

**MARZO
2022**



MAYYA

REVISTA DE GEOCIENCIAS

NOTAS GEOLÓGICAS

TEMAS DE INTERÉS

PIONEROS DE LAS GEOCIENCIAS



MARZO
2022



MAYA

REVISTA DE GEOCIENCIAS

Revista Maya: Revista Maya de Geociencias que (RMG) nace del entusiasmo de profesionistas con la inquietud de difundir conocimientos relacionados con la academia, investigación, la exploración petrolera y Ciencias de la Tierra en general.

El objetivo principal de la revista es proporcionar un espacio a todos aquellos jóvenes profesionistas que deseen dar a conocer sus publicaciones. Los fundadores de la revista son *Luis Angel Valencia Flores, Bernardo García Amador y Claudio Bartolini*.

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

La Revista tendrá una publicación mensual, por medio de un archivo PDF, el cual será distribuido por correo electrónico y compartido en las redes sociales. Esta revista digital no tiene fines de lucro. La RMG es internacional y bilingüe. Si 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: fracturas de sal, en un lago ubicado en Irán, al sur de Isfahán. Autor: Fotografía de Francisco Javier Vega.

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 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

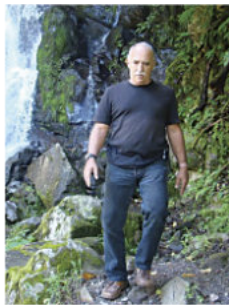
COLABORADORES



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



El ingeniero cubano **Humberto Álvarez Sánchez** culmina 54 años como geólogo. Realizó estudios en la Cordillera de Guaniguanico y en su premontaña y en los macizos metamórficos, volcánicos y ofiolíticos de Cuba central. Autor de 18 formaciones y litodemas de la estratigrafía cubana. Descubridor del único depósito industrial de fosforitas marinas de Cuba. Miembro de la subcomisión Jurásico del primer Léxico Estratigráfico de Cuba. Como Country Manager y Senior Geologist de compañías canadienses, panameñas y de Estados Unidos, dirigió exploraciones en complejos del Paleozoico-Mesozoico en tres Estados de

Brasil, en los greenstone belts de Uruguay; Andes de Perú y complejos volcánicos de Honduras y Panamá y otros países. Miembro de la Comisión Ministerial "Ad Honorem" del Plan Maestro de Minería de Panamá, fue Consultor Senior del Banco Interamericano de Desarrollo para el proyecto geocientífico del país. Formely Miembro del Consejo Científico de Geology Without Limits. Formerly Representante para América Central del Servicio Geológico de la Gran Bretaña. Retirado en Panamá, se ocupa de redactar estudios sobre la geología de Cuba.

geodoxo@gmail.com



Ramón López Jiménez es un geólogo con 14 años de experiencia en investigación y en varios sectores de la industria y servicios públicos. Es un especialista en obtención de datos en campo, su análisis y su conversión a diversos productos finales. Ha trabajado en EEUU, Mexico, Colombia, Reino Unido, Turquía y España. Su especialidad es la sedimentología marina de aguas profundas. Actualmente realiza investigación en

afloramientos antiguos de aguas someras y profundas de México, Turquía y Marruecos en colaboración con entidades públicas y privadas de esos países. Es instructor de cursos de campo y oficina en arquitectura de yacimientos de aguas profundas y tectónica salina por debajo de la resolución sísmica.

r.lopez.jimenez00@aberdeen.ac.uk



Marisol Polet Pinzón Sotelo es Ingeniera Geóloga egresada de la Universidad Autónoma de Guerrero y Maestra en Ciencias Geológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León; ha colaborado en proyectos de investigación en el noroeste de México, siendo autora y coautora de publicaciones científicas; cuenta con 8 años

de experiencia en exploración de hidrocarburos en PEMEX Exploración y Producción. Se ha desarrollado en el modelado de sistemas petroleros en Proyectos de aguas profundas y someras en el norte del Golfo de México.

poletpinzon@gmail.com



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

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

rodriguez.arteaga@gmail.com



Rafael Guardado es graduado en la Universidad de Oriente en 1970 como Ingeniero Geólogo. Cursó estudios de especialización en la Universidad Minera de St Petersburgo en Rusia, antigua U.R.S.S., 1972-1974. Defendió el doctorado en Geología en 1983. Es Académico Titular de la Academia de Ciencias de Cuba, Profesor Titular, Profesor Consultante y Profesor Emerito de la Universidad De Moa. Orden

Carlos J. Finlay. Ha publicado más de 70 artículos, y es Tutor de tesis de Doctorado y maestrías. Ha recibido múltiples premios y distinciones, y es un profesor reconocido en Cuba y el extranjero en la Ingeniería Geológica, la Reducción de los Riesgos Geológicos y el enfrentamiento al Cambio Climático.

rafaelguardado2008@gmail.com



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, Centroamerica y el Caribe para estas empresas. Durante 2018, Jon fundó la empresa Teyra GeoConsulting LLC (www.teyrageo.com), donde está realizando un proyecto de crear afloramientos digitales y excursiones geológicas virtuales en EEUU y México, utilizando imágenes tomados con su drone, integrados con otros datos geoespaciales.

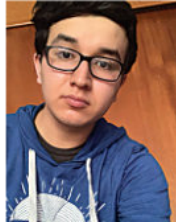
jonblickwede@gmail.com



Saúl Humberto Ricardez Medina es pasante de Ingeniería Geológica, miembro activo del capítulo estudiantil de la AAPG del Instituto Politécnico Nacional, participó en el X Congreso Nacional de Estudiantes de Ciencias de la Tierra como Expositor del trabajo "Análisis de Backstripping de la Cuenca Salina

del Istmo". Actualmente, se encuentra trabajando en su tesis de licenciatura relacionada a identificar y reconocer secuencias sedimentarias potencialmente almacenadoras de hidrocarburos en las cuencas del sureste.

ricardezmedinasaulhumberto@gmail.com



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

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

diegogabriel807@gmail.com

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

Instrucciones básicas para los autores

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

Semblanzas: 3 páginas máximo.

Notas sobre pioneros de las geociencias: 4 páginas máximo.

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

Notas geológicas: 10 páginas máximo.

CONTENIDO

MARZO 2022

Semblanzas.....	8
Pioneros de las Geociencias.....	12
Resúmenes de tesis y publicaciones.....	16
Los libros recomendados.....	27
Temas de interés.....	29
Fotografías de afloramientos/microscopio.....	46
Notas geológicas.....	49
Misceláneos	
Museos de historia natural.....	81
La casa de los arrecifes.....	82
Tesis selectas del 2020 – UNAM.....	83
La Caverna del arte.....	84
Nuevo libro (Moisés Dávila Serrano).....	86
Glosario de términos geológicos.....	87
Geo-caricatura (Wilmer Pérez Gil).....	88
Cristales gigantes de Naica, Chihuahua, México.....	89
De Cuba a Canarias, entre líneas y colores.....	90
Asociaciones geológicas hermanas.....	91

“Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad.”

Einstein

SEMBLANZAS

Marie Tharp: (1920 - 2006)

Marie Tharp was a pioneering American geologist and oceanographic cartographer who helped create the first scientific map of the Atlantic Ocean floor. Her revolutionary work revealed the detailed topography and multi-dimensional geographic landscape of the ocean bottom and revealed the presence of a continuous rift valley along the axis of the Mid-Atlantic Ridge, a shift in thinking that led to the acceptance of the theories of plate tectonics and continental drift.

She was born in 1920, and spent her youth accompanying her father, a soil surveyor for the U.S. Department of Agriculture, giving her an early introduction to mapmaking. But young Tharp had no interest in pursuing a similar career as this was understood to be “men’s work.” She graduated from Ohio University in 1943 with a degree in English and music. The military recruitment of young men in WWII gave women an opportunity to explore professions typically reserved for men, and having taken a geology class in college, she was recruited to the University of Michigan’s petroleum geology program. She completed her master’s degree, and then a second masters in math from the University of Tulsa. She took a job at an oil company in Tulsa but found it unsatisfying as she was confined to an office where she collected maps and data for the men going into the field. She moved to New York City and found drafting work as one of the first women at the Lamont Geological Observatory, now the Lamont-Doherty Earth Observatory at Columbia University. It was here she met [Bruce Heezen](#) and would eventually work exclusively with him plotting the ocean floor.

For the first two decades of their collaboration, Heezen collected data aboard research ships, while Tharp drew maps from that data, since women were still excluded from working aboard ships at that time. Working with pens, ink and rulers, Tharp drew the underwater details, longitude degree by latitude degree, described by



Marie Tharp, July 2001. (Credit: Lamont-Doherty Earth Observatory and the estate of Marie Tharp)

thousands of sonar readings taken by researchers, and independently used data collection from the Woods Hole Oceanographic Institution’s R/V Atlantis. She painstakingly aligned sounding profiles from Atlantis and other vessels, creating a total of approximately six profiles stretching west-to-east across the North Atlantic. Her work represented the first systematic attempt to map the entire ocean floor. She was eventually able to join a data collection research expedition in 1968.

Piecing together maps that they made, she and Heezen revealed a 40,000-mile underwater ridge girdling the globe. With the discovery, they laid the foundation for later work that showed the sea floor spreads from central ridges and that the continents are in motion with respect to one another — a revolutionary and controversial theory among geologists at the time, but crucial to the development of plate tectonic theory.

After Heezen died in 1977, Tharp focused her energy on completing a comprehensive view of the world's oceans. The World Ocean Floor map was published later that year by the Office of Naval Research and is still in wide use today.

In 1978 Tharp and Heezen (posthumously) were awarded the Hubbard Medal, the National Geographic Society’s highest honor, joining the ranks of explorers and discoverers like Ernest Shackleton, Louis and Mary Leaky and Jane Goodall. In 1998, Tharp was honored during the 100th anniversary of the Library of Congress’ Geography and Map Division. The following year, she was recognized by Woods Hole Oceanographic Institution with the Mary Sears Woman Pioneer in Oceanography Award. In 2001

she was honored by her home institution with the Lamont-Doherty Heritage Award.

Tharp died in 2006 at age 86. Her pioneering work forever changed the way people think about and study the rich topography of the ocean floor.

Source: <https://web.whoi.edu/womens-comm/marie-tharp-pioneering-mapmaker-of-the-ocean-floor/>



Marie Tharp at her drafting table in Lamont Hall circa 1961. (Credit: Lamont-Doherty Earth Observatory and the estate of Marie Tharp)

How One Brilliant Woman Mapped the Secrets of the Ocean Floor | Short Film Showcase:
<https://www.youtube.com/watch?v=vE2FK0B7gPo>

Krystyna Piotrowska: (1938 - 2022)



Con gran tristeza, el 26 de Enero de 2022, a la edad de 83 años, falleció la Profesora **Doctora Krystyna Piotrowska**.

La doctora Krystyna Piotrowska nació el 5 de Julio de 1938 en Łuck, en la actual Ucrania. Al inicio de la guerra, regresó con sus padres a Varsovia, donde completó su educación secundaria y comenzó sus estudios en la Facultad de Geología de la Universidad de Varsovia.

En Febrero de 1962, obtuvo el título de Master en Geología (en estratigrafía y exploración) sobre la base de su tesis titulada: "Budowa geologiczna Wyżniej Świstówki" ("Estructura geológica de la Alta Świstówka"), elaborada bajo la supervisión del profesor Edward Passendorfer. En ese mismo año, se incorporó al Departamento de Tectónica y Cartografía Geológica de la Facultad de Geología de la Universidad de Varsovia y sus investigaciones se centraron en la geología de los Montes Tatra y las Montañas Pieniny, con especial énfasis en el análisis estadístico mesoestructural y en los estudios fotogeológicos.

En 1969 defendió su tesis doctoral (premiada por el Rector de la Universidad de Varsovia) con el título "Análisis fotointerpretativo cualitativo de las estructuras disyuntivas

del basamento cristalino de los Montes Tatra Polacos". En los últimos años de su trabajo en la Facultad de Geología impartió conferencias sobre tectónica y cartografía geológica.

En 1971 comenzó su actividad científica en el Departamento de Ciencias Geológicas (más tarde Instituto de Ciencias Geológicas) de la Academia de Ciencias de Polonia, donde se le ofreció participar en un proyecto internacional co-ejecutado por la Academia de Ciencias de Polonia y la Academia de Ciencias de Cuba, destinado a la preparación del Mapa Geológico de Cuba en la escala 1:250.000. En los años 1971-1975 Krystyna Piotrowska realizó investigaciones y trabajos cartográfico-geológicos sobre la elaboración del mapa geológico de la provincia de Pinar del Río, en el occidente de Cuba y en los años 1977-1982 supervisó una expedición del equipo polaco-cubano que trabajaba en el mapa de la provincia de Matanzas en el centro-occidente de la República de Cuba. En el transcurso de los trabajos de investigación y cartográficos relacionados con dicho proyecto, junto con las especialistas cubanos, se realizaron mapas geológicos y tectónicos en las escalas 1:250.000 y 1:100.000; perfiles y sondeos documentados, así como el reconocimiento de las características tectónicas de Cuba, la unificación de la litoestratigrafía de las unidades formales, la identificación

de nuevas unidades y miles de determinaciones micropaleontológicas y macrofaunísticas. El resultado de estos trabajos fue también una tesis de Krystyna Piotrowska titulada "Estructuras del manto del oeste de Cuba a partir del ejemplo de la Sierra de los Órganos", sobre cuya base se le concedió en 1978 el título de Doctora en Ciencias Naturales. En los años 1994-2002 Krystyna Piotrowska trabajó simultáneamente en el Instituto de Geografía de la Academia Santacruensis (Świętokrzyskie) como jefa del Departamento de Fundamentos de la Geología. Impartió clases con estudiantes de Ciencias de la Tierra y fue supervisora de numerosas tesis de master y licenciatura.

El primero de Enero de 1995 Krystyna Piotrowska comenzó a trabajar en el Instituto Geológico Estatal (PIB), donde en los años 2002-2006 dirigió el Departamento de Cartografía Geológica. Durante sus 20 años de trabajo en el Instituto, fue responsable de las hojas del Mapa Geológico Detallado de Polonia a escala 1:50.000 y del Mapa Geológico de Polonia a escala 1:200.000, y puso en marcha numerosos proyectos, como los mapas geológicos y turísticos de los parques nacionales y paisajísticos. También es coautora del Diccionario de Unidades Litoestratigráficas de Polonia y fue una de las editoras científicas del Mapa Geológico de Polonia a escala 1:500.000. Su papel fue fundamental en el inicio de la aplicación de métodos de geofísica superficial y en el desarrollo de modelos geológicos en el Instituto, como co-creadora del modelo espacial de la estructura geológica profunda de Polonia. En los años 2005-2015 dirigió su mayor proyecto en el Instituto: trabajos sobre el Mapa Geológico Detallado de los Montes Tatra a escala 1:10.000, reuniendo a un grupo de geólogos de Varsovia, Cracovia, Wrocław y geólogos del Servicio Geológico Eslovaco (Instituto Geológico Estatal Dionýz Štúr).

El proyecto a largo plazo culminó con la publicación de 25 hojas, incluidas 16 hojas limítrofes entre Polonia y Eslovaquia. El efecto de la cooperación extranjera fue también su coautoría del Mapa Geológico-Educativo de los Montes Tatra en la escala 1:50.000 y la producción del Mapa Geológico de los Montes Tatra para el Atlas del Parque Nacional. Durante estos trabajos, se ocupó especialmente de los jóvenes geólogos y apoyó activamente sus trabajos y estudios durante todo el proceso de cartografía geológica.

En el año 2000, Krystyna Piotrowska recibió del Presidente de la República de Polonia el título de Catedrática de Ciencias de la Tierra. Por sus logros, fue condecorada con la Cruz Dorada al Mérito (2005), la Insignia Dorada del Instituto Geológico Polaco (2013) y la insignia honorífica al Mérito de la Geología Polaca.

Fue miembro de muchos Consejos Científicos, entre ellos, el Consejo de la Facultad de Matemáticas y Ciencias Naturales de la Universidad Tecnológica de Silesia, el Comité de Ciencias Geológicas de la Academia Polaca de Ciencias, la Comisión para la Aceptación de Estudios Cartográficos, el Consejo Editorial del Geological Quarterly, el Comité Editorial de Trabajos del PGI y los trabajos del Instituto de Geografía de la Academia Santacruensis (Świętokrzyska), el Consejo de Programa del Atlas de los Montes Tatra y la Comisión de Unificación y Redacción del Mapa Geológico de Cuba. Como parte de su actividad, asumió la evaluación de los logros científicos y la emisión de opiniones sobre las solicitudes de otorgamiento de títulos científicos, así como la revisión de estudios y artículos cartográficos y fue tutora de dos tesis para el grado de doctor.

Krystyna Piotrowska dedicó su vida profesional principalmente a sus amadas montañas Tatra y a la geología de Cuba. Su dedicación a la tectónica de los Montes Tatra, desde su época universitaria se extendió hasta la práctica del alpinismo realizando escaladas de invierno y verano en equipos femeninos. Fue una persona comprometida y entregada casi hasta el final de sus años. Siempre alegre y amistosa, invitó a cooperar a geólogos de varios centros de investigación. Se unió en la búsqueda de descubrimientos conjuntos, organizó conferencias científicas y numerosas reuniones en el campo. Le gustaba y apreciaba el trabajo con los jóvenes. Entrenó a geólogos cubanos que colaboraron con ella en el levantamiento geológico de Cuba. Siempre llena de energía y carisma, desarrolló en sus alumnos curiosidad por la geología y sensibilidad por la naturaleza.

Durante muchos años, compartió su pasión y trabajo profesional en Polonia y en Cuba con su esposo, también geólogo y cartógrafo, el Dr. Jerzy Piotrowski, finado años antes.

La misa funeral por la Doctora Krystyna Piotrowska se realizó el 4 de Febrero de 2022 a las 12:00 en la iglesia de St. Borromeo y después se le llevó a la tumba familiar en Stare Powązki.

Traducción del polaco por Humberto Álvarez Sánchez, revisada por el Doctor Andrzej Pszczółkowski; sobre la base de la Nota necrológica publicada el 31 de enero de 2022 por el Instituto Geológico Polaco-Instituto Nacional de Investigación. En homenaje a la vida de la Doctora Krystyna Piotrowska.

<https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Krystyna-Piotrowska-83838866>

PIONEROS DE LAS GEOCIENCIAS

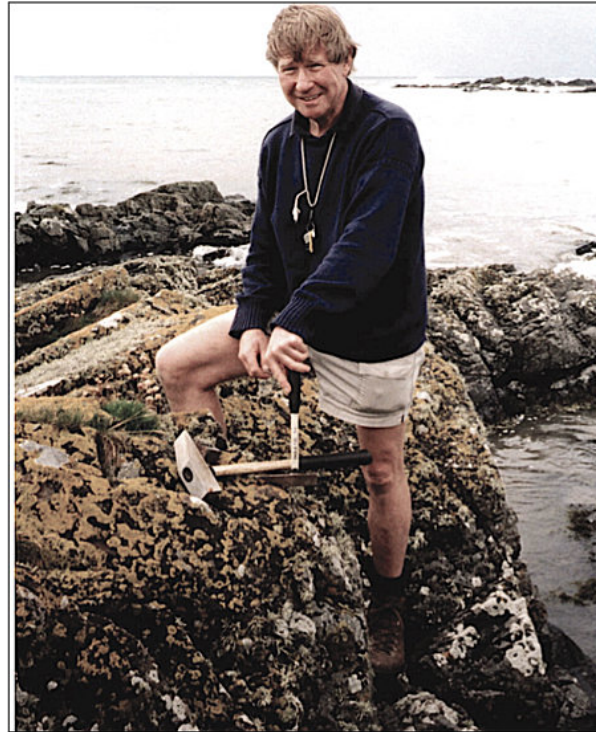
John F. Dewey

“The continents stay on top like a scum.... It stays on top and squashes and scrunches and makes a mountain belt.”

Geologists must often think in staggeringly long time spans and jump mentally between spatial scales, both microscopic and macroscopic. So, for fun, some do as geologist **John F. Dewey** has for the past three decades: shrink time and space to a more human scale by building model railways. Dewey has been tooling with an extensive model of a spiraling Swiss Alpine railway, housed now in the garage of his California home. Here, boxcars are about 6 inches long, but for Dewey the focus is on rocks, not rails. “I try to get the scenery to look like the geology of Switzerland,” Dewey says. “You can see the rocks tilting in the correct direction up in the mountainside. The scenery is very serious, actually. The geology is correct.”

Dewey brings the same attention to detail in his research on orogeny, the geological process of mountain building. “The earth generates enormous complexity on a small scale,” he says. “The great trick is taking that complexity, analyzing and synthesizing it, and then pulling it through into the larger scale.” This perspective—seeing the mountain for the rocks, one might say—is one of the hallmarks of Dewey’s research. It led first to his pursuit of a unifying theory for the formation of mountain belts in Ireland and the eastern United States, and then to his groundbreaking proposals in 1968 of how plate tectonics could explain orogeny. Like the mountain belts he studies, Dewey’s career has straddled the Atlantic Ocean, with academic posts in both his native England and the United States, where he is now Distinguished Professor of Geology at the University of California, Davis (Davis, CA).

In his Inaugural Article, published in this issue of PNAS, Dewey presents the results of research underway since his election to the National Academy of Sciences in 1997 (1). In the paper, he reports on processes that can build mountains in surprisingly short geologic times, which he illustrates with detailed evidence from the Irish mountains that he has been studying since his doctoral work 47 years ago.



Simultaneous Obsessions

As a child in London during World War II and its aftermath, Dewey excelled at sports—boxing, rugby, cricket, gymnastics, even the high jump and javelin. “I was obsessed with sport; I really was,” he says, “but it was clear that I was not good enough to get to the top in any of them. And I was really ambitious. I wanted to be the top of something.” At age 16, he found a field in which he would lead. During a holiday in Devon, England, he learned a bit of field geology with his great uncle, Henry Dewey, a geologist with the British government. Intrigued, the young Dewey considered studying geology for a career and found that his plan met with the approval of his housemaster at Bancroft’s School (Essex, U.K.), an amateur geologist named John Hayward. Immediately, academic studies became a “simultaneous obsession,” along with sports, Dewey says. He attended Queen Mary, University of London, where he graduated with a first-class geology degree in 1958.

Dewey was less interested in the booming fields of mining and petroleum applications and more attracted to academic geology, where he could pursue the sort of teaching he enjoyed during his frequent lectures to schoolchildren. He performed graduate work at Imperial College London, where he studied the Irish Caledonian mountain belt, which would come to dominate his subsequent research career. After earning his doctorate in 1960, Dewey worked as a lecturer at the University of Manchester (Manchester, U.K.) and the University of Cambridge (Cambridge, U.K.).

Linking Oceans and Mountains

The late 1960s marked a turning point both in Dewey’s career and in the field of geology. In 1967, Dewey took a 3-month sabbatical to work at the Lamont Geological Observatory (now the Lamont–Doherty Earth Observatory) in New York. He studied the Appalachian/Caledonian belt, which comprised the other tails of the Irish Caledonides that he had investigated during his doctoral work. These mountains are part of a range that curves from the eastern United States around to Greenland, Norway, and Scotland. With the help of a large map and extensive research in the Columbia University (New York) library, Dewey plotted the geologic details of the entire Caledonian system, struggling to make sense of it.

As Dewey worked toward a unifying explanation for orogeny, the then-new theory of plate tectonics was beginning to take hold in the geology world. Researchers had been trying to solve the puzzle of why rocks from the ocean were so young, roughly 160 million years and younger, versus the 4-billion-year-old rocks from the continents. Geologists at Lamont and elsewhere began to realize that deep ridges in the ocean were constantly being pulled apart by strong geological forces, with new oceanic crust forming at the axial crack and carried outward as if on a conveyor belt, a phenomenon called seafloor spreading. The old oceanic crust is then pulled back down into the earth’s interior and destroyed at oceanic trenches, or subduction zones.

Gradually, plate tectonics began to explain the puzzling observations from the oceans. Dewey, however, brought the theory ashore and used it to solve the puzzles of mountain belts. Through his research, he began to realize that there existed mountain belts of different rock types

that could be explained only by the opening and closing of an ocean between them.

Plate tectonics could address this question directly. Researchers saw that continental plates sat on top of the ocean’s rocks because they are much lighter and weaker. “The continents stay on top like a scum. So when one continent collides with another, it won’t go down the tubes” and into the earth, as an oceanic plate would, Dewey says. “It stays on top and squashes and scrunches and makes a mountain belt.” While at Lamont, Dewey filled in the details of seafloor spreading, colliding continents, and mountain building. “They just exploded,” he says of the papers he wrote during this time (2, 3). “That was what got me going in plate tectonics. I was always interested not just in the details of geology but how all the details put together to give you the bigger picture.”

From Ink to Computers

Dewey feels lucky to have been at Lamont during that time, when renowned scientists such as Walter C. Pitman III and Lynn R. Sykes were there. Plus, he says, “I got to love America. It was a cultural delight. America was open and lively and a freewheeling place. It was a free and exciting period,” he says. In 1970, Dewey took a position at State University of New York at Albany. The next 12 years were fabulous, Dewey says. “I had superb students, great colleagues, and we just did a huge amount of research. We changed the way people thought about the world.” Until the early 1970s, he studied old mountain belts, such as the 400-million-year-old Appalachian system. After a while, he began extending his research to younger mountain belts such as the Alps, Himalayas, and Andes, where signs of the ongoing mountain building were still evident (4–6).

When it comes to choosing research topics, Dewey says, “I just follow my nose. If something really interests me much more than what I’m doing now, I just drop what I’m doing now and start on something else.” He cites as a major influence in this philosophy the late Sir Edward “Teddy” Bullard, who told him not to follow the advice of “older people” and instead just pursue interests without fear of failure. His thinking has always been quite visual, he says—another bonus in geology. He believes strongly in the value of drawing maps, which necessitates going into the field, looking at the rocks in immense detail, and then being able to see the larger picture. Early in his career, Dewey drew maps by hand, with stencils and inks, but by the late 1990s he was happily using ILLUSTRATOR (Adobe Systems, San

Jose, CA) to create his maps on the computer. "I was a bit late coming to computers, really," he says.

The American West

After a decade of research in New York, Dewey began to feel "a bit foot-loose again" and entertained thoughts of moving elsewhere. Courted for years by various English universities, he finally accepted a position as chair of the Department of Geological Sciences at the University of Durham (Durham, U.K.) in 1982. In 1986, he moved again to serve as chair of the Department of Earth Sciences at the University of Oxford. In his first 5–6 years at Oxford, Dewey was happy as he carried out more research on the British and Irish Caledonides (7–9). Yet dissatisfaction with British academic culture caught up with him before long. "I got tired of a closed, class-based society," he says. At the age of 63, he examined the career choices in front of him. "I thought I was going downhill a bit intellectually, and so, come 2001, I thought, 'Well, do I really want to retire and become an old emeritus in Oxford, or do I want to break out again?'" he says. "So I broke out again."

"Just how long does it really take to make a mountain?"

This time, he headed to California, accepting a Professor of Geology position at the University of California, Davis, in 2001. It was "an immense intellectual rejuvenation," he says, as he began new research projects in the Sierra Nevada and Rocky mountain ranges (10). He skied the slopes surrounding Lake Tahoe, but, most importantly, he was back in an academic environment that challenged him.

Quick-Cooking Mountains

Dewey's PNAS Inaugural Article (1), which exemplifies his research style, involves massive data synthesis and springs from his line of detailed work on the Irish Caledonides, which he has studied for 47 years (7–11). The research "is something I'm known for, and, although it sounds immodest, nobody else is really capable of writing this paper," he says. The research concerns the formation and destruction of mountain belts and looks to resolve the question, "Just how long does it really take to make a mountain?" The answer may be surprising, Dewey says. "People think of mountain building as a long, slow process," on the order of 50 million years, he says. Yet when he synthesized the sedimentologic, mineral, and geochronologic data for the Irish Caledonides, the model pointed to something more rapid. "These mountains were made and destroyed in 10–12 million years," Dewey says,

"and that's really a new concept." In the case of the Irish Caledonides, this arc of islands on the edge of a dense oceanic plate began colliding with a continental plate roughly 475 million years ago. The islands essentially climbed on top of the continent, Dewey says, forming the mountain range. The mountain-building process was cut short, however, because the oceanic plate was heavy enough to sink beneath the continent, which formed a new subduction zone and relieved the collision pressures rather quickly. In contrast, two colliding continents have no avenue of escape, and so they build in pressure and continue to form mountains over many more millions of years.

According to Dewey, this work might spur a revisitation of other mountain belts. In particular, one aspect of orogeny may need to be reexamined: the metamorphism and heat transfer in rocks. In traditional models, the rocks in developing mountains heat up gradually by conduction under the forces of collision. "It is now quite clear that all those models are completely wrong," he says. "These rocks heated up very, very quickly. The only way you can do that is shove into them something very hot, or intrude some very hot liquid," like magma. "Basically, I'm now convinced, and I think I can prove it in many orogenic belts of all ages around the world, that metamorphism takes place very, very fast, and all these conductive models cannot be right."

Importance of Sweat

In October of this year, Dewey plans to give a talk at the annual meeting of the Geological Society of America in Salt Lake City on one of his favorite topics: balancing detail and the big picture in geology and geophysics. On the one hand, geologists have always tended to "get rather obsessed with a very small scale, the particular, the minutiae, the details," Dewey says, "and geophysicists tend to think on whole-earth scales, because they can't deal with the immense complexity that we have on a small scale. So there's a terrible spatial and temporal gap, and I think we need to get over that."

Dewey believes the answer lies in more intensely focused field work and in "getting sweaty. The truth resides in the rocks," he says. "The rocks don't lie." He says studies of the rocks "are difficult, and it's hard work if you're really getting at the maps. But if you have intelligent maps about rocks, you can do a lot." He points to another role model in this respect, geologist Robert Shackleton. Abstract models

"can run away with us," Dewey says. "They're mathematically great fun to do, but you mustn't ever believe them."

Although Dewey plans to retire in the not-too-distant future, he says he will never be able to leave geology entirely. He and his wife, Molly, plan to split their time among California, Ireland, England, South Africa, and New Zealand. Dewey says he hopes to stay fit through his wide-ranging athletic regimen of fishing, swimming, cycling,

playing cricket and tennis, and walking the hills of his beloved mountains. And, even if he does not leave his house, he can still immerse himself in Alpine geology. "I normally do a tiny bit here and there on the model," he says, "but, when I retire next year, I'll spend a tremendous 6 months and just have a real bash of the railway."

Source: <https://www.pnas.org/content/102/43/15283>



John Dewey of Cambridge University discusses the origins of the Appalachian-Caledonian mountain range at the History of the Earth's Crust Symposium. Credit: Barrett Gallagher

Researchgate: <https://www.researchgate.net/profile/John-Dewey>

<https://www.geosociety.org/awards/06speeches/sgt.htm>

<https://www.jsu.utexas.edu/news/2017/11/john-dewey-thoughts-from-one-of-the-founding-fathers-of-the-theory-of-plate-tectonics-on-geology-education-and-his-own-illustrious-career/>

GSA Award: <https://www.geosociety.org/awards/06speeches/sgt.htm>

PUBLICACIONES

TESIS & RESÚMENES

Mario E. Manrique Oviedo

Determinación de la densidad poblacional de huellas de fisión nuclear espontáneas en obsidias del domo riolítico san Antonio, ubicado en fundo Michihuasi en el Distrito Caylloma, provincia de Caylloma de la región de Arequipa, Perú

Universidad Nacional De San Agustín de Arequipa

Tesis de Maestría para optar el título profesional de Ingeniero Geólogo, 2021

Asesor: **Dr. Fredy Fortunato García Zúñiga**

Resumen

El presente trabajo realizado en el domo riolítico San Antonio, a proximidades del Fundo Michihuasi, distrito y provincia de Caylloma, departamento de Arequipa, está situado a una altitud de 4650 m.s.n.m., presenta un relieve variado, plano y ligeramente ondulado en la parte superior, las laderas al norte presentan poca pendiente y hacia el sur son abruptas y limitan con el borde de la caldera de Caylloma.

Las rocas más antiguas corresponden a sedimentitas marinas del Grupo Yura seguida por rocas volcánicas del Terciario de los grupos Tacaza y Barroso. El Grupo Tacaza contiene yacimientos epitermales de baja, media y alta sulfuración y el Grupo Barroso está formado por intrusiones tipo domo - lava y domos de naturaleza andesítica a riolítica.

Del caparazón vítreo del domo riolítico San Antonio se extrajeron 2 muestras de roca in situ, se seleccionaron cuidadosamente 7 obsidias que fueron preparadas y analizadas en el Laboratorio de Física de la Universidad Nacional de San Agustín con el fin de evidenciar huellas de fisión nuclear. Estas obsidias fueron atacadas con ácido fluorhídrico a una concentración de 45% y a una temperatura constante de 15.1°C y a diferentes intervalos de tiempo. La muestra obsidiana codificada como C-11 con un tiempo de ataque de 240 segundos es la que expone mejores resultados de huellas de Fisión nuclear siendo la densidad poblacional promedio de $8.236 \pm 0.510 \times 10^{-3}$ (huellas/cm²) y su diámetro promedio de $15.929 \pm 0.445 \mu\text{m}$.

Figura 1.1. Localización de la zona de estudio.



Tomografía eléctrica para exploración geohidrológica en un sector del acuífero La Misión, Baja California

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

Maestría en Ciencias en Ciencias de la Tierra con orientación en Geofísica Aplicada, 2021

Sustentante: **Paul Alexander Calderón Pulido**

Director de tesis: *Dr. Marco Antonio Pérez Flores*

Resumen

El acuífero de La Misión, ubicado en una porción Noroeste del estado de Baja California, ha cumplido con el objetivo de proveer agua a algunas poblaciones del estado.

En el transcurso del tiempo se ha realizado una variedad de estudios en el acuífero, los cuales han inferido un decremento en la disponibilidad y calidad del agua, motivo de este estudio. Se escogió una sección del acuífero donde existe contacto con un tributario para ejecutar un levantamiento geoelectrónico utilizando métodos de corriente directa. Se extrajeron datos de 15 perfiles utilizando las configuraciones tetrapolares: Wenner, Schlumberger y Dipolo-Dipolo. Como la vegetación es abundante, los perfiles no pudieron realizarse en línea recta y tomaron caminos irregulares. Se extrajeron 2 muestras de agua a lo largo de los límites del área para medir sus propiedades físicas y relacionarlas con los resultados. Se eliminaron datos inconsistentes, se calculó el factor geométrico con precisión al usar el posicionamiento de los electrodos con GPS y se aplicó una inversión en dos y tres dimensiones para generar modelos de la zona de estudio. Se escogió el mejor modelo y se concluyó la existencia de 4 grupos: dos flujos de agua, una zona de mezcla y una zona conductora. Las mediciones de resistividad de las muestras de agua coinciden con los respectivos grupos declarados del modelo final.

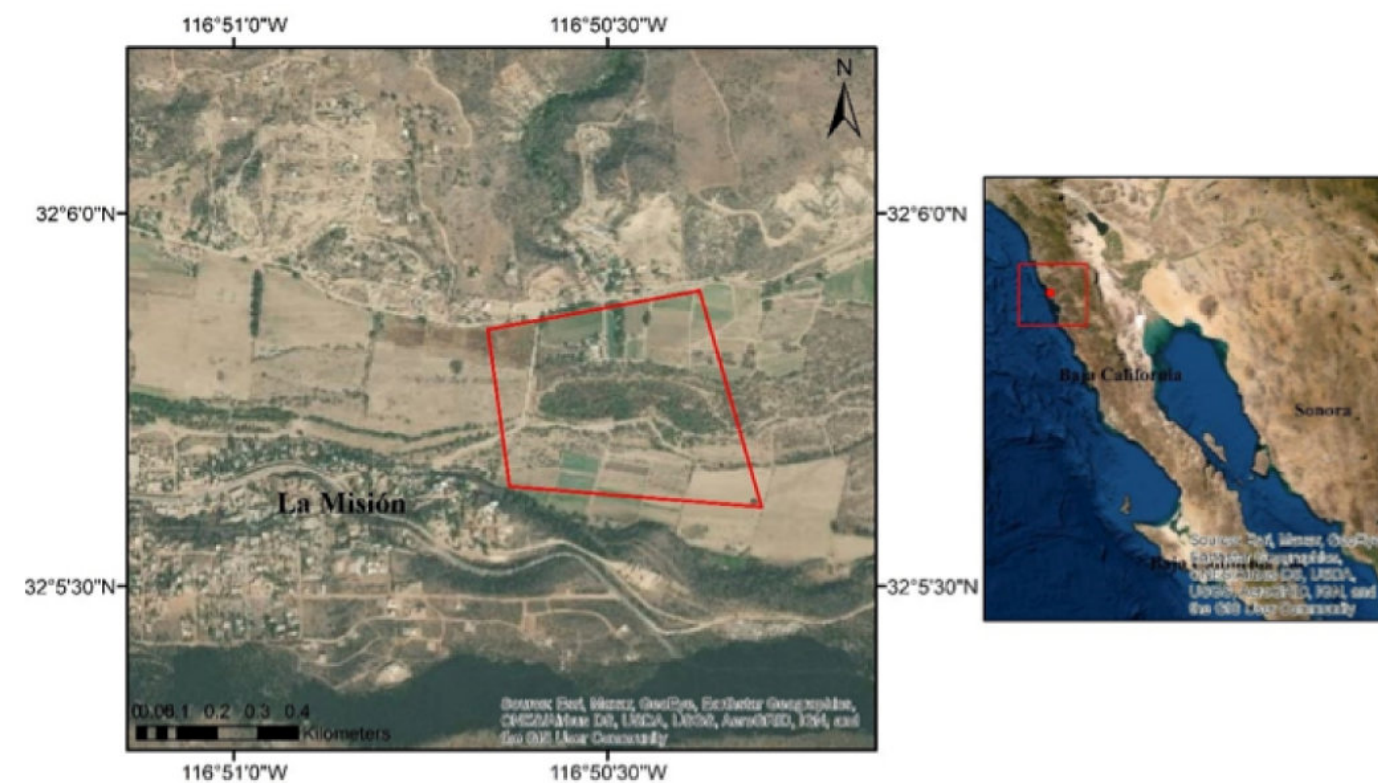


Figura 1.1. Ubicación de La Misión, Baja California, mapa generado por ArcGIS.

Prospección geofísica con GPR y sísmica en la zona arqueológica de Peralta, Guanajuato, México

Instituto Politécnico Nacional.

Tesis para obtener el título de: Ingeniero Geofísico, 2021

Sustentantes: **Cruz Cruz Ildefonso Xocoyotzin y Cruz Segundo Alejandro**

Director de tesis: *Ing. Miguel Gómez Santiago.*

Resumen.

En el presente trabajo se aborda el uso de técnicas de exploración geofísica con la finalidad de ayudar al estudio de la zona arqueológica de Peralta en estado de Guanajuato, tal es el caso del so del Radar de Penetración Terrestre RTP o GPR por sus siglas en ingles ha sido usado en estudio de sitios arqueológicos por su alta resolución, la rapidez al momento de realizar el levantamiento y la visualización en campo de los datos con un procesamiento preliminar. La sísmica de refracción la cual nos ayuda a identificar las diferentes velocidades de propagación de onda en el subsuelo y así determinar diferentes capas de dentro del mismo, así como espesores de dichas capas. Y por último el uso de la técnica de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) es un método que analiza las propiedades de propagación de las ondas sísmicas superficiales (Vs) y la cual nos sirve para determinar la estabilidad del subsuelo. En este trabajo se realizó sobre la estructura principal de la zona arqueológica denominada Recinto de los Gobernantes tomando un total de 16 radargramas y 2 volúmenes de adquisición con GPR sobre dicha estructura, además de 6 perfiles de refracción alrededor de la zona de estudio y 17 puntos de atribución para la técnica de MASW. Cada uno de los datos de adquisición se procesaron en softwares especializados. Al término del procesamiento de los datos en los resultados se encontraron posibles objetos de interés arqueológico, así como la determinación de diferentes espesores de los materiales de construcción y la profundidad a la cual estría el nivel del suelo original sobre el cual se comenzó la construcción de la estructura aquí estudiada. También se logró realizar una correlación entre dos de los perfiles de refracción que se tomaron dentro de la estructura de estudio con los resultados obtenidos en el volumen de adquisición tomados en el mismo sitio.

