

**MARZO
2024**



MAYA

REVISTA DE GEOCIENCIAS



MARZO
2024



MAYAYA

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 bilingüe. 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 esencialmente de divulgación, con resultados y conocimientos nuevos, en beneficio de nuestra comunidad de geociencias. Estas notas no están sujetas a arbitraje.

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

Portada de la revista: Soft sediment deformation in the Dead Sea Basin. Photo by **Gheith Alfakri.**

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.

EDITORES



Luis Angel Valencia Flores (M.C.). Ingeniero Geólogo y Maestro en Ciencias en Geología, egresado de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura-Unidad Ticomán. Ha trabajado en el IMP, Pemex Activo Integral Litoral de Tabasco, Schlumberger, Paradigm Geophysical, Comisión Nacional de Hidrocarburos, Aspect Energy Holdings LLC, actualmente es académico del IPN (posgrado y licenciatura) y la UNAM (licenciatura) impartiendo las materias de Evaluación de formaciones, Caracterización de yacimientos, Geología de yacimientos, Geoquímica, entre otras del ramo petrolero. Cuenta con experiencia de 20 años trabajando en diversos proyectos de planeación y

perforación de campos, pozos costa afuera, petrofísica, geomodelado y caracterización de yacimientos entre ellos: Cantarell, Sihil, Xanab, Yaxche, Sinan, Bolontiku, May, Onixma, Faja de oro, campos de Brasil, Bolivia y Cuba. Como Director General Adjunto en la CNH fue parte del equipo editor técnico en la generación de los Atlas de las Cuencas de México, participó como ponente del Gobierno de México en eventos petroleros de Canadá, Inglaterra y Estados Unidos. Es Technical Advisor del Capítulo estudiantil de la AAPG-IPN.

luis.valencia.11@outlook.com



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

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

bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu



Josh Rosenfeld (Ph.D.). He obtained an M.A. from the University of Miami in 1978, and a Ph.D. from Binghamton University in 1981. Josh joined Amoco Production Company as a petroleum geologist working from 1980 to 1999 in Houston, Mexico and Colombia. Upon retiring from Amoco, Josh was employed by Veritas DGC until

2002 on exploration projects in Mexico. He has been a member of HGS since 1980 and AAPG since 1981, and currently does geology from his home in Granbury, Texas.

jhrosenfeld@gmail.com



Claudio Bartolini (Ph.D.) is presently a senior exploration advisor at Petroleum Exploration Consultants Americas. He has more than 25 years of experience in both domestic and international mining and petroleum exploration, mainly in the United States and Latin America. Claudio is an associate editor for the AAPG Bulletin and he has edited several books on the petroleum geology of the Americas. He is a

Correspondent member of the Academy of Engineering of Mexico.

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

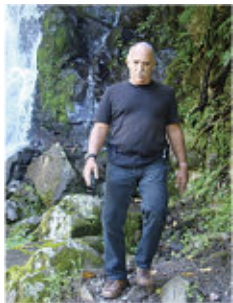
COLABORADORES



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 checoslovaca 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 tesis 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 compañías tal como Amoco, Unocal, y Statoil. Realizó

proyectos de geología sobre EEUU, México, Centroamérica 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.

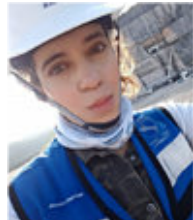
jonblickwede@gmail.com



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, logeo geológico, instrumentación geotécnica, cartografía de riesgos, supervisión de perforaciones y difusión de geopatrimonio.

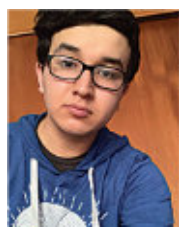
gleon.laura@gmail.com



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 Ingeniería), sus principales áreas de interés a lo largo de la carrera han sido la tectónica, geoquímica y mineralogía. Es un

entusiasta de la divulgación científica, sobre todo en el área de las Ciencias de la Tierra.

diegogabriel807@gmail.com

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,

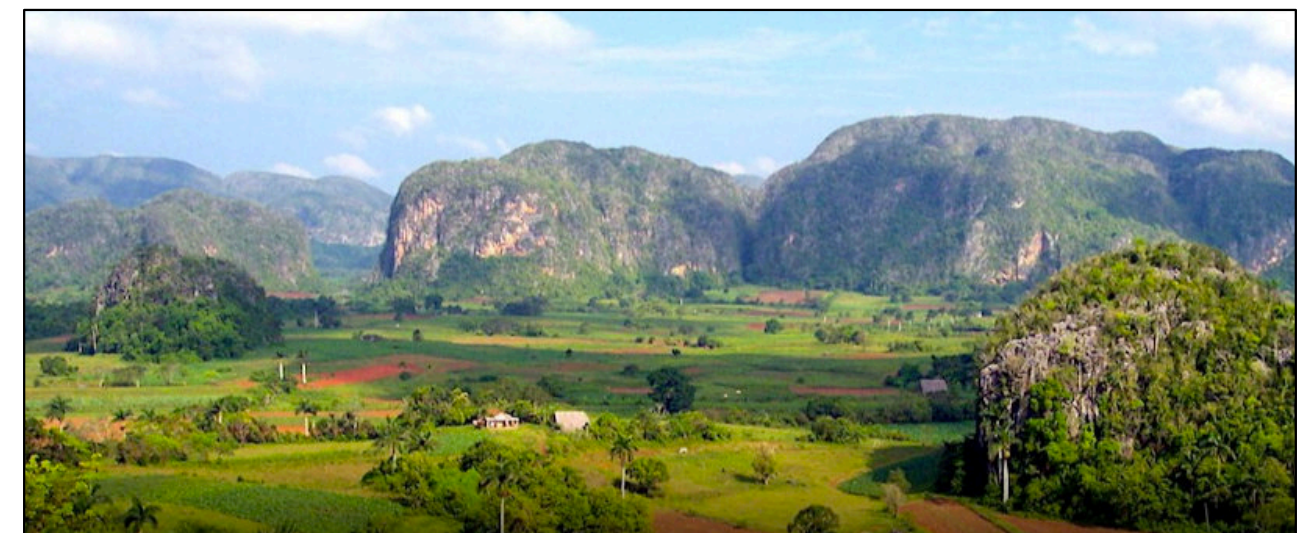
Te invitamos a que visites la página web de nuestra Revista Maya de Geociencias, donde podrán encontrar (en formato PDF), todas las revistas que hemos publicado hasta ahora, mismas que pueden descargar de la página. También estaremos incluyendo información adicional que sea de utilidad para nuestras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

<http://www.revistamaya.com/>



Visítanos en Revista Maya de Geociencias

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





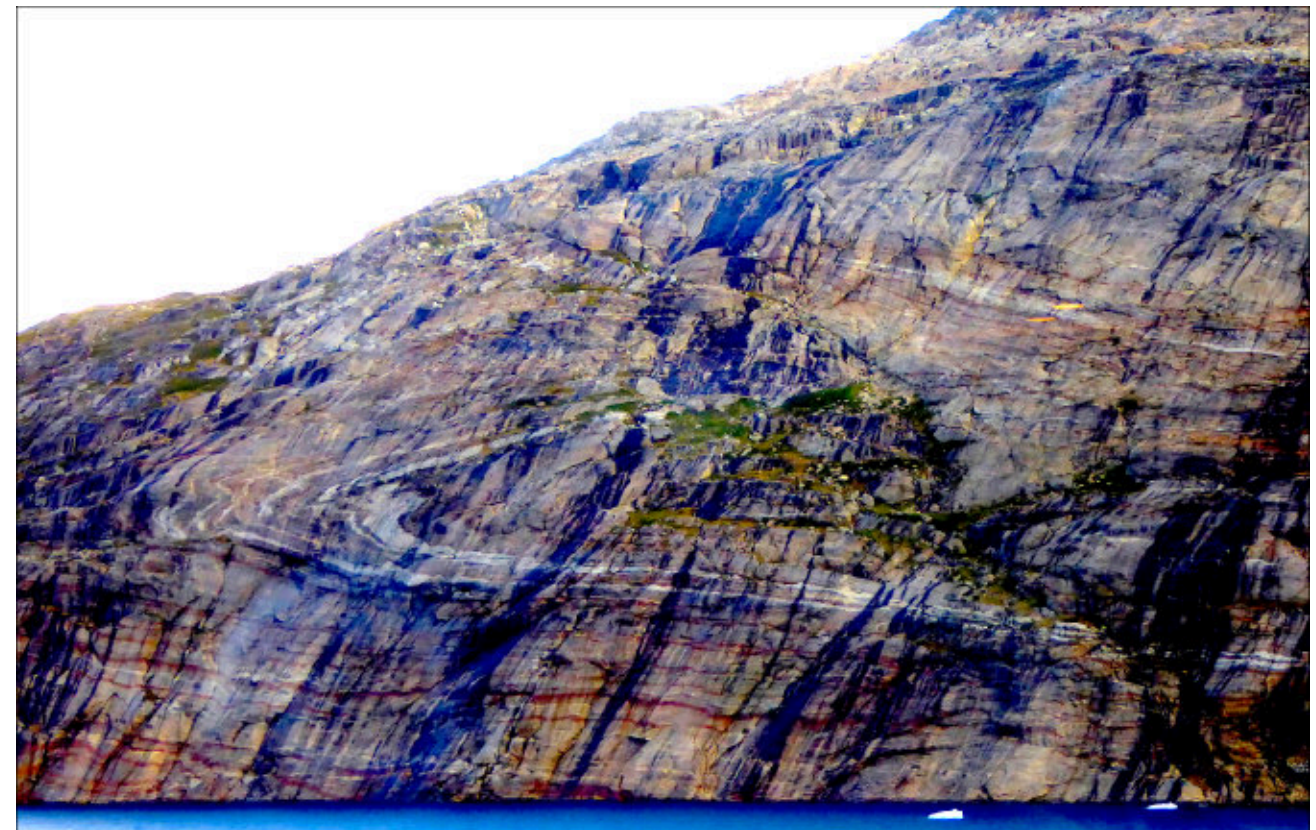
Tertiary mylonites, Catalinas metamorphic core complex, Tucson, Arizona. Photo by Claudio Bartolini.

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/>



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

OBITUARIO

Dr. Luis Manuel Alva Valdivia

Por **Bernardo García Amador**

Editor de la Revista

El Dr. Luis Manuel Alva Valdivia, nacido el 11 de diciembre de 1954 en la Ciudad de México, perteneció a la 2da generación de ingenieros geofísicos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), graduándose en el año 1980. Sus primeros trabajos como ingeniero geofísico versaron en la exploración de uranio, en la entonces empresa paraestatal de URAMEX, así como en empresas de exploración petrolera (p.ej., COMESA). En 1987 se gradúa del Posgrado de la UNAM realizando una tesis de maestría en métodos geofísicos aplicados a la exploración de yacimientos minerales, principalmente de hierro. En 1991 obtiene su grado de doctorado por parte en la UNAM bajo la dirección del Dr. Jaime Urrutia Fucugauchi. En 1991 se traslada a Toronto, Canadá, en dónde se especializaría en el estudio de propiedades magnéticas de las rocas bajo la tutela del Dr. David Dunlop. En el año 1993 regresa a México para comenzar una fructuosa carrera de investigación en el Laboratorio de Paleomagnetismo del Instituto de Geofísica en la UNAM.

La vida académica del Dr. Luis Alva se desarrolló en la aplicación del paleomagnetismo y magnetismo de rocas para el estudio del comportamiento del campo geomagnético del pasado, magnetoestratigrafía, yacimientos minerales, tectónica, arqueología, exploración con anomalías magnéticas, vulcanología, entre otros. Sus investigaciones geocientíficas las realizó tanto en México como en gran parte de Latinoamérica (Chile, Uruguay, Brasil, Nicaragua, etc.), sin dejar de mencionar regiones como la India y Egipto, todo ello en colaboración con investigadores de diversas universidades e institutos, estrechando así grandes lazos académicos y

Páginas relacionadas:

<https://usuarios.geofisica.unam.mx/alva/home.html>

<https://www.researchgate.net/profile/Luis-Alva-Valdivia>

https://www.facebook.com/story.php?story_fbid=713077377656750&id=100068634820289&mibextid=qi2Omg

<https://www.libros.unam.mx/del-instante-de-la-creacion-a-la-formacion-y-estructura-de-la-tierra-9789703226146-libro.html>

de amistad. Asimismo, el Dr. Luis Alva realizó tres estancias sabáticas: en el Instituto Mexicano del Petróleo, México (2001); en la Universidad de Montpellier, Francia (2007); y en el Instituto Tecnológico de Karlsruhe, Alemania (2014); así como cuatro estancias de investigación en Montpellier, Francia, por parte del *Centre National de la Recherche Scientifique* (CNRS).

El trabajo de investigación del Dr. Luis fue presentado en diferentes foros académicos nacionales e internacionales, con más de 100 publicaciones dentro del *Science Citation Index* y 20 no indizadas, 8 en manuales y monografías, 18 resúmenes en extenso y más de 300 presentaciones en congresos y finalmente cerca de 10 participaciones en el área de divulgación y difusión científica y tecnológica. Fue revisor invitado en diversas revistas científicas internacionales, y en sus últimos años desempeñó una labor editorial en la Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, perteneciente al Instituto de Geología de la UNAM. Su vida como docente fue continua impartiendo materias especializadas como “Magnetismo de Rocas” y “Paleomagnetismo” a nivel posgrado, así como diversos cursos sobre temas de geofísica en otras universidades nacionales y extranjeras. Además, dirigió las tesis de 15 estudiantes de licenciatura, 8 de maestría y 7 de doctorado, y perteneció como comité tutor de más de 70 estudiantes.

Este pasado 28 de enero de 2024, el Dr. Luis Manuel Alva Valdivia (“el Doc”) descansó en paz. Sus familiares, amigos, estudiantes y colegas, vamos a extrañar la presencia del Dr. Luis, una persona íntegra, amigable, alegre, bondadosa, sencilla, paciente, gentil, honrada y con un gran corazón con el cual trataba a todos con dignidad. Su legado como ser humano y geocientífico continuará en cada una de las personas que compartimos grandes momentos con él.



Fotografía del Dr. Luis Manuel Alva Valdivia en el Ajusto, México.



Fotografía del Dr. Luis Manuel Alva Valdivia en la India.

Lazos de colaboración y amistad con la AAPG



[Crean IPN y Conagua primera Ingeniería en Meteorología de México | Comisión Nacional del Agua | Gobierno | gov.mx \(www.gob.mx\)](#)



El Instituto Politécnico Nacional (IPN), la Comisión Nacional del Agua (Conagua) y el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) hicieron equipo para el diseño del primer programa académico de **Ingeniería en Meteorología de México**.

El programa busca formar Ingenieros altamente calificados quienes brindaran sus servicios para fortalecer a organismos y dependencias especializadas en la identificación de fenómenos meteorológicos y gestión de riesgos, también apoyaran y gestionaran información estratégica para ayudar a la toma de decisiones de diferentes ordenes de gobierno y del sector económico.

Este convenio es de suma importancia para el país porque el crecimiento de la población y el cambio climático demanda la necesidad de ocuparse en la sustentabilidad y la gestión del agua.

La Ingeniería en Meteorología será ofertada en ciclo escolar de agosto 2024.

CONTENIDO

MARZO
2024

Semblanzas.....	13
Resúmenes de tesis y publicaciones.....	16
Los libros recomendados.....	25
Centros de Tecnología.....	29
Temas de interés.....	38
Fotografías de afloramientos/microscopio.....	55
Notas geológicas.....	59
Misceláneos	
Museos de historia natural.....	86
GeoLatinas – GeoSeminarios.....	87
Revista enseñanza y comunicación de las Geociencias.....	88
II Congreso Internacional Minero–Sinaloa.....	89
CCUS Meeting 2024.....	90
Explora Expo – Bogotá, Colombia.....	91
La casa de los bosques.....	95
Caverna del Arte.....	96
Geo-caricatura (Wilmer Pérez Gil).....	99
The Mt. Nyiragongo Volcano.....	100
Asociaciones geológicas hermanas.....	101

SEMBLANZAS

Dollie Radler Hall: 1897 - 1995

Dollie Radler Hall tuvo una carrera fenomenal como geóloga y gerente de exploración (la primera mujer que ocupó esta posición en el mundo) y, además, pionera en la geofísica, particularmente en el método sísmico. Dollie comenzó a trabajar para Amerada Petroleum Corporation inmediatamente después de la Primera Guerra Mundial. Dos geólogos muy reconocidos participaron en la carrera de Dollie: Everett DeGolyer, quien se había hecho cargo de Amerada en 1919 y Sidney Powers, quien se convirtió en su geólogo principal, ambos fueron proactivos cuando se trataba de contratar, promover y retener a las profesionales femeninas.¹

Dollie creció en el oeste de Oklahoma donde tuvo una infancia ciertamente difícil. A pesar de estas dificultades, ella perseveró, estudió y, después de obtener un título de docente, fue admitida en la Universidad de Oklahoma (OU) en 1916 para estudiar una licenciatura en geología. Dollie trabajó a tiempo completo en Amerada, pero continuó sus estudios de posgrado en la universidad. En 1921, se convirtió en la primera mujer en recibir una maestría en Geología. Después de tres años de entrenamiento inicial y de adquirir experiencia en el negocio del petróleo, Sidney Powers consideró que Dollie era lo suficientemente capaz para ser asignada al trabajo de subsuelo en el este de Oklahoma. Dos años después, en 1923, fue promovida a la gerencia y se hizo cargo de muchas de las responsabilidades administrativas de Powers en la oficina de Tulsa.

En 1926, Dollie fue promovida a "geóloga administrativa" y, doce meses después, a la edad de 30 años, recibió una nueva promoción, como responsable de operaciones y hacer recomendaciones para exploración, arrendamiento de permisos y la perforación al frente de 100 empleados.

De 1927 a 1928, Dollie jugó un papel importante en los primeros descubrimientos utilizando la tecnología de reflexión sísmica. Ella contrató cinco geofísicas y unas diez geólogas. En septiembre de 1928 fue el segundo descubrimiento hecho en el mundo utilizando la sísmica. El descubrimiento abrió las puertas para el uso extensivo de la tecnología de reflexión. En tiempos de grave enfermedad de Sidney, Dollie se encargó con todo el trabajo y la responsabilidad de ubicar los pozos exploratorios. Estuvo involucrada en las campañas experimentales en 1927-29 en Oklahoma y Kansas llegando hasta la región de las Montañas Rocallosas. Los experimentos se llevaban a cabo en el mayor secreto para no revelar sensibles elementos de la tecnología.

A lo largo de su carrera, acumuló intereses de regalías de muchas de las propiedades que exploró, algunas a través de su trabajo con Amerada y otras por su cuenta. Cuando



Sidney Powers murió en 1932, no solo perdió un jefe sabio y un estimado colega, sino también un mentor que había guiado sus pasos durante más de una década y que, a su vez, había confiado en ella. Después de la muerte de Sidney Powers, Everette DeGolyer continuó como presidente de la compañía y promovió a Dollie como "geólogo jefe interino". El puesto que, por derecho, debería haber sido suyo, representó un dilema para DeGolyer. La posición quedó abierta en la estructura administrativa, nunca le otorgaron la plaza. En 1949, se retiró de Amerada y se mudó a Tulsa, donde estableció un negocio de consultoría.

El trabajo en Cuba

Uno de sus proyectos más inusuales fue el trabajo en Cuba. Ruth Sheldon Knowles, escribiendo en World Oil, marzo de 1956, dice: "La Sra. Dollie Radler Hall, geóloga consultora de Tulsa ... ha realizado uno de los estudios más intensivos y exhaustivos de la geología de Cuba. Ella declara, 'Hay evidencia de que hay alguna forma de petróleo presente en cada provincia de Cuba, que hay una sección muy gruesa de rocas sedimentarias desde el Jurásico hasta tiempos recientes que no ha sido explorada ... hay amplia evidencia de que estas rocas están bajo condiciones apropiadas. las condiciones podrían formar depósitos excelentes y también existe abundante roca madre' La Sra. Hall señala que uno de los mayores obstáculos para la exploración en Cuba ha sido "que todo el mundo ha llamado todo verde, serpentina y todo lo que sea duro, granito".²

Sheldon continua que, antes del descubrimiento de 1954 de petróleo pesado en areniscas del Cretácico Superior en Jatibonico, los hallazgos de petróleo anteriores provenían de rocas serpentinas. Sheldon cita a Dollie diciendo: "El petróleo, obviamente, no se originó en la serpentina. Por lo tanto, se piensa que el petróleo que ahora se encuentra en la serpentina fue originalmente atrapado en profundidad y fue llevado a su posición actual durante la actividad ígnea que perturbó el depósito original ... debería haber grandes depósitos en la profundidad".



El artículo sobre exploración cubana incluyó el entusiasmo por la prospectiva de Cuba por parte de DeGolyer, Wallace Pratt y otros.³

La ONRM guarda algunos de sus trabajos. Entre ellos uno denominado "Perforaciones recomendadas para la exploración de algunas áreas de Cuba para prospección de petróleo." con recomendaciones sobre varios prospectos de perforación seleccionados por Mr. Frank Fisk y la propia Dollie.⁴ Estos son

1. Área Buena Ventura en la costa sur de Cuba al noroeste de la Bahía de Cochinos.
2. Área Bolondrón al Suroeste del anticlinal Recreo en Máximo Gómez

3. Área Caleta Buena al Este de Playa Girón
4. Área Aguada de Pasajeros.
5. Área Fisk al sur de Jatibonico.

Otro reporte contiene una evaluación integral de todas las concesiones en Cuba bajo la dirección de Cuban Venezuelan Oil Voting Trust y Trans Cuba Oil Co. así como sobre los derechos de concesión de las veinte y cuatro subsidiarias de C. V. O. V. T. en Cuba. Este es un trabajo de realmente mucha envergadura sobre todo si se considera que el área concesionada a ambas compañías incluía, además de las zonas terrestres, zonas marina someras, de aguas profundas y ultra profundas y zonas en disputa con la Gran Bretaña en las Bahamas.⁵

A resaltar además el trabajo publicado en el Tulsa Geological Society Digest en 1956 denominado A look at the oil possibilities of Cuba. El artículo contiene no solo una serie de evaluaciones sobre las cuencas sedimentarias de Cuba con posibilidades reales de encontrar nuevos yacimientos en aproximadamente la mitad del territorio de la isla sino además que prodiga muchas evaluaciones positivas sobre los cubanos como pueblo. Dada las condiciones naturales de la isla "Se necesita un combustible natural para atraer a la industria y estabilizar su economía y elevar su nivel de vida".⁶

Sus últimos años

Dollie Radler Hall también es recordada como una gran mentora para los estudiantes de la Universidad de Oklahoma a lo largo de su carrera, además de ser activa en sociedades profesionales. Ella fue la primera mujer Miembro Honorario de la Sociedad Geológica de Tulsa. Notablemente, en 1963, ella fue la primera mujer en convertirse en Miembro Honorario de AAPG. Dollie también fue fundadora de la División de Minerales de Energía de AAPG y mantuvo su membresía de AAPG durante 74 años hasta su muerte en 1995 en Broken Arrow Oklahoma a la edad de 97 años.⁷

¹Gries Robbie Women Sitting Wells: A Forgotten History Search and Discovery Article #70190 (2015) Posted September 21, 2015 Adapted from presentation at History of Petroleum Geology Forum, 2015 AAPG Convention & Exhibition, Denver, Colorado, May 31, 2015

²Knowles, Ruth Sheldon. "Cuban Oil Search." World Oil, March 1956, reprint, no page numbers. [Available through Dollie Radler Hall, personal papers, American Heritage Center, University of Wyoming, Laramie, Wyoming. With permission from World Oil, Houston, Texas.

³Knowles, Ruth Sheldon. "\$35 Million Cuban Exploration." World Oil, October 1955, reprint no page numbers. [Available through Dollie Radler Hall, personal papers, American Heritage Center, University of Wyoming, Laramie, Wyoming.]

⁴Hall Dollie Radler 1955 Perforaciones recomendadas para la exploración de algunas áreas de Cuba para prospección de petróleo. 736

⁵Hall Dollie Radler. 1959 1.- Concesiones en Cuba bajo la dirección de Cuban Venezuelan Oil Voting Trust y Trans Cuba Oil Co./ 2.- Derechos de concesión de las 24 Co. bajo la dirección de la C. V. O. V. T. en Cuba. / Traducción al español. 2325

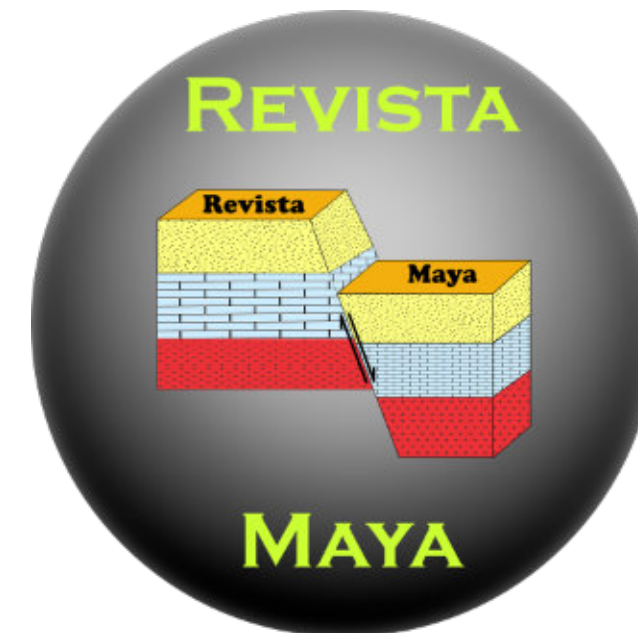
⁶Hall, Dollie Radler. A look at the oil possibilities of Cuba: Tulsa Geological Society Digest, Volume 24, 1956, p. 90-93, 1956.

⁷Geology Pioneer Dollie Hall, 97, Dies. Tulsa World May 17, 1995 <http://www.tulsaworld.com/>



Rafael Tenreiro 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. tenreiro2015@gmail.com



La grandeza de un hombre no se mide por las riquezas que adquiere, sino por su integridad y su habilidad de afectar positivamente aquellos que le rodean.

Bob Marley

PUBLICACIONES

TESIS & RESÚMENES

Mónica V. Vega Ayala

Movimientos en masa y su grado de susceptibilidad en la zona turística Millpu del distrito de Huancaraylla en Ayacucho, Perú.

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo. 2023.

Sustentante: **Mónica Vanessa Vega Ayala.**

Director de Tesis: *Pedro Antonio Olivares Ballena.*

Resumen

Las emergencias por fenómenos de movimientos en masa dentro del territorio peruano se han incrementado en los últimos años según reportes oficiales del gobierno nacional. La clasificación más relevante para estos fenómenos (Proyecto Multinacional Andino, 2007) ha diferenciado 7 tipos, 4 de los cuales ocurren en la zona de este estudio. Contar con un plano de susceptibilidad para tener en cuenta a la hora de tomar decisiones sería un paso importante considerar dentro de la prevención a desastres por movimientos en masa. Por tanto, el objetivo del estudio fue determinar la relación entre las áreas con registro de movimientos en masa y su grado de susceptibilidad. Existen varios métodos para elaborar mapas de susceptibilidad a movimientos en masa, en esta investigación se empleó el método estadístico bivalente y el proceso de análisis jerárquico así lograr mayor objetividad. El primero se empleó para obtener valores de ponderación dentro de la clasificación de cada parámetro, mientras que el segundo se empleó para los valores de ponderación entre los 5 parámetros. Los cinco parámetros con que se trabajó son: pendiente, litología, geomorfología, vegetación e hidrogeología. Todo el procesamiento se llevó a cabo en el software de Qgis. La escala de trabajo es de 1:3000 por ello se denominó plano en vez de mapa. Los datos necesarios para desarrollar este plano fueron: el levantamiento topográfico a detalle a través de Drone, el reconocimiento de campo de todas las zonas donde acontecieron algún tipo de movimientos en masa y fue complementada con la interpretación de la ortofoto. Además, se realizó el reconocimiento geomorfológico, geológico local y tipos de cobertura vegetal. A partir de la información recolectada se prepararon el plano de pendiente y el plano hidrogeológico.

Se llegó a la conclusión que las áreas donde ocurrieron uno más movimientos en masa son altamente susceptibles. Existe una relación de dependencia entre áreas inventariadas y las áreas con alta y muy alta susceptibilidad, porque el 80% de áreas con algún tipo de movimiento en masa son altamente susceptibles. De las áreas registradas con movimientos en masa, los GD12, GD31, GD10, GD11, GD51, GD07, GD08 y GD09 son más importantes por su estado y área de influencia. El circuito turístico, caminos vecinales, canales de agua, espacios de recreación y áreas cultivables se encuentran en el área de influencia. Se recomienda realizar capacitaciones para informar y preparar a la población sobre los fenómenos de movimientos en masa, así disminuir y evitar daños económicos y personales.

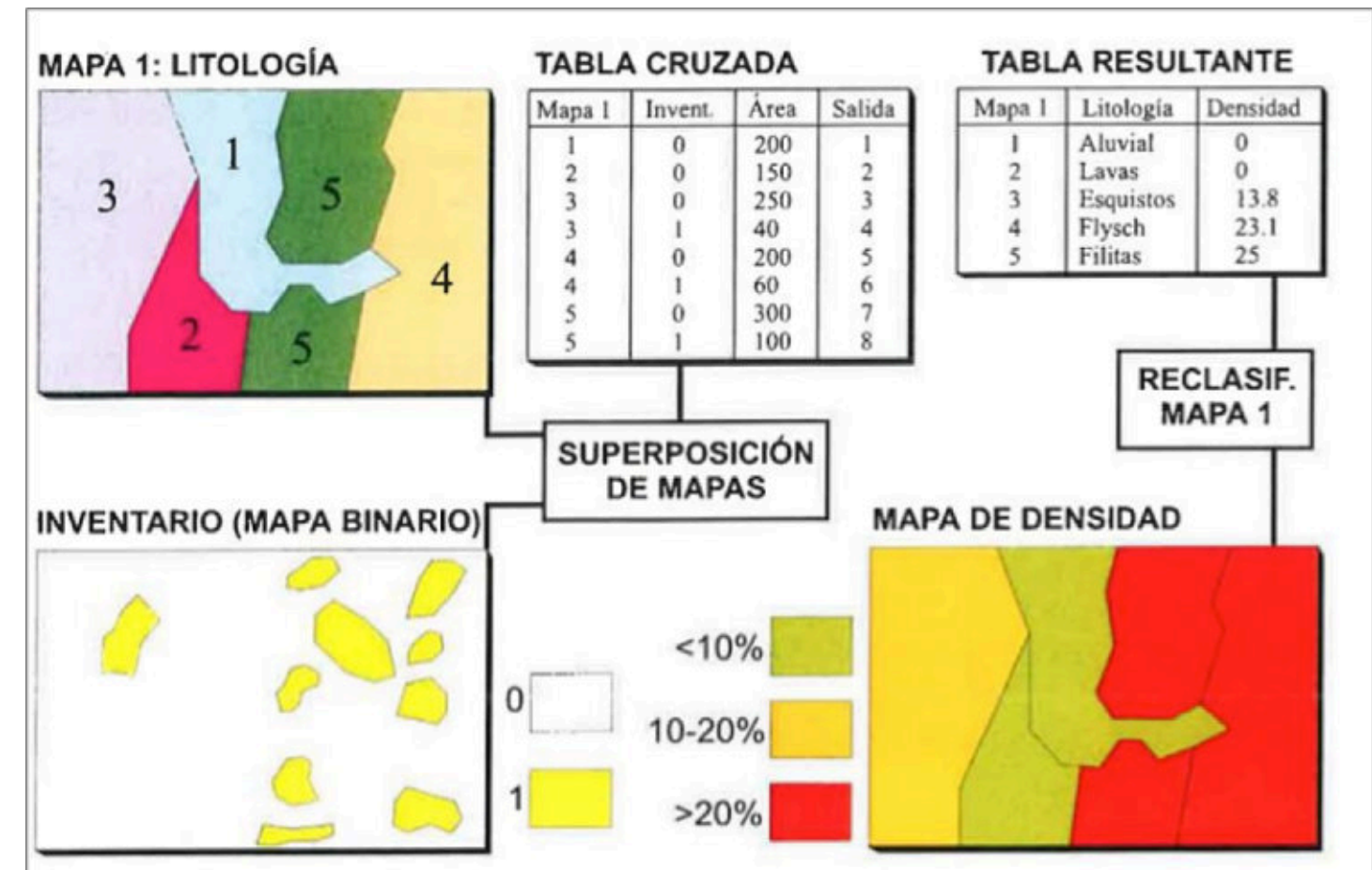


Figura 1.1. Análisis de la densidad de deslizamientos. Nota: Uso de SIG para el análisis de la densidad de deslizamientos de tierra de Soeters y Van Western (1996) recuperado de (Irigaray & Chacón, 2002).

Comportamiento espectral y frecuencia pico en sismogramas de reflexión en ambientes de reservorio.

Universidad Nacional Autónoma de México.

Tesis que para optar por el grado de: Licenciada en Ciencias de la Tierra con orientación en Tierra Sólida. 2023.

Sustentante: **Yessica Viridiana Carrasco Vega.**

Director de Tesis: *Dr. Gerardo de Jesús Aguirre Díaz.*

Resumen

La Caldera de Amazcala se localiza a 30 km al NE de la ciudad de Querétaro, México. Ubicada a 480 km de la Trincheras Mesoamericana es la caldera más septentrional del Cinturón Volcánico Mexicano (CVM). Su extensión abarca una geozona del proyecto Geoparque Mundial UNESCO Triángulo Sagrado. Estuvo activa de 7.3 a 6.6 Ma, siendo la caldera más antigua reportada del CVM. Tiene un diámetro de 11x14 km. Las unidades litoestratigráficas pre-caldera incluyen ignimbritas y domos riolíticos oligocenos de la provincia Sierra Madre Occidental y domos dacítico-riolítico del Mioceno medio en la periferia de la caldera. Las unidades asociadas a la caldera incluyen la pómez Ezequiel Montes, ignimbrita Colón, domos del anillo y domos intracaldera. Las unidades post-caldera incluyen lavas de andesitas básicas de volcanes de la periferia de 5.6-4.0 Ma. Todos los productos de la caldera son de composición riolítica hipercalcalina, específicamente comenditas, y, por lo tanto, anómalos a un ambiente tectónico de subducción de margen continental. La base de datos compilada en este estudio, y los patrones geoquímicos de estos datos en gráficas de clasificación y tendencias, muestran que las comenditas de Amazcala son comparables a comenditas de otras calderas en el mundo ubicadas en diferentes regímenes tectónicos, en particular zonas de rift continental. Las características geológicas y geoquímicas especiales de la caldera de Amazcala la convierten en una geozona con varios geositos de interés científico y educativo.

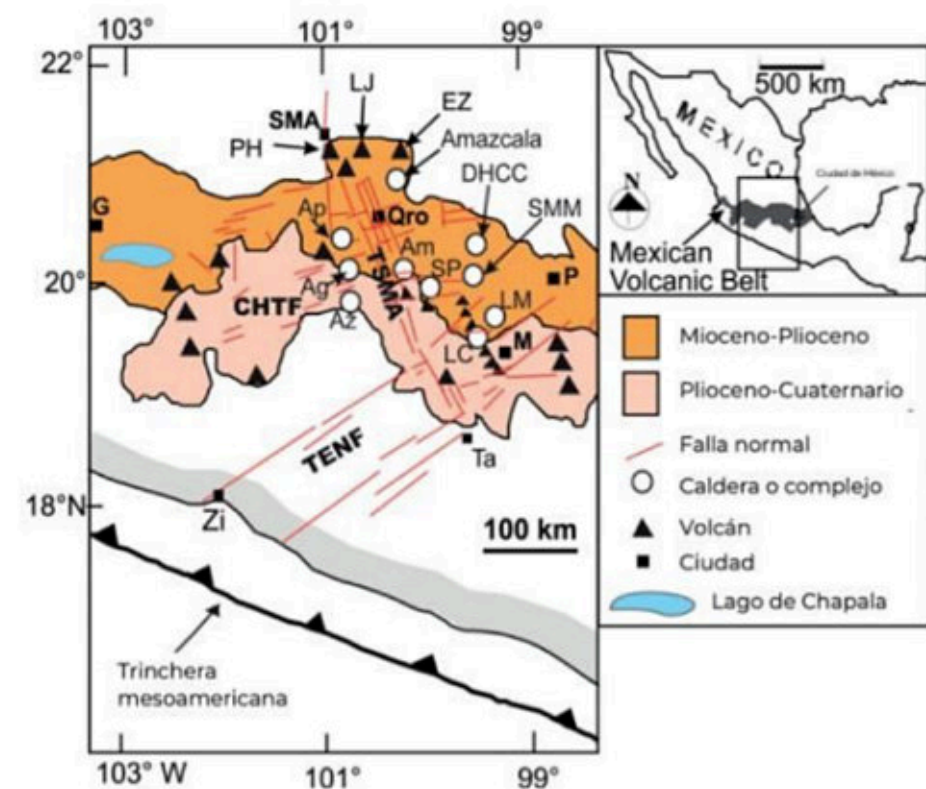


Figura 1.1. Localización de la caldera de Amazcala y del sector central del CVM, indicando sistemas de fallas, calderas y volcanes principales. TENF: Sistema de Fallas Tenochtitlán; CHTF: Sistema de Fallas Chapala-Tula; TSMA: Sistema de Fallas Taxco- San Miguel de Allende. Volcanes: EZ: El Zamorano; PH: Palo Huérfano; LJ: La Joya. Calderas: Ap: Apaseo; Ag: Agustinos; Az: Azufres; LC: La Catedral; LM: La Muerta; Am: Amealco; SP: San Pedro; SMM: Santa María Macúa; DHCC: Donguinyo-Huichapán. Ciudades: SMA: San Miguel de Allende; Qro: Querétaro; M: Ciudad de México; P: Pachuca; Zi: Zihuatanejo; Ta: Taxco; G: Guadalajara. (tomado de Aguirre-Díaz y López-Martínez, 2001).

