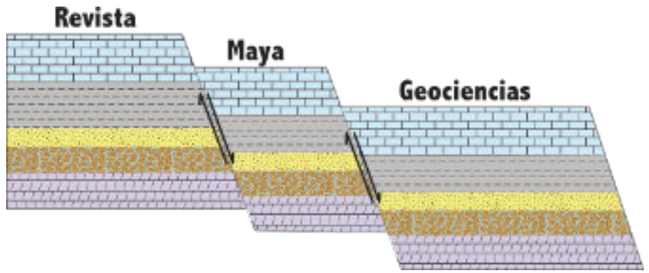
Un día después de su primer encuentro, para corresponder a las atenciones de Moctezuma, Cortés ordenó a sus cocineros preparar un banquete especial en honor al emperador, a su familia y a la corte de honor. El cocinero, originario de Cataluña, seleccionó con emoción varios de los cadáveres infectados con el virus de la viruela y preparó, con gran dedicación, una extensa variedad de platillos, botanas y ricos postres, los cuales fueron prácticamente devorados por Moctezuma y su gente. Comían a reventar, pero se sorprendieron que los españoles no probaran bocado. Hernán Cortés explicó con humildad que él y sus soldados eran todos vegetarianos, y que preferían comer los nopales, papas y tomates que les brindaban los aztecas.

Con la muerte de Moctezuma, Cuauhtémoc tomó las riendas del imperio, decidido a acabar con los invasores. Hernán Cortés fue informado que Cuauhtémoc era muy desconfiado, por lo que fraguó una nueva estrategia para eliminarlo. Sabiendo de antemano, por informaciones de sus espías, que el nuevo emperador sufría intensamente de grandes juanetes y ojos de pescado en sus pies, le ofreció un masaje terapéutico, mismo que Cortés le daría

personalmente. Esta noble actitud por parte de Cortés, confirmaba su benevolencia y el cariño sin límites para con los nativos del nuevo continente. Adicionalmente se le ofreció un banquete tan variado, que Cuauhtémoc simplemente no pudo despreciarlo. Los expertos cocineros se esmeraron en preparar una combinación suculenta de fiambres infectados, pero además un jugo concentrado de tuétano de huesos de fémur. Mientras Cuauhtémoc disfrutaba de su “almuerzo europeo”, Cortés le aplicaba una terapia relajante y un cariñoso masaje. Aunque Cortés había planeado quemarle los pies, terminó besándoselos, porque quería saber dónde estaba el oro. De acuerdo con las notas de Bernal Díaz del Castillo, el historiador español, Cuauhtémoc y su comitiva real, apenas media hora después de la espectacular degustación, fueron a hacer compañía en el cielo al Emperador Moctezuma.

Cortés decidió entonces, lanzar el asalto final en contra de la Ciudad de Tenochtitlan, acompañado por las tribus enemigas de los aztecas, especialmente los tlaxcaltecas. La defensa militar de la ciudad por los guerreros águila duró 75 días, durante los cuales, día y noche, a los aztecas les fueron servidos los manjares más deliciosos. Incluso, en ocasiones especiales, se permitía a los guerreros águila pedir a la carta. Y así, la viruela, el sarampión y la rubéola, acabaron sin piedad con el ejército azteca. Durante esta batalla clave, los soldados españoles recibieron instrucciones de meter los cadáveres infectados en el sistema de distribución de agua potable de la ciudad, lo que facilitó la victoria total. Finalmente, Tenochtitlan cayó en manos de los conquistadores españoles.

La conquista de México por los españoles se realizó sin disparar un solo mosquete o cañón, tal como Hernán Cortés lo había planeado desde el principio, a quien hay que dar el gran mérito de haber concebido, y llevado a cabo, la primera guerra biológica en la historia de la humanidad. La viruela, el sarampión y la rubéola fueron sus grandes aliados y la clave de su éxito militar.



Lo consiguieron porque no sabían que era imposible.

Jean Cocteau

M.Sc. **Wilmer Pérez Gil** (Pinar del Río, Cuba, 1983) es Ingeniero Geólogo egresado de la Universidad de Pinar del Río "Hermanos Sáiz Montes de Oca" en 2010. A partir de 2012 ejerce como docente en el Dpto. de Geología, perteneciente a la Facultad de Ciencias Técnicas de la referida casa de altos estudios. Imparte asignaturas en pregrado como Geología General, Fotografía y Dibujo Geológico Básico, Rocas y Minerales Industriales, entre otras disciplinas. Desde 2011 se desempeña como responsable de Eventos y Asuntos Editoriales de la Sociedad Cubana de Geología, en la filial de la provincia de Pinar del Río. A inicios de 2021 crea el proyecto "Geocaricaturas", grupo público de Facebook para la promoción del conocimiento de las ciencias de la Tierra, con una perspectiva educativa a través del humor inteligente. Buena parte de las caricaturas de temática geológica que conforman esta iniciativa gráfica se han publicado en secciones de geohumor de revistas como Ciencias de la Tierra (Chile), y Tierra y Tecnología (España). Desde finales del propio 2021 es miembro del LAIGEO o Capítulo Latinoamericano de Educación de las Geociencias (IGEO, por sus siglas en inglés), donde se presenta como responsable del Proyecto "GeoArte en América Latina y el Caribe". Posee varios geopoemas y geocuentos dedicados a la geología, algunos publicados y otros aún inéditos, donde fusiona literatura, ciencia e imaginación. Si deseas comunicarte con el Artista. If you wish to contact the Artist: wilmerperezgil5@gmail.com