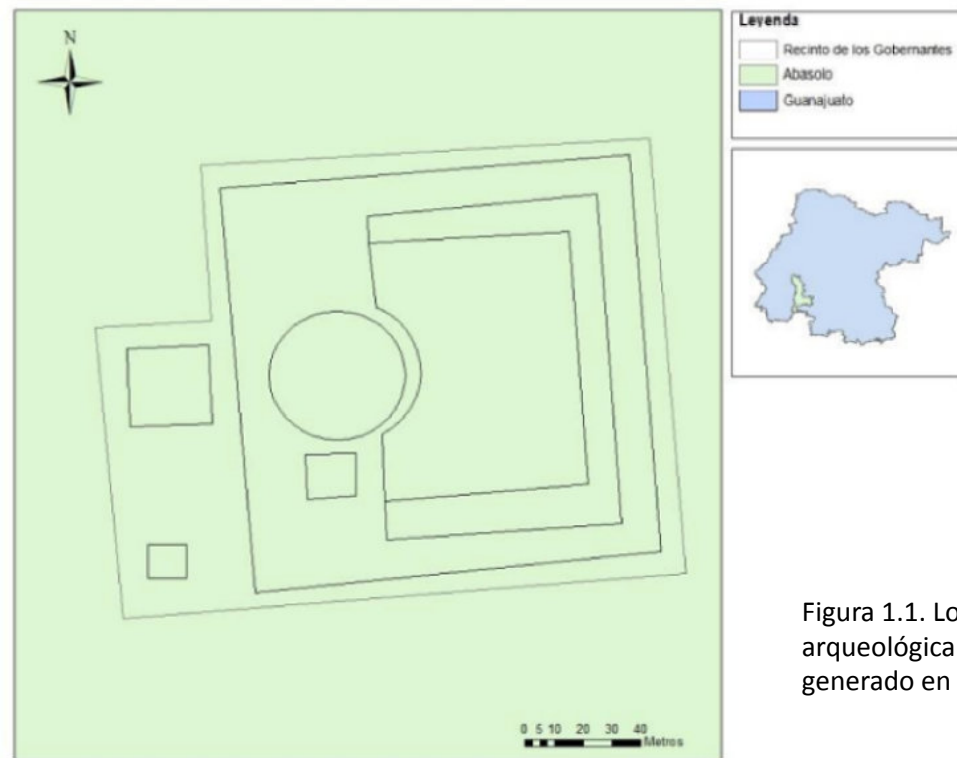


Figura 1.1. Localización de la zona arqueológica Peralta, Guanajuato. [mapa generado en QGIS]

Caracterización litoestratigráfica de la Caliza Chimeco y la Formación Mapache en el Cerro Boludo, Municipio de Chila de las Flores, Puebla, México.

Universidad Nacional Autónoma de México

Tesis para obtener el título de: Ingeniero Geólogo, 2020

Sustentante: **Alex Altamirano Cabello**

Directora de tesis: *Dra. Mayumy Amparo Cabrera Ramírez*

Resumen.

El área de estudio se localiza en el municipio Chila de las Flores, definido entre los límites sur de Puebla y norte de Oaxaca, es parte de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre del Sur y de la Subprovincia Cordillera Costera del Sur. Se realizó un estudio estratigráfico, sedimentológico y petrográfico de la Caliza Chimeco (Oxfordiano) y la Formación Mapache (KimmeridgianoTitoniano), ambas expuestas en la periferia del Cerro Boludo, el cual es parte del poblado Santa Ana Los Vázquez.

Los estudios estratigráficos, sedimentológicos y petrográficos de las unidades consisten en el análisis de características litológicas, estudio de sus respectivas estructuras sedimentarias, el análisis de secciones delgadas, elaboración de secciones sedimentarias (una por unidad estratigráfica) e interpretación de ambientes de depósito de la Caliza Chimeco y la Formación Mapache. La Caliza Chimeco se encuentra constituida por margas, margas con ooides, limolita calcárea y, según la clasificación de Dunham (1962) calizas grainstone con ooides y, según la clasificación de Folk (1959) oomicrita. En conjunto, estas litologías forman un total de 63.15 m de sección sedimentaria expuesta en la periferia del Cerro Boludo.

Por otra parte, la Formación Mapache está constituida según la clasificación de Dunham (1962) por calizas grainstone con ooides, calizas grainstone con bioclastos y calizas grainstone con pellets; calizas packstone con ooides, calizas packstone con bioclastos y calizas packstone con pellets y, según la clasificación de Folk (1959): ooesparita, bioesparita, pelesparita, oomicrita, biomicrita y pelesparita, respectivamente. Las calizas conforman un total de 132 m de sección sedimentaria expuesta en la periferia del Cerro Boludo. Lo que resulta en un total de 195.15 m.

Las características litoestratigráficas de la Caliza Chimeco indica un ambiente de depósito de aguas someras áridas-semiáridas, es decir, un ambiente litoral, específicamente en subambientes backshore, berma, foreshore y shoreface. Respecto a la Formación Mapache, sus características litoestratigráficas indican un ambiente de depósito shoreface o sublitoral con comunicación intermitente al mar abierto (iniciada en la sección superior de la Caliza Chimeco) que permitía el desarrollo de abundante fauna marina (pelecípodos, gasterópodos, equinodermos, foraminíferos y braquiópodos).



Figura 1.1. Ubicación del área de estudio respecto a la división estatal y municipal. Adaptado de Biblioteca digital de mapas, Editado de Google Earth.

Acoplamiento del rumbo geoelectrico a invariantes de rotación del tensor de impedancias magnetotelúrico en presencia de distorsión galvánica.

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

Tesis para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Doctor en Ciencias en Ciencias de la Tierra con orientación en Geofísica Aplicada, 2021

Sustentante: **Rocío Fabiola Arellano Castro**

Director de tesis: *Dr. Enrique Gómez Treviño.*

Resumen.

El método magnetotelúrico se ha vuelto una técnica muy empleada en años recientes dado que permite estimar impedancias electromagnéticas de la Tierra mediante la medición de ondas electromagnéticas que tienen origen natural y que ocurren en un rango de frecuencias muy amplio. Sin embargo, estimaciones de las impedancias transversal eléctrica y transversal magnética del tensor magnetotelúrico bidimensional pueden no estar acopladas con la dirección del rumbo de la estructura, teniendo además implicaciones significativas cuando se trata con distorsiones galvánicas. Entre los métodos utilizados actualmente se pueden obtener impedancias sin distorsión combinando una ecuación cuadrática con el tensor de fase. En la terminología de Groom-Bailey, la ecuación cuadrática proporciona amplitudes y fases que son inmunes al giro o twist y el tensor de fase proporciona fases inmunes tanto al twist como a la cizalla o shear. Por otro lado, se pueden obtener los ángulos de rumbo sin distorsión utilizando el enfoque de Bahr o el tensor de fase. En principio, esto es todo lo que se necesita para proceder a una interpretación bidimensional. Sin embargo, las impedancias resultantes ignoran el rumbo porque son invariantes bajo la rotación del sistema de coordenadas y, si van a estar relacionadas con un rumbo geológico, deben estar acopladas a una dirección particular. Esta es una ambigüedad adicional a la ya conocida de 90 grados que surge en los métodos clásicos de determinación del rumbo y que debe resolverse de forma independiente. En este trabajo utilizamos el modelo de descomposición de Groom-Bailey para resolver la ambigüedad al traer de vuelta el acoplamiento entre impedancias y rumbo en presencia de distorsiones galvánicas. Nuestro enfoque es un híbrido entre los métodos numéricos y analíticos existentes que reduce el problema a una decisión binaria. Presentamos tres algoritmos, dos de ellos aún requieren optimizar el ajuste a los datos y el tercero solo necesita una comparación de fases. Los tres realizan un seguimiento de los posibles cruces de las curvas de fase, lo que proporciona una solución clara y única. Usamos datos sintéticos y de campo para ilustrar el desempeño de los tres esquemas.

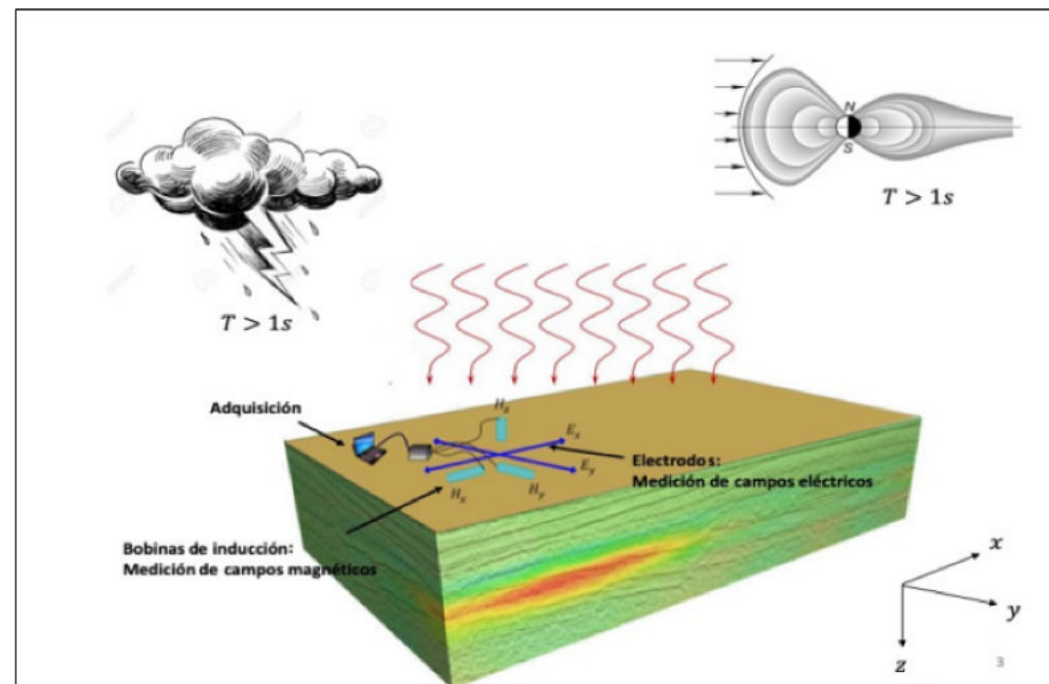


Figura 1.1. Esquema de un levantamiento del método magnetotelúrico. Se utilizan bobinas para medir los campos magnéticos y pares de electrodos para los eléctricos.

Estudio hidrogeoquímico del sistema de manantiales al Poniente y Sur de la Ciudad de Mexico.

Universidad Nacional Autónoma de México.

Tesis para obtener el grado de Maestría en Ciencias de la Tierra (Aguas subterráneas), Febrero 2021

Sustentante: **Sandra Paola Blanco Gaona**

Director de tesis: *Dr. Oscar A. Escolero Fuentes* (Instituto de Geología)

Resumen.

La complejidad del flujo y la evolución química en los sistemas de aguas subterráneas los hacen inherentemente difíciles de entender. Como enfoque para entender los sistemas de flujo de agua subterránea se ha propuesto dividirlos en componentes, de manera convencional se dividen en flujos locales y regionales. Los sistemas de flujo locales son de gran importancia en la actualidad debido a la escala de tiempo estos, la cual es suficientemente corta para reaccionar a las actividades humanas, por ello es posible evaluar el efecto de acciones humanas en el suministro de agua y plantear una gestión sostenible del recurso hídrico.

El sistema de manantiales estudiado se ubica al suroeste de la Cuenca de México, la mayoría de los manantiales descargan dentro del denominado Suelo de Conservación donde la importancia de este radica en los servicios ambientales que genera a la Ciudad de México. La relevancia de la investigación reside en que los manantiales hacen parte de un sistema de flujo local, el cual se caracteriza por un flujo activo que refleja las variaciones anuales de las condiciones climáticas actuales, con ello la escala de tiempo que afecta este tipo de flujo es suficientemente corta como para reaccionar a las actividades humanas.

Se estableció un modelo hidrogeoquímico del funcionamiento de los manantiales; para ello se aplicó el enfoque multicriterio combinando diferentes técnicas hidrogeológicas; las cuales fueron monitoreo, modelación hidrogeoquímica e isótopos. Mediante el monitoreo de parámetros fisicoquímicos en 14 manantiales durante el año 2019, se identificó la influencia del clima en los manantiales.

Como proceso anterior a la modelación se analizaron 41 datos químicos e isotópicos de muestra de agua de manantial, con el propósito de determinar el origen y la circulación del agua subterránea; con ello se identificó una evolución natural y una evolución por contaminación en las aguas. La evolución por composición natural se caracteriza por manantiales poco mineralizados (conductividades menores a 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y la evolución atribuida por contaminación se caracteriza por el aumento de la mineralización debido al aumento de la influencia antropogénica.

Posteriormente, a partir de diagramas bivariantes de las concentraciones iónicas e isótopos estables, se logró identificar los principales procesos físicos y químicos que controlan las características iónicas de los manantiales. Los diferentes procesos identificados fueron evapoconcentración, disolución de CO_2 , intercambio iónico, hidrólisis y precipitación de silicatos. Para validar los procesos en los manantiales, se aplicó modelación hidrogeoquímica, para ello se realizó una modelación directa para concentrar los iones por evaporación y una modelación inversa para cuantificar todos los procesos identificados. Los procesos más relevantes se llevan a cabo en la zona no saturada, es decir concentración por evaporación y disolución de CO_2 .

Por último, la información isotópica se comparó con la Línea Mundial de las aguas meteóricas y con la Línea local de las aguas meteóricas, indicando que el agua subterránea deriva de precipitaciones locales.

Con base al gradiente isotópico se presenta una clasificación de los manantiales, donde se observa una coherencia espacial, química y geológica. En las partes altas los manantiales sufren evaporación desde la superficie debido a la influencia climática directa, y no presentan mayor evolución química; en contraste, en las partes bajas no se presenta una influencia climática directa sino desfasada, además, un aumento en las concentraciones iónicas.

Se concluye una influencia del clima en los manantiales que se amortigua a medida que el flujo de agua alcanza mayor profundidad. Se establece un componente corto, medio y largo del sistema de flujo local.

El primero y el segundo tienen en común manantiales que descargan dentro del suelo de conservación y cuya evolución química se da por procesos naturales. Estos manantiales están dentro de la formación de las Cruces y se diferencian porque el componente corto presenta una mayor influencia del clima. El componente corto se presenta sobre el derrame del Xitle, con poca presencia de suelo (litosoles), una alta influencia antropogénica y un aumento en la profundización del flujo de agua.

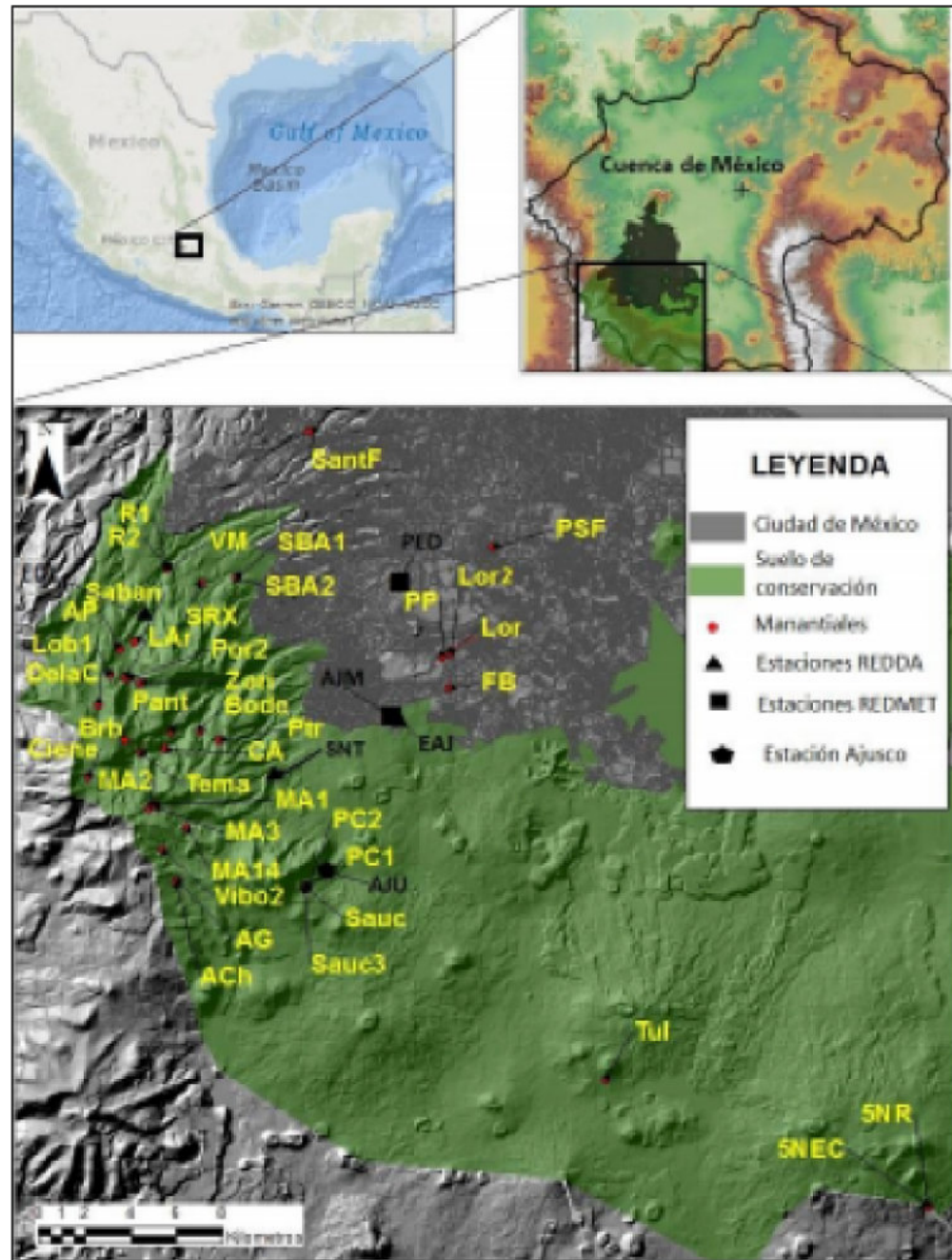


Figura 1.1. Localización de la zona de estudio, figura parte superior Norteamérica y Centroamérica, figura del medio se observa la Cuenca de México con sus límites y dentro de ella la Ciudad de México, en color gris el suelo urbano y en color verde el suelo de conservación. Por último, en la parte inferior se observa la ubicación de los manantiales, donde se puede observar que en su gran mayoría descargan en la Sierra de las Cruces. Se observan 3 estaciones del programa Red de Deposito Atmosférico (REDDA), las estaciones Exconvento Desierto de los Leones (EDL), Eco guardas Ajusco (EAJ) y San Nicolas Totolapan (STN); del programa Red de Meteorología y Radiación Solar (REDMET) se ubican dos estaciones dentro del suelo urbano, Ajusco Medio (AJIM) y Pedregal (PED). Finalmente se observa la estación meteorológica en la zona del Ajusco.

Determinación del estado de equilibrio químico fluido-roca del yacimiento geotérmico Cerro Prieto-I, Baja California, a partir de la geotermometría de solutos

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

Tesis para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Maestro en Ciencias: 2022

Sustentante: **Annelly Reyna Avilez**

Director de tesis: *Dr. Efraín Gómez Arias*

Resumen

El estado de equilibrio en un sistema geotérmico se puede determinar a partir de la interacción fluido-roca que se lleva a cabo en el yacimiento, donde la composición química de los fluidos (vapor y agua) dependerá del tiempo de interacción con la roca y de la temperatura, lo que resulta un cambio en la composición mineralógica de la roca (alteración mineral) del yacimiento. La temperatura del yacimiento se puede estimar a partir del uso de geotermómetros, los cuales son ecuaciones analíticas desarrollados a partir de la composición química de fluidos y del estado de equilibrio químico que existe entre la interacción fluido-roca. Cuando hay variación en las condiciones de equilibrio, la estimación de la temperatura con la geotermometría puede ser equivocada. En el presente trabajo, se realizó un análisis termodinámico-químico del estado de equilibrio fluido-roca de la sección-I del campo geotérmico de Cerro Prieto, a partir de información de la composición química de fluidos de pozos. Se desarrolló un programa (en lenguaje fortran) para el cálculo de las actividades iónicas y coeficientes de actividad para los principales constituyentes iónicos disueltos en las aguas geotérmicas (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+}) y a partir de diagramas de estabilidad mineral se observó que los fluidos geotérmicos del campo, tienden al equilibrio entre los minerales microclina (feldespatos-K) y albita (plagioclasa-Na). El mineral que gobierna al Ca^{2+} en el fluido es la wairakita. Con esto se determinó que el CGCP-I se encuentra en cuasi-equilibrio a una temperatura de 280 C. Además, se desarrollaron geotermómetros basados en actividades iónicas y relaciones de concentración para Na/K. Las temperaturas obtenidas por medio de los geotermómetros desarrollados en este trabajo presentan errores normalizados de $\pm 10\%$ con respecto a la temperatura del yacimiento. Por ello, al comparar su desempeño con los geotermómetros clásicos, muestran una reducción en la incertidumbre de las estimaciones de las temperaturas del yacimiento. Este trabajo propone que, con el desarrollo e implementación de geotermómetros basados en la composición química del campo geotérmico y las temperaturas de fondo de pozo (BHT), se tendría un mejor control y un monitoreo más eficaz en la estimación de las temperaturas del yacimiento y con ello complementar estudios para identificar nuevas áreas con potencial de producción en el campo geotérmico.

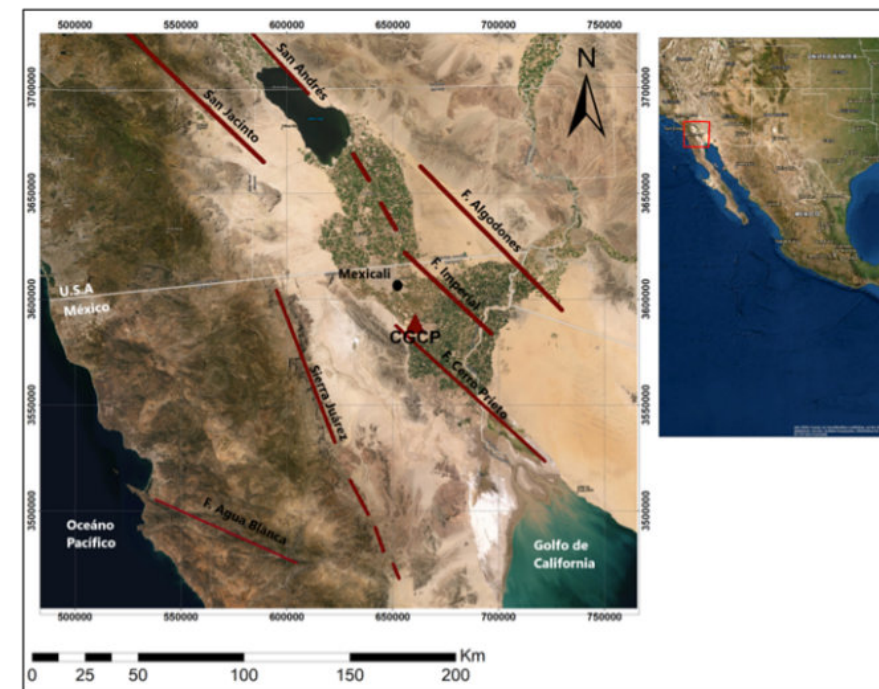
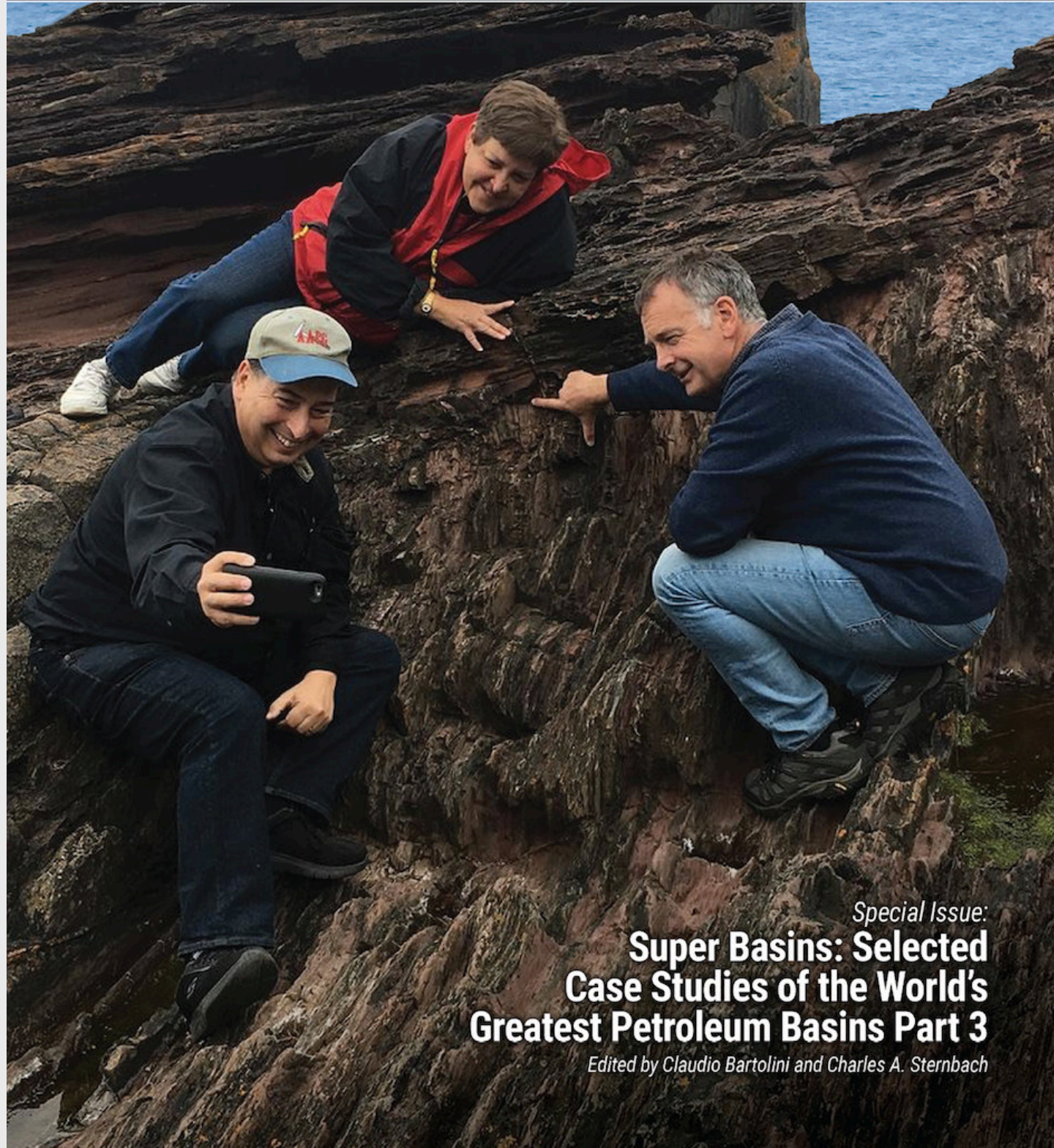


Figura 1. Zona de estudio. El campo geotérmico de Cerro Prieto (CGCP) está ubicado dentro del Saltón Trough (que se extiende desde el Mar de Saltón al sur de California, EE.UU., hasta el Golfo de California, México) a 21 km al sureste de la ciudad de Mexicali. La zona geotérmica del Valle de Mexicali se localiza dentro de la cuenca del Saltón, que abarca desde el Saltón Sea en la porción sur del estado de California (EE.UU.) hasta el Golfo de California y forma parte del sistema tectónico de San Andrés, formado por fallas transcurrentes con desplazamiento normales, de dirección general NO-SE.



Special Issue:
Super Basins: Selected Case Studies of the World's Greatest Petroleum Basins Part 3
Edited by Claudio Bartolini and Charles A. Sternbach



AAPG | BULLETIN

VOLUME 106 • NUMBER 3 • MARCH 2022

REGULAR FEATURES

Previews..... ii
Staff Editors..... iii
Association..... iv
House of Delegates vi
Instructions to Authors 632
Electronic Submission 654
Memorials 677

ON COVER – Charles Sternbach (left), Linda Sternbach (center), and John Underhill (right) at Hutton's unconformity, Siccar Point. Located on the East Lothian coast of Scotland, the unconformity represents the tectonic-megasequence boundary separating the lower Paleozoic metasediments from upper Paleozoic, red Devonian breccias and conglomerates, the significance of which is described by Underhill and Richardson's paper on the North Sea Rift Super Basin on p. 573 of this issue of the *Bulletin*. Photograph by Vrachliotis Stavros.

INTRODUCTION

Introduction to Special Issue: Super basins: Selected case studies of the world's greatest petroleum basins
Charles A. Sternbach and Claudio Bartolini 493

SUPER BASINS

Tampico-Misantla: A premier super basin in waiting
Alfredo E. Guzmán 495

The West Siberian Super Basin: The largest and most prolific hydrocarbon basin in the world
Sergey Khafizov, Pavel Syngaevsky, and John C. Dolson 517

Geological controls on petroleum plays and future opportunities in the North Sea Rift Super Basin
John R. Underhill and Nick Richardson 573

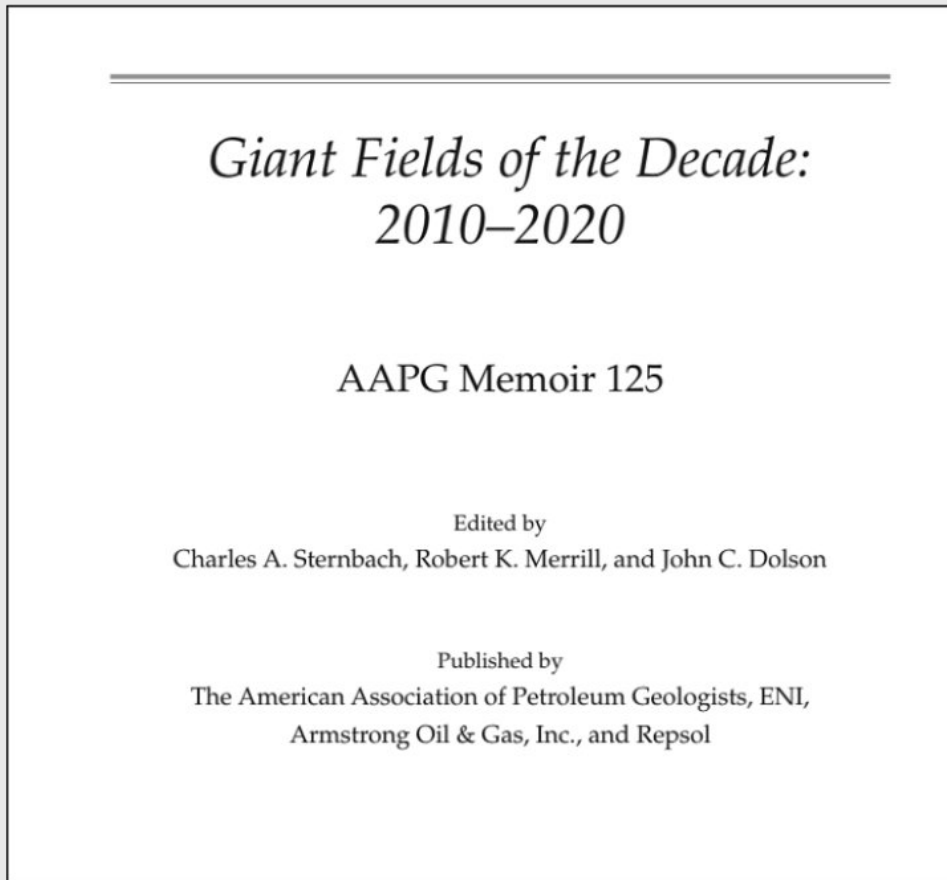
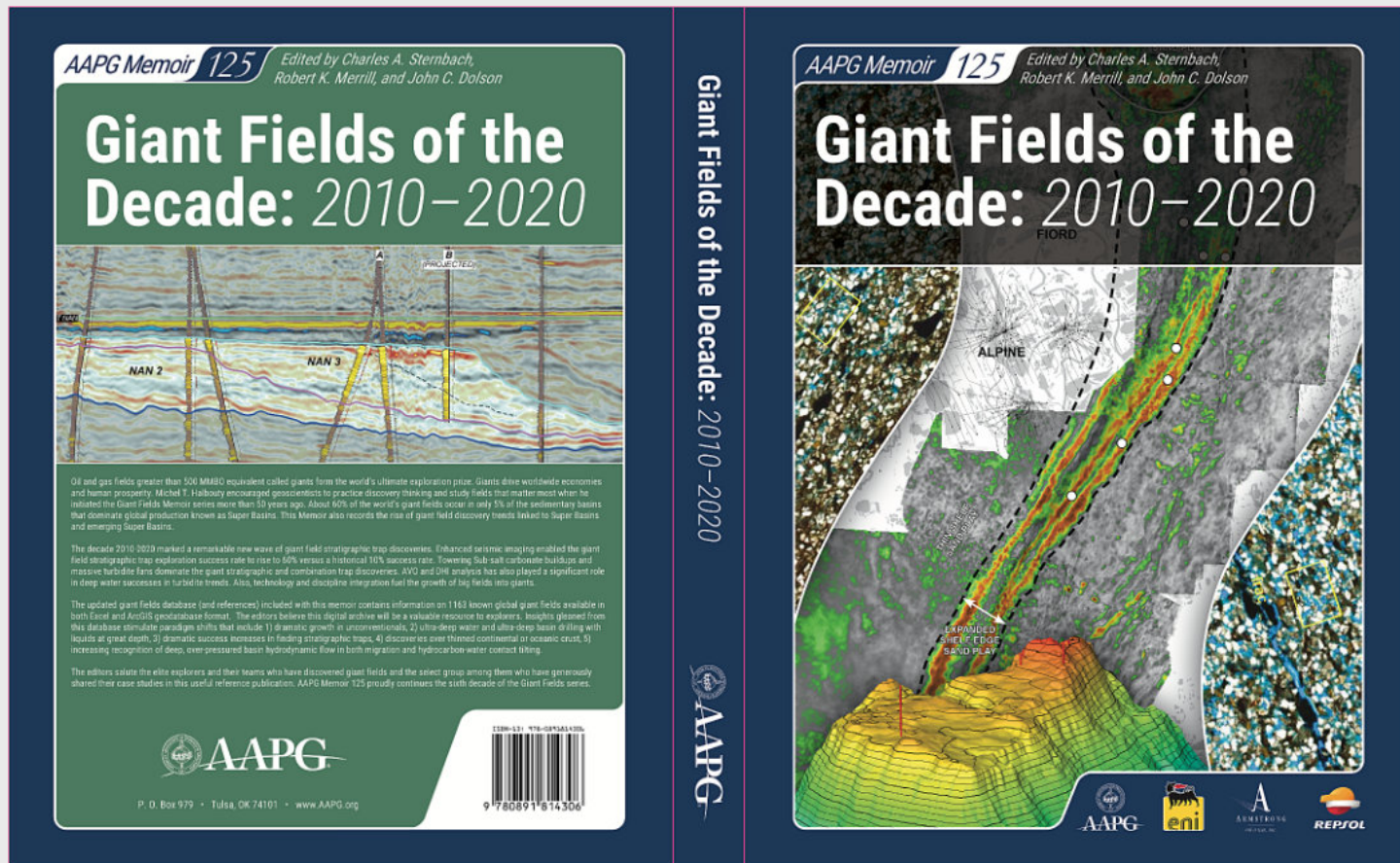
Historical and emerging super basins of Southeast Asia
Emeliana Rice-Oxley and Azli Abu-Bakar 633

The Western Canada Sedimentary Basin: A confluence of science, technology, and ideas
Paul MacKay and Per Kent Pedersen 655

ACKNOWLEDGMENTS—

AAPG thanks the AAPG Foundation for financial support of this issue of the *Bulletin*.
The AAPG Editor thanks the following reviewers for their work on papers in this issue: William Ambrose, Claudio Bartolini, Duncan Erratt, Tristan Euzen, Benjamin Franklin, Robert Fryklund, James Illiffe, Mazlan Madon, Alexei Milkov, Gary Prost, Joshua Rosenfeld, Donald Sim, and Charles Sternbach.

<https://store.aapg.org/detail.aspx?id=1320>





El libro recomendado

http://acading.org.ve/info/publicaciones/libros/pubdocs/Libro_VARGAS_20_anos_despues.pdf

Los Aludes Torrenciales de 1999 en Vargas

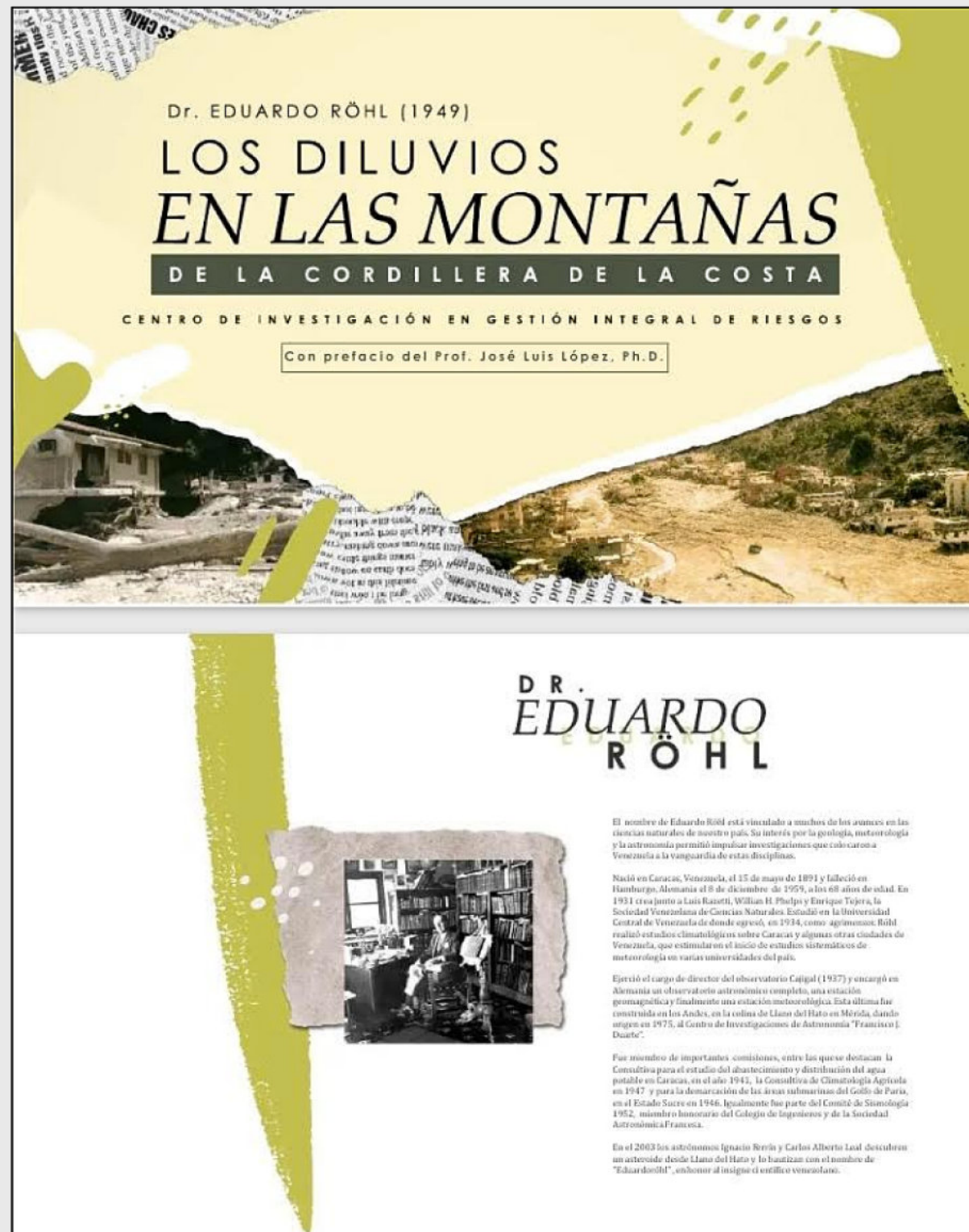
20 años después

José Luis López Sánchez, Ph.D. (Editor)

El libro recomendado

https://www.academia.edu/42242786/LOS_DILUVIOS_EN_LAS_MONTAÑAS_DE_LA_CORDILLERA_DE_LA_COSTA_EDUARDO_R%C3%96HL_Corregido_VERSION_DIGITAL



TEMAS DE INTERÉS

LAS MARCAS DE LA II GUERRA EN TERRITORIO DE VENEZUELA. Y LOS INICIOS DE LA GEOLOGÍA PETROLERA LOCAL

José Antonio Rodríguez Arteaga

Colaborador de la Revista

Introducción

En 1939, estalla la II Guerra Mundial y Venezuela es seriamente afectada por la marina alemana-nazi la cual inicia la guerra en aguas de la región Atlántica y Caribe, RAC, denominada operación *Westindien* para impedir que el petróleo extraído y refinado en la región llegue a los aliados que se ubican en Europa (Straka, 2016: 309).

Es así que montada dicha operación naval y militar, la región frente a la costa nacional, *Operación Neuland*, lleva consigo un contingente de submarinos que son apostados a lo largo de la costa nacional, cuya misión más cercana y certera para el ataque evitaba que cualquier petrolero proveniente de occidente y/o del oriente venezolano, tomase rumbo a las refinerías de Aruba y Curazao para su debido procesamiento.

Tal situación provoca para 1942 una sensible disminución de nuestra producción petrolera afectando al país con una importante merma en sus ingresos fiscales (Straka, *op. cit.*) para el Estado, mas por la intervención progresiva de la marina americana los ataques irán disminuyendo y la producción se recuperará de 400 a 700 mil barriles/día para el año '44.

Esta, reseña muestra en apretada síntesis algunas de las acciones puntuales emprendidas por la *Standard Oil Company-Venezuela* en sus instalaciones para contrarrestar el ataque alemán. En el diario devenir de los campos petroleros orientales, estuvieron involucrados dos geólogos que en aquel tiempo prestaron sus servicios profesionales. Luego de la contienda, los conocimientos y experiencia adquirida serán aprovechadas en las labores docentes dictando materias en la Escuela de Geología de la Universidad Central de Venezuela, en sus inicios.

Producción petrolera *in situ*

En Venezuela y por mucho tiempo la búsqueda de petróleo se realizó de manera empírica, y a comienzos del siglo XX fueron establecidas campañas de exploración en las que participarían de manera activa y primordial la actividad exploratoria de la geología y la geofísica con interés petrolero.

Hacia los años 1870 la exploración, basada en la localización de “manaderos de petróleo” o menes, serán los responsables del surgimiento de un conflicto interno en el que se involucraría el Estado y las empresas privadas motivada a la apropiación de la renta que de ello derivaba y el surgimiento de un preámbulo histórico de conflictos por la renta del *oro negro*, los cuales no serán discutidos en estas líneas (Ramírez, 2007). Pretendemos eso sí, ubicar en contexto amplio, aquellos elementos que inician la exploración y explotación de petróleo nacional confrontados a futuro con los conflictos de la II Guerra Mundial, tarea nada nada fácil ante la multiplicidad de fechas variables que manejan diversos autores, siendo necesario un arreglo cronológico lo mejor adaptado para un ineludible trabajo a futuro.

En 1875, como preámbulo, la población de San José de Cúcuta, Colombia es destruida por un terremoto que ocasiona en la localidad de Rubio, estado Táchira, Venezuela y en terrenos de *La Alquitrana*, nombre por demás elocuente, la aparición general de fracturas de las que manó en forma violenta un material viscoso y negro: petróleo, iniciándose así el capítulo de la historia bituminosa venezolana con la presencia de Manuel Antonio Pulido Pulido, dueño de las tierras, quien

aprovecha este inesperado “reventón” para fundar una compañía con capital 100% nacional, dedicándose a su explotación que en 1878, constituirá la primera empresa de la región andina, la *Petrolia del Táchira*, que extraerá y refinará “crudo” nacional hasta 1934, fecha de extinción de la concesión, a tan solo 5 años del inicio de la II Guerra (Ramírez Vera, *op. cit.*). Previo a los acontecimientos de descubrimiento y producción de ese año no solo será exclusividad de la región andina, sino que en el occidente nacional 25 años antes serán descubiertos y puestos en producción los pozos Zumaque I y II.

Al respecto, (Frechilla y Texera, 2005) señalan la *Caribbean Petroleum Company* como la responsable de los pozos Zumaque I y II en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo responsables del descubrimiento del gigantesco campo *Mene Grande*, el cual iniciaría la explotación intensiva de petróleo, con apenas un mes después de haberse iniciado la I Guerra Mundial. Como se coligue, la presencia petrolera, a nivel nacional en sus primeros tiempos estuvo íntimamente ligada con a las 2 Guerras mundiales ocurridas.

Previo a todo esto ello, en 1912, se emprendían los primeros estudios geológicos sistemáticos en suelo nacional bajo las órdenes del geólogo estadounidense Ralph Arnold, quien junto a un grupo de 52 entusiastas colegas, entre quienes se encontraba, el venezolano Pedro Ignacio Aguerreverre, dieran a conocer los hallazgos de petróleo, revelando el potencial petrolífero que el país tenía.

Arnold y su grupo trabajaron por encargo de la empresa *General Asphalt*, subsidiaria de la *Caribbean Petroleum Company* responsable del descubrimiento del campo de Mene Grande 2 años después. Además del informe, la aventura petrolera y sus hallazgos, casi diarios de viaje aparecerían publicados en 1960 luego que éste explorador falleciera a principios de enero de 1946; acompañaban en el texto los señores Macready y Barrington, y llevaría por título: *First Big Oil Hunt: Venezuela 1911-1916*. Todos los pozos conducentes al hallazgo petrolero venezolano.

En 2008, una versión en español será la 2^{da} reedición con el título: *Venezuela Petrolera: Primeros pasos, 1911-1916*, cuya presentación llegando hasta allí, la publicación de esa especial aventura.

En la neutralidad de la guerra

En los inicios de la II Guerra Mundial (IIGM), Venezuela mantuvo aparentes signos de neutralidad, rumor que se corría entre el personal de *Estándar Oil Venezuela* por su posición contraria al conflicto bélico pero tras el ataque a *Pearl Harbor* rompen relaciones diplomáticas con alemanes, italianos y japoneses.

Balance de daños en Venezuela

Una revisión intensiva de los buques petroleros frente a costas nacionales, muestra como fueron atacados y hundidos, los buques *Pedernales* (Foto) y *Arkansas*, amén del *San Nicolás*, *Tía Juana*, *San Rafael*, *Oranjestad*, *Rafaela* y *Monagas* (Foto). Este último fue hundido por un torpedo U-502 a tan solo a 40 millas de la Península de Paraguaná, estado Falcón, occidente venezolano y provocando el fallecimiento de algunos tripulantes connacionales de los 19 venezolanos que formaban parte de la tripulación, amén de otros de nacionalidad no-venezolana que constituían el personal del buque. Ello ocasionó ciertamente la inquietud a nivel mundial con serias repercusiones para la Alemania nazi.

Dos atrevidos geólogos y su trayectoria

El personal ubicado en Caripito, era netamente norteamericano, (Virgil Winkler, *com. pers.*, 1995), existiendo algunos geólogos en la población de Quiriquire, pero cuyos datos permanecen silenciados. Sin filiaciones de su participación en la IIGM, su presencia continúa en dicha población con el añadido de algunos datos de asombro: Estos dos geólogos Virgil Winkler y Alfonso Kroboth, sin ningún vínculo con la Alemania nazi de entonces una vez iniciada la contienda se dio de baja (Winkler, *com. pers.*).

De las vivencias personales del primero y sus vivencias se destacarían:

1- Un alistamiento fallido en el ejército, obteniendo la clasificación 4D, “no apto para el servicio por su visión limitada y sus pies planos”; 2- Su presencia como personal joven desconocedor de la región, y en calidad de sustituto del Dr. Harvey D. Borger Jefe del *Laboratorio de Caripito*. Borger, quien sin aparente motivo se separaría del cargo en forma “temporal”, regresando a EE.UU. y no retornar a Venezuela. De allí la enorme responsabilidad que asumió Winkler al aceptar el cargo.

Fuera de la rutina de trabajo que pudiese imperar en un campo petrolero, Virgil Winkler ya integrado a la vida profesional en los laboratorios geológicos existentes en Caripito señaló un punto poco natural en él, así, 4- los buques torpedeados en las costas de Venezuela regularmente avistados por los hidroaviones de la empresa iniciarían una necesaria práctica al sobrevolar toda la costa en procura de avistar y rescatar a las víctimas de los naufragios, muchos de ellos con actitudes casi psicóticas, embebidos en crudo y flotando en el mar. Esta situación se vio con detenimiento cercano a la región oriental del país. 5- El sobrevuelo era una tarea “multipropósito”: Su uso regular era motivada a la adquisición de fotografías aéreas para su empleo en la cartografía geológica geológicos, pero igual actuar en labores humanitarias en el rescate de tripulación afectada con el ataque de la noche anterior. Winkler se mantuvo en su cargo tras la guerra hasta su fallecimiento y entre los necesarios e ineludibles cambios en la empresa. Por su parte, Kroboth, renunció a su cargo en 1942 encontrando cargo docente en 1943 durante la existencia del Instituto de Geología en la avenida San Martín de Caracas. Su paso por la empresa y la II Guerra Mundial, sigue en un completo misterio.

Bibliografía

- Arnold, Ralph, Macready, George y Barrington, Thomas, 1960, *First Big Oil Hunt: Venezuela 1911-1916*, 353 pp.
- Arnold, Ralph, Macready, George y Barrington, Thomas, 2008, (Pérez Marchelli, Héctor trad.), Fundación Editorial Trilobita, Caracas, 370 pp.
- Douglas C. Ramírez Vera, 2007, *Mene en Venezuela: el surgimiento del conflicto por la renta del petróleo, preámbulo histórico a la coyuntura actual (1917 a 1936)*, Análisis político, Bogotá, Colombia, 59: 24-45.
- Martín Frechilla, Juan José y Texera, Yolanda (comp.), 2005, *Petróleo nuestro y ajeno: la ilusión de modernidad*, Colección Ciencias Sociales. CDCH-UCV, Caracas.
- Rodríguez Arteaga, José Antonio, 2022, *Breve Historia de la Geología de Venezuela en treinta y dos personajes*. Boletín de Historia de las Geociencias en Venezuela. Sociedad de Historia de las Geociencias en Venezuela, Boletín 137 (Enero 2022, en prensa).
- Straka, Tomás, comp. 2016, *La nación petrolera: Venezuela 1914-2014*. Universidad Metropolitana, (Academia Nacional de la Historia eds.), Caracas, 338 pp.

José Antonio Rodríguez Arteaga
rodriguez.arteaga@gmail.com



Buque Petrolero Monagas hundido a su salida a las refinerías de Aruba, y /o Curazao para ser refinado el crudo y enviado a los Aliados en Europa, II Guerra Mundial.

Hablemos sobre litio: Parte III

Compilado por

Saúl Humberto Ricardez Medina

El litio se ha catalogado como uno de los elementos críticos o casi críticos en varios estudios recientes debido a la relevancia que están adquiriendo las tecnologías verdes. Es uno de los 15 minerales commodities estudiados por los países miembros de Inventario Internacional de Minerales Estratégicos (ISMI), quienes han concluido que podría volverse un elemento crítico dependiendo del nivel de crecimiento de nuevos usos, como las baterías de vehículos híbridos y eléctricos. En la década de 1970 el Consejo Nacional de Investigación de Estados Unidos crea el subpanel de Litio encargado de evaluar las reservas y recursos de litio disponibles en el mundo, concluyó que las reservas y los recursos de todos los tipos de ocurrencia del litio eran de 10.6 Mt. En ese momento se tenía estimado que las salmueras del Salar de Atacama contenían 4.3 Mt de litio.

El suministro actual de litio proviene de depósitos de pegmatita y salmueras en cuencas endorreicas. Siendo Australia, Brasil, China, Portugal y Zimbabwe los principales productores en pegmatitas, mientras que Argentina, Chile, China y Estados Unidos los principales productores en salmueras endorreicas. Los otros tipos de depósito tienen potencial como contribuyentes futuros. Hoy en día, estas reservas son las más importantes porque abastecen a las dos operaciones, que producen una cantidad sustancial del carbonato de litio del mundo.

Países productores de Litio	Producción Minera		Reservas
	2020	2021	
Estados Unidos	W	W	750,000
Argentina	5,900	6,200	2,200,000
Brasil	1,420	1,500	5,700,000
Chile	21,500	26,000	9,200,000
China	13,300	14,000	1,500,000
Portugal	348	900	60,000
Zimbabwe	417	1,200	220,000
Otros países	-	-	2,700,000
Total, mundial (redondeado)	82,500	100,000	22,000,000

Tabla 1: Producción minera mundial y sus reservas en toneladas métricas Modificado de: (USGS). (enero 31, 2022). *W de Withheld: Dato retenido para evitar la divulgación de datos de propiedad de la empresa.*

Comercio Mundial

El litio es comercializado globalmente en una gran variedad de forma como concentrados, carbonato, óxidos e hidróxidos y cloruro, bromuro y metal.

Los principales países exportadores de carbonato de litio, óxidos e hidróxidos de litio en 2014 se muestran en la Fig. 1. Aunque hay algunas exportaciones significativas de óxidos e hidróxidos, sobre todo de Estados Unidos de América y de carbonato. En 2014 Chile exportó 49 387 toneladas de carbonato de litio o casi el 60 por ciento de todo el carbonato de litio exportado en ese año. Esto se compara con solo el 14 por ciento del segundo mayor exportador, que fue Argentina. EE. UU. fue el mayor exportador de óxidos e hidróxidos de litio, con 8 885 toneladas o el 35 % del total de óxidos e hidróxidos exportados en 2014. China fue el segundo mayor exportador de óxidos e hidróxidos con el 24 % del total.

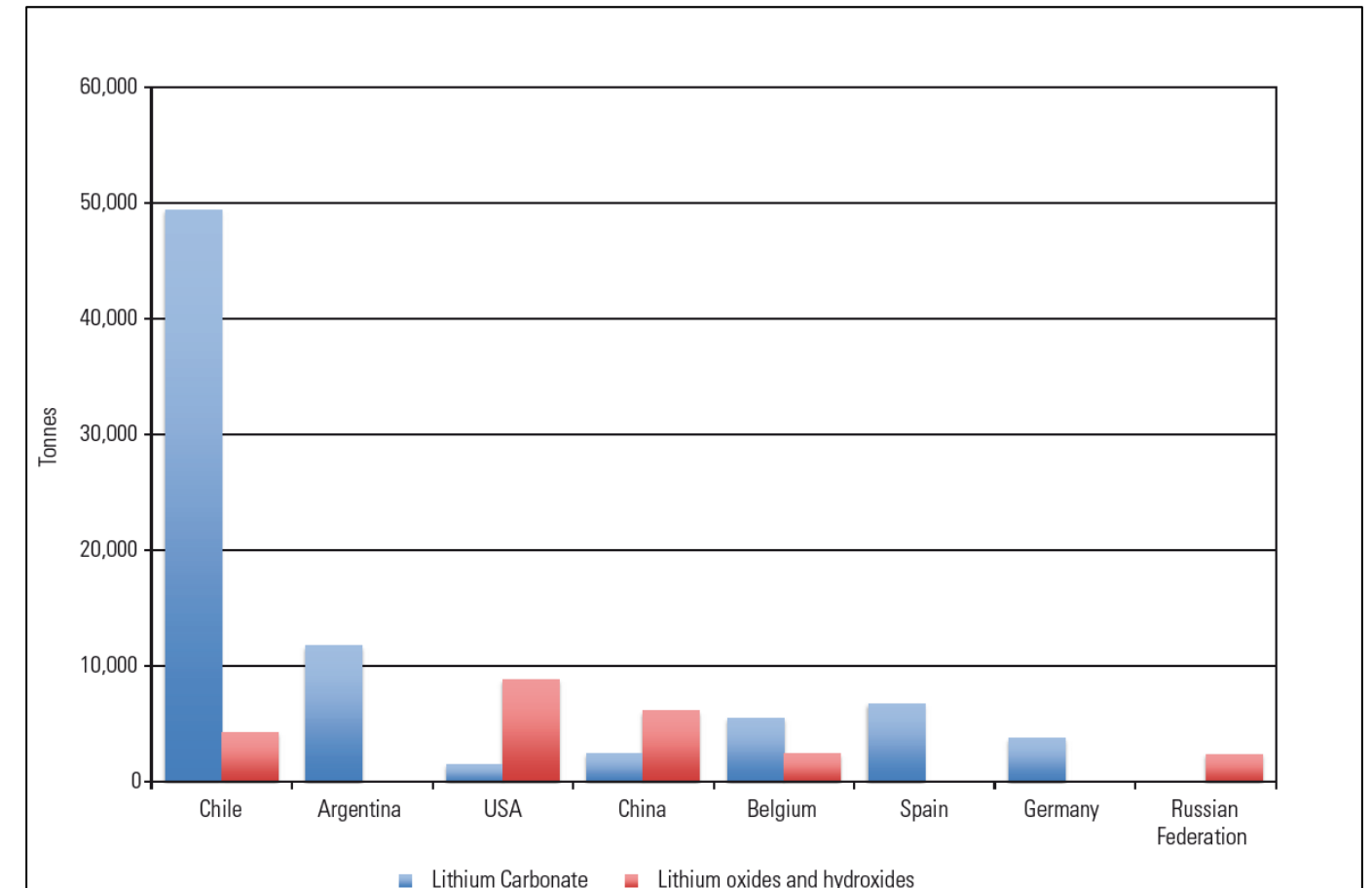


Figura 1: Mayores países exportadores de carbonato de litio y óxido e hidróxido de litio en 2014 Tomado de: (BGS) (agosto 2, 2016).

Comercio Mundial

Las importaciones en 2011, 2012 y 2013 superaron las 80 000 toneladas, un aumento del 26% en 2011 en comparación con antes de la recesión de 2008, pero las importaciones cayeron por debajo de las 80 000 toneladas en 2014. También se muestra una caída similar en 2009 para las importaciones de litio óxidos e hidróxidos, pero, al igual que con las exportaciones, no es tan dramático. Las importaciones en 2014 han aumentado a más de 20,000 toneladas, Las tendencias recientes en las importaciones de carbonato de litio se muestran en la Figura 2.

En la Figura 3 se muestran los principales países importadores de carbonato de litio y óxidos e hidróxidos de litio en 2014. Tal vez sea sorprendente que China no haya sido el mayor importador de carbonato de litio en 2013; más bien, la República de Corea fue la más grande con importaciones de 14 981 toneladas o el 20 por ciento del carbonato de litio total en ese año. Sin embargo, China fue el segundo más grande (13 601 toneladas o 18 por ciento), seguido por Japón (12 108 toneladas o 16 por ciento) y EE. UU. (9 626 toneladas o 13 por ciento del total). El mayor importador de óxidos e hidróxidos de litio en 2014 fue Japón, que importó 6 667 toneladas o el 28 % del total importado a nivel mundial, seguido de Bélgica (2 388 toneladas o el 10 %) y la República de Corea (1 965 toneladas u ocho por ciento del total). Europa depende de las

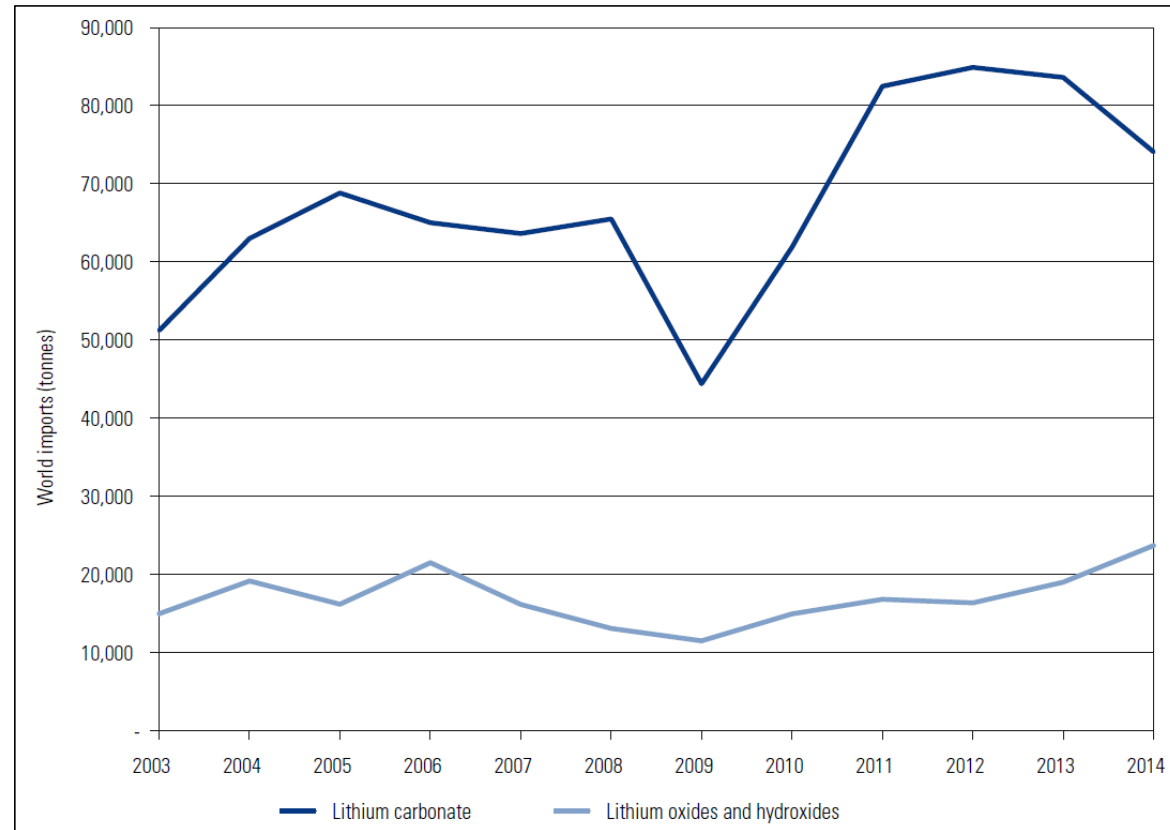


Figura 2: Tendencias globales de importación de carbonato de litio y oxido e hidróxido de litio Tomado de: (BGS) (agosto 2, 2016).

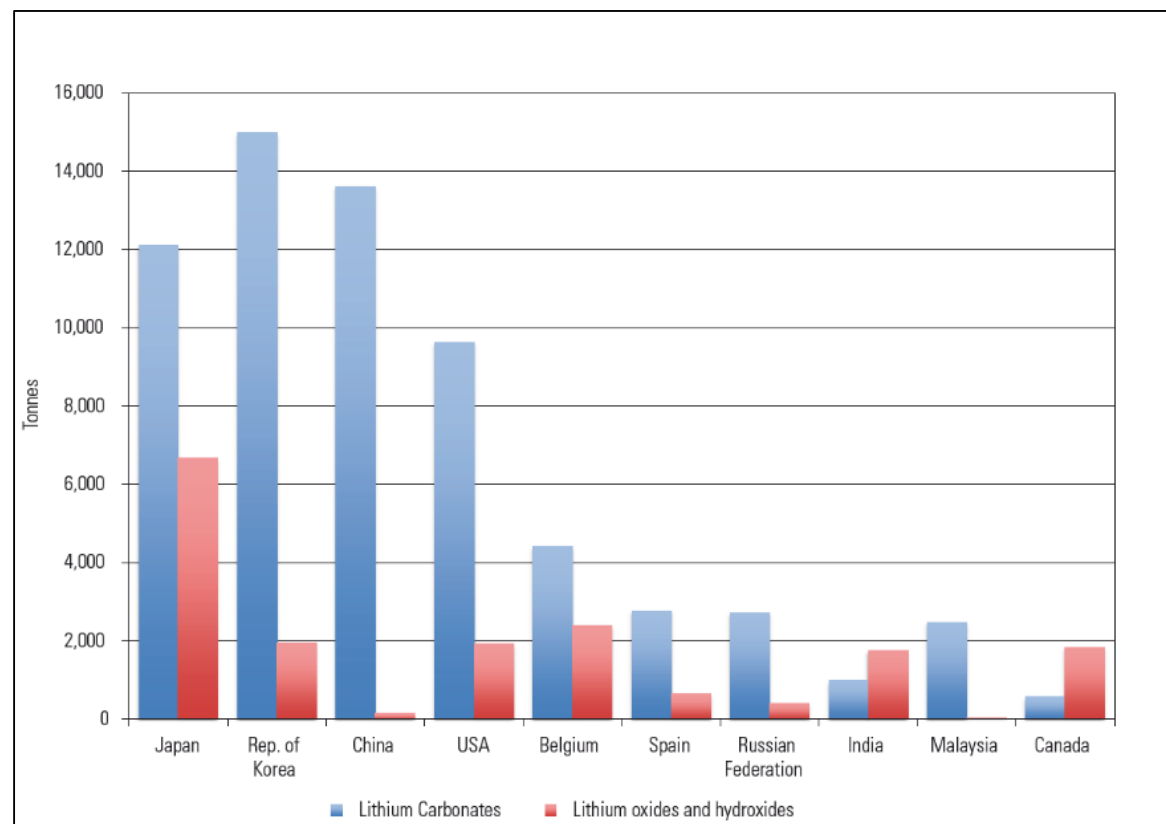


Figura 3: Mayores países importadores de carbonato de litio y oxido e hidróxido de litio en 2014 Tomado de: (BGS) (agosto 2, 2016).

importaciones tanto de carbonato de litio como de óxidos e hidróxidos de litio y recibió la mayoría de sus importaciones en 2014 de Chile. De las 2 812 toneladas de óxidos e hidróxidos de litio importados por los 28 miembros de la Unión Europea (de países fuera de la UE), el 37 % provino de Chile, mientras que otro 33 % provino de Rusia. De las 10 664 toneladas de carbonato de litio importadas por la UE-28 (desde fuera de la UE), el 84 % provino de Chile.

Usos

El litio tiene un amplio uso en el mercado, pero sus tres formas básicas son en mena o concentrado, metal y compuestos químicos manufacturados.

Las menas y concentrados son usados en la industria del vidrio, cerámica y porcelana. La Petalita, Lepidolita y la Amblygonita puede ser usada sin requerir algún tipo de beneficio. El litio es útil porque crea condiciones favorables para la nucleación interna. En comparación con el sodio, favorece la cristalización externa. Debido a su pequeño radio iónico y alta intensidad de campo, el litio adiciona una alta resistencia mecánica y al choque térmico, así como una buena resistencia química. En estas aplicaciones, el litio también se introduce en forma de carbonato de litio.

En su forma de metal el litio es elemento solido más ligero teniendo un peso atómico de 6.94 y una densidad de 0.53 g/cm³ a 20°C. El litio metálico se utiliza en la síntesis de butil litio. En la metalurgia no ferrosa, la alta reactividad del litio con los gases es utilizada para capturar oxígeno y azufre, convirtiéndolos en compuestos estables. El litio también se usa en aleaciones de litio aluminio y litio magnesio, donde adiciona resistencia a altas temperaturas, mejora la elasticidad y aumenta la resistencia a la tracción.

A pesar del alza en la demanda de aleaciones de aluminio y litio en la industria aeronáutica comercial y militar ésta no ha cumplido con las previsiones de crecimiento que se tenían al 2006.

El carbonato de litio, además de su consumo por parte de la industria cerámica, se está utilizando cada vez más en las celdas de reducción de aluminio, donde mejora la conductividad del baño fundido al reducir la temperatura de operación y da como resultado una mayor producción. También es muy eficaz para reducir las emisiones de flúor al retener el flúor como fluoruro de litio en el baño fundido. El consumo de carbonato de litio ha disminuido constantemente desde su punto máximo a fines de la década de 1970 y, aunque la tasa de disminución se ha desacelerado en los últimos años, aún se prevé que el consumo en el sector del aluminio disminuya aún más en los próximos años. En forma purificada, el carbonato de litio se usa en el tratamiento quimioterapéutico del trastorno bipolar.

El hidróxido de litio se empleó por primera vez como ingrediente en las baterías alcalinas de almacenamiento donde su presencia aumentó la vida útil de las celdas. En la década de 1940, Clarence Earl desarrolló una grasa especial al hacer reaccionar hidróxido de litio con ácidos grasos, descubrió una nueva aplicación. Se encontró que la grasa resultante retenía su viscosidad en un amplio rango de temperatura y permanecía estable en presencia de agua.

Las grasas a base de litio se han convertido en un estándar producto en los campos de lubricación militar, industrial y automotriz. El hidróxido de litio anhidro puede absorber grandes cantidades de dióxido de carbono, una propiedad que se ha utilizado en la regeneración del aire sistema de mando Apolo y módulos lunares, y en nuevas aplicaciones en la industria minera para equipos de respiración artificial.

Las salmueras de cloruro de litio y bromuro de litio tienen bajas presiones de vapor y se utilizan en sistemas de refrigeración por absorción. El cloruro de litio también constituye el material de alimentación para la producción de litio metálico.

El fluoruro de litio se utiliza principalmente como fundente en esmaltes, vidrios y vidriados, y en soldadura y soldadura fuerte.

Además de ser el metal más liviano, el litio también es el metal más electronegativo y, por lo tanto, es ideal para usar en muchas aplicaciones de baterías. Las características de las baterías de litio incluyen alta densidad de energía, alto voltaje de funcionamiento, amplio rango de temperatura de funcionamiento y larga vida útil. Las aplicaciones actuales incluyen marcapasos cardíacos, hardware militar, cámaras, respaldo de memoria de computadora, relojes y equipos de medición en la industria de extracción de petróleo. El crecimiento futuro en esta área puede incluir el uso de baterías de litio recargables para herramientas eléctricas portátiles y equipos electrónicos y de comunicaciones e incluso como fuente de alimen-

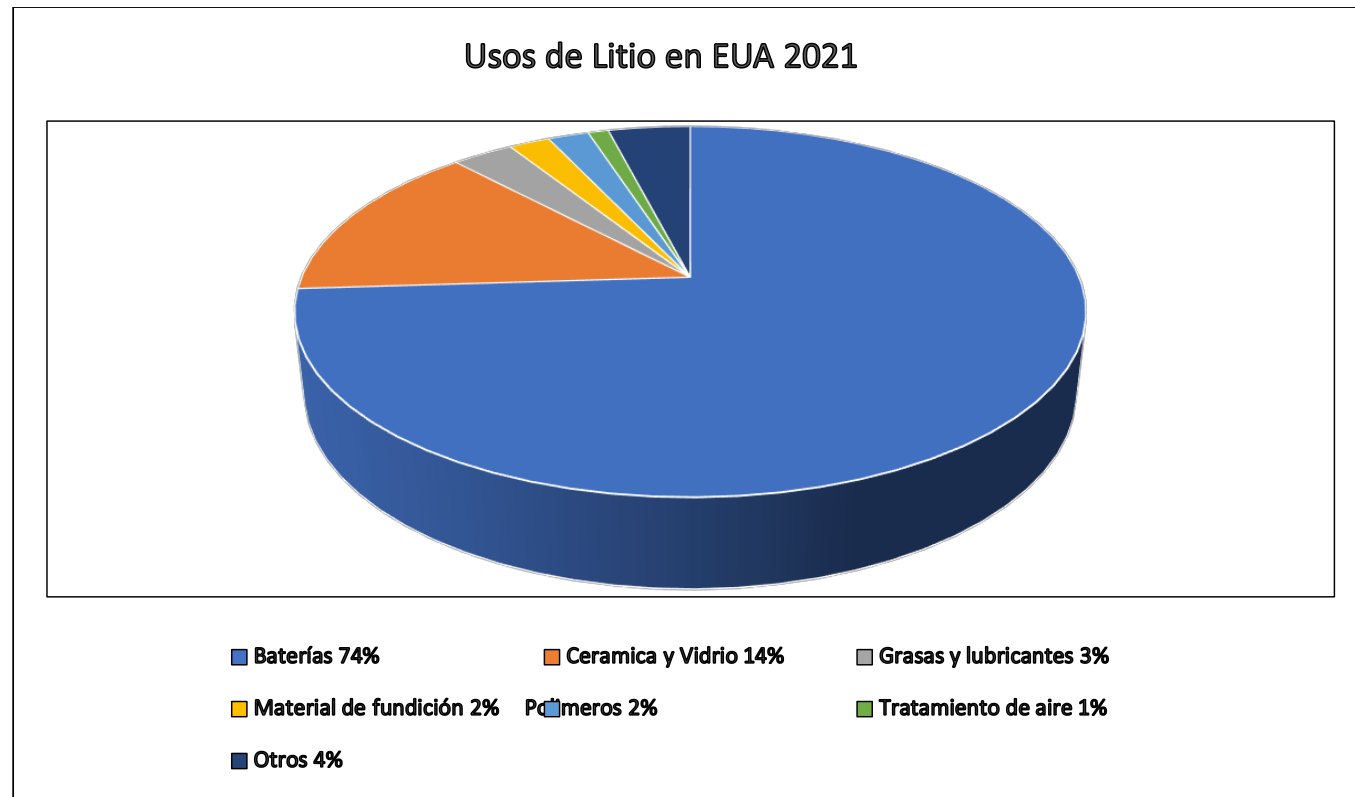


Figura 4: Usos de Litio en Estados Unidos de América en 2021 Modificado de: (USGS). (enero 31, 2022).

tación para vehículos eléctricos y el corazón artificial total. La aplicación de mayor valor para las baterías de litio sigue siendo los productos de consumo portátiles secundarios, especialmente las computadoras portátiles (con un contenido de 30-40g de Li) y los teléfonos celulares (con un contenido de 2-3g de Li).

Bibliografía

- Alatorre, A. (2018) "Minerales y Rocas Industriales", Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura ESIA Ticomán Unidad Ciencias de la Tierra. Ciudad de México. Octubre 15, 2018 [apuntes de clase].
- Bradley, Dwight, and McCauley, Andrew, (2013). A preliminary deposit model for lithium-cesium-tantalum (LCT) pegmatites. Noviembre 3, 2021, de U.S. Geological Survey Open-File Report 2013-1008, 7 p., <https://doi.org/10.3133/ofr20131008>.
- British Geological Survey (BGS). (agosto 2, 2016). Mineral profile – Lithium. Noviembre 3, 2021, de British Geological Survey Sitio web: <https://www.bgs.ac.uk/news/mineral-profile-lithium/>
- Kogel, J., Trivedi, N., Barker, J., & Krukowski, S. (2006). Industrial Minerals & Rocks, Commodities, Markets and Uses. 7th Edition Book, . Estados Unidos de América: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, (SME).
- Serbia Energy & Mining. (marzo 19, 2021). ICT metal mining case study at jadarite mine in Serbia. noviembre 6, 2021, de Serbia Energy & Mining Sitio web: <https://serbia-energy.eu/ict-metal-mining-case-study-at-jadarite-mine-in-serbia/>
- United States Geological Survey (USGS). (diciembre 19, 2017). Critical mineral resources of the United States—Economic and environmental geology and prospects for future supply. noviembre 6, 2021, de United States Geological Survey Sitio web: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/pp1802>

60 AÑOS DE LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERIA GEOLÓGICA EN CUBA.

Dr. Rafael Guardado Lacaba,

Colaborador de la Revista
rafaelguardado2008@gmail.com

Resumen

Enero de 1962, el Gobierno Revolucionario de Cuba, realiza la Reforma Universitaria, la cual genera la creación de nuevas carreras entre ellas la de Ingeniería Geológica e Ingeniería de Minas en la Universidad de Oriente y Licenciatura en Geología en la Universidad de la Habana, y posteriormente Ingeniería Geofísica en la CUJAE.

La carrera de Ingeniería Geológica es promotora de investigaciones en la geología del país, con pertinencia, impacto y consecuencia tecnológica en función de los intereses del desarrollo socioeconómico del territorio, la región, y la nación.

La aplicación de los planes de estudios c, C prima, d y e, fortaleció la formación de un profesional de perfil amplio con una mayor preparación en los conocimientos y habilidades de geología en relación con los anteriores planes de estudio.

Se hace énfasis en los conocimientos de la ingeniería geológica, el desarrollo de la capacidad de trabajo en equipo, el dominio de las técnicas de dirección, la informatización, el trabajo en red, entendimiento de los procesos políticos, la capacidad de comunicación, en los sistemas de ingeniería, y la exigencia de un aprendizaje continuo. Es una carrera acreditada de excelencia basada en los elementos de evaluación de: pertinencia e impacto social, profesores, estudiantes, infraestructura, currículo.

Summary

January 1962, the Revolutionary Government of Cuba carries out the University Reform, which generates the creation of new careers, including Geological Engineering and Mining Engineering at the Universidad de Oriente and a Bachelor of Geology at the University of Havana, and later Geophysical Engineering at CUJAE.

The Geological Engineering career promotes research in the country's geology, with relevance, impact and technological consequence based on the interests of the socioeconomic development of the territory, the region, and the nation.

The application of the study plans c, C prima, d and e, strengthened the formation of a professional with a broad profile with greater preparation in the knowledge and skills of geology in relation to the previous study plans.

Emphasis is placed on knowledge of geological engineering, the development of teamwork skills, mastery of management techniques, computerization, networking, understanding of political processes, communication skills, in the engineering systems, and the demand for continuous learning. It is an accredited career based on the evaluation elements of: relevance and social impact, teachers, students, infrastructure, curriculum

1. Introducción. La carrera de Ingeniería Geológica escenario de referencia.

En enero de 1962, el Gobierno Revolucionario lleva a cabo la Reforma Universitaria, importante momento histórico que permite determinar las tendencias en el desarrollo de la Educación Superior en Cuba. La Reforma Universitaria generó la creación de nuevas carreras entre ellas la de Licenciatura en Geología en la Universidad de la Habana e Ingeniería Geológica e Ingeniería de Minas en la Universidad de Oriente. En 1964 ante la necesidad de profesionales de Ciencias de la Tierra y considerando el creciente desarrollo minero metalúrgico de la región oriental se unifican en la Universidad de Oriente las dos escuelas de geología con un perfil de ingeniería. Al mismo tiempo se crea en el ISPJAE la carrera de Ingeniería Geofísica.

En esta etapa fue decisiva el apoyo del Instituto de Minas de Leningrado, de la Academia de Minas de Freiberg, del Instituto de Minas de Eslovaquia y Praga, y otras universidades, cuya colaboración condujo a la especialización, en Ingeniería Geológica e Hidrogeología, Prospección de Yacimientos de Minerales Sólidos, y Prospección de Yacimientos de Petróleo y Gas.

En estos años surgen y se desarrollan los cursos universitarios para trabajadores, en 1965 se inicia el Plan Extramuros de la Universidad de Oriente, en Moa y Nicaro se crean las primeras unidades docentes del país. Partiendo del principio de que no hay desarrollo de la educación superior sin investigación, desde la segunda mitad de la década del 60 se trabaja para lograr una adecuada interrelación docencia - investigación - producción, emplear del modo más eficiente posible potencial científico de profesores y estudiantes universitarios, con el doble objetivo de elevar el nivel y la calidad y de la propia docencia universitaria y de contribuir directamente a mejorar las condiciones económicas y sociales del país.

En 1973, se inicia la formación de ingenieros geólogos en la Filial Universitaria de Minas de Matahambre, con el mismo plan de estudio que el de la Escuela de Ingeniería Geología de la Universidad de Oriente, las filiales universitarias de Nicaro y de Moa como un apoyo a la industria en la formación de profesionales. Ante la importancia estratégica del desarrollo universitario.

Julio de 1976, surge el Ministerio de Educación Superior y el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Universidad que unió a toda la enseñanza de la geología, la minería, la metalúrgica y las demás ingenierías y ciencias afines, que respondían al vertiginoso desarrollo que en estos años en el nordeste de Holguín. La construcción de la nueva planta de níquel Ernesto Che Guevara, modernización de Nicaro, y un nuevo Programa de Desarrollo Integral Minero Metalúrgico.

En 1981 se inicia el desarrollo de los planes de estudio B de Ingeniería Geológica. Este plan con mejor estructura mantenía algunas deficiencias tales como:

- Existencia de un ciclo básico que no respondía en todos los contenidos a las necesidades de la carrera.
- Predominio de la enseñanza teórica en las disciplinas y asignaturas de la carrera.
- No se precisan las tareas que debe ser capaz de enfrentar el geólogo para dar solución a los problemas profesionales más generales del sistema laboral de la profesión.
- Incomprensión de los objetivos como categoría rectora del proceso docente en cada uno de los niveles en que éste se desarrolla.
- Poco fondo de tiempo para la ejecución de las prácticas docentes y de producción.
- Los programas analíticos no garantizaban siempre la consecutividad de los conocimientos.

En el inicio de la década del 80 la dirección del país teniendo en cuenta la tendencia de integración de las ciencias propone la formación de un profesional de amplio espectro, que proponen la creación de un egresado de perfil amplio con una sólida formación en ciencias básicas.

En 1985, a solicitud del MINBAS, fundamentado en las necesidades de incrementar la cantidad de graduados en geología y geofísica en occidente en particular para la exploración del petróleo, el MES aprueba la reapertura de ingenieros geólogos en la Facultad de Tecnología de la Universidad de Pinar del Río y la CUJAE.

La nueva visión del Comandante en Jefe de la aplicación del plan de estudio C en la década del 90, fortaleció la formación de un profesional de perfil amplio y con una mayor preparación en los conocimientos y habilidades de geología en relación a los anteriores planes de estudio. El plan de estudio C se desarrolló en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa y en la Universidad de Pinar del Río.

Desde el curso 1992-1993, se desarrolla un conjunto de acciones para garantizar que la ciencia y la técnica constituyan en objetivo central del trabajo de la Educación Superior, para obtener resultados de importancia y de incidencia económica y social en los plazos más breves posibles, y que posibilite convertir a las universidades en centros de investigación científica.

Actualmente la carrera de Ingeniería Geológica es promotora de investigaciones de impacto, para resolver problemas de la geología del país, con pertinencia, y consecuencia tecnológica en función de los intereses del desarrollo socioeconómico del territorio, la región y el país, todo lo cual se manifiesta en el satisfactorio cumplimiento de sus elevados compromisos en los planes de resultados y su generalización, en los recursos que van apareciendo para sostener la investigación, en los registros y patentes de nuevos productos y tecnologías.

El modelo cubano de la carrera de Ingeniería Geológica tiene como **estrategia clave la flexibilidad organizativa, la cooperación nacional e internacional**. La aplicación del concepto de perfil amplio en las carreras, la educación de postgrado, la educación continua, adquiere particular relevancia, pues es en este cuarto nivel donde alcanzan la especialidad los profesionales, lográndose además una estrecha vinculación del postgrado con el trabajo científico-técnico. En el aspecto organizativo, se han creado grupos de trabajo científico docentes, por año y disciplinas, grupos multidisciplinarios en función de objetivos complejos y concretos lo que ha permitido una nueva concepción de desarrollar la formación en valores en carrera elevando la calidad del graduado de geología.

En los últimos cursos se producen avances en la labor docente-educativa en la carrera de Ingeniería Geológica en Cuba, como consecuencia de diversos factores, entre los cuales podemos identificar como de primera importancia los siguientes:

- La consolidación gradual del enfoque integral para la labor educativa y político ideológica.
- La madurez pedagógica y científica del claustro, sustentada en el crecimiento del número de doctores, en un sistema integral de superación de los

profesores que se encuentra en vías de generalización, y en su incuestionable prestigio ante los estudiantes.

- El fortalecimiento de las alianzas con el Servicio Geológico y las empresas geológicas-mineras del país, la industria cubana del níquel, del petróleo, el Ministerio de la Construcción, centros de investigación y los órganos de gobiernos territoriales, provinciales y el país. El desarrollo de la base material, en especial de computadoras. El perfeccionamiento del sistema de aseguramiento bibliográfico.
- Las unidades docentes en Empresas Geológicas y los territorio y el país.

Ello se refleja, entre otros aspectos, en la satisfacción de los estudiantes con la calidad del proceso de formación, reflejadas en las encuestas realizadas durante los tres últimos cursos, la aprobación de las inspecciones generales practicada a la carrera y la aprobación como carrera acreditada por la Agencia de Acreditación por el Ministerio de Educación Superior MES.

2. NUEVAS TENDENCIAS EN LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA GEOLÓGICA

En los últimos años, se ha observado un creciente interés por la Ingeniería Geológica, la reducción de riesgos geodinámicos geoclimáticos y ambiental, proveniente tanto del medio geológico y su explotación como del impacto del hombre sobre el ambiente, de ahí que la caracterización y evaluación del ambiente sea significativamente diferente según los casos por lo que debemos de esclarecer las relaciones precedentes de este saber geológico.

La Ingeniería Geológica se define como la aplicación de las ciencias geológicas al diseño, la minería, la extracción del petróleo y gas, y la construcción de estructuras de ingeniería. El ingeniero geólogo es un ambientalista formado para reconocer y entender el significado de las condiciones geológicas y su influencia en los diseños de ingeniería. Los proyectos que requieren un adecuado conocimiento de Ingeniería Geológica cubren un amplio espectro, abarcando desde los residuos peligrosos, la cimentación de presas, los túneles, las canteras, y la explotación de los recursos minerales. En la actualidad y obligadas por la adaptación a los cambios sociales y económicos, las universidades donde se enseña Ingeniería Geológica, han reaccionado, introduciendo nuevos contenidos, como la cartografía geológica digital, los sensores remotos, sistemas de Información geográfica, el ambiente, los análisis de riesgos geológicos y antrópicos, la informatización y los modelos digital del terreno, el

patrimonio geológico minero, los nuevos métodos geofísicos, e incluso otras disciplinas en el campo de la energía o la industria mineral.

El mayor beneficio obtenido estriba en el perfeccionamiento y la revisión y modernización de los planes de estudio de la carrera de Ingeniería Geológica general e integral, la cual ha adquirido mucha relevancia, ofreciendo al alumno una formación más versátil y mejores posibilidades para la ampliación de su perfil profesional; tales como ingeniería del petróleo, ingeniería civil, ambiental, el patrimonio geológico minero, el ordenamiento territorial, el análisis de riesgos, así como de la propia Ingeniería de Minas.

3. LA CARRERA DE INGENIERIA GEOLÓGICA Y EL SIGLO XXI.

En estos 60 años los cambios presentados en la Geología son extraordinario. La convergencia en el marco de las disciplinas (geodinámica, geoquímica, geofísica, Yacimientos minerales geo informática etc.) ha generado nuevos saberes geológicos en el estudio e interpretación de los diversos y complejos procesos y fenómenos geológicos. Pero además el avance de las nuevas tecnologías y la informática han surgido propiciando avances en el saber científico de estas disciplinas.

Los desafíos y oportunidades en el siglo XXI incluyen una tecnología inteligente de ordenadores que exigen del usuario ser más creativo, cambios constantes en el ambiente de laboral que obligan al trabajo en equipo; numerosos grupos sociales que exigen como principios básicos de diseño los relacionados con el medio ambiente, la salud y la seguridad, todo lo cual exigirá ingenieros con alta capacitación intelectual; además de la educación enfocada hacia la ciencia. El énfasis se deberá poner sobre la integración de funciones, trabajo en equipo, redes, tareas multidisciplinarias y reciclaje durante la vida profesional.

Las actuales especializaciones de las ingenierías y las barreras que, artificialmente, crean los departamentos y facultades en las universidades se convertirán en obsoletas y, la Ingeniería Geológica deberá estar encajada en una matriz de tareas objetivas complejas. La carrera deberá considerarse como un proceso docente - educativo - científico - cultural donde el producto final es el graduado, el ingeniero geólogo.

El graduado debe tener dentro de su formación profesional una mejor comprensión de su perfil valorativo ingeniero geológico el cual contempla las siguientes actividades:

- Sentido de lo que le rodea: sensible a las diferencias

culturales, aspectos medioambientales y principios éticos, así como alerta ante las oportunidades del mercado.

- Con fundamentos sólidos: educado a través de los fundamentos teórico y prácticos de los avances de la ciencia y la tecnología; teniendo una perspectiva histórica de los avances de la ciencia que pueden tener impacto en la ingeniería y preparado para un continuo aprendizaje a lo largo de su vida profesional.
- Mentalidad técnica abierta: comprendiendo que los problemas reales de la vida son multidisciplinarios e interdisciplinarios, y previendo soluciones en un contexto de varias alternativas y probabilidades. Trabajando con varias disciplinas y entrenado en la modelización de sistemas.

Eficaz en trabajo en grupo: cooperando en una organización de trabajos individuales dirigidos hacia un objetivo creativo común, eficaz en la comunicación oral y escrita; decidido a buscar y utilizar consejos de expertos, conocedor del valor del tiempo y comprendiendo las diversas facetas de las operaciones de negocio: gestión, marketing, financiación y costes, leyes, recursos humanos, servicios y, especialmente, la calidad. ¾ Versátil: solucionador de problemas, capaz de tomar decisiones; innovador en el desarrollo de productos y servicios.

Orientado al cliente: buscador de la satisfacción de los clientes, asegurando la ratio coste / eficacia en un mercado global.

Las nuevas generaciones de ingenieros están orientados a los futuros desafíos: la destreza en la comunicación, oral y sobre todo escrita, así como el arte de transmitir la información a su destinatario, el conocimiento interdisciplinario; es muy recomendable que la experiencia geotécnica y geoquímica, geofísica, sean combinadas con el conocimiento de la Ingeniería Geológica y con el análisis con modelos numéricos resueltos por ordenador.

La titulación de ingeniero geólogo satisface adecuadamente estos requerimientos. La habilidad de marcar claramente los objetivos, a corto y largo plazo, es lo más importante para uno mismo y para el proyecto, así como buscar las oportunidades para alcanzar dichos objetivos. El entusiasmo por el trabajo propio y por sus retos conlleva el éxito de nuestro desarrollo profesional. El conocimiento de la historia de nuestra especialidad, sus implicaciones sociales, tradiciones, así como de los principales casos prácticos reales, nos ayudan a disfrutar de nuestro trabajo y a realizar contribuciones más significativas y de mayor contenido.

4. LA BÚSQUEDA DE LA CALIDAD DEL GRADUADO EN

INGENIERÍA GEOLÓGICA.

En un contexto dinámico y competitivo, la calidad de la enseñanza universitaria se ha convertido en uno de los pilares para alcanzar el éxito, un producto de calidad: el ingeniero geólogo que hoy formamos, es mucho más exigente que en tiempos pasados. Pensamos que en el momento que estamos viviendo es crucial saber primero dónde estamos y hacia dónde nos movemos, para juzgar mejor que debemos hacer. Acciones asociadas con la calidad total en el proceso docente educativo involucran:

- Distinguir proyectos potenciales de desarrollos futuros graduados integrales de Ingeniería Geológica.
- poner atención estricta a los procesos de enseñanza aprendizaje en la formación de valores
- priorizar y enfocar la atención sobre problemas científico técnicos.
- El trabajo en red, en grupos de trabajo, equipos
- Se requiere del dominio de hilo conductor tecnológico que es el proceso de informatización y comunicación, pero no confundirse, este es solo un "instrumento"
- Priorizar la organización, las técnicas de dirección, el dominio del idioma, enfocarse en el sistema corporativo.
- Desarrollar una cultura integral de alta calificación profesional Modelo tradicional - mejorar la calidad de la educación para satisfacer la demanda de mercado. Nueva visión - mejorar la calidad de la educación para crear nueva oferta de mercado (innovación, ciencia y tecnología).

4.1. La acreditación de la carrera de Ingeniería Geológica un nuevo paso a la calidad del profesional en la Geología de Cuba. La educación superior en América Latina enfrenta cambios importantes en, la transformación y reorganización de los sistemas de educación superior, especialmente el surgimiento de nuevas universidades, primordialmente privadas, las formas y modalidades de relación entre los gobiernos y las instituciones; y la valoración de la educación universitaria por la sociedad, grupos empresariales y gobiernos.

Históricamente las universidades nunca fueron evaluadas, excepto, interna y externamente, para cuestionar su politización (o pasiva enajenación), y sus modalidades de gobierno autónomo y de democratización. Hasta hace pocos años no existían sistemas de información y procesos de evaluación de la calidad de los servicios educativos (o de la investigación). Y aún hoy día la cultura y los procesos

de evaluación son bastante incipientes. La acreditación por su parte, es el acto por el cual el Estado adopta y hace público el reconocimiento que realiza a través del Consejo Nacional de Acreditación del MES, para comprobar los resultados que una institución educativa presenta sobre la calidad de sus programas académicos, su organización y funcionamiento, y el cumplimiento de su función social. La acreditación de las carreras universitarias es un acto por el cual el Estado adopta y hace público el reconocimiento que las comisiones de acreditación hacen de la evaluación externa que se efectúa a una institución o carrera universitaria sobre la calidad de sus programas académicos, su organización y funcionamiento y el cumplimiento de su función social, dicho en otras palabras es el testimonio que da el estado cubano sobre la calidad de un programa (Acreditación de Programas) o institución (Acreditación Institucional)), con base en un proceso previo de auto evaluación en el cual intervienen la institución, las comunidades académicas y el CNA. Los programas académicos (carreras) universitarios deberían adoptar tres procesos básicos:

1. Proceso continuo de "prospectiva y planificación estratégica": se debe establecer un mecanismo para analizar y gestionar cada programa académico, cada carrera como una unidad auto contenida, como un producto.
1. Proceso de garantía de calidad académica: Requiere de una amplia participación, canales efectivos de comunicación, la determinación y aceptación de responsabilidad formal, la sistematización de información (medición e indicadores de desempeño), y un compromiso institucional para la capacitación y el desarrollo del personal.
1. Proceso de evaluación de programas académicos: se debe evaluar si los profesionales egresados son competentes, si pueden insertarse productivamente en el mercado laboral, si están equipados para responder a las condicionantes sociales y del medio ambiente, si los contenidos teóricos y prácticos son relevantes, si las técnicas de aprendizaje son las más apropiadas, si las unidades académicas son eficientes, si los sistemas de información y los textos utilizados son actualizados y adecuados, si existe una vinculación con las empresas productoras de bienes y servicios, si el nivel y participación estudiantil son idóneos, etc.

El establecimiento de la acreditación responde a una necesidad de las comunidades educativas de las instituciones universitarias, la cual es la del mejoramiento de la calidad del servicio prestado. El modelo de calidad de

la carrera de Ingeniería Geológica sirve de punto de referencia para que las instituciones nacionales y/o internacionales puedan hacer un diagnóstico del grado de calidad de su gestión, mediante la auto evaluación. Mediante esta auto evaluación se identifican los puntos fuertes y las áreas de mejora y se reconocen las carencias más importantes de forma que puedan sugerirse planes de mejora.

La carrera de Ingeniería Geológica da un gran peso al trabajo de auto evaluación; y la define la como la práctica permanente dirigida a mejorar la calidad del plan de estudio de la carrera de Ingeniería en Geología. Por esto, respondiendo a las políticas de perfeccionamiento, ha asumido el liderazgo del proceso y viene propiciando la participación y el compromiso de la comunidad académica para garantizar el cumplimiento de los objetivos trazados en la formación en valores y la calidad total universitaria. En Cuba los estándares correspondientes a la formación del profesional estarán dado en las siguientes variables de calidad: pertinencia e impacto social, el claustro de profesores, los estudiantes, y la infraestructura, el desarrollo del currículo.

CONCLUSIONES

La enseñanza de Ingeniería Geológica afronta nuevos retos en este inicio de siglo XXI. La gran preocupación para enfrentar con éxitos los profundos cambios en los procesos económicos y ambientales que lleva consigo la competitividad (nacional e internacional) está en lograr actuaciones cada vez con enfoques de calidad total que permita graduados de geología mas integrales , eficientes y eficaces.

En la actualidad se adoptan nuevas metodologías de enseñanza aprendizaje, nuevos metidos y procedimientos didácticos que requieren de formación, capacitación y entrenamiento de los recursos humanos. Se requiera de un cambio radical de actitud de los actores económicos (gobierno, empresarios, geólogos, geofísicos, geoquímicos, geotécnicos, trabajadores, etc.) hacia relaciones mancomunadas poniendo énfasis en el mejoramiento de la imagen nacional de la educación de la geología integral, certificada por sus productos: el graduado en ingeniería geológica, competir de forma cooperativa. En este sentido, la educación en la esfera de la Geología de manera continua es el instrumento adecuado, formación del profesional en Ingeniería en Geología, superación postgraduada de los profesionales, formación académica de master y doctores.

El proceso de universalización de la enseñanza universitaria en Cuba, representa un nuevo modelo educativo que contempla que aprender, mas que un

objetivo, es un proceso permanente que permite preparar y capacitar, en todos los niveles y sectores, recursos humanos de la geología capaces de crear, desarrollar y emplear, cada día más, nuevas tecnologías y procedimientos administrativos modernos.

La internacionalización de las actividades de la ingeniería geológica que antes se inscribían solo a la esfera nacional o local se presenta ahora en red, empresa – red, universidad – red. Esto se ha convertido en un modo de actuación en la que debemos insertarnos, ejemplo de ello (CyTED, ALFA, UNESCO, CEPAL, etc.) que se ha transformado en el “ sujeto que hace cultura “, en el sentido de que empieza articular el sistema de valores en los mas distantes rincones del planeta.

Los nuevos métodos de dirección por valore que hoy se desarrollan en la Carrera de Ingeniería Geológica, de estructura de comunicación interna, la organización de reaccionar ante los desafíos y oportunidades (planificación, gestión, estrategias, alianzas, métodos de escenarios, etc.) están basados en el manejo sistémico de información que requiere de personas capacitadas con nuevas concepciones de empresa, de organización, del trabajo en equipo y del trabajo integrado.

Se requiere de un nuevo hilo conductor geo tecnológico que es el proceso de informatización en la Geología, que no debemos confundir porque este es solo una herramienta promotora una tendencia al cambio en la gestión universitaria de los departamentos, facultades, instituciones, empresas geológicas, etc.

El desafío que se abre por delante en la educación de la Ingeniería Geológica en Cuba consiste en integrar la capacidad de trabajar en equipos, de motivar, de mirar de

conjunto a la carrera en sus múltiples dimensiones sociales, a su alianza con las empresas geológicas, hidrogeológicas, geotécnicas, petroleras, etc., a su vez de reconocer las propias aptitudes con honestidad, sin arrogancia, de conocer el personal con se trabaja, de estimular a todos de manera real, de motivar iniciativas y capacidad de emprender, de prestar atención y dar la importancia a la capacitación y superación del personal, de responder a los subordinados, de crear ambiente participativo y de tener en fin, una visión global y un horizonte estratégico del desarrollo sostenible

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA.

E. Martínez y M. Letelier (eds.) (1997), Evaluación y acreditación universitaria - Metodologías y experiencias (Nueva Sociedad/UNESCO/O.U.I./USACH, Caracas, pp. 9-44).

CUBA/MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR (1990), Reglamento de inspección de la educación superior (MES, Cuba, 55 p.).

CUBA / MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR, 2003, SISTEMA DE EVALUACION Y ACREDITACION DE LAS CARRERA UNIVERSITARIAS. Presentación, Patrón de calidad de las carreras universitarias (SEA – CU 01), GUIA PARA LA EVALUACION DE LA CARRERA.

(SEA –CU 02), Reglamento para la acreditación y evaluación de carreras universitarias (SEA – CU 03) Resolución No 116/ 2002 del MES. La Habana Cuba.

Plan de Estudios E del ingeniero geólogo. 2018 Comisión Nacional de la carrera de ingeniería Geologica Moa MES.

Carlos J. Finlay. Ha publicado más de 70 artículos, y es Tutor de tesis de Doctorado y maestrías. Ha recibido múltiples premios y distinciones, y es un profesor reconocido en Cuba y el exprenjero en la Ingeniería Geológica, la Reducción de los Riesgos Geológicos y el enfrentamiento al Cambio Climático.

rafaelguardado2008@gmail.com



Rafael Guardado es graduado en la Universidad de Oriente en 1970 como Ingeniero Geólogo. Cursó estudios de especialización en la Universidad Minera de St Petersburg en Rusia, antigua U.R.S.S., 1972-1974. Defendió el doctorado en Geología en 1983. Es Académico Titular de la Academia de Ciencias de Cuba, Profesor Titular, Profesor Consulyante y Profesor Emerito de la Universidad De Moa. Orden

REGISTROS GEOFÍSICOS DE POZO

Luis Ángel Valencia Flores

Editor de la revista

Un registro de pozo es una representación digital o analógica de una propiedad física que se mide contra la profundidad. La obtención de éste se realiza a partir de una sonda que va recorriendo la trayectoria del pozo y de un equipo superficial que traduce la información enviada por la sonda a través de un cable que se registra en una cinta magnética o película fotográfica.

BREVE HISTORIA DE LOS REGISTROS GEOFÍSICOS.

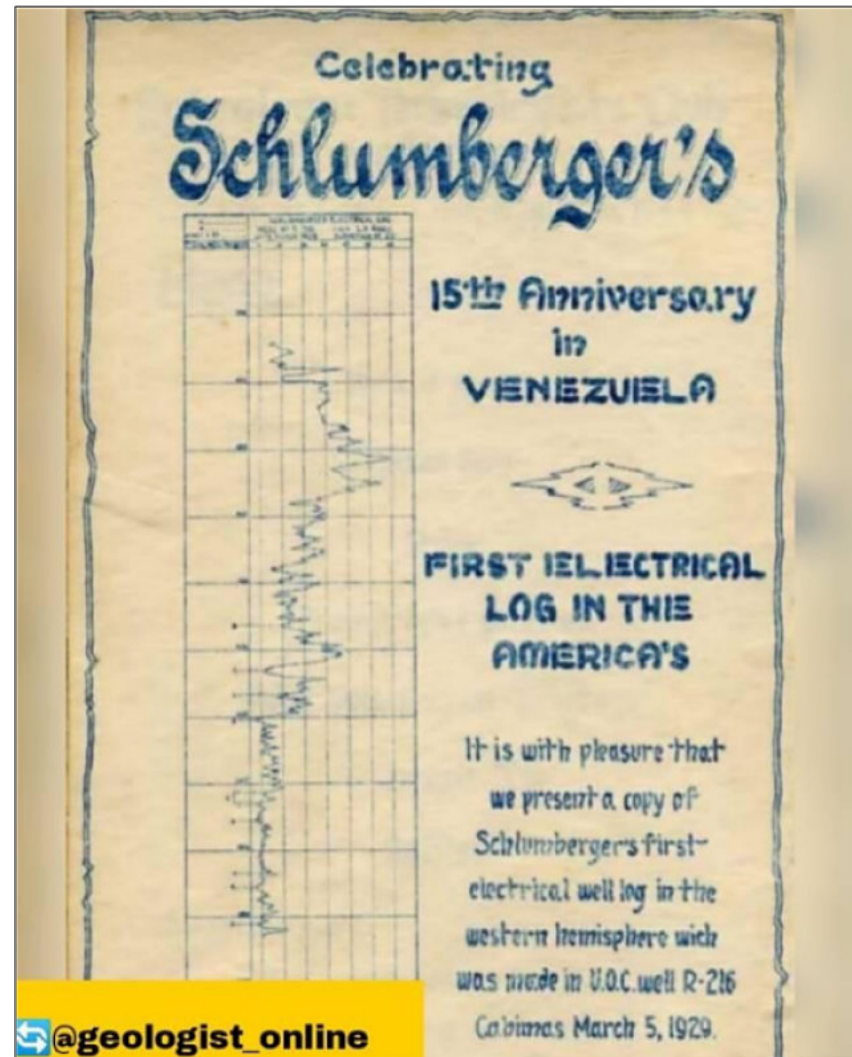
Los primeros experimentos de prospección del subsuelo se llevaron a cabo en 1912 por Conrad Schlumberger, y consistieron en enviar una corriente eléctrica introduciéndola al subsuelo entre dos varillas metálicas, y en dibujar sobre un plano las líneas de potencial constante observadas en la superficie. Las formas de éstas indicaron la naturaleza y configuración geométrica de los distintos cuerpos atravesados por el campo eléctrico.

El primer registro eléctrico se realizó en el año de 1927, en el pequeño campo petrolero de Pechelbronn, Alsacia, provincia del noreste de Francia. Este registro, una gráfica única de la resistividad eléctrica de las formaciones rocosas atravesadas por el pozo, se realizó por el método de "estaciones". El instrumento de medición de fondo (llamado sonda), se detenía en intervalos periódicos en el agujero, se hacían mediciones, y la resistividad calculada se trazaba manualmente en una gráfica. Este procedimiento se repetía de estación en estación hasta que se grabara todo el registro.



En 1912 Conrad Schlumberger, utilizando un equipo muy básico, grabó el primer mapa de curvas de potencial en su finca cerca de Caen, Normandía

El registro de resistividad eléctrica se introdujo comercialmente en Venezuela, en el año de 1929, Estados Unidos y Rusia y, un poco más tarde, en las Indias Orientales Holandesas. Rápidamente se reconoció en la industria petrolera la utilidad de la medición de la resistividad para propósitos de correlación y para la identificación de las capas potenciales portadoras de hidrocarburo.



Primer registro eléctrico de América

Para el año de 1931, la medición del potencial espontáneo (SP) se incluyó con la curva de resistividad en el registro eléctrico. En ese mismo año, los hermanos Schlumberger, Marcel y Conrad, perfeccionaron un método de registro continuo y se desarrolló el primer trazador gráfico.

En 1932, los hermanos Schlumberger introdujeron al mercado un nuevo tipo de arreglo, con el cual mejoraron la calidad de la curva, conocida como normal, debido a que detallaba bien los límites de las capas, pero disminuía el radio de investigación. Asimismo, en 1934 desarrollaron otros dispositivos, como la curva normal larga, con los cuales trataron de tener un mayor radio de investigación. La conjunción de estos tres dispositivos junto con el registro de potencial natural integra lo que hoy se conoce como registro eléctrico (convencional).

Los primeros registros en pozos perforados en México fueron tomados a partir de 1936 por las Cías. Royal Dutch Shell y la British Petroleum, usando equipos patentados por Schlumberger, operados manualmente. Se registraban tres curvas, una de potencial natural y dos de resistividad, una denominada normal con espaciamiento corto de 0.4 m. y otra inversa con

espaciamiento mayor a 5.70 m. que permitían diferenciar mejor las formaciones, su contenido era conocer el grado de invasión del lodo de perforación. Los geólogos de la Cía. Aguila (SHELL) entrenaban a los ingenieros mexicanos.

En 1939 se comenzó a trabajar con las propiedades radiactivas de las rocas. En esa época el conocimiento de esta propiedad era muy pobre y se utilizaba el registro de rayos gamma para determinar cualitativamente la litología (arcillosidad de las rocas) y para la correlación geológica, la ventaja de este instrumento fue que se pudo tomar en agujero ademado y llegó a ser de gran utilidad en pozos donde nunca se había corrido un registro.

Para el año de 1941 se observó que los registros eléctricos eran inadecuados para encontrar zonas porosas en calizas masivas y se introdujo el registro de neutrones, el cual basa su principio en emitir neutrones que interactúan con el hidrógeno de la formación, relacionándolo directamente con la porosidad.

En 1948, se utilizó corriente alterna para registrar pozos que se corrían con lodos base aceite, a esto se le denominó registro de inducción. Como el problema no implicaba invasión por filtrado de lodo acuoso, la profundidad de investigación de esta herramienta era reducida. Desarrollos más modernos de tal registro han permitido también su uso en lodos con agua dulce. La profundidad de investigación del registro de inducción se ha incrementado gradualmente con los años, a fin de minimizar el efecto de invasión y de capas laterales.

Un problema que se presentaba fue la falta de información en la vecindad del pozo, pero con la introducción del registro microlog en 1949, se pudo obtener el factor de formación de las rocas en el lugar de la medición, por medio de electrodos con un espaciamiento muy pequeño, los cuales tendrían contacto con las paredes del pozo a través de un patín. Con este instrumento se pudo conocer también el diámetro del agujero y determinar zonas en las que existiera enjarre. En ese mismo año se desarrolló el registro laterolog, que trata de medir la resistividad verdadera de la formación en lodos muy salados o conductivos. El principio se basa en enfocar la corriente por medio de un gran número de electrodos, con el propósito de tener mayor resolución vertical en capas delgadas. Por estas fechas también se comenzaron a medir las propiedades acústicas de las rocas, cuantificando el tiempo de tránsito de estas mismas y relacionándolo con su porosidad. En la actualidad es una herramienta indispensable en la evaluación de formaciones.

En 1952 se desarrollaron los registros micro enfocados con el propósito de medir la resistividad de la zona lavada o la influencia de la resistividad del filtrado de lodo.

Otra herramienta que infiere la porosidad se desarrolló en 1953, con el nombre de registro de densidad, dicha herramienta pudo medir la densidad de la roca en el pozo, ayudando al geofísico a determinar tanto las variaciones de ésta con la profundidad en la prospección gravimétrica como la porosidad de la misma. La herramienta ha evolucionado en la forma de realizar las lecturas y últimamente se utiliza el registro litodensidad, el cual da ya una idea de la litología.

En 1958 apareció el registro de proximidad para determinar directamente la resistividad de la zona lavada. En nuestros días se cuenta con herramientas que miden, de una forma casi directa, los valores de resistividad verdadera de la formación. El registro de doble inducción (1963), que es una composición de varios tipos de sondas del arreglo de inducción convencional, mide a dos radios de investigación, lo mismo que el registro doble laterolog, ocupándose en formaciones compactas.

En 1970 dio comienzo la era del procesamiento de los registros. El uso de las computadoras hizo posible analizar con mayor detalle la información brindada por los registros. Existen centros de procesos localizados en lugares estratégicos a donde llega la información por teléfono, radio o satélite. En las unidades superficiales se han acondicionado computadoras para dar una interpretación rápida en el lugar de la obtención del registro. Al mismo tiempo, las herramientas de registro se combinan para obtener la mayor información posible en una sola corrida.

Material bibliográfico compilado por Luis Valencia, obtenido de:

- Evolución de los registros de resistividad y su aplicación en la estimación de la saturación de fluidos (agua e hidrocarburos)", Carlos Yair Sánchez Corona, Tesis de licenciatura, UNAM.
- Schlumberger Web page.
- Viro Cosultoría, manual de interpretación de registros geofísicos de pozo.



Base del Glaciar de Jamapa, Pico de Orizaba. Uno de los últimos glaciares en alta montaña de México.



Travesía en el Glaciar de Ayoloco, Iztaccihuatl.



Perforando Nucleos de Hielo en el Glaciar de Jamapa. **Fotografías provistas por el Dr. Alejandro Carrillo Chávez.**



Aglomerado de bloques y bombas cementadas por tobas basálticas en contacto con tobas ácidas de la Formación La Yeguada (Provincia de Veraguas. Foto de H. Álvarez, 2012). Los elementos en la foto son de orden métrico. Foto de **Humberto Álvarez Sánchez**, Colaborador de la Revista.



Brechas de Ignimbritas de la Formación La Yeguada (Provincia de Veraguas. Foto de H. Álvarez, 2012). La Formación "La Yeguada" se distribuye ampliamente en las cumbres de la Cordillera Central de Panamá. Se trata de una unidad potente piroclástica constituida por ignimbríticas y brechas explosivas con grandes bloques, estratificadas en bancos de grandes espesores de composición ácida, dacítica a riolita y edades de 13 a 9 Ma. La máxima actividad de esta fase volcánica marca la fase final del ciclo miocénico. Foto de **Humberto Álvarez Sánchez**, Colaborador de la Revista.



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

The Greatest Oil Well in History

Jon Blickwede

Teyra GeoConsulting LLC

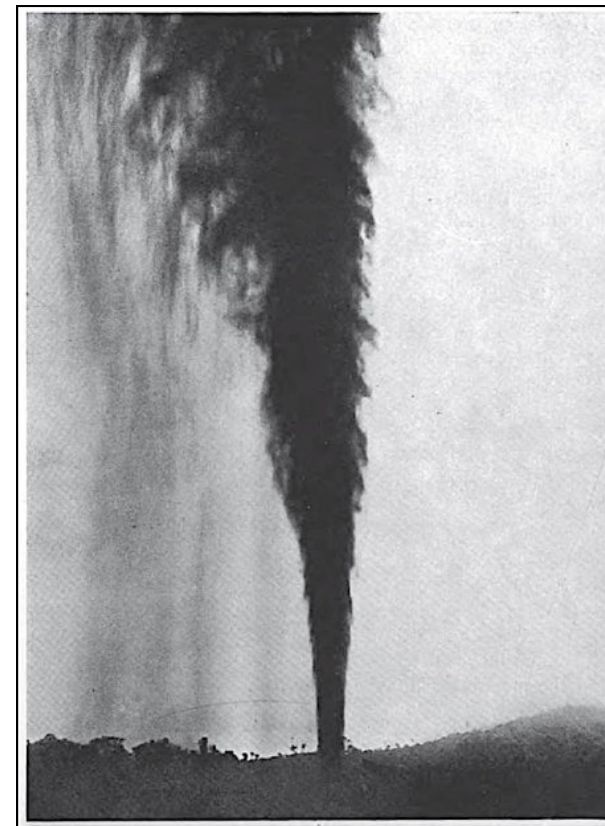
Houston, Texas

www.teyrageo.com

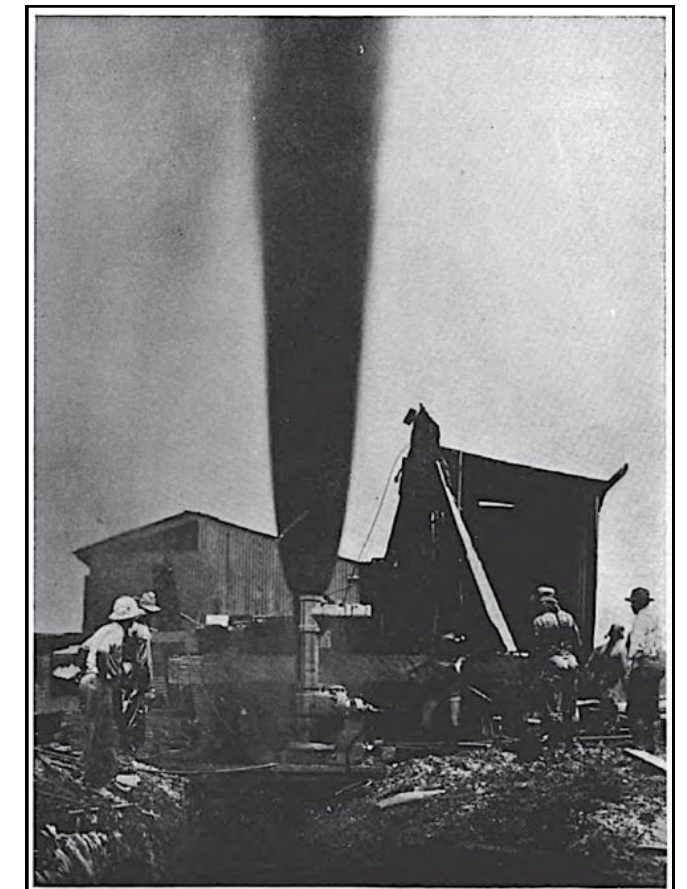
It was a big, early 20th century gusher... but it wasn't the famous Spindletop well drilled in 1901 near Beaumont, Texas, or even any of the many super-prolific oil wells of the Middle East.

The Greatest Oil Well in History is a story mostly forgotten, as it lay hidden for some 70 years in the archives of my first employer Amoco Production Company. During the 1990's, when I worked on a series of joint technical projects involving Amoco, Pemex and the Instituto Mexicano del Petróleo, my friend and former Amoco colleague Josh Rosenfeld found a dog-eared copy of a 1922 Pan American

Petroleum & Transport Company (predecessor to Amoco) publication entitled *Mexican Petroleum* in a dusty corner of the company library in Houston. He decided to make a nice little reprint of a portion of it to distribute at the Amoco booth at a number of Mexican industry events. The subject of Josh's excerpt from the book was Cerro Azul #4, drilled in the Tampico-Misantla Basin of Mexico during late 1915/early 1916 by Pan American. By the way, the President of Pan American Petroleum & Transport was legendary California oilman Edward L. Doheny, whose life story inspired Upton Sinclair's 1920's novel *Oil!* and much later the 2007 Oscar-winning movie *There Will Be Blood*.



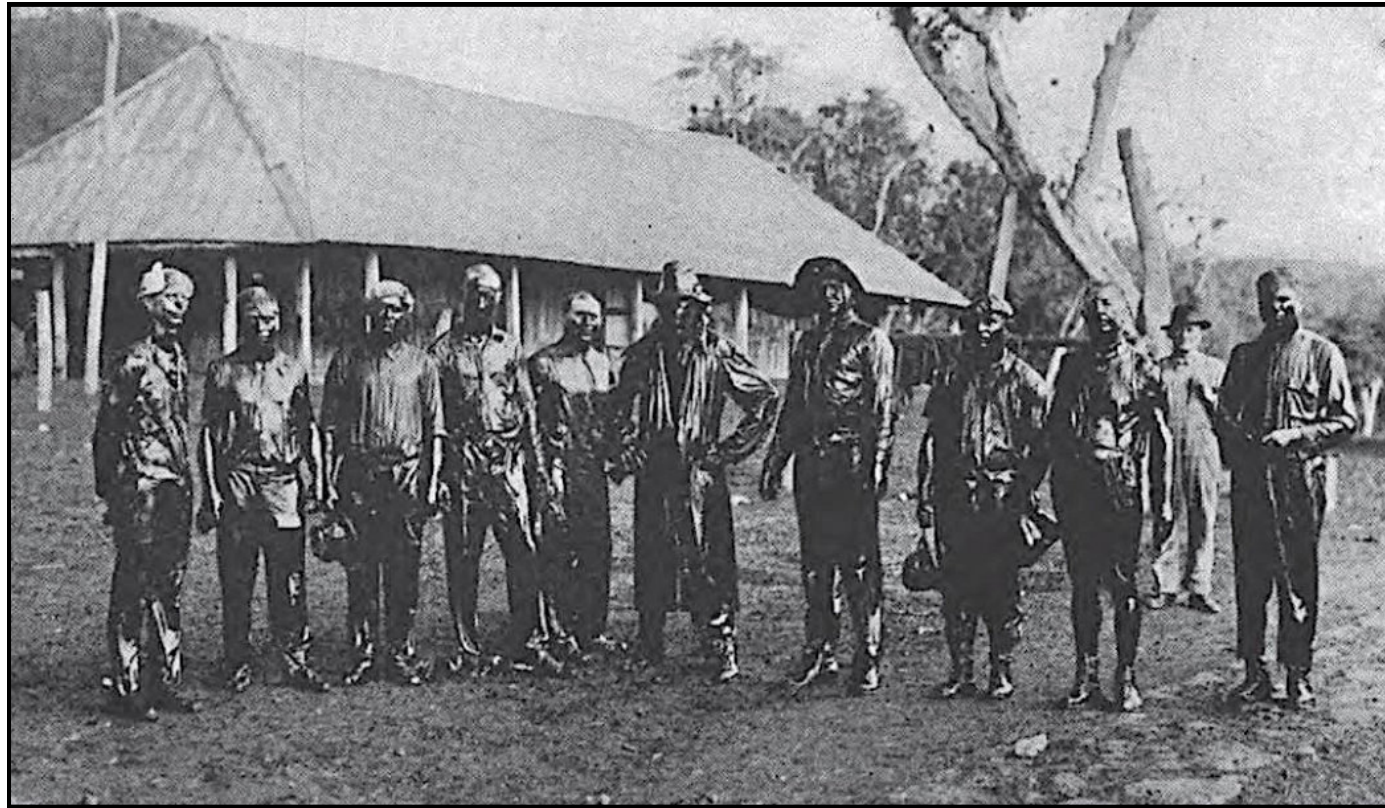
The well at its maximum flow before being closed in. At an estimated 598 ft, the gusher would have exceeded the height of the Marathon oil tower in Houston.



Valve completely over the well, only nine days after the blowout.

Cerro Azul #4 was drilled with a cable-tool rig into the karstified Albian-Cenomanian rudist reef complex of the El Abra Formation, in the northwest part of an elliptical belt of oil discoveries that came to be known as the *Faja de Oro* (or, as it's inaccurately expressed in English, the "Golden Lane"). The well blew out on 10 February 1916 at a depth of around 1,700 feet, and wasn't brought under control until nine days later. During that nine-day period, the

gusher steadily grew to around 700 feet in height, and because of high winds caused by a cold front uncommon this far south in the Gulf, much of the oil was blown up to two miles from the wellsite. Apart from the drilling tools and steel cable being shot far from the wellbore by the gusher, it was reported that stalactites and stalagmites associated with the cavernous porosity of the El Abra reservoir were ejected at high velocity along with the oil.



The men who closed in well Cerro Azul #4.

Because of the great quantity of oil flowing uncontrolled from the well, an attempt was made to collect as much of it as possible by digging a series of trenches away from the wellsite leading into surface pits. The volume of oil could then be calculated by measuring its flow rate through the trenches along with the width and depth of the flow. By this means, Cerro Azul #4 was estimated to have reached a flow rate of **260,858 barrels per day** (not taking into account the oil blown away from the gusher in the wind) on the day before it started to be brought under control. This (minimum) estimate far outstrips the maximum recorded flow rate of any other individual well, anywhere in the world.

It should be emphasized that, although Doheny led the company that drilled Cerro Azul #4, the great discovery would not have been made were it not for the informed optimism, persistence, and belief in the oil potential of the Tampico region by Pan American's Chief Geologist Ezequiel Ordoñez, now regarded as one of the giants of the Mexican petroleum industry.

There are many other fascinating details of the Cerro Azul #4 story, such as the fact that it took only nine days for the wellsite crew to bring the blowout under control, despite having to forge on-site some of the components of the valve assembly. Perhaps most amazing of all is that Cerro Azul #4 is still producing today, or at least as of the



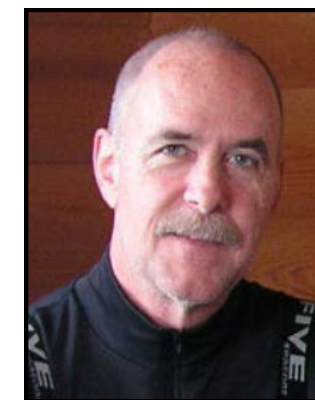
Pan American Chief Geologist Ezequiel Ordoñez.

early 2000's when the last accompanying photo was taken. The entire story of the birth of this world champion can be found in the aforementioned 1922 publication *Mexican Petroleum*, available on the web at Google Books.



Cerro Azul #4 well in the early 2000's.

So some questions naturally arise: was Cerro Azul #4 the global extreme outlier, never to be repeated? Or could there be any analogues out there still waiting to be discovered, perhaps by you and your team? Without the gusher, of course...



Jon Blickwede egresó de la Universidad de Tufts en Boston, Massachusetts con un Bachillerato en Ciencias de la Tierra en 1977. Durante su programa del Bachillerato, fue introducido a la geología de México cuando trabajó un verano como asistente a los geólogos y topógrafos en las minas de plata en Real de Catorce, S.L.P.

Luego trabajó para la *United States Geological Survey* en Denver, Colorado en el Departamento de Recursos de Uranio y Torio.

Entró a la Universidad de New Orleans, Louisiana en el año 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 la industria petrolera en 1981, trabajando siempre como geólogo de exploración, para varias compañías tal como Amoco, Unocal, y últimamente la petrolera estatal noruega Statoil, de la cual se jubiló en el año 2017. Ha realizado proyectos de geología regional de México, Centroamerica y el Caribe para todas estas empresas.

Durante 2018, Jon fundó la empresa Teyra GeoConsulting LLC (www.teyrageo.com), basado en Houston, Texas.

Ahora Jon está realizando unos proyectos geológicos enfocados en la región del Golfo de México, incluyendo un proyecto de crear afloramientos digitales y excursiones geológicas virtuales en EEUU y México, utilizando imágenes ortofotográficas de drones, integrados con otros datos geoespaciales como imágenes de satélite, mapas geológicos, etc.

MÉTODOS NO CONVENCIONALES DE PROSPECCIÓN DE PETRÓLEO Y GAS: KARSTS HIPOGÉNICOS DE CUBA OCCIDENTAL

Leslie F. Molerio-León

Inversiones Gamma, S.A.

PO Box 6249, Habana 6, CP 10600, La Habana, Cuba

E-mail: especialistaprincipal@gmail.com

RESUMEN

La presencia de karsts hipogénicos formados por la migración de gases desde yacimientos gasopetrolíferos profundos pueden constituir evidencias indirectas de reservas de petróleo y gas. Los llamados “oil-field karsts” (karst de campos de petróleo) descubiertos y definidos a fines de los 90 en Estados Unidos constituyen un método complementario no convencional de exploración cuyo alcance se describe en este artículo.

INTRODUCCIÓN

El cavernamiento hipogénico es un tipo de desarrollo de conductos subterráneos en el karst; esto es, de espeleogénesis, que no está vinculado con sistemas de drenaje superficial o subterráneo. Durante años no fue considerado importante debido a que no producía cambios notables en el paisaje cársico, a diferencia del singenético o epigenético, que son los karsts clásicos; sin embargo, en los últimos 40 años va adquiriendo una significación cada vez mayor.

Ello ha sido debido a que muchos de los grandes sistemas cavernarios del mundo están asociados a este tipo de procesos (Carlsbad, Lechuguilla en Nuevo México, Estados Unidos), a su importancia como ambientes extremos para la vida (Cueva de Vila Luz, Tabasco, México) y a la relevancia que ha tomado su asociación con la prospección de ciertos minerales útiles y, en particular, en la exploración de petróleo y gas, para la que se ha acuñado, incluso, el término de “karst de campos de petróleo” (*oil-field karst*) propuesto por C.A. Hill en 1987, a raíz de los descubrimientos de la asociación entre la porosidad secundaria debida a la migración de H₂S en el campo Yates, en Texas y la reevaluación de los sistemas de cavernas del Campo Dollarhide, en Nuevo México, ambos en Estados Unidos y asociados a yacimientos de petróleo y gas.

Este artículo pasa revista a los estudios de este tipo que estamos llevando a cabo en los karsts de Cuba Occidental, a raíz del descubrimiento de ligeras evidencias de hipogenismo asociado a migración de gases (Molerio y Grau, 2011; Molerio, 2013a). La modelación para la prospección comenzó a elaborarse a principios de la década del 2000 (Molerio, 2003, 2004) sobre la base de estudios en cuevas de la Sierra de los Órganos. En términos de mejoramiento de su conocimiento y gestión, recientemente se esbozaron algunas ideas de aprovechamiento sostenible y protección de estos recursos (Molerio, 2019).

RECONOCIMIENTOS

En las fases iniciales de la investigación se buscó asesoramiento para evaluar la componente biogénica de estas cuevas, y la asistencia de mis compañeras María Ofelia Orozco y María Rodríguez, fue fundamental. Información complementaria e intercambios con Julio Hernández, Dave Tavares, Miguel Gala, Silvia Valladares, Arthur Palmer y Andrés Ros fueron fundamentales para mejorar el conocimiento del tema. Trabajos de campo y muestreos específicos para esta investigación en varias de Cuba fueron compartidos con nuestros compañeros Esteban Grau, Vladimir Otero, Brigitte Pileta, Oriol Chávez, Antonio González, Marian Alonso, Mario Guerra y con Ana, mi compañera.

KARSTS HIPOGÉNICOS Y LOS PROCESOS DE FORMACIÓN

La Tabla 1 resume los procesos de formación de los distintos tipos de karsts. En particular, la hipogénesis es esencialmente un conjunto de procesos de mezcla de aguas cuya fuente de acidez no guarda relación con procesos en superficie. Las características fundamentales de los tipos de conductos formados por los procesos hipogénicos se resumen en la Tabla 2. Se supone que representan entre el 10 y 15% de todas las cuevas conocidas y forman cavernas debido a los siguientes mecanismos (Palmer, 2012; Molerio, 2021):

- Por mezcla de aguas en las costas marítimas (incluye las cuevas de margen costero, “*Flank Margin Caves*” de Mylroie y Carew, 1990, 1995; las de “*Efecto Salino*” de Montoriol y Assens, 1957 y las *Indirectas Abrasivas* de Molerio, 2013b)
- Cuevas termales
- Mezclas de aguas profundas con aguas superficiales
- Disolución por aguas con H₂S y cuevas formadas por ácido sulfúrico

Tabla 1. Procesos de carsificación y espeleogénesis (Molerio et al., 2004)

Tipo	Zona hidrodinámica	Tipo de acuífero	Controles hidráulicos	Sistemas físico-químicos	Controles físico-químicos	Procesos dominantes en el control de la tasa de disolución
Singenéticos	No saturada o vadosa	Libre	Intercambio con procesos subaéreos (efecto de mezcla)	H ₂ CO ₃ -CaCO ₃	Cinéticos	Mezcla de aguas (fundamentalmente efecto salino y de insaturación por mezcla agua dulce/agua salada)
Epigenéticos	Epikarst Zona no saturada o vadosa Zona Saturada o Freática	Libre	Intercambio con procesos subaéreos (agua en movimiento y mezcla de aguas). La capacidad de disolución se atenúa en la dirección del flujo	H ₂ CO ₃ -CaCO ₃	Cinéticos	Efectos combinados de agua en movimiento y mezcla de aguas.
				H ₂ S-H ₂ SO ₄	Balance de masas	Efecto de mezcla
				Sistemas mixtos: H ₂ CO ₃ -CaCO ₃ y H ₂ S-H ₂ SO ₄	Controles mixtos: cinético y balance de masas	Efectos combinados de agua en movimiento y mezcla de aguas
Hipogénicos	Circulación profunda	Confinado, semi-confinado o semilibre	Sin intercambio con procesos subaéreos. La capacidad de disoluciones independiente del flujo	H ₂ S-H ₂ SO ₄	Balance de masas	Irrupciones de agresividad limitadas en tiempo y espacio: Efecto de mezcla Oxidación del H ₂ S Enfriamiento de aguas termales ascendentes Metamorfismo Reducción de sulfatos Maduración de hidrocarburos Dedolomitización

- Oxidación de minerales de hierro
- Paragénesis
- Incepción o inserción

La erosión inversa de Maucci (1952) es esencialmente un proceso de mezcla de aguas que tiene lugar en la zona no saturada, entre el epikarst y la zona de fluctuación del nivel freático. Ácidos de origen profundo asociados a procesos

ígneos y metamórficos tienen potencial para el desarrollo de cavernamiento, pero ello no está explicado aun de manera satisfactoria. El flujo convectivo Curl (1966) es otro proceso espeleogénico en el que el patrón de desarrollo ha sido inducido por el potencial de densidad. Otros tipos genéticos, como las cuevas asociadas a inundaciones, tampoco serán documentados aquí.

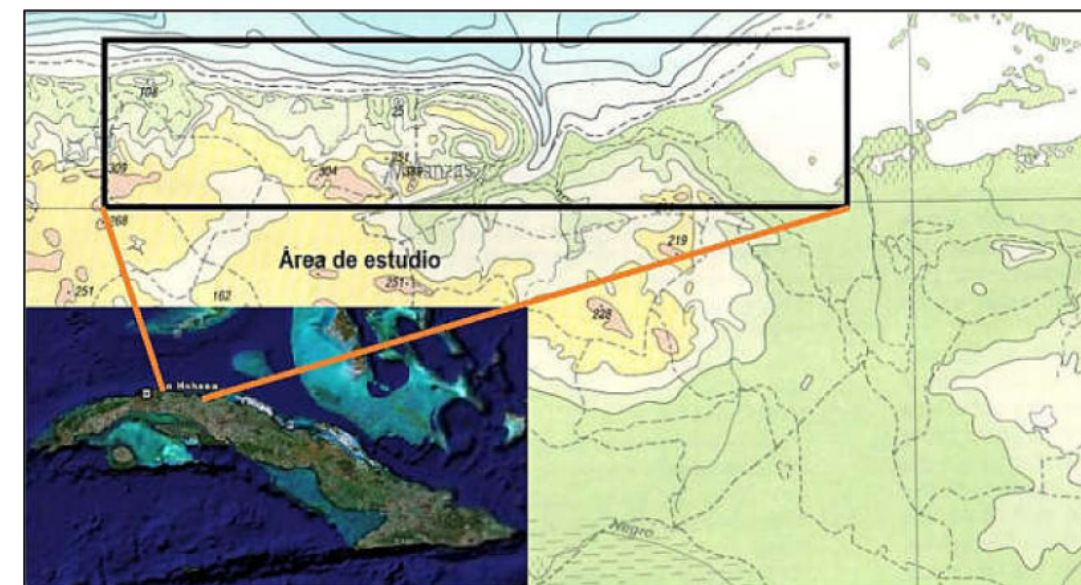


Fig. 1. Área de estudios actuales

Tabla 2. Características generales de los conductos formados por cavernamiento hipogénico (compilado de Montoriol y Assens, 1957; Núñez, 1957; Curl, 1966; Lowe, 1992; Lowe y Gunn, 1997; Palmer, 2012; Molerio, 2013b, 2021; Ros et al., 2016).

Procesos	Patrones genéticos y características morfológicas
Mezcla de aguas en las costas marítimas ("Flank Margin Caves" -FMC-, de "Efecto Salino" -ES- e Indirectas Abrasivas -IA-	Se encuentran típicamente en las zonas costeras carbonatadas jóvenes con alta porosidad primaria Poca o ninguna relación de las cuevas con el relieve superficial Dominantemente horizontales y, las más antiguas se presentan en niveles superpuestos, asociados a las posiciones del nivel del mar fluctuante durante el Cuaternario y alineadas horizontalmente en zonas que estuvieron originalmente al nivel del mar Los planos de desarrollo correlacionan bien con los niveles del mar durante el pasado geológico reciente El patrón de desarrollo dominante es laberíntico, vinculado con la porosidad de la roca y, en menor grado, el agrietamiento Planta laberíntica, con salones lobulares, unidos por coalescencia o por pasajes estrechos asociados a clastificación En la superficie se presenta campos de lapiés libres, de crestas agudas Las cuevas en la línea de costa apenas presentan espeleotemas Los derrumbes, de tipo graviclásticos predominan y dominan los sedimentos no cohesivos del tipo de arenas y cantos redondeados Presentan fuertes huellas de abrasión mas no de scallops u otras formas erosivas asociadas al agua corriente Los perfiles son francamente horizontales El desarrollo actual es más activo en la zona de intercambio entre el mar y el agua subterránea de menor salinidad Por lo común de poca extensión
Cuevas termales	Patrones de desarrollo vertical o subvertical laberíntico La ramificación aumenta hacia arriba en el corte La fuente de CO ₂ activa es profunda y suele estar asociada a actividad ígnea o a descomposición metamórfica de las rocas carbonatadas Se asocian con paleokarsts Patrón de desarrollo controlado por el agrietamiento con fuerte interconexión entre las fracturas Las cortezas parietales de calcita son las espeleotemas más comunes, pero también se encuentran depósitos de cuarzo y otros silicatos; en este caso, las galerías suelen ser verticales y planas Los sedimentos son ricos en elementos poco comunes en otras cuevas (Ba, Tl, Pb, As) y abundan los óxidos de hierro y manganeso Las galerías inferiores suelen estar rellenas de sedimentos provenientes de la deposición por aguas ascendentes En el área suelen encontrarse manantiales termales
Mezclas de aguas profundas con aguas superficiales	Se trata de pequeños bolsones que suelen presentarse aislados Perfiles irregulares del techo y el piso Abundantes formas erosivas del tipo de cúpulas Ocurren en calizas muy fracturadas Abundan depósitos de óxidos de hierro y manganeso Los sedimentos arcillosos son tanto de superficie como profundos, en este caso, provenientes de las etapas iniciales de disolución de los carbonatos
Disolución por aguas con H ₂ S	Suelen estar asociadas a los yacimientos gasopetrolíferos Las cuevas activas expiden fuerte olor a sulfhídrico en ciertos sitios y en las aguas Los sedimentos son ricos en sulfatos, particularmente de yeso y minerales de hierro
Cuevas formadas por ácido sulfúrico	Se forman por la mezcla del sulfuro de hidrógeno ascendente con aguas someras donde se oxidó en o cerca del nivel de las aguas subterráneas Patrones de desarrollo ramificados, de planta irregular, laberínticos y dispuestos en varios niveles superpuestos Las galerías pueden ser tanto horizontales como verticales y no exhiben un patrón único ya que también pueden encontrarse grietas que se estrechan hacia arriba Guardan poca o ninguna relación con el relieve superficial Secciones transversales irregulares o galerías sin continuidad Bolsones y cúpulas se encuentran frecuentemente en la bóveda, que suele tener forma de cúpula Bajo pH de las aguas La mayor parte del volumen de las cuevas se encuentra sobre el nivel freático Las galerías que descargan hacia la superficie generalmente disminuyen el área de la sección transversal en la dirección del flujo

Oxidación de minerales de hierro	Patrón ramificado en forma de red No suelen disponerse en niveles superpuestos La correlación con el relieve superficial es muy baja o inexistente Dominan depósitos de arena dolomítica Las formas cenitales y parietales de disolución incluyen cúpulas y bolsones como elementos dominantes Suele presentar depósitos masivos de yeso Se encuentran asociadas muchas veces a depósitos de siderita
Paragénesis	Sección estrecha, encañonada, más amplia en las partes altas, predominantemente vertical, más alta que ancha Abundante relleno por sedimentos arcillosos con nichos y rampas por encima del relleno de sedimentos Las formas erosivas parietales de tipo de meandros pueden mostrar scallops de crestas suavizadas y las ranuras de los meandros se inclinan hacia abajo, en dirección del flujo Suelen ser indicadores de lazos freáticos descendentes Son indicadores de inundaciones, a las que se asocia su desarrollo
Incepción o inserción	Cavidades primarias, primigenias o protocuevas que no forman redes, sino horizontes aislados asociados a los planos de estratificación Patrones horizontales de desarrollo y sección irregular Desarrollo próximo a zonas capaces de generar reacciones de tipo REDOX Los procesos no siempre están asociados al flujo gravitacional sino también a las mareas, capilaridad o difusión iónica Conductos o pozos sin continuidad aparente

PROSPECCIÓN EN LOS KARSTS DE CAMPOS DE PETRÓLEO

La mayor parte de las cuevas formadas por ácido sulfúrico resultan del ascenso de sulfuro de hidrógeno desde horizontes profundos que se oxidó cerca del nivel de las aguas subterráneas (Fig. 2: véase también a Jagnow et al, 2000). En su absoluta mayoría están asociadas a campos petroleros, de ahí que se haya acuñado el término de **karsts de campos de petróleo (oil-field karsts; Hill, 1987, 1995; Palmer y Hill, 2005)** para este tipo de cuevas (Fig. 2;

Lowe, 1999). En los últimos años, una profusa literatura ha descrito los resultados de las investigaciones en este tipo de karsts y, los procesos activos detectados en algunas cuevas, como la de Villa Luz (Hose y Pisarowicz, 1999), entre otras, han confirmado que no se trata de procesos inactivos, sino que tienen lugar con especial intensidad en estos momentos.

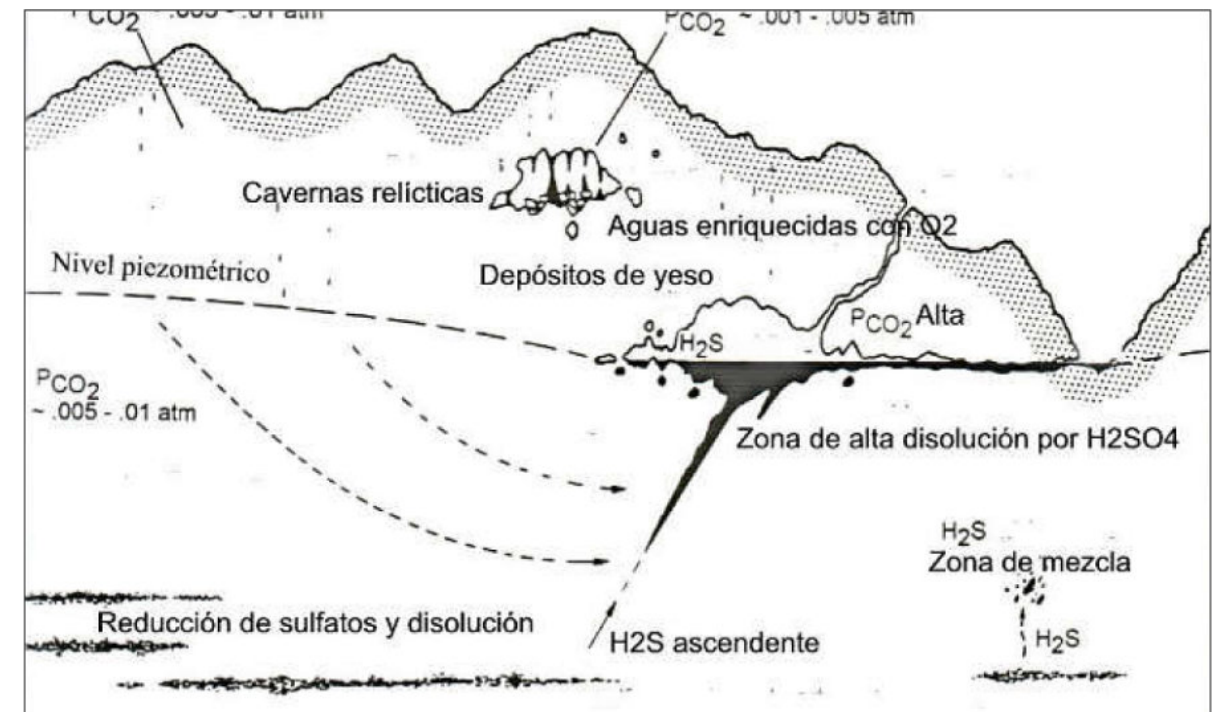


Fig. 2. Procesos de espeleogénesis hipogénica debidas a migración de H₂S desde fuentes profundas (Según Palmer y Hill, 2005; Palmer, 2012)

El **problema directo** de la investigación se resume a continuación:

- Existen procesos de espeleogénesis asociados a condiciones artesianas en el territorio cubano
- Los paleokarsts son, en todos los casos, pre neógenos, aunque se han encontrado evidencias de paleokarsts o, al menos de cavernas holofósiles en rocas del Mioceno medio
- La porosidad de cavernamiento y los sistemas de cavernas confinados o formados bajo condiciones artesianas no guardan relación con el relieve moderno superficial, lo que indica la falta de intercambio con procesos subaéreos
- Los patrones de cavernamiento de patrón agrietamiento en determinados contextos hidrológicos y geológicos muestran pocas variaciones en su geometría, excepto en los casos en que han ocurrido procesos colaterales de mezcla

El **problema inverso** se describe del modo siguiente:

- El cavernamiento mixto epigenético-hipogenético en campos de petróleo (Oil-Field Karst) constituye una evidencia de la migración de H_2S desde los reservorios a la superficie y es una manifestación indirecta de la presencia de hidrocarburos en el subsuelo
- La migración de H_2S es indicadora de pobres propiedades aislantes de los sellos (que en el caso presentado en esta contribución se trata de Claystone con fragmentos de pedernal y caliza de la Formación Vega Alta del Paleoceno Superior –Eoceno Inferior).

En el área de estudio se reconocen estos rasgos:

- Desarrollo de un intenso y rápido cavernamiento (porosidad secundaria; Fig. 3)

- Dominio de patrones circulares de cavernamiento a escala local y regional y en menor grado lineales, pero, sobre todo, mixtos (Figs. 4 y 5)
- Preeminencia de morfologías de efecto de mezcla (Figs. 6-8)
- Independencia del cavernamiento respecto a las posiciones de las zonas de recarga/descarga, incluyendo captura de drenaje superficial
- Permeabilidad de fracturas modificada por patrones laberínticos asociados a grandes salones de mezcla
- Enriquecimiento de hierro (pirita, goethita, hematita) en las rocas y las aguas
- Desarrollo de niveles de cavernamiento independientes o casi independientes de la oscilación del nivel de base local/regional
- Asociación con los yacimientos gasopetrolíferos onshore
- El cavernamiento mixto epi-hipogenético está restringido a los sedimentos del Mioceno Superior-Plioceno

Los eventuales procesos espeleogénicos por ácido sulfúrico en Boca de Jaruco, Bellamar, Santa Catalina-Carboneras, Santa Marta-La Cachurra y Varadero, permiten suponer que durante la parte alta del Mioceno medio y superior se produjo una migración del H_2S –probablemente en forma acuosa– desde el yacimiento gasopetrolífero hacia la superficie. La mezcla de estas aguas con las del acuífero superior, somero, ricas en O_2 y que forman parte de un karst de tipos singenético y epigenético provocó, al menos, un episodio de mezcla de aguas que produjo un cavernamiento (espeleogénesis) mixto epi-hipogenético. Donde este proceso estuvo ausente, solamente se desarrolló un karst de tipo epigenético clásico.

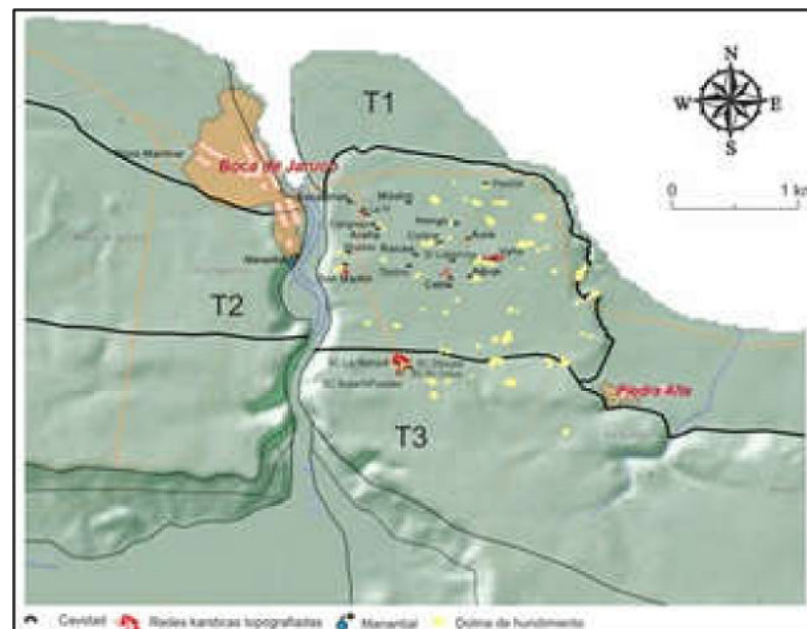


Fig. 3. Distribución del cavernamiento en la margen derecha del tercio inferior de la cuenca del río Jaruco, donde se han explorado 18 cavidades concentradas en 3 km² (Otero et al., 2021)



Fig. 4. Patrones de cavernamiento lineales y mixtos (compilación cortesía de Esteban Grau y Ángel Graña).



Fig. 5. Patrón de cavernamiento circular (compilación cortesía de Esteban Grau y Ángel Graña).



Fig. 6. Morfologías hipogénicas en Cinco Cuevas (Foto Vladimir Otero).



Fig. 7. Morfologías hipogénicas en la Cueva de Las Muelas (Cueva Lehmann) (Foto Vladimir Otero).



Fig. 8. Morfologías hipogénicas en la Cueva de Don Martín (Foto del autor).

NOTA FINAL

La línea de investigación es promisoría. La discriminación adecuada de los procesos de control de espeleogénesis hipogénica mediante exploración directa, básicamente, pueden constituir eventualmente un recurso metodológico adicional para la prospección de petróleo y gas onshore. Las investigaciones desarrolladas en la última década por el autor han permitido identificar un grupo de sistemas de cuevas en los Yacimientos de Boca de Jaruco y Varadero, en la Franja de Crudos Pesados del Norte de La Habana-Matanzas que parecen satisfacer algunas de las propiedades y patrones de las cuevas hipogénicas formadas por H₂S o por ácido sulfúrico.

En tanto otras no se cumplen, la investigación también se ha orientado a la simulación matemática de los procesos epigenéticos modificando, para el karst hipogénico, un modelo construido por este autor, basado en el desarrollo de los procesos termodinámicos de no equilibrio. Los resultados de la modelación conjugados con la exploración de campo han conducido a la identificación de formas hipogénicas del tipo señalado, en zonas donde hoy no se lleva a cabo o es muy limitada la prospección de petróleo y gas onshore.

REFERENCIAS

Curl, R.L. (1966): **Cave Conduit Enlargement by Natural Convection**. Cave Notes, 8(1): 4-8

Hill, C.A. (1987): **Geology of Carlsbad Cavern and other caves in the Guadalupe Mountains, New Mexico and Texas**. New México Bur. Mines and Mineral Res. 150:

Hill, C.A. (1995): **H₂S-related porosity and sulfuric acid oil field karst**. In: Budd, D.A., A.H. Saller, P.M. Harris (eds): **Unconformities and porosity in Carbonate strata**. AAPG, 63:301-306.

Hose, L.D., J.A. Pizarowicz (1999): **Cueva de Villa Luz, Tabasco, Mexico: Reconnaissance study of an active sulfur spring cave and ecosystem**. Journal Caves and Karst Studies. 61(1):13-21

Jagnow, D.H., C.A. Hill, D.G. Davis, H.R. DuChene, K. I. Cunningham, D. E. Northup, J. Michael Queen (2000): **History of the Sulfuric Acid Theory of speleogenesis in the Guadalupe Mountains, New Mexico**. Journal Caves and Karst Studies. 62(2):54-59

Lowe, D.J. (1992): **The origin of Limestone caverns: An Inception Horizon Hypothesis**. PhD Thesis. Manchester Metropolitan Univ. Council Natl Acad. Awards, 512:

Lowe, D.J. (1999): **The role of speleogenesis in the development of hydrocarbon and mineral deposits**. Comm. Hydrogeology and Speleogenesis, UIS.

Lowe, D.J., J. Gunn (1997): **Carbonate speleogenesis: An inception horizon hypothesis**. Acta Carsologica, 26(2): 457-488

Maucci W. (1952): **L'ipotesi del l'erosione inversa come contributo allo studio della speleogenesi**. Boll.Soc.Adriatica Sc. Nat., 46: 1-60.

Molerio León, L.F. (2003): **Simulación matemática de los procesos de carsificación, cavernamiento (espeleogénesis) y migración de hidrocarburos en sistemas hipogénicos**. VI Taller Internacional Informática y Geociencias, La Habana, 6:

Molerio León, L.F. (2004): **Procesos de cavernamiento (espeleogénesis) en sistemas hipogénicos**. Ing. Hidr. y Ambiental, La Habana, XXV (2):39-43

Molerio León, L.F. (2013a): **Evidencias de carsificación y cavernamiento mixto epi-hipogénico en la Cobertura Neoaútóctona de la Franja de Crudos Pesados del Norte de La Habana-Matanzas**. Mapping Latino. 2 Septiembre 2013, 17:
<http://mappinglatino.com/blog/2013/09/02/evidencias-de-carsificacion-y-cavernamiento-mixto-epi-hipogenetico/>

Molerio León, L.F. (2013b): **Resumen de la Tipología Hidrogeológica del Karst Cubano**. Aragonito, No. 1, Suplemento del Periódico Digital Espeleológico El Explorador, Cuba:1-25

Molerio-León, L.F. (2019): **Gestión de ecosistemas cársicos hipogénicos y epi-hipogénicos**. I Simposio sobre Carso, Cuevas y Ambientes Subterráneos. XII Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo, La Habana, SC-004

Molerio León, L.F. y E. Grau González (2011): **Episodios hipogénicos de carsificación y espeleogénesis en el territorio de La Cachorra-Santa Marta, Matanzas**. El Explorador, Periódico digital espeleológico, Cuba, No. 89, Septiembre 30, 2011:1-4.

Molerio León, L.F., E. Balado Piedra, R. Fernández Ortega, R. Gutiérrez Domech, E. Jáimez Salgado, J. R. Fagundo Castillo, J. B. González Tendero, R. Lavandero Illera, J. Martínez Salcedo, M. Condis, L. F. De Armas, J. L. Clinche Crego, J. Pajón Morejón, E. Dalmau Hevia, T. Crespo Díaz, A. Graña González, E. Vento Canosa, M.G. Guerra Oliva, A. Romero Emperador, M. C. Martínez Hernández, A. Martínez Zorrilla (2004): **El Mundo Subterráneo**. Universidad para Todos. Edit. Academia, Ciudad de La Habana, 31:

Montoriol Pous, J., J. Assens Caparrós (1957): **Sobre el papel desempeñado por el efecto salino en la génesis de ciertas cavidades kársticas desarrolladas en las líneas de costa**. Rev. Ciencias, Univ. Oviedo, VII(1):81-88

Myloie, J.E., J.L. Carew (1990): **The Flank Margin Model for Dissolution Cave Development in Carbonate Platforms**. Earth Surface Processes and Landforms, 15:413-424.

Myloie, J.E., J.L. Carew (1995): **Karst development on carbonate islands**. In/ Budd, D.A., P.M. Harris, A. Saller: **Unconformities and Porosity in Carbonate Strata** (Eds.). Memoir 63, American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, OK, pp. 55-76

Núñez Jiménez, A. (1957): **La Espeleología y sus progresos**. Revista Soc. Científica de Espeleología, I(1), abril, Santa Clara, Cuba, (*sin paginar*)

Otero Collazo, V., A. González Ramón, L. Molerio León, O. Chávez Bonora, M. Alonso Martínez (2021): **Sobre la espeleogénesis de las cavidades de Boca de Jaruco, Mayabeque-Cuba. Primeros resultados de las campañas de 2019-2020**. Boletín SEDECK, 16, 15: <https://www.leg.mn.gov/docs/2013/other/130624/vol2.pdf>

Palmer, A.N. (1991): **Origin and morphology of limestone caves**. Geol. Soc. Amer. Bul.103:1-21

Palmer, A.N. (2012): **Geología de cuevas**. Cave Books, Guangdon, China, 502:

Palmer, A.N., C.A. Hill (2005): **Sulfuric Acid Caves**. in Culver, D.C. y W.B. White (2005): **Encyclopedia of Caves**. Elsevier, 654:

Ros Vivancos, A., J. L. Llamusí Latorre, J. Sánchez Ortega, F. Gázquez Sánchez, J. M. Calaforra Chordi (2016): **Hypogenic**



Leslie Molerio León es geólogo de Yacimientos Minerales e Hidrogeólogo-Hidrotécnico, MSc. en Hidrología Isotópica, Ex-Director del Servicio Hidrológico de la República de Cuba, Especialista Principal en Proyectos e Ingeniería en INVERSIONES GAMMA; Acreditación Profesional para la dirección y ejecución de obras subterráneas; Auditor Ambiental; Experto para diferentes agencias de Naciones Unidas; Miembro de la Academia de Ciencias de Nueva York y de 38 sociedades científicas internacionales, cubanas y extranjeras. Conferencista y docente en universidades de Latinoamérica y Europa; tutor o cotutor de 35 tesis de grado, maestrías y doctorados. Ha participado en unos 480 proyectos de su especialidad en 47 países. Tiene publicados unos 340 artículos en revistas especializadas y es autor o coautor de 17 libros y folletos. Ha participado en unos 135 congresos científicos. Posee numerosas condecoraciones y premios por su labor profesional (Orden Carlos J. Finlay del Consejo de Estado de la República de Cuba, el Premio Jesús Fco. de Albear "A la Obra de la Vida" (Sociedad Cubana de Geología) y el Premio Internacional Espeleo 2018 (España).

<https://orcid.org/0000-0001-9667-3258>

<https://www.researchgate.net/profile/Leslie-Molerio-Leon>

<https://www.linkedin.com/in/lesliemolerio241147/>

Progress on revision of Belize's Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy

David T. King, Jr. and Lucille W. Petruny

Geosciences, Auburn University, Auburn, Alabama 36849 USA

Abstract

The Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy of Belize, which pertains to both the northern and southern onshore basins of the country (Corozal and Belize, respectively), has been based up to now upon the work of early geological pioneers in Belize. During the 1950s, these early workers studied and named most of the informal stratigraphy of the former British colony and made age estimates for all the known stratigraphic units. These age estimates were likely reasonable at the time, but those same estimated ages for Belize's stratigraphic units have been repeated in government and corporate reports, on geological maps, and in most published papers without further significant investigation for the past ~ 70 years. Starting in 2003, in a series of papers addressing the sedimentology, stratigraphy, and depositional environments of nearly all the formations of northern Belize, plus the Toledo formation of southern Belize, our research group has presented modern facies analyses, and – since 2016 – provided revised ages of many of the stratigraphic units in both Belize basins. A revised chronostratigraphy for Belize is important for future investigations; and we have found that most original age estimates are in substantial error. In the present paper, our research group's progress on revision of the chronostratigraphy of Belize's two onshore sedimentary basins is reviewed, and we note where additional stratigraphic work is needed.

Introduction

The history of Belize stratigraphy is briefly summarized here starting with the earliest pioneering geological work. During the 1920s, colonial geologist Leslie Ower published three reports on the geology (including stratigraphy) of British Honduras (Belize), which became the starting point for investigations of that country's geology and geological resources (Ower, 1927; 1928a; and 1928b). The simplistic and incomplete view of Belize geology from Ower was not sufficient, however, to promote continued geological exploration of Belize, therefore during the 1950s, Giovanni Flores, an exploration geologist with the Bahamas Exploration Company, Ltd., spent considerable time in the field and produced a detailed company report on the surface stratigraphy of northern Belize (i.e., the Corozal basin and its overlying strata; Flores, 1952a). He also authored a short report published in the *AAPG Bulletin* (Flores, 1952b). It was, however, Flores' company report, including his hand-drawn geological map and type-written narrative that became the standard reference for northern Belize stratigraphy for decades thereafter. His age estimates and informal stratigraphic names have been repeated in the years since his work in all government reports, all geological maps, and most of the few published papers on northern Belize stratigraphy. During the 1970s, exploratory drilling in northern Belize revealed two subsurface-only formations, the Hill Bank (a.k.a. Hillbank) and overlying Yalbac formations, which were not known to Flores. These formations were described first and named by Richard Bryson (1975) in a corporate report for Anschutz Overseas Corporation. The history of northern Belize stratigraphic nomenclature has been reviewed in detail by King et al. (2004), who published a paper on the state of knowledge of the stratigraphy of northern Belize ('Stratigraphy of Belize, north of the 17th parallel'), including both surficial and subsurface stratigraphic units. However, that paper repeats the same erroneous age estimates from older literature.

¹Purdy et al. (2003), Petersen et al. (2012), and some other papers and reports from the 1990s depict a "Belize formation" in the Corozal basin as well. This "Belize formation," if it were a valid name, would consist of the Iguana Creek formation, Orange Walk group, and Red Bank group. However this name is *not* recognized as a formation name in northern Belize. Cornec does not use this formation name on any of his maps and it was not mentioned by Flores (1952a, b). Thus, we do not regard the "Belize formation" as a valid name for the strata in northern Belize, and we discourage its use with regard to northern Belize stratigraphy.

²As noted in Gill et al. (2018), the stratigraphic position of the stratigraphic break or hiatus is actually a few meters above the contact between the Hill Bank and overlying Yalbac (i.e., within the lowermost beds of the Yalbac formation) according to proprietary well logs accompanying the samples analyzed by Gill (2017). Gill et al. (2018) suggested that the formation contact is moved to the level of the stratigraphic break or hiatus in future work, and we have done so for the present paper.

³This 2-m carbonate bed, which was first described by Jones (2014) is situated at the top of an outcrop located at mile marker 34 on the Hummingbird highway, near the village of St. Margaret. The age of this carbonate bed clearly shows that it is much older than, and therefore unlikely to be a part of, the overlying Hill Bank formation (Gill et al., 2018). We speculate here that this carbonate bed may be part of the northern Belize equivalent of the San Ricardo formation of southern Belize (see Figure 2), which is an upper part of the southern basin's Todos Santos formation.

In southern Belize, colonial geologist C. G. Dixon (1957) described the main stratigraphic units in that area (i.e., the Belize basin). Strata above the Toledo were not discussed by Dixon, but Nair (1987) produced a government report in which he first proposed and named the youngest stratigraphic unit in the basin, the Belize Formation¹, which lies above the Toledo and is subsurface only. Perhaps owing to subsequent interest in exploration drilling in southern Belize, the subsurface stratigraphy of southern Belize was reviewed in substantial detail by Edward Purdy and two other geologists (Purdy et al. (2003).

A modern geological map of Belize was first produced by Jean Cornec (1985; 1986) not long after Belize became an independent nation. Cornec eventually produced a series of updated geological maps for the Geology and Petroleum Department in Belmopan (Cornec, 1998; 2003; 2005; 2013; and 2015). All these maps have used essentially the same stratigraphic nomenclature and biostratigraphic age determinations presented by Flores and Dixon, and other coeval publications have essentially followed the same early pioneers' chronostratigraphic framework. Figure 1 shows the 2015 geological map by Jean Cornec to which the approximate location of the Corozal and Belize basins have been added by us in the present paper.

Figure 1 - Geological map of Belize by Jean Cornec (2015); used with permission. The approximate, schematic outlines of the two basins, Corozal and Belize, have been added by us to this map. Ages shown on this map are those of Cornec, and are not the same as the revised ages noted in the present report. Abbreviations used in the northern Corozal basin and vicinity: J – Jurassic; UK – Upper Cretaceous; Et – Early Tertiary (sic); Ltrb – Lower Tertiary (sic) Red Bank group; Ltow – Lower Tertiary Orange Walk group; and Q – Quaternary. Abbreviations used in the southern Belize basin: J – Jurassic K – Cretaceous; T – Tertiary (sic); and Q – Quaternary. The same informal stratigraphic units on this map, and essentially the same ages used in this map, are shown in Figure 2. This map and its separate legend can be obtained on the web page of Belize's Geology and Petroleum Department.

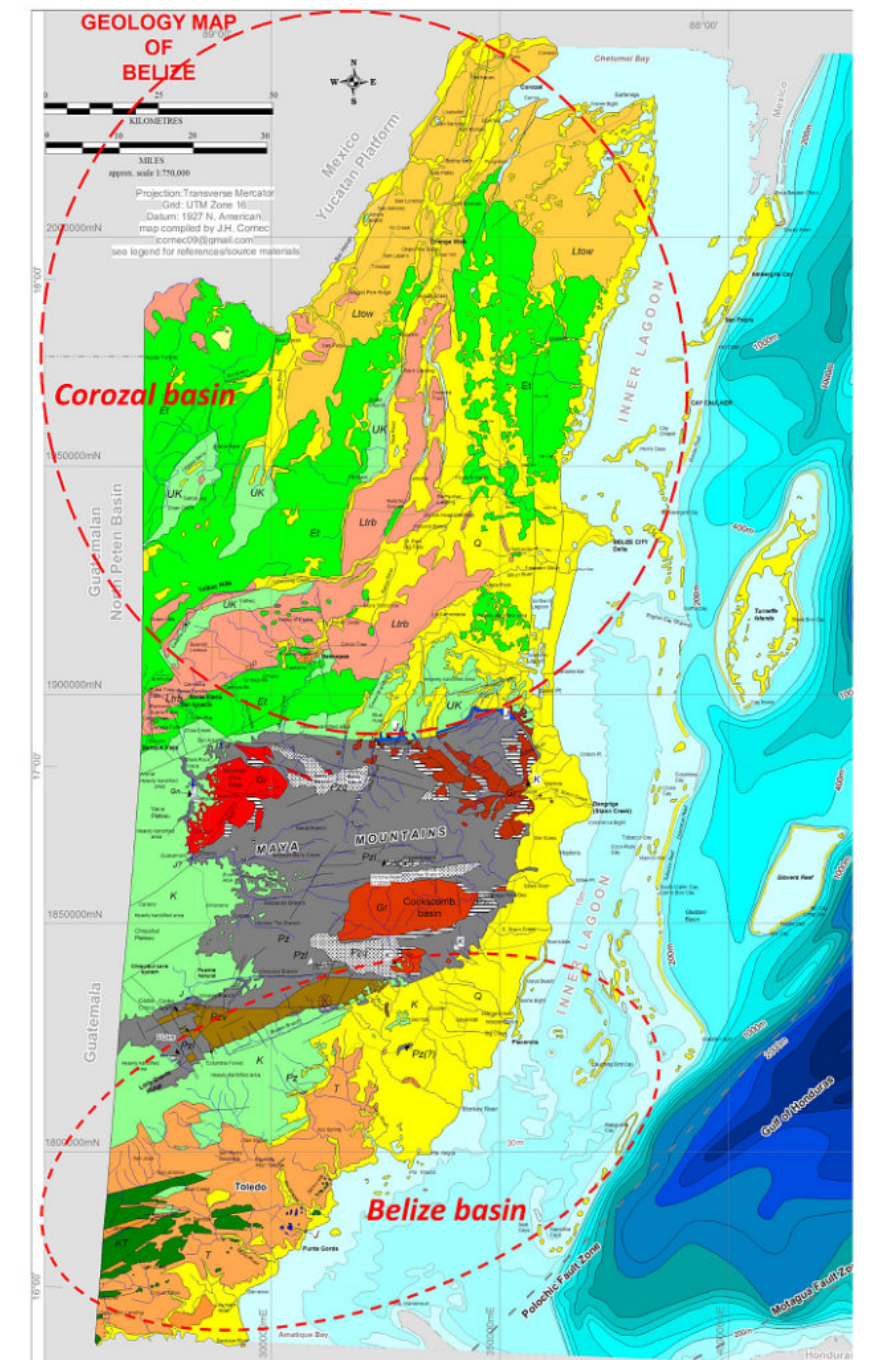


Figure 2 shows the previously accepted stratigraphy and ages of the northern (Corozal) and southern (Belize) sedimentary basins of Belize (modified – and corrected – from an analysis by Purdy et al., 2003). On this figure, there are bulleted notes (red dots) showing where our research group’s work has found evidence for needed changes in the chronostratigraphy of the extant lithostratigraphic units. Please note that the informal lithostratigraphy and original chronostratigraphy of Figure 2 are consistent with the 2015 geological map in Figure 1. However, the geochronologic (numerical) ages indicated on Figure 2 have been added by us, and they match with the current version of the *International Chronostratigraphic Chart* (Cohen et al., 2021).

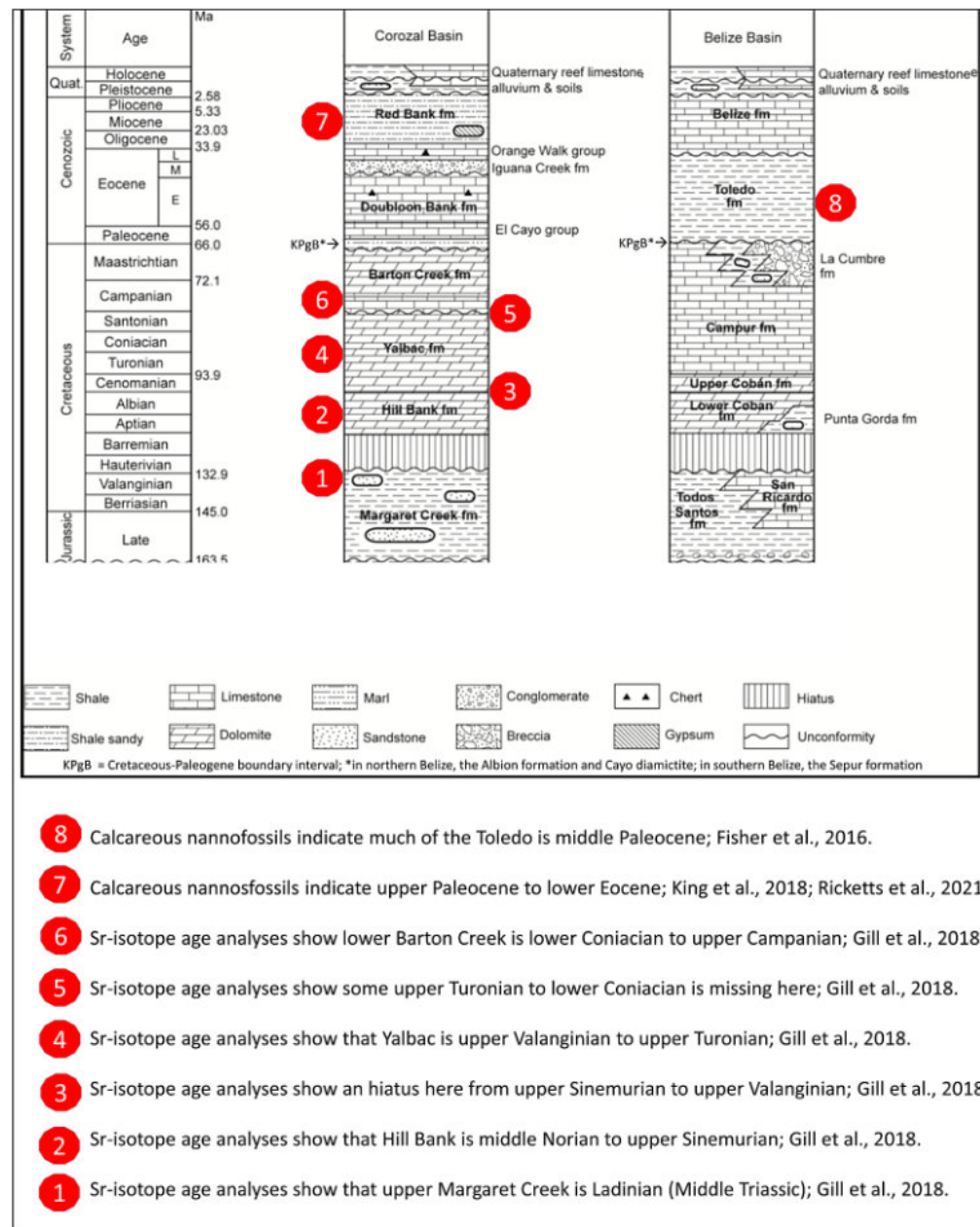


Figure 2. Chronostratigraphy and correlated informal lithostratigraphy of northern Belize (Corozal basin) and southern Belize (Belize basin) according to previous workers. Bulleted points (red dots) with numbers indicate the stratigraphic level where new age determinations have been made. Corresponding red-dot numbers below the diagram briefly describe those new age determinations, which are reviewed in the present report. Legend of symbols is at the bottom, as are footnotes regarding the stratigraphic nomenclature of Cretaceous-Paleogene boundary (KPgB) units. This diagram is corrected and modified from Purdy et al. (2003); see also their cited references. The stratigraphic units have no consistent vertical scale and thicknesses are not related to those actually known. Unconformities in the stratigraphic sections are schematic. Ages given on the chronostratigraphic column (left side) are from the current version of the *International Chronostratigraphic Chart* (Cohen et al., 2021). The unit “Quaternary reef limestones, alluvium, and soils” has been added to both basins with regard to field observations of the authors (see text).

Chronostratigraphic analysis

The following are some major discrepancies that we have discovered in the previously accepted chronostratigraphic relationships, which are bulleted in Figure 2. Regarding the Corozal basin, King’s graduate student Karena Gill (Gill, 2017; Gill et al., 2018) used strontium-ratio analysis of proprietary drill cuttings to establish the actual age range of the subsurface-only Yalbac and Hill Bank formations (the method used follows that described in McArthur et al., 2001; 2012). The clastic and carbonate Hill Bank formation was found to be middle Norian (Upper Triassic) to upper Sinemurian (Lower Jurassic), and the Yalbac was found to be upper Valanginian (Lower Cretaceous) to upper Turonian (Upper Cretaceous). A previously unknown hiatus (i.e., disconformity) between the Yalbac and Hill Bank formations² spanning approximately 60 million years (upper Sinemurian to upper Valanginian) was thus revealed by Gill et al. (2018). Further, a carbonate bed³ from the upper part of the Margaret Creek formation was found to be Middle Triassic (Ladinian; Gill et al., 2018), which suggests that yet another hiatus may exist between the Hill Bank and Margaret Creek. Gill et al. (2018) also presented strontium-isotopic evidence that the basal part of the Barton Creek formation is lower Coniacian. Thus, a relatively small stratigraphic break (disconformity) between the Yalbac and the overlying Barton Creek formations, as had been suggested by previous work, was found to span only a small part of the upper Turonian to lower Coniacian. In younger strata of northern Belize, King’s graduate student Sandor Ricketts (King et al., 2018; Ricketts, 2020; Ricketts et al., 2021) reported index calcareous nannofossils that confirmed a late Paleocene to early Eocene (lower Thanetian to upper Ypresian) assemblage for the Red Bank group of northern Belize. Of special importance in the present report is the age of the base of the Red Bank, which was established by Ricketts (2020) and Ricketts et al. (2021) using drill cuttings as being upper Paleocene (specifically, lower Thanetian). Previously, the Red Bank was thought to range from Miocene to Pliocene (Flores, 1952a; Cornec, 2015). Table 1 reviews the new age determinations for northern Belize stratigraphic units.

Table 1. Summary of new chronostratigraphy for the northern (Corozal) basin of Belize, as discussed in the text. TBD* means to be determined in the future; *These stratigraphic units must be Paleocene according to the KPg boundary and Red Bank age-bracket, as discussed in the text. Query (?) means unknown.

Stratigraphic unit	New age of base	New age of top	Age-determination method	Reference(s)
Red Bank	lower Thanetian (upper Paleocene)	upper Ypresian (lower Eocene)	Calcareous nannofossils	King et al. (2018); Ricketts et al. (2021)
Orange Walk	TBD*	TBD*		
Iguana Creek	TBD*	TBD*		
Doubloon Bank	TBD*	TBD*		
El Cayo	TBD*	TBD*		
KPg boundary	end-Cretaceous (66 m. y.)	end-Cretaceous (66 m. y.)	Sr-ratio analysis	Ocampo et al. (1996)
Barton Creek	lower Coniacian (Upper Cretaceous)	latest Maastrichtian (Upper Cretaceous)	Sr-ratio analysis	Base - Gill et al. (2018); Top – Ocampo et al. (1996)
Yalbac	upper Valanginian (Lower Cretaceous)	upper Turonian (Upper Cretaceous)	Sr-ratio analysis	Gill et al. (2018)
Hill Bank	middle Norian (Upper Triassic)	upper Sinemurian (Lower Jurassic)	Sr-ratio analysis	Gill et al. (2018)
Margaret Creek	?	Ladinian (Middle Triassic)	Sr-ratio analysis	Gill et al. (2018)

There are four lithostratigraphic units situated between either (1) the Cretaceous-Paleogene (KPg) boundary interval in northern Belize, which has a well-established age of 66 m.y., or (2) the top of the Barton Creek formation, which has an established strontium-isotope age of approximately 66 m.y. as well (Ocampo et al., 1996), and the overlying Red Bank group (now known to be upper Paleocene at its base). These four units are, in stratigraphic order, the El Cayo group, Doubleloon Bank formation, Iguana Creek formation, and Orange Walk group. *All four of these stratigraphic units must, therefore, be Paleocene owing to the above-noted age bracketing* (Figure 3). Even so, additional work needs to be done on these stratigraphic units to better understand the diverse sedimentation and age relationships among these four units and their constituent facies during this relatively narrow time span of Belize's geological history.

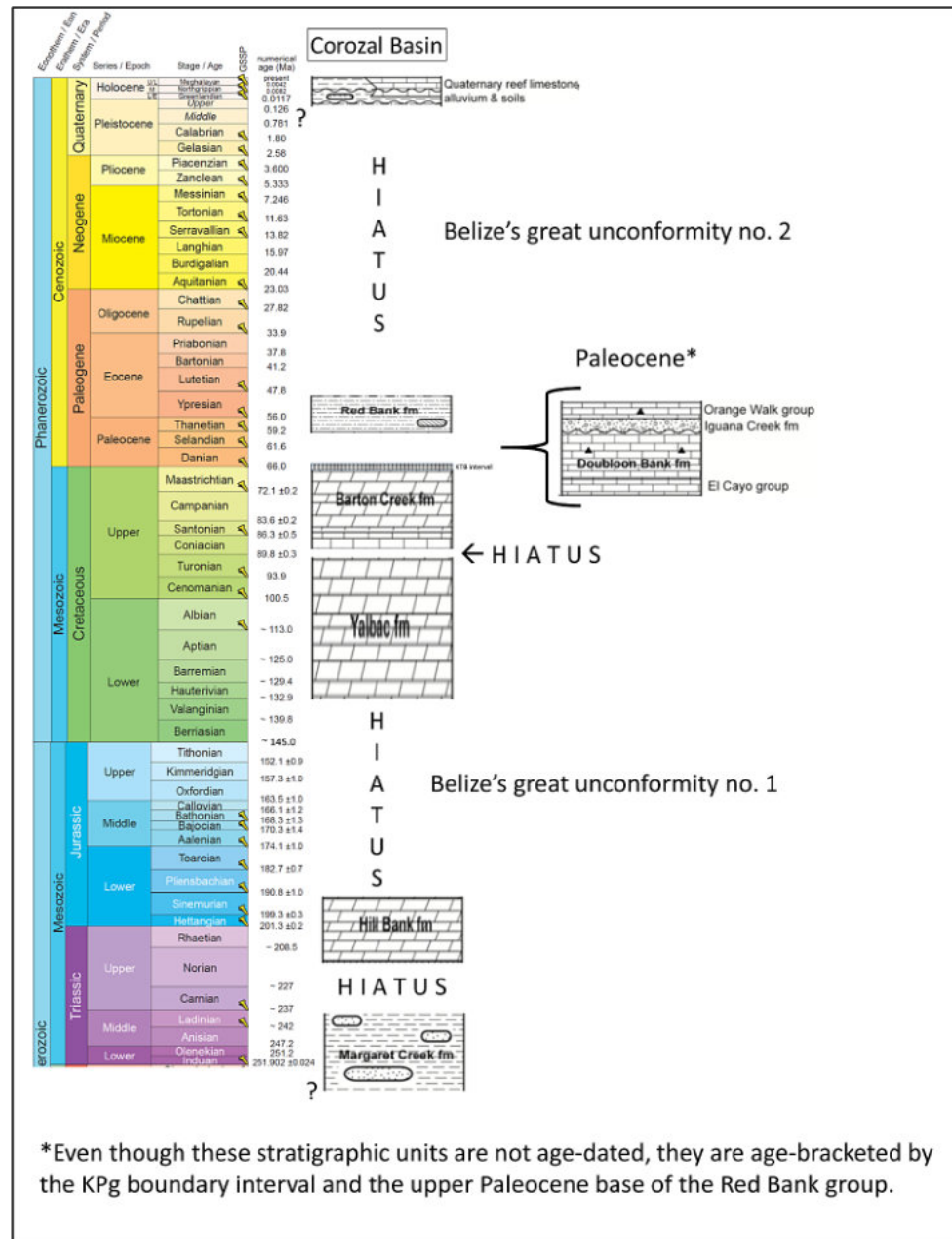


Figure 3. Revised correlation of the global chronostratigraphic chart and the informal lithostratigraphy of northern Belize (Corozal basin), as described in the present report. The segment of the global chronostratigraphic chart shown here is from the current version of the *International Chronostratigraphic Chart* (Cohen et al., 2021); used with permission. Each stratigraphic unit is placed adjacent to the chronostratigraphic chart according to the new age-determinations described in the present report. A query (?) means that the age of the base of the adjacent stratigraphic unit shown is not known. Two major stratigraphic breaks (marked hiatus) are shown; they represent two 'great unconformities' of northern Belize. Two relatively minor stratigraphic breaks (marked hiatus) are shown as well. The interval noted Paleocene* consists of four stratigraphic units, as shown, which must be Paleogene owing to the fact that they are age-bracketed by the KPg boundary interval (end-Maastrichtian) and the base of the Red Bank group, which is known to be upper Paleocene (specifically, lower Thanetian; see discussion in the text).

In the southern Belize basin, King's graduate student Jason Fisher (Fisher et al., 2016; Fisher, 2017) used index calcareous nanofossils for age determination, and found that much of the outcropping Toledo formation of southern Belize has a relatively narrow age range (middle Paleogene, specifically Selandian). Previously, the Toledo was thought to range from Late Cretaceous to Oligocene (Purdy et al., 2003; Cornec, 2015). Keller et al. (2003), however, noted that the KPg boundary interval of southern Belize, an interval up to 25 m thick (called the Sepur formation by them), directly underlies the Toledo and they used planktonic foraminifera to establish that this KPg interval is lowermost Paleocene (lower Danian). From their work, it is not clear if the overlying Toledo formation is in conformable contact with the KPg boundary interval within the Belize basin, but the Toledo is clearly younger than the southern Belize KPg boundary interval. Clearly, the KPg-Toledo stratigraphic relationship needs to be further investigated, and the age of the directly overlying lower beds of the Toledo needs to be determined.

Figure 3 shows the stratigraphy of the Corozal basin and the presently known ages of the stratigraphic units of that basin in comparison to the pertinent part of the *International Chronostratigraphic Chart* (Cohen et al., 2021). Because new age dating for the Belize basin is limited to the Toledo formation (Fisher et al., 2016; Fisher, 2017) and the KPg boundary interval (i.e., the Sepur formation of Keller et al., 2003), a similar chronostratigraphic analysis for that basin is not presented at this time. We think that all the southern Belize formations deserve a campaign of close study so that the southern basin's stratigraphy and its geological history are much better understood.

Belize's informal lithostratigraphy

The following is a brief summary of lithostratigraphic research that has been published by King and Petruny or by King and his Belizean graduate students. The order below follows the informal⁴ stratigraphic units of, first, the Corozal basin of northern Belize, and then the southern Belize basin. This section emphasizes the new findings regarding Belize's lithostratigraphy since the days of Flores' and Dixon's reports.

Regarding the Margaret Creek formation, King and Petruny (2013) described the petrology and depositional environments of this clastic (red-bed) unit (i.e., braided fluvial systems and humid alluvial fans) and its thickness distribution, which is trough-like in form and trends northeast from the Maya Mountains (including drilled thicknesses up to 180 m). Later, King et al. (2019) reported on the detrital zircon age distribution from the Margaret Creek formation, which included an Appalachian suite of ages related to zircons derived from weathering of the underlying Upper Paleozoic Santa Rosa group of the Maya Mountains. The Upper Paleozoic Santa Rosa group, in turn, also had an Appalachian (specifically Grenvillian) sedimentary source from the time when Belize was still part of North America (King et al., 2019), hence there are some detrital zircons with ages over 1 b.y. in those sediments. Figure 4 shows outcrops of Margaret Creek formation at the informal 'type section' at St. Margaret's Village.

The Hill Bank and Yalbac formations were studied by Karena Gill (Gill, 2017) and published by Gill et al. (2018). The paper by Gill et al. (2018) was the first openly published report on these important oil-bearing formations in Belize, which included depositional facies analysis (clastic coastal plain deposits to shallow shelfal carbonates in the Hill Bank and sabkha to shallow marine facies in the Yalbac), as well as the strontium-ratio age determinations as noted in the section above. By virtue of its wide chronostratigraphic span, the substantial stratigraphic break or hiatus (revealed by the gap in the strontium-ratio values presented in Gill et al., 2018) is likely a "great unconformity" within the Corozal basin, and is so indicated in Figure 3.

⁴All stratigraphic units in Belize should be considered informal. Both the *International Stratigraphic Guide*, 2nd edition (Salvador, 1994) and the *North American Stratigraphic Code* (NACSN, 2005) state that formal units must be published in a recognized scientific medium and must include a statement of intent to designate that formal unit. On both of these points, all stratigraphic units in Belize fail to qualify as formal units. The original descriptions of Belize stratigraphic units, whose names remain in informal use today, trace back to hand-typed (and subsequently photocopied) documents (i.e., not recognized scientific media). Therefore, all stratigraphic units in Belize are actually "provisional informal names," as discussed in the *International Stratigraphic Guide*, 2nd edition (Salvador, 1994). Subsequent publications in recognized scientific media (e.g., King et al., 2004) have referred to these units, their descriptions, and in some instances their informal 'type localities,' but these publications have not formalized the units with statements of intent. Further, it is best if formal stratigraphy is organized by the geological entities within a given country such as the local 'geological survey' or similar, not academic authors from other places. Owing to these relevant issues, we use the lower case "f" on formations and "g" on groups to make clear the continued informal status of these units and to be consistent with our previous work (e.g., King et al., 2004, and references therein).

The Barton Creek formation and its various shallow water carbonate depositional environments were described by King and Petruny (2014; Figure 5A, B). King and Petruny (2014) did not address age analysis of the Barton Creek, however, Ocampo et al. (1996) previously reported latest Maastrichtian strontium-isotope ratios for the upper beds of the Barton Creek (directly below the Chicxulub ejecta of the northern Belize KPg boundary interval) at Albion Island, Belize. Further, Vega et al. (1997) has reported Late Cretaceous crabs and other megafauna from uppermost Barton Creek at Albion Island. Subsequently, Gill et al. (2018) reported strontium-ratio age dates consistent with lower Coniacian to upper Campanian within the lower portion of the Barton Creek in the Spanish Lookout area, and thus established the Barton Creek basal age as lower Coniacian.

Several researchers have studied the overlying Cretaceous-Paleogene (K-Pg) boundary (i.e., the Albion formation of northern Belize and the coeval Cayo diamictite of central Belize), including Ocampo et al. (1996), Pope et al. (1999; 2005), Keller et al. (2003), and King and Petruny (2003; 2015; and 2020). In northern and central Belize, this ~ 10-15 m thick interval consists of direct ejecta from the Chicxulub impact, which is a few 100 km away in Mexico (Figure 5C). In southern Belize, the KPg boundary interval is mixed with marine sediment layers and together comprises the ~ 25-m thick Sepur formation (according to Keller et al., 2003).

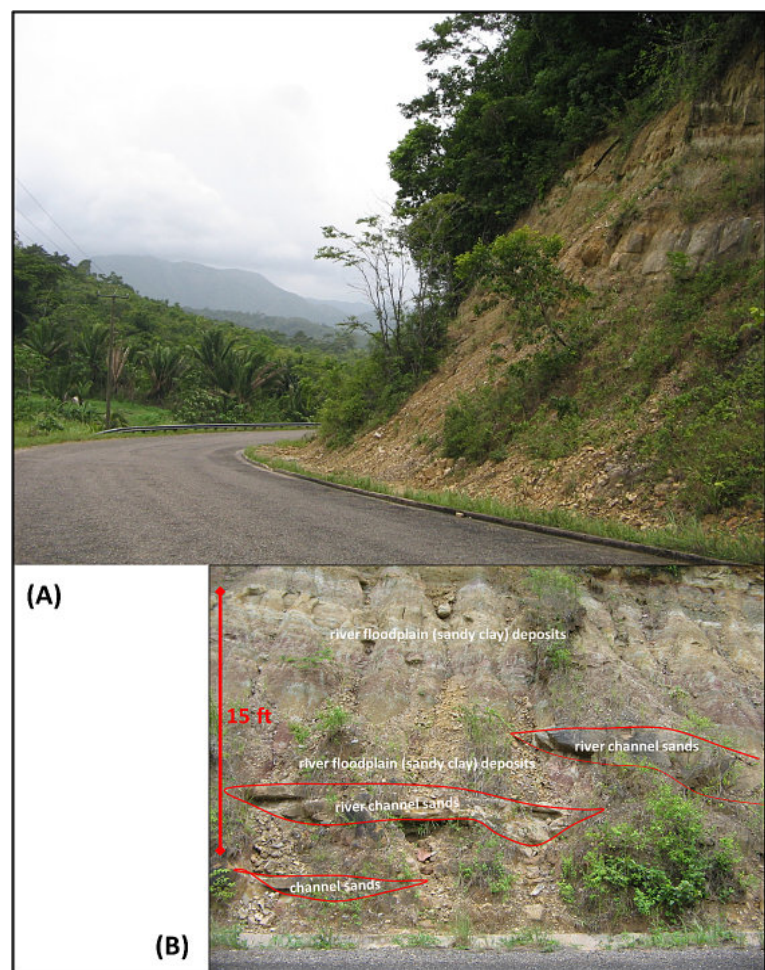


Figure 4. Outcrops of the Margaret Creek formation on the Hummingbird highway near the village of St. Margaret. Image (A) shows an outcrop that is near the original 'type locality' of Flores (1952a) for the Margaret Creek formation, looking northwest. Image (B), from another part of the same outcrop in A, shows the channel deposits of several shallow, braided streams that carried sediment from the ancient Maya Mountains, and the intercalated overbank sediments. Outcrop in (A) is approximately 25 m high; 15-m scale is indicated in (B). Modified from figures in King and Petruny (2014).

In northern Belize, between the KPg boundary interval and the Red Bank group, there are four informal stratigraphic units (Figures 2 and 3): in order of age (oldest first), they are – El Cayo group, Doubloon Bank formation, Iguana Creek formation, and the Orange Walk group. Apparently, the shallow shelfal carbonates of the El Cayo group and the cherty Doubloon Bank formation have not been described in any openly published source since the days of Giovanni Flores. Therefore, not much more can be said with specificity about their origin; and clearly they should be studied more fully and their strontium-ratio ages determined. The overlying Iguana Creek formation, which is a breccia and conglomerate of possible alluvial fan origin (that appears to derive from an episode of uplift in the Maya Mountains), is found mainly in western Belize. The younger Orange Walk group of northern Belize, which is more widely distributed across northern Belize than the Iguana Creek, has been studied by our research group.

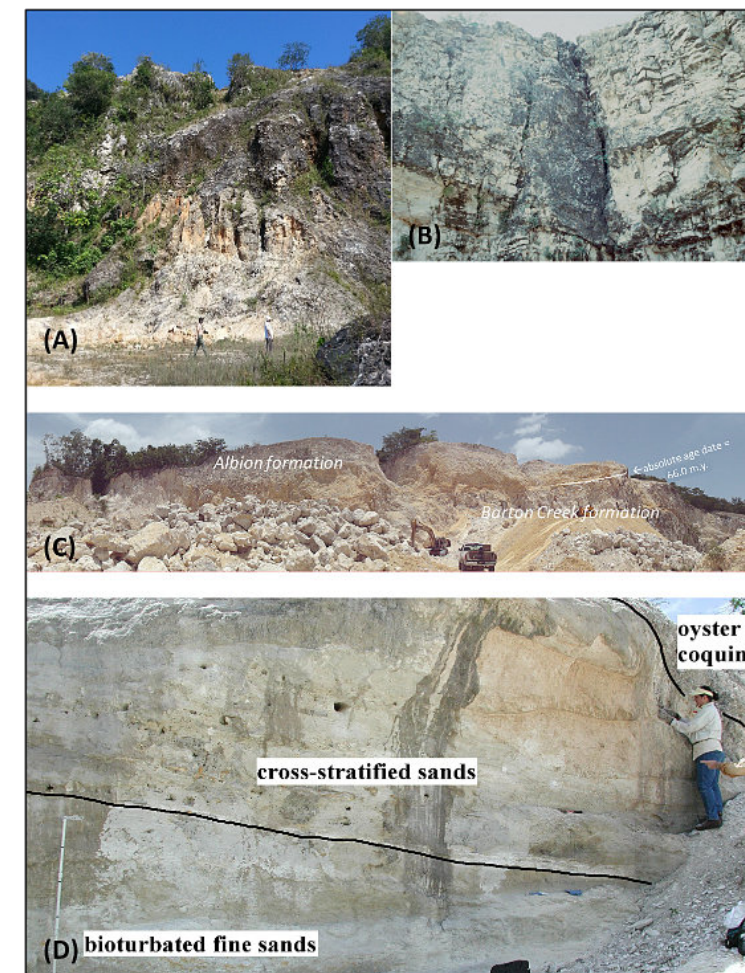


Figure 5. Example outcrops of three stratigraphic units of northern Belize. Images (A) and (B) show limestones of the Barton Creek formation. Image (A) was taken by Jason Fisher in the valley of Barton Creek (used with permission); (B) shows a high-wall at the road materials quarry on Albion Island in the Rio Hondo (modified from a figure in King et al., 2004). Persons for scale in (A); outcrop in (B) is approximately 20 m in height. Image (C) shows the Albion formation (KPgB interval) lying upon the Barton Creek formation at the road materials quarry on Albion Island. KPgB is indicated by white line. Vehicle for scale. Image (D) shows three barrier island facies within the Orange Walk group, as exposed near the town of San Pablo on the Northern highway. Persons for scale. Modified from a figure in King et al. (2003).

Among strata of the Orange Walk group in northern Belize, King et al. (2003) reported on the sedimentary facies relationships, including barrier island sands, lagoonal limestones, and patch-reef deposits, and their molluscan and coralline paleoecology. This work showed that barrier islands and associated coeval reef systems of the Orange Walk had a west-northwest depositional strike, based upon surface outcrop analysis. The work by King et al. (2003) did not, however, address biostratigraphic age of the Orange Walk. Figure 5D shows an outcrop of the barrier island facies of the Orange Walk group near the town of San Pablo on the Northern highway.

The Cenozoic Red Bank group was studied by King's student Sandor Ricketts (Ricketts, 2020), and two papers were published on the petrology, biostratigraphic age, and depositional environments (i.e., tidal flats and shallow marine estuaries) of the Red Bank as sampled in surface outcrops (King et al., 2018) and drill cuttings (Ricketts et al., 2021). Using well logs, Ricketts (2020) and Ricketts et al. (2021) also described a distinctive, lower Red Bank zone of infiltration of clays into underlying, karsted carbonate strata (the Barton Creek formation) in the Spanish Lookout area. Figure 6 shows an outcrop of some estuarine clay facies of the Red Bank group in the parking lot of a restaurant in Spanish Lookout.

Above the Red Bank group, there are no well-defined stratigraphic units (only Quaternary alluvium, cave deposits, shoreline deposits, and reefal limestones occupy this unnamed, younger realm of Belize stratigraphy). In northern Belize, this unnamed interval was noted and described briefly by King et al. (2004). In southern Belize, the existence of this unnamed interval is based only on King's field observations and inferences from geological reports by others.

Even though there is a possibility for as-yet unknown stratigraphic units to exist above, or as lateral equivalents to, the Red Bank group in northern Belize, evidently there is no extant northern Belize equivalent of the Belize formation of southern Belize (as has been suggested by Purdy et al., 2003, by Petersen et al., 2012, and in some unpublished reports). Therefore, it would appear (as noted on Figure 3) that there is a second substantial hiatus or 'great unconformity' in northern Belize between the top of the Red Bank and the base of the overlying unnamed Quaternary stratigraphic unit(s). The Toledo formation needs a detailed study, both sedimentologic and biostratigraphic, using drill cuttings and well logs, so that the whole of the formation can be understood, and its age range determined.

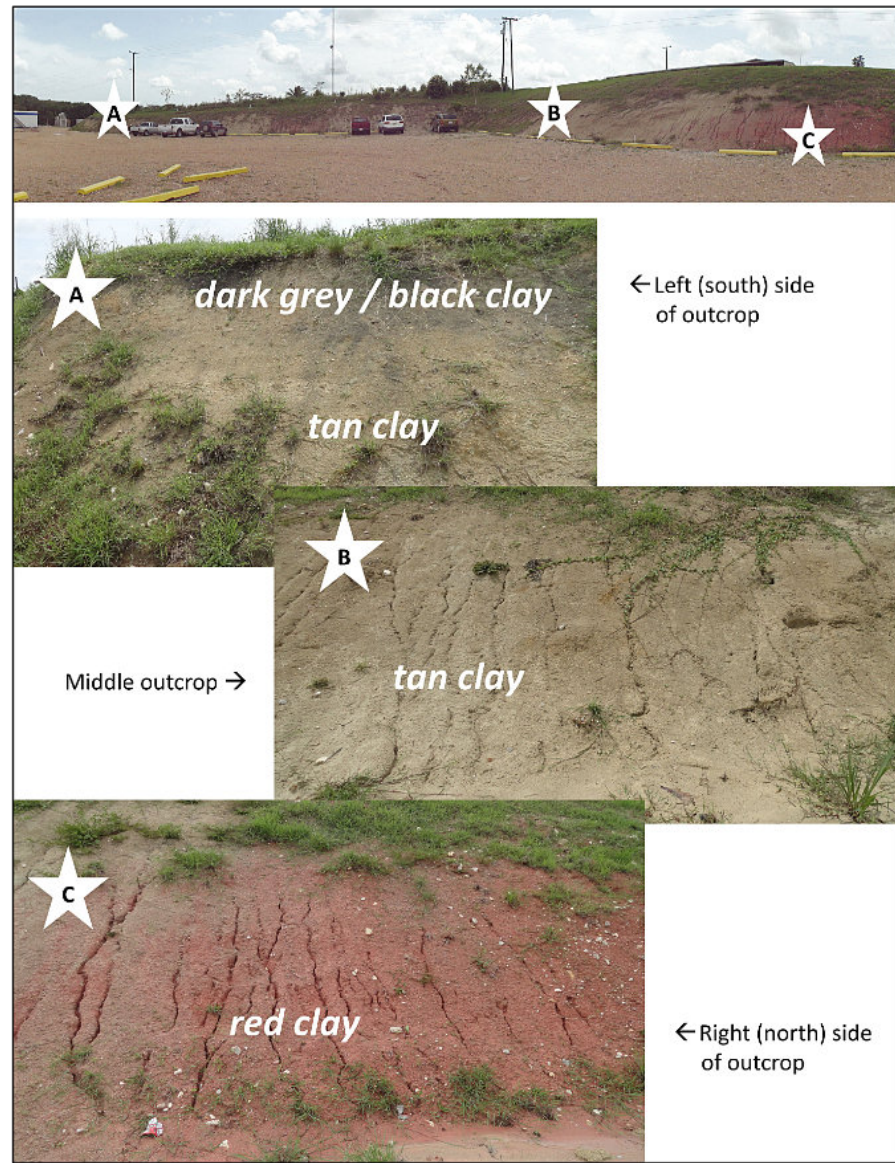


Figure 6. Outcrop (with three close-up views) of some of the estuarine clay facies of the Red Bank group, which are exposed in the parking lot of Western Dairies restaurant, Spanish Lookout, Belize. Stars indicate where the close-up views (A), (B), and (C) were obtained. Close-up views show the lateral variation in clay facies color and texture. Modified from a figure in King et al. (2018).

In southern Belize, the Toledo formation, which has been the topic of King's graduate student's (Jason Fisher's) thesis (Fisher, 2017) and three related published papers, consists of deep water clastic fan facies and other associated tectonically affected and related sedimentary deposits (Fisher and King, 2015; 2016; and 2019). Figure 7A, B shows an outcrop of the coarser facies in a submarine fan complex of the Toledo group cropping out near the town of Dump on the Southern highway; and 7C shows an outcrop of Toledo distal fan facies along the new Mile-14 highway in southern Belize.

Calcareous nannofossils from the Toledo formation cropping out along the Southern and Mile-14 highways in southern Belize indicate that the Toledo exposed there is middle Paleocene (Selandian; Fisher et al., 2016), even though the Toledo formation lies upon KPg boundary ejecta (according to Keller et al., 2003). Fisher's new age determination may call into question the previous broad assignment of Toledo as 'Upper Cretaceous to Oligocene' (e.g., Cornec, 2015), and may indicate that there is a gap between the KPg boundary ejecta-bearing interval (called Sepur formation by Keller et al., 2003) and the base of Toledo.

Southern Belize formations below the Toledo (see Figure 2), including (1) the Todos Santos (a red-bed unit thought to be the southern equivalent of the northern Belize Margaret Creek formation, and its 'carbonate member,' the San Ricardo formation), (2) the Coban formation (Lower and Upper parts, and the Punta Gorda 'member'), and (3) the Campur formation (and its upper 'breccia member,' La Cumbre), have not been studied significantly since the report of Dixon (1957) and the review of the southern basin by Nair (1987). All authors that we are aware of generally relate Todos Santos to the northern Belize red beds of the Margaret Creek, and they generally relate the sequence of Coban-Campur to the Hill Bank-Yalbac-Barton Creek sequence of northern Belize. Whether this is correct from a chronostratigraphic point of view remains to be seen. These southern Belize formations would be much better understood if there were additional study, including assessment of their age relations.



Figure 7. Outcrops of the Toledo formation of southern Belize. The upper images (A) and (B) show a coarse-grained proximal fan facies of the Toledo, which is exposed in a small quarry adjacent to the Southern highway near the town of Dump. Images (A) and (B) are right and left side views of the same outcrop (the images overlap slightly). Person for scale. Image (C) shows an example of distal fan facies of the Toledo formation as exposed during 2015 on the newly constructed Mile-14 highway. Vehicle for scale.

Also in southern Belize, according to Purdy et al. (2003), the depositional environments of the youngest stratigraphic unit there, the Belize formation, range from shallow shelfal carbonates to shoreline and deeper water clastics; and the thickness of the formation varies very widely from place to place. The formation does not crop out at the surface and has been penetrated by only a few wells in southern Belize. There is a notable dearth of information about this formation beyond the paper by Purdy et al. (2003) and an older government report by Nair (1987). The wide range of lithologies and lateral variation of this formation suggests that the Belize formation may in fact be a group of several formations. Additional work should be focused on this stratigraphic unit as well.

Future work

Without a correct chronostratigraphic framework for Belize, all geological interpretations that rely on the previously published age-dates for the informal lithostratigraphy for the country are likely to be incorrect. In geology, it is critically important to know the ages of rocks – and the ages for the sedimentary formations of Belize's northern and southern basins are no exception.

Understanding sedimentary origin (depositional environments) and geological ages of Belize's stratigraphic units has implications for tectonic interpretations of the area, economic exploration (e.g., minerals and hydrocarbons), and understanding how regional tectonics and global eustasy has affected this part of the Central America area over time.

Belize has a small petroleum production from two oil fields, which were discovered and drilled by Belize Natural Energy of Spanish Lookout, Belize, and there are numerous oil seeps in the country (reviewed by King and Petruny, 2012), which suggests future production potential. Also, Belize has a significant minerals industry, mainly related to dolomite mining, cement production, and precious metals. Basic information like the petrology and ages of the stratigraphic units of Belize tends to enhance the future for these economic endeavors.

In the coming years, it is our research group's plan to continue the description and age-determination of the stratigraphic units of both the Corozal and Belize basins in pursuit of an accurate chronostratigraphy and thus a complete geological history for Belize.

Acknowledgements

We thank the staff of the Geology and Petroleum Department of the government of Belize for the invaluable help they have provided over the past 25 years for our research group's work in Belize. Also, we sincerely thank the management of Big Creek Group of Companies, Independence, Belize, for their financial and logistical support of many of our field experiences in Belize. Karena Gill's thesis research, including strontium-ratio analyses, and the work on the detrital zircons of the Margaret Creek formation, was funded by Belize Natural Energy, Spanish Lookout, Belize. The Office of the Vice President for Research at Auburn University as also provided support for two field campaigns in Belize.

References

- Bryson, R. S., 1975, Stratigraphy problems of northern Belize: Denver, Colorado, Anschutz Overseas Corporation, 22p.
- Dixon, C. G., 1956, Geology of Southern British Honduras with notes on adjacent areas: Belize City, British Honduras Government Printing Office, 85p.
- Cohen, K. M., Harper, D. A. T., Gibbard, P. L., 2021, ICS International Chronostratigraphic Chart, v. 2021/10: International Commission on Stratigraphy, IUGS. [www.stratigraphy.org; visited: 2022-Jan-21].
- Cornec, J. H., 1985, Notes on the provisional geological map of Belize at the scale 1:250,000. Petroleum Office, Belmopan, Belize, 22 pp.
- Cornec, J. H., 1986, Provisional geological map of Belize, scale 1:250,000. Petroleum Office, Belmopan, Belize.
- Cornec, J. H., 1998, Geology map of Belize, scale 1:1.250,000: Belmopan, Belize, Geology and Petroleum Office.
- Cornec, J. H., 2003, Geology map of Belize, 1:750,000: Belmopan, Belize, Geology and Petroleum Office.
- Cornec, J. H., 2005, Geology map of Belize with bathymetry (1:750,000): Geology and Petroleum Office, Belmopan, Belize.
- Cornec, J. H., 2013, Geology map of Belize: Geology and Petroleum Office, Belmopan, Belize.
- Cornec, J. H., 2015, Geology map of Belize and Geology map legend: Geology and Petroleum Office, Belmopan, Belize.
- Fisher, J. D., 2017, Sedimentology of the Toledo formation, Belize basin, Central America, unpublished Masters' thesis, Auburn University, Auburn, Alabama, 116p.
- Fisher, J. D., and D. T. King, Jr., 2015, Stratigraphy of the Toledo formation, Belize Basin, southern Belize: Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, v. 65, p. 107-123.
- Fisher, J. D., and D. T. King, Jr., 2016, Lower Cenozoic fan deposits in southern Belize: Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, v. 65, p. 181-195.
- Fisher, J. D., and D. T. King, Jr., 2019, Carbonate facies within siliclastic submarine fan deposits, Lower Cenozoic Toledo formation, southern Belize: petrography and provenance: GCAGS Journal, v. 8, p. 153-169.
- Fisher, J. D., D. T. King, Jr., and R. O. B. P. Da Gama, 2016, Submarine fan complex facies of the Paleogene Toledo formation in southern Belize: Geological Society of America, Southeastern Section Meeting, Abstracts with Programs, v. 48, no. 3, paper no. 28-1.
- Flores, G., 1952a, Geology of northern British Honduras: Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, v. 36, p. 404-413.
- Flores, G., 1952b, Summary report of the preliminary geological studies of the area N of 17° N latitude, British Honduras: Freeport, Bahamas, Bahamas Exploration Company, 35 p.
- Gill, K. K., 2017, Stratigraphy and sedimentary petrology of the Hillbank and Yalbac formations, Corozal Basin, Belize: unpublished Masters' thesis, Auburn University, Auburn, Alabama, 103p.
- Gill, K. K., D. T. King Jr., H. Zou, and F. Smith, 2018, Sedimentary facies analysis and strontium-isotope stratigraphy of the Hillbank and Yalbac formations, Corozal Basin, Belize: Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, v. 68, p. 229-254.
- Jones, A., 2014, The geology of the southernmost Corozal basin: unpublished Undergraduate Thesis, University of the West Indies, 81p.
- Keller, G., W. Stinnesbeck, T. Adatte, B. Holland, D. Stüben, M. Harting, C. de Leon, J. de la Cruz, 2003, Spherule deposits in Cretaceous-Tertiary boundary sediments in Belize and Guatemala: Journal of the Geological Society, v. 160, p. 783-795.

- King, Jr. D. T., K. O. Pope, and L. W. Petruny, 2004, Stratigraphy of Belize, north of the 17th parallel: Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, v. 54, p. 289-304.
- King, Jr., D. T., and L. W. Petruny, 2001, Stratigraphy and sedimentology of Cretaceous-Tertiary boundary breccia deposits in Belize, Central America: Geologia y Minería IV (edición especial electrónica CD-ROM de la Revisita Cubana 'Ciencias de la Tierra y del Espacio'), paper no. 084, 14p.
- King, Jr., D. T., and L. W. Petruny, 2003, Stratigraphy and sedimentology of Cretaceous-Tertiary boundary breccia deposits at Albion Island, Belize, in Koeberl, C., and F. Martinez-Ruiz, eds., *Impact markers in the stratigraphic record*: Berlin, Springer-Verlag, p. 203-228.
- King, Jr., D. T., and L. W. Petruny, 2012, Northern Belize's onshore petroleum stratigraphy, structure, and oil seeps: Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, v. 62, p. 227-242.
- King, Jr., D. T., and L.W. Petruny, 2013, Stratigraphy of the Margaret Creek Formation, Corozal Basin, northern Belize: Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, v. 63, p. 275-283.
- King, Jr., D. T., and L. W. Petruny, 2014, Stratigraphy of the Barton Creek Formation, Corozal Basin, northern Belize: Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, v. 64, p. 215-228.
- King, Jr., D. T., and L. W. Petruny, 2015, Correlation of northern Belize's Cretaceous-Paleogene ('KT') boundary sections: Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, v. 65, p. 463-473.
- King, Jr., D. T., and L. W. Petruny, 2020, Chicxulub target stratigraphy and ejecta: Insights from northern Belize: GeoGulf Transactions, v. 70, p. 143-151.
- King, Jr., D. T., J. Cornec, L. W. Petruny, D. Milham, B., Holland, S. Ricketts, N. R. Myers, R. D. Weber, and R. George, 2018, Sedimentary characteristics and geological history of the Cenozoic Red Bank group, northern Belize: Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, v. 68, p. 269-284.
- King, Jr., D. T., H. Zou, K. K. Gill, L. W. Petruny, and F. Smith, 2019, Detrital zircons from the Margaret Creek formation, Corozal basin, northern Belize: Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, v. 69, p. 221-231.
- King, Jr., D. T., L. W. Petruny, and K. O. Pope, 2003, Shallow-marine facies of the Orange Walk group, Miocene-Pliocene, northern Belize (Central America): Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, v. 53, p. 384-397.
- McArthur, J. M., R. J. Howarth, and G. A. Shields, 2012, Chapter 7, Strontium isotope stratigraphy: in Gradstein, F. M., J. G. Ogg, M. Schmitz, and G. Ogg, eds., *The geological time scale*, v. 1 and 2, Elsevier, p. 127-144.
- McArthur, J. M., R. J. Howarth, and T. R. Bailey, 2001, Strontium isotope stratigraphy: LOWESS version 3: best fit to the marine Sr-isotope curve for 0-509 Ma and accompanying look-up table for deriving numerical age: *The Journal of Geology*, v. 109, p. 155-170.
- Nair, K. M., 1987, Stratigraphy of Belize basin: Geology and Petroleum Office, Ministry of Natural Resources, Belmopan, Belize, 92p.
- NACSN (North American Commission on Stratigraphic Nomenclature), 2005, North American Stratigraphic Code: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 89, p. 1547-1591.
- Ocampo, A. C., K. O. Pope, and A. G. Fischer, 1996, Ejecta blanket deposits of the Chicxulub crater from Albion Island, Belize, in Ryder, G., D. Fastovsky, and S. Gartner, eds., *The Cretaceous-Tertiary event and other catastrophes in Earth history*: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 307, p. 75-88.
- Ower, L. H., 1927, Features of British Honduras: *The Geographical Journal*, v. 70, no. 4, p. 372-386.
- Ower, L. H., 1928a, The silica lines of British Honduras: *Geological Magazine*, v. 65, p. 507-510.
- Ower, L. H., 1928b, Geology of British Honduras: *Geological Magazine*, v. 36, p. 494-509.
- Petersen, H. I., B. Holland, H. P. Nytoft, A. Cho, S. Piasecki, J. de la Cruz, J., and J. H. Cornec, 2012, Geochemistry of crude oils, seepage oils and source rocks from Belize and Guatemala: indications of carbonate-sourced petroleum systems: *Journal of Petroleum Geology*, v. 35, p.127-163.
- Pope, K. O., A. C. Ocampo, A. G. Fischer, F. J. Vega, D. E. Ames, D. T. King, Jr., B. W. Fouke, R. J. Wachtman, and G. Kletetschka, 2005, Chicxulub impact ejecta deposits in southern Quintana Roo, México, and central Belize: in Kenkman, T., F. P. Hörz, and A. Deutsch, eds., *Large Meteorite Impacts III*: Geological Society of America Special Publication 384, p. 171-190.
- Pope, K. O., A. C. Ocampo, A. G. Fischer, W. Alvarez, B. W. Fouke, C. L. Webster, F. J. Vega, J. Smit, A. E. Fritsche, and P. Claeys, 1999, Chicxulub impact ejecta from Albion Island, Belize: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 170, p. 351-364.
- Purdy, E.G., Gischler, E., and Lomando, A. J., 2003, The Belize margin revisited – Origin of Holocene antecedent topography: *International Journal of Earth Science*, v. 92, p. 552-572.
- Ricketts, S. O., 2020, Nature, age, and origin of the informal Lower Cenozoic Red Bank group, northern Belize: unpublished Masters' thesis, Auburn University, Auburn, Alabama, 145p.
- Ricketts, S., D. T. King, Jr., N. R. Meyers, Sr., and D. Larsen, 2021, Upper Paleocene to Lower Eocene clay deposits of the Red Bank group, northern Belize, Central America: *GeoGulf Transactions*, v. 71, p. 225-239.
- Salvador, A., ed., 1994, *International Stratigraphic Guide*, 2nd ed.: International Union of Geological Sciences and Geological Society of America, Boulder, Colorado, 214p.



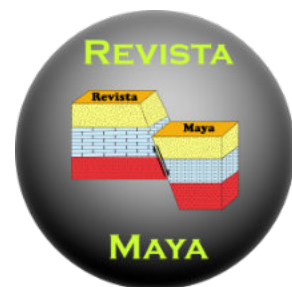
David T. King, Jr. Dr. King's academic research interests are related to stratigraphy and Earth history. In particular, he studies the effects of asteroid and comet impact upon Earth history and the stratigraphic record. In the area of applied research interests, his interests are petroleum exploration and deep subsurface waste disposal. He is an author of many scientific papers, including "Shallow marine-impact origin for the Wetumpka structure (Alabama, USA)", which was published in *Earth and Planetary Science Letters* (2002). With Hal Levin, he is co-author of an historical geology textbook, *The Earth through Time*, 11th ed. (2017). From 1997-2000, Dr. King served on the North American Commission on Stratigraphic Nomenclature. He currently serves on the Alabama Board of Licensure for Professional Geologists as the representative of his state's academic community, and he is a licensed PG in the states of Alabama, Louisiana, and Texas.

Researchgate: <https://www.researchgate.net/profile/David-King-Jr>



Lucille W. Petruny. Dr. Petruny's academic research interests are related to Earth history and its connection to astronomy, including terrestrial impact structures and their ejecta, particularly Wetumpka impact crater in Alabama and the Chicxulub impact's ejecta blanket in Belize, Central America. She has completed field geology and drill-core studies of impacts and their ejecta in various parts of the U.S., and has done field work in Belize and adjacent Mexico. Dr. Petruny was a research scientist for two NASA-funded core-drilling projects with respect to impact structures – Chesapeake Bay (2005) and Wetumpka (2009). She is an author of many scientific papers and abstracts, including "Stratigraphy of Belize, north of the 17th parallel" and "Chicxulub target stratigraphy and ejecta: Insights from northern Belize," both of which were published in the *GCAGS Transactions* during 2004 and 2020, respectively.

Researchgate: <https://www.researchgate.net/scientific-contributions/L-W-Petruny-2004815898>



Estudios Glaciológicos en México

Alejandro Carrillo-Chavez^{1*}, Hugo Delgado Granados², Lorenzo Vázquez Selem³, Guillermo Ontiveros-Gonzalez¹

¹ Centro de Geociencias UNAM Campus Juriquilla, Querétaro

² Instituto de Geofísica UNAM CU, Ciudad de México

³ Instituto de Geografía UNAM CU, Ciudad de México

* Correspondencia a: ambiente@geociencias.unam.mx

Introducción:

Las grandes masas de hielo del planeta Tierra (la Criósfera Terrestre) han atraído la curiosidad de la humanidad desde hace cientos o miles de años. En algunas ocasiones esta atracción ha sido con propósitos de búsqueda de recursos naturales, en otros como un desafío deportivo, y desde 1894 con la fundación de la Comisión Internacional de Glaciares en Suiza se inicia la investigación científica formal de los glaciares. Por ejemplo, los registros históricos indican que en el año 1518, Diego de Ordaz subió el glaciar de volcán Popocatepetl para hacer observaciones en el cráter y explorar por azufre, pero fue Francisco Montaña quien, poco tiempo después, extrajo azufre para propósitos bélicos a encomienda de Hernán Cortes. El 8 de agosto de 1786 Jacques Balmat y Michel Paccard hicieron historia al lograr el primer ascenso al Mont Blanc en los Alpes, iniciando así el montañismo moderno. También tenemos las épicas expediciones al Polo Sur a principios del siglo pasado de Roald Amundsen, Robert Scott y Ernest Shackleton. Pero no fue sino hasta el año de 1958 (año Geofísico Internacional) que se dio un gran paso al instrumentar las investigaciones científicas de Glaciares en Antártica. Actualmente la investigación glaciaria puede ser dividida en Glaciología (Química, Física y Biológica) y Geología Glacial (Geocronología, Cartografía, Geomorfología, entre otras).

Existe hielo glacial en extensas zonas Polares como Antártica y Groenlandia sobre basamento continental (glaciares continentales), y en caso de Antártida se extienden grandes masas de hielo sobre el océano (en el Polo Norte existen grandes masas de hielo flotante sobre agua del Océano Ártico que cambian de forma y tamaño conforme a la temporada. Por otro lado, el hielo también se puede acumular (en menores cantidades comparado con los glaciares continentales) en zonas de alta montaña (Glaciares de Montaña). El hielo glacial se forma cuando la acumulación de nieve-hielo permanece por encima de la línea de equilibrio (aproximadamente la cota a partir de la cual la temperatura promedio anual es de menos de 0°C) a lo largo de un año o más, permitiendo que la nieve recién caída y/o el hielo acumulado por diversos procesos

atmosféricos (escarcha, helada, ventisca, granizo, nieve, etc.) se transforme en hielo de glaciar, proceso metamórfico en el que los cristales de nieve se transforman para eliminar la presencia de aire dentro de la estructura cristalina del hielo. Los glaciares tienen un régimen de acumulación (alimentación) y pérdida (fusión, ablación) de nieve y hielo, y crecen cuando es mayor la acumulación que la fusión (ablación), y su desaparición es cuando se dan las condiciones contrarias (ablación mayor que acumulación).

Las grandes masas polares de glaciares continentales son un verdadero control del clima de la Tierra, influyendo en la circulación de corrientes marinas, el nivel del mar en todo el planeta y actúan como un termostato. Por otro lado, los glaciares de montaña pueden aportar excelente información sobre variaciones locales y regionales del clima (avances y retrocesos glaciares), fuentes de partículas sólidas en hielo (origen natural vs. aporte antropogénico) e incluso sobre la variación de actividad solar en la zona en donde se desarrolla el glaciar. Es decir, a la latitud en la cual se desarrolla un glaciar, desde latitudes altas cercanas a los polos como el Monte McKinley, en Alaska, y hasta el Chimborazo y el Antisana en el Ecuador. En general, las condiciones que rigen el fenómeno glacial van a estar dominadas por la latitud y la altitud. La nieve precipitada en la zona de acumulación del glaciar de montaña contiene todas las partículas de polvo (de tamaño micrométrico en la mayoría de los casos) presentes en la atmósfera en ese momento.

De esta manera se precipitan y preservan en el hielo glaciario cenizas de erupciones volcánicas, cenizas de incendios forestales, aerosoles marinos (cloro, sodio, sulfato, carbonato, metales pesados, etc.). Pero también se precipitan y acumulan productos de la actividad humana: cenizas de plantas industriales que queman petróleo (carbón, metales pesados), productos resultado de la combinación de gases y aerosoles como CO₂ y SO₂ entre otros productos residuales de la combustión de combustibles fósiles en medios de transporte (aviones, autos, camiones, etc.) y actividad industrial en general. En breve, el hielo glacial puede conservar un excelente registro de las partículas sólidas (micrométricas) presentes en la atmósfera. Por supuesto, el registro en tiempo (cronológico) es mayor conforme el glaciar es mayor en tamaño y duración, siempre y cuando se comprenda el régimen glacial local.

Interesantemente, los primeros estudios del hielo glaciario, que se realizaron a principios del siglo XX, estuvieron enfocados a estudios petrológicos del hielo glaciario, por un lado el estudio mineralógico de la transformación de nieve

a hielo de glaciario, y por otro lado analizar los cambios de fase del agua que permiten explicar la transformación del vapor de agua a hielo y sus diferentes variantes cristalinas. Posteriormente, las investigaciones glaciares se enfocaron a describir características físicas de los glaciares (tamaño, espesor, forma, etc.). Después, se empezaron a cuantificar balances de masas en las zonas de acumulación y ablación, velocidad del glaciario, etc. A continuación, se empezaron a perforar los primeros núcleos de hielo para analizar el registro de partículas sólidas en hielo y determinar las características químicas del hielo en Antártica y Groenlandia. Posteriormente, se empezaron a extraer y analizar núcleos de hielo en las grandes zonas montañosas (Himalaya, Alaska, Alpes, Andes). Los Glaciares de los Andes (principalmente en la Cordillera Blanca en la zona centro-norte del Perú) son de vital importancia puesto que se localizan en la zona tropical del hemisferio sur (9° Latitud Sur). En base a su ubicación geográfica (latitud), los glaciares pueden ser polares, de latitudes altas, templados, híbridos o tropicales. Los glaciares híbridos (intermedios entre zonas templadas y tropicales) y los glaciares tropicales son muy interesantes porque registran cambios climáticos, atmosféricos y de oscilaciones tropicales como la Oscilación del Niño (ENOS, El Niño Oscilación del Sur) y cambios de temperatura en el Océano Pacífico del sureste y su impacto en condiciones atmosféricas regionales). Adicionalmente también se registran todas las partículas atmosféricas naturales y antropogénicas mencionadas anteriormente.

A la fecha existe muy buena documentación de la Glaciología Física y Geoquímica Glaciario en la zona de Cordillera Blanca.

Por supuesto que el sistema natural que controla tamaño, forma movimiento y composición química de un glaciario es mucho más complejo. Se puede tener toda una discusión sobre el cambio climático, gases efecto invernadero, calentamiento global, variaciones en actividad solar, variabilidad climática local y temporal, impacto antropogénico, etc. Pero, por el momento no trataremos estos temas y nos enfocamos a una breve descripción de los estudios glaciares en México.

Glaciología Física en México:

Por otro lado, los únicos glaciares híbridos-tropicales (tienen un comportamiento combinando entre glaciares templados y glaciares tropicales) del hemisferio norte de nuestro planeta se encuentran en México a una latitud de ~19° N (los glaciares de Colombia y Venezuela están en hemisferio norte, pero son básicamente tropicales). En 1958, José Luis Lorenzo, pionero de estudios de Glaciología en México, describió 12 glaciares (o lenguas glaciares) en el Iztaccíhuatl, 8 (lenguas glaciares) en el Pico de Orizaba, 3 en el Popocatepetl (arriba de la cota de los 4,500 m, con una extensión total de 9.5 km² (área que fue corregida posteriormente). Para finales de los 80s varias lenguas glaciares en el Pico de Orizaba e Iztaccíhuatl habían desaparecido y los glaciares de las tres montañas más altas del país habían disminuido su tamaño

considerablemente. Desde 1986 Hugo Delgado y su equipo de estudiantes del Instituto de Geofísica, UNAM, describió y documentó procesos de balance de masas, disminución del tamaño de los glaciares en México y actualizó la base de datos de José Luis Lorenzo de 1958. Para 2019, Jorge Cortés-Ramos, Hugo Delgado-Granados, C. Huggel y Guillermo Ontiveros-González reportan la evolución de glaciario del Pico de Orizaba, el más grande de los que aun existen en México, y la relacionan con cambios en la temperatura, precipitación y variaciones del balance de energía superficial. También analizaron imágenes de satélite y se produjo un modelo digital de elevación indicando los cambios del glaciario desde 1958 y hasta 2017.

historia de los glaciares de México desde el máximo de la última era Glacial (hace unos 20,000 años) y hasta la Pequeña Era del Hielo (PEH), basándose en el estudio de las morrenas (depósitos glaciares y su datación con isótopos cosmogénicos ³⁶Cl y datos palinológicos). Lorenzo Vázquez ha establecido una cronología glacial para los avances y retrocesos de los glaciares de varias montañas en México. De particular interés resulta la reconstrucción de los glaciares del Iztaccíhuatl durante la PEH, periodo comprendido entre los siglos XV y XIX, en donde predominaron condiciones más frías y que favorecieron el avance de los glaciares en las montañas de todo el mundo).

Por otro lado, desde el año 2008 Lorenzo Vázquez-Selem, del Instituto de Geografía UNAM, ha documentado la

Glaciología Química en México:

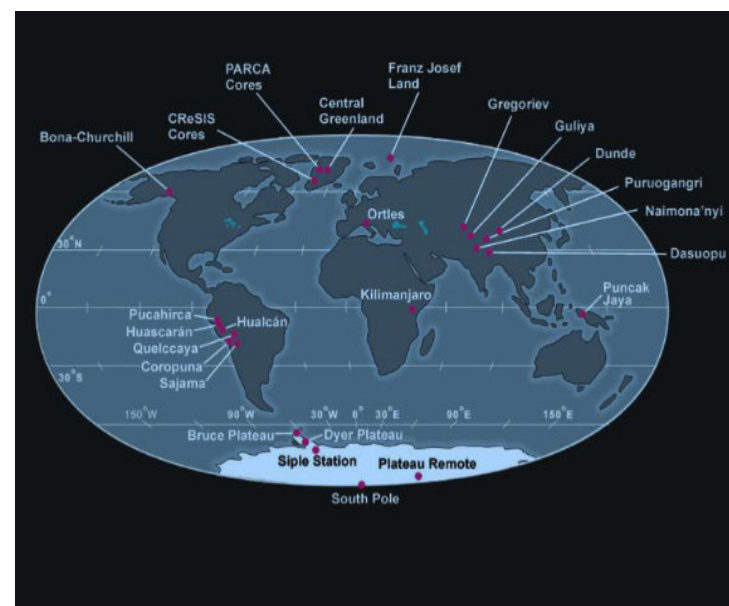
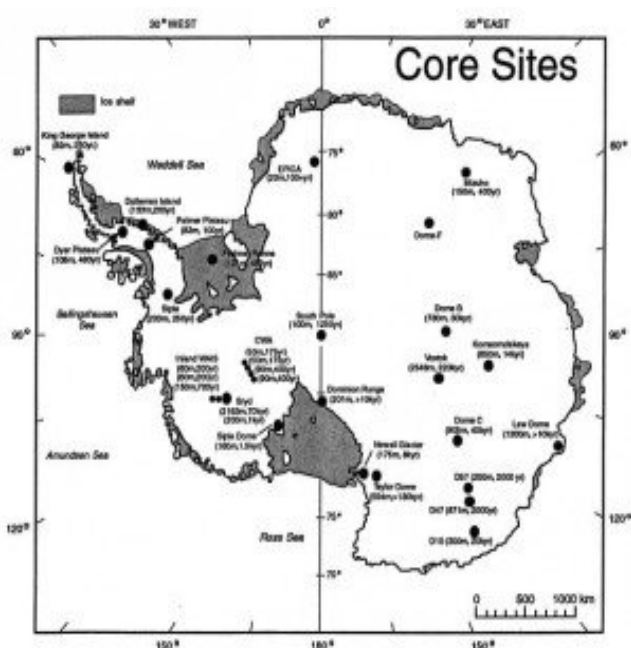


Figura 1. Sitios de perforación en Antártica (izquierda; Glaciario Continental) y en Altas Montañas (derecha). Mapas tomados de Bethan Davis, 2014 y Lonnie Thompson, 2017.

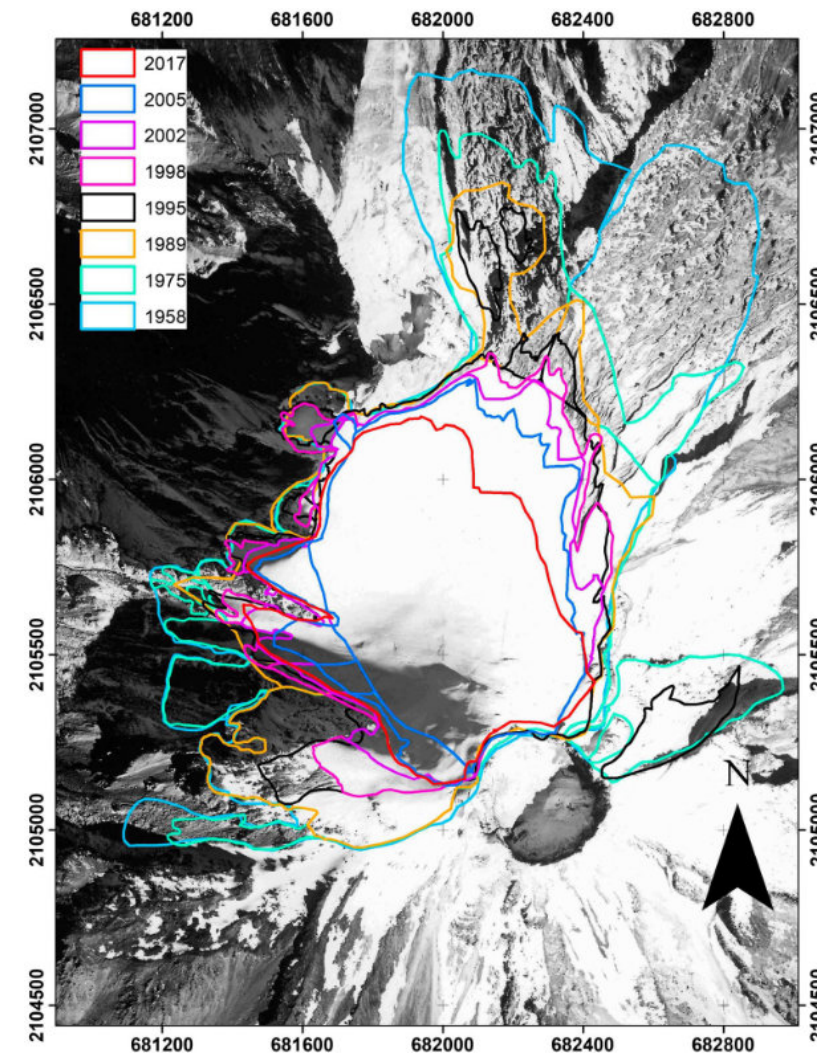


Figura 2. Variaciones de extensión del Glaciario del Pico de Orizaba de 1958 a 2017. Imagen tomada de Jorge Cortés-Ramos, Hugo Delgado-Granados, C. Huggel y Guillermo Ontiveros-González, 2019.

El Centro de Geociencias, UNAM Campus, Juriquilla está desarrollado estudios de Glaciología Química en nieve reciente y hielo glaciario antiguo. Como se mencionó anteriormente, las partículas sólidas micrométricas (polvo) y algunos compuestos que circulan en la atmósfera

como aerosoles, se precipitan en la nieve (los gases como el CO₂ y SO₂ se disuelven) de alta montaña y quedan preservadas en el hielo glaciario. A la fecha, se están perforando núcleos de hielo somero (un metro) en los glaciares de los glaciares del Pico de Orizaba y del

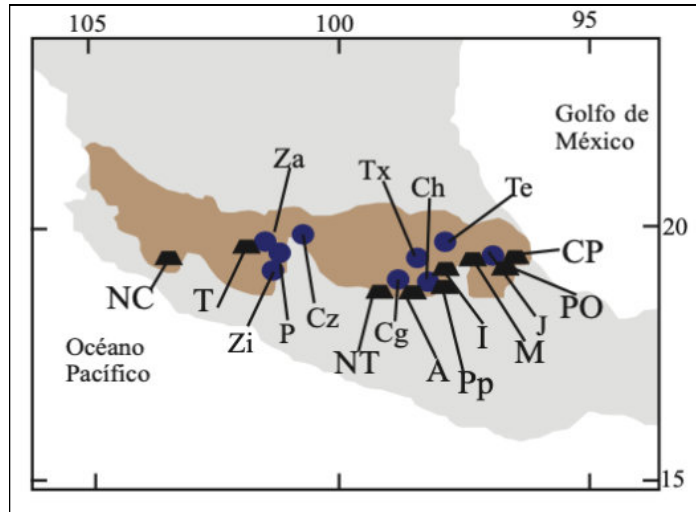


Figura 3. Izquierda; Sitios en los que Margarita Caballero, Socorro Lozano-García, Lorenzo Vázquez-Selem y Beatriz Ortega reportan evidencias prehistóricas de glaciares en México. Derecha Reconstrucción de la extensión de los glaciares del Iztaccihuatl durante la Pequeña Edad del Hielo. Imágenes tomadas de Margarita Caballero, Socorro Lozano-García, Lorenzo Vázquez-Selem y Beatriz Ortega (2010) y Lorenzo Vázquez-Selem, 2008.

Iztaccihuatl con el objetivo de determinar concentraciones de metales pesados en el hielo y otros compuestos (Proyecto PAPIIT-UNAM). Los metales pesados pueden ser de origen natural y/o antropogénico, como ya se indicó anteriormente. Existen técnicas químicas actuales (isotopía estable de metales pesados) que permiten diferenciar el origen de estos metales pesados en el registro glaciar. Se pretende utilizar estas técnicas de Química Isotópica en estas investigaciones de la UNAM. A la fecha se tienen datos de concentraciones de algunos metales como Zn (promedio de 0.013 mg/l), Pb (promedio de 0.000,1 mg/l), y iones como F (promedio 415 mg/l), SO₄ (0.800 mg/l), entre otros elementos. También existen elementos como el Berilio, que se encuentra en la

atmósfera (en particular un isótopo del Berilio, el Berilio10 que se forma por interacción de rayos cósmicos con elementos en la atmósfera, de manera similar a la formación del Carbono 14) y que se acumula en el hielo glaciar. Información sobre las concentraciones de Berilio10 (¹⁰Be) en el hielo nos indican de manera indirecta la variación de la intensidad de la actividad solar. Esto debido a que la actividad solar afecta directamente a nuestra atmósfera y su interacción con el campo magnético solar crea un escudo magnético que protege a la Tierra de rayos cósmicos (las auroras boreales, y australes, son el fenómeno más evidente de la interacción de la actividad solar con el campo magnético de la Tierra). En breve, la cuantificación de concentraciones de ¹⁰Be en



Figura 4. Izquierda: Trabajo de campo para perforación y obtención de núcleos de hielos en glaciar del Pico de Orizaba (Foto: Juan Carlos Gómez de la Fuente "Jano"). Derecha: Personal y Laboratorio de Espectrometría de Masas con Acelerador (AMS) del Instituto de Física UNAM, CU, que se utiliza para medir concentraciones de ¹⁰Be (Foto de la Pagina de Laboratorio (<http://laboratorios.fisica.unam.mx/background?id=11>)).

hielo glaciar nos permite conocer las variaciones en la actividad solar. Este tipo de investigaciones de Geoquímica Glaciar en glaciares de México (zona híbrida-tropical latitud norte) nos permitirá determinar cambios (impactos) ambientales (natural vs. antropogénico) y de variaciones de la actividad solar. Los datos de la información obtenida sobre metales pesados, otros iones y de ¹⁰Be será comparada con datos de la Cordillera Blanca (Glaciares tropicales latitud sur), y de otras zonas montañosas a diferentes latitudes, e incluso con información de Antártica y Groenlandia. De esta manera, la UNAM continúa con la generación de información científica de punta que pretende contribuir al mejor conocimiento de los recursos y su uso sustentable, no solo del territorio nacional, sino de todo nuestro planeta.

Conclusiones:

Los Glaciares son procesos geológicos indispensables en la historia de nuestro planeta durante toda su historia. Aunque vivimos en un periodo de la Tierra en que los glaciares han disminuido considerablemente su tamaño en los últimos miles de años, estos aun juegan un papel fundamental en fenómenos de la Tierra, tales como: reguladores de clima; controladores de nivel del mar; registro ambiental (natural y antropogénico) y climático; registro de actividad solar y como almacén y fuente de agua para el ser humano en muchas partes del planeta.

Durante los últimos 40 años años, prácticamente todos los glaciares de nuestro planeta, han experimentado una dramática disminución, y los glaciares híbridos-tropicales de nuestro país no son la excepción. Desde la década de 1950 y hasta nuestros días se han desarrollado en México importantes investigaciones de Geología Glaciar, Cronología Glaciar y Geoquímica Glaciar. Estas investigaciones son muy importantes porque, aun y cuando los glaciares mexicanos desaparezcan en poco tiempo, el registro ambiental y climático que se puede obtener de ellos es de gran valor en el entendimiento de procesos glaciares en latitudes de 19° N, y de esta manera, comparar la información generada con glaciares en altas latitudes, zonas tropicales, y aun con glaciares polares. Un mejor entendimiento de los procesos y recursos naturales de nuestro planeta conlleva a un mejor desarrollo sustentable del recurso de nuestro planeta Tierra.

Agradecimientos:

Queremos expresar nuestro agradecimiento al "Grupo UNAM de apoyo para la perforación de núcleos de hielo en Pico de Orizaba e Iztaccihuatl": Jaime Carrera, Dora Carreón, Erandi Cerca, Gabriela Ponce "Gaby", Lorenzo Ortiz "Lencho", Juan Carlos Gómez de la Fuente "Jano", Samael Oliver "Sama", Julio Zacatzi, Daniela Montañó "Dany", Jehú Hinojosa, Eber Ramirez "Gerber", Jonatán Hortelano "Jona", Libertad Barrón, Luis Acosta y Raúl



Figura 5. Parte del "Grupo UNAM de apoyo para la perforación de núcleos de hielo en Pico de Orizaba e Iztaccihuatl"

Gómez. El Trabajo actual de “Geoquímica de Núcleos de hielo” es posible gracias a los recursos del Proyecto UNAM-PAPIIT IN 110421 “Concentraciones y fraccionamiento Isotópico de Zn y Hg en agua de lluvia y hielo glaciar de alta montaña: procesos geoquímicos, fuentes y trayectorias de metales en el centro de México”.

Bibliografía:

Caballero, Margarita, Lozano-García, Socorro, Vázquez-Selem, Lorenzo y Ortega Beatriz, 2010. Evidencias de cambio climático y ambiental en registros glaciales y en cuencas lacustres del centro de México durante el último máximo glacial. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Vol 62, No. 3, pp. 359-377.

Cortés-Ramos J., Delgado-Granados, H., Huggel, C. and Ontiveros-González, G., 2019. Evolution of the largest glacier in Mexico (Glaciar Norte) since the 50s: factors driving glacier retreat. GEOGRAFISKA ANNALER: SERIES A, PHYSICAL GEOGRAPHY 2019, VOL. 101, NO. 4, 350–373 .

Delgado-Granados, H., Brugman, M., 1995. Monitoreo de los glaciares del Popocatepetl. Volcán Popocatepetl, Estudios Realizados durante la Crisis de 1994–1995. CENAPRED-UNAM, México, pp. 221–244.

Delgado-Granados, H., 1997. The glaciers of Popocatepetl volcano (Mexico): Changes and causes: Quaternary International, 43/44, 53–60.

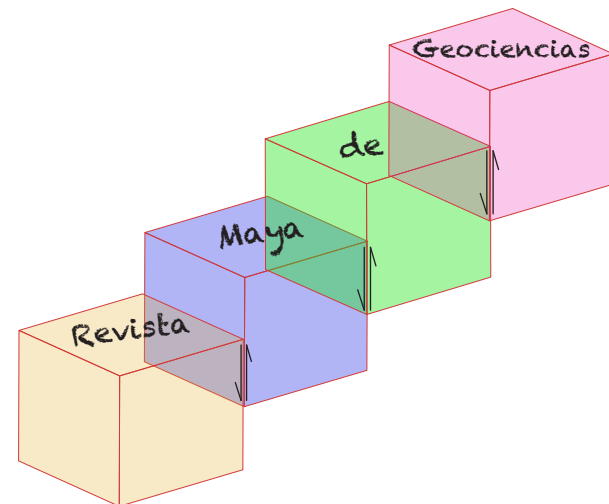
Delgado-Granados, H., Piedad-Sánchez, N., Cárdenas González, L., 2001. Sulfur dioxide emissions from Popocatepetl volcano (Mexico): case study of a high-flux passively-degassing erupting volcano. Journal of Volcanology and Geothermal Research 108, 107–120.

Delgado-Granados, H., Julio Miranda, P., Álvarez, R., Cabral-Cano, E., Cárdenas González, L., Correa Mora, F., Luna Alonso, M., Huggel, C., 2005. Study of Ayoloco Glacier at Iztaccíhuatl volcano (Mexico): hazards related to volcanic activity — ice cover interactions. Zeitschrift für Geomorphologie, Special Issue on Volcanic Geomorphology and Hazards 140, 181–193.

Thompson, L. 2017. Past, Present, and Future of Glacier Archives from World’s Highest Mountains. Proceedings of the American Philosophical Society. Vol. 161, No. 3, pp. 226-243.

Vazquez Selem, L. 2008. Huellas del Pasado en las altas montañas. Revista Ciencia y Desarrollo, CONACyT, Julio 2008, pp. 40-47.

Vázquez Selem, L. 2011. Las glaciaciones en las montañas



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

Dr. Hugo Delgado-Granados. Ingeniero Geólogo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Estudios de maestría y doctorado en la Facultad de Ciencias de la Universidad Tohoku del Japón. Su carrera académica ha estado siempre vinculada a la UNAM, impartiendo clases desde 1983 de Geodinámica como profesor definitivo en la Facultad de Ingeniería. Sus trabajos de Glaciología iniciaron en el Instituto de Geografía de 1983 a 1984 conjuntamente con José I. Lugo Hubp. Colaboro con Jaime H. Urrutia Fucugauchi en el Laboratorio de Paleomagnetismo y Geofísica Nuclear de 1984 a 1986 realizando estudios de paleomagnetismo en rocas volcánicas. Desde 1991 es investigador del Departamento de Sismología y Vulcanología del Instituto de Geofísica UNAM. Desde 1985 es el Corresponsal mexicano del Servicio Mundial de Monitoreo de Glaciares de la Asociación Internacional de Ciencias Hidrológicas de la UNESCO. Actualmente es el Coordinador del Grupo de Trabajo de Hielos y Nieves de Latinoamérica y el Caribe del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO y representante mexicano ante el Comité Científico de Investigación Antártica (SCAR), designado por la Academia Mexicana de Ciencias y forma parte del Comité Científico Asesor de la Secretaría de Gobernación para el estudio de la actividad del volcán Popocatepetl. Es responsable de los sistemas de vigilancia remota de emanaciones de gas en el Popocatepetl, así como del monitoreo de sus glaciares. hgd@igeofisica.unam.mx

Dr. Lorenzo Vázquez-Selem. Licenciado en Geografía del Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. Maestría en Geografía, División de Estudios de Posgrado, UNAM. Maestría en levantamientos de suelos (Master of Science in Soil Survey). International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), Enschede, Países Bajos. Doctorado en Geografía, Arizona State University, Tempe, Arizona, E.U.A. (Glacial Chronology of Iztaccíhuatl Volcano, Central Mexico: A Record of Environmental Change on the Border of the Tropics). Líneas de Investigación: 1. Geomorfología glacial e historia de las glaciaciones en las montañas de México. 2. Geomorfología volcánica. 3. Relaciones entre geoformas, génesis de suelos y erosión de suelos. 4. Aplicaciones de la dendrocronología en la geomorfología. Actualmente Investigador Titular del Instituto de Geografía UNAM. lselem@igg.unam.mx

Dr. Guillermo Ontiveros-González. Licenciado en Física BUAP; Maestría en el Instituto de Geofísica UNAM (Balance de energía en la superficie del glaciar norte del volcán Citlaltépetl); Doctorado en el Instituto de Geofísica UNAM (Estudios de la dinámica glacial del “glaciar norte” del volcán Citlaltépetl). Actualmente como PosDoctorante en el Centro de Geociencias UNAM, Campus Juriquilla, bajo la dirección del Dr. Alejandro Carrillo-Chávez con el proyecto: “Concentraciones de Carbón Negro en nieve superficial del Glaciar del Pico de Orizaba y su Impacto en el albedo y balance de masas del Glaciar.” gontiverosg@gmail.com

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.

En algún lugar se habla de Xamán Ek como del "guía de los mercaderes", y bien puede haberlo sido, puesto que la estrella polar es la única estrella fija que se observa en las latitudes del Petén y Yucatán, que no cambia radicalmente de posición durante el año. Se dice también que los mercaderes le ofrecían copal (pom) en los altares que se ven a la orilla de los caminos. Era una deidad benévola; se la encuentra asociada con el dios de la lluvia y era probablemente el patrono del día Chuen.

The Dinosaur House: New Zealand

Haz click en la imagen



La casa de los arrecifes

<https://www.ceupe.com/blog/que-es-un-arrecife-de-coral.html>

https://www.oceano.org/en/thematic-pages/the-coral/?gclid=Cj0KCQiArt6PBhCoARIsAMF5wajucemYJYvdP1ulZa_XkcxQ4flMYXd1qQFWrEzsQ0BgoUgyd-bTOsaAh0tEALw_wcB

<https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/reef/>

<https://www.livescience.com/40276-coral-reefs.html>

https://www.coris.noaa.gov/about/what_are/

https://www.impacttravelalliance.org/ocean-conservation-a-travelers-complete-guide/?gclid=Cj0KCQiArt6PBhCoARIsAMF5wajlhFzFrYVFolbug748UJvzwcK1A7-xO52-89Yy6b2ek2OWGMJ0K8MaAsPPEALw_wcB

<https://www.youtube.com/watch?v=ZiULxLLP32s>



Tesis selectas presentadas la Universidad Nacional Autónoma de México en 2020

Compilación realizada por Miguel Vazquez Diego Gabriel, Colaborador de la Revista

Magnitud local y parámetros de atenuación para el estado de Hidalgo.
Vega Baez, María Jimena

Modelación de la propagación de la onda elástica en medios heterogéneos por el método de haces gaussianos.
Vera Chávez, Nain

Simulaciones numéricas de intrusiones magmáticas para estudiar el origen geodinámico del Campo Volcánico Los Humeros.
Bayona Ordoñez, Andrés David

Cartografía, anatomía y facies de la ignimbrita Xáltipan asociada al colapso de la caldera de Los Humeros (Puebla); evidencias de la mayor erupción de la faja volcánica trans-mexicana e implicaciones.
Cavazos Álvarez, Jaime Alberto

Caracterización petrofísica de la unidad sedimentaria jurásica Cahuassas como posible almacenador de CO₂.
Cortés Prado, César Alberto

Estudio metalogénico de la porción SW del Distrito Minero Tatatila-Las Minas, Veracruz.
Hernández Aviles, Geovanny

Estudio neotectónico de la falla agua fría, en la parte central del cinturón volcánico trans-mexicano.
Lagunas Ocón, Alma Delia

Characterization of geochemical and environmental processes controlling the stable isotope and trace element composition of drip water and farmed calcite in río secreto karst cave, located in the Yucatán Península, México.
Lases Hernández, María Fernanda

Estudio geológico del sector centro y sur del graben de Juchipila, Jal., Zac., México.
Martinez Reséndiz, Emma Vanesa

Relación entre episodios tectono-magmático cretácico-tardío oligoceno temprano y el desarrollo de múltiples eventos mineralizantes de plata - oro en el distrito minero San Dimas, Sierra Madre.
Montoya Lopera, Paula Andrea

Estudio geomorfológico y paleosismológico de la falla Ameca, Jalisco.
Núñez Meneses, Andrés David

Análisis hidráulico-mecánico de flujo de agua subterránea y respuesta de la fase sólida por medio de modelado acoplado.
Ochoa González, Gil Humberto

Límite de provincias paleoproterozoicas Yavapai y Mazatzal en el noroeste de Sonora y suroeste de Arizona: estudios de U-Pb y Hf en zircones de rocas proterozoicas y laramídicas.
Reategui Palomino, Walter Vladimir

Paleoclimatic and paleoenvironmental history of the northern mesoamerican frontier.
Wogau Chong, Kurt Heinrich

Caverna del arte

Cuento: Aurora

(Autor: Claudio Bartolini)

Aurora nació en un barrio muy pobre, al igual que millones de niños latinoamericanos, cuyo futuro está marcado por la falta de oportunidades. Creció en una familia de once hermanos, con padres alcohólicos. La escuela primaria a la que asistía no tenía normas de higiene, por lo que tres o cuatro veces al mes llegaba a casa con piojos, y se daba a la tarea de despiojarse con una peineta especial que usaban los once hermanos. En una ocasión, al observar la peineta con mayor detalle, se dio cuenta que había un piojo enorme, casi del tamaño de un chicharo. Al acercarse su cara para apreciarlo mejor, le dio la impresión de que el piojo hacía gestos, intentando comunicarse con ella. Efectivamente, cuando lo acercó más a su cara, escuchó la voz ladina del piojo que decía: "Hola, me llamo Quantum, y soy un piojo que viaja a través del tiempo". Estoy enterado de que tu sueño es ser pintora y estudiar historia del arte y de las bellas artes, y yo te ayudaré a cumplir tu sueño.

Si tú quieres, le dijo, mientras vas a la escuela, yo te impartiré clases durante los próximos años, solo tienes que ponerte al lado de tu oreja, y desde allí me dedicaré en cuerpo y alma, para que termines tus estudios con brillantez. La única condición es me permitas succionar un poco de tu sangre cada día, para sobrevivir. La niña estuvo de acuerdo con el piojo, y aprendió cómo cuidar de él, sobre todo no dejar que su madre la espulgara, porque lo encontraría fácilmente. Aurora adquirió una habilidad sorprendente para eliminar todos los piojos de su peineta, dejando siempre a un lado a Quantum, quien se posicionaba como de costumbre, al lado de la oreja de la niña, para continuar con sus actividades educativas.

Quantum poseía un conocimiento profundo de la historia de la humanidad y del futuro de la misma. Le bastaba la mínima cantidad de sangre del cuero cabelludo de Aurora, para mantenerse vivo y continuar con su función de profesor. Sabía que una de las cosas que Aurora más deseaba en el mundo era la de ser pintora, por lo que consideró fundamental, el incluir cursos sobre la vida de los pintores más famosos y controversiales de la historia del arte. La niña, por su cuenta, era como una esponja, aprendía de manera impresionante, y paso a paso se convertía en una experta en la historia del arte y de las bellas artes. Quantum estaba muy orgulloso de su alumna, ya que a pesar de su mala alimentación, dedicaba tiempo y alma a sus estudios. Incluso, cuando el piojo se enteraba de que ella no había desayunado en casa, se abstenía de chuparle su ración de sangre, porque le daban remordimientos.

Quantum le enseñaría historias de primera mano, pues el había convivido con la mayoría de los pintores de otras épocas, y conocía sus vidas en detalle. Las primeras clases versaron sobre las vidas de Leonardo da Vinci y Miguel Ángel Bounarrotti, los grandes pintores italianos del Renacimiento. Le contó que da Vinci fue un gran genio, y que además de arquitecto, fue escritor, pintor, anatomista y científico-inventor entre otros. Sus dos grandes pinturas fueron la Mona Lisa y la Última Cena. Miguel Ángel por su cuenta, fue un gran arquitecto, escultor y pintor, otro de los grandes artistas del Renacimiento. A pesar de la diferencia de edades, entre ambos, eran grandes amigos, y compartían no solamente su conocimiento artístico, sino también su amor por el hachís. En 1508, por encargo del Papa Julio II, Miguel Ángel inició la pintura de la bóveda de la Capilla Sixtina del Vaticano, en Roma. Lo que el Papa nunca se imaginó, es que Miguel Ángel invitó, a hurtadillas, a su amigo da Vinci para que le ayudara con el proyecto. Miguel Ángel pintaba durante el día, y da Vinci llegaba por la noche, y ambos pintaban hasta llegada la madrugada. Los amigos pintores consumían tanto hachís, que durante horas hablaban con Dios y con los angelitos. La agudización de sus sentidos, los sentimientos de felicidad y satisfacción, y la percepción de que el tiempo pasa más lento, los mantenía muy productivos, y finalmente terminaron de pintar la Capilla Sixtina en 1512.

Quantum le contó que él vivía feliz al lado de los dos afamados pintores, particularmente con da Vinci, quien le tenía tanta confianza, que comúnmente le permitía que se paseara por su larga barba, pero en uno de esos paseos, se vio en serios problemas, porque da Vinci y Miguel Ángel estaban fumando sendos carrujos de hachís, y todo el humo fue a parar a los pulmones de Quantum, quien empezó a alucinar que montaba a un perro enorme y rico en sangre, viviendo por un corto tiempo, la vida excéntrica de un piojo millonario.

En esos años, vividos bajo los efectos de la droga, dejaron también en las pinturas, miles de mensajes secretos que resultaron ser visiones del futuro, incluyendo dibujos de los robots que, en el futuro, se enviarían a Marte; la estructura del genoma humano, y el COVID-19, entre tantos más.

Una de las historias que emocionó grandemente a Aurora, fue la historia de Goya, el pintor español, quien a pesar de sufrir esquizofrenia aguda, pintó varios cientos de obras de individuos, parejas, mujeres, niños y grupos de personas. Fue muy famoso entre la aristocracia y la monarquía de su tiempo. Las pinturas negras de Goya en las paredes del comedor y el cuarto de espera de su casa, son testigos fieles de la etapa final de su vida, en la que, agobiado por su enfermedad

mental, se veía rodeado de demonios y entes maléficos de color negro, reflejando terror e histeria, agobiado por su enfermedad mental. En su mente enferma, los oscuros demonios eran su familia, y con ellos discutía acaloradamente todo lo relacionado con el arte y la pintura.

Le explicó con finos detalles, que los cientos de pinturas de personajes realizadas por Goya a través de su vida, nunca existieron, y que el pintor jamás tuvo modelos o gente que posara para él. Todas las imágenes, en sus cuadros, se recrearon en su mente, como resultado de su esquizofrenia crónica y deterioro de un mundo real que ya no existía. Pegado fuertemente al cuero cabelludo del pintor, Quantum vivió una de sus experiencias más negras y horribles, el día en que vio en la recién terminada pintura de Goya, que estaba un piojo inmerso en un charco de sangre. Lo había detectado y sabía quien era, así que huyó despavorido. A pesar de una vida de sufrimiento mental, Goya fue sin duda, uno de los grandes pintores de los siglos diecisiete y dieciocho.

El piojo Quantum tenía claro que el tiempo es infinito, pero también sabía que cuando los humanos pasan a través de él, su tiempo de vida es muy limitado. Dado a que el piojo ya se había trasladado al futuro, sabía en qué año y a qué edad moriría Aurora, y por ese motivo se empeñaba en enfocarse en la educación de la chica, para que sus sueños se hicieran realidad.

Los cursos incluyeron desde luego al pintor Vincent van Gogh, quien fue una de las figuras del arte más influyente en el siglo diecinueve. Las voces con las que conversaba en cada momento de su vida, le decían que de no lograr la fama con sus pinturas, tendría que suicidarse. Van Gogh realizó más de dos mil pinturas con temas de paisaje, retrato y autorretrato, utilizando colores atrevidos y dramáticos, que fueron la base del arte contemporáneo. El pintor tuvo periodos muy graves de demencia, con episodios psicóticos y de alucinaciones, por los que estuvo internado en varios hospitales psiquiátricos. Sus pinturas son el reflejo de una realidad deformada e irreal, producto de su locura, y de las voces en su cerebro que dirigían su pincel.

Quantum fue testigo presencial de la locura de van Gogh. Él estuvo en el cuero cabelludo del pintor el día en que se suicidó, dándose un tiro en el pecho. El piojo tuvo mucha suerte, pues, de haberse disparado van Gogh en la sien, lo hubiera hecho añicos. Van Gogh había hecho una apuesta con una voz que siempre tuvo en su cerebro, con quien desafió que si no lograba ser un pintor famoso, se quitaría la vida, y al final, cumplió con su reto al pie de la letra. De hecho, a lo largo de su obra, pintó dos mil cien cuadros, sin haber recibido en vida reconocimiento alguno.

Aurora estaba fascinada cuando el piojo le describió la vida de la pintora surrealista Leonora Carrington, la hija de un rico industrial de textiles, quien se fue de casa muy joven, desoyendo las órdenes de su rígido padre. A los veinte años se hizo amante del pintor surrealista Max Ernst, quien fuera arrestado por los nazis durante la segunda guerra mundial. Intentando ayudarlo a escapar, Leonora viajó a España, donde sufrió un colapso nervioso y fue internada en un hospital psiquiátrico, donde fue diagnosticada con ansiedad paralizante y alucinaciones profundas. Durante su estancia en el hospital, fue tratada con fuertes dosis de Cardiazol y Luminal, que le terminaron de afectar su cerebro. Quantum no se despegó de ella durante esa crisis psicótica, pero tuvo que aguantar los delirios amorosos de la pintora, pues muy seguido lo confundía con su amante, y quería hacer el amor con él.

Tiempo después, Leonora escapó a México, donde tuvo una vida muy productiva como pintora. Los medicamentos administrados en España habían afectado seriamente su cerebro, y su sentido de la realidad había sido bloqueado, solamente podía realizar pinturas surrealistas. A partir de entonces, la pintora vivió en un inframundo del cual nunca pudo escapar. Su obra constaba de un mundo de criaturas fantásticas, fantasmas, y con cierta magia, que caracterizaron su estilo de pintura. El mural "El mundo mágico de los mayas" en el Museo Nacional de Antropología, es una representación fiel, de un cerebro que pudo captar y pintar lo que no ven los ojos humanos. Leonora Carrington vivió noventa y cuatro largos años, atormentada por sus propios fantasmas; sin embargo, fue una de las grandes pintoras surrealistas del siglo veinte.

En el transcurso de la educación de Aurora, durante una reunión del grupo transgresor del tiempo, se le dio a Quantum la oportunidad de ser otro animal, pero declinó la oferta; prefirió seguir siendo un piojo, quien había tenido la oportunidad de apoyar a miles de niños pobres en el mundo, incluso, había iniciado su carrera profesional, siendo un piojo con residencia en los primeros *Homo sapiens* que migraron desde el centro de África hacia Europa hace aproximadamente 300,000 años.

Pasaron los años y se acercaba el momento de la despedida. Aurora era ya una persona adulta, y estaba más que lista para empezar su vida profesional como pintora y maestra de arte. Se había graduado con honores en la Academia de Bellas Artes. Quantum estaba melancólico, tendría que empezar una nueva vida, quién sabe adónde y en qué tiempo. La educación que Quantum impartió a Aurora a través de los años rindió frutos. Aurora Reyes Flores fue una de las primeras pintoras de México, y la primera muralista mexicana. Pintó su primer mural "Atentado a los maestros rurales" en 1936, y "Mujeres en guerra" en 1937. Realizó también un sinnúmero de pinturas a través de su vida, siendo los murales su mayor pasión. Entre 1960 y 1972 pintó cuatro murales, y en 1978, terminó su sexto mural en la Casa de Cortés en Coyoacán. Cuando se inauguró este último mural, el piojo Quantum estaba allí, celebrando y aplaudiendo sumamente feliz, desde la oreja de otra niña pobre, su nueva alumna.

Moisés Dávila Serrano

Colega geólogo mexicano, escribió recientemente el siguiente libro, que está a la venta en Amazon en versión digital:

Rupestre Moderno

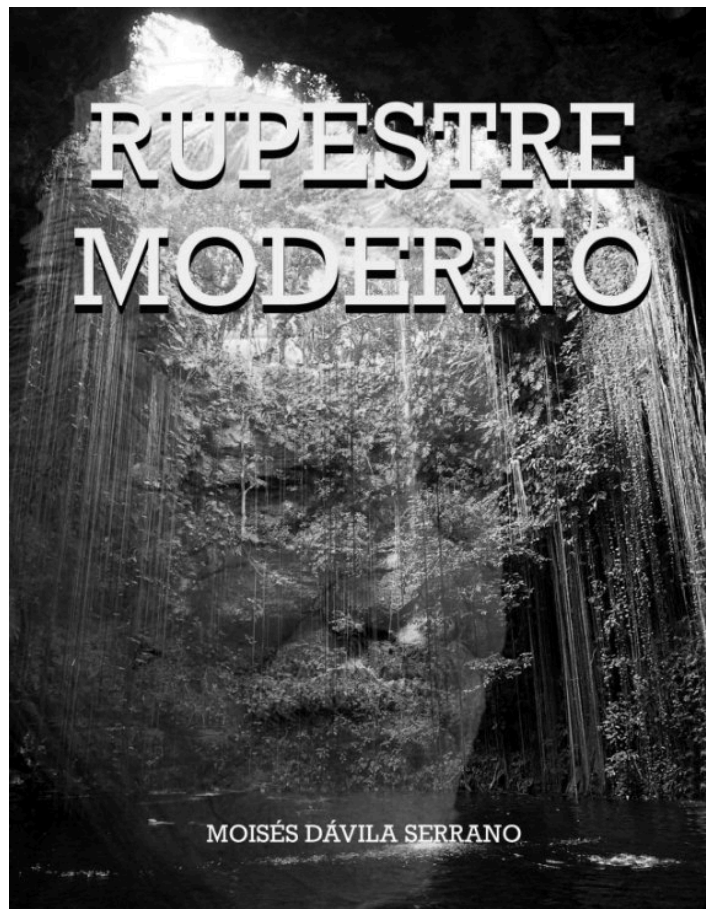
Rupestre Moderno es una novela sobre un misterioso hombre que habita en secreto en las grutas de la Península de Yucatán.

Un par de antropólogos descubren accidentalmente evidencia de su existencia. Se proponen encontrarlo sin saber que cuando lo consiguen sus vidas se habrán transformado irremediabilmente.

Durante la trama se describen las bellezas naturales del subsuelo de esa región del Sureste Mexicano y los fenómenos que le dan origen.

Al término de la obra, el lector habrá recibido sutilmente información real sobre la cultura yucateca, su historia y evolución geológica, detalles sobre los antiguos pobladores de la región y las bases del concepto de desarrollo sostenible.

https://www.amazon.com/-/es/Mois%C3%A9s-D%C3%A1vila-Serrano-ebook/dp/B09RVJ5MFJ/ref=sr_1_1?mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&criid=2KR5V5JS070GP&keywords=modern+rupestre&qid=1644203700&sprex=rupestre+moderno%2Caps%2C113&sr=8-1



Glosario de términos geológicos

Compilado por:

E.P Saul Humberto Ricardez Medina

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

Petrofísica: rama de las geociencias encargada del estudio de las propiedades físicas y fisicoquímicas de las rocas y su relación entre los fluidos que almacenan su movimiento a través del medio poroso del yacimiento.

Poro: Es el espacio vacío entre partículas que conforman una roca en el cual permite que se almacenen fluidos, estos poros pueden estar conectados o aislados.

Porosidad: Es la relación de espacio vacío o volumen poroso, entre el volumen total de la roca, el resultado se expresa en una fracción de 0 a 1 y/o en porcentaje.

Porosidad efectiva: Es el porcentaje de espacio vacío (poros) conectados entre sí, facilitando la circulación de fluidos por las rocas.

Porosidad no efectiva: Es el porcentaje de espacio vacío (poros) que no están conectados entre sí, esto imposibilita la circulación de fluidos entre el espacio vacío.

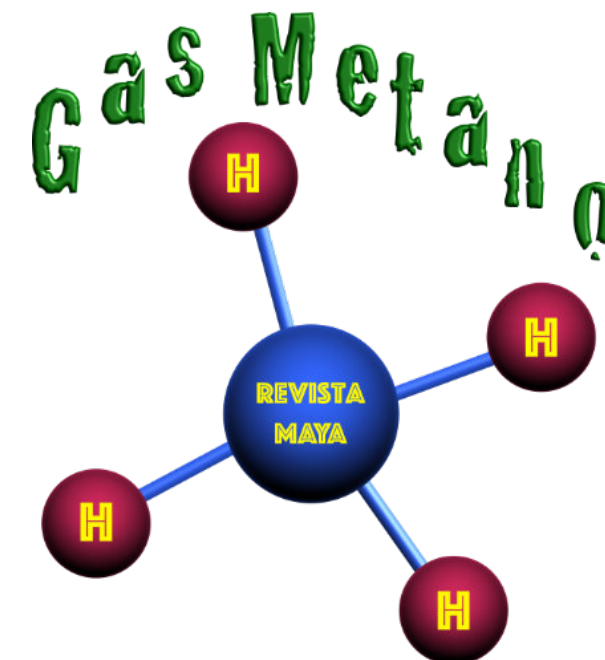
Porosidad absoluta o total: Es el porcentaje del espacio vacío total, sin importar si los poros están interconectados o no, es decir es la sumatoria de la porosidad efectiva y la no efectiva.

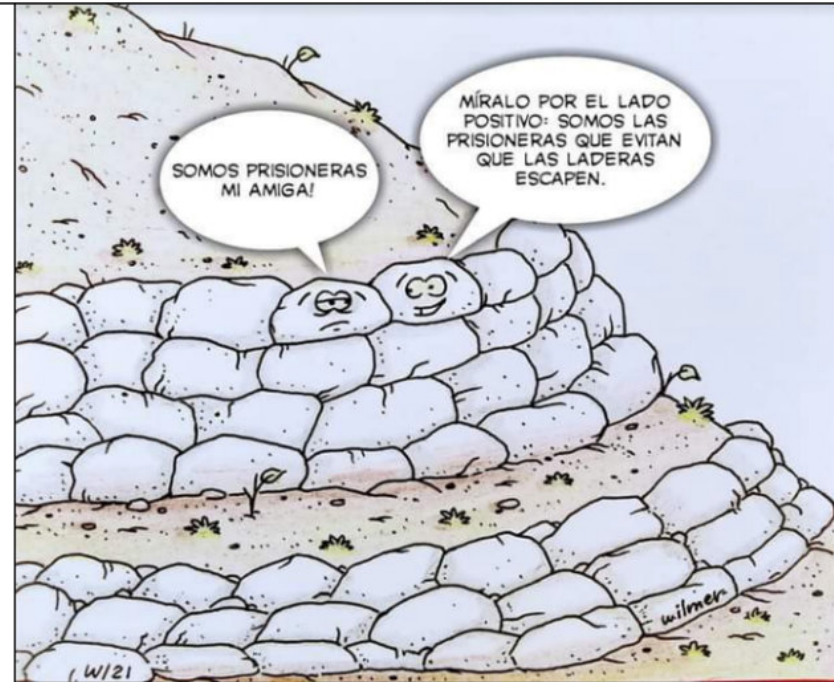
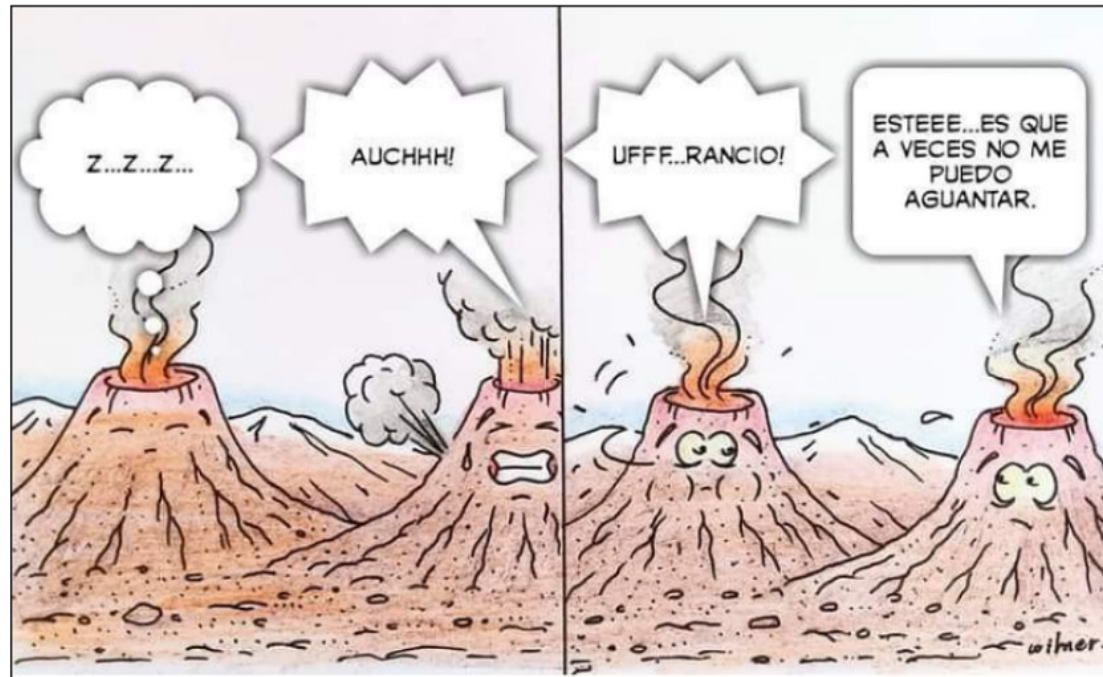
Porosidad primaria o intergranular: Es la porosidad que tiene origen durante el proceso de deposición de los sedimentos o materia que da origen a la roca, esto generalmente se presenta en rocas sedimentarias como las areniscas.

Porosidad secundaria o inducida: Es la porosidad originada por algún agente externo a la sedimentación (fracturas, dolomitización, lixiviación) y litificación del material para la formación de rocas.

Porosidad por fractura o diastrofismo: Es la porosidad formada por acción de fuerzas tectónicas.

Porosidad por dolomitización: Es la porosidad que se origina por una sustitución de una molécula de calcio por una de magnesio (las calizas se convierten en dolomías), lo cual las vuelve más porosas.





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

Cristales gigantes de Naica, Chihuahua (México)

Las maravillas de nuestro planeta van mucho más allá de lo que podemos ver en el horizonte. Así como existen bosques frondosos o islas de colores inimaginables, también hay tesoros en las entrañas del suelo. Uno de los paisajes subterráneos más impactantes es precisamente la Cueva de los Cristales, una caverna plagada de formaciones minerales de selenita que alcanzan los 12 metros de largo y relucen tonos claros comparables a los de la Luna.

La Cueva de los Cristales, descubierta por casualidad Todo empezó a finales del siglo XVIII, cuando un grupo de mineros divisó una veta en el suelo a 130 km al sur de la ciudad de Chihuahua. Ese fue el inicio de la Mina de Naica, de la cual se extrajeron plata, zinc y sobre todo plomo durante más de 200 años, hasta su cierre en 2015 debido a una inundación. En el 2000, los espeleólogos Eloy y Javier Delgado, que trabajaban a 290 metros de profundidad taladrando la roca, dieron con una cámara que estaba junto a un depósito natural de metales. Al ingresar, los hombres vieron cristales que rebasaban los 10 metros de largo; había algunos que atravesaban este espacio, de 20 x 35 metros, de suelo a techo y pesaban hasta 55 toneladas.

<https://cen.acs.org/physical-chemistry/geochemistry/Naicas-crystal-cave-captivates-chemists/97/i6>

<https://mexicotravelchannel.com.mx/ecoturismo/20201105/naica-cristales-gigantes-chihuahua/>

<https://www.youtube.com/watch?v=yYepZlCp3s>

Compilado por Nimio Tristán,
Geólogo,
Houston, Texas



De Cuba a Canarias, entre líneas y colores

(crónica virtual publicada en el grupo de facebook de la Filial Pinar del Río de la Sociedad Cubana de Geología)

Por: **Wilmer Pérez Gil** (24-10-2021), a propósito de celebrarse el "Día del Trabajador Geólogo-Minero" en Cuba.

El pasado 20 de octubre de 2021, el Ilustre Colegio de Geólogos Españoles (ICOGE), presentó la iniciativa "Geosolidarios con La Palma. Del Mal país al Buen País". La misma fue presentada en Madrid, España, por su vicepresidente, el Dr. Sr. Carlos García Royo y la Sra. Cristina Sapalski Roselló, presidente y vicepresidenta respectivamente de la ONG "Geólogos del Mundo", asociación sin fines de lucro fundada en 1999. Dicha organización anunció en conferencia de prensa en ese entonces, su proyecto de ayuda humanitaria con el objetivo de recaudar fondos y mejorar la calidad de vida de la población palmera, afectada tras la erupción del volcán Cumbre Vieja, que al cierre de esta crónica continuaba arrojando lava y materiales incandescentes.

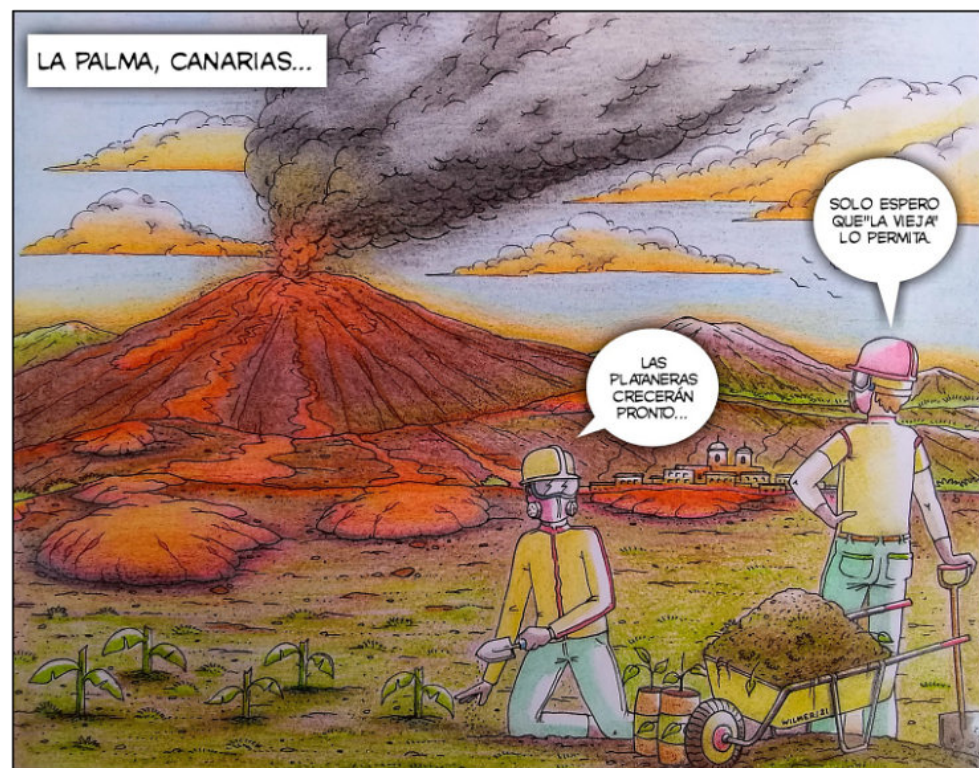
A través de la comunicación vía gmail, el Sr. García Royo, le propone al Prof. Wilmer Pérez Gil, docente del Departamento de Geología de la Universidad de Pinar del Río "Hermanos Sáiz Montes de Oca" en Cuba, una ilustración para promover e identificar el proyecto de ayuda humanitaria anunciado por la referida organización no gubernamental. El joven profesor cubano, quién llevaba varios meses colaborando con la revista "Tierra y Tecnología" de España, para la difusión de su proyecto personal de geocaricaturas en la península Ibérica, accede a colaborar modestamente con el proyecto de La Palma.

La ilustración fue realizada en dos días, y presentada en soporte acrílico DIN A3 en la propia rueda de prensa ese propio día 20 de octubre (ver pósters e ilustración adjuntos), con copias para los periodistas presentes. En la imagen, a la izquierda del póster, se observa a la Sra. Sapalski Roselló, sosteniendo la placa de acrílico con la ilustración plasmada, realizada por el profesor cubano, mientras es entrevistada por la Televisión Española y Radio Nacional de España. La imagen se presentó en un programa televisivo de ese país (abajo a la izquierda), con la intención de divulgar el proyecto de ayuda humanitaria para los habitantes de La Palma.

Hacemos extensiva la solidaridad con la población de La Palma, Canarias. Cualquier información sobre el proyecto "Geosolidarios con La Palma" para el envío de donaciones, favor de comunicarse con el Dr. Sr. Carlos García Royo, Presidente de la ONG "Geólogos del Mundo", a través del correo electrónico:

- geologosdelmundo@icog.es
- cgroyo@hotmail.com

A su vez, pueden visitar su sitio web en redes sociales. Contribuye con tu granito de arena a levantar a La Palma de las cenizas y a mitigar el impacto dejado por la actividad eruptiva en la población de la isla. **SÚMATE!**



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

Asociación de Geólogos y Geofísicos Españoles del Petróleo

<https://aggep.org/>



Sociedad Geológica de España

<https://sociedadgeologica.org/>



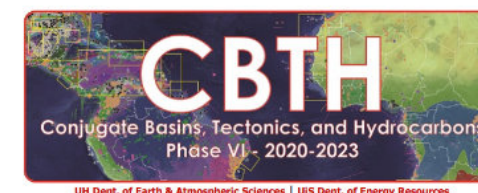
Sociedad Cubana de Geología

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



Sociedad Dominicana de Geología

<http://sodogeo.org/>



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

Universidad Tecnológica del Cibao Oriental, República Dominicana

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





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