Mapeo digital de carbono orgánico del suelo mediante imágenes satelitales y algoritmos de autoaprendizaje en el ecosistema Herbazal del Páramo, provincia de Chimborazo, Ecuador

Universidad Nacional de la Plata. Tesis de Maestría. 2 de Julio del 2019.

Sustentante: **Johanna Elizabeth Ayala Izurieta.**

Director de Tesis: *Dr. Prof. Víctor García.*

Resumen

Se presenta una metodología para predecir de manera cuantitativa el almacenaje del Carbono Orgánico del Suelo (COS) en zonas alto andinas, en donde, la complejidad paisajística evidenciada por la topografía irregular, dificultades de acceso, clima frío - frío intenso, alta nubosidad, así como su geología, hacen de dicha tarea un gran desafío. La zona de estudio corresponde al ecosistema Herbazal del Páramo (HP) de la provincia de Chimborazo, Ecuador.

La metodología emplea variables espectrales derivadas de imágenes satelitales Landsat 8 (sensores OLI y TIRS), Modelo Digital de Elevación (MDE), datos de secuestro de COS in situ en el perfil 0 - 30 cm y variables meteorológicas. Las variables son obtenidas mediante el procesamiento de imágenes satelitales y Sistemas de Información Geográfica (SIG), éstas variables son usadas en la calibración de un algoritmo de autoaprendizaje con Random Forest Regression (RFR) para la predicción de COS. Se logró encontrar 9 variables que controlan la dinámica de distribución de COS en el área de estudio, y a través de ellas generar el modelo final de predicción de COS con una precisión del 82 %, validada mediante muestreo aleatorio simple (MAS). Las variables halladas son: Formación Geológica, Taxonomía, Precipitación, Altura, Orientación, Factor LS, Índice BI, Temperatura Ambiente, Temperatura Superficial - TOA Brightness Temperature. Mediante SIG se generó el mapa de COS en la zona de estudio y se cuantificó la extensión de las mayores concentraciones de COS, en donde, el mayor porcentaje del área de estudio tiene altas reservas de COS, entre los 150-205 Mg/ha, equivalente al 57 % del área total.

A través del presente estudio y sus resultados se presenta una nueva alternativa de cuantificación de COS. El modelo calibrado puede ser extendido sin necesidad de muestrear in situ, muy útil en zonas complejas como el ecosistema páramo. El mapeo digital de COS permitió revelar las elevadas reservas de COS existentes en el ecosistema de estudio, representando un gran aporte en la caracterización de los suelos del territorio nacional.

Finalmente, los resultados obtenidos pueden ser utilizados para crear normativas provinciales y nacionales, para evitar la degradación del suelo en este tipo de ecosistemas, considerando la importancia del HP en la estabilización de las estructuras del suelo, regulación hídrica y su aporte en la mitigación del cambio climático.

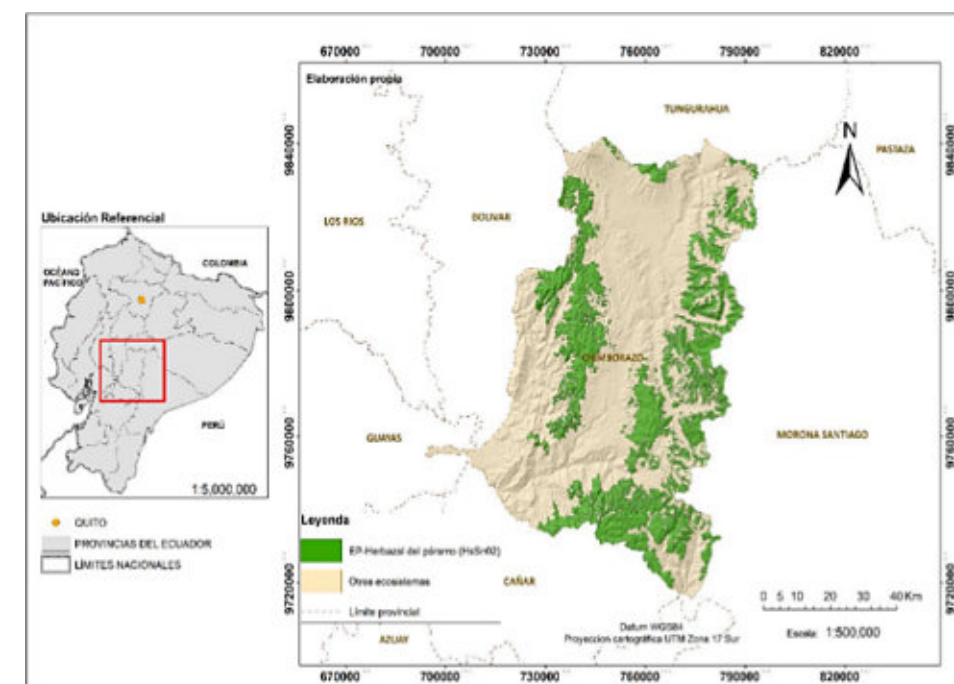


Figura 1.1. Área de estudio-provincia de Chimborazo.

Dispersión horizontal y vertical en un modelo idealizado de la circulación inducida por el viento

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.

Tesis para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Maestro en Ciencias. 2024.

Sustentante: **José Rodrigo Barrientos Valencia.**

Director de Tesis: *Dr. Luis Zavala Sansón.*

Resumen

El estudio de la dispersión de materia flotante en el océano es fundamental para abordar problemas contemporáneos, como la contaminación por desechos y la distribución de nutrientes. Sin embargo, la distribución superficial horizontal no captura completamente la complejidad del problema, ya que muchos contaminantes, incluidos los plásticos, tienden a hundirse debido a la desintegración o a la adhesión de materiales que alteran su densidad. Este estudio se centra en la dispersión horizontal y vertical de trazadores pasivos en un océano turbulento impulsado por el viento. Se utilizan partículas sintéticas que son advectadas por un modelo Lagrangiano resolviendo la trayectoria de cada partícula mediante un método Runge-Kutta de 4° orden. Se exploran cuatro mecanismos de dispersión: (i) corrientes geostróficas a gran escala según el modelo clásico de Stommel, (ii) velocidad de Ekman, (iii) difusividad turbulenta debida a movimientos de submesoescala (simulados con una caminata aleatoria), y (iv) efectos inerciales relacionados con el tamaño y la flotabilidad del trazador. El estudio se divide en dos partes: primero, se examina la dispersión horizontal en superficie, y después se aborda el caso tridimensional mediante la inmersión de trazadores por bombeo de Ekman. Los principales resultados son: 1) con la deriva superficial de Ekman, las partículas convergen hacia una región alrededor del centro del giro de Stommel; sin embargo, dicha convergencia disminuye a medida que aumentan los efectos de la turbulencia; 2) considerando los efectos inerciales, aumentar la flotabilidad o el tamaño de las partículas provoca una convergencia mayor que la producida por la deriva de Ekman; 3) al incluir la velocidad vertical negativa, una baja difusividad turbulenta permite que los trazadores alcancen mayores profundidades porque permanecen más tiempo en regiones de mayor hundimiento.

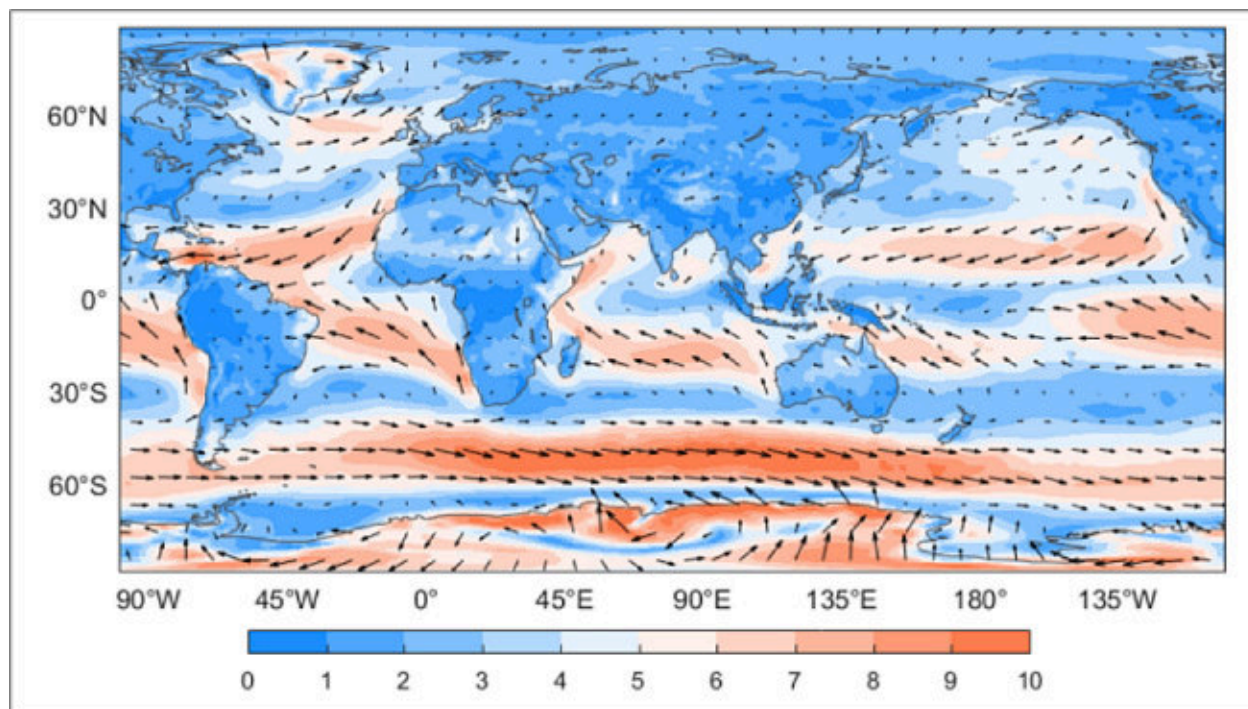


Figura 1.1. Velocidad media anual del viento global a 10 m sobre el nivel del mar en 2015 con datos del Centro Europeo de Predicciones Meteorológicas a Plazo Medio (ECMWF, por sus siglas en inglés). El color y las flechas representan los promedios escalar y vectorial de la velocidad del viento, respectivamente (tomado de Lei Li (2018)).

Geochronology and geochemistry of the El Salvador plutonic complex (Sierra de Tamaulipas, NE Mexico): cenozoic tectonic implications of the eastern Mexican alkaline province

Tomás A. Peña-Alonso ^a, Isidro Loza-Aguirre ^b, Fanis Abdullin ^c, Juan A. Ramírez-Fernández ^{b,d}, Juliana Estrada-Carmona ^{b,e}, Federico Viera-Décida ^{b,d}, Olvin Castellanos ^b, Alexander Iriondo ^{b,e}, Luigi Solari ^{b,e} and Gilles Levrès ^{b,e}

^aFacultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Tampico, Mexico; ^bFacultad de Minas, Metalurgia y Geología, Universidad de Guanajuato, Guanajuato, Mexico; ^cCentro de Geociencias, CONACYT– Universidad Nacional Autónoma de México, Juriquilla, Mexico; ^dFacultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolas de los Garza, Mexico; ^eCentro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Juriquilla, México

ABSTRACT

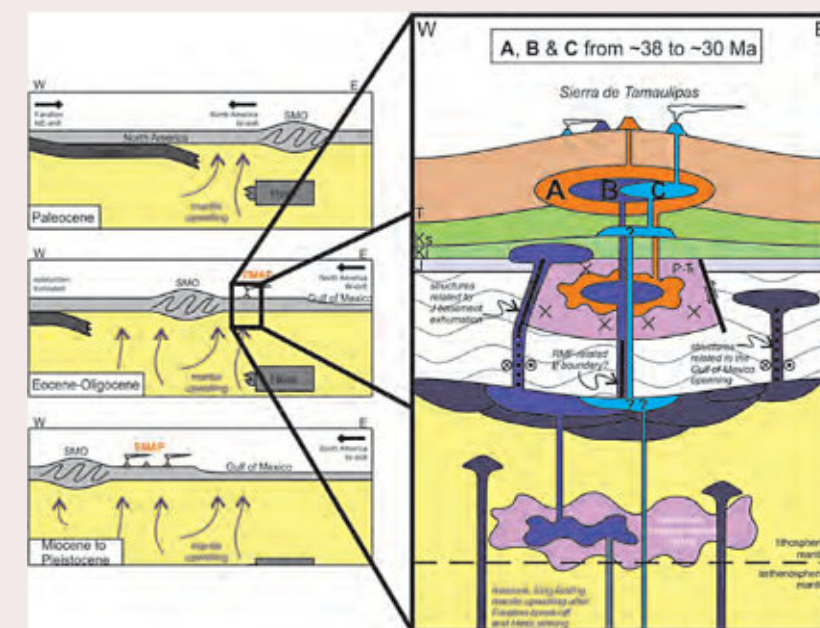
The El Salvador plutonic complex is a 9.2 km² circular body within the Sierra de Tamaulipas, part of the Eastern Mexican Alkaline Province (EMAP). Three alkaline magmatic suites were identified from El Salvador from the geochemical analysis of 20 samples. Suite A (SiO₂ = 58.3–65.3 wt.%) is ferroan (Fe* = 0.761–0.873) and alkalic (MALI = 4.83–9.89). In contrast, Suites B (SiO₂ = 52.5–60.8 wt.%; Fe* = 0.680–0.756) and C (SiO₂ = 50.5–67.1 wt.%; Fe* = 0.616–0.749) are magnesian. Suite B is alkalic (MALI = -2.18–4.64), while Suite C is alkalic (MALI = 4.48–8.59). All suites display arc-related signatures. U-Pb and fission-track geochronology data reveal two uplift episodes during the cooling history of Suite A. One in the Late Eocene was based on U-Pb zircon (38.42 ± 0.21 Ma) and titanite ages (35.54 ± 3.77 Ma). The other was during the Oligocene from U-Pb apatite (29.9 ± 6.54 Ma) and fission-track titanite (30.2 ± 5.53 Ma) and apatite ages (32.7 ± 7.06 Ma). Integrating the arc-related signatures of El Salvador rocks with the well-documented Palaeogene arc magmatism of the Sierra Madre del Sur, we propose that the mantle beneath the EMAP experienced metasomatism during the Early Permian (and possibly the Early Jurassic) but not after the Late Cretaceous, ruling out Cenozoic slab subduction in eastern Mexico. In the absence of a slab to explain the El Salvador magmatism, we suggest a long-lasting, widespread mantle upwelling beneath Mexico's northern half in response to the Farallon slab's break-up. Under this context, the westward drift of the North American plate led to the Mexican Foreland Basin lithosphere reaching this massive mantle upwelling in late Eocene times to produce the EMAP magmatism.

ARTICLE HISTORY

Received 9 August 2023
Accepted 13 January 2024

KEYWORDS

Eastern Mexican alkaline province; Sierra de tamaulipas; Cenozoic post-collisional magmatism; mantle upwelling; crustal uplift; Northeastern Mexico



CONTACT Tomás A. Peña-Alonso ✉ talonso@docentes.uat.edu.mx; topeax@gmail.com ✉ Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Tampico, Tamaulipas 89336, Mexico

Supplemental data for this article can be accessed online at <https://doi.org/10.1080/00206814.2024.2306539>

© 2024 Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group

1. Introduction

The tectonic evolution of northeastern Mexico during the Cenozoic is still unclear. This region has two physiographic provinces: the Sierra Madre Oriental and the Gulf of Mexico

Coastal plain. The Sierra Madre Oriental (Figure 1) stretches ~1000 km in a north-northwest direction and spans a width of ~80–300 km (e.g. Eguiluz de Antuñano et al. 2000;

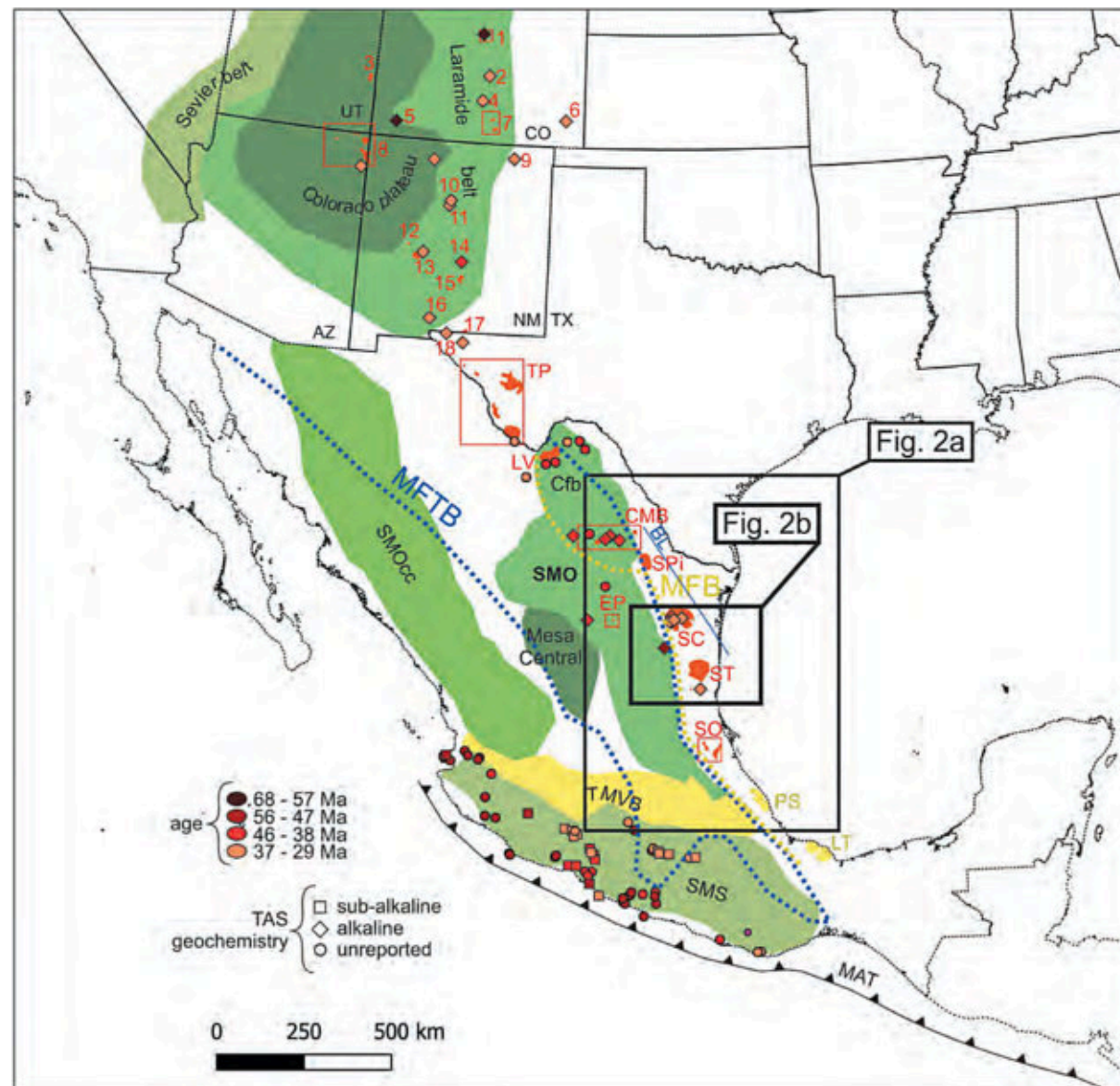


Figure 1. Representation of main physiographic provinces in Mexico and the Eastern Mexican Alkaline Province (EMAP) distribution. Magmatic fields of EMAP according to Bloomfield and Céspedes-Dávila (1973), Nelson et al. (1987), Ferrari et al. (2005), and Viera Décida et al. (2009): LT= los tuxtlas área (Sierra de Santa Marta); PS= Palma Sola area; SO= Sierra de Otontepec; ST= Sierra de Tamaulipas; SC= Sierra de San Carlos-Cruillas; SPi= Sierra de Picachos; CMB= candela-monclova belt; LV= La Vasca (La Cueva); TP= trans-pecos magmatic province. Ages of EMAP intrusions in Table 1. Locations of alkaline igneous rocks along the Rocky Mountains Front (U.S.A.): 1= Central City intrusions; 2= Cripple Creek; 3= La Sal Mountains porphyries; 4= Rosita cauldron; 5= La Plata Mountains alkaline stocks; 6= Two Buttes intrusions; 7= Spanish Peaks; 8= Navajo volcanic field; 9= Laughlin Peak; 10= Los Cerrillos; 11= Carache Canyon breccia; 12= Gallina Mountains; 13= Socorro-Magdalena caldera cluster; 14= Jicarilla; 15= Bonito Lake (and Sierra Blanca) stock; 16= Organ batholith; 17= Cornudas Mountains; 18= Hueco Mountains. Their ages are shown in Appendix A. Symbols: diamonds= samples from the EAP; Square symbols= samples with sub-alkaline signature; circle symbols= samples with unreported geochemical signature. The subalkaline rocks with arc-related signatures were taken from Gastil et al. (1978, in Richter et al. 1995); Zimmermann et al. (1988, in Cerca-Martínez 2004); Martiny et al. (2000, 2013); Martini et al. (2010); Morán-Zenteno et al. (2000, Morán-Zenteno et al. 2004); and Duque-Trujillo et al. (2015). Abbreviations: BL= Burgos lineament (Pindell et al. 2020); Cfb= Coahuila fold belt; EMT= Eastern Mexican Transform (Pindell et al. 2020); EP= El Peñuelo plutonic complex; MAT= Middle America Trench; MFB= Mexican Foreland Basin; MFTB= Mexican Fold-Thrust Belt; SMO= Sierra Madre Oriental; SMOcc= Sierra Madre Occidental; SMS= Sierra Madre del Sur; TMVB= Trans-Mexican Volcanic Belt.

Procesamiento e interpretación de datos magnetotelúricos para la caracterización del área geológica de plataforma de la Cuenca Neuquina, Argentina.

Universidad Nacional de la Plata, Argentina.

Tesis de Grado para obtener el título de Geofísico. 2020

Sustentante: **Guillermo Adrián Nicora**

Director de Tesis: *Geof. Federico Gustavo Enrique Späth.*

Resumen

El método magnetotelúrico (MT) es un método exploratorio de fuente natural que permite obtener información de las propiedades eléctricas del subsuelo mediante el análisis y procesamiento de las fluctuaciones temporales del campo electromagnético natural de la Tierra. Durante una adquisición MT se ubican sobre la superficie terrestre una serie de estaciones que registran variaciones temporales de los campos eléctrico y magnético naturales. El procesamiento de dichas series temporales y la posterior interpretación permite obtener un modelo de resistividades del subsuelo.

La resistividad eléctrica de las rocas es un parámetro físico sensible a factores como la porosidad, la proporción de poros saturados con fluidos, las características del fluido de saturación, el contenido de arcilla, la presión o la temperatura. Por lo tanto, proporciona información tanto de la geometría de las principales estructuras geológicas como de sus propiedades físicas.

Dentro de las aplicaciones más usuales del método MT se pueden mencionar la caracterización de la litósfera, la corteza superior, el basamento cristalino, zonas fracturadas y zonas influenciadas por intercambio de fluidos (Anderson y Pelton (1985), Unsworth (2009) y Ferguson y cols. (2012)). Las utilidades enumeradas permiten comprender la relevancia que adquiere para estudios exploratorios de hidrocarburos, mineros, geotermales o hidrogeológicos. En estudios exploratorios de hidrocarburos el método ha sido empleado principalmente en etapas exploratorias iniciales y en áreas con coladas basálticas o en ambientes geológicos de faja plegada y corrida, debido a la baja relación señal/ruido de los registros sísmicos en dichos escenarios.

En este trabajo se realiza el análisis e interpretación de datos MT adquiridos en el año 2016 con fines exploratorios en la provincia de Mendoza, con el objetivo de definir el espesor sedimentario debajo de coladas basálticas. Durante la adquisición se relevó un perfil de dirección SO-NE de aproximadamente 25 kilómetros a lo largo del cual se situaron 51 estaciones que registraron por más de 20 horas. El tiempo de registración permitió alcanzar profundidades de investigación que superan las requeridas para el presente trabajo.

Las series temporales se procesan para calcular las funciones de transferencia MT, las cuales constituyen los datos de entrada para el presente trabajo. Primero se calculan las curvas de resistividad aparente y fase para cada frecuencia en cada estación, empleando el tensor de impedancia.

Luego, se realiza un análisis de dimensionalidad de los datos empleando distintos métodos de análisis.

En función de los resultados se realizan inversiones 1D y 2D de las curvas de resistividad y fase para obtener la distribución de resistividades en función de la profundidad en la zona de estudio.

Los resultados muestran una tendencia regional de adelgazamiento de la secuencia sedimentaria, la base de dicha secuencia varía desde unos 750 m.s.n.m. al NE del perfil hasta unos 500 m.s.n.m. al SO, y variaciones locales interpretadas como un sistema de fallas inversas con rumbo aproximado de Norte-Sur. Además, se pudo estimar la resistividad asociada al basamento y su geometría, de igual forma se definió el espesor de la capa superficial de basaltos y el rango de resistividades que presenta.

Finalmente, los resultados se comparan con información geofísica y geológica preexistentes del área validando los resultados obtenidos.

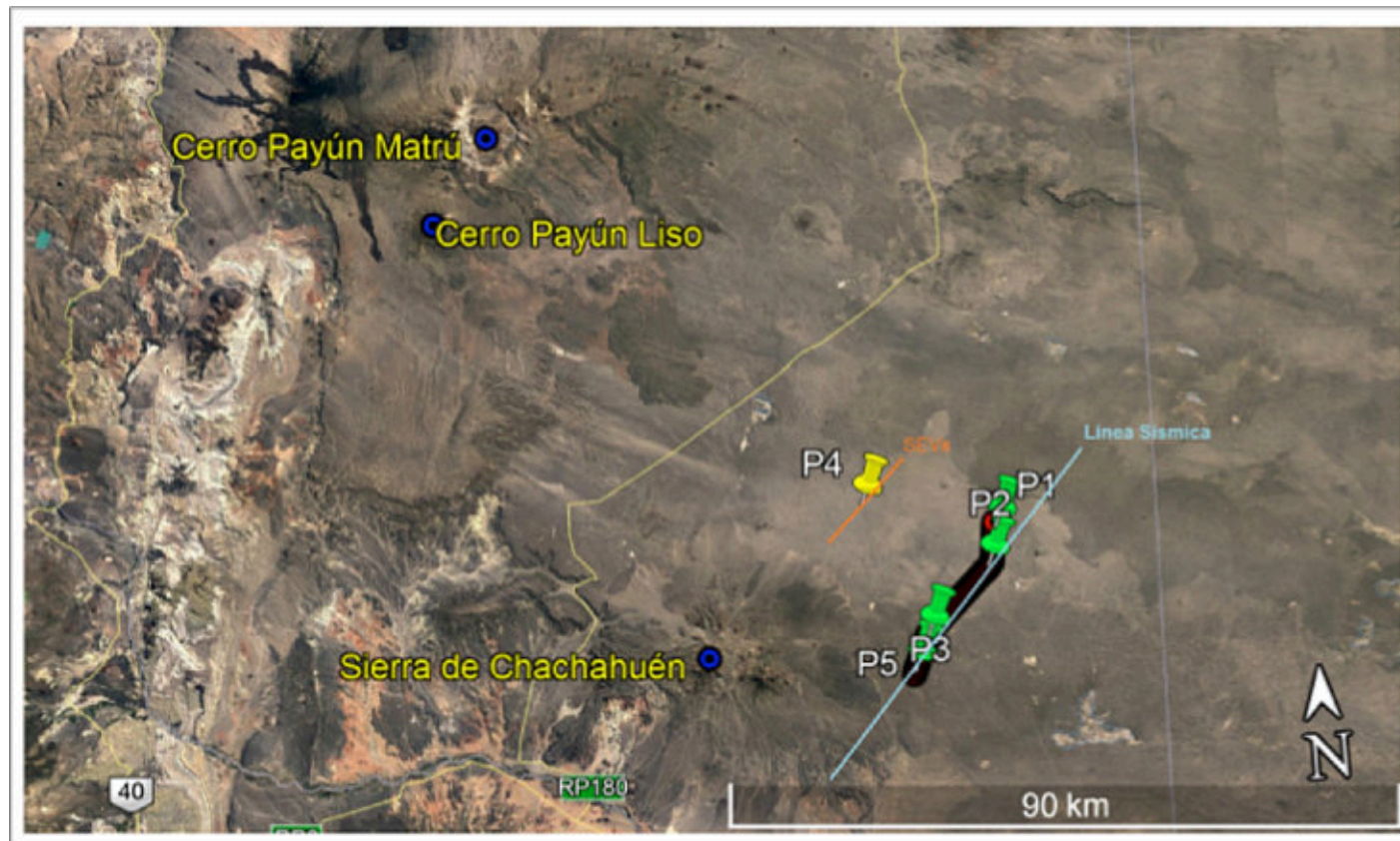
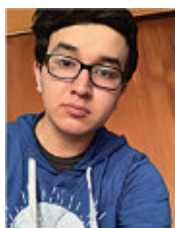


Figura 1.1. Localización de la zona de estudio en Google Earth.

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



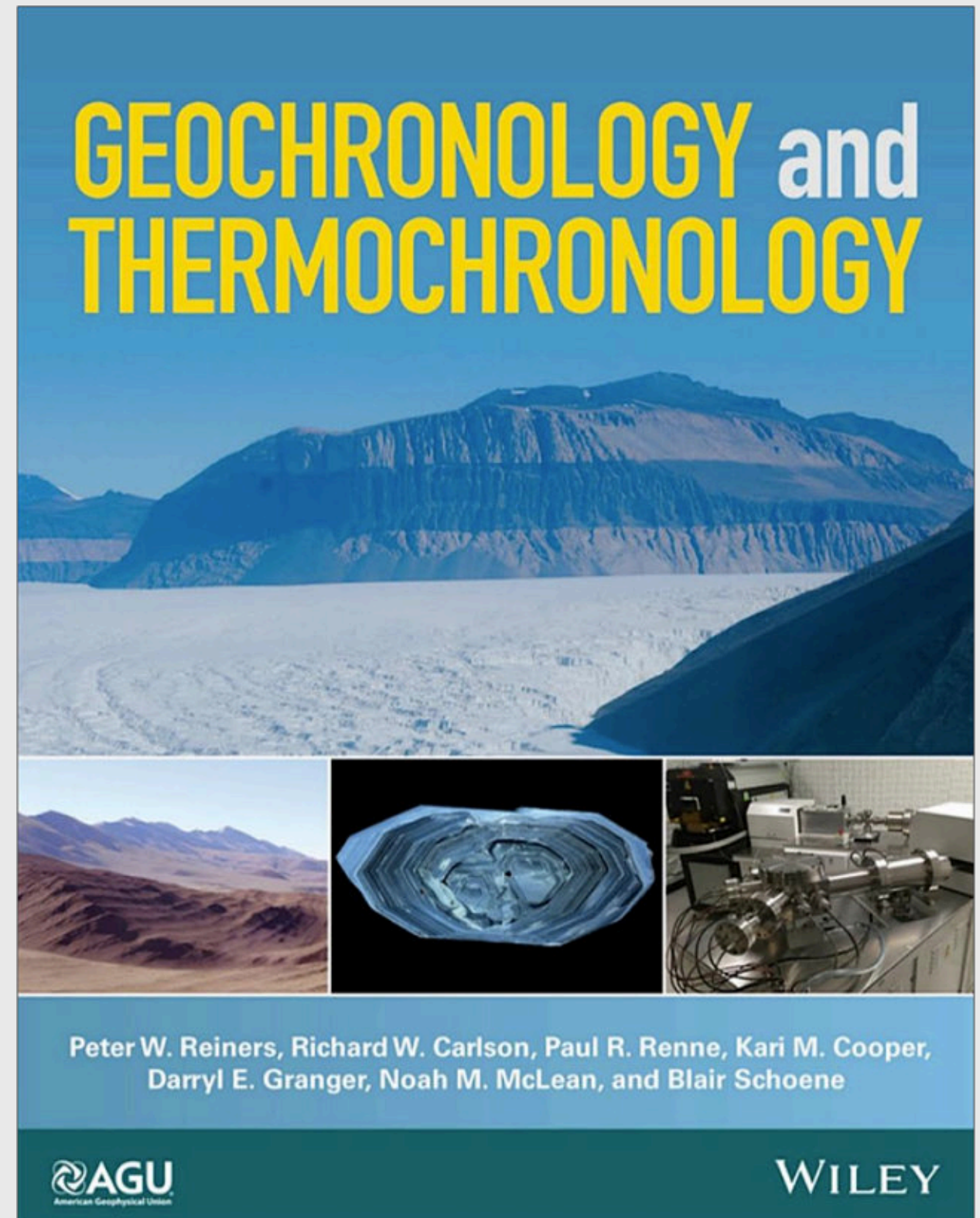
Miguel Vazquez Diego Gabriel, es estudiante de la carrera de Ingeniería Geológica en la Universidad Nacional Autónoma de México (Facultad de Ingeniería), sus principales áreas de interés a lo largo de la carrera han sido la tectónica, geoquímica y mineralogía. Es un

entusiasta de la divulgación científica, sobre todo en el área de las Ciencias de la Tierra.

diegogabriel807@gmail.com

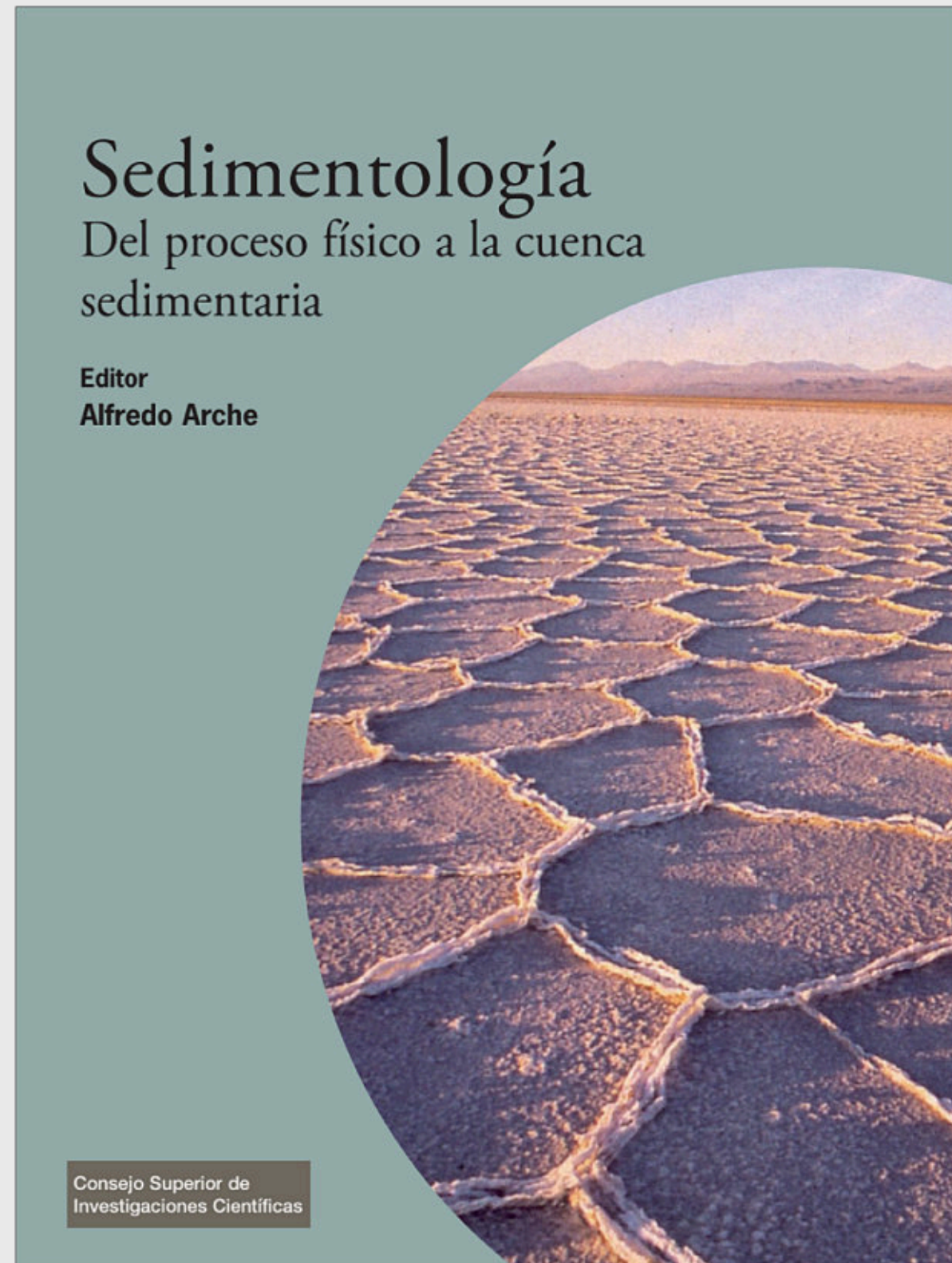
El libro recomendado

<https://drive.google.com/file/d/1Uq4AXwgKCMDZ5RYXe6xstPlwkCITaHf1/view?usp=drivesdk>



El libro recomendado

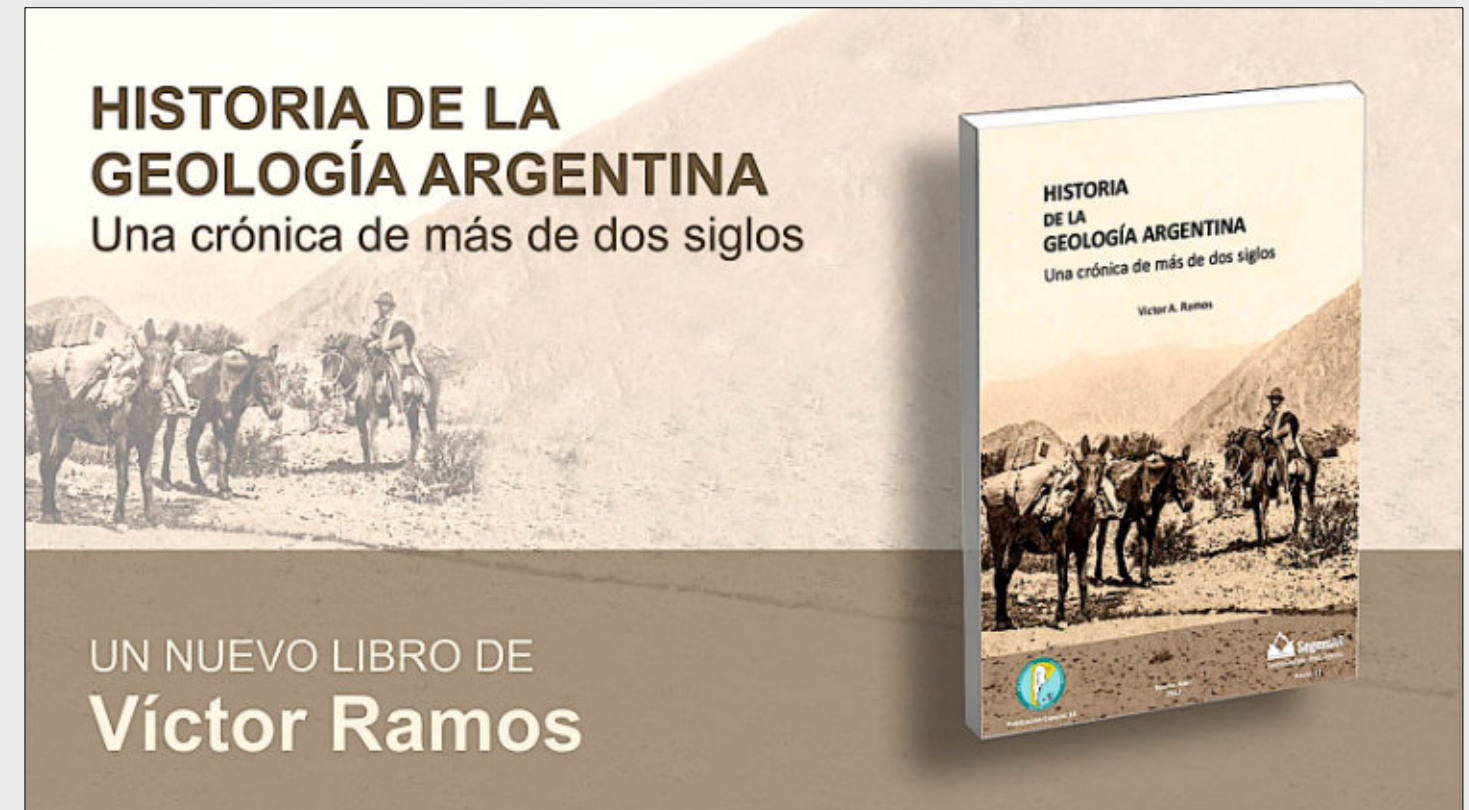
https://drive.google.com/file/d/1BnO56iLG-Hx_XHvpsvmigDzklT2Ar0Mg/view?usp=drivesdk



El libro recomendado

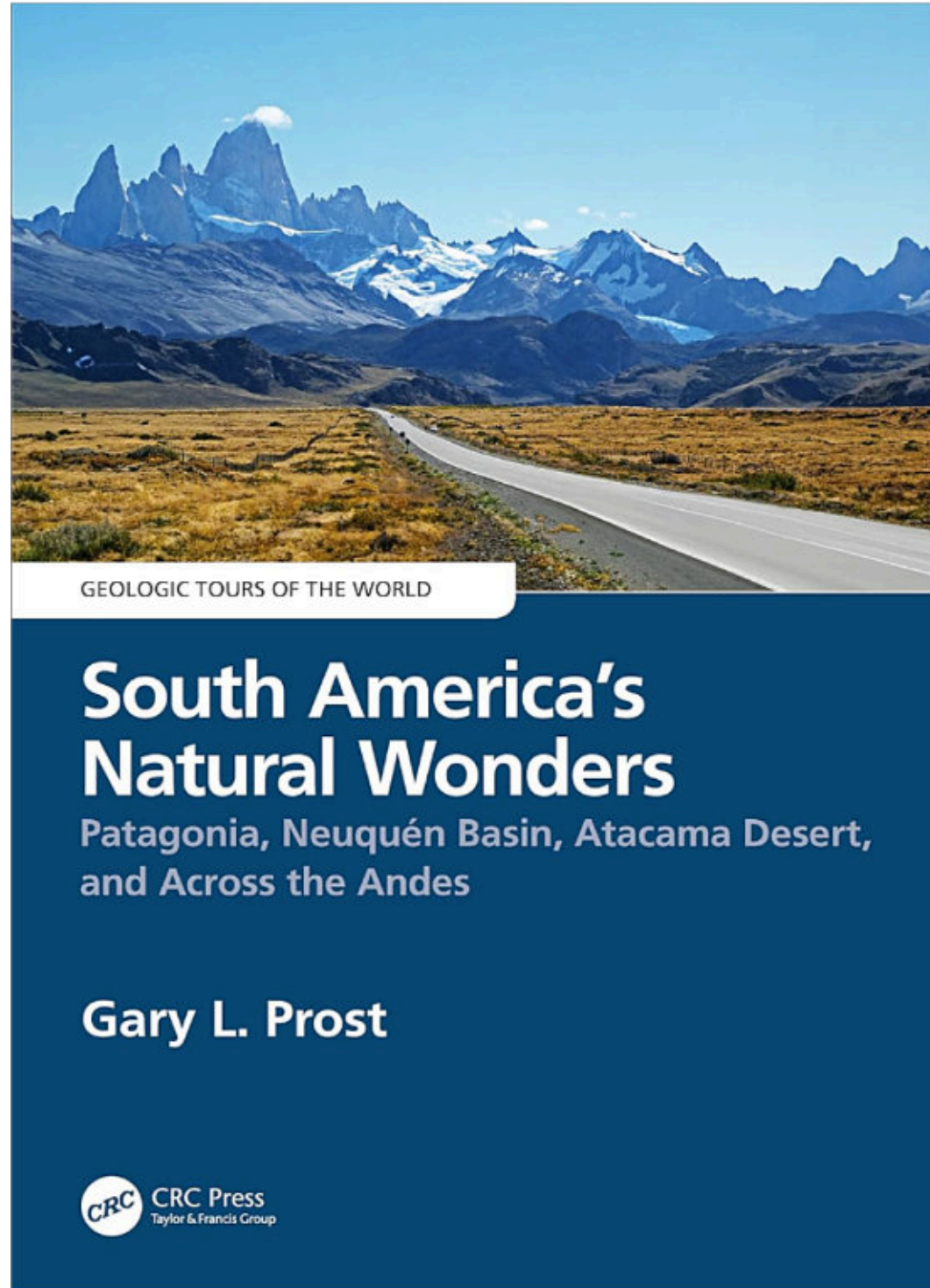
https://www.researchgate.net/publication/377890790_Historia_de_la_Geologia_Argentina_Una_cronica_de_mas_de_dos_siglos

Descarga gratuita



El Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) y la Asociación Geológica Argentina (AGA) en forma mancomunada presentan esta crónica de más de dos siglos de la Historia de la Geología Argentina desde las iniciales observaciones en la época colonial, pasando por las primeras contribuciones en los albores de la Revolución de Mayo y la Organización Nacional. Los estudios geológicos acompañaron el progreso del país a través de las primeras instituciones nacionales como la Dirección de Geología y Minería y Yacimientos Petrolíferos Fiscales, junto a otras que permitieron movilizar nuestros recursos naturales. La enseñanza en la universidad formó varias generaciones de geólogos que brindaron su conocimiento al desarrollo nacional las que, junto con las investigaciones académicas, contribuyeron a conocer nuestro subsuelo y su potencial económico. La presente crónica es un homenaje a esos pioneros que hace más de dos siglos han recorrido el territorio nacional, con grandes sacrificios, en zonas inhóspitas y mucho esfuerzo, los que han contribuido con sus aciertos y errores al presente conocimiento de nuestra Geología. El autor con un vasto conocimiento de nuestra territorio, en especial de la Cordillera de los Andes, nos muestra en forma casi vivencial, quienes han sido esos héroes, en general desconocidos, pero que fueron importantes protagonistas de nuestro desarrollo como país. El haber sido un partícipe de esa historia por más de seis décadas le permite brindarnos como testigo de primera mano los principales acontecimientos y protagonistas. Sólo nos queda felicitar al autor por su iniciativa y recomendarles su lectura que sin duda será enriquecedora.

<https://www.amazon.com/South-Americas-Natural-Wonders-Geologic/dp/0815348045>



This book guides readers through the most geologically significant scenery in South America, points out features of interest, and describes how these features came to be. Starting in the glacial landscapes of southern Patagonia, it examines the foothills of the Andes of western Argentina to understand the foreland deformation. Across the Andes one observes deformation, volcanism, and mineral deposits associated with an onshore volcanic arc and uplift in the Atacama Desert of Chile. A transect across the Andes from Mendoza to Valparaiso follows in the footsteps of Darwin and, as an added bonus, explores the premier wine country around Mendoza, Argentina and the Colchagua Valley, Chile.

CENTROS DE TECNOLOGÍA

**LABORATORIO DE GEOLOGÍA APLICADA, PETROGRAFÍA Y PETROFÍSICA (LAB-GEOAPP):
COMPLEMENTANDO INVESTIGACIÓN GEOLÓGICA, PARA LA ACADEMIA, INDUSTRIA Y
SOCIEDAD EN SAN LUIS POTOSÍ.**

DIVISIÓN DE GEOCIENCIAS APLICADAS, IPICYT

Realizado por:

M. en C. María Mercedes Zavala Arriaga

Dr. Pablo Dávila Harris

Página web: <https://vinculacion.ipicyt.edu.mx/>

Personal Investigadores:

Dr. Pablo Dávila Harris (Titular B). Línea de investigación: Estudios de geología aplicada, estratigrafía y procesos en rocas volcánicas, ignimbritas, calderas y geotermia.

Dr. Sanjeet Kumar Verma (Titular B). Líneas de Investigación: Petrología Ígnea -Geoquímica - Geocronología -Cinturón Volcánico Mexicano.

Dr. Aron James Martin (Titular B). Líneas de investigación: Tectónica, estratigrafía, geocronología y geología estructural.

Técnicos académicos:

M. en C. María Mercedes Zavala Arriaga (Titular B).

Historia, Misión. Visión

Historia: El Laboratorio de Geología Aplicada, Petrografía y Petrofísica (LAB GEO-APP), tiene sus inicios en el 2014, donde a partir de financiamiento SENER-CONACYT además de fondos concurrentes de IPICYT, se adecuaron dos laboratorios de punta en la caracterización geológica, petrográfica y petrofísica de rocas para dar servicio a la investigación, alumnos de posgrado y sector público y privado. Hoy en día es un laboratorio que ha formado, entre sus líneas 5 estudiantes de licenciatura, 17 de maestría, 11 de doctorado, así como, ha hospedado a 4 posdoctorantes de México y el extranjero, relacionados a sus proyectos de investigación.

Misión Institucional: Somos una institución dinámica, innovadora y de excelencia con liderazgo regional y nacional, con presencia internacional y responsabilidad social. El IPICYT (<https://www.ipicyt.edu.mx/>) es un Centro Público de Investigación del sistema CONAHCYT que cultiva las ciencias naturales y exactas, con grupos académicos multidisciplinarios altamente especializados e infraestructura de primer nivel. Genera, difunde y divulga conocimiento, forma recursos humanos y desarrolla proyectos y servicios tecnológicos para los sectores académico, empresarial, social y gubernamental.

Camino a la Presa San José No. 2055, Col. Lomas 4 sección, CP. 78216, San Luis Potosí, S.L.P., México.
Tel: +52 (444) 834 2000 Ext. 7233 www.ipicyt.edu.mx



Visión Institucional:

Ser una institución con prestigio y liderazgo internacional, con impacto regional y nacional, con infraestructura actualizada, y grupos de investigación consolidados, que fomenta el desarrollo profesional y personal. Impulsar proyectos interdisciplinarios con excelencia académica y científica. Formar recursos humanos de excelencia, con nivel internacional y competitivo en el mercado laboral. Transferir a la sociedad el conocimiento generado.

El LABGEO-APP, se hospeda dentro de la División de Geociencias Aplicadas (DGA, [https://www.ipicyt.edu.mx/Geociencias Aplicadas/areas geociencias aplicadas.php](https://www.ipicyt.edu.mx/Geociencias_Aplicadas/areas_geociencias_aplicadas.php)) del IPICYT, y cuenta con la responsabilidad Técnica del Dr. Pablo Dávila Harris y la M. en C. María Mercedes Zavala, como Técnica Académica. Adicionalmente, en el laboratorio colaboran colegas de la DGA pertenecientes a las líneas de Tierra Sólida, Geofísica, Geoquímica e Hidrogeología. Los estudiantes de posgrado forman parte fundamental de los trabajos que se desarrollan en el Laboratorio, tanto para sus proyectos de tesis como para proyectos científicos relacionados (Figura 1).

Objetivo: Poner al servicio de la comunidad IPICYT, instituciones de educación superior, comunidad académica en general y sector productivo y sociedad, los conocimientos y tecnologías necesarias para el estudio y análisis geológico, petrográfico y petrofísico de rocas en zonas de interés. Que permitan desarrollar las estrategias y proporcionar soluciones para resolver los retos de proyectos geocientíficos, mineros, energéticos y geo-ambientales, entre otros.

Sectores de oportunidad:

- ✚ Diversas áreas de la geología
- ✚ Sector minero
- ✚ Sector energético
- ✚ Sector ambiental
- ✚ Geología aplicada

Infraestructura:

Equipo de procesamiento de muestras: (Figura 2).

1. Equipo completo de corte de rocas, Cortadora Radial RCSS-415 y manual STS-425 marca Core Test.

2. Equipo de preparación de láminas delgadas con máquinas especializadas Discoplan-TS, marca Struers.
3. Trituradora de Roca ASC Scientific
4. Molino de ágata para pulverizado de rocas, marca Fritsch
5. Taladro para extracción de tapones (plugs) de roca para petrofísica MDP-405.
6. Máquina de montaje de probetas en resina epoxi, CitoPress-1.
7. Agitador de tamices RO-TAP RX.

Petrografía:

8. Microscopio petrográfico de luz polarizada Nikon, con cámara y software de edición de imágenes.
9. Microscopio binocular estereoscópico Nikon con cámara y software de edición de imágenes.
10. Microscopio petrográfico de luz polarizada Leica
11. Microscopio binocular estereoscópico marca Leica con cámara acoplada.
12. Contador de puntos automatizado Pelkon

Petrofísica

13. Equipo de limpieza de tapones Serie DS Dean Stark.
14. Porosímetro-Permeámetro Automatizado CoreTest AP-608.
15. Sistema Automatizado para medir Estructura de Poros CoreTest ASPE-730
16. Porosímetro de Helio CoreTest PHI-220.
17. Sistema de medición de desplazamiento de fluido en roca (Core Flood), CoreTest CFS-830.

Otros equipos:

18. Máquina perforadora exploratoria con recuperación de núcleo modelo Atlas Copco CS-14 sobre orugas. Con capacidad exploratoria de hasta 700 m en diámetros NQ y HQ.

Productos de laboratorio: Artículos de investigación publicados en revistas indexadas, informes técnicos de proyectos.

De manera directa, los resultados del laboratorio se extraen de diversas formas: manufactura de láminas delgadas y doblemente pulidas, descripciones petrográficas, separación mineral por líquidos pesados, montaje de cristales en lámina delgada y probeta de resina para análisis

individual en microsonda. También se obtienen en los análisis de petrofísica de rocas y otros materiales, parámetros como porosidad, permeabilidad, densidad de grano, densidad de poros y garganta de poro por porosimetría de mercurio, permeabilidades relativas por analizador de flujo, entre otros. Respecto a muestras sueltas, se desarrollan análisis granulométricos por tamizado convencional, determinación de tipos de sedimentos (clasificación de suelos), contenido de humedad, densidad de materiales sueltos, y más. En su mayoría, estos resultados se entregan dependiendo el solicitante, pudiendo ser como informe técnico de proyecto o servicio externo, resultados para estudios de tesis o tablas para integración en artículos de investigación. Adicionalmente, se capacita a estudiantes y otro personal interno y externo que así lo requiera. Se busca estar constantemente bajo capacitaciones técnicas para ofrecer mejores servicios.

Impacto en la investigación y la sociedad:

Los estudios realizados en el laboratorio han impactado en diversas áreas de investigación dependiendo de las líneas de investigación relacionadas con cada uno de los investigadores y de los alumnos de los posgrados en Geociencias Aplicadas y otras divisiones (Figura 3).

Algunos ejemplos son:

- El impacto en el estudio de micro y macrofracturas para la recuperación secundaria de hidrocarburo en la parte norte de México. (Figura 4).
- Determinación de parámetros petrofísicos de porosidad y permeabilidad en campos geotérmicos de México (Figura 5).
- Reconstrucción de ambientes sedimentarios y paleontológicos de formaciones sedimentarias.
- Propiedades petrofísicas de areniscas del Mesozoico
- Determinación de litologías para la industria cementera y calera
- Geoquímica de roca por elementos mayores (FRX) y difracción de rayos X (DRX) – estos en convenio con el laboratorio nacional LINAN de IPICYT.
- Análisis composicional y morfológico de cristales y rocas por microscopía electrónica de barrido (MEB), también en colaboración con LINAN de IPICYT.

Servicios que se ofrecen:

- ✍ Cartografía geológica de campos volcánicos con potencial geotérmico.
- ✍ Estratigrafía de unidades volcánicas, definición de la evolución del complejo volcánico.
- ✍ Petrografía y petrología, vulcano tectónica y geología estructural.
- ✍ Geoquímica de rocas y agua.
- ✍ Triturados y moliendas para análisis composicionales de minerales, DRX, FRX, ICP.
- ✍ Caracterización de roca y fluidos para determinar producción primaria y producción mejorada de aceite (EOR).

- ✍ Pruebas de permeabilidad relativa a diferentes presiones y temperaturas.
- ✍ Determinación de propiedades físicas fluido y roca, porosidad y permeabilidad, presiones capilares. (Figura 6).
- ✍ Caracterización de medio poroso (granular o fracturado).
- ✍ Petrofísica de yacimientos geotérmicos.
- ✍ Perforación al diamante y logueo de núcleos (Figura 7).
- ✍ Análisis Bioestratigráficos.
- ✍ Obtención de tapones de núcleos con diámetros de 1, 1 ½ y 4" de muestras de afloramiento y/o núcleos de pozos para pruebas petrofísicas.
- ✍ Determinación de parámetros petrofísicos básicos (Porosidad, permeabilidad, densidad de grano, volumen de poro.
- ✍ Análisis granulométrico en sedimentos.
- ✍ Análisis petrofísicos avanzados (Permeabilidad relativa, porosidad efectiva, saturación curva de capilaridad, distribución de gargantas de poro.



Figura 1. Infraestructura de laboratorio en los cuales se imparten talleres de divulgación de la ciencia.

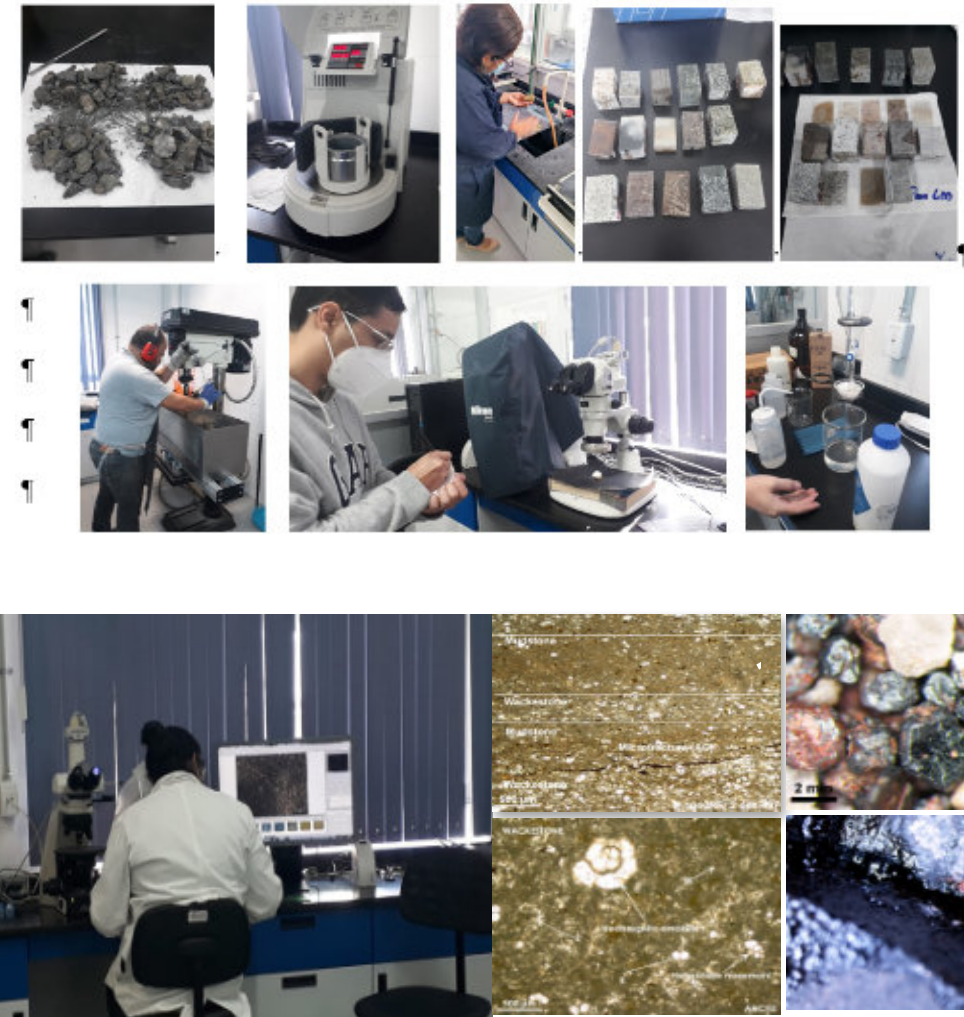


Figura 2. Infraestructura de laboratorio se muestra línea de equipos de molienda, triturado, preparación de secciones delgadas y equipos de petrofísica básica y avanzada.

Camino a la Presa San José No. 2055, Col. Lomas 4 sección, CP. 78216, San Luis Potosí, S.L.P., México.
Tel: +52 (444) 834 2000 Ext. 7233 www.ipicyt.edu.mx



Figura 3 (collage).



Camino a la Presa San José No. 2055, Col. Lomas 4 sección, CP. 78216, San Luis Potosí, S.L.P., México.
Tel: +52 (444) 834 2000 Ext. 7233 www.ipicyt.edu.mx



Figura 4. Interpretación de láminas delgadas y materiales pétreos en proyectos de investigación de alumnos de los posgrados en Geociencias Aplicadas.

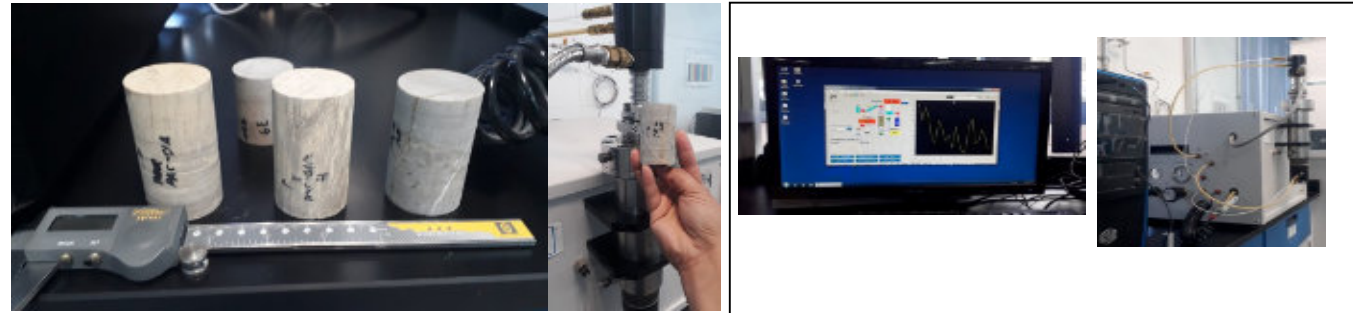


Figura 5. Determinación de parámetros petrofísicos de porosidad y permeabilidad en campos geotérmicos de México.

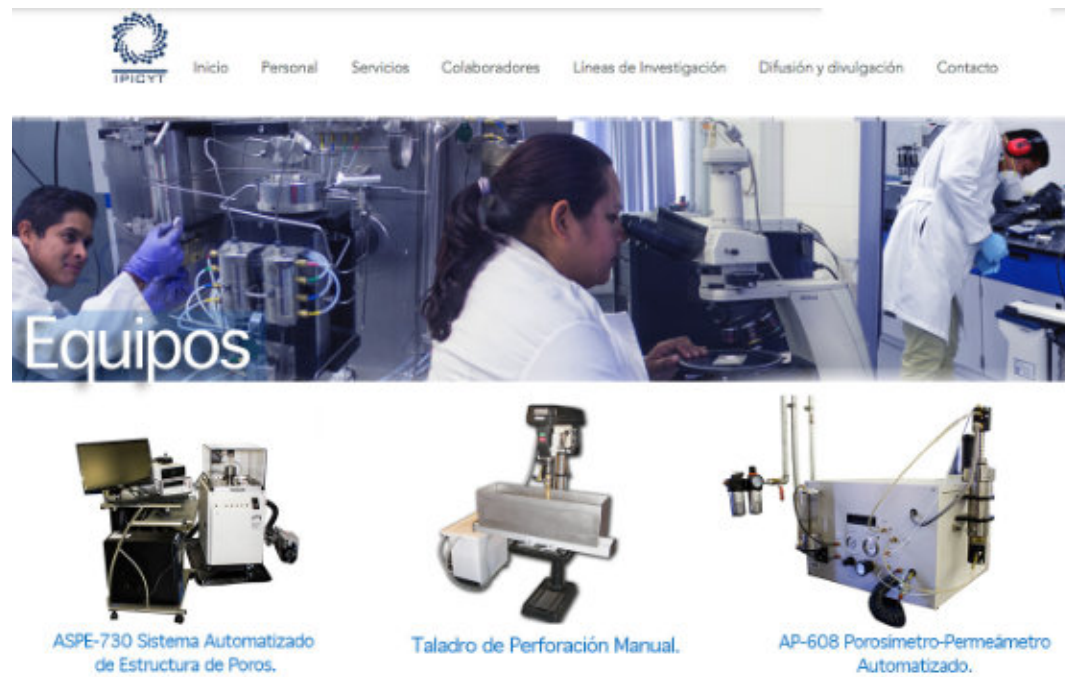


Figura 6: Equipos de laboratorio de petrofísica



Figura 7: Exploración directa del subsuelo y recuperación de núcleos.

Investigadores:

Dr. Pablo Dávila Harris

<https://www.researchgate.net/profile/Pablo-Davila-Harris>

Dr. Sanjeet Kumar Verma

<https://www.researchgate.net/profile/Sanjeet-Verma>

Dr. Aron Martin

<https://www.researchgate.net/profile/Aaron-Martin-12>

TEMAS DE INTERÉS

Sostenibilidad en la transición energética. Hidrógeno natural, el nuevo protagonista de la transición energética.

Natalia Silva Cruz
Colaboradora de la Revista

Las actividades de investigación para el desarrollo de la transición energética exitosa se mantienen en constante evolución ante la urgencia que tenemos de reducir nuestras emisiones de gases de efecto invernadero para mitigar el cambio climático. Hace poco más de un año hablábamos de las excelentes propiedades del hidrógeno como vector energético y nos limitábamos a hablar de tres tipos según las emisiones y metodologías asociadas a su obtención, de más a menos común, tenemos: 1) gris, cuando proviene del reformado de gas natural con vapor y tiene como subproducto CO, que se libera a la atmósfera formando CO₂; 2) azul, cuando el CO que se genera una vez se realiza el reformado de gas natural es secuestrado y almacenado para que no se libere CO₂ al ambiente; y 3) verde, cuando se obtiene mediante electrólisis de agua utilizando electricidad que proviene de energías renovables. Hoy hablaremos de un nuevo método de producción que desde finales de 2023 está tomando mucha fuerza, el hidrógeno natural, o blanco, según la fuente (en inglés se usa muy comúnmente el término *gold hydrogen*, y aunque en español también puede utilizarse como “hidrógeno dorado”, esta expresión se usa en una connotación más amplia, lo que podría dar lugar a múltiples interpretaciones).

El hidrógeno blanco, contrario a los descritos anteriormente, que se generan en laboratorios o a nivel industrial, es todo aquél que se produce por procesos naturales. Debido a su ocurrencia, los costos son en general más bajos y lo más importante, se alcanzan eficiencias energéticas finales altísimas (por ejemplo, el hidrógeno verde alcanza unos 18% – 46%¹ de eficiencia energética porque requiere una serie importante de procesos como la generación eléctrica, electrólisis, compresión y transporte, y en cada uno de ellos se va perdiendo energía). La generación de hidrógeno natural se presenta mediante múltiples mecanismos, entre los cuales podemos mencionar: desgasificación de hidrógeno en la corteza y manto, serpentinización de rocas ultrabásicas, oxidación de rocas ricas en hierro, meteorización, electrólisis natural por radiólisis, rompimiento de iones hidróxido, descomposición de materia orgánica, entre

otros. Así, capturar hidrógeno que se produce mediante cualquiera de estos procesos elimina la necesidad de separarlo a través de los métodos tradicionales, como son el reformado de gas natural con vapor y la electrólisis, lo cual minimiza emisiones y reduce la energía necesaria para su obtención, aumentando drásticamente la eficiencia energética.

Hasta hace muy poco, la producción de hidrógeno natural no se consideraba una solución a la transición energética porque no aparecía en cantidades suficientemente grandes como para que fuera comercialmente viable. No obstante, recientes descubrimientos en casi todos los continentes están dando luz a proyectos que ya están recibiendo capital para llevar a cabo estudios para identificar y explotar estos recursos mediante la perforación de dichos depósitos naturales en el subsuelo. La aparición de hidrógeno natural para su utilización masificada tiene significantes limitantes, comúnmente aparece en acumulaciones que no son tan grandes como para justificar su extracción, las moléculas son tan pequeñas y livianas que pueden viajar hacia la superficie a través de poros conectados y grietas si no se cuenta con un sello apropiado, además, también existen microorganismos a altas profundidades que consumen dicho hidrógeno, agotando las reservas; además de lo anterior, relacionado a la presencia de acumulaciones de hidrógeno, hay que añadir también limitantes técnicas, como la profundidad y la ubicación de los reservorios. Hoy quiero darles a conocer algunas localidades donde existen acumulaciones de hidrógeno y en qué consisten los procesos necesarios para explotarlo.

Burakebugu, Mali. Es el único lugar del mundo donde se extrae hidrógeno natural de manera comercial. Esta acumulación fue descubierta en 1987 cuando se perforaban pozos para producción de agua y un trabajador accidentalmente prendió fuego en un pozo al encender un cigarrillo, alcanza una profundidad de unos 110 m y extrae gas compuesto en un 98% de hidrógeno. La producción empezó en 2012 y proviene de un único pozo (existen otros 24 pozos exploratorios donde también se ha identificado hidrógeno) y se estima en unas 5 toneladas al año. Los dos reservorios identificados consisten en dolomitas (principal y más somero) y areniscas del Neoproterozoico. Un trabajo reciente de Maiga, et al. (2023) menciona que es posible que el mecanismo de generación de hidrógeno más probable para este caso es a través de la oxidación de rocas ricas en hierro de antiguos cratones y formaciones Neoproterozoicas²,

liberando hidrógeno. Este hidrógeno se utiliza como vector energético para generación de electricidad libre de emisiones, y puesto que la recarga de hidrógeno tiene una tasa mayor, o al menos igual a la de extracción, se considera un recurso renovable.

Lorena, Francia. Esta región limítrofe entre Francia y Alemania fue protagonista de las grandes guerras que vivió Europa desde finales del siglo XIX hasta mediados del siglo XX por su riqueza en carbón, fuente energética determinante en esos momentos de la historia. Desde hace 20 años ya no se extrae carbón, pero la búsqueda de un gas asociado al carbón, el metano, permitió que un grupo de investigación dirigido por Philippe de Donato y Jacques Pironon, profesores del *Laboratoire Géoresources* de la Universidad de Lorraine identificara acumulaciones importantes de hidrógeno en 2023 a unos 1.100 m de profundidad, unos 500 m u 800 m por debajo de donde se encuentra el carbón, mostrando concentraciones de hidrógeno de más del 15% en algunos niveles, que a unos 3.000 m de profundidad podría ser del 90%. Según los investigadores, la fuente más probable de dicho hidrógeno es la oxidación de carbonatos de hierro como la ankerita Ca(Fe⁺⁺,Mg,Mn)(CO₃).³ Evaluaciones iniciales sugieren que unas 46 a 260 millones de toneladas de hidrógeno natural se encontrarían en esta acumulación.⁴

Además de los anteriormente descritos, otros depósitos de hidrógeno natural se han identificado en los últimos años en múltiples regiones, tenemos apariciones en los Estados Unidos, Australia, Suráfrica, Rusia, España, entre

otros. Todavía no se ha logrado determinar el origen de todas estas acumulaciones, pero el proceso que parece predominar es la oxidación de minerales con altos contenidos de hierro. Existe también otro mecanismo que está tomando fuerza, consiste en la producción biológica de hidrógeno mediante microorganismos que procesan los hidrocarburos residuales en campos petrolíferos agotados, la compañía Cemvita, con base en Texas, estima que explotar este tipo de hidrógeno tendría un costo de 1 USD/kg, actualmente el hidrógeno verde cuesta unos 5.4 USD/kg y se estima que el hidrógeno blanco más barato estaría alrededor de los 0.5 USD/kg.

El mundo tiene una demanda de unas 75 toneladas de hidrógeno comercial al año, que está muy lejos del consumo masificado de los combustibles fósiles, sin embargo, el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés) estima que es posible que el planeta contenga unos 100.000 millones de toneladas de hidrógeno accesible, ofreciendo posiblemente centenares de años de reservas. Aunque tenemos mucho trabajo por hacer, actualmente contamos con muchas herramientas que podemos utilizar para su identificación y producción, provenientes en gran medida de la industria de los hidrocarburos, lo que nos ahorra muchísimo tiempo y recursos para poder obtener hidrógeno natural. Si somos suficientemente afortunados, este nuevo tipo de hidrógeno nos ofrece una fuente energética que podría cubrir de manera limpia, y quizás, sostenible, una parte importante de nuestra demanda. Seguramente en pocos años sabremos si las esperanzas en el hidrógeno natural que tenemos hoy están bien fundamentadas.

¹S&P Global. Hydrogen technology faces efficiency disadvantage in power storage race, 2021. <https://www.spglobal.com/marketingintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/hydrogen-technology-faces-efficiency-disadvantage-in-power-storage-race-65162028>

²Maiga, O., Deville, E., Laval, J. et al. Characterization of the spontaneously recharging natural hydrogen reservoirs of Bourakebougou in Mali. *Sci Rep* 13, 11876 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-38977-y>

³Bettayeb, K. A gigantic hydrogen deposit in northeast France? *CNRS News* (2023) <https://news.cnrs.fr/articles/a-gigantic-hydrogen-deposit-in-northeast-france>

⁴Alderman, L. It Could Be a Vast Source of Clean Energy, Buried Deep Underground. *The New York Times* (2023) <https://www.nytimes.com/2023/12/04/business/energy-environment/clean-energy-hydrogen.html>



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

TIERRA BLANCA JOVEN, ERUPTION OF ILOPANGO VOLCANO (EL SALVADOR) AND THE IMPACT OVER THE EARLY CLASSIC PERIOD OF MAYAN CIVILIZATION

JHONNY E. CASAS¹

¹ Escuela de Petróleo, Universidad Central de Venezuela



THE ILOPANGO VOLCANO

The Zapotitán Valley, located in central El Salvador, has experienced numerous explosive events over the past two millennia. One of these volcanic events was the eruption of Ilopango Volcano (Figure 1). For several decades, many studies have argued that the Ilopango eruption resulted in serious sudden environmental changes and social problems in bordering Mayan regions, with many sites being abandoned for at least half a century or even a few centuries.

A new scientific study of ice core samples from Greenland has demonstrated how Ilopango mega-eruption wiped out an entire Maya area, 1,590 years ago (1). The resulting ejection was 50 times bigger than the Mount Saint Helens mega-eruption in southwestern Washington, USA, and several times larger than the 1991 eruption of Mount Pinatubo. Today, Lake Ilopango is a crater lake situated about 10 km from modern-day San Salvador. The volcanic crater belongs to El Salvador's volcanic arc of 20 active volcanoes, representing one of the most seismically active regions in Central America.

The rise of the Maya began about 250 AD, and what is known to archaeologists as the Classic Period of Mayan culture lasted until about 900 AD. At its height, Mayan civilization consisted of more than 40 cities, among the principal cities were Tikal, Uaxactún, Copán, Bonampak, Dos Pilas, Calakmul and Palenque. The peak Mayan population may have reached two million people, most of whom were settled in the lowlands of what is now Guatemala. After 900 AD, however, the Classic Maya civilization declined precipitously, leaving the great cities and ceremonial centers abandoned. The height of the Maya Civilization was the Classic Period which in turn produced the incredible cultural and artistic advances for which they are well known (Figure 2). Their cosmological views, encouraged their imaginative efforts in architecture, mathematics, and astronomy (2).

THE ILOPANGO ERUPTION: Climatic-environmental impact

Millions of tons of white ash from the Ilopango mega-eruption spread across about 2 million square kilometers of Central America. The event was called the "Tierra Blanca Joven," or TBJ, the Spanish for "young

white earth". The eruption was so destructive that it would have darkened the entire region for at least a week. Large regions of El Salvador and its Maya sites were covered by thick deposits from an eruption that occurred during this Early Classic Period, which lasted from 250 to 600 AD (2). The eruption that generated these deposits of Tierra Blanca Joven (TBJ) occurred from the Ilopango caldera, a 13x17 km collapse structure, that was formed and modified by its numerous large eruptions in the last 2 Ma. The thickness of the deposits around the vent testifies to a large-magnitude event (Figure 3), and such eruptions release sulfur into the stratosphere that converts into sulfate. This stratospheric sulfate gradually falls out, forming a deposit that can be detected in the polar ice cores (1).

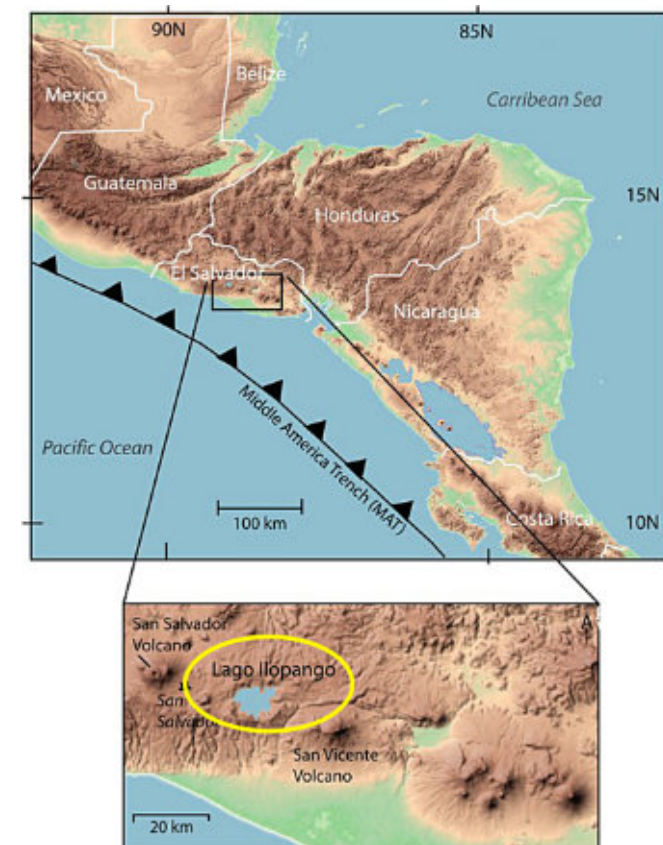


Figure 1. Location map of Central America, showing the location of Ilopango Caldera (Lago Ilopango), the capital city of San Salvador (5).

The TBJ deposits provide evidence that the eruption produced eruption plumes and numerous pyroclastic density currents (PDCs). These PDC deposits extend about 50 km from the vent, and are up to 70 m thick in valleys near the caldera (1). The deposit thicknesses at more than 72 locations were used to produce a 3D numerical model reconstructing tephra dispersal from

the coignimbrite phase and estimating the associated eruption parameters (Figure 4). The 3D model results indicate that ~55 km³ (dense rock equivalent), was dispersed from the turbulent coignimbrite plume that rose to a height of 45 km, into the stratosphere (1).



Figure 2. Mayan mural carving painting in Cacaxtla, Bonampak.



Figure 3. Deposits of Tierra Blanca Joven (TBJ) eruption in a quarry near Cojutepeque, 9 km ENE of the Ilopango caldera.

Previous authors suggested that the Ilopango eruption occurred at 530-540 AD, but this information was controversial, as archaeologists working in the region have recovered artifacts in Chalchuapa, 75 km NNW of Ilopango that were clearly influenced by Teotihuacan Culture from beneath the TBJ ash in the Tazumal and Casa Blanca archeological sites. These Teotihuacan items are typical of those made at the start of the Early Classic Period and hence, imply the eruption occurred prior to 450 AD. Furthermore, Maya ceramic assemblages recovered from archeological sites in El Salvador are similar to those found elsewhere in the region, but after about 400 AD, it appears that ceramic production ceased in El Salvador for a period of around 100–150 years (1).

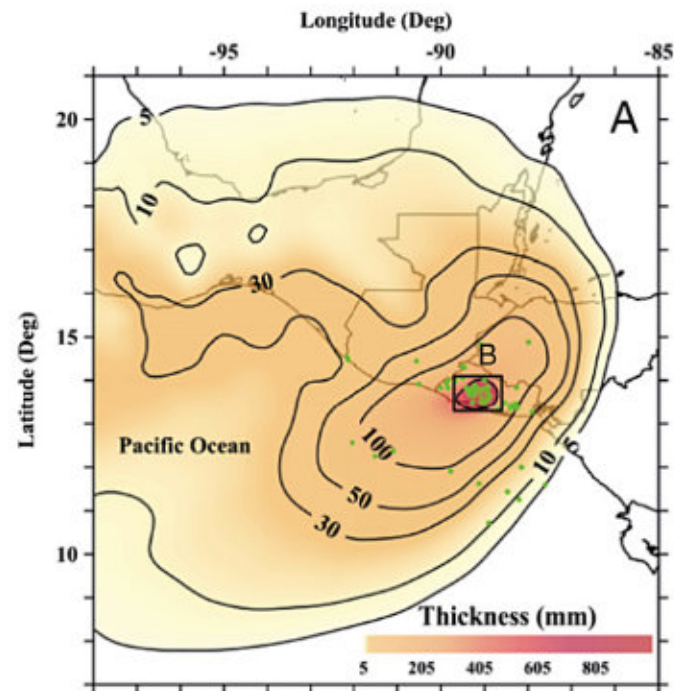


Figure 4. Centimeters of ash were deposited in parts of Mexico, while areas closer to the vent (B) were covered with decimeters of tephra (1).

RADIOCARBON

The date of the eruption, was determined using organic material within the TBJ deposits. A tree fragment was found in late PDC deposits of the TBJ eruption at a location around 25 km from Ilopango. The intact fragment belongs to a Mahogany tree (family Meliaceae) and the cross-section through the fragment revealed ≤ 37 growth rings. Samples for radiocarbon dating were taken from packets of these rings, representing ~5 or ~10 years, along two sections that extended out from the pith to the bark edge of the fragment (1). The radiocarbon measurements of these samples were performed using a state-of-the art Micadas Accelerator Mass Spectrometer at the University of Groningen (Netherlands). The dates from each section indicate that the TBJ eruption occurred between 425 and 440 AD, with a 95.4% probability (1).

THE ILOPANGO ERUPTION IN POLAR ICE CORES

Multiple annually dated ice-core chronologies suggest that the large measured non-sea-salt Sulphur (nssS) spikes at around 433 AD, in the Antarctic and Greenland ice cores are contemporaneous. The TBJ glass shards in Greenland confirm that nssS peak is associated with the TBJ eruption. Within the timeframe established by the radiocarbon date (425-440 AD; 95.4% probability) there is an apparently contemporaneous nssS spike in various Antarctic and Greenland ice cores. Many of these

volcanic glass shards were identified in the particle-rich TUNU2013 ice sample (Figure 5) at 431 AD.

The major element compositions of these glass shards entirely overlap with those of the TBJ, confirming that these shards are distal TBJ ash that traveled more than 7,000 km (1). It is not unusual for tephra to travel such distances as other tephra layers identified in Greenland have been correlated to sources up to 8,000 km away. This correlation provides additional confidence that the age of the TBJ eruption is 431 ± 2 AD. Sulfate records from an array of ice cores suggest stratospheric injection of 14 ± 2 Tg S associated with the TBJ eruption, exceeding those of the historic eruption of Pinatubo in 1991. Based on these estimates it is likely that the TBJ eruption produced a cooling of around 0.5 °C for a few years after the eruption (1).

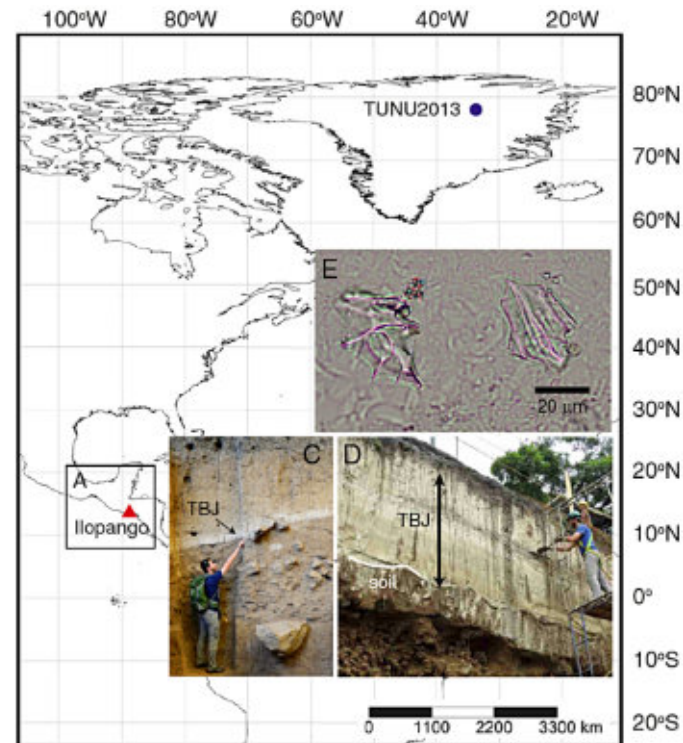


Figure 5. Location of the Ilopango caldera in El Salvador (red triangle). The TBJ tephra is ~20 cm thick in the Casa Blanca archeological sites in Chalchuapa (C) and ~2-m-thick ~10 km west of the vent (D). The glass shards from the TBJ eruption, was identified in the TUNU2013 ice core from Greenland (1).

CONCLUSIONS

The coignimbrite plume generated by the eruption from Ilopango volcano dispersed between 85 and 188 km³ of tephra (37–82 km³ dense rock equivalent) over large areas of Central America and the Pacific Ocean, with the

very finest fraction traveling >7,500 km to Greenland. Compositionally identifying the tephra in the ice core provides the precise date of 431 ± 2 AD for the eruption (3).

The Ilopango eruption injected ~14 Tg of sulfur into the stratosphere which subsequently dispersed in both hemispheres. This injection into the upper atmosphere occurred during the later phases of the eruption when the particularly turbulent and unstable coignimbrite plume extended to a height of ~45 km (3). The local to regional impacts appear to have been restricted to areas within a few hundred kilometers of the vent.

The Ilopango mega-eruption that immediately destroyed every living thing within 40 km of the blast, and rendered an area twice that size uninhabitable for more than a century. It appears to have only had major effects on populations within 80 km of the volcano, where the regions were blanketed by decimeters of ash fallout and pyroclastic density currents. Everything within these regions would have been destroyed and vegetation would have taken many years to decades to recover (4).

Beyond the global impacts, Ilopango was an apocalyptic event for the people living in El Salvador at the time. As many as 40,000 to 80,000 people probably died in the eruption itself, overwhelmed by superheated rock and gas that streamed down Ilopango's flanks (4). For those on the periphery, Ilopango's nightmare was just beginning, because ash would have blotted out the sun, turning day to night. Food and water supplies would have been decimated, as feet of ash buried reservoirs and agricultural fields.

REFERENCES

- 1) Smith, V., Costa, A., Aguirre-Díaz, G., Pedrazzi, D., Scifo, A., Plunkett, G., Poret, M., Tournigand, P., Miles, D., Dee, M., McConnell, J., Sunyé-Puchol, I., Harris, P., Sigl, M., Pilcher, J., Chellman, N., Gutiérrez, E. The magnitude and impact of the 431 CE Tierra Blanca Joven eruption of Ilopango, El Salvador. Proceedings of the National Academy of Sciences Sep 2020.
- 2) https://www.ancient.eu/Maya_Civilization/
- 3) <https://www.historymuseum.ca/cmce/exhibitions/civil/maya/mmc09eng.html>
- 4) <https://www.nationalgeographic.com/science/2019/08/colossal-volcano-behind-mystery-global-cooling-found/>
- 5) Garrison, J. M., M. K. Reagan, and K. W. W. Sims (2012), Dacite formation at Ilopango Caldera, El Salvador: U-series disequilibrium and implications for petrogenetic processes and magma storage time, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 13.

An additional 200,000 to 400,000 people would have been affected; those who didn't die of starvation or disease would have been forced to escape, to less affected Maya centers toward the north in modern-day Belize and Mexico, where archeological records suggest that at that time the number of Maya monuments were increasing along with the population (4).

The Ilopango mega-eruption was undoubtedly one of the most violent earth-shattering events in Maya history. Such a catastrophe would have destroyed all of Maya civilization, but, luckily, the Mayas had by that time spread across southern Mexico, Guatemala, and northern Belize.



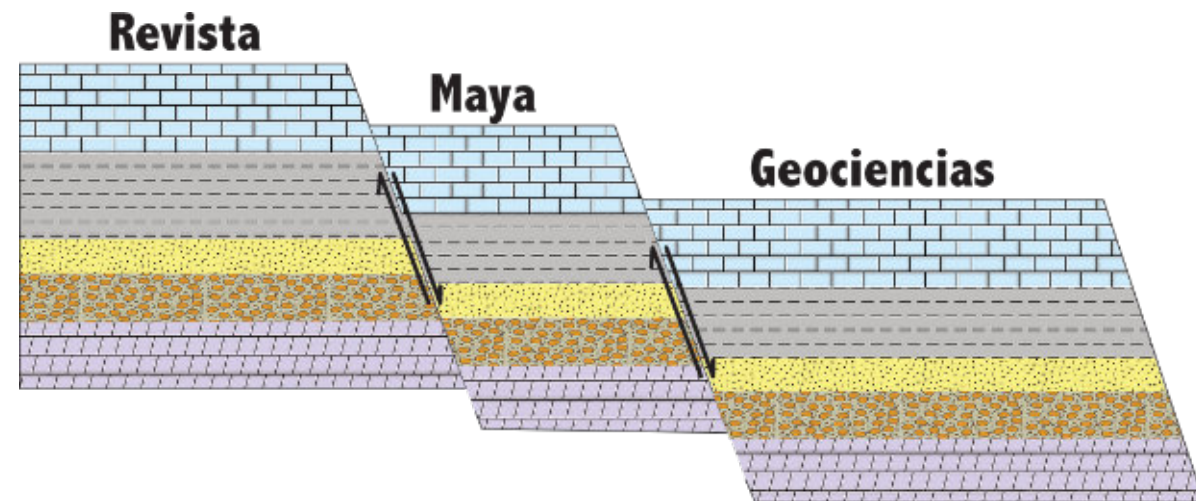


jcasas@geologist.com

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 (2003-2024), 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 inteligencia es casi inútil a aquel que no tiene más que eso.

Alexis Carrel

MONUMENTOS NATURALES, GEOSITIOS Y PAISAJES DEL SUR DE AUSTRALIA: VALOR GEOLÓGICO, PATRIMONIAL Y CULTURAL

Jesús S. Porras M.¹

¹ Consultor Independiente



INTRODUCCIÓN

La ubicación privilegiada de Australia del Sur dentro del continente, su fascinante historia geológica, la espesa secuencia sedimentaria y gran variedad de rocas, de un amplio rango de edades incluso de las más antiguas del mundo, su gran riqueza mineral y la diversidad geológica de sus paisajes, hace de ésta una de las regiones más atractivas del mundo desde el punto de vista geológico. En ella quedaron registrados muchos de los procesos dinámicos que definieron la arquitectura actual del planeta.

Si bien diversos procesos como deriva continental, tectonismo, rifting, volcanismo, glaciaciones y cambios en el nivel del mar intervinieron directamente y le dieron forma a esta región del continente australiano, los múltiples paisajes, rasgos geográficos y accidente topográficos presentes, no son más que el resultado de prolongados y continuos procesos de movimientos tectónicos y erosión durante millones de años.

En la provincia se desarrolla toda una variedad de ambientes sedimentarios y se identifican numerosas formas geográficas y estructuras geológicas tales como secuencias turbidíticas, bloques erosionados y meteorizados, estrías glaciares y bloques erráticos, fracturas, diaclasas y juntas, intrusiones, diques y xenolitos, entre otras. Además de la gran gama de rocas presentes.

Aunque toda la provincia es de una geodiversidad tal, en este artículo, resultado de observaciones y anotaciones de viajes, se detalla la zona visitada, que se ubica hacia su margen meridional y que incluye las adyacencias de la capital Adelaide (South Mount Lofty Ranges), la zona de Encounter Bay, en la Península Fleurieu; y Kangaroo Island.

Se presenta una breve descripción y resumen de cada zona y su característica geológica más notoria, así como se revela el protagonismo de los monumentos naturales en el patrimonio natural australiano y su valor paisajístico, geológico e histórico en la mencionada región.

UBICACION Y MARCO GEOLOGICO

Este estudio comprende la zona de planicies ligeramente onduladas y meteorizadas situadas al sur de la Provincia de Australia Meridional perteneciente a la cadena de montañas Mount Lofty Range. Incluye la región continental, comprendida desde la península Fleurieu hasta las adyacencias de Adelaide, e insular de Kangaroo Island.

Cubre una superficie aproximada de 20000 km² entre las zonas continental e insular.

En el mapa de la Fig. 1 se señalan las zonas visitadas. Cada una de ellas puede contener uno o más sitios de interés geológico.

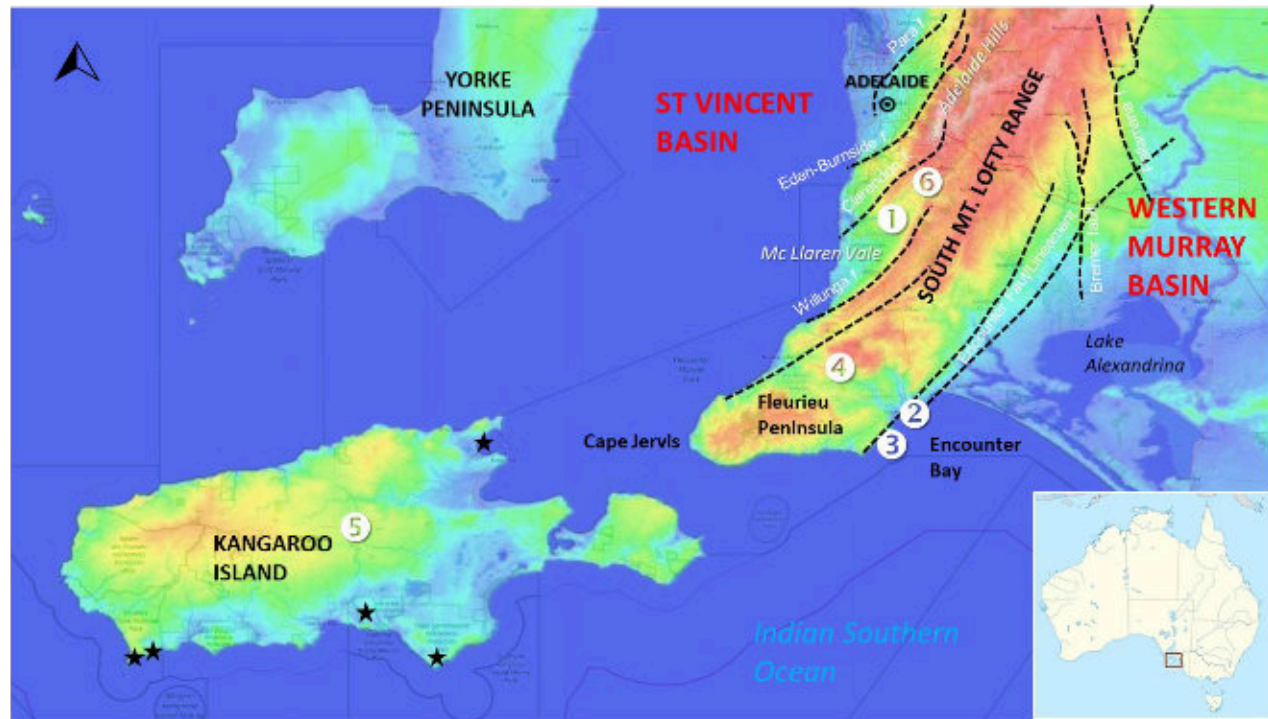


Figura 1. Mapa del Sur de Australia indicando las locaciones visitadas y descritas: (1) **Mc Laren Vale Region** (2) **Encounter Bay Granites** (Port Elliot, Granite Island, Rosetta Head (The Bluff, Wharf/The Jetty, The Summit) (3) **Kanmantoo Group** (Middleton Beach, Petrel Cove Beach y Heritage Trail, Kangaroo Island) (4) **Glacier Rock** (5) **Kangaroo Island** (Admiral's Arch, Remarkable Rocks, Little Sahara y Cape Gantheaume, Wisanger Basalt) (6) **Mount Lofty Summit**. Se muestran principales alineamientos estructurales del área (Mapa base <https://en-us.topographic-map.com>)

MONUMENTOS NATURALES, GEOSITIOS Y PAISAJES

La provincia del Sur de Australia (SA), conocida más por sus hermosas costas y playas, guarda en su territorio una importante cantidad de sitios y paisajes, únicos, increíbles y de extraordinaria belleza: desde colosales masas de granitos, de curiosas y extrañas formas, áridos desiertos de arenas blancas y cuevas talladas por la erosión, hasta distintivas formaciones bandeadas altamente inclinadas.

Muchos de estos sitios son áreas protegidas dentro de parques nacionales o de reservas naturales, administrados tanto por el gobierno provincial y comunitario, como nacional. Australia Meridional contiene 362 parques, reservas y áreas protegidas distribuidas en siete (7) regiones que incluyen ambientes terrestres, marinos y fluviales. Sus áreas ocupan el 21.6% del SA, incluyendo el 31% de la costa suraustraliana y un 30% del total australiano.

El SA alberga dos (2) de las 16 regiones más espectaculares identificadas por el Programa Australiano de Paisajes Australianos: Flinders Ranges y Kangaroo Island, la última incluida en este artículo.

Desde el punto de vista patrimonial, sus parques contienen una veintena de sitios designados como de

importancia y significancia geológica y paleontológica (RIGS, por las siglas en inglés de Regionally Important Geological and Geomorphological Sites)(National Parks and Wildlife Service South Australia)

Monumentos Naturales: Como monumentos naturales se definen todos aquellos espacios o elementos naturales de singular valor paisajístico, estético, geológico, geomorfológico, científico, histórico e incluso simbólico, cuya conservación amerita un tipo de protección especial y absoluta. Por su susceptible condición, serán inviolables, no pudiendo realizarse en ellos o respecto a ellos actividad alguna, salvo las inspecciones oficiales e investigaciones científicas permitidas por la autoridad de aplicación, y la necesaria para su cuidado y atención de los visitantes. Son áreas protegidas donde está prohibida la explotación de recursos. Incluye zonas o áreas estrictamente delimitadas, formaciones geológicas o fisiográficas, objetos, especies biológicas (vivas de animales o plantas) y sitios de valor cultural o espiritual.

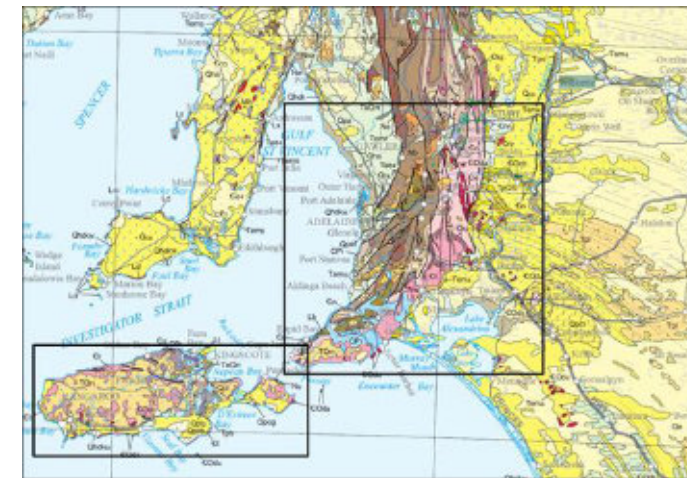


Figura 2. Mapa Geológico del Sur de Australia. Los recuadros señalan la ubicación de las áreas de estudio.

MOUNT LOFTY RANGES & ADELAIDE HILLS

Mount Lofty Ranges

Es una cadena montañosa de geometría arqueada y rumbo aproximado norte-sur, localizada al este de la ciudad de Adelaide, que se extiende por unos 300 km desde la Península Fleurieu, al sur, hasta el poblado de Peterborough, situado al centro-norte de la provincia. Se encuentra limitada por las cuencas Saint Vincent y Western Murray, al oeste y este, respectivamente.

Sobre su origen se manejan varios modelos. Algunos autores la consideran una región intraplaca levantada desde principios del Terciario (Eoceno) con fábricas tectónicas heredadas de la orogenia delameriana (Cámbrico-Ordovícico, ~500 Ma); como un levantamiento resultante de la reactivación compresiva de fallas paleozoicas y acomodación de la deformación.

Tokarev et al. (2003) han propuesto un modelo, independiente de las antiguas fábricas tectónicas, que incorpora neotectónica extensional y compresional, subsidencia y flexuramiento negativo, con cambios en el nivel del mar como control del paisaje, aumento del relieve y responsable de la remoción y desarrollo del regolito. Tokarev (2005) señala que es el resultado de la interacción de movimientos neotectónicos con procesos fluviales.

Consiste en una serie de bloques tectónicos asimétricos, de variado tamaño que fueron inclinados, hundidos y levantados durante el Terciario-Cuaternario. Los bloques muestran movimientos verticales múltiples, principalmente a lo largo de las fallas que los delimitan (Tokarev, 2005).

Está dividida en dos zonas: norte y sur. La zona norte es a menudo confundida como la estribación meridional del Flinders Range, el cual representa la cadena montañosa más larga del SA, contenido de rocas que registran la evolución geodinámica y el surgimiento y evolución de la vida animal de la Tierra, así como las condiciones climáticas y ambientales de la región por un período de 350 millones de años, entre el Neoproterozoico (850 M.a) y el Cámbrico (500 M.a).

La zona norte se extiende desde las colinas cerca de Kapunda, en el sur, hasta las cordilleras áridas más allá de Peterborough, en el noreste. Incluye las cadenas Belvidere y Tothill Range y las Skilly Hills. Su elevación más alta es 936 metros en el Mount Bryan. La minería de cobre fue su gran actividad en tiempos pasados.

La zona sur, comprende numerosos valles y onduladas colinas de altitudes entre 400-500 metros, siendo el Mount Lofty, con 710 metros, la elevación más alta. Se extiende desde los poblados costeros de la Península Fleurieu en el sur, hasta la región montañosa localizada en los alrededores de Adelaide. Incluye las colinas conocidas como Adelaide Hills, a solo 15 km al sureste de mencionada ciudad, y el Barossa Range, situado un poco más al norte.

Las colinas, ocupadas por aborígenes antes de la colonización, contienen discretos depósitos minerales y varias canteras explotadas en esos mismos tiempos. Las minas de oro más importantes de la colonia, fueron descubiertas en el año 1852 en Jupiter Creek, en las adyacencias de Echunga, pequeño poblado situado a 34 km al sureste de Adelaide.

De sus bosques se obtuvo la madera en la época colonial. La zona llegó a ser importante centro de pastoreo, lechería y agricultura, especialmente de horticultura. Hoy es una región vinícola. El primer vino exportado del SA salió de allí. Esta zona también es área de captación de aguas para suministro de la ciudad de Adelaide.

Barossa Range

Es una estructura elongada, de rumbo norte-sur ubicada en la zona sur del Mount Lofty Range. Su elevación promedio es del orden de los 500 metros snmm, siendo el Kaiser Stuhl, con 588 metros (1929 ft), su máximo pico. Parte de su relieve se atribuye a erosión diferencial resultante del levantamiento general de la cordillera (Dalgaro, 1961)

La cordillera está limitada por rellenos de sedimentos lacustrinos y fluviales terciarios y cuaternarios. Hacia el oeste se localizan las planicies y colinas, de suaves pendientes y elevaciones menores de 300 metros, del Barossa Valley, una angosta cuenca sedimentaria de unos 30 km de largo y 6 de ancho formada hace 65 Ma. Hacia el este, el escarpado es más pronunciado y las colinas superan los 600 metros de altitud.

La región es famosa por su viticultura de alta calidad y por la explotación mineral, principalmente de mármol Angaston como piedra monumental, de alcalinos, cemento y agregados para vías y construcción.

McLaren Vale Wine Region

Localizada unos 30 km al sur de Adelaide, representa una de las zonas vinícolas de mayor diversidad geológica del mundo. Contiene rocas tan antiguas, de edades entre 500-650 ma y más de 40 unidades geológicas. El área productiva de vino ha sido dividida en siete (7) provincias geológicas en base a la roca, o grupo de rocas, predominante, y donde cada una de las provincias, es diferente a las otras en términos de su origen, formación y edad de las rocas (Fairburn et al., 2010).

Estas siete provincias son: Ancient Rocks, Limestone Country, Clay Plains of Aldinga, Piedmont, Talus Slope, Alluvial Flats y Sand & Sandstones. Están compuestas por gravas, cuarcitas, arenas, areniscas, calizas, calcretas, limolitas, arcillas y lutitas.

Su origen es tan diverso como fluvial, aluvial (de abanicos), marino somero, lagunar, estuarino y eólico.

ENCOUNTER BAY GRANITES

Con este nombre se designa una franja de rocas graníticas que afloran en islas, islotes y promontorios en la costa entre la población de Port Elliot y West Island, ubicada el oeste de Víctor Harbor. Estas rocas afloran también 40 km más al oeste, en la costa este de la isla Kangaroo (Milnes, 1973, Milnes, 1990; Hiern, 2012; Bouman & Milnes, 2016; Bourman et al., 2016). Los granitos son de color anaranjado a rosado, predominantemente de grano grueso, con megacristales de feldspato y conforman particulares paisajes caracterizados por formas dómicas o irregulares, tafonis, bloques cúbicos erosionados, meteorizados, diaclasados y/o exfoliados, o de bordes redondeados y suavizados. Xenolitos aislados de diferentes tamaños, arreglos e inclusiones de minerales, vetas mineralizadas y diques de aplita llegan a identificarse dentro de los granitos.

Los granitos son el resultado de un emplazamiento plutónico sucedido hace 475-500 ma coincidente con la Orogenia Delameriana que afectó el SA, intruyen rocas metasedimentarias del Grupo Kanmantoo, de edad Cámbrico Temprano y fueron expuestos durante la glaciación del Pérmico temprano (300 ma). Han estado sometidos a prolongados procesos de meteorización y erosión costera y marina, aunque algunos autores sostienen que la topografía y formas desarrollada en los granitos es el resultado de actividad glacial holocena, si bien son muy escasas las evidencias.

Port Elliot Granites

Son varios afloramientos de granito que se localizan en la costa próxima a la ciudad de Port Elliot e islas adyacentes. Se extienden discontinuamente por un poco más de 2 km, siendo el más prominente el ubicado al sur de la Horseshoe Bay. Este afloramiento contiene los únicos y más evidentes indicios de actividad glacial paleozoica en la zona (Milnes & Bourman, 1972).

El afloramiento está formado por una serie de bloques de granito masivos, multidimensionales y/o colosales, intensamente fracturados o degradados. Los bloques de granito están fuertemente afectados por erosión costera y glacial.

Presentan formas dómicas e irregulares, con crestas y bordes redondeados, así como curiosas y peculiares formas producto de la meteorización mecánica y química. Se distinguen muchas de las formas típicas de los paisajes graníticos: domos, crestones, lancharos, berrocales, pedrizas, lancharos, bolos y arenizaciones. Formas menores como pequeños pilancones, tors, tafonis y pseudoestratificación también son reconocidas. Las diaclasas se presentan individuales o en clusters paralelos, predominan las verticales, las cuales están orientadas en dos direcciones principales NW-SE y NE-SW. Vistas aéreas del afloramiento, indican que las primeras son más prominentes, se encuentran mucho más espaciadas entre sí y separan visiblemente los bloques de granito, a diferencia de las fracturas orientadas al NE-SW. Otras fracturas menores multidireccionales están muy poco espaciadas, forman arreglos poligonales o caóticos.

El granito es de grano grueso, color gris claro a rosado, no foliado ni esquistoso, con grandes megacristales de feldspato potásico y presenta inclusiones casuales, o arreglos zonales, de grano fino, de plagioclasa, cuarzo y biotita (Milnes, 1990). Suele

contener xenolitos de rocas metasedimentarias oscuras y de otras rocas (?).

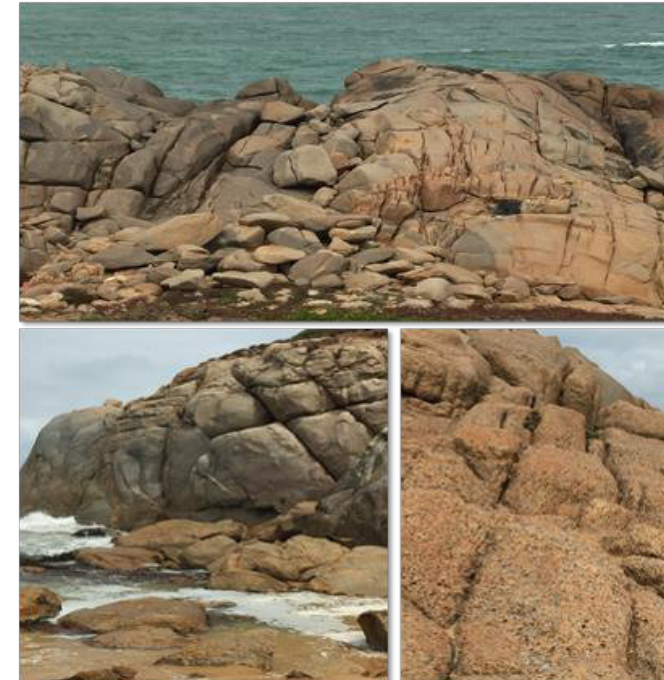


Figura 3. Granito de Port Elliot mostrando bloques multidimensionales de bordes redondeados y formas irregulares producto de la intensa meteorización, erosión y fracturamiento del granito (Foto: J. Porras)

Intruyendo los granitos, se reconocen diques de aplita de color naranja claro a rosado, de grano fino y espesor decimétrico. También se identifican mineralizaciones de cuarzo azulado opalescente rellenando planos de fracturas y diaclasas, así como concentraciones lenticulares de minerales oscuros (turmalina o mica).

En el acantilado de la playa se desarrolla cierto relieve kárstico y se exponen horizontes de calcreta y de material limo-arenoso alterado y meteorizado, de color blanquecino a ocre.

Granite Island (Nulcoowarra)

Es una pequeña isla de 0.26 km² de superficie (64 acres) situada al frente del poblado de Víctor Harbor a la cual se accede desde la costa por un tranvía tirado por caballos. Antes una cantera y hoy sitio turístico, área protegida y refugio de pingüinos, la isla está enteramente compuesta por granito, lo que le da su nombre. El granito, de 480 ma de edad (Cámbrico), es de grano medio a grueso compuesto de feldspato rosado y blanco, cuarzo azulado y mica biotita negra. Característico de la isla son las onduladas colinas y las extrañas formas resultantes de la

erosión postglacial y de la meteorización mecánica y química del granito. Se identifican tafonis, lajas, bloques redondeados, exfoliados y descamados, diaclasas, fracturas naturales y xenolitos del Grupo Kanmantoo, a quien intruye el granito, suelos residuales y calcreta.



Figura 4. Desarrollo de tafoni y exfoliación esférica (spalling) en rocas graníticas de Granite Island (Foto: J. Porras)

Rosetta Head (The Bluff)

La Rosetta Head (The Bluff), es un notorio promontorio de granito de ~100 m de altura que se localiza 4km al SW de Víctor Harbor. Este gran peñasco, de forma asimétrica, ondulada y redondeada, tiene su origen, atribuido por unos autores, a erosión costera post-glacial, y por otros, aunque no existen mayores evidencias, al paso de grandes masas de hielo pérmico sobre el lecho granítico, formando el típico terreno glacial conocido como roche moutonnee (rocas aborregadas o de lomo de oveja, Bourma et al., 2016)



Figura 5. Relieve granítico al tope del Rosetta Head (Foto: J. Porras)

Al igual que el resto de granitos de Encounter Bay, en ella se registran importantes episodios de la historia

geológica del Sur de Australia: intrusión granítica sobre rocas metamórficas de Grupo Kanmantoo, Orogenia Delameriana (475-500 ma, Cámbrico), glaciación pérmica, oscilaciones del nivel del mar (Holoceno), meteorización y erosión costera-marina.

En el afloramiento se encuentran desarrolladas muchas de las formas típicas mayores y menores de los relieves graníticos.

METASEDIMENTITAS DEL GRUPO KANMANTOO

Comprende una sucesión de metasedimentitas de edad Cámbrico Inferior que afloran en una franja que se extiende por más de 50 km entre las playas de Middleton y Tunkalilla, e incluso en Kangaroo Island, estando los afloramientos más notables localizados en Middleton Beach, Rosetta Head, Petrel Cove-King Beach, Tunkalilla-Waitpinga y Kangaroo Island.

En general, está conformada por intercalaciones de rocas sedimentarias clásticas muy resistentes, de grano fino a medio, entre las que se incluyen areniscas masivas, limolitas y pelitas levemente metamorizadas y filitas, esquistos y gneises (facies anfibolita). Algunos conglomerados y calizas pueden estar presentes. Las sucesiones pueden ser masivas a finamente laminadas, muy intercaladas, distintivamente bandeadas, de color oscuro y gris, con indiscutibles estructuras sedimentarias, entre las que destacan estratificación cruzada, boudinage, soft-deformation y evidencias de slumping y llegan a ser intruidas por los granitos de Encounter Bay o por diques menores de dolerita y otras rocas (Dailey & Milnes, 1973). Las capas tienen rumbo norte-sur, están altamente inclinadas, con buzamiento al este (25-70°), llegando a presentar intenso fracturamiento.

Su origen es mixto, varía de aguas profundas/turbidítico, por corrientes de turbidez de alta densidad, en la sección basal, a marino somero al tope (Haines et al., 2001; Jago et al., 2003)

En los afloramientos, se distingue por sus colores oscuros o carácter bandeado, por la alta laminación y estratificación y por el alto buzamiento de los estratos. Las rocas expuestas, producto de la erosión diferencial y competencia, en muchos casos forman paredes de afilados y agudos bordes y salientes.

Heritage Trail (Heysen Trail) & Petrel Cove

Es un sendero sobre los acantilados de la costa situada al oeste de The Bluff. Desde él, sobre la playa y hasta varios kilómetros hacia el oeste, se exponen las resistentes rocas

metamórficas altamente inclinadas del Grupo Kanmantoo (500 Ma). Se presenta una secuencia intercalada de areniscas grises de grano fino con limolitas y filitas de un característico bandeado.

El pavimento formado de estas rocas exhibe intenso diaclasamiento y presencia de diques o vetas mineralizadas

En esta sección de playa se reconocen numerosos peñascos y cantos rodados, de variadas dimensiones, de granito caídos del Rosetta Head (ver figura introductoria)

Rosetta Head

Hacia el flanco norte del Rosetta Head, se observan rocas del Grupo Kanmantoo en contacto directo con el plutón de granito de Encounter Bay. Es uno de los únicos dos sitios donde se observa este contacto. Dentro del Grupo Kanmatoo se identifican signos de meteorización, estratificación y vetas mineralizadas subverticales de cuarzo color marrón claro-anaranjado.

El contacto es concordante, tiene un buzamiento aproximado de 45-60° hacia el este, de tal forma que el granito suprayace al Grupo Kanmantoo (Milnes, 1986)

Middleton Beach

En esta zona afloran las rocas duras de la Formación Middleton, las cuales representan las rocas más jóvenes reconocidas del Grupo Kanmantoo (Bourman, 2016). Es una sucesión intercalada de areniscas, lodolitas y limolitas dispuestas en bandas grises y blancas y con laminación paralela.



Figura 6. Metasedimentos tipo flysch del Grupo Kanmantoo en Middleton Beach. La unidad consiste en una serie de metareniscas mineralógicamente inmaduras de grano fino y de color gris, bien laminadas, intercaladas con lutitas, limolitas y lodolitas (Foto: J. Porras)

En las rocas se conservan muchas estructuras sedimentarias primarias a pesar de haber sido expuestas al metamorfismo pérmico.

Las meta-areniscas están bien laminadas, de espesores variables, menores a un metro, presentan estratificación cruzada, signos de deformación dúctil y slumps (Daily & Milnes, 1972, 1973). Característico el alto buzamiento de las capas.

GLACIER ROCK (SELWYN'S ROCK)

Es un histórico sitio, de interés geológico, ubicado 14 km al NW de Víctor Harbor, en el Valle Inman Road, en la ruta que conduce a Yankalilla. Descubierta por ARC Selwyn en 1859, de allí su nombre, en él se localizan unas de las más grandes y claras evidencias de transporte y erosión glacial del sur de Australia y quizás del mundo.

El sitio es reconocido porque combina la presencia de un gran bloque errático de granito transportado y emplazado en sedimentos glaciares pérmicos, con un pavimento cuarcítico cámbrico pulido con visibles estrías, surcos, acanaladuras y marcas producto del movimiento del hielo glacial hace 250-300 ma.

El bloque errático, de unas 20-30 toneladas de peso, yace en la orilla sur del río y es similar a los granitos que afloran en "The Bluff" (Johnson, 2009). Los sedimentos localizados por debajo del bloque de granito se encuentran distorsionados y levemente plegados, lo que hace suponer que se trata de una roca caída durante la fusión de la inmensa masa de hielo (Bourman & Milnes, 2016).



Figura 7. Selwyn's Rock está compuesta de una metarenisca (cuarcita) densa, de color gris azulado, finamente laminada, con estratificación cruzada y deslizada de la Formación Backstairs Passage del Grupo Kanmantoo. El peñasco (boulder) es un granito errático del Encounter Bay (izq). (Foto: J. Porras)

Las estrías y otras marcas de erosión glacial en el pavimento presentan una dirección predominante SE-NW, por lo que el movimiento del glacial seguía esa misma dirección.

KANGAROO ISLAND

Con una superficie aproximada de 3900 km², Kangaroo Island es la tercera isla más grande de Australia. Considerada como una extensión de la Península de Fleurieu, se ubica en la costa de Australia Meridional, al suroeste de Adelaide. Hoy refugio de fauna nativa y flora silvestre, la isla es conocida por sus impresionantes y diversas formaciones rocosas y accidentes geográficos que reflejan una compleja historia geológica que comprende rocas de edades del Proterozoico temprano al Cuaternario (Milnes et al., 1982; Belperio, 1995; GSA, 2007; Bourman et al., 2016).

La isla presenta forma elongada en una dirección preferencial al noroeste. Está separada de tierra firme por un estrecho de 14 km de ancho denominado Backstairs Passage. La isla consiste en una meseta, de 100-300 m de elevación, erosionada y seccionada, cubierta por un regolito profundamente meteorizado (Belperio, 1995; Bourman et al., 2016).

Como resultado del levantamiento tectónico, plegamiento, erosión y meteorización, en ella se han desarrollado numerosos paisajes entre los que reconocen acantilados y escarpas, cuevas, dunas, cabos, lagos y ensenadas, así como se exponen remanentes erosivos de coladas basálticas, plutonismo granítico y rocas metasedimentarias. En la isla, se ha identificado más de una decena de sitios de interés geológico, no solo por su valor escénico sino por su importancia económica, determinada esta última, por la gran variedad de rocas y dominios estructurales presentes (Belperio, 1995).

Entre los sitios más destacados están las Remarkable Rocks, el Admiral's Arch (Cape du Couedic), las dunas de Little Sahara y unos afloramientos rocosos característicos, los cuales se describen a continuación:

Remarkable Rocks

Representa una serie de bloques de granito de tamaño colosal ubicados al oeste de la isla, en la parte sur del Flinders Chase National Park. Famosos por sus asombrosos tamaños e inusuales y curiosas formas, estos bloques de granito presentan la distintiva morfología resultante de la meteorización esferoidal y erosión eólica y costera, con amplios domos, laderas acampanadas y

desarrollo de lajas curvadas, tors y tafonis, todos precariamente balanceados sobre una gran cúpula granítica. Los bloques de granito pueden presentar lados empinados y llegan a estar limitados por diaclasas, a lo largo de las cuales se han formado canaletas o hendiduras por la meteorización. Forman lo que se conoce como inselbergs- o koppies- acastillados (Bourman et al., 2016).



Figura 8. Remarkable rocks, Se distingue por las inusuales formas erosivas (domos, pilares, koppies, tafoni y cavernas, entre otros) y el precario balance de las rocas (Foto: J. Porras)

El granito, emplazado hace 500 ma durante la Orogenia Delameriana, es de textura media-gruesa, color gris claro, equigranular, rico en biotita. Presenta lineamientos minerales y xenolitos oscuros.

Admiral's Arch

Es una caverna localizada en el Cabo du Couedic, al suroeste de la isla. La caverna se desarrolló en eolitas calcáreas arenosas (Fm Bridgewater) que suprayacen discordantemente sobre las areniscas cámbricas del Grupo Kanmantoo.

Sobre su origen algunos autores postulan que se formó únicamente por la erosión de las olas. Bourman et al. (2016) indican que fue creada por el efecto combinado de meteorización química (disolución) de la caliza y subsecuente excavación marina costera; mientras que otros autores (Myroie & Myroie, 2009) sugieren que, por la presencia de varias cavidades de disolución freática observadas, pudiera ser una cueva de margen de flanco que ha sido abierta y modificada por la acción de las olas en el ascenso global del nivel del mar actual.

El arco presenta las típicas formas kársticas y desarrolla abundantes espeleotemas de calcita, especialmente estalactitas que cuelgan de su techo. El

piso de la caverna está conformado casi en su totalidad por las metasedimentitas del Grupo Kanmantoo, aunque en el lado norte de la misma, se conservan algunos remanentes de caliza, indicativo también del desarrollo de cuevas de margen de flanco, según Myroie & Myroie (2009)



Figura 9. Admiral's Arch. La caverna se desarrolló sobre eolitanas y calcarenitas pleistocénicas de la Formación Bridgewater. Se distinguen estalactitas al tope y un lecho fracturado conformado por areniscas cámbricas del Grupo Kanmantoo (Foto: J. Porras)

Little Sahara Dunes

Es un sistema activo de dunas costeras que ha migrado tierra adentro 4 km al NE desde la costa de Vivonne Bay, localizada al centro-sur de la isla. Cubre un área aproximada de 3 km², y está conformado por dunas de diferentes dimensiones, donde predominan las dunas pequeñas, de altura variable entre 5 y 20 m, aunque algunas pueden superar los 70 m. La topografía característica es la de dunas con visibles depresiones entre ellas.

Las dunas están conformadas por arenas limpias cuarzosas de grano fino y bioclásticas (conchíferas), no consolidadas, de color blanco, pertenecientes en su mayoría al Miembro Sand Semaphore de la Fm Saint Kilda (Holoceno) y pueden estar recubiertas parcialmente por vegetación baja (matorrales) y árboles de mediano tamaño.

Su origen es debido a erosión costera activa y retrabajo de sedimentos previamente depositados, seguramente eolitas calcáreas pleistocenas (Belperio, 1995; Bourman et al., 2016). Las dunas y la arena se desplazan en dirección noreste, influenciadas principalmente por los fuertes vientos provenientes del suroeste. La migración ocurre principalmente en áreas que carecen de vegetación, aunque es posible observarla aún en dunas estabilizadas por la vegetación.

Grupo Kanmantoo

Aflora en diferentes puntos de la isla configurando el basamento o sustrato rocoso, muy fracturado, o se presenta como una alternancia de capas duras de alto buzamiento en ciertos lugares de la costa formando alineamientos de filosas y rugosas crestas y hendiduras. Hacia la costa oeste de la isla, calcarenitas y eolitas calcáreas de edad holoceno descansan discordantemente sobre la unidad.



Figura 10. Metasedimentos altamente inclinados y fracturados de la Formación Middleton del Grupo Kanmantoo (Cámbrico) (Foto: J. Porras)

Llega a componer casi totalmente las dos isletas localizadas en el extremo oeste de la isla, donde además se logra distinguir alguna estratificación cruzada. Hacia el este de la isla, las secuencias están claramente bandeadas y muy laminadas.

Basalto Wisanger

Se identifica un remanente erosivo de un manto basáltico, denominado Wisanger Basalt, al noreste de la isla, cercano a la capital Kingscote. Este basalto de edad jurásica, forma una suerte de costra que cubre parcialmente las colinas localizadas en la zona. Yace discordantemente sobre areniscas blanquecinas y conglomerados fluviales meteorizados, lixiviados y caolinitizados mesozoicos (Milnes et al., 1982).

El basalto, antes explotado en canteras de la zona (Old Government & Bluff Quarries) para uso como lastre en barcos de carga o como relleno en el pavimentado de carreteras, es de color negro a gris oscuro, vesicular, rico en sílice y de afinidad tholeítica. Presenta un espesor

aproximado de 15 metros y muestra fracturamiento en la forma de disyunción columnar.

CONCLUSIONES

El Sur de Australia está entre las zonas del planeta con mayor variedad de elementos geológicos, geomorfológicos y paisajísticos. Se incluye en esta diversidad, evidencias de procesos y ambientes tectono-estratigráficos precursores de la formación y evolución de la Tierra y los continentes, así como una amplia gama de rocas de todo tipo y edades que llegan a abarcar periodos de tiempo entre el Meso/Neoproterozoico y el Cenozoico.

No contemplada en este estudio, rocas del Emu Bay en la costa norte de la Isla Kangaroo, contienen fósiles de las más primitivas formas de vida, datados en alrededor de 520 ma. Otras rocas precámbricas del SA son las componentes principales de la cadena montañosa Flinders.

Por esas razones, el Sur de Australia tiene un gran valor científico, patrimonial y turístico. Sus múltiples paisajes lo convierten en un gran análogo para la reconstrucción de la historia del planeta.

REFERENCIAS

- Belperio A.P., 1995, A Guide to the Geology of Kangaroo Island, GSSA Report Book 95/1
- 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.
- Daily B. and Milnes A.R., 1972, Revision of the Stratigraphic Nomenclature of the Cambrian Kanmantoo Group, South Australia, Journal of Geological Society, 19(2), 197-202.
- Daily B. and Milnes A.R., 1973, Stratigraphy, Structure and Metamorphism of the Kanmantoo Group (Cambrian) in its Type Section East of Tunkanilla Beach, South Australia, Transactions R. Society South Australia, 97 (3), 213-242, 31 August 1973.
- Dalgarno C.R., 1961, Geology of the Barroosa Valley, Msc Thesis University of Adelaide, p 167
- 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)
Government of South Australia (GSA), 2007, A guide to the geology of Kangaroo Island, Brochure 040, 6 p.

Haines P.W., Jago J.B. and Gum J.C., 2001, Turbidite deposition in the Cambrian Kanmantoo Group, South Australia, Australian Journal of Earth Sciences (2001) 48, 465–478

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

Jago J.B, Gum J.C., Burttt A.C. and Haines P.W., 2003, Stratigraphy of the Kanmantoo Group: a critical element of the Adelaide Fold Belt and the Palaeo-Pacific plate margin, Eastern Gondwana, Australian Journal of Earth Sciences, (2003), 50, 343–363.

Johnson D., 2009, The Geology of Australia, Second Edition, Cambridge University Press,

Milnes A. R., 1973, The Encounter Bay Granites, South Australia, and their Environment, PHD Thesis, University of Adelaide, South Australia, 143 p.

Milnes A.R., 1986, The Encounter Bay Granites and their relationship to the Cambrian Kanmantoo Group, In Parker A.J. (comp) One Day Geological Excursions of the Adelaide Region, Eight Australian Geological Convention

Milnes A.R., 1990, The Encounter Bay Granites, Fleurieu Peninsula and Kangaroo Islands, <https://www.researchgate.net/publication/251566641>

Milnes, A.R. and Bourman, R.P., 1972, A Late Palaeozoic glaciated granite surface at Port Elliot, South Australia. Trans. R. Soc. S. Aust. 96, 149-155.

Milnes A.R., Coper B.J. and Cooper J.A., 1982, The Jurassic Wisanger Basalt of Kangaroo Island, South Australia, Transactions of the Royal Society of South Australia, Vol 106, Pt.1, pp. 1-13.

Mylroie J.E. and Mylroie J.R., 2009, Caves as sea level and uplift indicators, Kangaroo Island, South Australia. Journal of Cave and Karst Studies, v. 71, no. 1, p. 32–47

National Parks and Wildlife Service, South Australia, Official <https://www.parks.sa.gov.au/understanding-parks/value-of-sas-parks>

Tokarev V., Gostin V.A., 2003. Mount Lofty Ranges, South Australia, CRC LEME

Tokarev V., 2005, Neotectonics of the Mount Lofty Ranges (South Australia). PHD Thesis University of Adelaide, 272 p

Sobre el autor:



Jesús S. Porras es Ingeniero Geólogo con maestría en Geología de la Universidad Central de Venezuela. Cuenta con más de 35 años de experiencia en la industria petrolera. Comenzó su carrera como geólogo de operaciones y producción en campos petroleros de la Cuenca Oriental de Venezuela. En 1995, se incorporó a Petrobras (ex Perez Companc), donde se desempeñó como geólogo de producción del campo Oritupano-Leona (Cuenca Oriental de Venezuela), Líder de Yacimientos y Gerente Técnico del campo La Concepción, en la Cuenca de Maracaibo y Technical Advisor, este último en Exploración Argentina. Desde 2018 es Consultor Independiente de E&P tanto de yacimientos convencionales como de no convencionales. Es miembro activo de varias asociaciones geológicas locales e internacionales y autor o coautor de numerosos trabajos en congresos, ponencias, seminarios y revistas técnicas especializadas.



El Tatio fumaroles and geysers, Chile. At 4,320 m elevation, this is the highest geyser field in the world, third largest geyser field in the world, and largest in South America. The field is 79 km north of San Pedro de Atacama, and part of the Puna volcanic plateau. The field contains geysers, boiling water fountains, fumaroles, hot springs, and mud volcanoes. The field is named for the adjacent volcano of the same name. El Tatio comes from the Atacameño word el tata, or grandfather. **Photos by Dr. Gary Prost.**



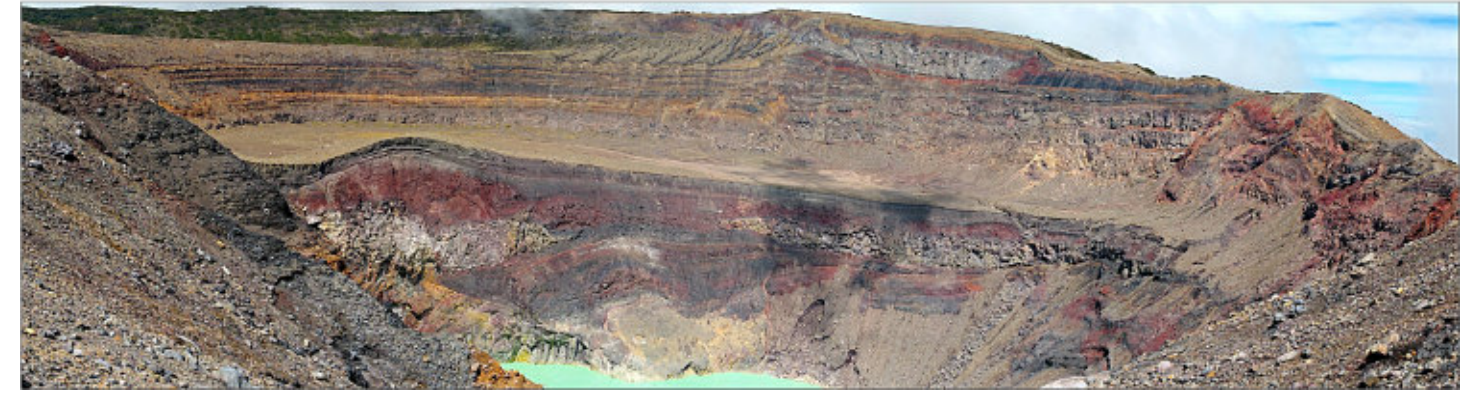
View north to Cerro Paniri. The name is Aymara for "he who comes to visit." At 5,960 m, the volcano sits on Oligo-Miocene San Pedro Formation sediments and Miocene ignimbrites. The oldest flows are 325,000 years old; the youngest are around 150,000. Note the recent snow-covered lava dome on top of the volcanic pile. Located 86 km north of San Pedro de Atacama and 78 km east of Calama, this is one of a string of volcanoes that make up the backbone of the Andes in this area.



Close-up of irregular mineral segregation, parallel to bedding, and mineral overgrowth, on metasediments of the Kanmantoo Group, Middleton Beach, South Australia.



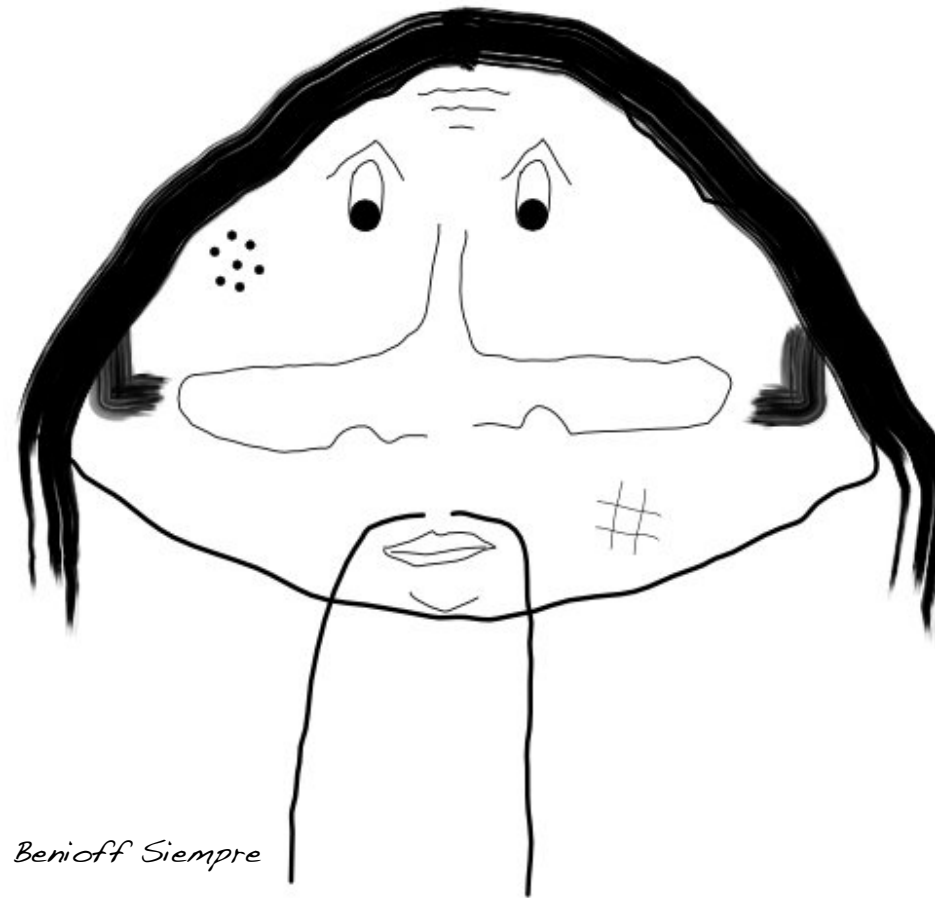
Quartz/Dolerite (?) dike intruding metasediments of the Kanmantoo Group at Rosetta Head Wharf (Victor Harbor, South Australia). Fotografías de **Jesús Porras**.



Vista del cráter del Volcán Santa Ana, El Salvador.



Vetas de cuarzo conjugadas y con desplazamiento en la sucesión volcanoclástica de la Fm. San Juan de la Rosa, Querétaro, México. Fotografías de **Bernardo García Amador**.



Benioff Siempre

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

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

Comunícate con

Saúl Humberto Ricardez Medina

ricardezmedinasaulhumberto@gmail.com

quien está a cargo de organizar esta información.

NOTAS GEOLÓGICAS

EL HIDRÓGENO GEOLÓGICO

Eduardo González Partida^{1*}, Alejandro Carrillo-Chávez¹, Sumit Mishra¹ y Joseph Madondo¹ Juan Josué Enciso-Cárdenas²

¹Laboratorio de Yacimientos; Centro de Geociencias; UNAM, Campus Juriquilla, Blvd. Juriquilla 3001

²Centro de Investigación en Geociencias Aplicadas, Universidad Autónoma de Coahuila, Boulevard Simón Bolívar # 303A, Nueva Rosita, Coahuila de Zaragoza, C.P. 26830, México.

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

El hidrógeno geológico (HG) o hidrógeno nativo o hidrógeno natural, dejó de ser un mito, una ficción, o algo anecdótico, siendo actualmente un blanco de investigación científica, exploración y explotación sobre todo en los países Europeos y Africanos. Al HG presente naturalmente en el subsuelo los expertos en la materia le llaman "hidrógeno blanco". Esta revolución en su conocimiento se inició al descubrirse por accidente varios yacimientos de este recurso en Malí, Estados Unidos y Australia, generando grandes expectativas energéticas para el futuro. Pero para entrar en contexto, recordemos algunos datos de este elemento químico: El hidrógeno (H) fue descubierto por Henry Cavendish como elemento en 1766, años más tarde el químico francés Antoine Laurent de Lavoisier reprodujo el experimento de Cavendish y le dio el nombre de hidrógeno que en griego significa «da origen al agua». Este elemento es el primero en la tabla periódica, y atómicamente es el más simple. Como molécula (H₂) fue una de las primeras en conocerse por el hombre, además de que es el elemento más abundante del universo (constituyendo aproximadamente el 75% de la materia visible). Actualmente es ampliamente utilizado en la industria dado que es muy reactivo. Se le tiene como el "elemento del futuro" desde el punto de vista

energético, dado que tiene un alto poder calorífico (ej. es un vector energético muy eficaz para almacenar energía, no es tóxico, es un gas incoloro, inodoro, e insípido). A nivel isotópico, se considera un isótopo estable, jugando un importante papel con trazador geoquímico de exploración, junto con el S, C y O, en yacimientos naturales es especialmente útil para trazar flujos de fluidos hidrotermales y también para delimitar halos o anomalías. Recuérdese que los isótopos son átomos de un elemento cuyos núcleos contienen el mismo número de protones, pero distinto número de neutrones. En la Naturaleza existen unos 260 isótopos estables (no radiactivos). El hidrógeno es un elemento que se halla en un gran número de sustancias naturales: líquidos (agua); sólidos (anfíboles, micas, arcillas); gases (metano). Isotópicamente en la naturaleza se encuentra en forma de 2 isótopos estables (ver figura 1):

¹H = 99.9844%

²D = 0.0156%

Se trata de los dos isótopos estables con más diferencia de masa relativa. Ello da lugar a los mayores fraccionamientos observados en la naturaleza. La composición isotópica del hidrógeno se analiza en el gas introducido en el espectrómetro de masas. Los fraccionamientos isotópicos del H entre minerales y H₂O están basados en gran parte en datos espectrales y de mecánica estadística. En sistemas con CH₄, H₂ y H₂O los fraccionamientos son muy grandes, de hasta el 70%.

Lo normal es encontrar al hidrógeno formando parte de distintos compuestos químicos como ácidos, sales, polímeros, etc., es por ello por lo que la producción de hidrógeno suele provenir a partir de compuestos, como la electrólisis y de los hidrocarburos. Si bien la energía solar es la madre de todas las energías renovables seguido de la eólica, biomasa, hidráulica, marítima y geotérmica, el hidrógeno es considerado como ya se mencionó el

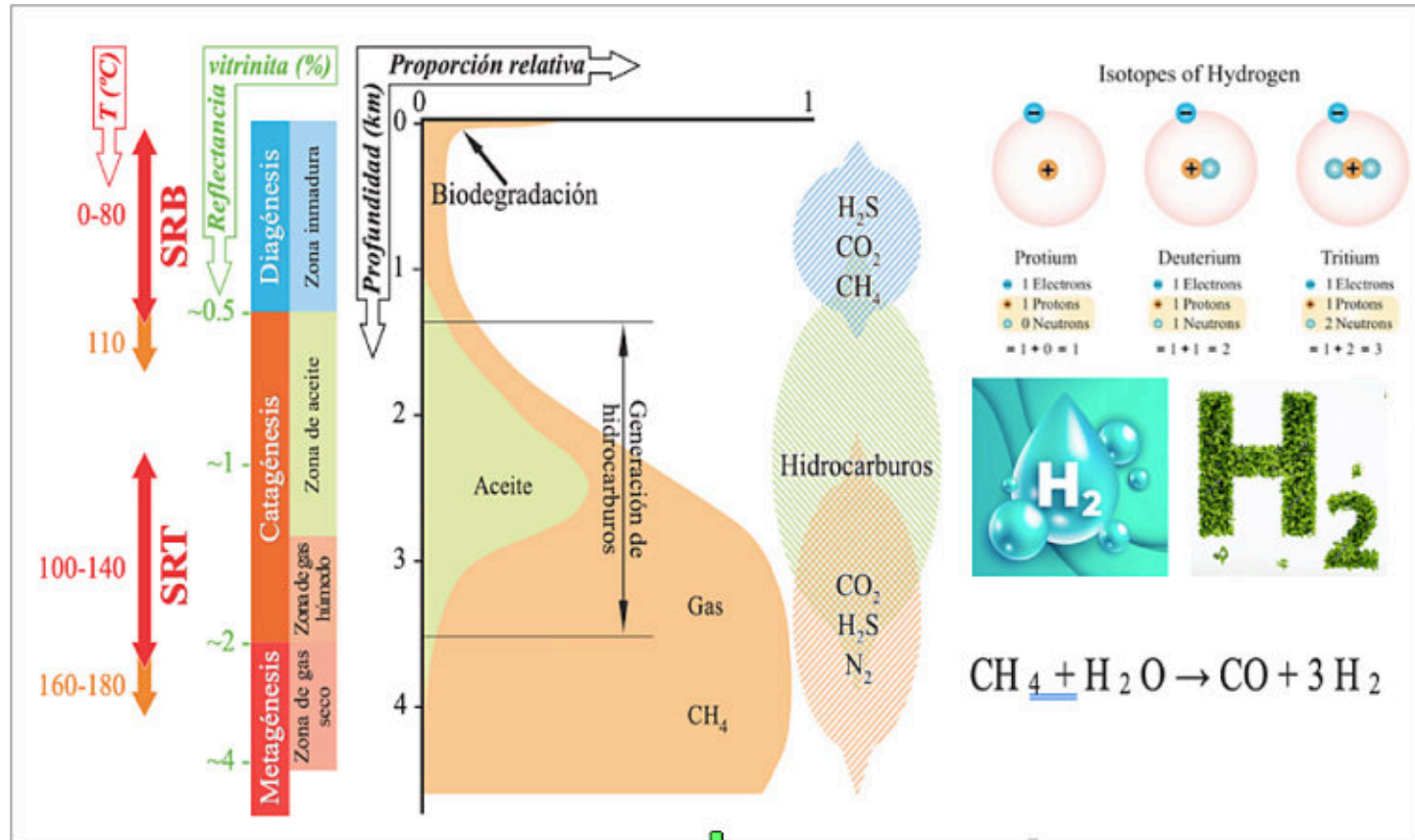
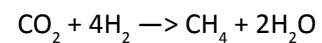


Figura 1.- Procesos diagenéticos y posible formación de hidrógeno geológico.

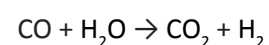
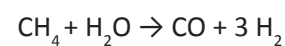
combustible del futuro gracias a constituir gran parte de la materia del universo, sus capacidades como vector energético, por el agotamiento de los combustibles tradicionales a largo plazo y, sobre todo, por la necesidad de reducir las emisiones de gases contaminantes para mitigar el cambio climático. Existen otros métodos alternativos para la producción de hidrógeno entre los que se incluyen la descomposición termoquímica del agua, la fotoconversión, los procesos fotobiológicos, entre otras. Pero al presente, solo son capaces de generar pequeñas cantidades de hidrógeno. El H se suele producir a gran escala en plantas industriales, siendo la única opción para obtenerlo a partir del carbón o de la biomasa, pero en la actualidad, casi todo el hidrógeno que se produce mundialmente se obtiene a partir de combustibles fósiles. En la producción natural, el hidrógeno forma parte de la generación de biogás por procesos de fermentación, los cuales conducen al rompimiento de complejos orgánicos biodegradables en un proceso de cuatro etapas: 1) Hidrólisis, 2) Acidogénesis, 3) Acetogénesis y 4)

Metanogénesis por bacterias, las cuales utilizan el hidrógeno (H₂) para reducir el anhídrido carbónico (CO₂) y así producir metano mediante la reacción:



Cabe mencionar que aquí el metano (CH₄) es producido sólo si las bacterias metanogénicas se encuentran involucradas en la descomposición anaeróbica.

La molécula de H₂, se puede producir a partir del carbono, combustibles fósiles o biológicos, pero el combustible más utilizado para esta función es el gas natural CH₄ que se hace reaccionar a alta temperatura (+- 950°C), bajo presión (+-25 bares) y en presencia de un catalizador, con agua en dos reacciones sucesivas:



Así el hombre puede producir hidrógeno a partir del metano (el llamado hidrógeno "gris"), pero es algo contaminante. En general, cualquier sustancia en cuya composición aparezca hidrógeno (ej. H₂O) puede servir como una posible fuente para su obtención. En si como ya mencionamos, se puede producir H a partir del agua o de los hidrocarburos, así como de materia orgánica de origen vegetal o animal. Recientemente en Francia (2015) geólogos del Instituto Francés del Petróleo, lo generaron a partir de la oxidación del hierro ferroso en minerales de rocas ultrabásicas y básicas, reduciendo el agua a hidrógeno mediante la reacción:



Donde el Fe²⁺ viene de los minerales ferrosos, lo que indica que cuando el hierro se oxida, el agua se reduce a hidrógeno, los científicos concluyeron igualmente que la producción es posible a partir de otro reductor natural, la materia orgánica, ya sea viva (bacterias y algas) o fosilizada siendo la biomasa quien juega un papel principal la cual es abundante en el dominio continental y oceánico. El gas así generado, está ligado a la reducción del agua por oxidación de minerales ferrosos o materia orgánica, requiere de altas temperaturas y la ausencia de oxígeno. Los datos obtenidos por los científicos sugieren que el H₂ nativo proviene de interacciones entre el agua y las rocas en un proceso diagenético (ver figura 1). Otra fuente de H natural es la radiólisis, que rompe las moléculas de agua en hidrógeno y oxígeno, gracias a la energía de la radiactividad natural de las rocas. Igualmente se ha demostrado que el hidrógeno puede quedar atrapado en rocas arcillosas por adsorción. Las estimaciones de la producción de H₂ por estas dos fuentes, diagénesis y radiólisis, son importantes, pero todavía falta más detalle. Otras fuentes, como la fricción en los planos de falla y la actividad de ciertas bacterias en presencia de otra fuente de energía, también liberan H₂. En todo lo anteriormente señalado, se trata de un flujo de hidrógeno, es decir una producción continua y no de un recurso fósil.

¿Existe realmente el hidrógeno en Yacimientos Naturales?: El llamado "Hidrógeno Geológico"

El hidrógeno se produce como se mencionó, por procesos termoquímicos, electrofíticos, fotocatalíticos y biológicos, pero ¿existe como tal en la naturaleza en yacimientos? La respuesta puede estar en el tipo de materia orgánica involucrada durante los procesos diagenéticos, dado que la sucesión de las principales etapas en la evolución de la materia orgánica es común a todos los sedimentos. El proceso de la formación del petróleo está esquematizado como una función del incremento de la temperatura a través de la profundidad de la roca madre. Las etapas de Diagénesis, Catagénesis y Metagénesis son comunes a la transformación del kerógeno de una roca generadora potencial en cualquier cuenca sedimentaria, pero sus límites de temperatura así como las cantidades de petróleo generadas dependen de la naturaleza de la materia orgánica y también de la historia térmica del proceso, o mejor dicho, de las relaciones tiempo/temperatura, no obstante la cantidad de hidrocarburos (cadenas complejas de H-O-C), su composición y la profundidad de generación de petróleo o gas pueden variar, así durante la catagénesis se produce un acusado descenso en el contenido de H y de la relación H/C debido especialmente a la generación de hidrocarburos que se han separado. Durante esta etapa se produce la mayor cantidad de petróleo y el principio de la zona de cracking que genera gas humado con un crecimiento rápido en la proporción de metano. La metagénesis puede generar hidrocarburos (esencialmente metano) a partir del kerógeno residual o bien a partir de hidrocarburos líquidos, previamente generados, que son craqueados, entendiéndose a el kerógeno como una estructura policondensada formada en unas condiciones de presión y temperatura en las que permanece en equilibrio metaestable, se puede comprender que al variar la profundidad, cambian las condiciones y el kerógeno evoluciona buscando el equilibrio fundamentalmente a través de la eliminación de grupos funcionales y de los enlaces entre núcleos. Esto origina la formación de compuestos sencillos de medio a bajo peso molecular fundamentalmente y aquí podría estar la acumulación del

hidrógeno denominado geológico. En la Tierra encontramos hidrógeno combinado con oxígeno en el agua, con carbono en todos los hidrocarburos y también en forma libre: es este H₂ el que podría ser nuestro combustible básico del mañana. Por lo tanto, el hidrógeno existe sobre y bajo tierra, su extracción directa está comenzando a ser seriamente considerada para un H₂ verdaderamente verde y económico, incluso en el aspecto industrial.

En 1987, en África (Mali), por casualidad durante la perforación de un pozo para agua, éste, arrojó grandes cantidades de hidrógeno (conteniendo este depósito una pureza del 97% de H₂). En 1990, al estudiar los fondos marinos, se descubrió lo que se denominó hidrógeno oceánico al medirse en descargas hidrotermales, a varios kilómetros de profundidad a lo largo de las dorsales oceánicas. En 1906 en Francia fue descubierto por casualidad en un pequeño campo de gas en Vaux-en-Bugey, en Ain en Francia, donde constituía el 5% del volumen de H₂. En Antalya Turquía el hidrógeno está asociado con vapores de gas. Recientemente entre el año 2022-3 en Francia, durante una perforación de un pozo profundo con fines científicos en una cuenca localizada entre Francia y Alemania, por accidente se localizó un yacimiento de hidrógeno, lo que abre la posibilidad de explorar este recurso con tecnología petrolera; Y también Kansas, a más de 1200 metros de profundidad, en la década de 1980 se encontró este recurso. Siendo así, que los países que tienen recursos petroleros puedan tener al hidrógeno como un "nuevo objetivo de exploración". En México, el mercado de hidrógeno existente está consumiendo más de 230.000 toneladas/año en 2021, de los cuales 98.6% está cautivo en manos de PEMEX y la base productiva es el gas natural y en menor escala, el propano; En su mayoría, el H₂ se genera vía refinación catafítica de hidrocarburos y, en menor escala, a través de hidrólisis. Dado que México cuenta con vastos recursos energéticos y es un país líder en la producción petrolera, convendría explorar geológicamente por este recurso, denominado "hidrógeno geológico": Es el futuro de la humanidad dado que actualmente el consumo mundial de hidrógeno es solo de 60 millones de toneladas al año, o

poco menos del 2 % del consumo mundial de energía. El hidrógeno tiene ciertas ventajas: es abundante, puede sustituir ventajosamente ciertos usos de los combustibles fósiles, aunque el hidrógeno no es una solución milagrosa desde el punto de vista ecológico, puede ser complementario a la transición hacia fuentes renovables de producción de electricidad. Actualmente un grupo de investigadores del Centro de Geociencias UNAM, Campus Juriquilla, en colaboración con otras instituciones nacionales y europeas (proyecto PAPIIT IN 114522, a quien se agradece), se están investigando los procesos diagenéticos e historia térmica en la cuenca de Sabinas México, productora de gas no convencional y la posible existencia de hidrógeno geológico.

En la Figura 2 se presta la mega cuenca denominada Golfo de México, donde están casi todos los campos petroleros Mexicanos, en la cuenca de Sabinas se tiene gas no convencional mientras que en la cuenca del Sureste los hidrocarburos son los convencionales: las dos zonas pueden ser potenciales contenedoras de H₂ geológico. En efecto, y dado que las cuencas de Sabinas (CSa) y del Sureste (CSe) están asociadas a la evolución de la megacuenca del Golfo de México. Ésta, es una cuenca aproximadamente circular (Figura 2) de margen pasivo ligada a extensión oceánica, cuyo centro presenta un basamento de corteza oceánica y sobreyace a megasuturas formadas durante el Paleozoico Superior. La CSe está íntimamente relacionada con la formación de cinturones de cabalgaduras cercanos. La CSa, por su parte, está relacionada a la disgregación de Pangea, que propició la formación de pilares y fosas tectónicas que controlaron los patrones sedimentarios de la región. La evolución tectónica y estratigráfica de la región durante el Mesozoico está definida por siete eventos principales: (1) Fallamiento de extensión (*rifting*) del Triásico al Jurásico Medio, creando las cuencas y estableciendo su localización y orientación, (2) extensión del Jurásico Tardío (expansión del fondo oceánico del Golfo), favoreciendo el depósito de las principales rocas generadoras de hidrocarburos (lutitas marinas del Tithoniano, principalmente), lo que marcó la primera de una serie de transgresiones marinas regionales, y (3) subsidencia

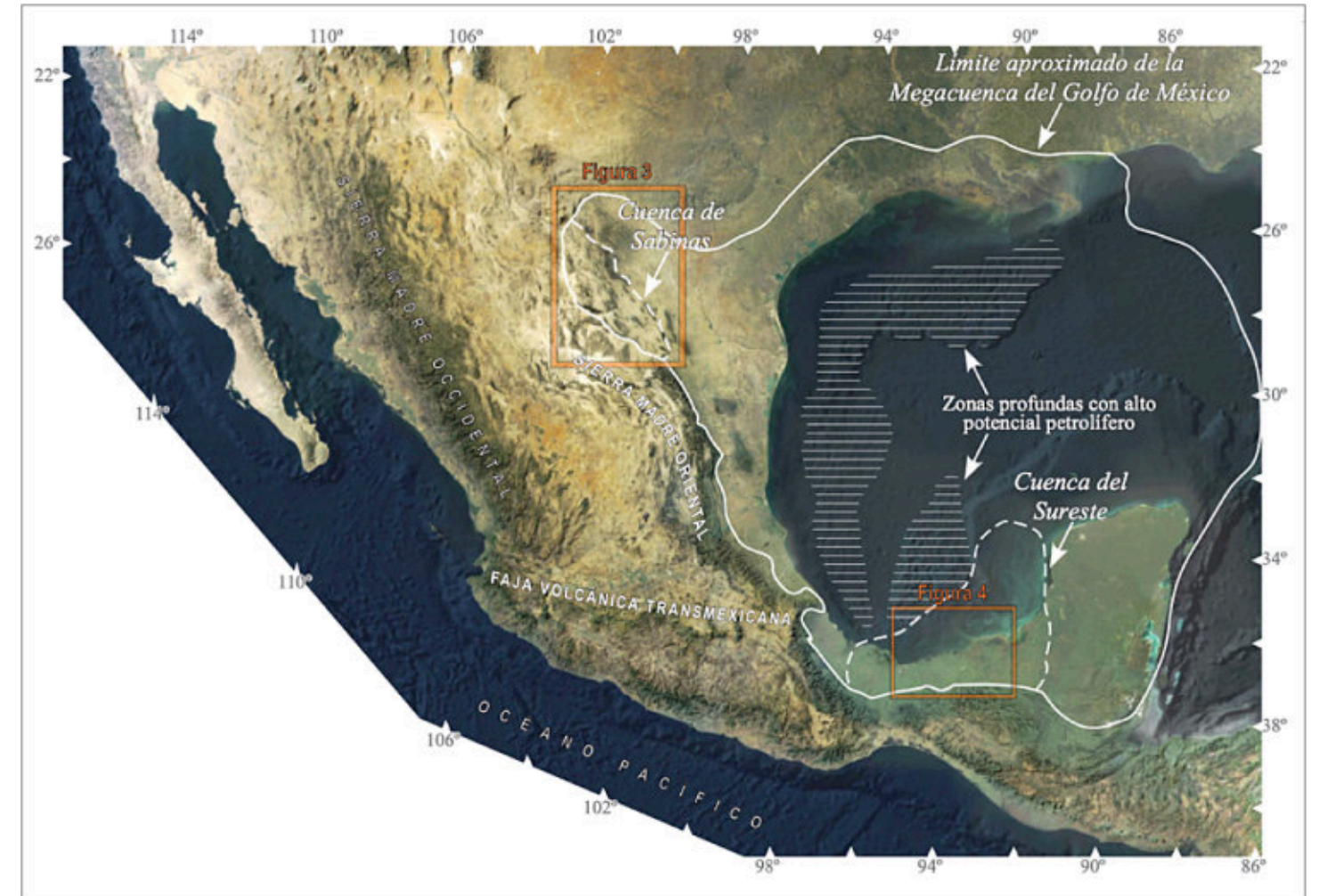


Figura 2.- Localización de la mega cuenca del golfo de México, en donde hacia Sabinas predominan los recursos de gas no convencional y hacia la cuenca del Sureste los hidrocarburos convencionales.

pasiva durante el Cretácico Inferior, que favoreció el crecimiento de plataformas carbonatadas, llegando éstas a ser las principales rocas almacenadoras de hidrocarburos. La evolución de la CSe difiere marcadamente de la CSa a partir del Cenomaniano, identificándose cuatro grandes eventos: (4) colisión durante el Cretácico Superior del arco insular de las Antillas, destruyendo el margen pasivo de Yucatán y causando el levantamiento y erosión de carbonatos antiguos, proceso que favorece el desarrollo de porosidad y crecimiento de las plataformas,

(5) traslación durante el Paleoceno-Eoceno del arco insular de las Antillas hacia el este de Yucatán, donde la plataforma de Campeche continúa recibiendo sedimentación carbonatada, (6) movimiento hacia el este durante el Eoceno de la Placa Caribe, acompañado de levantamiento y erosión, y (7) desarrollo de la sierra plegada de Chiapas durante el Mioceno propiciando un aporte masivo de sedimentos clásticos del Neógeno. Todo lo anterior hace de la mega cuenca del Golfo de México un play favorable para la exploración de H₂ geológico.



Eduardo González Partida Se graduó de Ingeniero Geólogo (UNAM) en 1977 y en 1979 se graduó 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 Politécnica 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: geotermia, 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 Petróleo y después inicio vida académica en la Universidad Autónoma de Baja California Sur. En 1998 ingreso a la 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 Manganese 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 manganese en México. Actualmente está trabajando en los depósitos de Manganese en Autlán.



El **Dr. Juan Josué Enciso Cárdenas**, es Profesor Investigador de Tiempo Completo del Centro de Investigación en Geociencias Aplicadas de la UAdeC y es miembro distinguido del SNI CONACYT. Su línea de investigación se enfoca al estudio, caracterización y evaluación de yacimientos de hidrocarburos no convencionales en México. jenciso@uadec.edu.mx

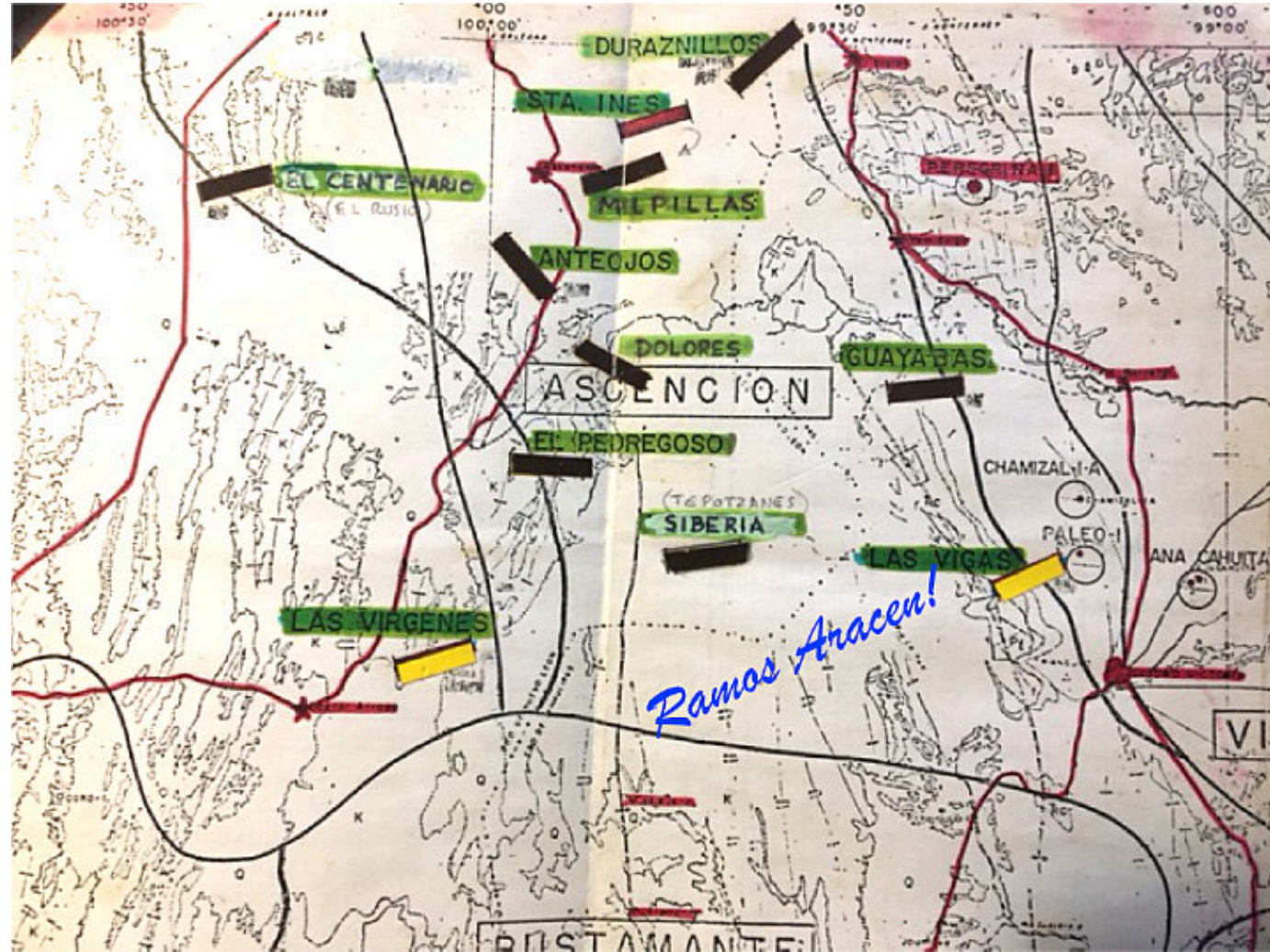
“De mis libretas de campo en la Sierra Madre Oriental”

Ing. Rogelio Ramos Aracén

ramosrogelio51@gmail.com



Mis principales trabajos de Geología de campo, siempre fueron para Pemex Exploración, así me inicié como ayudante midiendo estratigráficamente a la Formación Chicontepec, y registrando las estructuras sedimentarias desde las principales hasta los asombrosos lcnofósiles que fueron clave para interpretar que estas turbiditas se depositaron a más de 3,800 m de profundidad. Posteriormente hice semidetalle estructural y más mediciones estratigráficas en la Plataforma Valles S.L.P., y uno grandioso de Reconocimiento Regional de la Sierra Madre Oriental, cubriendo los estados de Nuevo León y Tamaulipas, donde los paisajes, los sobre esfuerzos a veces inhumanos, me sellaron mi pasión por esas majestuosas montañas, recuerdo cuando subimos el Cerro del Viejo en la región de Zaragoza N.L. donde iniciamos los trabajos como a las 8 am y llegamos a la cima a las 21 pm casi desmayándome, después supe que esa cima fue referencia del navegante español Cabeza de Vaca en su travesía marinas. Y fui jefe de Brigada a partir de 1981 con mi primer proyecto, (del cual pongo aquí mi primer dibujo) y a partir de aquí, continuo haciendo expediciones a la SMO con colegas y a veces solo en las sinuosas áreas de la Sierra Madre Oriental, en la regiones de Tamazunchale, Xilitla, Cd. Valles SLP, en la Sierra de Huizachal Peregrina, y en casi gran parte de la SMO desde Monterrey N.L. hasta Huachinango, Puebla, y también hago expediciones por mi cuenta de las cuales he realizado 3 excursiones para profesionistas y jóvenes pasantes, 2 en la Fm. Chicontepec y otra en las rocas cretácicas y jurásicas de tipo Shales donde tuve gran participación de profesionistas de la U.N.A.M. Y el IPN, Ingenieros Petroleros, Ingenieros Geólogos y pasantes de geociencias y dos doctores uno en Geoquímica y otro en Geofísica.



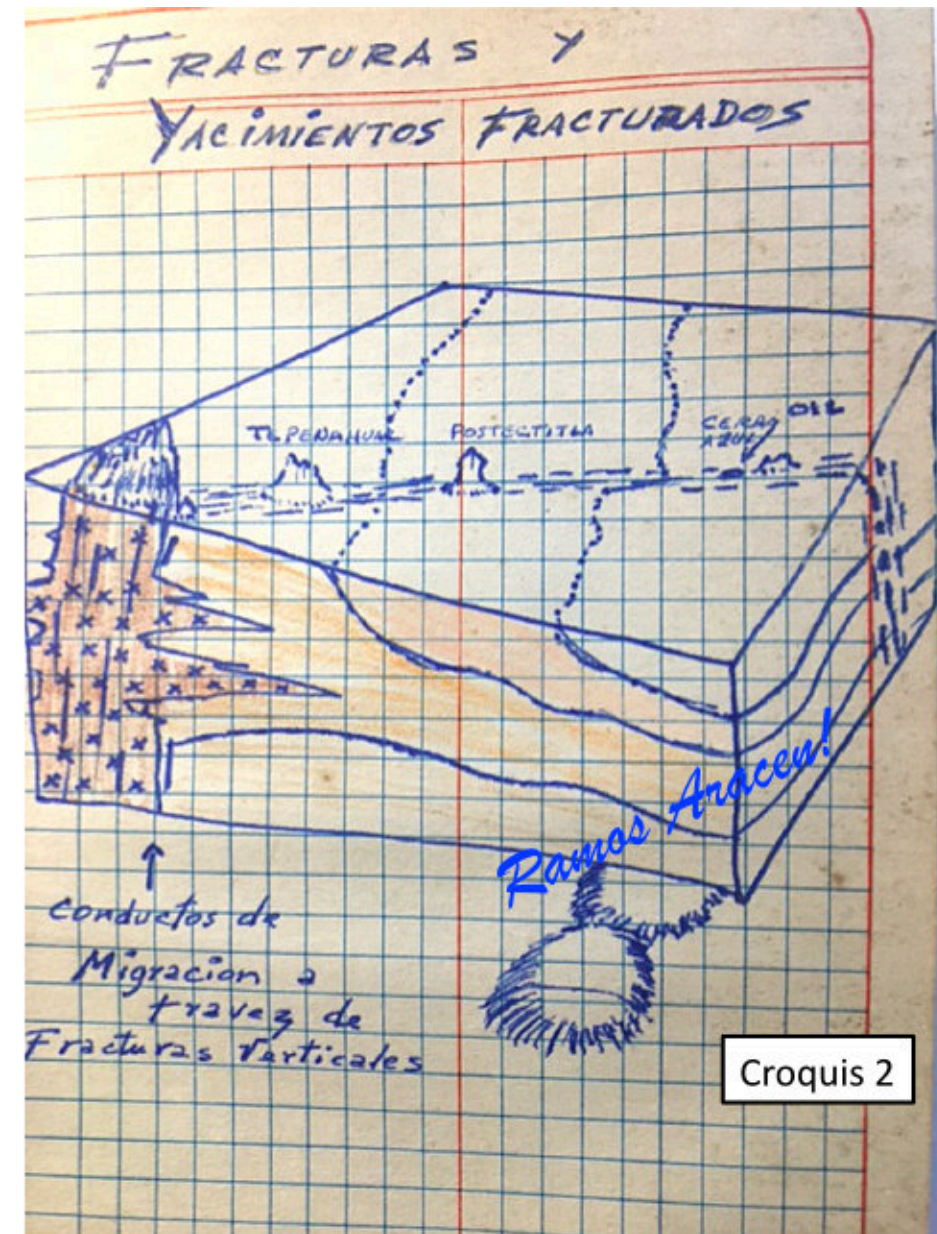
Mapa índice de secciones Estratigráficas

Localidad, Mapa geológico de la SMO entre los estados de Nuevo León y Tamaulipas.

Desarrollo del trabajo: En los recorridos de campo para conocer las litologías y sus características estratigráficas en la época en que efectué mediciones de columnas estratigráficas en las áreas de La Ascensión, Nuevo León y Bustamante en el edo. de Tamaulipas todo ello para el mejor conocimiento de Geología Regional de la SMO

Descripción del Mapa. En este mapa se indican las localidades donde se midieron 11 secciones estratigráficas, con muestreo detallado de las formaciones Jurásicas y cretácicas que forman parte de las columnas geológica de esta gran región, siendo estas de norte a sur las secciones: 1) Duraznillos, 2) Santa Inés. 3) El Centenario, 4) Milpillás. 5) Antejos, 6) Dolores, 7) Guayabas, 8) El Pedregoso, 9) Siberia, 10) Las Vigas y 11) Las Virgenes.

También se tienen remarcadas con rojo las carreteras principales y los nombres de las ciudades así, como con círculos rojos los pozos perforados en esa región.



Rutas de migración de Hcs.

Localidad, En la región de Álamo, Ver.

Desarrollo del trabajo: Durante los trabajos de Geología Regional, para conocer los complejos sistemas de Yacimientos Naturalmente Fracturados, se efectuaron varios recorridos sobre algunas localidades de la Planicie Costera con objeto de conocer la génesis de las numerosas chapopoteras, en este caso en la región de Álamo, Ver.

Descripción del Dibujo. En este croquis 3D se tienen a los conos volcánicos ubicados en la extensa región entre Álamo y Tantoyuca, Ver, con respecto, a las trazas de fallas regionales y a su fracturamiento secundario, aquí se observan en perspectiva las trazas de ese sistema de fracturas en sentido NE-SW y su continuación hacia el subsuelo, cortando en forma oblicua a las formaciones del Oligoceno de esas áreas, cuyos contactos geológicos también se presentan en el dibujo, y por esos sistemas de fracturas suben y emigran importantes cantidades de Hcs.

Aquí se observan a los intrusivos del Tepenahuac, que sigue esa traza hacia el intrusivo de Postectitla y así llegan a la región de Cerro Azul, donde se presentan numerosas chapopoteras típicas en esa población donde además se encuentra el pozo petrolero con la producción más grande del mundo con 260,000 b/d.



Rogelio Ramos Aracén, es geólogo petrolero egresado del IPN, con experiencia en geología de campo en superficie en la SMO y como geólogo de pozos de exploración y explotación.

En su primer proyecto en 1981 denominado El Limón, del área de Ciudad Mante Tamamaulipas. Cambio drásticamente las interpretaciones estructurales de pliegues en abanico, modificándolos por fallas de Cabalgamientos y de desgarre o laterales, trabajo muy polémico en ese entonces, pero años después y ahora ya son conceptos triviales.

Efectuó trabajos de Geología Regional tanto de la Plataforma Valles, como de las regiones de los estados de Nuevo León, Tamaulipas, Querétaro, San Luis Potosí, Hidalgo y Puebla.

Una Invitación inesperada primeramente del Dr. Eduardo Aguayo, me involucra con geólogos internacionales de la SGA y de la AAPG, para excursiones en la región frontal de la SMO, en las sierras de El Abra, Xilitla, Ahuacatlan, Qro., y paso de invitado a protagonista y guía colaborador con los Drs. Paul Enos y Charles Minero con los cuales se convirtió en coautor del Libro *Sedimentology and Diagenesis of Middle Cretaceous Platform East Central Mexico*

Participó en el Simposium sobre Yacimientos Naturalmente Fracturados en Tampico al lado del Dr. Ronald Nelson. y en recorrido de campo a la SMO y curso de sedimentología de siliciclastos con el Dr. Paul Edwin Potter y en secciones regionales de la Cuenca Tampico Misantla con el Dr. A. W. Bally.

Ha impartido conferencias en congresos nacionales y fue invitado y embajador mexicano en el Pabellón Internacional celebrado en el congreso de la AAPG en Dallas Txs. en 1997

Fue Premio Nacional en el 3er Simposium de Exploración de Plays y Habitats de Hidrocarburos en Tampico Tam. en 2007.

Fue presidente de las delegaciones de Tampico y CDMX de la AMGP, en los bienios 1998-1999 y 2018-2020 respectivamente, y recientemente ex candidato a la presidencia nacional de la AMGP

Laboro en Pemex exploración, en el IMP como asesor y consultor con Ingeniería de Perforación de Pozos en las regiones del SE y N., y como analista sedimentológico del Jurásico Superior, recientemente ha efectuado trabajos como asesor con algunas empresas del sector energético en algunos de sus proyectos o adjudicaciones.

Co Autor del Libro

Paul Enos, Charles Minero, Rogelio Ramos Aracén. "*Sedimentology and Diagenesis of Middle Cretaceous Platform East Central Mexico*", AAPG GUIDE BOOK FIELD TRIP AAPG DALLAS ANUAL CONVENTION 1997

Principales Conferencias Impartidas.

EN CONVENCIONES NACIONALES DE LA SOCIEDAD GEOLÓGICA MEXICANA, en los años:

1984 "LOS CABALGAMIENTOS EN LA REGIÓN DE CD. MANTE TAM." VI CONGRESO SOCIEDAD GEOLOGICA MEXICANA EN EL HOTEL MA. ISABEL SHERATON EN MÉXICO, D.F.

1986 "EL ORIGEN DE LAS CONCRECIONES EN LA FM. LA CASITA" VII CONGRESO SOCIEDAD GEOLOGICA MEXICANA EN EL IMP EN MÉXICO, DF.

1988 "LOS OLISTOLITOS DE LA FM. EL DOCTOR EN EL ÁREA DE ZIMAPAN, HGO". VIII CONGRESO SOCIEDAD GEOLOGICA MEXICANA EN LA CFE EN MÉXICO, DF.

1990 "DEFORMACION ESTRUCTURAL EN EL FRENTE DE LA SMO ÁREA, XILITLA, TAMAZUNCHALE, SLP". IX CONGRESO SOCIEDAD GEOLOGICA MEXICANA EN EL AUDITORIO BRUNO MASCANZONI DEL IMP EN MÉXICO, DF.

1992 "EXPLORACION DE PETROLEO ASOCIADO A EL FRACTURAMIENTO REGIONAL EN LA PLANICIE COSTERA" X CONGRESO SOCIEDAD GEOLOGICA MEXICANA EN EL CENTRO DE CONVENCIONES "EXPOVER" EN EL PUERTO DE VERACRUZ, VERACRUZ.

2021 "LA INVASIÓN MARINA SOBRE LOS BORDES CONTINENTALES DESDE EL CALLOVIANO AL KIMMERIDGIANO EN EL ORIENTE Y SURESTE DE MÉXICO. CDMX VIA ZOOM.

2021 "PRINCIPALES OROGENIAS EN MÉXICO CON CATACTERICAS GEOLOGICAS. ESTILOS ESTRUCTURALES, CRONOLOGIAS". CDMX. VIA ZOOM

LITODEMAS: PROPUESTA DE APLICACIÓN Y REGLAS DE USO. Contribución a la Comisión del Léxico Estratigráfico de Cuba.

Humberto Álvarez-Sánchez (1).

Colaborador de la Revista

1) Miembro de las Subcomisiones: Jurásico. Cretácico y Paleógeno. Comisión del Léxico Estratigráfico de Cuba. Instituto de Geología y Paleontología. La Habana.

Introducción. Breve historia de la aplicación en Cuba y significado del término litodema.

El término "litodema", propuesto por el North American Stratigraphic Code (1983), comenzó su empleo en América del Norte y poco más tarde en algunos países de América Latina (p. e. Venezuela). Los antecedentes del empleo del término "litodema" o su primera aplicación en Cuba se deben a Mlcoch y Álvarez-Sánchez (en Dublan y Álvarez-Sánchez *et al.* 1986) para el Complejo Anfibolítico Mabujina (Suite Anfibolítica Mabujina, de Mlcoch y Álvarez-Sánchez, *ibid.*). A continuación, el término litodema no se registra de nuevo referido para otros restantes dominios metamórficos de Cuba; hasta 25 años después (Iturralde-Vinent; 2011 y 2012). De Huelbes (2013) propone el uso de la nomenclatura litodémica en la estratigrafía cubana, con el fin principal de evitar la proliferación indiscriminada e inapropiada de nombres litoestratigráficos (formaciones). Álvarez-Sánchez, De Huelbes y Bernal-Rodríguez (2015); discuten con cierto detalle el origen y significado de los términos de la nomenclatura litodémica y establecen los procedimientos de aplicación rigurosa, en general y en particular para Cuba, con ejemplos derivados de la estratigrafía del Macizo Metamórfico Escambray.

En la actualidad la preparación de una nueva versión del Léxico Estratigráfico de Cuba (en adelante LEC) exige un proceso de unificación terminológica y conceptual, que establezca las reglas de procedimiento obligatorias para una completa definición de las unidades formales¹ de la categoría litoestratigráfica (Unidad fundamental: formación) y de la categoría litodémica (Unidad fundamental: litodema) y de las unidades informales de

iguales categorías o de otras categorías (bioestratigráficas; cronoestratigráficas y otras).

Premisas y condiciones de uso.

Los litodemas constituyen la unidad fundamental de una nueva categoría de la estratigrafía. Los litodemas no son formaciones litoestratigráficas, aunque desde el punto de vista material son equivalentes. De acuerdo con los Código Estratigráfico Norteamericano (1983) y Código Estratigráfico Norteamericano (2010); un litodema² "es un cuerpo de roca intrusiva o de una roca deformada de manera penetrante o altamente metamorfoseada, generalmente no tabular, que carece de estructuras primarias de depósito y que se caracteriza por su homogeneidad lítica. Se distingue y delimita por las características de la roca. En contraste con las unidades litoestratigráficas, una unidad litodémica generalmente no obedece la Ley de la Superposición. Sus contactos con otras unidades de roca pueden ser sedimentarios, extrusivos, intrusivos, tectónicos o metamórficos³".

Una unidad litodémica, para ser correctamente definida y válida, debe satisfacer los mismos requisitos formales que los de una unidad litoestratigráfica. De hecho y por las mismas razones que hacen tan condicional el empleo de este concepto; para realizar el cambio de una categoría estratigráfica y de un concepto a otro se requiere el cumplimiento de muchos más requisitos que los necesarios para nombrar una unidad nueva. Entre ellos:

Declaración de la intención de definir una nueva unidad o cambiar su categoría. Antecedentes históricos. Reconocimiento y definición. Razón del nombre. Localidad Tipo y de Referencia. Descripción. Límites y relaciones. Génesis.

Como se aprecia; la descripción de la unidad litodémica, requiere para establecer su validez, un esquema de descripción que permita: El conocimiento de los antecedentes de la unidad de roca. Los elementos de su ubicación para revisión de campo. Las razones para establecer su categoría litodémica. La descripción de su contenido litológico. Las relaciones en sus límites Y los restantes parámetros necesarios para la revisión crítica de su aceptación por la comunidad científica. Condiciones todas (formalidad), o parte de ellas (informalidad), cuya

¹Las unidades formalmente definidas son aquellas que son nombradas de acuerdo con un esquema de clasificación establecido (pag. 8. CNNE, 2010).

²Queda pendiente de discusión si este término en español es masculino o femenino (Nota del Autor)

³La naturaleza metamórfica o ígnea de una unidad de rocas, no es obstáculo para que sea denominada como una formación litoestratigráfica, en tanto se encuentre en conformidad con la Ley de Superposición (Artículo 22; NASC, 1983). Las formaciones constituidas por rocas metamórficas de bajo grado (definidas a propósito como rocas en las cuales las estructuras primarias son claramente reconocibles) son, igual que las formaciones sedimentarias, diferenciadas principalmente por sus características líticas. Las rocas metamórficas de alto grado, cuya relación con las formaciones

satisfactoria demostración, determinen y justifiquen la conveniencia de cambiar la categoría⁴ de una unidad o la definición de una nueva; con el fin de evitar significativos e injustificados trastornos de la precedencia y la esencia de los términos estratigráficos.

Mal uso del termino litodema.

El primer registro de un uso inadecuado del termino litodema, que conozcamos, aparece en un trabajo realizado en el Macizo Metamórfico Escambray, al SW de la Cúpula de Trinidad (Despaigne⁵, 2009). Según la autora, sobre la base de los trabajos de Millán y Álvarez-Sánchez⁶ (1992, inédito) nombró como litodemas a prácticamente todas las unidades litoestratigráficas definidas como formaciones y miembros, en esa misma región. Este desacierto, al parecer, fue rectificado posteriormente restituyendo los términos y categorías originales litoestratigráficas en una publicación resumen del primer trabajo citado (Despaigne Díaz y Cáceres Govea, 2009).

El siguiente intento de aplicar la nomenclatura litodémica a la estratigrafía cubana, mucho más general y de mayor alcance que el arriba citado, se debe a Iturralde-Vinent (2011 y 2012). En Iturralde-Vinent, 2011, en referencia a los macizos metamórficos de Cuba, el autor concede aceptar *“las distintas unidades “litoestratigráficas” descritas por Millán, Somin y Millán (y otros), (en ese caso para el Escambray). Para añadir a continuación que: “por tratarse de rocas metamórficas, no se corresponden completamente con la categoría de formaciones litoestratigráficas; ya que cuando se trata de rocas con un metamorfismo media a alto, es recomendable utilizar el termino Litosoma para sustituir al de formación, preservando este último sólo para macizos de bajo grado de metamorfismo donde las relaciones estratigráficas están preservadas (sic)”*.

De este modo, en el trabajo de Iturralde-Vinent citado, por ejemplo, la Formación Arroyo Cangre (Piotrowski, 1977) es llamada, sin más trámite, “Litodema Arroyo Cangre”. Para dedicar un breve análisis a esta caprichosa decisión, basta recordar que, un litodema “es un cuerpo definido de rocas predominantemente intrusivas, altamente deformadas y/o altamente metamorfoseadas, que se distingue y delimita por las características de la roca”. La Formación Arroyo Cangre no es un ejemplo de rocas “altamente

metamorfoseadas”; son secciones metaterrígenas con intercalaciones volcánicas, metamorfozadas de alta presión, pero de bajo a medio grado local. Tampoco se encuentran “altamente deformadas”. Presentan deformaciones predominantes de pliegues isoclinales, esquistosidad y clivage, pero mantiene claras huellas de su estratificación original. Su grado metamórfico conserva las evidencias de su protolito principal, que sin duda corresponde punto por punto con su equivalente, la Formación San Cayetano, menos metamorfozada, de las unidades de mantos de la Sierra de Los Órganos. De manera que Arroyo Cangre, no se distingue por las “características de la roca”, sino por su litología general y posición estratigráfica reconocible; ya que esta unidad mantiene relaciones espaciales, que pueden sostenerse como estratigráficas poco alteradas con la Unidad Mestanza de calizas del Jurásico Superior.

Un proceder muy similar se aprecia con la llamada por Iturralde-Vinent (ibid.) “Litodema Cañada” (Formación Cañada, de Millán, 1981). Esta unidad se aceptó por la mayoría de los conocedores de la geología de Cuba occidental, como un equivalente de la Formación San Cayetano. La composición de su protolito (terrigeno siliciclástico), las evidencias de la estratificación primaria conservada, las intercalaciones métricas de mármoles oscuros a negros metapelíticos, principalmente en la parte superior y sus relaciones con los mármoles, Gerona, por intermedio de la Formación Agua Santa (también llamada “litodema”), sugieren claramente una sucesión estratigráfica deformada pero susceptible de ser argumentada. En su escrito, Iturralde-Vinent (ibid.) parte por aceptar esta sucesión que; a todas luces es altamente probable y coherente con la totalidad de la información con que se dispone hoy día, sobre la estratigrafía de la Cordillera de Guaniguanico y el Macizo Metamórfico Pinos.

Una serie de continuas contradicciones, aparecen en las subsiguientes descripciones de las unidades de la Isla, todas llamadas “litodemas”, consistente en las explicaciones de su contenido litológico, sus relaciones estratigráficas aceptables y correlaciones mencionadas con unidades conocidas de Guaniguanico. Entonces: ¿Cuál utilidad, avance o precisión en el conocimiento

geológico de este macizo metamórfico, contiene tal esfuerzo de cambiar la categoría de estas unidades, de un plumazo?

La misma situación, con persistencia se destaca en el compendio presentado por Iturralde-Vinent (2012), para la mayor parte sino para todas las unidades litoestratigráficas nombradas en el Escambray. Para un ejemplo de la forma absurda de aplicación del concepto de litodema, se aprecia el nombre del llamado “Litodema Grupo San Juan” (Iturralde-Vinent, 2012) del Macizo Metamórfico Escambray, que en realidad se integra por varias formaciones de mármoles, bien caracterizadas y fechadas, incluso por fósiles. Es incorrecto llamarle a un litodema “Grupo”. Grupo es un término litoestratigráfico. Es simplemente un error agravado, llamarle litodemas a las unidades integrantes: Un litodema no contiene litodemas.

La mayor parte, sino todas las unidades del Escambray incluidas en la categoría litoestratigráfica, no superan el grado metamórfico de la facies de esquistos verdes de alta presión hasta la facies de anfibolitas de presión media a alta. Incluso, las unidades metasedimentarias que se encuentran en las zonas de metamorfismo eclogítico, como es el caso de La Formación Cobrito (Millán y Somin, 1985 a) y su Miembro La Horqueta (Millán y Álvarez-Sánchez, 1992, ined.) con abundantes capas de eclogitas derivadas de gabros y basaltos; correlacionan perfectamente con la misma formación situada en las zonas donde la unidad solo contiene esquistos verdes de alta presión. Y en ambas zonas de facies se contienen los mismos conjuntos de relictos de microfósiles y palinoflora (Millán y Somin, 1985 a, b) (Dublan y Álvarez-Sánchez et al. 1986).

Por otra parte y, en términos estrictos, tampoco basta con llamarle “litodema” a una unidad para que se convierta a esa categoría automáticamente. Llamar litodema, por ejemplo, a los Esquistos Cristalinos Algarrobo del Macizo Metamórfico Escambray (González García, et al., 1994), no los convierte en tal. Un término requiere justificación, discusión, redescrición y datos de campo. La simple mención de un nombre de una categoría aplicado a una unidad de rocas, no la coloca en esa categoría, ni para formaciones ni para litodemas.

En resumen: Aún considerando el grado metamórfico y las complejidades tectónicas; la mayor parte de las unidades de rocas metasedimentarias y metavulcanógeno-sedimentarias del Macizo Metamórfico Escambray, son formaciones y miembros litoestratigráficos, con pocas excepciones; ya que se trata de cuerpos tabulares continuos y mapeables de composición primaria

razonablemente establecida y sus cambios metamórficos graduales, de zona a zona, pueden observarse en su variabilidad, incluso macroscópicamente. A partir de creíbles interpretaciones de sus protolitos, admiten correlaciones y comparaciones con otros cinturones metamórficos y no metamórficos de la Isla de Cuba, basadas, incluso, en edades demostradas, hechos dados a conocer desde las primeras décadas del pasado siglo. Varias contienen evidencias paleontológicas que no pueden ser simplemente rechazadas y, cuando restos fósiles no se encuentran, su edad se establece por su posición respecto a otras unidades que sí los tienen o de inferencias propias de la práctica de la ciencia estratigráfica; que expuestas, solo queda que sean aceptadas o que sean refutadas, pero mediante un trabajo de mayor detalle, o nuevos descubrimientos.

Conclusiones.

La Comisión del Léxico Estratigráfico de Cuba puede tomar la decisión de comenzar un proceso de rectificación de categoría para varias unidades estratigráficas y sería un acierto sin duda alguna realizar esta tarea, compleja y difícil, pero necesaria en la actualidad. Muy pocas de estas unidades poseen suficientes datos para realizar este cambio a partir del gabinete. La mayoría tendrá que ser objeto de algún trabajo de campo cuyo volumen puede comprender, desde la toma de algunas muestras para la realización de análisis especiales, hasta una re-cartografía y estudios particulares de contactos y relaciones estratigráficas. Esto augura que la tarea estará distante de completarse en la presente etapa de preparación de un nuevo LEC y gran parte quedará para un incierto futuro, por cuanto la complejidad de situar una unidad de formación o cualquiera otra unidad de rocas, en la nueva categoría, requiere una pericia profesional propia de expertos.

A pesar de lo dicho, esta empresa no debe posponerse y para evitar errores que posteriormente sean muy difíciles de rectificar y se conviertan en factores de incertidumbre o polémicas innecesarias, tanto en el ámbito nacional como fuera de Cuba, es indispensable que este empeño esté gobernado por reglas claras, basadas en un código estratigráfico de nomenclatura que contenga la definición y los conceptos litoestratigráficos y litodémicos, sin ambigüedades; tanto para la definición del nombre de unidades formales e informales.

En resumen: 1-Reglas claras y requisitos basados en un Código Estratigráfico aceptado por todos. 2-Escalonamiento de los requisitos por su grado de importancia para establecer la formalidad o informalidad de la propuesta.

⁴Al proponer una unidad para un estatus formal debe ser descrita y definida claramente, de tal forma que cualquier investigador posteriormente pueda reconocer la unidad de manera inequívoca (CNNE, 2010, Art. 9).

⁵En este trabajo se ha adoptado la descripción de los Litodemas realizada por Millán y Somin 1985 a y b; Millán y Álvarez Sánchez, 1992; y Millán, 1997c. (Despaigne Díaz, 2009). Ni Millán y Somin (1985ab), ni Millán y Álvarez-Sánchez (1992), ni Millán (1997), utilizaron este término durante su trabajo en el Escambray o en la región de La Sierrita. Nota del autor

⁶Existe además un estudio de detalle a escala 1: 25 000 realizado por Millán y Álvarez Sánchez (1992) donde se estudió la secuencia estratigráfica de esta zona en particular, resultando el punto de partida de la presente tesis (Despaigne Díaz, 2009).

Referencias

Álvarez-Sánchez, H., y L. R. Bernal Rodríguez, 2014, Dilemas en la litoestratigrafía y el metamorfismo en la tectónica de mantos del Macizo Metamórfico Escambray, Cuba central. *En Academia.edu*. 35 pags. 17 figs.

Álvarez Sánchez, H., J. de Huelbes Alonso, L. R. Bernal Rodríguez, 2015, Formaciones y litodemas en la nomenclatura estratigráfica cubana. *Memorias en CDROM. VI Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, 2015. La Habana. Cuba*.

Comisión Norteamericana de Nomenclatura Estratigráfica, 2010, Código Estratigráfico Norteamericano. *Universidad Nacional Autónoma de México. Boletín 117*.

Comité Interfilial de Estratigrafía y Nomenclatura (CIEN), 2005, Código Estratigráfico de las Cuencas Petroleras de Venezuela. *PDVSA-Intevp. Venezuela*.

Despaigne Díaz, A. I., 2009, Estructura y metamorfismo del área La Sierrita, Macizo Escambray, Cuba Central. *Tesis de grado de la Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca"*. 192 pag. Pinar del Río. Cuba.

Despaigne Díaz, A. I., Cáceres Govea, D., 2009, Análisis estructural de la zona de Yaguanabo, macizo Escambray, Cuba Central, aplicando criterios macro y microtectónicos. *Minería y Geología, vol. 25, núm. 1, enero-marzo, 2009, pp. 1-33*

Dublan, L. y H. Álvarez-Sánchez (Editores); Mlcoch, B.; Mañour, J.; Lledíaz, P.; Molak, B., Vázquez, C.; Snopkova, P.; De los Santos, E., Soucek, J.; Pérez, M.; Mihailova, A.; Bernal, I.; Zoubek, J.; Ordoñez, M.; Soucek, J.; Morousek, J.; Svetska, J.; Marshall, W.; Pérez-Conde, R.; González, E.; Rodríguez, R., 1985, Informe Final del levantamiento geológico y evaluación de los minerales útiles en escala 1:50,000 del Polígono CAME-I, Zona Centro. Centro Nacional del Fondo Geológico. La Habana. 1,402 Págs. 250 mapas. (Inédito).

Franco-Álvarez, G.L., Acevedo-González, M., Álvarez-Sánchez, H., Artime-Peñeñori, C., Barrientos-Duarte, A., Blanco-Bustamante, S., Cabrera, M., Cabrera, R., Carassou-Aragan, G., Cobiella-Reguera, J. L., Coutin-Lambert, R., Albear, J.F. de, de Huelbes, J., Torre y Callejas, A. de la, Delgado-Damas, R., Díaz de Villalvilla, L., Díaz-Otero, C., Dilla-Alfonso, M., Echevarría-Hernández, B., Fernández-Carmona, J., Fernández-Rodríguez, G., Flores, R., Flores-Abín, E., Fonseca, E., Furrázola-Bermúdez, G., García-Delgado, D., Gil-González, S., González-García, R. A.,

Gutiérrez-Domech, R., Linares-Cala, E., Milián-García, E., Millán-Trujillo, G., Moncada-Ferrera, M., Montero-Zamora, L., Orbera, L., Ortega-Sastriques, F., Peñalver, L.L., Perera, C., Pérez-Arias, J. R., Pérez-Lazo, J., Pérez-Rodríguez, E., Pifheiro-Pérez, E., Recio-Herrera, A. M., Sánchez-Arango, J. R., Saunders-Pérez, E., Segura-Soto, R., Triff-Oquendo, J., Zuazo-Alonso, A., Pszczółkowski, A., Brezsnýánszky, K., Slavov, I., y Myczyński, R., 1992, Léxico Estratigráfico de Cuba. *Centro de Nacional de Información Geológica, La Habana, 658 p. (Primera versión)*. (Inédito).

González García, R. A., Recio Herrera, A. M., Furrázola-Bermúdez, G., Delgado Damas, R., Triff Oquendo, J., 1994, Léxico Estratigráfico de Cuba. *Comisión del Léxico Estratigráfico de Cuba. Instituto de Geología y Paleontología. La Habana (inédito) 562 pág.*

Hedberg, H. D., 1980, Guía Estratigráfica Internacional. *Editorial Reverté, S.A. España*.

Huelbes Alonso, J. de., 2013, Conveniencia de generalizar el uso de las unidades litodémicas en la estratigrafía de Cuba. *X Congreso Cubano de Geología. V Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. Memorias en CD-Rom, La Habana*.

Iturralde-Vinent, M. A. (Editor), 2011, Compendio de Geología de Cuba y del Caribe. *Primera Edición. DVD-ROM. Editorial CITMATEL, La Habana, Cuba*.

Iturralde-Vinent, M. A. (Editor), 2012. Compendio de Geología de Cuba y del Caribe. *Segunda Edición. DVD-ROM. Editorial CITMATEL, La Habana, Cuba*.

Millán, G. y Somin, M. L., 1985 a, Contribución al conocimiento geológico de las metamorfitas del Escambray y del Purial. *Reporte de Investigación Nº 2. IGP. Academia de Ciencias de Cuba. 74 Pág.*

Millán, G. y Somin, M. L., 1985 b, Condiciones geológicas de la constitución de la capa granito-metamórfica de la corteza terrestre de Cuba. *Pub. Esp. Inst. de Geol. y Paleont. La Habana. 83 p.*

North American Commission on Stratigraphic Nomenclature, 1983, North American Stratigraphic Code. *AAPG. Bull. Vol.67. No 5. P. 841-875*.

Reguant, S., 1989, Nomenclaturas estratigráficas nacionales e internacionales: descripción y evaluación. *Rev. Soc. Geol. España. 2. (3-4) 177-188*.

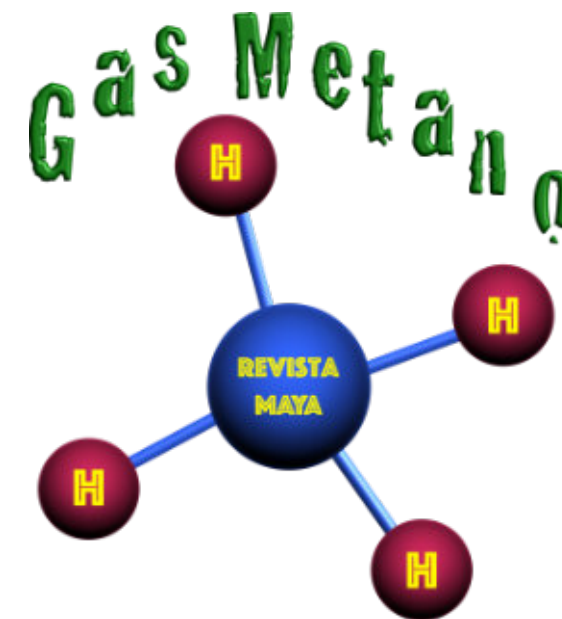
Piotrowski, J., 1977, First manifestations of volcanism in the Cuban geosyncline. *Bulletin de L'Academie Polonaise des Sciences, Serie de Sciences des la Terre, 24 (3-4): 227-234*.



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 checoslovaca 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



El éxito depende en gran medida de la iniciativa y el esfuerzo individuales, y solamente se puede lograr a fuerza de trabajo duro.

Anna Pavlova

Erosión de las Plataformas y Escarpas de Florida y Yucatán, y el Estrecho de Florida en el Golfo de México: ¿Subaéreo ó subáqueo?

Joshua H. Rosenfeld

Editor de la Revista

Granbury, Texas. U.S.A.

RESUMEN

La recientemente adquirida batimetría de alta resolución a lo largo de los márgenes pasivos de las plataformas carbonatadas de Florida y Yucatán en el Golfo de México revela la presencia de cañones muy accidentados y abundantes dolinas en aguas más profundas de 500 metros. Procesos marinos son inadecuados para explicar estos rasgos que son más típicos de la erosión subaérea. La posibilidad de que erosión subaérea causó estos rasgos anómalos apoya la teoría que el Golfo fue aislado del Océano Atlántico por la colisión del Arco Cubano con el Bloque Florida-Bahamas cerca al límite Paleoceno-Eoceno. Este aislamiento, reforzado por rebote isostático de la cuenca y sus márgenes, resultó en la evaporación rápida y una caída del nivel del Golfo por un mínimo de 2000 metros debajo del nivel eustático mundial, dejando un cuerpo de agua residual en la cuenca rodeado por amplios terrenos expuestos de Yucatán, Florida, Cuba y las Bahamas. Esta situación duraría por alrededor de un millón de años.

Durante la bajada, las plataformas expuestas de Yucatán y Florida componían extensas superficies karstificadas con bancas escalonadas en las orillas de las plataformas erosionadas por el oleaje mientras el nivel de agua bajaba. El agua de lluvia que caía sobre las plataformas migró hacia el Golfo, y al llegar por ríos hasta las orillas cortó cañones profundos a través de las escarpas. El oleaje del cuerpo residual de agua en la cuenca erosionó los carbonatos al pie de las escarpas.

Este mínimo eustático terminó con el fracaso de la barrera que separaba el Golfo y el Atlántico. El agua del Atlántico entró fuertemente por el Estrecho de Florida cortando un

cañón profundo entre Cuba y Florida-Bahamas hacia la cuenca al occidente.

Esta bajada de nivel es un factor esencial en los plays petroleros alrededor del Golfo, y su aceptación como teoría generará nuevos conceptos relacionados al paleokarst en la cuenca y porosidad cavernosa en las Plataformas de Florida, Yucatán y las Bahamas.

INTRODUCCIÓN

Desde el Cretácico se han acumulado solamente sedimentos pelágicos y hemipelágicos en el sureste del Golfo de México (el Golfo), con la excepción del estrecho entre Cuba y el Bloque Florida-Bahamas donde material terrígeno ha venido del Arco Cubano. Entonces, la batimetría hoy día conserva mayormente el aspecto post-Cretácico de las ramplas y escarpas de Florida y Yucatán (i.e., Escarpa de Campeche). Esta batimetría revela que los pendientes continentales de Florida occidental y del norte de Yucatán tienen fisiografías muy similares (Fig. 1) que son únicas entre los márgenes continentales de la Tierra, así sugiriendo así que éstas comparten una historia geológica insólita.

Las similitudes entre los terrenos de Florida y Yucatán son:

- basamento continental cubierto por gruesas secciones subhorizontales de carbonatos de plataforma mesozoicos y cenozoicos;
- ramblas costa fuera de 200 a 300 km de ancho con bajo relieve y pendientes suaves hasta profundidades de agua de 500 a 1000 metros;
- ramblas de bajo relieve que no han contribuido sedimentación significativa a la cuenca;
- dolinas en aguas más profundas de 500 mts;
- ramblas distales con terrazas escalonadas hacia la cuenca;
- ramblas que terminan en escarpas abruptas que bajan a la planicie abisal;
- escarpas erosionales sin arrecifes de barrera ni estratos de agua profunda;
- escarpas cortadas por numerosos cañones con paredes abruptas; y
- bases de las escarpas soterradas por sedimentos post-erosionales.

Estudios anteriores de las Escarpas de Florida y Campeche, y del Estrecho de Florida produjeron algunas

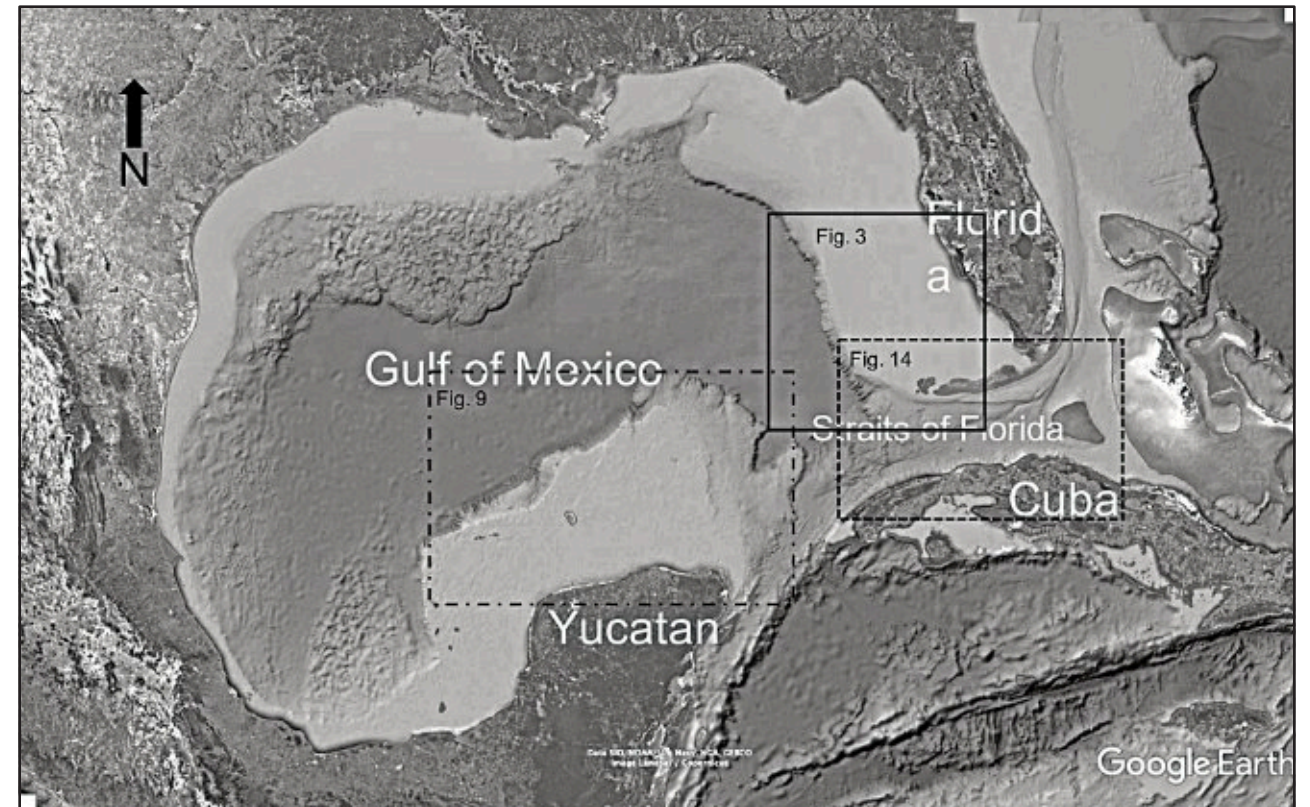


Figura 1. Mapa del área de estudio. Los rectángulos indican áreas cubiertas por Figuras 3, 9 y 12. Imagen tomada de Google Earth.

observaciones interesantes. Notable entre éstas fue la determinación del origen erosional de la Escarpa de Florida (Paull et al, 1990a y 1990b) y la Escarpa de Campeche (Paul et al., 2014); identificación de dolinas en la rampla distal de Florida (Land y Paull, 2000); diagénesis por agua meteórica de carbonatos en la base de la Escarpa de Campeche (Halley, Pearson y Schlager, 1984); y un paleo-cañón al extremo occidental del Estrecho de Florida parcialmente llenado por sedimentos cenozoicos (Denny, Austin y Buffler, 1994).

En la época que se hicieron estos trabajos no fue considerada la posibilidad de erosión subaérea para formar los rasgos que hoy día se encuentran en profundidades de agua de 500 a 3500 metros. Paull (1990) propuso que los cañones de la Escarpa de Florida resultaron por la remoción de agua hipersalina; Land y Paull (2000) interpretaron las dolinas del agua profunda como el resultado de la mezcla de aguas hipersalinas y frescas; Halley et al. (1984) postularon que la diagénesis por agua meteórica de la Escarpa de Campeche fue producto también de la acción por agua salina y fresca; y Denny et al. (1994) dijeron que el cañón del Estrecho de

Florida fue excavado por una corriente marina normal. Estas explicaciones son incompatibles con a) la baja energía de corrientes del ambiente marino profundo, y b) la dificultad que tienen los acuíferos de agua fresca en penetrar al océano profundo sin tener un terreno elevado cerca para generar suficiente carga hidráulica.

La revelación pública en 2002 de que se habían penetrado areniscas gruesas "Wilcox" en el Golfo occidental que fueron depositadas cientos de kilómetros más allá del borde continental animó a Rosenfeld y Pindell (2003) a proponer que la Cuenca del Golfo sufrió una fuerte bajada de nivel evaporativa cerca del límite Paleoceno-Eoceno cuando el Arco Cubano colisionó con el Bloque Florida/Bahamas, bloqueando 200 km la abertura entre Yucatán y Florida (Fig. 2). Ellos propusieron que el aislamiento fue aumentado por el levantamiento isoestático de la zona de sutura cuando la placa oceánica del proto-Caribe subducida debajo de Cuba se partió y hundió en el manto. Esta idea da lugar a la re-interpretación de los fenómenos anteriormente observados.

METODOLOGÍA

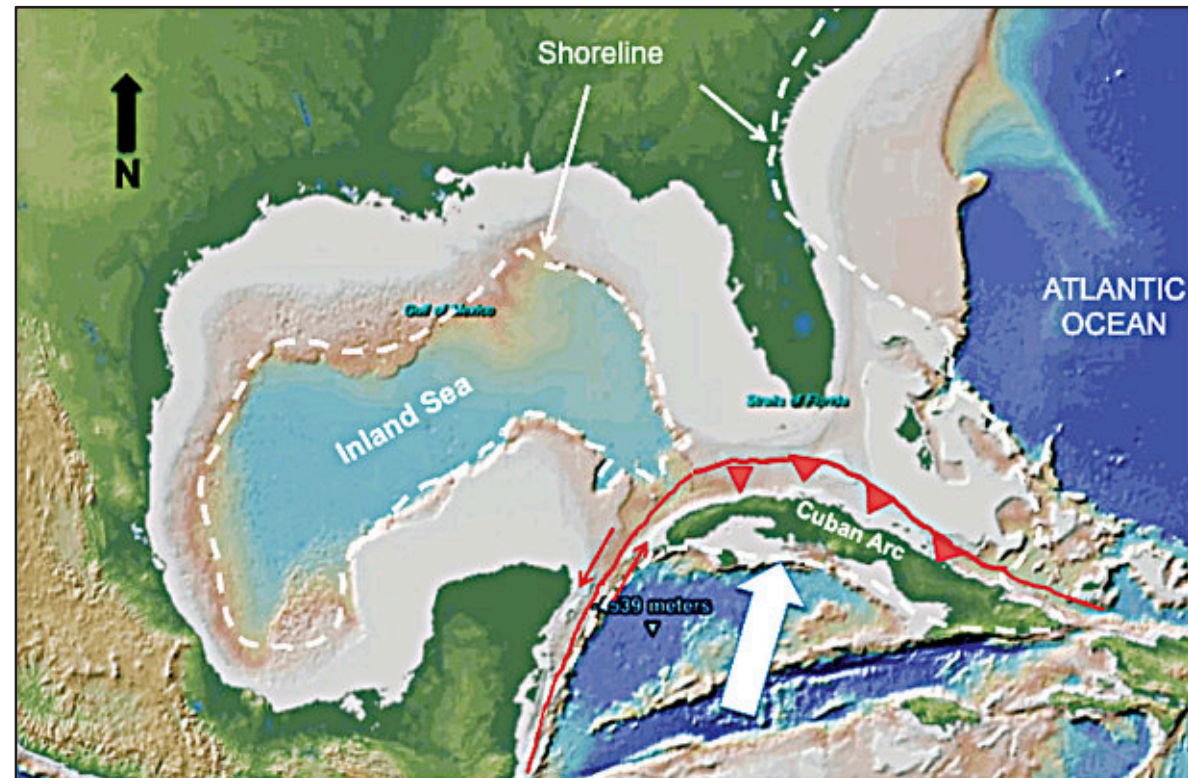


Figura 2. Configuración del Golfo de México al final de la bajada de nivel de agua mostrando la zona de sutura entre Cuba y Florida-Bahamas, y el puente de tierra que conectó Florida, Cuba, Yucatán y las Bahamas. De Cossey et al., 2016.

Imágenes batimétricas detalladas disponibles en la aplicación Google Earth y el sitio Polar Express de la Universidad de Columbia se utilizaron aplicando principios básicos de geomorfología e hidrología. Imágenes representativas tomadas del sitio Polar Express se anotaron en las figuras de este trabajo. Datos e interpretaciones de la literatura existente se evaluaron dando congruencia y entendimiento de los procesos de erosión submarina y subaérea.

RAMPLA Y ESCARPA DE FLORIDA OCCIDENTAL

Batimetría multirayo sobre la Escarpa de Florida revela abundantes cañones accidentados (Figuras 3 y 4). Las partes superiores de los cañones tienen fuertes pendientes y peñascos comunes con cientos de metros de alto (Figura 5) que en un ambiente subaéreo se clasificaría como topografía joven. Paull et al. (1990a), puesto que no encontraron arrecifes de barrera ni facies de ante-arrecife, propusieron que la escarpa original fue erosionada hacia la costa por un mínimo de 5 km. Otros rasgos isólitos son

terrazas horizontales e irregulares escalonando hacia la cuenca (Figura 4). El relieve entre las terrazas varía por magnitudes de cientos de metros y en este trabajo las interpretan como bancos cortados por el oleaje durante pausas en la bajada de nivel del agua.

El Cañón de Florida es el más grande y más estudiado de los cañones en la escarpa (Figuras 5 y 6). Tiene alrededor de 5 km de ancho y un largo de 36 km desde el punto donde algunos tributarios de bajo relieve se unen hasta la parte frontal del cañón. La parte superior del cañón tiene la forma de "V", mientras la parte baja tiene el fondo plano continuo con el plano abisal. El cañón superior termina al peñasco semicircular de 3 km de ancho y 750 mt de alto que tiene una depresión de 30 metros de profundidad a su base. En un ambiente subaéreo esta depression se reconocería como una piscina cortada por agua debajo de un salto, pero el hoyo fue interpretado por Paull et al. (1990b) como producto de la disolución.

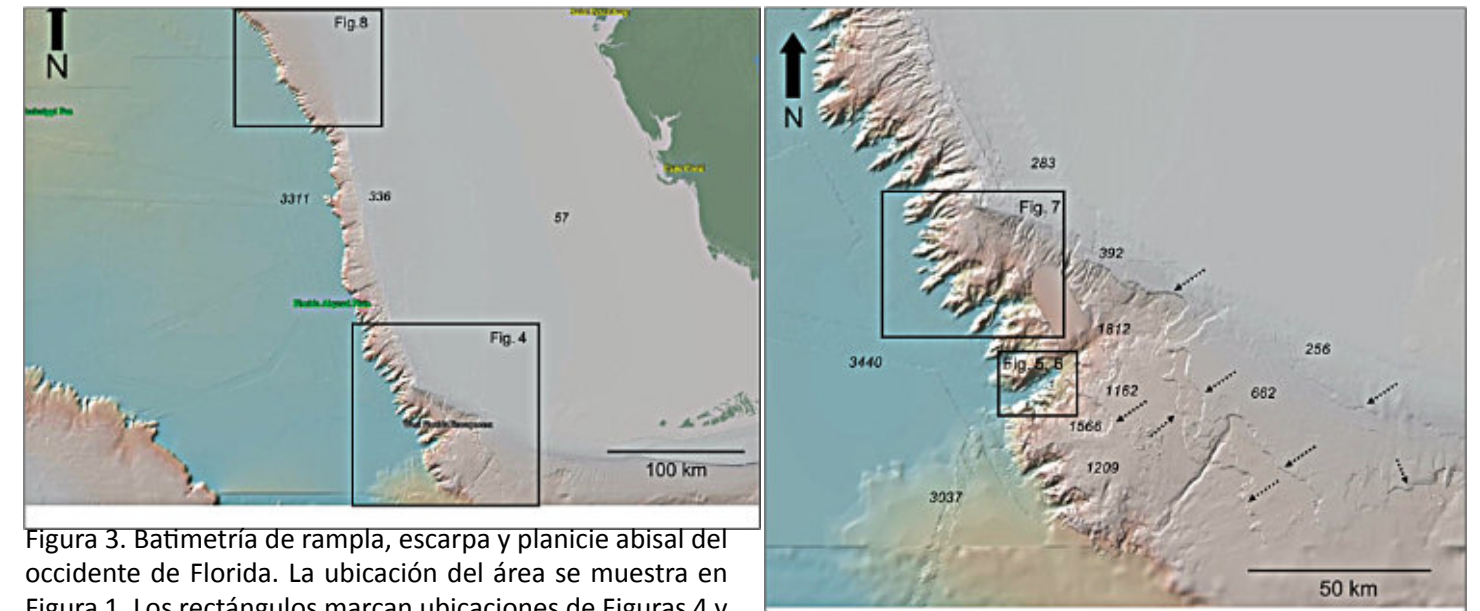


Figura 3. Batimetría de rampla, escarpa y planicie abisal del occidente de Florida. La ubicación del área se muestra en Figura 1. Los rectángulos marcan ubicaciones de Figuras 4 y 8. Números itálicos son profundidades de agua en metros. Imagen de www.polar-explorer.org/index.html

Figura 4. Batimetría del sureste de la Escarpa de Florida. Ubicación de imagen indicada en Figura 3. Rectángulos marcan ubicaciones de Figuras 5, 6 y 7. Números itálicos son profundidades de agua en metros. Flechas punteadas indican bancos cortados por oleaje durante la bajada del nivel de agua. Imagen de www.polar-explorer.org/index.html

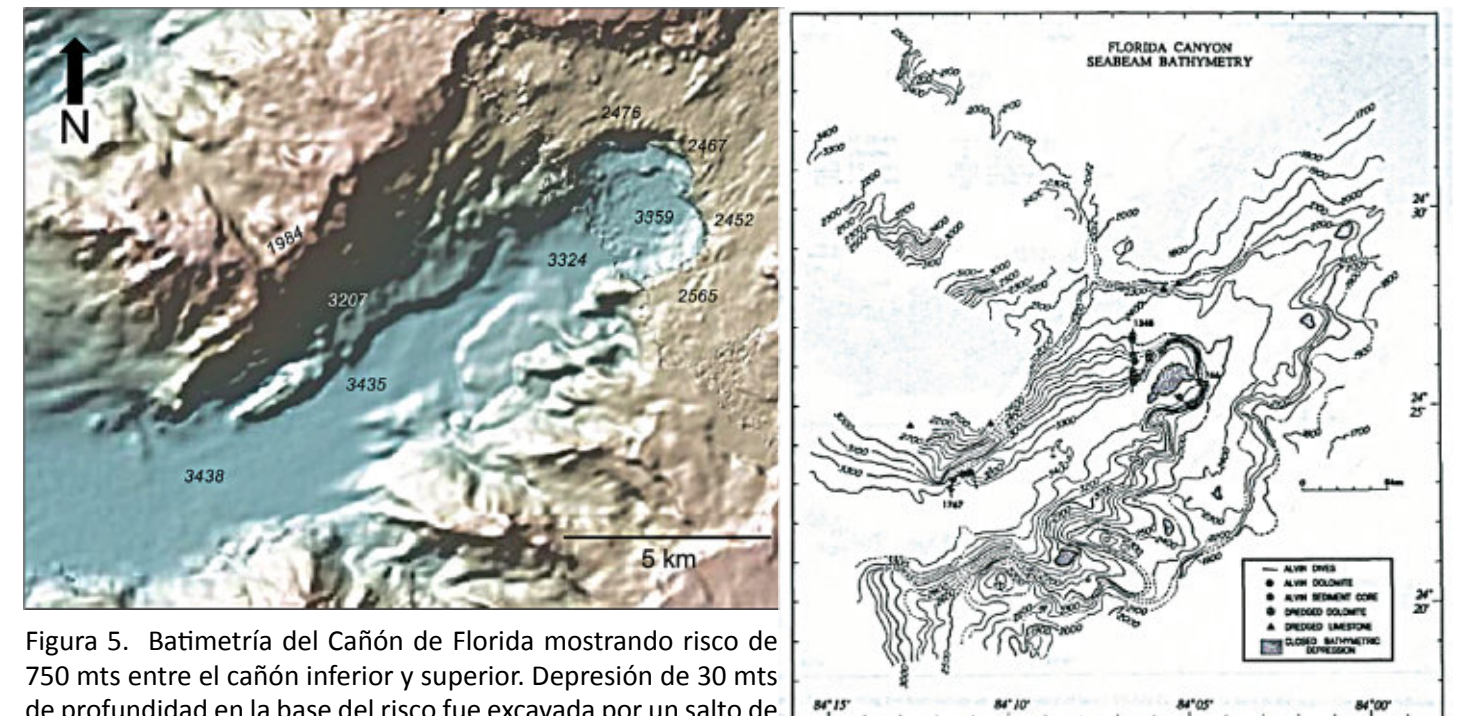


Figura 5. Batimetría del Cañón de Florida mostrando risco de 750 mts entre el cañón inferior y superior. Depresión de 30 mts de profundidad en la base del risco fue excavada por un salto de agua. Números itálicos son profundidades de agua en metros. Ubicación de la imagen indicada en Figura 4. Imagen de www.polar-explorer.org/index.html

Figura 6. Mapa batimétrico del Cañón de Florida mostrando la depresión debajo del risco de 750 mts en la vaguada del cañón, y depresiones similares en los cañones tributarios. La ubicación de la imagen indicada en Figura 4. Modificada de Land y Paull, 1990.

Después de considerar algunas alternativas (con la notable excepción de la erosión subaérea) Paull et al. (1990) atribuyeron la formación de los cañones la remoción por agua hipersalina subterránea. Este proceso, de muy baja energía, no puede explicar la remoción total de la roca del Cañón de Florida, ni el retroceso erosional de toda la escarpa. En la interpretación subaérea los cañones formaron por erosión fluvial, y el retroceso de la escarpa resultó del socavamiento por oleaje del cuerpo residual de agua en la cuenca a finales de la bajada evaporativa.

La energía para excavar los cañones vino de ríos superficiales y subterráneos que atravesaron la ancha plataforma karstificada. Evidencia para esta karstificación en la Plataforma de Florida es la estructura cavernosa "Boulder Bed" utilizada ampliamente por las municipalidades de Florida para la inyección de aguas residuales (Winston, 1995). La karstificación también es representada por abundantes dolinas en aguas de 500 mts hasta más de 1000 mts de profundidad (Figura 8); mucho más profundo que la máxima bajada de 130mt en el Pleistoceno (Land y Paul, 2000).



Figura 7. Batimetría de la Escarpa de Florida. Ubicación de la imagen indicada en Figura 4. Números itálicos son profundidades de agua en metros. Flechas negras sólidas indican áreas con dolinas. Imagen de www.polar-explorer.org/index.html

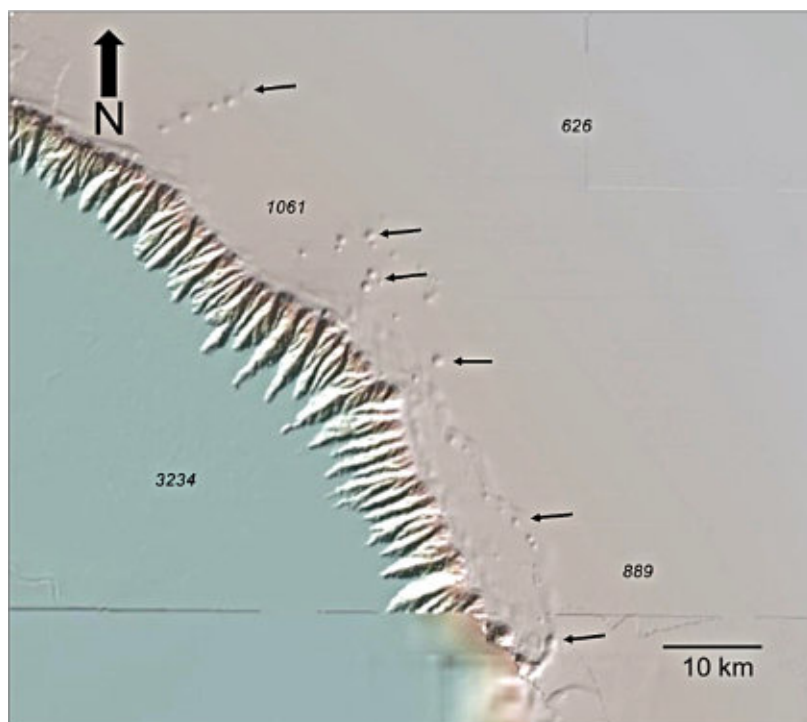


Figura 8. Batimetría de Escarpa de Florida. Ubicación de la imagen indicada en Figura 3. Números itálicos son profundidades de agua en metros. Flechas negras sólidas indican áreas con dolinas. Imagen de www.polar-explorer.org/index.html

RAMPLA DE YUCATÁN Y ESCARPA DE CAMPECHE

La rampla exterior de Yucatán y la Escarpa de Campeche son muy similares a Florida (Figura 9). Una diferencia importante es que el margen yucateco fue modificado por la sismicidad extrema del impacto K-Pg de Chicxulub que hizo colapsar el margen de la plataforma en bloques coherentes y flujos de detritos (Grajales-Nishimura et al, 2000; Paull et al., 2014). Una hendidura arqueada en la rampla exterior (Figura 9) puede ser la cabeza de un

deslizamiento mayor provocado por el impacto. Puesto que el impacto ocurrió 10 millones años antes de la propuesta bajada de nivel de agua, la erosión subaérea hubiera sido sobrepuesta al material deslizado. La minicuenca al norte de esta cabeza del deslizamiento contiene una impresionante red de drenaje (Figuras 10 y 11). Una depresión de 150 mts en la vaguada principal debajo de un peñasco de 1000 mts de alto debe haber sido cortada por un impresionante salto de agua.

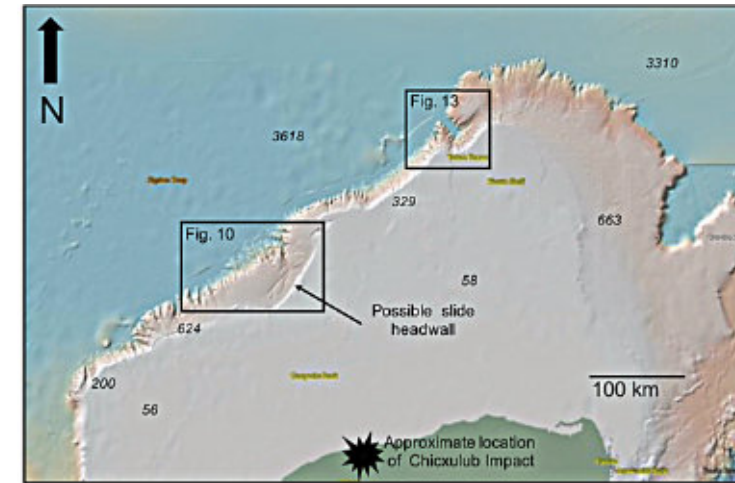


Figura 9. Batimetría de rampla, escarpa y planicie abisal de Yucatán. Ubicación de la imagen indicada en Figura 1. Se indican el sitio aproximado del impacto de Chicxulub y la escarpa de cabeza del deslizamiento provocado por el impacto. Los rectángulos indican ubicaciones de Figuras 10 y 13. Números itálicos son profundidades de agua en metros. Imagen de www.polar-explorer.org/index.html

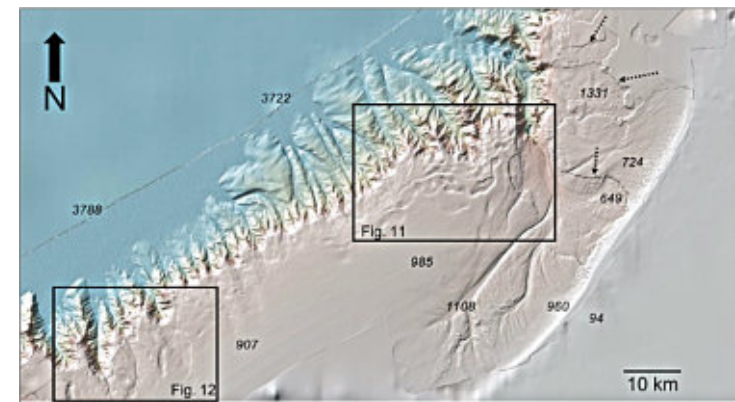


Figura 10. Batimetría de la Escarpa de Campeche. Ubicación de la imagen se indica en la Figura 9. Los rectángulos indican ubicaciones de Figuras 11 y 12. Flechas punteadas indican bancos cortados por el oleaje durante la bajada de nivel de agua. Imagen de www.polar-explorer.org/index.html



Figura 11. Batimetría de la Escarpa de Campeche. Ubicación de la imagen indicada en Figura 10. Números itálicos son profundidades de agua en metros. Flechas negras sólidas indican dolinas. La depresión de 150 mts en la vaguada del cañón principal se formó debajo de un salto de agua de 1100 mts de alto. Imagen de www.polar-explorer.org/index.html

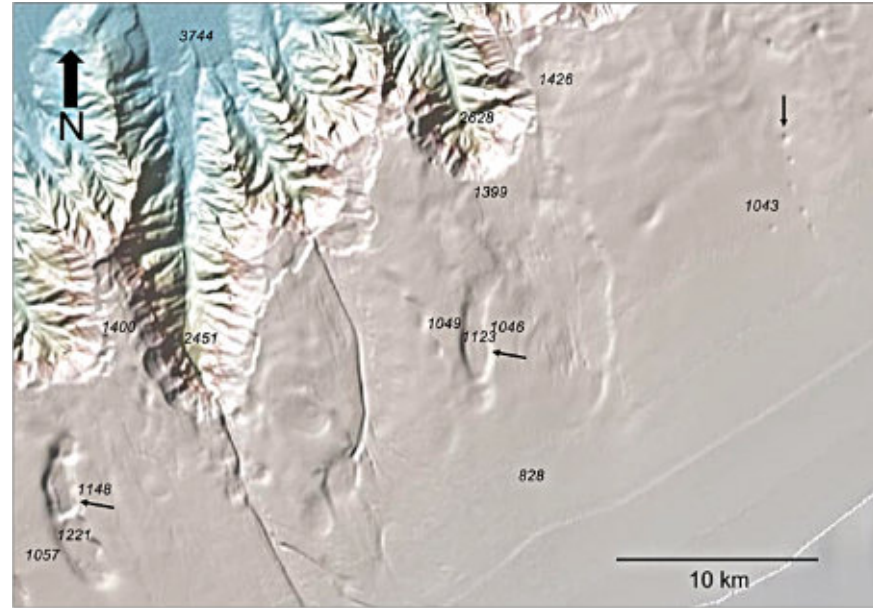


Figura 12. Batimetría de la Escarpa de Campeche. Ubicación de imagen indicada en Figura 10. Números itálicos son profundidades de agua en metros. Flechas negras sólidas indican dolinas. Imagen de www.polar-explorer.org/index.html

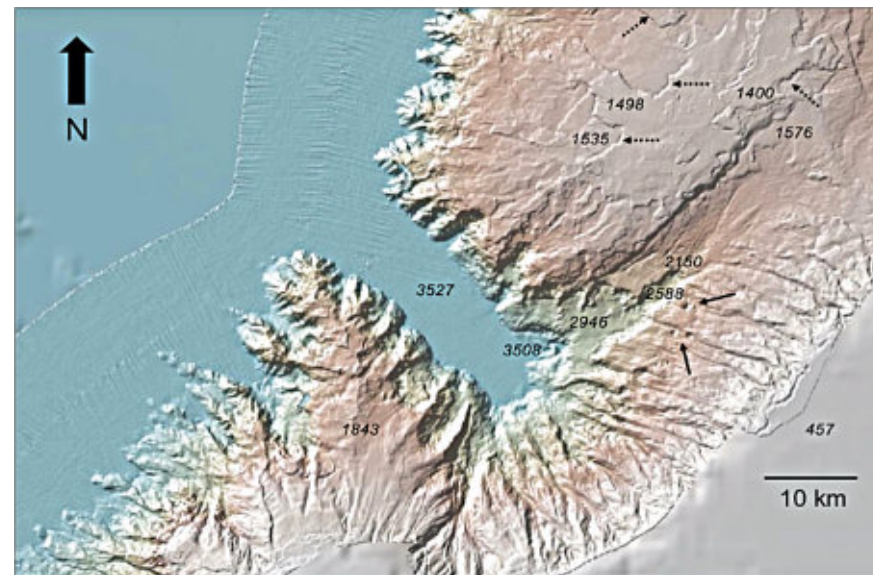


Figura 13. Batimetría de la Escarpa de Campeche. Ubicación de imagen indicada en Figura 9. Números itálicos son profundidades de agua en metros. Flechas punteadas indican bancos cortados por el oleaje durante la bajada de nivel de agua. Imagen de www.polar-explorer.org/index.html

PALEOCAÑÓN DEL ESTRECHO DE FLORIDA

La teoría del aislamiento y la bajada evaporativa debe explicar también como se reanudó la reconexión del Golfo con el Océano Atlántico. Los ~2000 mts de relieve entre el nivel del Golfo y el océano implica que un flujo voluminoso y poderoso siguió al fallo de la barrera. La evidencia de este evento es el paleo-cañón del Estrecho de Florida excavado por 800 metros de carbonatos litificados del Paleoceno y Cretácico revelado por sísmica en la parte occidental de la zona de sutura entre Cuba y Florida (Figuras 14 y 15). Este paleo-cañón, ahora parcialmente lleno de sedimentos, aparentemente fue la ruta principal del agua que relleno el Golfo.

Las perforaciones de DSDP 535 penetraron sedimentos pelágicos del Pleistoceno en el cañón, sobreyaciendo carbonatos Cretácicos de agua profunda. Este sitio no está en la parte más profunda del cañón donde deben estar los sedimentos depositados justamente después de finalizar la reconexión (Figura 15). El sitio DSDP 540 al norte del paleo-cañón (Figura 14) encontró un depósito de flujo de gravedad con 56 mts de espesor encima de los carbonatos Cretácicos y debajo de estratos pelágicos del Paleoceno Superior a Eoceno. Este depósito de flujo contiene una mezcla de clastos desde el Cenomaniano al Paleoceno Superior (Shipboard Scientific Party, 1984) que puede haber sido depositado durante la propuesta inundación. El paleo-cañón del Estrecho de Florida originalmente se atribuyó a la acción de corrientes oceánicas profundas (Denny, 1994), pero los corrientes marinos no tienen suficiente energía para desalojar y remover los kms cúbicos de carbonatos litificados para excavar el cañón.

DISCUSIÓN

La escala de erosión de las escarpas de Florida y Yucatán es difícil de visualizar porque hoy día no existe un terreno subaéreo comparable. Los arrecifes marginales que formaron los márgenes originales de las escarpas fueron extensamente erosionados y ahora exponen facies de retro-arrecife y plataforma. Cuando el nivel de agua principiaba a caer, el oleaje, aprovechando capas más

débiles, cortó los bancos escalonados hacia la cuenca. La bajada climática del nivel de agua expuso las escarpas de ~2000 mts de relieve separando las anchas mesetas de Florida y Yucatán del lagomare residual de la cuenca profunda. Las plataformas expuestas capturaron la copiosa lluvia tropical que fluyó hacia la cuenca por grandes ríos superficiales y subterráneos, cayendo al abismo por tremendos saltos de agua, cortando cañones profundos a través de las escarpas. En un cataclismo final el mar rompió las barreras entre Cuba, Florida y Yucatán, dejando el tremendo cañón del Estrecho de Florida.

Las imágenes batimétricas detalladas en este trabajo deben proveer suficientes pruebas para provocar la re-examinación de las interpretaciones del origen marino de los rasgos insólitos descritos. Invito a los lectores a visitar los sitios mencionados para verlas en más detalle, satisfacer su curiosidad, y formar sus propias conclusiones. Se recomienda ampliar la cobertura de batimetría en detalle, reanudar visitas en sumergibles para seguir estudiando esta cuenca única, y hacer una perforación en el centro del cañón del Estrecho de Florida para precisar la edad del relleno del Golfo.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Art Berman, Steve Cossey, Jim Pindell, Jon Blickwede, Don Vannieuwenhuise, Mark Bitter y Lou Chaboudy por su tiempo e ideas sobre este tema.

REFERENCIAS

- Cossey, S.P.J., D. Vannieuwenhuise, J. Davis, J.H. Rosenfeld y J. Pindell, 2016, Compelling evidence from eastern Mexico for a Late Paleocene/Early Eocene isolation, drawdown and refill of the Gulf of Mexico: Interpretation, February, p. 63-80.
- Denny III, W.M., J.A. Austin Jr., and R.T. Buffler, 1994, Seismic stratigraphy and geologic history of middle Cretaceous through Cenozoic rocks, southern Straits of Florida: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 78, p. 461-487.

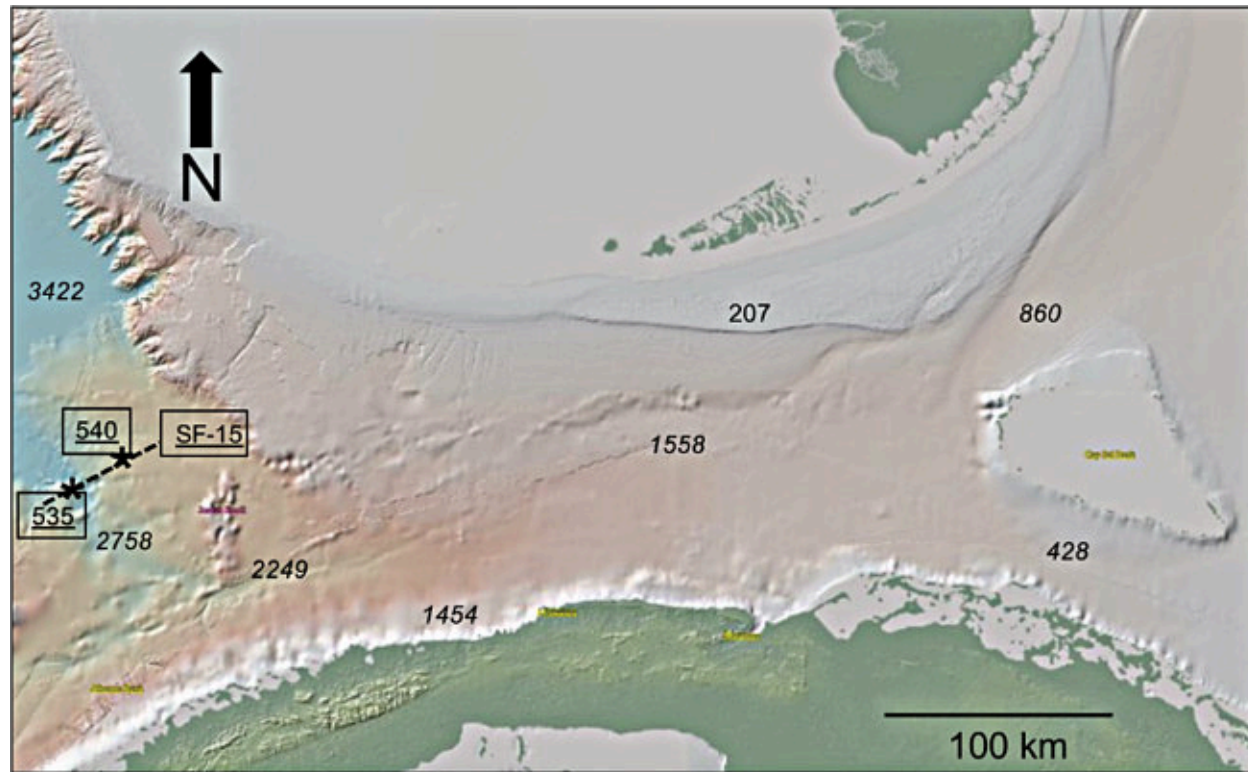


Figura 14. Batimetría del Estrecho de Florida. Ubicación de la imagen indicada en Figura 1. Números itálicos son profundidades de agua en metros. Estrellas con números 535 y 540 son sitios de perforación del Proyecto DSDP. La línea punteada es la línea sísmica en Figura 15. Imagen de www.polar-explorer.org/index.html

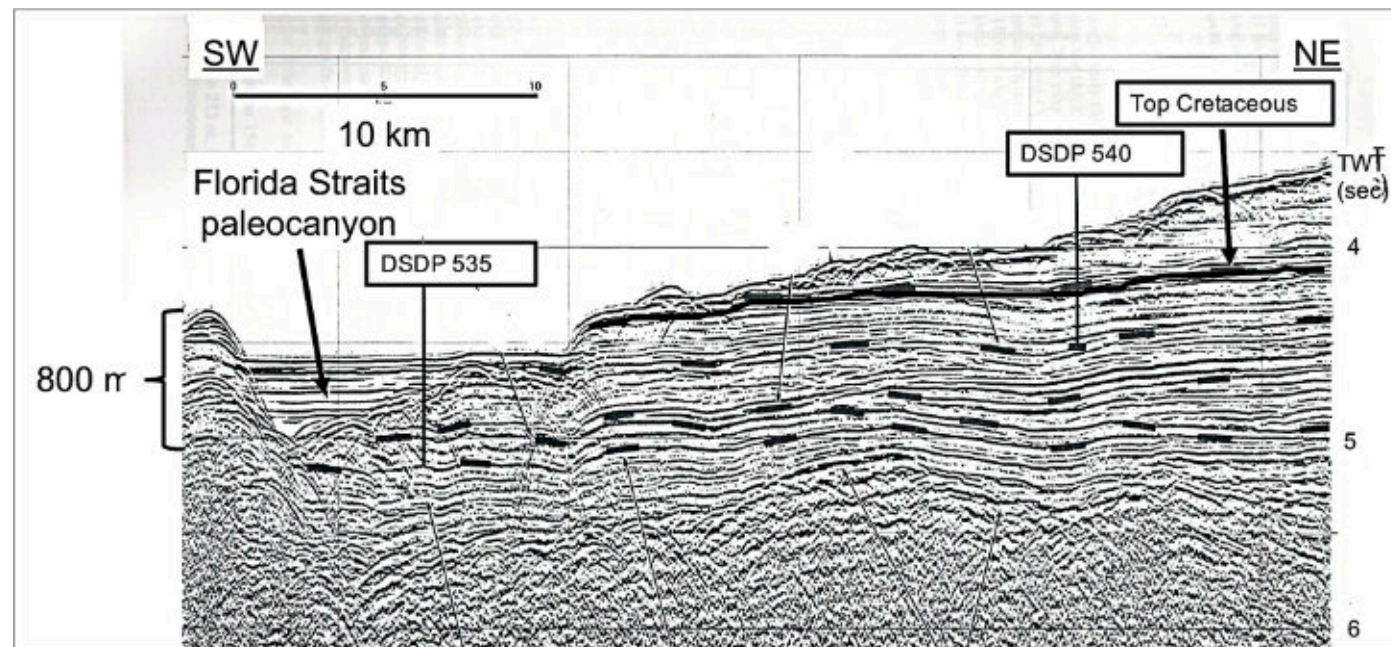


Figura 15. Línea sísmica mostrando paleo-cañón del Estrecho de Florida. Ubicación de imagen indicada en Figura 14. El paleo-cañón parcialmente llenado por sedimentos del Cenozoico. Modificado de Denny et al., 1994.

Grajales-Nishimura, J.M., E. Cedillo-Pardo, M.C. Rosales-Domínguez, D.J. Morán-Centeno, W. Alvarez, P. Claeys, J. Ruiz-Morales, J. García-Hernández, P. Padilla-Ávila, y A. Sánchez-Ríos, 2000, Chicxulub Impact: The origin of reservoir and seal facies in the southeastern Mexico oil fields: *Geology*, v. 28, p. 307-310.

Halley, R.B., B.J. Pierson and W. Schlager, 1984, Alternative diagenetic models for Cretaceous talus deposits, Deep Sea Drilling Site 536, Gulf of Mexico: Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, v. 77. P. 377-397

Land, L.A., and C.K. Paull, 2000, Submarine karst belt rimming the continental slope in the Straits of Florida: *Geomarine Letters*, v. 20, p. 123-132.

Paull, C.K., R. Freeman-Lynde, T.J. Bralower, J.M. Gardemal, A.C. Neumann, B. D'Argenio, and E. Marsella, 1990a: Geology of the strata exposed on the Florida Escarpment: *Marine Geology*, v. 91, p. 177-194.

Paull, C.K., F.N. Spiess, J.R. Curray, and D.C. Twichell, 1990b, Origin of Florida Canyon and the role of spring

sapping on the formation of submarine box canyons: *Geological Society of America Bulletin*, v. 102, p. 502-515.

Paull, C.K., D.W. Caress, R. Gwiazda, J. Urrutia-Fucugauchi, M. Rebolledo-Vieyra, E. Lundsten, K. Anderson, and E.J. Sumner, 2014, Cretaceous-Paleogene boundary exposed: Campeche Escarpment, Gulf of Mexico: *Marine Geology*, v. 357, p. 392-400.

Rosenfeld, J.H., and Pindell, J., 2003, Early Paleocene isolation of the Gulf of Mexico from the world's ocean. Implications for hydrocarbon exploration and eustacy: In Bartolini, C., R.T. Buffler, and J. Blickwede, eds., *The circum-Gulf of Mexico and the Caribbean, hydrocarbon habitats, basin formation and plate tectonics*, American Association of Petroleum Geologists Memoir 79, p. 89-103.

Shipboard Scientific Party, 1984: Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, v. 77, 746 pp.

Winston, G.O., 1995, The Boulder Zone dolomites of Florida: *Miami Geological Society*, p. 1-70.



Joshua H. Rosenfeld, Ph.D.

Geólogo Independiente, 7302 Ravenswood Rd.
Granbury, Texas 76049

Josh Rosenfeld recibió su Licenciatura en 1960 de la City College of New York. Sirvió de 1963 a 1966 en el Ejército de los EE.UU. estacionado en Guatemala. Al terminar su servicio militar retornó a Guatemala trabajando como geólogo minero y petrolero, llegando a ser Jefe de Geología del Departamento de Minería de Guatemala. Obtuvo su Maestría de la University of Miami en 1978, y su Doctorado de Binghamton University en 1981. Trabajó en la empresa Amoco Production Company como geólogo petrolero de 1980 a 1999 en Houston, Texas; México y Colombia. Después de jubilar de Amoco él trabajó por Veritas DGC hasta 2002 haciendo proyectos geológicos en México. Ha sido miembro de la Houston Geological Society desde 1980 and de la AAPG desde 1981. Actualmente hace geología desde su hogar en Granbury, Texas.

Foro de discusión Discussion Forum

A sugerencia de uno de nuestros lectores, 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 Geociencias.

MISCELÁNEOS

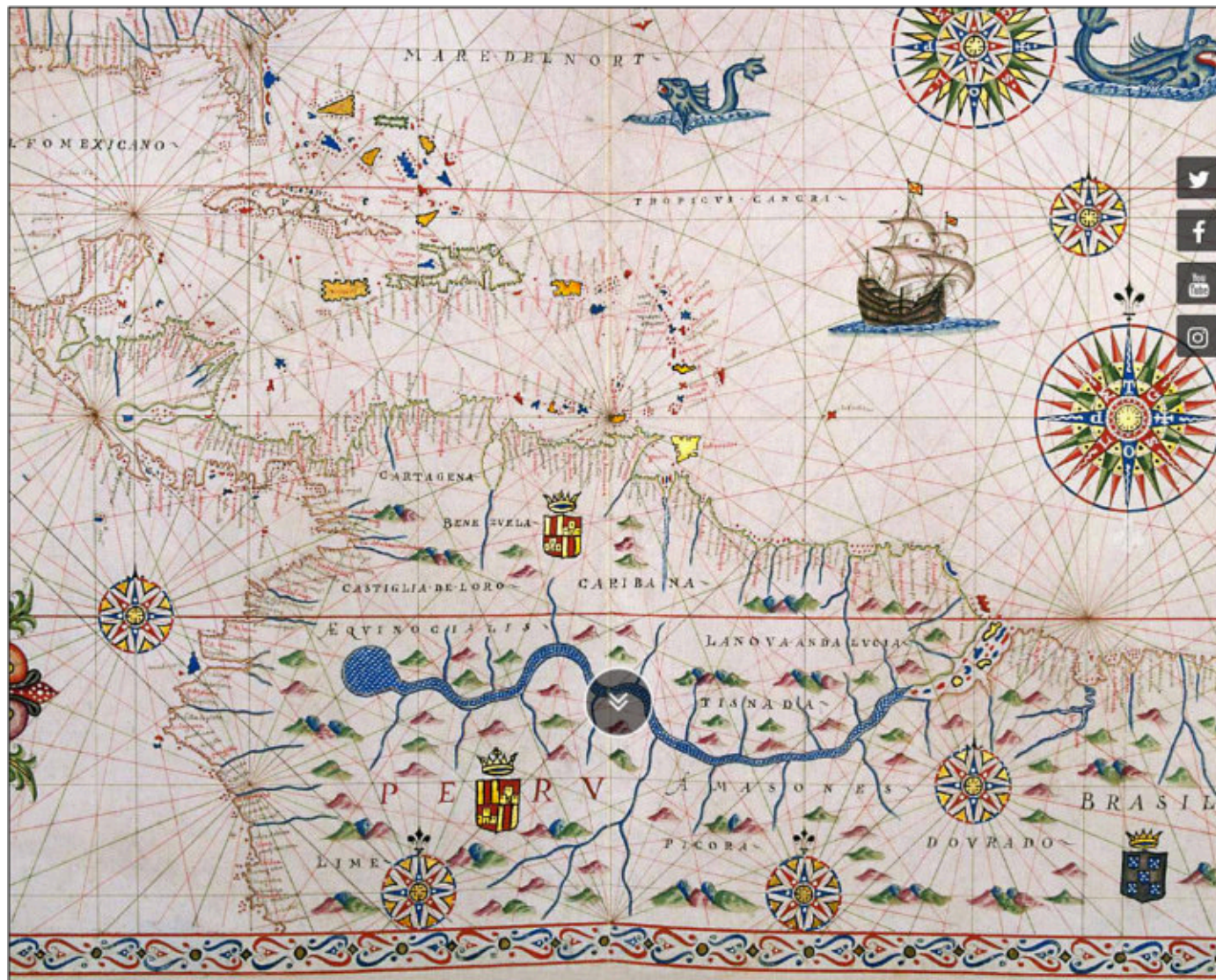
Xaman Ek, Dios de la Estrella Polar



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 Galileo, Florence, Italy

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

COMITÉ DE EDUCACIÓN Y DIVULGACIÓN

GeoSeminarios

GeoLatinas

¡QUEREMOS DAR A CONOCER TU TRABAJO!

En GeoLatinas estamos por comenzar la temporada 2023 de

GeoSeminarios

Una iniciativa creada para la divulgación técnica y científica de las Ciencias de la Tierra y Planetarias*.

¡Y nos encantaría dar a conocer tu trabajo de

- Investigación
- Tesis
- Campo laboral
- etc...!

Transmisión

Si te interesa participar te invitamos a llenar nuestro [formulario](#).

Escanéame!

O envíanos un mensaje en nuestras redes sociales.

(*Esta iniciativa está abierta a todo género, raza, edad, etc.)

GeoSeminarios disponibles en:

GeoLatinas: Latinas in Earth and Planetary Sciences
@geolatinaslatinas 331 seguidores 34 videos
Más información sobre este canal >

@geolatinasinsta
 GeoLatinas_por_mexico
 @GeoLatinas

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

<https://distritosinaloa.org/regcongreso/>

Revista
**ENSEÑANZA Y COMUNICACIÓN
DE LAS GEOCIENCIAS**

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

**NUEVO NÚMERO
DICIEMBRE 2023**

- Excursión geológica al Parque Ecológico de la Huasteca en Nuevo León, México, diseñada para estudiantes de primaria.
- Testimonio de un superviviente del megaterremoto registrado en Chile en 1960
- Estudio sobre la contaminación por ozono y su vínculo con el programa "Hoy no Circula" de la Ciudad de México
- Estudio petrológico del deterioro de un monumento histórico de la ciudad de Aguascalientes.
- Enseñanza de la Geografía con el Aprendizaje Basado en Problemas para Preparatoria.
- Propuesta de la UNESCO para combatir la desigualdad y la violencia de género en la enseñanza de la Geografía a nivel licenciatura.
- Importancia de los hongos y su compleja pero frágil relación con el cambio climático.







**CONGRESO
INTERNACIONAL
MINERO
SINALOA 2024**

**13 AL 15
DE MARZO**

MAZATLAN INTERNATIONAL CENTER

WWW.DISTRITOSINALOA.ORG
CONGRESO@DISTRITOSINALOA.ORG

<https://www.aapg.org/publications/blogs/events/article/articleid/66583>

Registration is Now Open: CCUS 2024

Published Tuesday, 09 January, 2024 11:41 AM



Hosted by the Society for Petroleum Engineers, AAPG and the Society of Exploration Geophysicists, the event in Houston will feature discussions led by leaders who are shaping the future of carbon capture, utilization and storage.

Geoscientists and engineers who lend their expertise to further carbon capture, utilization and storage advancements take on an increasingly critical role in the future of carbon as the energy sector continues to grow and evolve. Spurred by recent legislative and policy changes, significant private sector investment and new government funding have made CCUS projects and developments more attainable than ever.

Now in its fourth year, Carbon Capture, Utilization and Storage 2024 aims to highlight innovative projects, technologies, and discoveries that will support geoscience, engineering, and energy professionals who are shaping the future of carbon. The event—hosted by the Society for Petroleum Engineers, the American Association of Petroleum Geologists and the Society of Exploration Geophysicists—brings together more than 1,500 global attendees and participants to address CCUS challenges and advances.

CCUS 2024 in Houston, Texas is themed around “An Emerging Field for Energy Professionals” and will feature panel discussions, specialized luncheon talks, and technical presentations by leaders from Denbury Inc., Shell, Truist Securities, The University of Texas at Austin, the Imperial College of London, and more.

Discussion topics this year will include:

- Subsurface Geologic Storage
- CO₂ Enhanced Hydrocarbon Recovery
- Reservoir Monitoring and Risk Assessment
- Case Studies
- Industry Applications
- Economics, Incentives, and Policy
- Infrastructure
- Non-technical considerations

EXPLORA Expo 2024 will include:

- Stands area for E&P operating companies
- Theater for presentations of exploratory prospects and other business opportunities in the upstream sector
- Business Room
- Stands area for companies providing products and services
- Job Fair
- Networking Events

EXHIBITORS

EXPLORA Expo 2024 will offer a permanent stands space for operating companies and a theater with capacity for 100 people where E&P operating companies will be able to make presentations of their business opportunities for 20 minutes for interested companies and investors. This event offers the opportunity for companies in the upstream sector and investors to learn about all the new mature investment opportunities available in Colombia, while simultaneously offering exhibitors the opportunity to present their prospects to a large audience and drive traffic to their respective stands at no additional cost.



EXPLORA Expo 2024 will offer a commercial exhibition space where companies interested in offering their products and services can acquire a stand space. Service companies, investors and operating companies are welcome to sponsor this event that will bring together the most important executives and professionals of the Colombian E&P sector.

Visit our web page:

<https://exploraexpo.com>



JOB FAIR

EXPLORA Expo 2024 will offer a Job Fair area in order to provide a private space for job seekers to interact with companies human resources personnel and head-hunters looking to hire new talent as the industry strengthens.



All registered attendees at EXPLORA Expo 2024 will be able to attend and apply for job opportunities available on the job fair at no additional cost!

“EXPLORA Expo is a catalyst to negotiate partnership agreements and undertake new exploration and production projects.”

PRIMERA CIRCULAR



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



La Carrera de Geología de la Universidad de San Carlos y la Asociación Guatemalteca de Geociencias Ambientales - ASGA- invitan a participar en el *XV Congreso Geológico de América Central y el V Congreso Guatemalteco de Geociencias Ambientales* a realizarse del 25 al 29 de noviembre de 2024 en Antigua Guatemala.

"Compartiendo conocimientos para construir el futuro geocientífico de América Central"

OBJETIVO

Ofrecer un espacio de encuentro, reflexión y conexión entre Geólogos que trabajen en América Central para presentar y compartir los últimos avances en la investigación geocientífica y en estimular colaboraciones interinstitucionales en Ciencias de la Tierra.

COMITÉ ORGANIZADOR

Rudy Machorro Sagastume	Presidente
Silvia Cortez Bendfeldt	Vicepresidente
Alejandra Mendoza M.	Secretaria
Luis Carrillo	Tesorero
Jaime Requena F.	Vocal 1
Andrea Reiche de la Cruz	Vocal 2
Sergio Morán I.	Vocal 3
Luciano López L.	Representante Estudiantil

ACTIVIDADES

Sesiones – Cursos Cortos – Giras de Campo
EJES TEMÁTICOS

- 1: Geofísica
- 2: Geoquímica
- 3: Geotecnia
- 4: Exploración de recursos naturales
- 5: Tectónica y riesgos naturales
- 6: Inteligencia Artificial y Tecnologías en Geociencias
- 7: Hidrogeología, recursos hídricos y energéticos
- 8: Mapeo geológico de Centroamérica
- 9: Patrimonio geológico, geoturismo y conservación

No excluye otros temas de interés que sugieran los Geólogos de América Central. Abierta la convocatoria para proponer tópicos geocientíficos especializados para el XV CGAC.

COMITÉ CIENTÍFICO REGIONAL DEL XV CONGRESO GEOLÓGICO DE AMÉRICA CENTRAL

País	Nombre	Institución
México	Eloísa Domínguez Mariani	Universidad Autónoma Metropolitana de México
	Luigi Solari	Universidad Nacional Autónoma de México
Costa Rica	Gerardo Soto	Universidad de Costa Rica
	Ingrid Vargas	Universidad de Costa Rica
Nicaragua	Wilfried Strauch	Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales
El Salvador	Marcia Barrera	Universidad de El Salvador. Facultad de Ciencias Agronómicas.
	Walter Hernández	Universidad de El Salvador Escuela de Posgrado de Educación Continua.
Honduras	Tania Peña	UNAH. Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra
	Lidia Torres	UNAH. Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra
Panamá	Eduardo Camacho Astigarrabia	Universidad de Panamá

INSCRIPCIONES (US\$)

	Antes del evento	Durante el evento
Profesional	100.00	200.00
Estudiantes	50.00	100.00

ANTIGUA GUATEMALA – SEDE DEL XV CGAC Y DEL V CGGA

Fundada el 10 de marzo de 1543, **La Antigua Guatemala fue declarada Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO en el año 1979.** Esta bella y mágica ciudad colonial guarda casi quinientos años de historia, con un clima privilegiado y una excepcional vista hacia los volcanes de Fuego y Acatenango. Los principales atractivos turísticos de la Antigua son El Palacio de los Capitanes Generales, El Convento y Arco de Santa Catalina, La Plaza Mayor, El Museo de Jade, La Antigua Catedral de Guatemala, el museo de la Universidad de San Carlos, la Ruta Santa del Hermano Pedro, entre otros. La ciudad también es rica en artesanías tales como tejidos típicos, cerámica, productos de plata y oro, cerería, productos metálicos, dulces típicos y gastronomía. Para llegar a La Antigua Guatemala desde la Ciudad de Guatemala debe tomar la carretera CA-1, saliendo por la Calzada Roosevelt, pasando por San Lucas Sacatepéquez y girar hacia la derecha. La Antigua está situada a 40 Kilómetros del centro de la ciudad capital

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



<https://www.visitcentroamerica.com/visitar/la-antigua-guatemala/>

Información adicional:

geologiausac@gmail.com	Síguenos en Facebook	
comunidadesga@gmail.com		

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

La casa de los bosques

<https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/rain-forest/#:~:text=A%20rain%20forest%20is%20simply,%2C%20Malaysia%2C%20and%20Brunei>

<https://rainforests.mongabay.com/>

<https://www.britannica.com/science/rainforest>

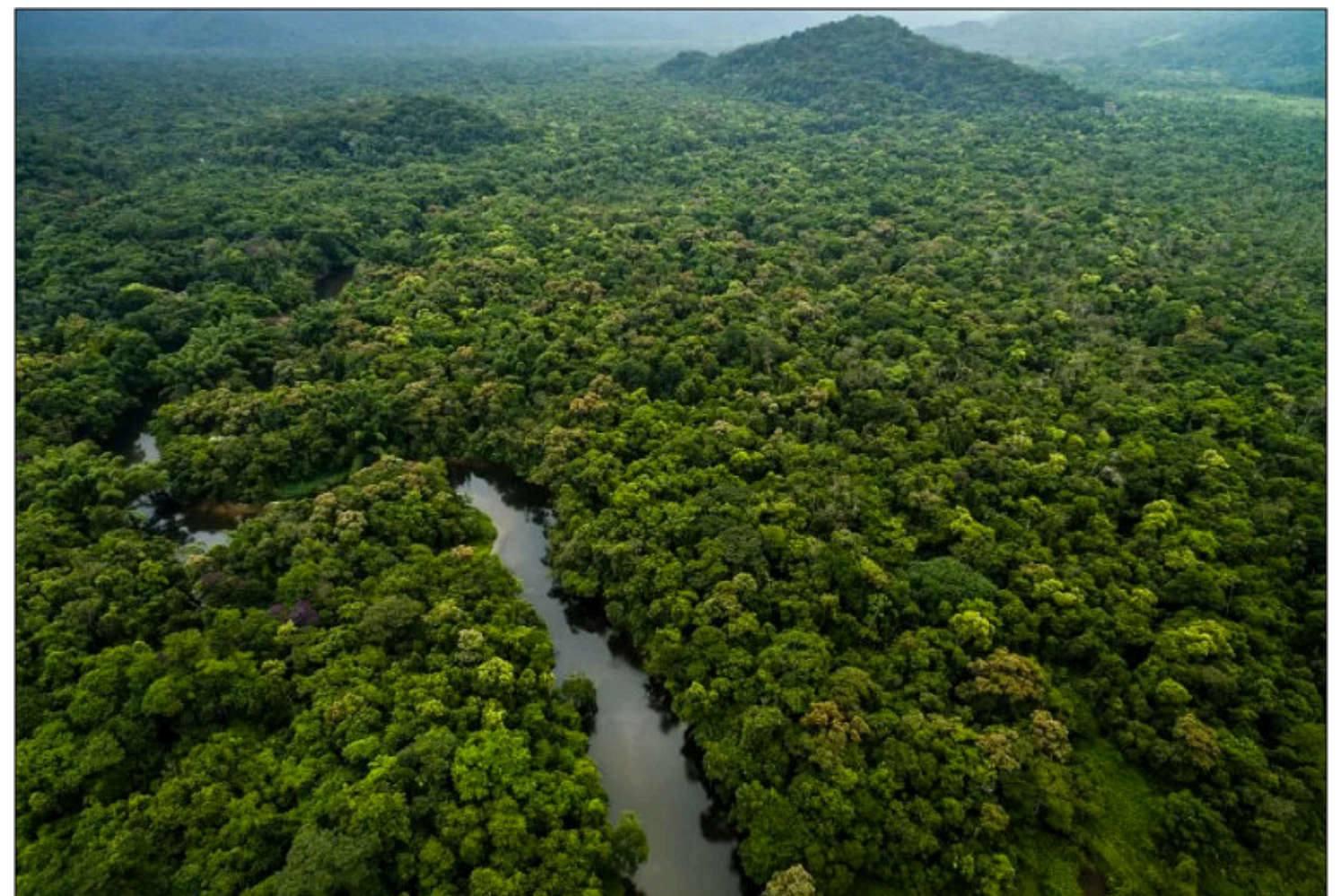
<https://en.wikipedia.org/wiki/Rainforest>

<https://earthobservatory.nasa.gov/biome/biorainforest.php>

<https://www.livescience.com/largest-rainforests-in-the-world>

https://www.conservation.org/blog/5-rainforest-species-that-could-save-your-life?gclid=CjwKCAiApfeQBhAUeIwA7K_UH5VOqu5GNJizMJq6YaihwigNUjcMgRfmLCfU5dJIDaE-xiyY2L65xoCPNIQAvD_BwE

<https://www.youtube.com/watch?v=3vijLre760w>



Caverna del arte

La belleza de la geología

Susana I. Ignacio y Luis Angel Valencia Flores.



Monet C. (1883). Acantilado de Étreat, puesta de sol. [Pintura]. Museo de Arte de Carolina del Norte. Carolina del Norte, Estados Unidos. Siempre se ha buscado la forma de inmortalizar un momento, tal es que hoy en día si una persona no lleva consigo el celular el momento no queda capturado y se considera perdido. En tiempos antiguos no se contaba con esta tecnología, no había cámaras ni celulares, los momentos quedaban inmortalizados por pinturas, dibujos o esculturas, en los que el artista tardaba días observando cada pequeño detalle, contemplando por horas la belleza frente a sus ojos, tal es el caso de Claude Monet y su obra el Acantilado de Étreat, puesta de sol, donde representa la belleza geológica de este lugar.

Los sonidos de la Tierra



Valentinetti V. (2016). Earthworks. [Fotografía]. 100 days and nights. Barcelona, España. En el festival el SÓNAR en Barcelona en el 2016 los artistas británicos Ruth Jarman y Joe Gerhardt conocidos también como el dúo Semiconductor en colaboración de expertos de la Facultad de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Barcelona (UB) representaron la evolución de la Tierra hasta la era geológica actual, el Antropoceno, a esta obra la llamaron "Earthworks". La obra fue realizada mediante cinco pantallas colocadas en zigzag, en las que se proyectaron gráficos que daban vida a los estratos del complejo industrial Planta. Estos gráficos se realizaron mediante datos sismógrafos convertidos en sonido. Estos datos fueron obtenidos por los expertos de la UB por actividad extractiva de una gravera del grupo Sorigué, impulsor del proyecto. También se utilizaron modelos analógicos, es una técnica que reproduce estructuras geológicas a escala y facilita el estudio en 3D de los procesos geológicos que determinan el relieve. Si quieres escuchar los sonidos emitidos por la Tierra visita: <https://semiconductorfilms.com/art/earthworks/>

¿Y si transformamos la astronomía en arte?



Paul P. (1636-1638). Saturno devorando a un hijo. [Pintura]. Museo del Prado. Madrid, España. Antes de la existencia de la fotografía como herramienta del estudio de los astros, los astrónomos solo necesitaban tinta y papel para representar sus observaciones. Famosos personajes como Galileo Galilei dibujaban las fases de Venus o el relieve de la Luna con base a lo que su telescopio les mostraba. Artistas de la época como Pieter Paul Rubens con su obra "Saturno devorando a un hijo" llevó más allá las observaciones de Galileo ya que representó al planeta como una estrella triple, tal y como lo había descrito el astrónomo, incorporó también la mitología romana, donde Saturno mejor conocido en la mitología griega como Cronos, es el dios que se come a todos sus hijos hasta el nacimiento de Zeus.



M.Sc. **Wilmer Pérez Gil** (Pinar del Río, Cuba, 1983) es Ingeniero Geólogo egresado de la Universidad de Pinar del Río "Hermandades 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

The Mt. Nyiragongo volcano, Republic of Congo

The Mt. Nyiragongo volcano in the Democratic Republic of Congo began erupting the morning of Saturday, May 22, 2021, with fissures in the southern side of the volcano sending lava pouring into nearby towns. The eruption resulted in the deaths of at least 31 people as of May 26 according to media reports, and official reports from the Ministry of Communications of the Democratic Republic of Congo indicate that 232,433 people were evacuated from the region.

<https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=223030>

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

<https://www.britannica.com/place/Mount-Nyiragongo>

<https://www.mountnyiragongo.com/>

<https://earthobservatory.nasa.gov/images/9164/nyiragongo-volcano-erupts-in-the-congo>

<https://appliedsciences.nasa.gov/what-we-do/disasters/disasters-activations/mt-nyiragongo-eruption-2021>

<https://www.nationalgeographic.com/science/article/mount-nyiragongo-just-erupted-why-its-one-of-africas-most-dangerous-volcanoes>

<https://www.smithsonianmag.com/smart-news/how-a-volcanic-eruption-caught-seismologists-by-surprise-180980704/>

<https://www.youtube.com/watch?v=X0iN5VWMd2Y>

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



Compilado por Nimio Tristán,
Geólogo,
Houston, Texas

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/>



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

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/>





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