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

The Danakil Depression

A site where the birth of a new ocean is happening and new oceanic crust is forming can be observed at the surface in the Danakil Depression. The region boasts several iconic and spectacular geological sites: Ert'ale volcano with an active lava lake, the Dallol geothermal area with uniquely important polyextreme environment (brines, active geysers, and other hydro-thermal and saline systems), and several salt lakes Despite being an extreme environment, the salt has been mined for centuries by traditional miners and continues to date It is a major tourist destination with geosites as attractions (Dalol, the salt caravans, and the Ert'ale volcano).

Compilado por Nimio Tristán,
Geólogo,
Houston, Texas

https://en.wikipedia.org/wiki/Danakil_Depression

https://www.britannica.com/place/Denakil-Plain

https://www.brilliant-ethiopia.com/regions/danakil-depression

https://www.cnbc.com/2020/04/09/danakil-depression-hot-and-harsh-but-travelers-love-it.html

https://www.theatlantic.com/photo/2018/04/travel-monday-a-photo-trip-to-ethiopias-danakil-depression/558128/

https://www.thetravel.com/danakil-depression-can-you-visit/

https://earthobservatory.nasa.gov/images/84239/curiosities-of-the-danakil-depression

https://worldofwanderlust.com/how-to-visit-the-danakil-depression-and-what-to-expect/

https://iugs-geoheritage.org/geoheritage_sites/the-danakil-rift-depression-and-its-volcanism/

https://www.nationalgeographic.com/travel/article/130525-salt-ethiopia-mining-extreme-volcano-heat-transportation

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.

Universidad Tecnológica de la Habana, CUJAE - https://cujae.edu.cu/

Escuela de Geofísica: https://t.me/ConoceGeofisicaCujae.edu.cu/

Instituto Nacional de Geoquímica (México). https://www.inageq.com/

Geología Médica

http://www.medgeomx.com/

GeoLatinas

https://geolatinas.org/

Asociación de Geólogos y Geofísicos Españoles del Petróleo

https://aggep.org/

Sociedad Geológica de España

https://sociedadgeologica.org/

Sociedad Cubana de Geología

http://www.scg.cu/

Sociedad Dominicana de Geología

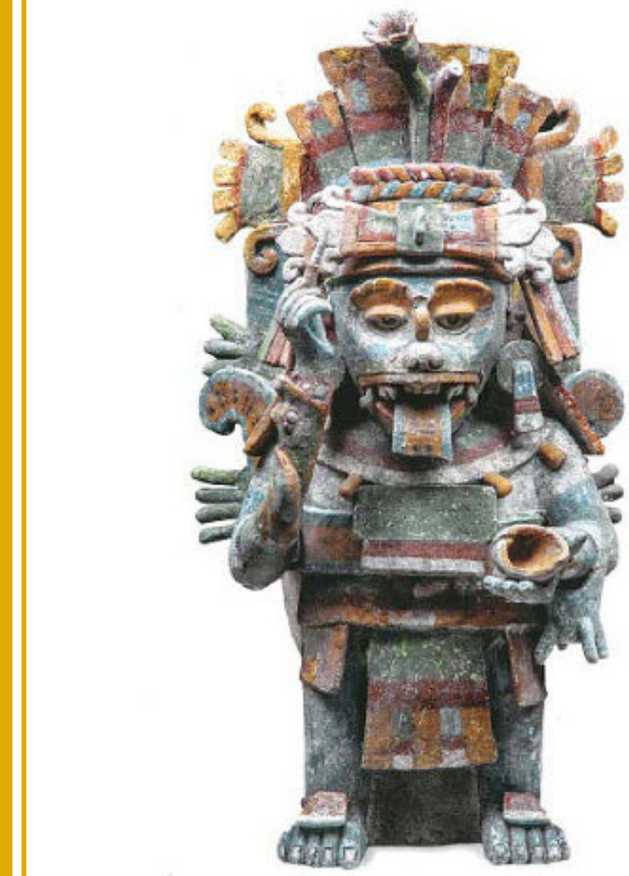
http://sodogeo.org/

Universidad Tecnológica del Cibao Oriental, República Dominicana

https://uteco.edu.do/

CBTH

http://cbth.uh.edu/



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

MAYA
REVISTA DE GEOCIENCIAS

¿QUIERES COLABORAR CON NOSOTROS?

ENVÍANOS UN CORREO A:

luis.valencia.11@outlook.com; bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu