

**ENERO  
2023**



# **MAYA**

**REVISTA DE GEOCIENCIAS**



ENERO  
2023



# 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:** Door to the desert. Surrealist photograph by Claudio Bartolini. "El mundo real es mucho más pequeño que el mundo de la imaginación": Federico Nietzsche.

**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](mailto: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](mailto:bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu)



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

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

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



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

Correspondent member of the Academy of Engineering of Mexico.

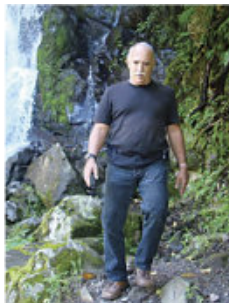
Claudio was made an Honorary Member of the AAPG in 2022 in recognition of his service to the Association, and his devotion to the science and profession of petroleum geology.

[bartolini.claudio@gmail.com](mailto:bartolini.claudio@gmail.com)

# COLABORADORES



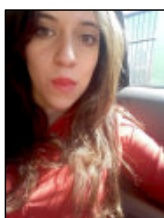
**Salvador Ortuño Arzate** received his M. Sc. from the National Autonomous University of Mexico (UNAM) and his Ph.D. from the Université de Pau and Pays de l'Adour (UPPA) in France. He has been a researcher at the Instituto Mexicano del Petróleo and the Institut Français du Pétrole, focusing his work on the Exploration Petroleum field. Salvador has published several papers and a book, "El Mundo del Petróleo" (Petroleum's world),



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



**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



**Laura Itzel González León**, es estudiante de la carrera de ingeniería en Geología ambiental, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería).

Sus principales áreas de interés son la geotecnia, geotermia, sistemas de información geográfica, gestión de cuencas hidrográficas y riesgos geológicos.

examining and shedding light on the history of petroleum and the implications for the society. Also, he has worked as an advisor for several universities and national corporations. Lastly, he has served as faculty and has taught different courses at the Secretariat of National Defense and at the Engineering School of U.N.A.M.

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

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

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

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

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

Actualmente ejerce como prestadora de servicio social en el Geoparque Mundial de la UNESCO Comarca Minera haciendo divulgación referente a geopatrimonio.

[itzelleon2909@gmail.com](mailto:itzelleon2909@gmail.com)



**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](mailto:poletpinzon@gmail.com)



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

Tiene en su haber labores de investigación en Geología de Terremotos y Riesgo Geológico asociado o no a la sismicidad. Es especialista en Sismología Histórica, Historia de la Sismología y Geología venezolanas. Ha recibido entrenamiento profesional en

Metalogenia, Ecuador y Geomática Aplicada a la Zonificación de Riesgos en Colombia. Tiene en su haber como autor y coautor, tres libros dedicados a la catalogación sismológica del siglo XX; a la historia del pensamiento sismológico venezolano y la coordinación de un atlas geológico de la región central del país, preparado junto al Dr. Franco Urbani, profesor por más de 50 años de la Escuela de Geología de la Universidad Central. Actualmente prepara un cuarto texto sobre los estudios de un inquieto naturalista alemán del siglo XIX y sus informes para los terremotos destructores en Venezuela de los años 1812, 1894 y 1900.

[rodriguez.arteaga@gmail.com](mailto: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](mailto: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](http://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](mailto:jonblickwede@gmail.com)



**Natalia Silva** (MSc): Geóloga de la Universidad Industrial de Santander, Postgrado en Petroleum Geoscience de la Heriot-Watt University y Máster en Energías Renovables y Sostenibilidad Energética de la Universitat de Barcelona. Su carrera empieza en la minería de esmeraldas en el Cinturón Esmeraldífero Oriental de Colombia y en proyectos mineros de Níquel colombianos. Tiene más de 10 años de experiencia en el sector de hidrocarburos en desarrollo de

yacimientos y geomodelado en cuencas petrolíferas de los Estados Unidos, Colombia, Ecuador y Brasil. Más recientemente, su carrera está enfocada en el aprovechamiento de energías renovables, principalmente de energía solar, ha elaborado proyectos de generación eléctrica a partir de instalaciones fotovoltaicas en Europa y los Estados Unidos.

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



**Jesús Roberto Vidal Solano** es doctor en Geociencias por la Universidad *Paul Cézanne* en Francia y realizó un postdoc en el Laboratorio Sismológico del *Caltech* en EEUU. Fue egresado de los programas de Geólogo y de la Maestría en Ciencias-Geología de la Universidad de Sonora en donde actualmente es profesor investigador desde hace 16 años. Es divulgador geocientífico y fundador del proyecto La Rocateca [www.rocateca.uson.mx](http://www.rocateca.uson.mx) y actualmente es secretario del Instituto Nacional de Geoquímica AC. Su investigación

científica de tipo básico se centra en la obtención de conocimiento sobre los procesos magmáticos y geodinámicos de la litosfera, en particular de los vestigios petrológicos y tectónicos de los últimos 30Ma en el límite transformante de las placas Pacífico-Norte Americana. Sus investigaciones científicas de tipo aplicado se enfocan en el estudio de geomateriales para la solución de problemas geoarqueológicos, paleoclimáticos y de yacimientos minerales no-metálicos en el NW de México.

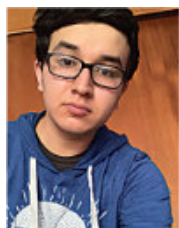
[roberto.vidal@unison.mx](mailto:roberto.vidal@unison.mx)



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

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

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



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

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

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



**Uriel Franco Jaramillo**, es estudiante de noveno semestre en la carrera de Ingeniería Petrolera en la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, sus principales áreas de interés son la simulación matemática de yacimientos y la conducción, el manejo y el transporte de

hidrocarburos. Actualmente está prestando su servicio social como colaborador en la Revista Maya de Geociencias.

[urielfranco.unam@gmail.com](mailto:urielfranco.unam@gmail.com)

## Palabras de los editores y colaboradores

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

El 2023 será un año mejor para todos y traerá muchas satisfacciones como recompensa del arduo trabajo y el esfuerzo de cada persona por la superación personal, en equipo y de familia.

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

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

We continue to live at a time of day-to-day uncertainty, however the untiring human spirit will always seek to overcome adversity.

We are confident that 2023 will be a better year, filled with satisfaction to reward the arduous work of each of us as we improve in our personal, family and team efforts.

The editors and collaborators of the Revista Maya de Geociencias sincerely thank our readers, hoping that the coming year is filled with health and happiness, and with faith that the world will become a better place each day. Meanwhile we will continue to work on selecting themes that are of interest to all in our geoscientific community.

Sincerely, the Revista Maya de Geociencias (RMG) team.



# CONTENIDO

ENERO  
2023

Semblanzas.....	<a href="#">9</a>
Pioneros de las Geociencias.....	<a href="#">13</a>
Resúmenes de tesis y publicaciones.....	<a href="#">15</a>
Los libros recomendados.....	<a href="#">25</a>
Temas de interés.....	<a href="#">27</a>
Fotografías de afloramientos/microscopio.....	<a href="#">38</a>
Notas geológicas.....	<a href="#">44</a>
<b>Misceláneos</b>	
Museos de historia natural.....	<a href="#">77</a>
Concurso de fotografía geológica.....	<a href="#">78</a>
La casa de los micro-plásticos.....	<a href="#">81</a>
Revista de las Geociencias.....	<a href="#">82</a>
Diplomado en Enseñanza de Ciencias de la Tierra.....	<a href="#">83</a>
Revista mexicana de Geociencias.....	<a href="#">84</a>
Aplicaciones gratuitas.....	<a href="#">85</a>
Tesis selectas presentadas en la UNAM 2020.....	<a href="#">86</a>
Caverna del arte.....	<a href="#">87</a>
Glosario de términos geológicos.....	<a href="#">88</a>
Bases de datos gravimétricos.....	<a href="#">89</a>
Consortios de investigación.....	<a href="#">90</a>
Geo-caricatura (Wilmer Pérez Gil).....	<a href="#">91</a>
Cueva de los cristales gigantes, Mexico.....	<a href="#">92</a>
Asociaciones geológicas hermanas.....	<a href="#">93</a>

# SEMBLANZAS

## Charles Willis Hatten (1923 - 2010)

### Charles Willis Hatten y la geología cubana.

Rafael Tenreyro Pérez y Evelio Linares Cala

Melbana Energy, La Habana, Cuba

Nació el 21 de mayo de 1923 en Arkansas, pero creció en Pasadena, California. Ingresó en la Universidad de California en Berkeley en 1945, graduándose en 1949. Comenzó a trabajar como geólogo en Oil Properties Consultants, con Florent Bailly de presidente. Las primeras labores fueron en el oriente de Venezuela como geólogo de pozos exploratorios. En febrero de 1950, fue enviado a Cuba para conducir un levantamiento geológico en compañía de Jim Shields y Arnold Fisher bajo la dirección del Dr. Rene Engel. A partir de diciembre de 1951 hasta 1953 sirvió como geólogo en la Caltex Petroleum Company. Por recomendación de R.N. Nelson fue transferido a la Richmond Petroleum Company en April 29, 1953. Allí comparte la oficina con Arthur Meyerhoff y Hugh Mason. Hatten va a trabajar en la Standard Oil Company of California desde 1953 hasta 1962, ocupando el cargo de geólogo en los estudios geológicos y paleontológicos en Cuba, el Caribe y otros países de Sudamérica.

De 1962 a 1965, fue el geólogo principal de varias subsidiarias internacionales de la Standard Oil Company of Indiana, supervisando proyectos de exploración en España, África, el lejano oriente y el Pacífico Sur. Fue Vicepresidente Ejecutivo y con posterioridad, presidente de la Great Basins Petroleum Company, tiempo durante el cual fue gerente de las operaciones de exploración y producción de la compañía. Charles Hatten fue el principal propagandista de las reservas ultra profundas de California y el promotor de la exploración en ese estado por debajo de los 20 000 pies. Entre 1982 y 1986, fue el Director de Operaciones, presidente y director de la Century Production, Inc., una empresa privada encargada de evaluar y adquirir activos de producción. En 1987 funda la San Carlos Oil and Gas Corporación, de la cual fue su presidente. Charles W. Hatten (Charlie) falleció el día 19 de junio de 2010 en su casa de San Marino, California a los ochenta y siete años de edad.



### En Cuba

Empleado por Oil Properties Consultants, Charles Hatten llegó por primera vez a Cuba para la cartografía geológica en las concesiones de la Cuba Venezuela Oil Voting Trust, una compañía formada por los texanos John Alston Crichton y William F. Buckley, en 1950. El Dr. Rene Engel que dirigía el proyecto era muy optimista con relación a las posibilidades petroleras de Cuba, consideraba que las cuencas terciarias del sur tenían posibilidades de tener grandes yacimientos. En aquellos tiempos era muy poca la información pública disponible sobre Cuba, excepto los trabajos realizados por Robert y Dorothy Palmer y las publicaciones de los geólogos holandeses de la Universidad de Utrecht, los cuales establecían lo más general de la sucesión estratigráfica de las cuencas sedimentarias de la isla. Warren Smith, el representante de la CVOVT en Cuba, le ofreció pagarle el salario de 250.00 al mes en acciones de la empresa más los gastos de manutención y Charles aceptó de inmediato. Le acompañaban en la tarea Jim Shields y Arnold Fisher trabajando en Sancti Spiritus, Ciego de Ávila y Camagüey. La evaluación de la Oil Properties Consultants le permitió a la CVOVT cerrar un buen acuerdo de farmout con la Cuban Stanolind, con el compromiso de llevar a cabo un proyecto

exploratorio, en 16 millones de acres de permisos, valorado en \$15,000.000, a cambio del 50% del interés.



Desde 1951, Richmond Petroleum Company, filial de la Standard Oil of California, comienza su evaluación del potencial petrolero de Cuba. Para esto se realiza un reconocimiento geológico desde enero hasta abril de 1951, seguida por una serie de transectos por parte de Julian L. Low, Arthur Meyerhoff y George Vockroth. En 1953, se estableció una subsidiaria local denominada Cuba California Oil Company bajo la dirección de Mel Hoover a la que se incorpora Charles Hatten. Charles se enfrentaba a la muy compleja pero fascinante geología de Pinar del Rio. Los reportes geológicos precedentes se contradecían unos a otros en lo relacionado a la secuencia estratigráfica, pero especialmente a la interpretación estructural. El concepto de los geólogos de la Cuba California era que la Formación San Cayetano yacía en contacto estratigráfico sobre las calizas jurásicas de Viñales. El concepto había sido aceptado por Mel Hoover quien comenzó a considerar que la geología de Cuba occidental era un análogo de la península arábiga. Las instrucciones de Hoover fueron claras: cartografiar un gran anticlinal en el que la Formación San Cayetano sirviera de sello. Hatten comenzó su trabajo de recolectar fósiles en varias localidades para identificarlos y datarlos. Los fósiles más confiables era los *Ammonites* los cuales aparecen en muchas localidades de la Formación Jagua del Oxfordense. Empleó como guía a un lugareño que había acompañado a muchos geólogos y naturalistas, se llamaba Juan Gallardo Cordero, “el sabio guajiro” de Viñales.

Hatten continuó su trabajo de cartografía con más y más perfiles. A medida que recibía más datos, surgían nuevas incógnitas y problemas. La solución pasaba por el reconocimiento de la existencia de una tectónica alpina a gran escala con varios mantos de cabalgamiento de Sur a Norte. Evidentemente, el concepto de que la Formación

San Cayetano era el sello sobre los reservorios de carbonatos de Viñales era totalmente incorrecto. La cartografía geológica le permitió reconocer ocho grandes mantos de cabalgamientos. Fue un logro de Hatten, revelar las secuencias sintectónicas, en forma de un flysch olistostrómico de edad entre Paleoceno y Eoceno, testimonio del evento tectónico. Era evidente que se tenían que reconocer nuevas formaciones, en total nueve, las cuales fueron establecidas con sus localidades tipo, descripción litológica, asociación faunística y edad. Esta nueva división, permitía una mejor interpretación estructural. Así, la realidad geológica echaba por tierra la evaluación preliminar de que Pinar del Rio era “la segunda Arabia Saudita”. El choque entre el jovencito Charles Hatten con Mel Hoover y sus compañeros de mayor experiencia era absolutamente inevitable. En 1956, Herman Davies, presidente de Richmond Petroleum visita Cuba. Este le pidió a Hatten que lo llevara al campo para que le mostrara algo de la geología. Después de un par de días visitando localidades, le preguntó porque nunca había reportado sobre la complejidad estratigráfica y estructural de la zona. Él le dijo: - “Yo todos los meses le enviaba un reporte”. Hoover fue relevado de su cargo de vicepresidente.



Charles Hatten y Juan Gallardo Cordero en el valle de Isabel María, carretera de Luis Lazo Pinar del Rio.

La Cuba California finalmente se movió de Pinar del Rio a la parte central de Cuba adquiriendo la mayor parte de las concesiones que entonces detentaba la Cuban Gulf Oil Company. Para emprender el estudio se nombró a P.B. McGrath como Jefe de Exploración, en sustitución de Hoover. Él estuvo al frente de un importante grupo de geólogos, paleontólogos y geofísicos en el que estaban, además de Hatten, el Dr. Eduard C. Bowman graduado en Harvard, Arthur A. Meyerhoff, Owen E. Schooler, Norman

Giedt, E. F. Davies, G. C. Alvey y G. M. Furnival entre otros. La Cuba California emprendió un extenso programa de cartografía geológica a escala 1:50 000, se miden y muestrean varias secciones estratigráficas del Cretácico Inferior y el Jurásico Superior en Cuba Central desde Matanzas hasta Ciego de Ávila. Las instrucciones eran claras y tajantes: concentrarse en el estudio de los carbonatos, lutitas y evaporitas en las cercanías de la costa norte. Charles Hatten, sin embargo, pensaba que cualquier evaluación petrolera tenía que tomar en consideración todo el conjunto de rocas, incluyendo ígneos, metamórficos, volcánicos y sedimentarios. Así que, sin el permiso de la dirección de la Cuba California, comienza el muestreo y cartografía desde la costa sur, empleando para esto, los fines de semana y días feriados. Junto con Arthur Meyerhoff llegó a la conclusión que realmente existía una gran unidad estratigráfica genéticamente relacionada desde Cuba hasta el centro de la Florida que denominaron Supergrupo Marquesas. En dicha unidad incluyeron: 1) las rocas ígneas y metamórficas del basamento de la Florida con edad entre 143 y 530 millones de años y sus equivalentes en Cuba (“metamórficos Perea”); 2) las rocas de la Formación San Cayetano, que afloran en el occidente de Cuba, y que se extienden probablemente por el resto de Cuba y sus análogos en el subsuelo de las Bahamas y 3) las evaporitas de Punta Alegre. Todas ellas se consideraba que tenían en común su extensión entre el norte de Cuba, las Bahamas y el sur de la Florida, constituyendo la sección basal de la cuenca sedimentaria. La síntesis y análisis de cuenca realizados por Hatten y Meyerhoff continua con los detalles de la comparación regional de las unidades estratigráficas del Jurásico Superior y Cretácico Inferior. En 1956 y 1957 la compañía llevó a cabo trabajos sísmicos de reflexión. Se planificaba un primer pozo exploratorio en octubre de 1959 pero nunca se perforó.

Para el conocimiento de la geología de Cuba Occidental son imprescindibles dos de las obras de Hatten: el reconocimiento entre San Cristóbal y Bahía Honda en la Sierra del Rosario y la Geología de la Sierra de los Órganos. Este último, un voluminoso reporte de 140 páginas que nunca se publicó. Además, su obra en la región central de Cuba es todo un clásico desde el punto de vista de la cartografía geológica, estructural y estratigráfica. Sus puntos de vista, son totalmente vigentes todavía en la exploración petrolera. Durante los años sesenta y setenta del pasado siglo continuó Hatten publicando mucho de los conocimientos que había desarrollado en Cuba. Varios artículos vieron a la luz incluyendo opiniones sobre las primeras publicaciones de los soviéticos. Estas controversias dieron a la luz curiosas cooperaciones en plena guerra fría, particularmente con el científico ruso Constantino Khudoley.



Treinta años después se encuentran Charles y Juan Gallardo en la gasolinera de Viñales.

Su relación con la geología y los geólogos cubanos continuó en los años ochenta y principio de los noventa cuando visito la isla en par de ocasiones. Uno de los autores, Evelio Linares fue el guía de los trabajos de campo con Paul Renne a Pinar del Rio y Cuba Central, viaje plagado de simpáticas e inesperadas situaciones desde los primeros días. Para Hatten era tremendamente emocionante volver a visitar después de treinta años aquellos lugares, donde comenzó su larga vida de geólogo petrolero. En aquellos tiempos Hatten se hacía acompañar de un aficionado a la geología, cazador de *Ammonites* y huesos de dinosaurios: Juan Gallardo Cordero. Así que, al llegar al servicentro del poblado de Viñales, Hatten le pregunta al pistero si conocía a Juan Gallardo. Cuál no sería la sorpresa cuando le dice: - ¿Juan Gallardo? está aquí mismo reparando su tractor. La alegría de ambos, los abrazos y las reminiscencias brotaron espontáneamente después de más de treinta años.

Terminadas las excursiones en Pinar del Rio se hacen trabajos de muestreo para radiometría y paleomagnetismo en Cuba Central. Durante la visita a los mármoles flogopíticos y granitos de la zona de Socorro al sur de Sierra Morena les sorprende un torrencial aguacero. Los estornudos de los geólogos cubanos presagiaban un buen resfriado. Por el camino Hatten les dice: “No se preocupen que yo tengo medicina”. Esperaban los cubanos alguna pastilla sofisticada cuando Charlie se aparece con una botella de ron que puso fin a todas las dolencias. Desde Cabaiguán en la provincia Sancti Spiritus emprendieron carretera hacia Santa Lucía; por Cuatro Caminos se desvían hacia La Providencia y Managuas.

Hatten todavía recordaba la localidad tipo de las "Brechas Tuinicú" algo que no estaba detallado en su informe de 1958.

Charles Hatten fue uno de los primeros extranjeros destacado en 1989 con la distinción de Miembro Emérito de la Sociedad Cubana de Geología por sus indudables aportes a la geología de Cuba y el Caribe, así como por su demostrada indeleble amistad a Cuba.

**Bibliografía sobre Cuba**

Hatten Ch. "Principal features of cuban geology discussions". Bull A.A.P.G., 1967, 51 No. 5 p. 55-75.

Meyerhoff, A. A. and C. W. Hatten. 1965. Diapiric structures in Central Cuba. American Assoc. Petrol. Mem. 8, p. 315-357.

Meyerhoff, A.A. and C.W. Hatten. 1974. Bahamas salient of North America: Tectonic Framework, Stratigraphy and Petroleum Potential. The American Assoc. Petrol. Geol. Bull., v.58, no 6, p. 1201-1239.



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

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

[tenreyro2015@gmail.com](mailto:tenreyro2015@gmail.com)



**Evelio Linares Cala**, nació el 21 de diciembre de 1941, en Camagüey, Cuba. Ingeniero geólogo graduado en el Centro Universitario de Pinar del Río en 1978. Doctor en Ciencias Geológicas de la Universidad Politécnica CUJAE de la Habana en el 2004. Comenzó a trabajar en la industria del petróleo a pie de pozo desde 1962 en registros de lodos y luego como geólogo de pozo. Realizó de levantamientos geológicos en varias provincias cubanas. Jefe de proyectos de investigación sobre estratigrafía y geología regional de Cuba; autor principal y redactor de mapas especializados de contenido geológico a diferentes escalas. Ha publicado decenas de artículos geológicos en revistas cubanas e internacionales. Autor principal del Mapa Geológico de la República de Cuba a escala 1: 500 000 de 1982. Es autor de libros como el de Yacimientos y Manifestaciones de Hidrocarburos de la República de Cuba y Estratigrafía de las zonas petroleras de la República de Cuba. Es fundador de la Sociedad Cubana de Geología de la que ha sido su presidente por 11 años y miembro de su Junta Directiva por más de 30 años, incluyendo vicepresidente primero en tres ocasiones. Ha recibido decenas de reconocimientos científicos y laborales.

# PIONEROS DE LAS GEOCIENCIAS

## Arnold Bouma (1932 - 2011)

Unstable accumulations of sediments at the shelf edge and especially in submarine canyons can slide down the continental slope in essentially an underwater avalanche. This flow of unconsolidated debris is called a turbidity current or turbidite and it involves no movement of water, just material (sediments). During the Grand Banks Earthquake of 1929, such a turbidite was determined to have sped down the slope at 30 miles per hour as documented by sequential breaking of underwater telephone and telegraph cables. When these turbidites come to rest, they form a very characteristic deposit known as a Bouma sequence, named after its discoverer, sedimentologist Arnold Bouma.

Arnold Bouma was undoubtedly the world's foremost expert on turbidite deposits and the submarine fans that they commonly form. He produced two volumes, Turbidites and Submarine Fans and Related Turbidite Systems, among many other papers that summarize this work. The Bouma sequence divides turbidite deposits into AD intervals, based upon grain size and sedimentary structures, and as a reflection of proximity to channels in submarine fans. Full sequences only occur in or near channels, whereas distal areas of a fan contain only partial sequences of finer grained material. The dominant types and sequences of sediments can then subdivide the fan. Bouma documented these deposits and the processes that produce them, both in modern settings using sediment cores taken from research vessels, as well as in ancient deposits on land all over the world. Every sedimentology class at every college in the world studies the groundbreaking work of Arnold Bouma. Oil companies also took an interest in his work because these deposits can contain petroleum reserves. Bouma spent many years applying his research to petroleum exploration. He even applied his work to environmental issues like coastal protection and dredging.

Arnold Bouma was born on September 5, 1932, in Groningen, Netherlands. He attended R.H.B.S. (high school and junior college) in Groningen, Netherlands, from 1944



to 1951. He attended the State University at Groningen from 1951 to 1956 and earned a bachelor of science degree in general geology. He earned a master of science degree in geology, sedimentology, and paleontology and a doctorate in sedimentary geology from the State University at Utrecht, Netherlands, in 1959 and 1961, respectively. Bouma won a Fulbright Post-doctoral Fellowship to Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California, in 1962-1963. From 1963 to 1966, he was an instructor at the Geological Institute at Utrecht, Netherlands, and a member of the faculty of oceanography at Texas A & M University from 1966 to 1975. From 1975 to 1981, he was a research marine geologist with the U.S. Geological Survey, first in the Pacific-Arctic branch and later in the Atlantic-Gulf of Mexico branch. He held positions of senior scientist, manager, chief scientist, and acting vice president for Gulf Research and Development Company in Har-marville, Pennsylvania, and Houston, Texas, between 1981 and 1985. In 1985, Gulf Oil Company was bought by Chevron USA, Inc. and Bouma became a senior research associate at Chevron Oil Field Research Company (research and development branch) in Houston, Texas, and La Habra,

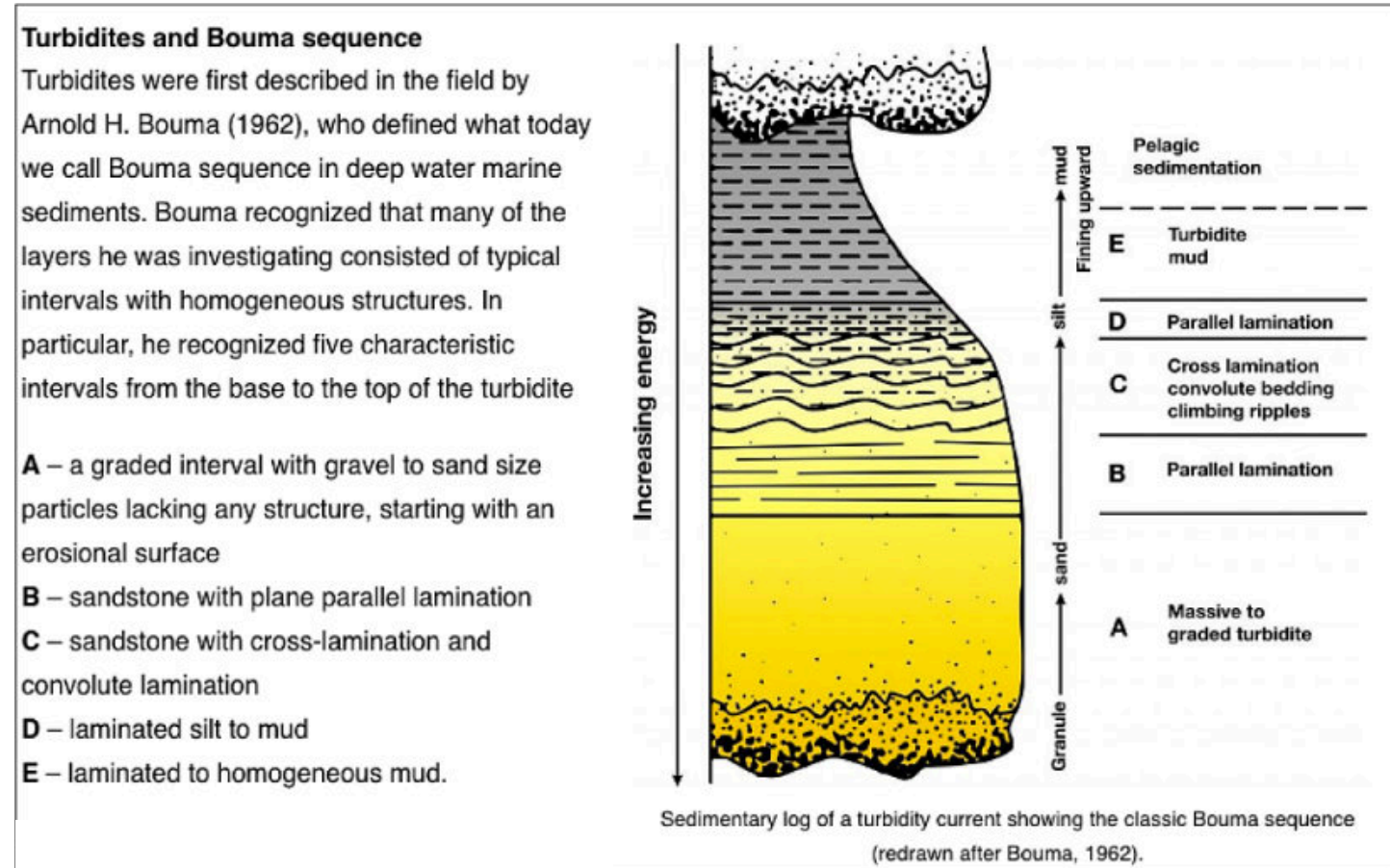
California. He left Chevron in 1988 to become the Charles T. McCord chaired professor of petroleum-related geology at Louisiana State University in Baton Rouge. He also served as director of the Basin Research Institute and head of the School of Geosciences at Louisiana State University in 1989-1990 and 1990-1992, respectively. Arnold Bouma married Mechilina Kampers in 1961; they had three children.

Arnold Bouma had a phenomenally productive career. He has written or edited 11 books and volumes and authored or coauthored 119 articles in professional journals and volumes. Many honors and awards were bestowed upon him throughout his career, including being a distinguished lecturer for the American Association of Petroleum Geologists in 1982, Francis P. Shepard Award from the Society of Economic Paleontologists and Mineralogists in 1982, Best Paper Award at the American Association of Petroleum Geologists Annual Meeting in 1984, Outstanding Education Award from the Gulf Coast Association of Geological Societies in 1992, and keynote speaker at the International Geological Congress in Rio de Janeiro, Brazil, 2000, and at the GEO-SCIENCE 98 Conference at University of Keele, United Kingdom, in 1998, among many others.

His service to the profession was perhaps even more impressive than his papers and awards. Arnold Bouma was editor in chief for Geo-Marine Letters from 1980 to 2000, editor in chief of Marine Geology from 1963 to 1966, and series book editor for Frontiers in Sedimentary Geology, among several other editorial positions and president of the Society for Sedimentary Geology (SEPM) from 2000 to 2001. He organized Leg 96 (a deep-ocean expedition) of the Deep Sea Drilling Project in 1980-1985. He organized the first COMFAM (Committee on Submarine Fans Meeting). He served as a member and chair of international professional and government panels and committees too numerous to list here. He organized and convened multiple international conferences, short courses and field trips both topical (on turbidites) and general. He even helped to produce a BBC-AAPG film, Deep Water Sands, in 1985-1986.

**Arnold Bouma books:** [https://www.amazon.com/Earth-Sciences-Arnold-H-Bouma/s?rh=n%3A13592%2Cp\\_27%3AArnold+H+Bouma](https://www.amazon.com/Earth-Sciences-Arnold-H-Bouma/s?rh=n%3A13592%2Cp_27%3AArnold+H+Bouma)

**Researchgate:** <https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Arnold-H-Bouma-2007912939>



# PUBLICACIONES

## TESIS & RESÚMENES

**Claudia R. Peredo Mancilla**

**Caracterización de la estructura, espesor de la corteza e isoterma de Curie: implicaciones geodinámicas, en la región entre las provincias de la Mesa Central y Sierra Madre Oriental, México.**

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

Tesis para obtener el grado de Doctora en Geociencias Aplicada, Octubre 2022.

Sustentante: **Peredo Mancilla, Claudia Rigel**

Director de tesis: *Dr. Vsevolod Yutsis.*

### Resumen.

En el centro de México se localizan dos importantes provincias fisiográficas; la Mesa Central, una meseta elevada caracterizada por relieve suave; y parte de la Sierra Madre Oriental, un cinturón de pliegues y cabalgaduras del Cenozoico Tardío-Mesozoico Temprano configurado durante la Orogenia Laramide. La región que comprende ambas provincias, tiene un interés geológico particular principalmente asociado a la presencia de elevaciones contrastantes entre ambas; con una elevación promedio de 2088 m.s.n.m., la Mesa Central se localiza a más de 600 metros por encima de las elevaciones promedio en la porción adyacente de la Sierra Madre Oriental. Estas diferencias en elevación han sido explicadas a través de diferentes hipótesis contrastantes, las cuales a su vez son soportadas por mecanismos isostáticos distintos. En este contexto, el modelo más reconocido propone que la región de la Mesa Central constituye un bloque de corteza adelgazada debido a la presencia de un proceso de fusión parcial, que dio como resultado el ascenso de manto astenosférico de menor densidad hasta la base de la corteza. En dicho modelo, la diferencia de elevaciones involucra el modelo de Pratt, donde la presencia de corteza adelgazada y manto de menor densidad ( $3.1 \text{ g/cm}^3$ ) bajo la Mesa Central la convierte en un terreno elevado. En contraste, bajo la Sierra Madre Oriental se describe corteza comparativamente más gruesa y manto litosférico ( $3.3 \text{ g/cm}^3$ ). Adicionalmente, este modelo describe la presencia de un alto gradiente en la topografía del Moho en el límite entre ambas provincias, mismo que es representado en la superficie por el Sistema de Fallas Taxco-San Miguel de Allende. De manera opuesta, existen otras reconstrucciones que presentan una corteza más gruesa bajo la Mesa Central respecto a corteza comparativamente más delgada bajo la Sierra Madre Oriental; lo que implica que las diferencias en elevación se asocian al modelo isostático de Airy. Por otro lado, modelos provenientes de la recopilación de datos sísmicos, proponen la presencia de una corteza homogénea bajo ambas provincias, lo que describe un Moho con topografía suave. A través del análisis de las anomalías de los campos magnético y gravimétrico, fue posible obtener una aproximación de la estructura de la corteza en la frontera entre ambas provincias. Primeramente, se caracterizaron los rasgos estructurales principales de la corteza utilizando diferentes técnicas geofísicas, e. g. gradiente horizontal, determinación de valores máximos y deconvolución de Euler. Posteriormente, utilizando técnicas de modelación conjunta, se reprodujeron y probaron 3 diferentes modelos que representan las distintas hipótesis. Así mismo, nuevas estimaciones de profundidad al Moho y profundidad a la isoterma de Curie (CPD), fueron determinadas a través de técnicas de análisis espectral y se analizaron las anomalías isostáticas de Airy. Los resultados describen la presencia de una región extensa de corteza comparativamente más gruesa (40 a 52 km) y fría ( $-35$  a  $-45 \text{ mWm}^{-2}$ ), que subyace el este de la de la Mesa Central, comparada con corteza más delgada (34 a  $<40$  km) y caliente ( $-50$  a  $-85 \text{ mWm}^{-2}$ ), bajo la Sierra Madre Oriental. Así mismo,



las anomalías isostáticas de Airy muestran un dominio de anomalías negativas localizadas en la región de la meseta, en comparación con valores positivos en la Sierra Madre Oriental. Aunque los resultados de la modelación directa permiten descartar el modelo sísmico, estos arrojan valores de error muy similares los dos modelos restantes. No obstante, los cálculos antes descritos son consistentes con un modelo de corteza más gruesa bajo la meseta, donde la presencia de anomalías isostáticas negativas refleja un estado de sobrecompensación asociado a un exceso de masa por una raíz cortical engrosada bajo la meseta. Así mismo, la presencia de bajo gradiente geotérmico bajo la Mesa Central es incongruente con un modelo que describe la localización de manto astenosférico a la base de la corteza bajo la meseta. Por último, el análisis de las discontinuidades geofísicas revela la presencia de sistemas estructurales con posibles implicaciones para la estructura interna de la corteza y en algunos casos en la topografía del Moho. Los resultados muestran que, aunque el Sistema de Fallas Taxco-San Miguel de Allende tiene una respuesta profunda con afectación al Moho, el análisis de las diferentes superficies geofísicas describe la presencia de orientaciones noreste como los rasgos estructurales principales en la corteza. Adicionalmente, se localizaron al menos 2 sistemas estructurales con orientaciones noroeste, paralelos al Sistema de Fallas San Luis Tepehuanes. Las respuestas asociadas a estos 3 sistemas sugieren que representan discontinuidades que atraviesan toda la corteza.

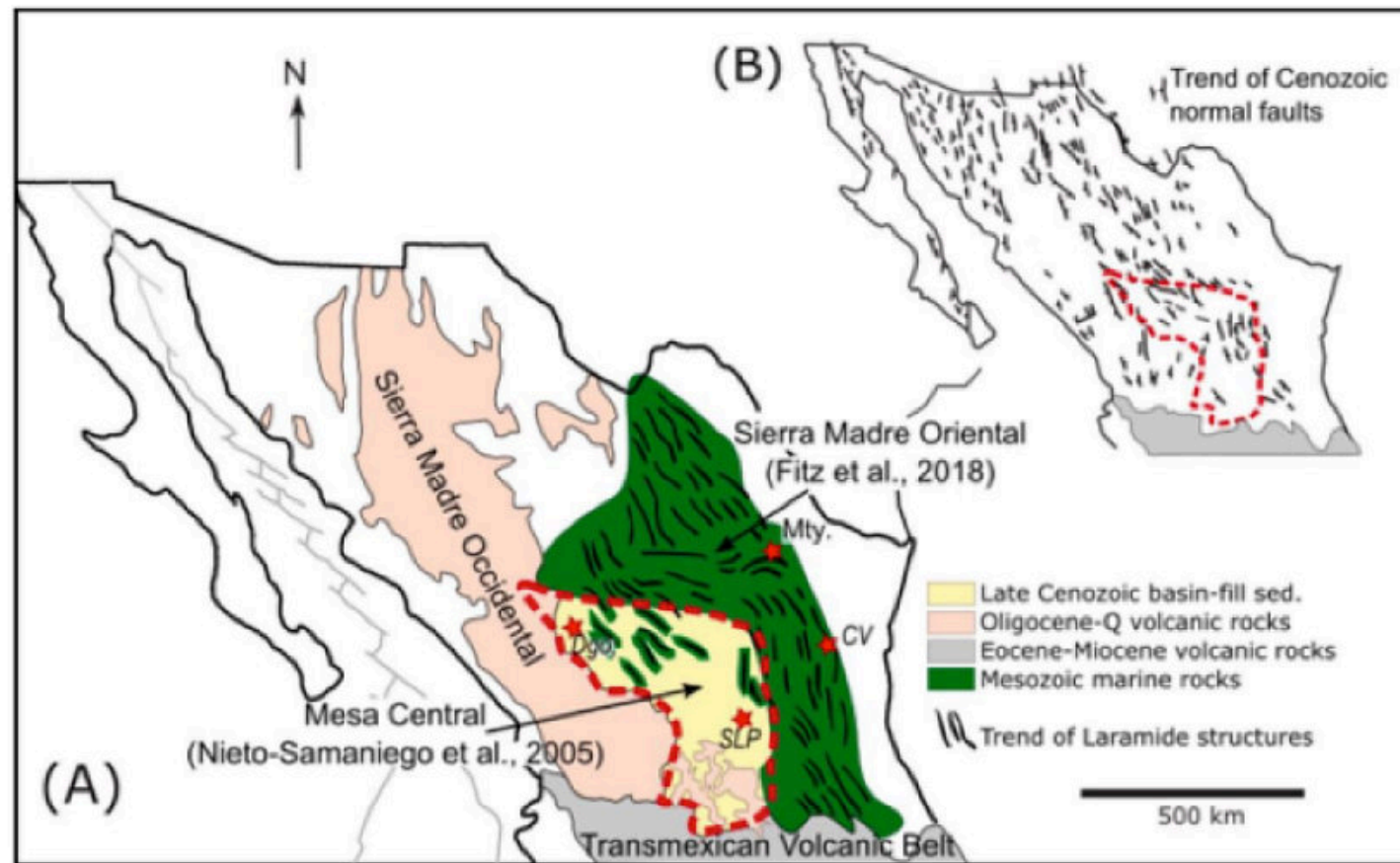


Figura 1.1. Mapa geológico generalizado de México. a) La meseta elevada se encuentra rodeada de tres cordilleras montañosas: Sierra Madre Oriental; Sierra Madre Occidental y Cinturón Volcánico Transmexicano. Nótese que dentro de la Mesa Central se localizan algunas sierras aisladas con núcleos formados por rocas metamórficas del Mesozoico. Las áreas localizadas entre las sierras aisladas se encuentran cubiertas por sedimentos del Cenozoico Tardío (De Cserna, 1989; Nieto-Samaniego et al., 2005; Fitz-Díaz et al., 2005). b) Distribución de fallas normales en la región sur de la Provincia de Cuencas y Sierras (Henry y Aranda-Gómez, 1992). Nomenclatura utilizada: San Luis Potosí (SLP), Durango (Dgo.), Ciudad Victoria (CV), Monterrey (Mty.).

## Caracterización Petroológica Del Complejo Metamórfico Novillo del Precámbrico del Bloque Ciudad Victoria, México

Universidad Autónoma De Nuevo León, México.

Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de

Doctor En Ciencias Con Orientación en Geociencias, Agosto 2022.

Sustentante: **Eduardo Alejandro Alemán Gallardo**

Directores de tesis: *Dr. Juan Alonso Ramírez Fernández.*

### Resumen

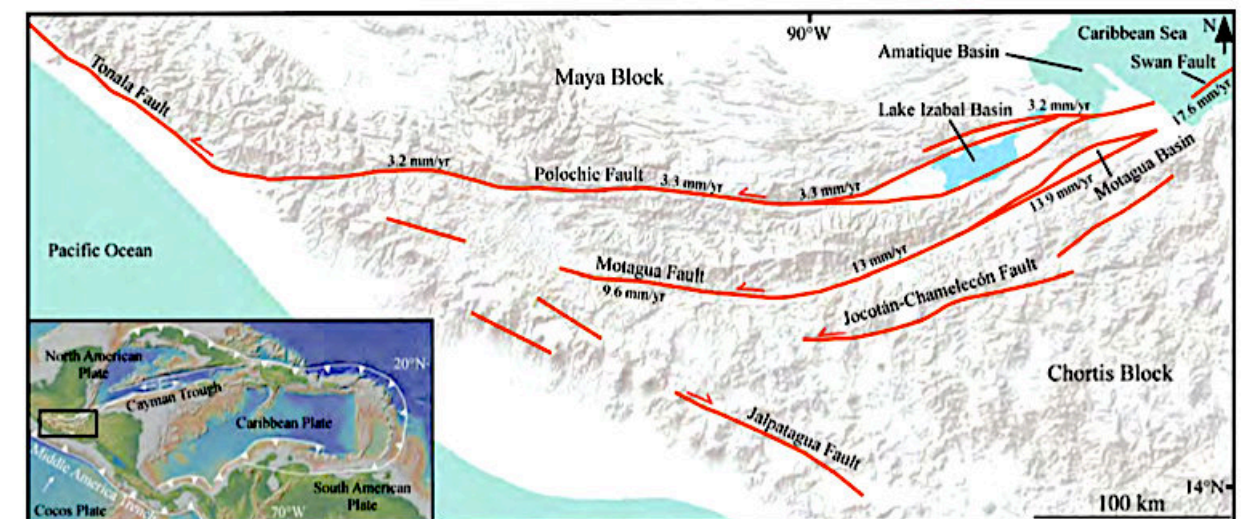
El Complejo Novillo, conocido anteriormente como Gneis Novillo, representa una parte del basamento en el NE de México expuesto el núcleo erosionado del Anticlinorio Huizachal-Peregrina (Cd. Victoria, México) y que es el objeto de estudio de la presente tesis. Se ha optado bautizarlo así para incluir todas las rocas metamorfizadas a principios del Neoproterozoico. Con base en relaciones de campo, composición modal, geoquímica de roca total, relaciones isotópicas de Nd y geocronología U-Pb, ha sido posible subdividir al Complejo Novillo en tres unidades principales: (a) Unidad Los Álamos, (b) Unidad San Marcos y (c) Unidad Risco Prieto, además de diferentes intrusiones post-orogénicas. La unidad Los Álamos se conforma por gneises félsicos, gneises máficos y metagranitos y representa a las rocas generadas durante el magmatismo de arco del Complejo Novillo. La unidad San Marcos está compuesta por meta-anortositas y gneises bandeados sensu stricto y metanelsonitas, englobando todas las rocas del magmatismo AMCG del Complejo Novillo. La unidad Risco Prieto comprende a todas las rocas metasedimentarias del complejo y está constituida por paragneises, anfibolitas y mármoles con silicatos de magnesio. El análisis geocronológico U-Pb en circón ha permitido establecer la edad del magmatismo de arco del Complejo Novillo 1.33 (aquí denominado como etapa de arco intermedio de Oaxaquia). El Complejo Novillo contienen migmatización a 1.09 Ga, tiempo en el que se interpreta que el arco insular de Oaxaquia se acrecionó a Amazonia generando la Orogenia Olmeca en el Complejo Novillo. El magmatismo AMCG responsable de las rocas de la unidad San Marcos se dio hace ~1030 Ma. La información geocronológica sugiere que la Orogenia Zapoteca se desarrolló en el Complejo Novillo hace 971 Ma. El Complejo Novillo al igual que el resto de Oaxaquia, experimentó un periodo de colapso orogénico posterior a la Orogenia Zapoteca, evento el cual se desarrolló a 930 Ma. Los circones con edades más jóvenes del Complejo Novillo pertenecen a zonas migmatizadas de la unidad Los Álamos y poseen edades de entre 607 y 596 Ma. Estas últimas edades son ligeramente más jóvenes que las reportadas de los diques máficos que cortan al complejo, por lo que se interpreta el evento magmático responsable de su generación incrementó la temperatura del complejo lo suficiente para causar la migmatización local en algunos sectores del Complejo Novillo. La unidad Los Álamos presenta valores  $\epsilon_{Nd}(t)$  de 2.76 – 2.36 con edades modelo TDM de 1.6 y 1.45 Ga que corresponden a un evento magmático derivado del manto empobrecido sin contaminación cortical importante, mientras que las edades TDM de la unidad San Marcos son de 1.44 – 1.33 Ga con valores  $\epsilon_{Nd}(t) = -1.24 – 1.44$ , lo que indica la posibilidad de que estas rocas se encontraron expuestas a diferentes grados de contaminación cortical durante su evolución magmática. Las rocas metasedimentarias de la unidad Risco Prieto contienen evidencia de todos los eventos tectonotermales hasta ahora mencionados y al no encontrar evidencia de circones detríticos más antiguos que aquellos presentes en las unidades metaígneas. Se interpreta que los sedimentos que dieron lugar a los eductos de la unidad Risco Prieto se depositaron en una cuenca local con aporte únicamente de las rocas que hoy conforman al Complejo Novillo, lo cual es consistente con las edades TDM de 1.39 – 1.25 Ga de esta unidad.

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

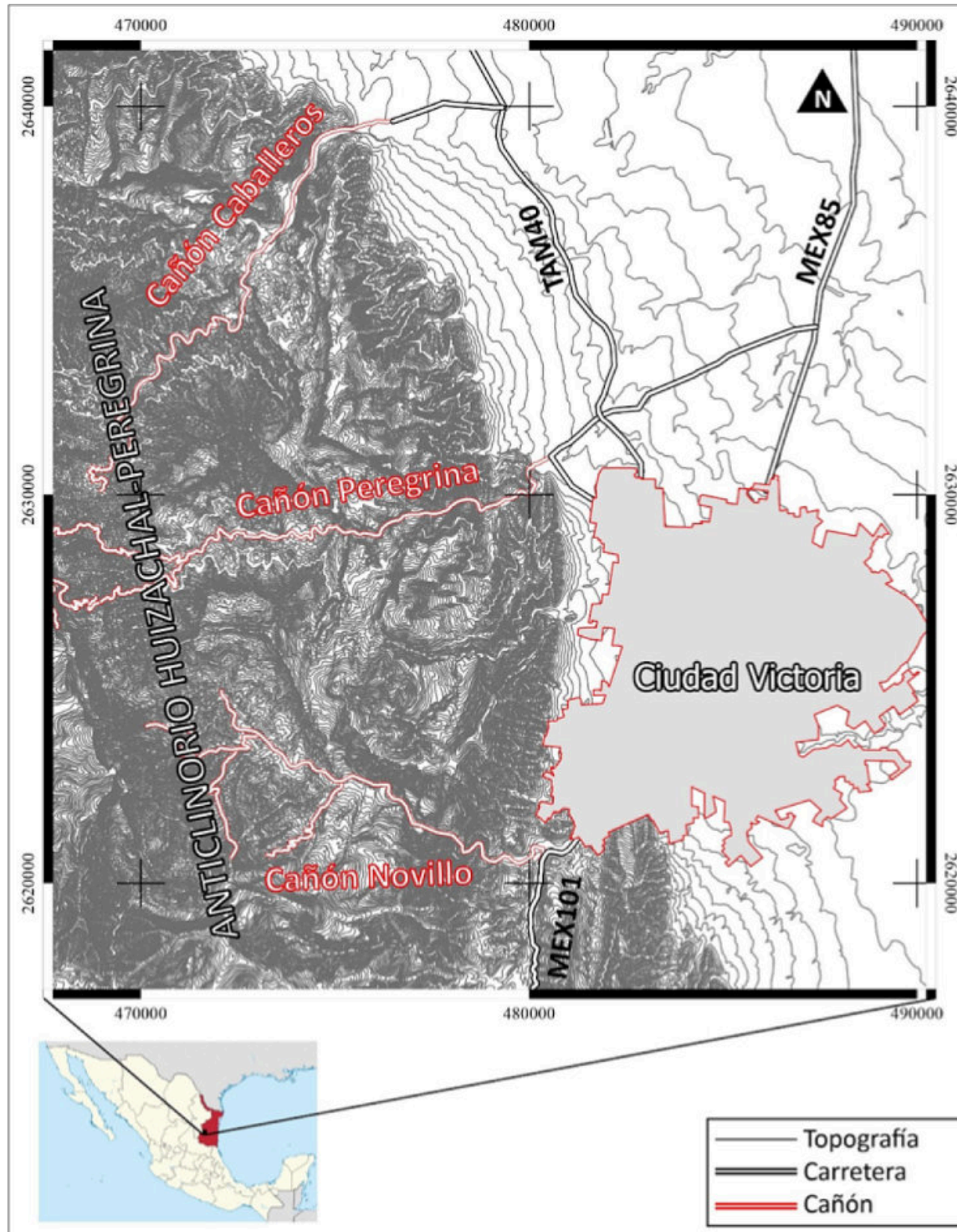
Jonathan Obrist-Farner<sup>1</sup>, Andreas Eckert<sup>1</sup>, Marek Locmelis<sup>1</sup>, James L. Crowley<sup>2</sup>, Byron Mota-Vidaure<sup>3</sup>, Emanuele Lodolo<sup>4</sup>, Joshua Rosenfeld<sup>5</sup>, Edward Duarte<sup>1</sup>

### Abstract

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



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



**Figura 1.1.** Mapa de localización del área de estudio en donde se muestra la distribución geográfica del AHP, así como de los cañones que lo cortan. Curvas de nivel obtenidas a partir de las cartas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), cartas F14A19 y F14A29.

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

**Simulación petrosísmica de las formaciones Houston Base y Kobe del campo Cloudspin-3D en profundidad**

Instituto Politécnico Nacional, México.

Trabajo final para obtener el título de Ingeniero Geofísico, Diciembre 2020.

Sustentantes: **Montes Suárez Mónica Itzel; Vázquez Picazo José Manuel; Juárez Acosta José Guillermo; Toralva Sotelo César Armando; Landa Elizalde Maria Fernanda**

**Resumen.**

La información acerca de las propiedades de un yacimiento petrolero proviene de diversas fuentes, tales como datos sísmicos de reflexión, registros geofísicos de pozo, geología regional del sitio y datos de estudios petroleros. En adquisición sísmica, la técnica de sísmica de reflexión proporciona una imagen de baja resolución de la velocidad de la onda y la densidad de la roca; mientras que los registros geofísicos de pozo proporcionan un muestreo directo de alta resolución vertical. Un objetivo importante para la caracterización de los yacimientos petroleros es utilizar esta información en conjunto, permitiendo que la interpretación de las formaciones a través de la sísmica y el escalamiento de las respuestas de los registros geofísicos de pozo dentro de la sísmica logren simular la zona de yacimiento de interés. Para este proyecto se utilizaron dos metodologías, ambas para simular las principales propiedades petrofísicas; una correlacionando los registros geofísicos de pozo, sísmica-3D y geoestadística, llamada simulación petrosísmica; otra utilizando las respuestas de los registros geofísicos de pozo y técnicas geoestadísticas, llamada simulación petrofísica. Los datos que conforman el objetivo de estudio son del Campo Cloudspin-3D en profundidad ubicado en el Golfo de México, zona abundante en yacimientos petroleros, los cuales tras analizarse a través de softwares proporcionaron información que permiten obtener una mejor comprensión acerca de las propiedades petrofísicas de las rocas y a su vez correlacionarlas con el fin de obtener resultados adecuados con la geología regional.

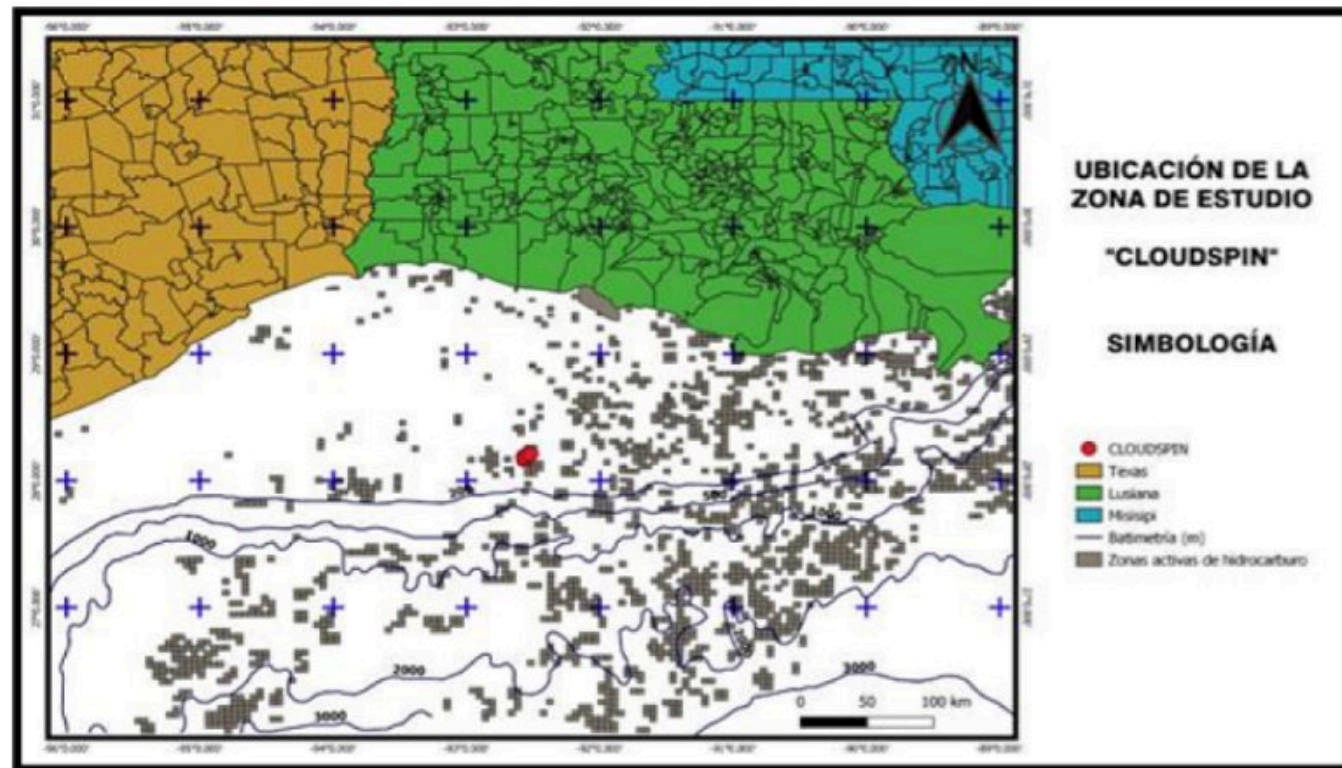


Figura 1.1. Ubicación de la zona de estudio. Realizada con ArcGIS.

**Sistema de suspensión MUDLINE en el abandono de pozos exploratorios.**

Instituto Politécnico Nacional, México.

Tesis a fin de obtener el título de Ingeniero Petrolero, Ingeniero Geofísico, Febrero 2020.

Sustentantes: **Gregorio Dorantes Iris Gabriela; Luna Cabrera Marty; Moreno Vázquez Irving Hugo; Pintado Romero Yair Naum; Segura Silva Marco Antonio.**

Directores de tesis: *Ing. Manuel Torres Hernández; Ing. Alberto Enrique Morfín Faure.*

**Resumen**

En el primer capítulo, se presentan temas introductorios e históricos para la comprensión del desarrollo de este trabajo, conocer los tipos de plataformas es fundamental para tener en cuenta qué procesos operativos se pueden realizar en cada una de estas, se explican también conceptos como abandono de pozos y abandono temporal, así como características de los tubulares que se utilizan en dichas operaciones. En el capítulo dos, se engloban temas más específicos acerca de la perforación en México, tomando en cuenta la zona de interés, principalmente la Sonda de Campeche dado que en ésta existen las mayores reservas de Hidrocarburos en el país. En el capítulo tres, se desarrolla el tema central, haciendo énfasis en metodología y procesos de instalación, así como los componentes del Sistema de Suspensión Mudline, finalmente se analizan procedimientos de abandono y recuperación de la misma herramienta. Para concluir, en el capítulo cuatro, se presenta el uso del Sistema de Suspensión Mudline, mediante un caso práctico aplicado a un campo mexicano.

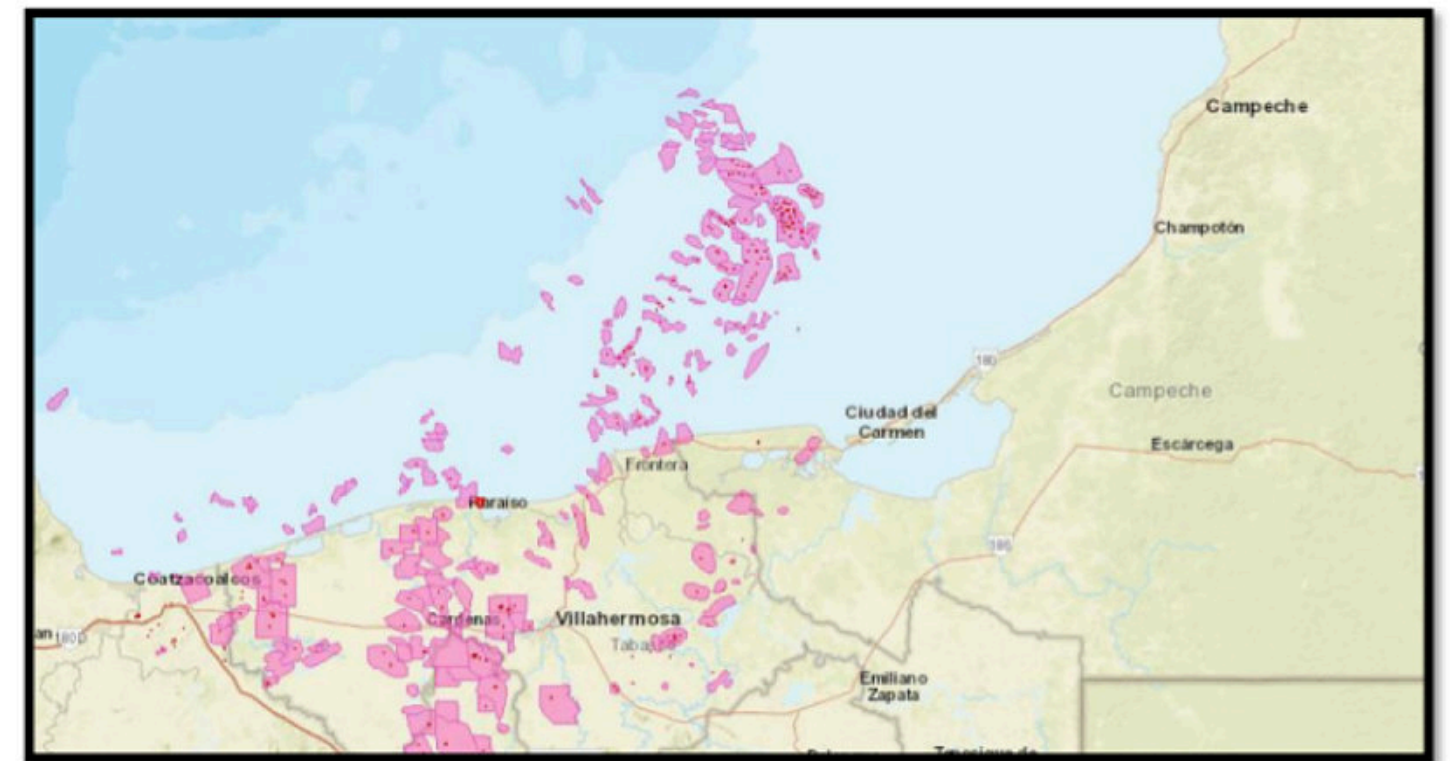


Figura 1.1. Mapa de las zonas de interés en las cuencas del sureste. CNH

**Caracterización geoquímica de las aguas termales y de sus concentraciones de arsénico en el sistema volcánico-hidrotermal del Puracé (Colombia).**

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: **Edgar Omar Almeida Miranda**

Directores de tesis: *Dr. Claudio Inguaggiato.*

**Resumen**

Altas concentraciones de arsénico (As) han sido reportadas en sistemas volcánicos-hidrotermales de todo el mundo. Se analizaron las concentraciones de As y su comportamiento geoquímico en ocho fuentes termales asociadas al sistema volcánico-hidrotermal del volcán Puracé en Colombia. Fueron identificados tres Grupos de aguas considerando sus características físico-químicas y su composición química. El Grupo 1 está integrado por dos fuentes termales, son aguas cloruradas-sulfatadas-bicarbonatadas neutrales, se caracterizan por ser las únicas con HCO<sub>3</sub>, pH ligeramente ácido (6.62 y 6.83), los STD más altos (5.8 y 9 g/L) y concentraciones de As de 3.4 y 126.2 µg/L. El Grupo 2 se compone por aguas sulfatadas-hiperácidas con pH entre 1.7 y 2.3, presenta concentraciones consistentes con la disolución casi-isoquímica de 2.5 a 7.5 g/L de la roca andesítica local, se caracteriza por las temperaturas más bajas (23.8 – 44.7 °C), las concentraciones de Al, Fe y Mg más altas y con el promedio de concentración de As más bajo (20.7 µg/L). El Grupo 3 está integrado por aguas cloruradas-sulfatadas ácidas (pH 2.3–3.6), se caracteriza por las temperaturas más altas (80.4 – 81.6 °C) y las concentraciones de As más altas también (380.8 – 987.5 µg/L). Cinco de las ocho muestras de las aguas termales del Puracé presentaron concentraciones de As mayores a las recomendadas por la OMS (10 µg/L). Las concentraciones de As están controladas por la dilución por mezcla con aguas meteóricas y por la disolución/precipitación de rocas y minerales ricos en As. La precipitación y disolución de minerales ricos en As pudo haber ocurrido también en condiciones diferentes a las medidas en superficie, particularmente de mayor temperatura y H<sub>2</sub>S. Se estimaron las temperaturas del reservorio con los geotermómetros de K-Mg (118 y 136 °C) y Na-K (161 y 226°C) para las fuentes termales del Grupo 1. Las concentraciones de As son mayores en la zona oeste del volcán, cercanos a la comunidad de Coconucos. Se recomienda monitorear las concentraciones de As también en los ríos.

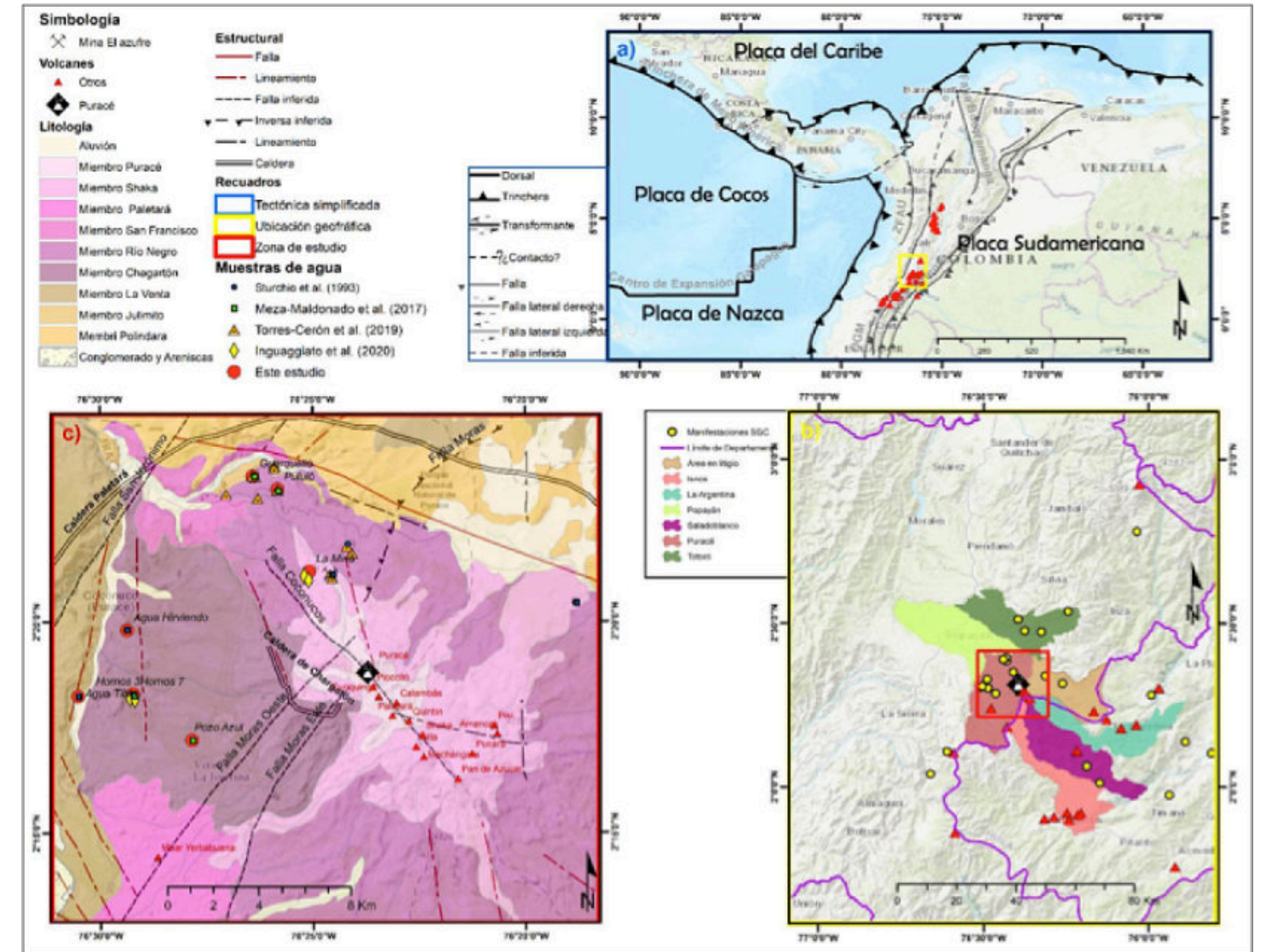
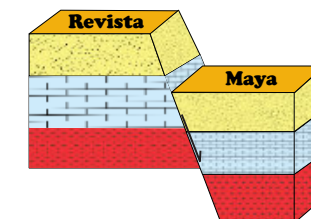


Figura 1.1. Características generales y ubicación de la zona de estudio. En el recuadro azul (a) se observa la tectónica simplificada de la zona, modificada de Trenkamp et al. (2002). El recuadro amarillo (b), muestra la ubicación geográfica de la zona de estudio con respecto a los municipios que comprende (IGAC, 2022a), además muestra las manifestaciones hidrotermales del inventario INVTERMALES del SGC (Alfaro y Cuevas, 2012). En rojo (c) se observa la zona de estudio, con la ubicación de las muestras (actuales y de estudios previos), la geología simplificada modificada de Ruiz y Marquínez (2002) y Marquínez et al. (2003) y la geología estructural de Marquínez et al. (2003) (en negro) y de Gómez-Díaz y Marín-Cerón (2018) (en rojo).



## Geomorphology of the Mirador-Calakmul Karst Basin: A GIS-based approach to hydrogeologic zapping

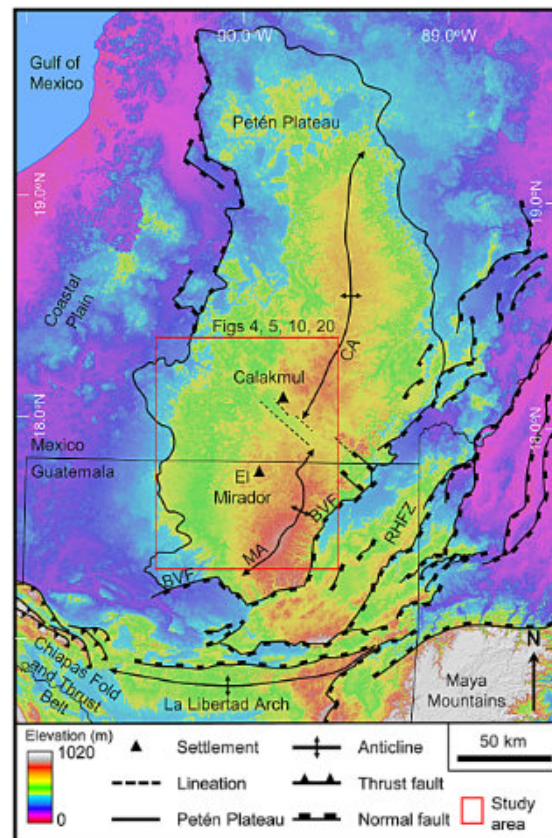
Ross Ensley, Richard D. Hansen, Carlos Morales-Aguilar, Josie Thompson

Published: August 2, 2021

### Abstract

This paper classifies the karst landscapes of the Petén Plateau and defines the Mirador-Calakmul Karst Basin by illustrating the distribution of its karst hydrologic features. Archaeological and spatial research of the Mirador-Calakmul area of Guatemala and Mexico has shown it to be a karst basin with geopolitical implications. Current research characterizes the karst landscapes of the Petén Plateau, maps the distribution of karst hydrologic features, and delineates the basin in geomorphological terms. To further this aim, multiple forms of remote sensing data including orthophotographs, a satellite Digital Elevation Model, satellite multispectral images, and Light Detection and Ranging (LiDAR) data have been integrated to interpret the karst features in the study area. Outcrop study and thin section analysis of the upper Buena Vista Formation document that the dominant lithologies are a shallow water algal boundstone interbedded with terrestrial caliche. Karst landforms have been mapped over the Petén Plateau and we identify five karst landscapes, the largest of which is a fluviokarst landscape dominated by karst valleys. We further map karst hydrologic features including seasonal swamps, dolines, intermittent lakes, intermittent streams, solution-enhanced fractures, and springs all of which are characteristic of drainage basins. Boundaries of the karst basin are mapped from multiple lines of evidence including distribution of the karst valleys, a line of springs along the western boundary of the fluviokarst landscape, and a surface drainage analysis. We capture and classify hydrologic data points and develop a regional groundwater map that indicates subsurface flow from east to west within the basin. A drainage map illustrates the extensive system of karst valleys, boundaries, and inferred groundwater flow paths of the Mirador-Calakmul Karst Basin. It was within this geomorphological setting that the ancient Maya developed an extensive civilization during the Middle and Late Preclassic periods

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0255496>



**Fig 1. Physiographic map of the southern Yucatán Peninsula.** The Yucatán Platform, bounded to the south along a line from the Chiapas Fold and Thrust Belt to the northern limits of the Maya Mountains, was a shallow marine depositional setting during the Paleocene-Eocene. Isostatic rebound during the middle Eocene uplifted the Petén Plateau (PP) and created the Mirador and Calakmul anticlines (MA and CA). Northwest striking lineations, in line with two short normal faults to the east, highlight a potential subsurface graben south of Calakmul. Pliocene extension down dropped the east side of the YP forming the Río Hondo Fault Zone (RHFZ) a structural province consisting of half grabens created by northeast trending normal faults. Key among these is the Buenavista Fault (BVF) that delimits the southeast margin of the plateau. ALOS World 3D (AW3D30) elevation data have been provided by the Japan Aerospace Exploration Agency. (<https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/>) and printed under a CC BY 4.0 license.

## El libro recomendado

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/RepoFi/18114>

Descarga gratuita!!



## El libro recomendado

<https://a.co/d/hUmko7o>



# TEMAS DE INTERÉS

## El desarrollo tecnológico digital y su incidencia en la cartografía de Ciencias de la Tierra

\*Luis Eduardo Arista-Cázares<sup>1</sup>, César Michel Hernández-García<sup>2</sup>, Hugo Mujica-Sánchez<sup>2</sup>, Jerjes Rigoberto Pantoja-Irrys<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias de la Tierra, Carretera a Cerro Prieto Km 8, Ex. Hacienda de Guadalupe, C.P. 67700, Linares N.L., México.

<sup>2</sup>Corporación Ambiental de México S.A. de C.V. Texcoco 100, Colonia Satélite Acueducto, C.P. 64960, Monterrey, N.L., México.

\*[luiseduardoarista202@gmail.com](mailto:luiseduardoarista202@gmail.com)

En el año de 2021, a través de una afortunada sinergia entre la academia (Facultad de Ciencias de la Tierra de la Universidad Autónoma de Nuevo León) y la iniciativa privada (Corporación Ambiental de México), se creó una nueva plataforma digital que unía tecnología de campo, analítica, computacional, petrográfica y digital disponible para empresas consultoras, con procedimientos, conocimiento científico y entusiasmo que evoluciona únicamente en las aulas universitarias. El resultado fue la solución digital multitemática “El Bañito” cuyo enlace de acceso es:

<https://www.cam-geomatica.com/2318-2/> (**nombre:** manantiales; **usuario:** lasilla)

El grato y retador trabajo de campo evidenció un ecosistema privilegiado en un entorno geológico complejo con recursos hídricos singulares, que nos hicieron pensar que lo ahí existente debía entenderse y este conocimiento publicarse para promover su preservación. Fue así que el grupo de trabajo conformado (Academia-IP) decidió “lanzarse a la aventura” y publicar las maravillas que habían observado. La investigación desarrollada en esos dos largos años “pandémicos” fue publicada en noviembre del 2022, en la revista Journal of South American Earth Science y lleva el título: “Environmental geology and isotopic evaluation of springs within the central part of the Sierra Cerro de La Silla, northeastern México”

<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.104017>



**Foto A.** Muestreo de agua en el manantial termal El Bañito. Brigada conformada por el pasante de ingeniero geólogo Luis Arista y el Dr. Gabriel Chávez de la FCT, UANL.



**Foto B.** Medición de rumbos y echados en un afloramiento de la Formación Méndez. Pasante de ingeniero geólogo Luis Arista.



**Luis Eduardo Arista-Cázares.** . Estudió la carrera de Ingeniero Geólogo en la Facultad de Ciencias de la Tierra en la Universidad Autónoma de Nuevo León, generación 2016-2021. Actualmente realiza actividades en el departamento de geomática de Corporación Ambiental de México. Su pasatiempo es la colección de acetatos de música clásica.



**César Michel Hernández-García.** Estudió la carrera de Ingeniero Geólogo en la ESIA del Instituto Politécnico Nacional, generación 2015-2020. Actualmente es signatario acreditado de muestreo de suelo, residuos y agua subterránea en Corporación Ambiental de México. Su pasatiempo es la participación en proyectos sociales de ayuda en temas hídricos.



**Hugo Mujica-Sánchez.** Estudió la carrera de Ingeniero Geólogo en la Universidad Nacional Autónoma de México, generación 1988-1992. Durante su vida profesional ha ocupado cargos directivos en empresas de servicios a la minería y de consultoría medioambiental en Norteamérica, Centroamérica y Sudamérica. Actualmente es el director de operaciones en Corporación Ambiental de México. Su pasatiempo son los deportes extremos.



**Jerjes Rigoberto Pantoja-Irys.** Estudió la carrera de Ingeniero Geólogo en la Universidad Nacional Autónoma de México, generación 1988-1992. Durante 3 décadas ha proporcionado servicios de consultoría medioambiental en el continente americano (desde Alaska hasta Chile). Actualmente es el director general de Corporación Ambiental de México. Su pasatiempo es la fotografía de naturaleza.

**MARIANTO CASTRO MORA Y SU REPRESENTACIÓN POR VENEZUELA EN LA NORTH AMERICAN COMMISSION ON STRATIGRAPHIC NOMENCLATURE (NACSN)**

José Antonio Rodríguez Arteaga

**Larga anécdota a manera de prólogo**

La comunidad geológica de Venezuela se encuentra orgullosa de una de sus colegas, a la que no sin particular dificultad logramos entrevistar y tras insistir nos envió lo que a continuación ofrecemos a manera de semblanza, una anécdota de su especial atracción por la Geología. He aquí la anécdota:

Luego de entablar algunas ingentes tareas en la búsqueda de una plaza universitaria que satisficiera sus requisitos personales y buscando un claustro universitario que la aceptase, Marianto Castro Mora nuestra colega y amiga, hallaría una carrera que se convertiría en el transcurso de los años en su área de experticia además de su *modus vivendi*, el estudio e investigación bioestratigrafía tema que pocos geólogos de la industria petrolera nacional practican. Su persona le dedicó mucho esfuerzo y entusiasmo desde sus inicios. El sector universitario venezolano pasaba por un proceso de reestructuración (circa 1980) y en las universidades se agolpaban numerosas promociones de egresados de la enseñanza media que veían atrasados sus estudios universitarios.

Entre tanto lío académico y de varias carreras como posibles opciones y a las que quiso acceder sin lograrlo, sus padres le propusieron a la nueva bachiller una alternativa (...) *“para no perder tiempo y conservar los conocimientos frescos”* (...), mientras aguardaba cupo en la Universidad Central de Venezuela. Así entró en un curso propedéutico en Ingeniería Civil que dictaba la Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, para estudiarla. Luego de 2 meses, aprueba el curso y la garantía de acceso automático a la Facultad de Ingeniería, que si bien era una oportunidad, *no le terminaba de gustar* (Marianto Castro *dixit*), pero sus padres la convencieron, *...era un mientras tanto* (...).

Un día, Toña -como le decían a María Antonieta Lorente, geóloga y con una amplia experiencia en los salones de la EGM y UCV llegó a clases muy contenta: - ¡! me cambio a Geología en la Universidad Central de Venezuela!!, espetó, y con la expresión vinieron preguntas y respuestas explicando pues *...llevaba tiempo investigando -sin internet, celulares y redes sociales- y encontró la geología,*



como carrera, M<sup>a</sup> A. Lorente *dixit*) poniendo manos a la obra. *Ella [María Antonieta] nos abrió camino a todas, nos empoderó - como se dice hoy en día -.*

*Por mi parte me fui a la Universidad Central a buscar información en Oceanografía y Meteorología que me brindaron el pensum sin mayor explicación. De buscar e indagar y cercano a las 12:00 m y (...) subí las escaleras a la Escuela de Geología cuya reja la estaba cerrando un elegante señor que muy amablemente me preguntó que deseaba. Le expliqué que estudiaba Ingeniería Civil en la UCAB por “obligación” y estaba buscando transferencia a la Universidad Central; le enseñé el material de mi visita previa y me dijo: - pase mijaj!. ..Me mostró todas las vitrinas de minerales y luego las de fósiles; yo alucinaba. Me dijo:- mijaj quiere enamorarse de la geología como yo y le dije: ...Sí ¡!. Fuimos a su oficina, tomo una hoja de papel, me anotó lo que necesitaba para la transferencia y que se lo entregara a él. Luego me enteré que era el profesor Mas Vall. ¡! Yo la voy a ayudar, mijaj!. No sabía cómo darle las gracias y me dijo: - mijaj yo estoy en Venezuela pues en España mi familia quería que fuera Ingeniero Civil, y veo en ti, la desesperación que yo viví en esa carrera universitaria ¡!.*

*Y así fue, José Mas Vall fue mi ángel de la guarda. En 3 meses comencé el semestre en Geología con materias de la Escuela Básica de Ingeniería, pues no me dieron equivalencia en Física II y en Mecánica II. Ese semestre estudié como loca, pasé todas las materias, incluyendo la materia de Mas Vall, Geología Física. Él mismo me invitó a concursar para ser preparadora (ayudante docente) y*

*obtuve la preparaduría. Así fue mi enamoramiento con la Geología hasta el día de hoy. Agradecida a Toña, mujer visionaria, valiente, con iniciativa, muy trabajadora desde bien joven y mi ángel, el profesor Mas Vall.*

**De su formación académica**

Bien podemos sintetizar sus estudios y preparación: **(1)** Ingeniero Geólogo egresada de la Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela, en el año 1979 con el TEG *Estudio bioestratigráfico de una zona ubicada al noreste de Píritu, estado Falcón, Venezuela;* **(2)** MSc. en Geología Sedimentaria, en la misma casa de estudios, 1983 con el TEG *Comparación petrográfica entre las areniscas de las formaciones Mirador y La Sierra, Venezuela Occidental;* **(3)** Especialista en nannoplancton calcáreo por convenio TOTAL-CFP-Corpoven-Lagoven, Francia, 1989; **(4)** Especialista en Gerencia de Proyectos de Ingeniería de la Universidad Católica Andrés Bello, para el año 1997; **(5)** NDT certified by NRCanada en 2015 y **(6)** Valor Agregado de los impuestos a las ventas en Canadá. Recobro del GST / HST. CPA Ontario 2019, ya más reciente.

**Experiencia laboral**

Su actividad profesional la inicia en la Universidad Central de Venezuela y la continuará en toda el área de las filiales de Petróleos de Venezuela hasta el año 2002, fecha en la cual marchará fuera del país.

El listado es tal cual sigue: **(1)** 1976 – **(2)** Preparadora de Geología Física, Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la UCV; **(3)** 1977 - Preparadora de petrología en la de Geología Física, Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la UCV; **(4)** 1979 - LAGOVEN S.A.; **(5)** 1979-1981 - Geólogo, micropaleontólogo, LAGOVEN S.A.; **(6)** 1982 - Asignación a la Sección de Planificación, LAGOVEN S.A.; **(7)** 1983-1987 - Geólogo, micropaleontólogo, LAGOVEN S.A.; **(8)** 1988 - TOTAL CFP, Compagnie Française des Pétroles, Burdeos, Francia; **(9)** 1989 - LAGOVEN S.A.; **(10)** 1989-1990 - Jefe del Laboratorio de Geología; **(11)** 1991-1994 - Jefe del Laboratorio de Geología / Bioestratígrafo especialista; **(12)** 1995-1997 - Jefe del Laboratorio de Geología / Especialista asistente; **(13)** 1997-1999 - INTEVEP S.A. Especialista Estratigrafía; **(14)** 2000 - INTEVEP S.A. Jefe de Proyecto del Código Geológico de Venezuela (especial y particular instrumento informático que permitió acceder a los resúmenes de los trabajos especiales de grado de los geólogos e ingenieros geólogos de reciente graduación, a los datos existentes de los egresados de instituciones como la Universidad de Oriente y la Universidad de Los Andes, así como a las descripciones y extensiones geográficas de las unidades litoestratigráficas de Venezuela y a las fotografías y biografías de exploradores

de la naturaleza venezolana. Es necesario incluir las gráficas, por decirlo de alguna manera, del *Alud Torrencial del estado Vargas en 1999*, especialísimo evento hidrometeorológico que afectó principalmente el norte del estado ocurrido a partir del 15 de diciembre de ese año y que incluyó los informes de diferentes organismos que laboraron de manera voluntaria en beneficio de los afectados).

Por causas fuera de su competencia y del grupo que conducía este por demás, especial fenómeno fue eliminado de su acceso informático en tiempos muy recientes, con toda la información previa que el proyecto contemplaba, pero esa es otra historia y a su tiempo será contada; **(15)** 2001-2002 - PDVSA E&P Asignación a la Gerencia de Tecnología / Jefe del Proyecto Código Geológico de Venezuela; **(16)** 1998 -2004 – Profesora de Bioestratigrafía de la Facultad de Ciencias - Universidad Central de Venezuela; **(17)** 2004 – Febrero 2008 – Crystallex International Corporation. Asistente de Geología del Vicepresidente de Exploración; **(18)** Marzo 2008- Julio 2015 – U308Corp. Gerente Técnico de la Data Geológica; **(18)** Agosto 2015- Abril 30, 2022 – Marrelli Support Services - Oficial Senior encargado de la Declaración de Impuestos Federales y Provinciales Canadienses y revisión de estados financieros de empresas mineras y petroleras en etapa inicial de exploración. Oficial Senior en las áreas de producción y comercialización con fines médicos, investigación, innovación y nanoterapéutica; empresas de tecnologías; empresas de plataformas y aplicaciones informáticas; empresas de servicios de asesoramiento, consultoría y gestión; **(19)** Junio 2022 hasta el presente Consultor Independiente.

El trabajo de Castro Mora ha estado siempre ligado a la industria petrolera nacional, además ha atendido o pertenecido a diversas asociaciones en el área petrolera: **(1)** **1982-1984**, Vocal de la Sociedad Venezolana de Geólogos; **(2)** **1984-1987** - Tesorera de la Sociedad Venezolana de Geólogos; **(3)** **1994** - Secretaria del V Simposio Bolivariano, Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas; **(4)** **1997** - Comisión de Trabajo de la 3<sup>a</sup> Edición del Léxico Estratigráfico de Venezuela. Cuenca Oriental y Serranía del Interior; **(5)** **1998** - Secretaria VII Simposio Bolivariano de Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas; **(6)** **1999-2000** - Secretaria de la Sociedad Venezolana de Geólogos.

**Publicaciones como autora o coautora**

Marianto lleva igualmente en su haber unas 50 publicaciones y reportes, esencialmente dedicados a la bioestratigrafía, la datación, biografías de geólogos

<sup>1</sup>Se trata del geólogo y profesor universitario José Mas Vall, graduado *Magna Cum Laude* en la I promoción de geólogos del Instituto de Geología, 1942 (N/A).



famosos de Venezuela y un sinnúmero de artículos sobre su área de pericia, incluyendo afiches y posters.

Si bien no se suman a estos trabajos técnicos cuyo escenario han sido simposios y congresos en las mismas circunstancias ha elaborado como autora o coautora, casi un centenar de reportes internos propios de su cotidianidad, de los cuales como única autora suma 57 reportes de su autoría ubicados entre 1981 y hasta 1999, ambas fechas inclusive. Estos han sido asignaciones regulares de trabajo muy densas dedicadas a la investigación bioestratigráfica en las que su nombre se confunde con otros colegas, gente del petróleo como Lucas Zamora, Alfredo Mederos, Carlos Key hasta el profesor Max Furrer, maestro de generaciones en la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la UCV. A los efectos de esta semblanza, no se identifican esta lista de trabajos inéditos, pues ella es larga y complicada e interesan más a personal especializado en el área, siendo ampliamente conocida Marianto entre sus pares. Pero no todo queda allí, mantiene conserva y actualiza regularmente en una página web y un blog: *Notas de Geología de Venezuela / Geological Notes of Venezuela*, <<https://mariantoc.github.io/index.html>> y un blog *Notas de Geología de Venezuela*, <<https://notasdegeologiavenezuela.blogspot.com>>, toda la información existente sobre temas ligados al campo de las Geociencias, pero en especial a la actividad pasada de la industria petrolera nacional.

#### Una nueva responsabilidad para la MSc. Marianto Castro Mora

El 7 de noviembre de 2022, y a solicitud del Colegio de Ingenieros de Venezuela, fue presentado en su auditorio el Foro sobre “*El papel del Geólogo Venezolano: su Día y su Gremio*” como parte de la conmemoración del 161° aniversario de dicha organización gremial. A la dirección electrónica de la Junta Directiva de la SVG, integrada por los doctores Franck A. Audemard, presidente y Francia,



**José Antonio Rodríguez Arteaga** es Ingeniero geólogo, egresado de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela, Caracas, con más de 30 años de experiencia. En sus inicios profesionales laboró como geólogo de campo por 5 años consecutivos en prospección de yacimientos minerales no-metálicos de la región Centro-Occidental de Venezuela. Tiene en su haber labores de investigación en Geología de Terremotos y Riesgo Geológico asociado o no a la sismicidad. Es especialista en Sismología Histórica, Historia de la Sismología y Geología venezolanas. Ha recibido entrenamiento profesional en

Galea González, tesorera, llegó correspondencia oficial de la *Commission on Stratigraphic Nomenclature* (NACSN) en la persona de su representante mexicano, geólogo/PhD. Fernando Núñez, explicándoles que se estaba gestando un proceso de inclusión en dicha comisión de los países latinoamericanos y deseaban conocer si la Sociedad Venezolana de Geólogos estaba interesada en nombrar un representante. Tras tener en cuenta varios nombres y convocar igualmente a Marianto Castro Mora, ésta aceptó la designación. Esta Junta Directiva se puso en contacto con Fernando Núñez a objeto de saber qué era realmente lo que se requería e informarse del trabajo a realizar para la Comisión. El proceso este 2022 ha sido distinto que otras veces, siendo el propio Núñez quien convenció a la Comisión de incluir países latinoamericanos para darle más amplitud al programa, y a la vez que la nomenclatura estratigráfica en español actualmente en uso sea revisada por cada uno de los miembros de Latinoamérica adaptándola a la nomenclatura propia de cada estado participante.

La colega Marianto Castro Mora se encuentra ya informada y cuenta con la aquiescencia de la Sociedad Venezolana de Geólogos procediendo en consecuencia a aceptar la postulación, no siendo obstáculo alguno el hecho de encontrarse radicada en Canadá, pues las reuniones serán virtuales. Reunidos la MSc. Castro Mora, el Dr. Franck Audemard y el Dr. Núñez, este último explicó las labores que se desarrollarán en 2023, a la par que explicó la documentación necesaria por la contraparte venezolana representada para formalizar la designación. El trámite fue cumplido por la SVG y a nuestra colega un correo electrónico de bienvenida le fue enviado de parte del *Dr. Matt Joeckel, 2023 Chair, North American Commission on Stratigraphic Nomenclature (NACSN)*.

#### Referencias

El material empleado ha sido todo facilitado por la propia Ing. Geól/MSc. Marianto Mora Castro con modificaciones del autor.

Metalogenia, Ecuador y Geomática Aplicada a la Zonificación de Riesgos en Colombia. Tiene en su haber como autor y coautor, tres libros dedicados a la catalogación sismológica del siglo XX; a la historia del pensamiento sismológico venezolano y la coordinación de un atlas geológico de la región central del país, preparado junto al Dr. Franco Urbani, profesor por más de 50 años de la Escuela de Geología de la Universidad Central. Actualmente prepara un cuarto texto sobre los estudios de un inquieto naturalista alemán del siglo XIX y sus informes para los terremotos destructores en Venezuela de los años 1812, 1894 y 1900.

[rodriguez.arteaga@gmail.com](mailto:rodriguez.arteaga@gmail.com)

## Sostenibilidad en la transición energética. ¿Qué pasó con los biocombustibles?

**Natalia Silva Cruz**

Colaboradora de la Revista

En nuestra serie sobre la sostenibilidad siempre he compartido mi posición sobre la importancia de aprovechar todas las fuentes de energía limpias disponibles en lugar de comprometernos con un único recurso puesto que no hemos encontrado una fuente que pueda reemplazar exitosamente a todos los combustibles fósiles, ya sea porque por distribución geográfica no es posible llegar a todos los lugares del planeta (como la energía eólica e hidroeléctrica), porque el potencial de descarga energética requerida es muy alto (como para cubrir los picos de demanda eléctrica en la industria), o porque el volumen para contener la energía es limitado (como en vehículos de transporte masivo desconectados de la red energética como aviones y buques oceánicos), entre otros. Hoy quiero comentarles sobre los biocombustibles y cómo fueron una solución esperanzadora cuando fueron empezados a ser utilizados en los años 70s – 80s.

El nacimiento del consumo masificado de biocombustibles no necesariamente fue una respuesta a la necesidad de disminuir la emisión de gases de efecto invernadero sino a las alzas fuertes en los precios de petróleo protagonizadas por la OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo) durante los años setenta y principio de los ochenta. La tecnología del uso del etanol es casi tan antigua como la industria automotriz misma, el famoso Modelo T de Ford podía ser alimentado con gasolina, etanol o una mezcla de los dos. La retórica de que el bioetanol es una fuente limpia es bastante más reciente y la tecnología para su generación ha tenido muchas modificaciones en los últimos decenios que tal vez no lo hacen tan atractivo comercialmente pero sí bastante más atrayente como mecanismo de reducción de emisiones.

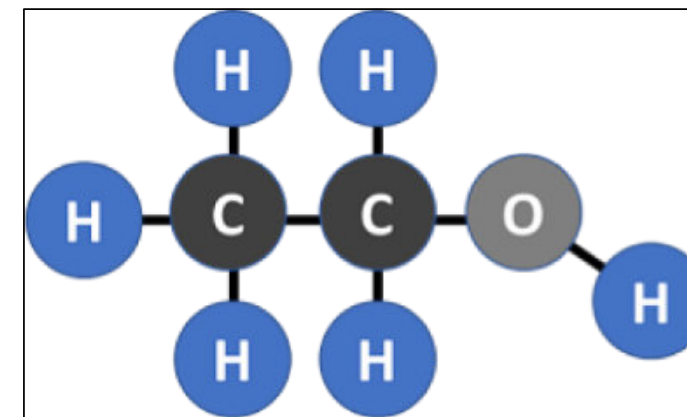


Figura 1. Molécula de etanol.

¿Por qué es el bioetanol considerado limpio y los combustibles fósiles no, si también libera CO<sub>2</sub>? Existe una convención que indica que, si se liberan gases de efecto invernadero hoy y esos mismos se absorbieron ayer, las emisiones netas son nulas; pero ¿qué tan “ayer” es verdaderamente “ayer”? Los combustibles fósiles también se formaron a partir de biomasa, y esa misma consumió CO<sub>2</sub> durante su ciclo de vida, sin embargo, ese carbono que contienen se está liberando hoy, decenas de millones de años después, la absorción de CO<sub>2</sub> se dio mucho antes de la existencia misma de la especie humana y no puede ser contabilizada como parte del balance de gases en la atmósfera en la actualidad. Así, los biocombustibles no son lo mismo que los combustibles fósiles en materia de cálculo de emisiones, pero sí son lo mismo en energía contenida por volumen; el etanol generado a partir de la hidratación del etileno, que a su vez es producido mediante el crackeo de hidrocarburos, es exactamente el mismo bioetanol obtenido a través de la fermentación de biomasa.

Si suponemos que, para sembrar la biomasa, regarla, fertilizarla, recogerla, fermentarla, y transportar el biocombustible a destino no utilizamos ningún tipo de combustible fósil (lo que sería bastante generoso porque hasta ahora la gran mayoría de los tractores se mueven con hidrocarburos), que durante su tiempo de vida absorbe CO<sub>2</sub> como parte del proceso natural, que no existen pérdidas, y que ese mismo CO<sub>2</sub> es liberado cuando se consume el bioetanol, quedaríamos en emisiones netas cero. Ahora, si tenemos en cuenta las emisiones totales de los procesos involucrados que describimos al inicio, se margina el balance de liberación de gases y es común que el proceso no sea completamente limpio, aunque sea mejor que el uso de combustibles fósiles. Recordemos que el objetivo inicial del uso de biocombustibles no era la disminución de emisiones, sino de costos y para limitar la dependencia de la OPEP de los países no productores, así que es normal que el proceso no fuera completamente limpio, y aunque el concepto en general parezca sencillo, se han tenido que llevar a cabo muchas modificaciones enfocadas en la generación limpia que permitan la viabilidad de los biocombustibles como mecanismo de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Veamos ahora la evolución de los diferentes tipos de generación de bioetanol según el tipo de biomasa como materia prima.

1. Bioetanol a partir del maíz. Es el método primordial en los Estados Unidos y es controlado por unas pocas compañías, está bastante subsidiado y la importación de biocombustibles extranjeros está desalentada por el esquema arancelario. El cálculo de balance energético es complicado puesto que son muchos factores los que se deben tomar en cuenta, así que es común encontrar divergencia en las estimaciones. Autores como Pimentel (2001) concluyen que la relación entre la energía

contenida en el bioetanol final y la energía utilizada para la generación es del 0,77 (es decir, se pierde energía en el proceso), sin embargo, existen investigadores que proponen sinergias y la reutilización de residuos (por ejemplo, para alimentación animal) para alcanzar tasas de 1.56 – 1.67<sup>1</sup>; el consenso actual es que el balance energético es positivo (valores por encima de 1) en general<sup>2</sup>. Como se imaginarán, la relación entre la energía del bioetanol y la energía utilizada para su obtención es directamente proporcional a las emisiones de gases de efecto invernadero durante la generación y depende de qué tan limpia es la energía usada durante el proceso.

Para el año 2007, el senado estadounidense aprobó un proyecto de ley que garantizaría que para 2022 se ofreciera en el mercado al menos 36 millones de galones anuales, la realidad es que hoy se consumen cerca de 14 millones de galones<sup>3</sup>, una cifra que se ha mantenido constante durante los últimos diez años. Mientras tanto, la demanda de gasolina se encuentra alrededor de los 135 millones de galones<sup>4</sup> por año y continúa en aumento. Para hacer la comparación más precisa, es necesario entender que el etanol tiene una densidad energética menor que la gasolina, así, esos 14 millones de galones vienen siendo equivalentes a unos 9 millones de galones de gasolina, el 6% del consumo anual.

2. Bioetanol a partir de la caña de azúcar. Predominante en Brasil y países tropicales. Esta opción es bastante más atractiva que la anterior puesto que la caña es un cultivo anual que tiene menor impacto ambiental porque, al contrario que el maíz, no requiere fertilizantes de nitrógeno que alteran el suelo y regiones aguas abajo. El balance energético es excelente, se calcula en al menos un 3,7 (Macedo, 2003), pero algunos autores alcanzaron a estimarla en 8,3 – 10<sup>1</sup>. Con valores tan esperanzadores, se podría pensar que es posible reemplazar toda la gasolina por biocombustibles provenientes de caña de azúcar, desafortunadamente este cultivo solo se presenta en lugares tropicales y se necesitaría disponer el 60%<sup>1</sup> del área cultivable en dichas regiones para sembrar toda la caña de azúcar necesaria, generando disputas entre todas las industrias que requieren áreas de cultivo, incluyendo la alimentación, lo que encarecería los precios al consumidor y sería un detrimento para la calidad de vida de los pobladores; y aun así, no sería siempre rentable porque en áreas pequeñas no alcanza a ser comercial. Tampoco se pueden desestimar los impactos ambientales que conlleva

la preparación del terreno para el sembrado de caña, la erosión y empobrecimiento del suelo, así como las quemaduras previas a la cosecha que producen contaminación.

3. Etanol celulósico. ¿Qué tal si obtuviéramos el etanol de otra fuente que no tuviera los problemas de las biomásas anteriores? La respuesta se encontró con la fermentación de los azúcares contenidos en la celulosa, la macromolécula más abundante de la biósfera, que hace parte de todas las plantas y algas del planeta. Desafortunadamente, esta técnica tampoco está exenta de limitantes, aunque exista celulosa en prácticamente todos los rincones del planeta, disponer de tanta materia vegetal sin afectar el ecosistema es una tarea muy compleja, además los residuos tienen volúmenes importantes que deben ser transportados y dispuestos de manera sostenible. Este método ha perdido mucho terreno debido a los altos costos de procesamiento frente a los relativamente bajos precios de los hidrocarburos en los últimos años y prácticamente no existen plantas de producción funcionando comercialmente.

Muchos otros tipos de biomasa se han evaluado como fuente para bioetanol (óleos de residuos del grano del café, grasa animal y grasa de peces, entre otros), ninguna ha sido sostenible ambiental, económica o socialmente y en muchos escenarios la energía de generación es más alta que la que se obtiene del bioetanol final. De los métodos descritos anteriormente, el más apropiado es el proveniente de caña de azúcar, sin embargo, solo debe y puede ser utilizado como soporte para los combustibles fósiles y nunca para reemplazarlos completamente porque el impacto en la sociedad, la economía y al ambiente lo hace inviable. Uno de los principios de la transición energética es continuar realizando las actividades que mantienen la sociedad y la economía saludables sin mayores afectaciones, es decir, disminuir el consumo energético no porque se deja de utilizar sino porque se usa de manera cada vez más eficiente. El aumento de demanda de combustibles es justificado si está aumentando la población y la calidad de vida, pero, por otro lado, todas las industrias deben ser cada día más eficientes, de manera que el consumo sea controlado. Los biocombustibles pueden ser un aporte muy importante en el mix energético, pero todavía debemos buscar soluciones alternativas y sinergias que permitan una transición energética exitosa.

## Conozcamos técnicas de análisis de cuencas

Saúl Humberto Ricardez Medina

Colaborador de la Revista

Dentro del análisis de cuencas existen múltiples estudios y técnicas los cuales nos ayudan a determinar el origen, geometría y fuentes de sedimentos en una cuenca sedimentaria entre esos se encuentra la técnica de "Backstripping" la cual se utiliza para analizar la historia de subsidencia de cuencas sedimentarias que incluye una remoción de carga sedimentaria, considerando la respuesta de la descompactación de la isostasia y de descompactación de sedimentos sin efecto de la carga litostática. El resultado de estos cálculos se ven reflejados en la construcción de modelos 1D que emplean la isostasia local (Airy) y modelos 2D que emplean isostasia flexural.

El enterramiento de los estratos en las cuencas sedimentarias produce una pérdida de porosidad debido a los mecanismos de compactación, cambios físico-químicos como soluciones a presión y cementación. La mayoría de los procedimientos usados en los estudios de subsidencia en las cuencas sedimentarias asumen que no existe un cambio en el volumen sólido durante el enterramiento, de modo que la compactación mecánica de los granos de la matriz debido a la creciente compresión de la columna de agua-sedimento suprayacente únicamente impulsa la reducción de la porosidad.

Los espesores de los estratos actuales son producto de cambios acumulativos en el volumen de la roca a lo largo del tiempo. Un análisis cuantitativo de las tasas de hundimiento a lo largo del tiempo, a veces llamado análisis de geohistoria se basa principalmente en la descompactación de las unidades estratigráficas hasta su espesor correcto al momento de interés. Esto debe calibrarse con 2 correcciones para graficar el hundimiento en relación con un dato fijo, como lo es el nivel actual del mar. Estas correcciones son para las variaciones en la profundidad del agua de depósito a través del tiempo, y correcciones para las fluctuaciones absolutas del nivel del mar (Eustacia) en relación con el nivel de referencia actual del mar.

La información sobre cambios en la paleobatimetría a lo largo del tiempo puede provenir de facciones sedimentarias y firmas geoquímicas distintivas, pero principalmente de estudios micropaleontológicos. Los microfósiles bentónicos son especialmente útiles. Las correcciones eustáticas son peligrosas de aplicar y no se recomienda una simple transferencia de la curva de Vail-Haq. Sin embargo, está justificada la corrección de la variación eustática a largo plazo ampliamente aceptada del nivel del mar.

La descompactación de las unidades estratigráficas requiere conocer la variación de la porosidad con la profundidad. Algunas formaciones sedimentarias exhiben una relación lineal entre porosidad y profundidad, pero, evidentemente, una relación lineal no puede ser representativa de toda la cuenca ni a grandes profundidades ya que las porosidades se volverían negativas.

El backstripping consiste primero en remover las unidades estratigráficas de la cima hasta la base. Se deben realizar ciertas correcciones de enterramiento por la subsidencia a partir de la isostasia por carga sedimentaria. La paleobatimetría se estima por la necesidad de calibrar las etapas iniciales de la batimetría. La respuesta de la isostasia a la carga es calculada asumiendo el modelo de Airy (1D).

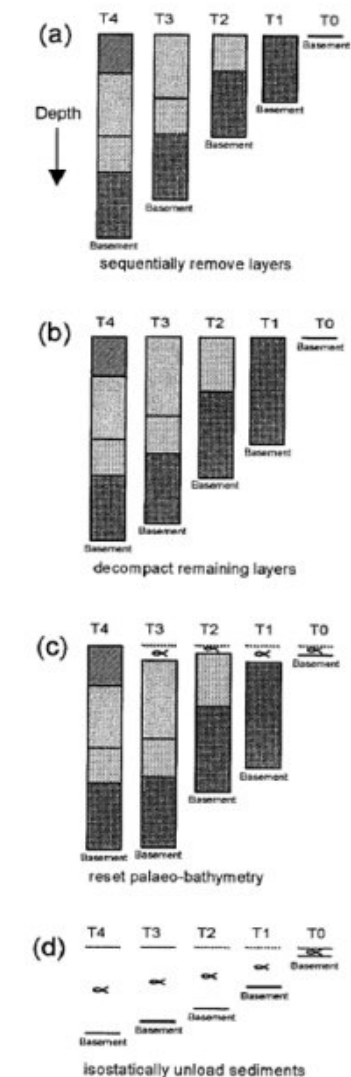


Figura 1: Modelo esquemático de backstripping 1D Tomado de: Roberts, A & et. al (1998).

<sup>1</sup>Smil. Energy Myths and Realities, 2010.

<sup>2</sup>U.S. Department of Energy. Ethanol Fuel Basics. [https://afdc.energy.gov/fuels/ethanol\\_fuel\\_basics.html](https://afdc.energy.gov/fuels/ethanol_fuel_basics.html)

<sup>3</sup>Statista. Fuel ethanol consumption in the United States from 2000 to 2021, 2022.

<https://www.statista.com/statistics/793801/us-fuel-ethanol-consumption/>

<sup>4</sup>EIA. Gasoline explained, 2022. <https://www.eia.gov/energyexplained/gasoline/use-of-gasoline.php>

El modelo de Airy en backstripping usa la información obtenida de pozos o de una muestra puntual o de una sección geológica. Donde se aplica en las secuencias post-rift de una cuenca extensional, el proceso de backstripping de Airy consiste en:

Una curva de subsidencia con desde el basamento a partir de los datos estratigráficos iniciales eliminando cada capa en la secuencia por turnos (Fig. 1a)

Las unidades de sedimentos subyacentes restantes luego se descompactan (Fig. 1b)

A medida que se elimina cada capa, la nueva superficie de sedimento se establece en un dato prescrito asumiendo una profundidad de depósito para cada intervalo estratigráfico y, si se desea, corrigiendo el nivel de mar para los cambios estáticos a largo plazo (Fig. 1c).

La curva de subsidencia por carga litostática es corregida por una curva de subsidencia por carga de agua equivalente (Fig. 1d). La corrección de carga de sedimento a agua se realiza suponiendo la isostasia 1D Airy (local).

**Limitaciones del backstripping 1D Airy**

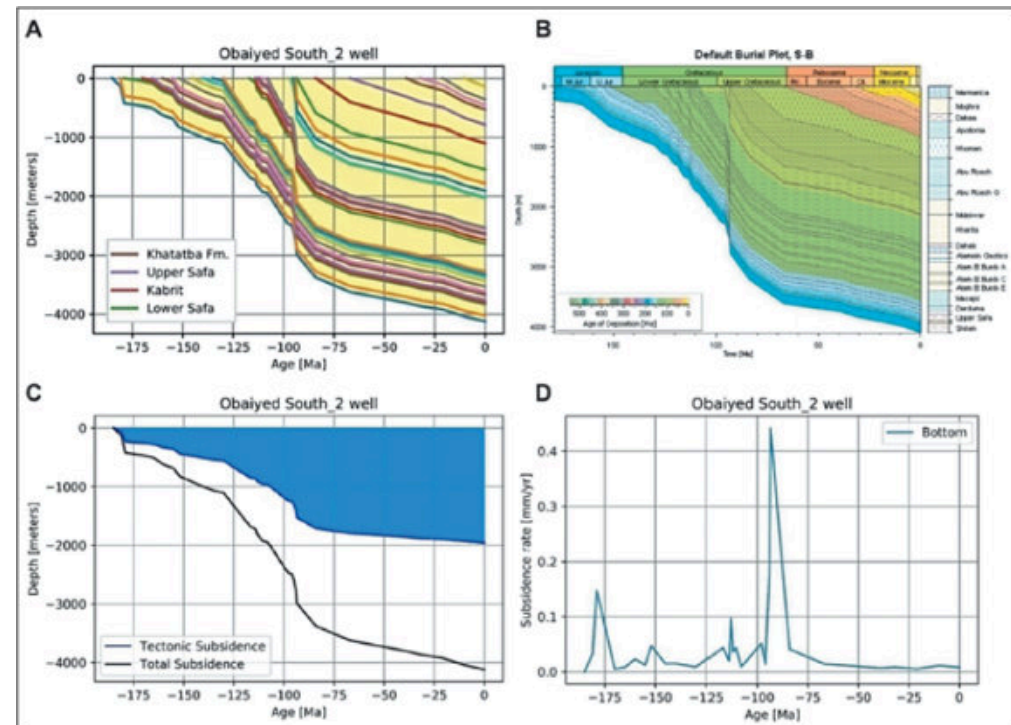


Figura 2: A) Geohistoria modelada en 1D del pozo Obaiyed South-2 mediante la técnica de backstripping usando python que muestra las diferentes formaciones. B) modelo de geohistoria 1D comparable del pozo Obaiyed South-2 del software Petromode®. C) la curva de hundimiento cargada de agua obtenida de la codificación de Python. D) la tasa de hundimiento calculada en base a la tasa de sedimentación total de las diferentes capas. Observe los dos grandes picos alrededor de 180 Ma y 90 Ma. Tomado de: Diab, A. & Khalil, H (2021).

**Bibliografía**

Allen, P. & Allen, J (2005) Basin Analysis Principles and applications. Blackwell Publishing.

Roberts, A & et. al (1998) 2D flexural backstripping of extensional basins: the need for a sideways glance. Sitio

web: [http://www.badleys.co.uk/isimm-public/Sideways\\_Glance.pdf](http://www.badleys.co.uk/isimm-public/Sideways_Glance.pdf)

Diab, A. & Khalil, H (2021) Quantitative assessment of the tight gas reservoirs in the Obaiyed field, Shushan Basin, NW Egypt. Sitio Web: <https://doi.org/10.1080/20909977.2021.1929745>

La precisión de cualquier historia de subsidencia del basamento con carga de agua derivado del modelo de backstripping de 1D Airy depende fundamentalmente de la calidad y la cantidad de datos paleo batimétricos disponibles para los eventos de tercer orden 3 con el fin de limitar las estimaciones de la profundidad del agua a lo largo del tiempo. Si bien el carbón, arrecifes de carbonato y las superficies de erosión brindan estimaciones confiables de la paleobatimetría, el uso de ensamblajes de fósiles para estimar las profundidades de paleoaguas para conllevar errores muy grandes.

El backstripping es de ayuda para analizar la historia de subsidencia de la cuenca en un modelado inverso progresivo del proceso de depositación. Mientras el backstripping puede ser aplicado a cualquier cuenca sedimentaria (incluidas plataformas y cuencas de tipo foreland), es más comúnmente utilizado en cuencas de tipo extensional, donde es usada para determinar la magnitud del radio de acortamiento en la corteza en la etapa de subsidencia post-rift. Además del contraste de la magnitud del acortamiento de la litosfera y el resultado en las perturbaciones geotérmicas del basamento para el modelado de maduración de los hidrocarburos.

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

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

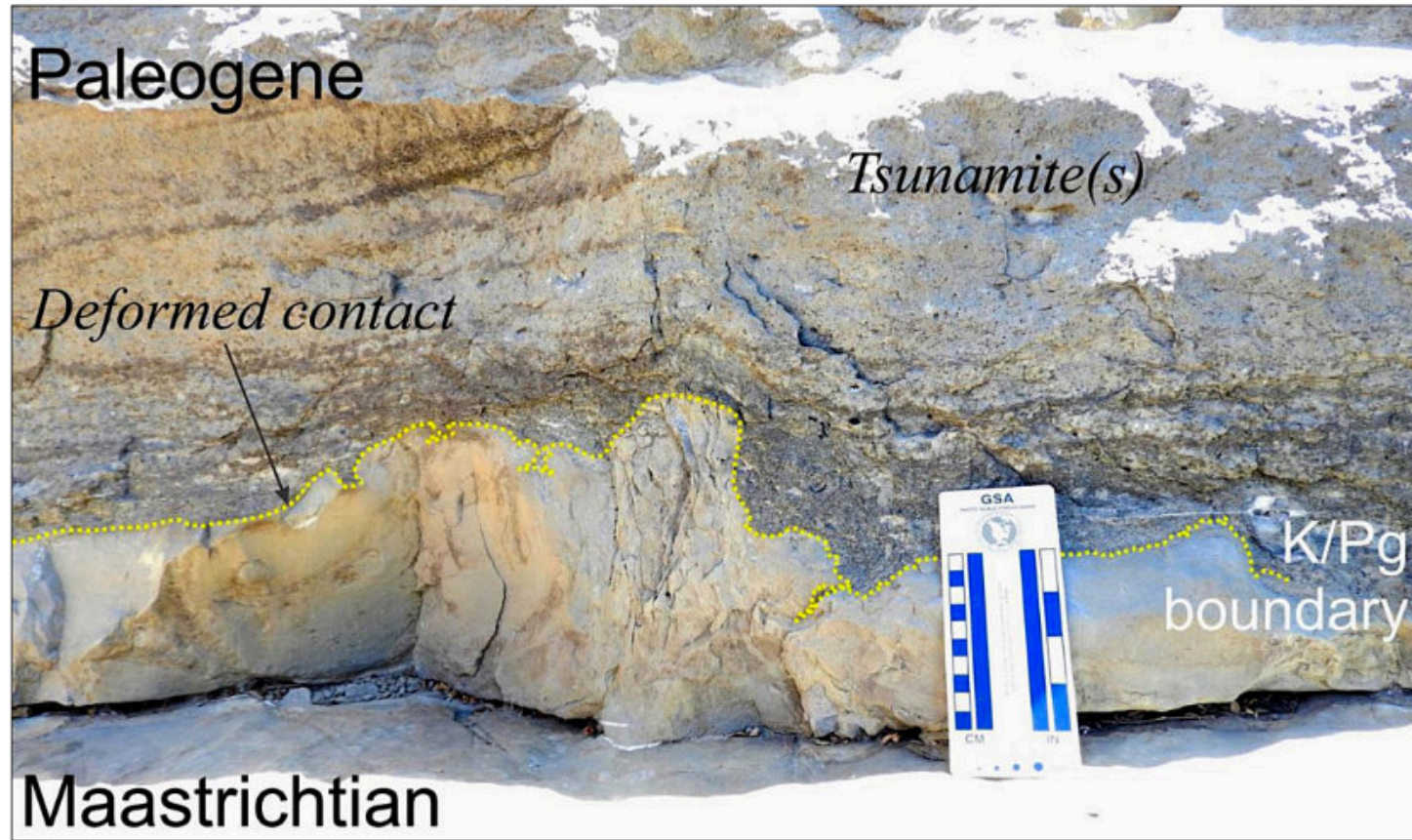


•SATURACIÓN DE AGUA  
Fracción del poro de una roca que contiene agua

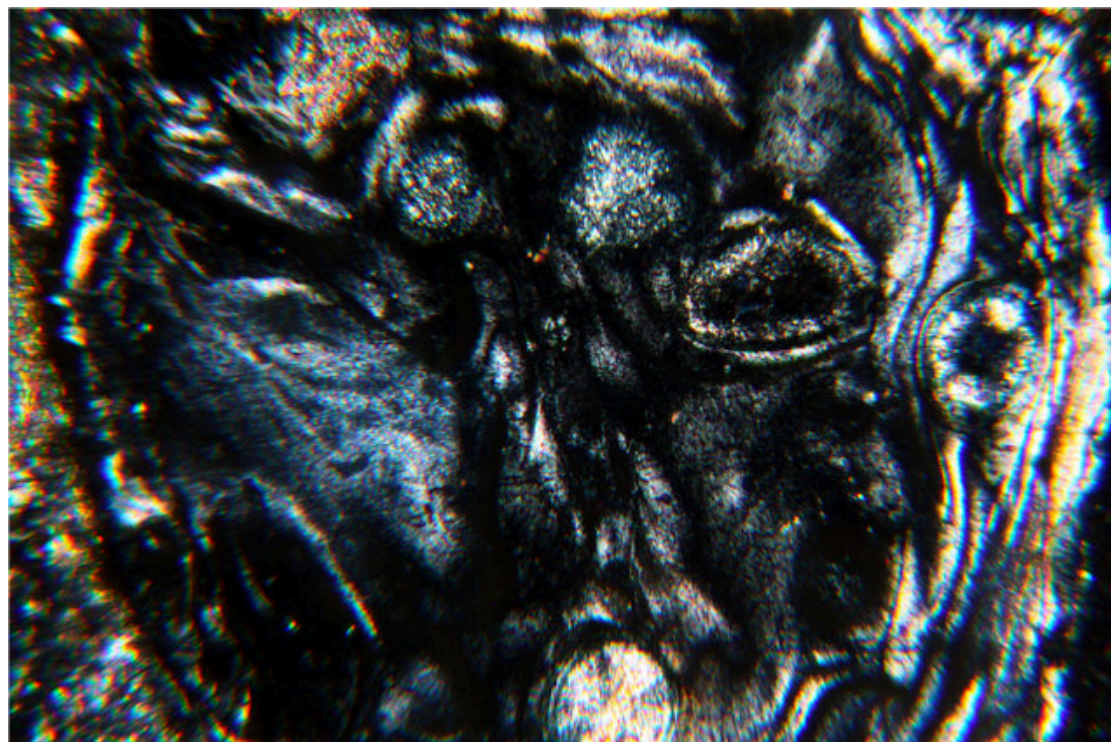
•SATURACIÓN DE AGUA IRREDUCIBLE  
El agua que no fue desplazada por los hidrocarburos y se encuentra retenida por tensión superficial alrededor de los granos

•SATURACIÓN DE HIDROCARBUROS.  
La porosidad que contiene aceite y/o gas.

(Asquith, 1998)



Contacto K/Pg en la sección El Papalote, Cuenca de La Popa, Nuevo León. Se representa el contacto entre el Miembro de Arenisca Delgado, deformado en su parte superior por la deformación generada por el megaterremoto, de aproximadamente 11 grados. En la parte superior se encuentra la tsunamita, acarreada por el retroceso del tsunami, la cual también muestra signos de deformación, lo que implica que seguía temblando después del depósito del "tsunami backwash". Este bloque, de aproximadamente 5 metros de espesor, contiene una gran cantidad de tectitas, cuarzo de choque y vidrio reemplazado principalmente por esmectita. Imágenes provistas por el **Dr. Francisco Javier Vega, Instituto de Geología, U.N.A.M., México.**



Vidrio deformado, observado en lámina delgada en luz polarizada, procedente de esta misma sección del Papalote. El elemento mide aproximadamente 250 micras de ancho.



Sombbrero de hierro del yacimiento El Suizo, Cuba. Fotografía provista por el **Dr. Ramón Guillermo Pérez Vázquez, CUJAE, La Habana, Cuba.**



Stockwork del yacimiento El Suizo, Cuba. Fotografía provista por el **Dr. Ramón Guillermo Pérez Vázquez, CUJAE, La Habana, Cuba.**

## Interesantes rasgos de la tectónica de la Formación San Cayetano de Cuba occidental.

**Humberto Álvarez Sánchez**

Colaborador de la Revista

Descrita originalmente en la publicación *The geology of Cuban petroleum deposits*, de 1918 por Everet L. De Golyer, la Formación San Cayetano de Cuba occidental es una celebre unidad de la estratigrafía cubana cuyas características litológicas, edad y paleogeografía de su ámbito de sedimentación sigue en la actualidad, formando parte los capítulos esenciales de los intentos de reconstrucción de la evolución geológica de la isla de Cuba y de la apertura de la cuenca del Mar Caribe. La edad de Triásico Superior-Jurásico Medio hoy suele ser la más aceptada y, por tanto, la más antigua de las formaciones sedimentarias cubanas. La base de San Cayetano es desconocida, por cuya causa su substrato original es una incognita. Los afloramientos de la Formación son típicos de la Cordillera de Guaniguanico. En ella la Formación San Cayetano se encuentra integrada en mantos tectónicos, cuyos elementos principales cabalgan el sistema de mantos tectónicos del cinturón calcáreo de la Sierra de Los Órganos y ocupan una posición equivalente en la Sierra del Rosario. Sobre la Formación San Cayetano existe una literatura muy voluminosa que toca casi todos los aspectos de su geología. Sin embargo, existe relativa escasa información sobre las características de las deformaciones tectónicas de sus mesoformas. Cabe citar los trabajos de Benes (1966); Piotrowska (1972, 77, 78, 87), Piotrowska y Piotrowski (1999); Molerio León (2004).

### Algunos ejemplos.



Figura 1. Sistema de gashes de tensión en areniscas de la Formación San Cayetano en un afloramiento de la Unidad Tectónica de San Cayetano del Sur. Sierra de Los Órganos, Pinar del Río Cuba (Foto del Profesor Ramón Pérez Vásquez. Ciudad Universitaria J. Antonio Echevarría: La Habana).



Figura 2. Pliegues chevron en areniscas de la Formación San Cayetano en un afloramiento de la Unidad Tectónica de San Cayetano del Sur. Sierra de Los Órganos, Pinar del Río Cuba (Foto del Profesor Ramón Pérez Vásquez. Ciudad Universitaria J. Antonio Echevarría: La Habana).



Figura 3. Excelente ejemplo de pliegues chevron en flysch arenisco lutítico de la Formación San Cayetano. Unidad Tectónica de San Cayetano de La Sierra del Rosario. Cordillera de Guaniguanico. Cuba occidental. (Foto del Dr. Claudio Bartolini).



Figura 4. Excelente ejemplo de desarmonía del plegamiento en la Formación San Cayetano. Un pliegue concéntrico en areniscas a escasa distancia del afloramiento de la Figura 3. Unidad Tectónica de San Cayetano de La Sierra del Rosario. Cordillera de Guaniguanico. Cuba occidental. (Foto del Dr. Claudio Bartolini).



Figura. 5. Otro ejemplo de desarmonía del plegamiento en la Formación San Cayetano. Un pliegue de flexura que podría ser más típico de otras condiciones de los esfuerzos de plegamiento, incluso de los sedimentos preconsolidados, se encuentra junto a mesoformas de un plegamiento tangencial intenso. Unidad Tectónica de San Cayetano de La Sierra del Rosario. Cordillera de Guaniguanico. Cuba occidental. (Foto del Dr. Claudio Bartolini).

#### Referencias

Benes, K., 1966, Elementos estructurales en la parte central de la Formación San Cayetano. Revista Tecnológica. Vol. IV. Mayo-Junio 1996.

Golyer, E. De., 1918, The geology of Cuban petroleum deposits. AAPG Bull. V2. p. 133-118.

Molerio León, L. F., 2004, Simulación matemática de los plegamientos de la Formación San Cayetano. Minería y Geología, Nos. 1-2, 2004

Piotrowska, K., 1972, La tectónica de la Sierra de Los Órganos en el área comprendida entre las localidades de El Cangre, Santo Tomás, Santa Lucía, Baja y San Juan y Martínez. Actas No. 2, pag. 35-38.

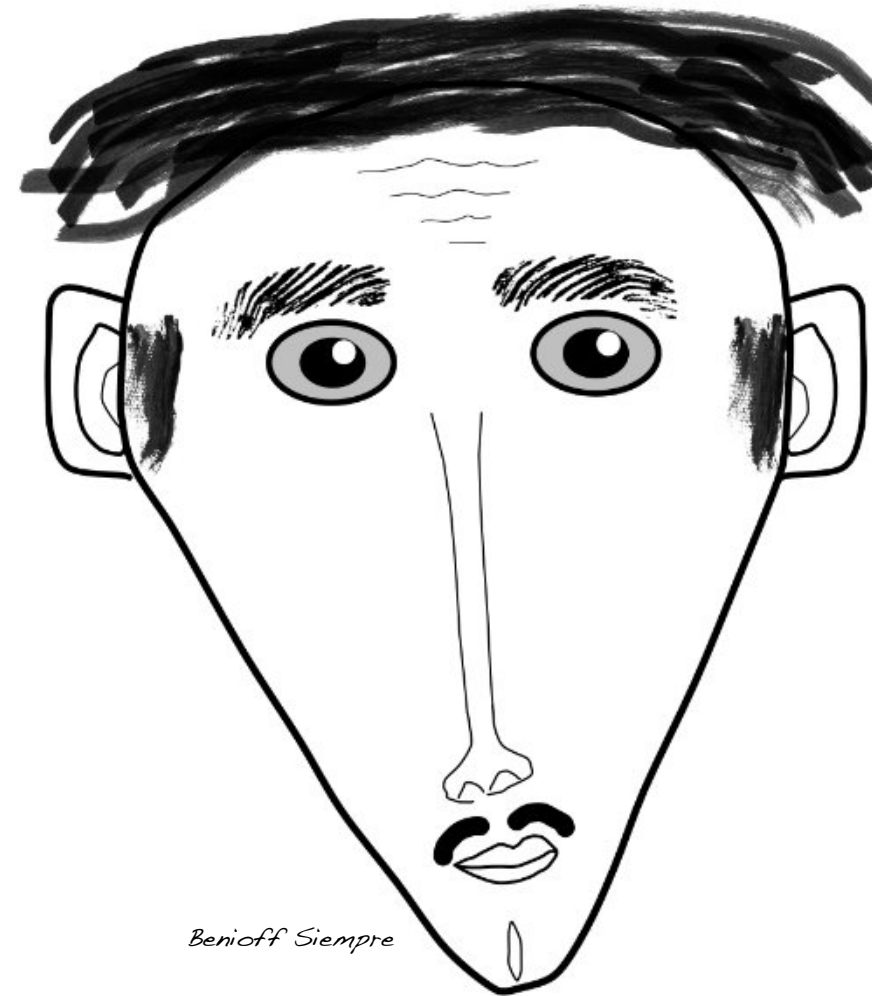
Piotrowska, K., 1977, Outline of tectonics of the Pinar del Río Province (Cuba). Bull. De L' Acad. Polon. Des Science. Série des Sciences de la Terre. Vol. XXIV, No. 3/4.

Piotrowska, K., 1978, Nappe Structure in the Sierra de Los Órganos, western Cuba. Acta Geol. Polonica, vol. 28, No 1. p 97-170.

Piotrowska, K., 1987, La estructura de nappes en la Sierra de Los Órganos. En Pszczółkowski, A., Piotrowska, K., Piotrowski, J., Torre y Callejas, A., Myczyński, R., Haczewski, G., 1987, Contribución a la geología de la provincia Pinar del Río. Editorial Científico-Técnica, La Habana, Cuba, 255 p.

Piotrowska, K., y Piotrowski, J., 1999, Geometric reconstruction of thrusts in the Sierra de los Organos Massif (western Cuba). Geological Quarterly, vol. 43-03: 277-284.

Pszczółkowski, A. y De Albear, J. F., 1982, Subzona estructuro-facial de Bahía Honda, Pinar del Río; su tectónica y datos sobre la sedimentación y paleogeografía del Cretácico Superior y del Paleógeno. Ciencias de la Tierra y del Espacio, 5: 3-24.



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

**quien está a cargo de organizar esta información.**

# NOTAS GEOLÓGICAS

## Campo volcánico “El Pinacate”: Una historia contada por rocas.

<sup>1</sup>Martínez-Valencia, D., <sup>2</sup>Enríquez-Navarro, J. A.,  
<sup>3</sup>Velderrain-Rojas, L. A.

<sup>1</sup>Maestría en Ciencias-Geología, Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, 83000.

<sup>2</sup>Servicio Geológico Mexicano, Unidad Hermosillo, Hermosillo, Sonora, C.P.83180

<sup>3</sup>Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, 83000.

### 1. Introducción

El Campo Volcánico El Pinacate (CVP) se localiza en el extremo NW del Estado de Sonora, próximo a la terminación septentrional del Golfo de California y comprende una superficie de aproximadamente 3000 km<sup>2</sup>. En él se reconocen dos grandes eventos de volcanismo Neógeno Cuaternario: el Evento Pre-Pinacate neógeno y el evento más joven de edad Cuaternario a Histórico de afinidad alcalina conocido propiamente como Evento Pinacate y fechado en 1.5 Ma a 10 K (Vidal-Solano et al., 2005). El evento volcánico Pinacate está representado por un volcán escudo que actualmente cubre el área de aproximadamente 1350 km<sup>2</sup> formada por conos

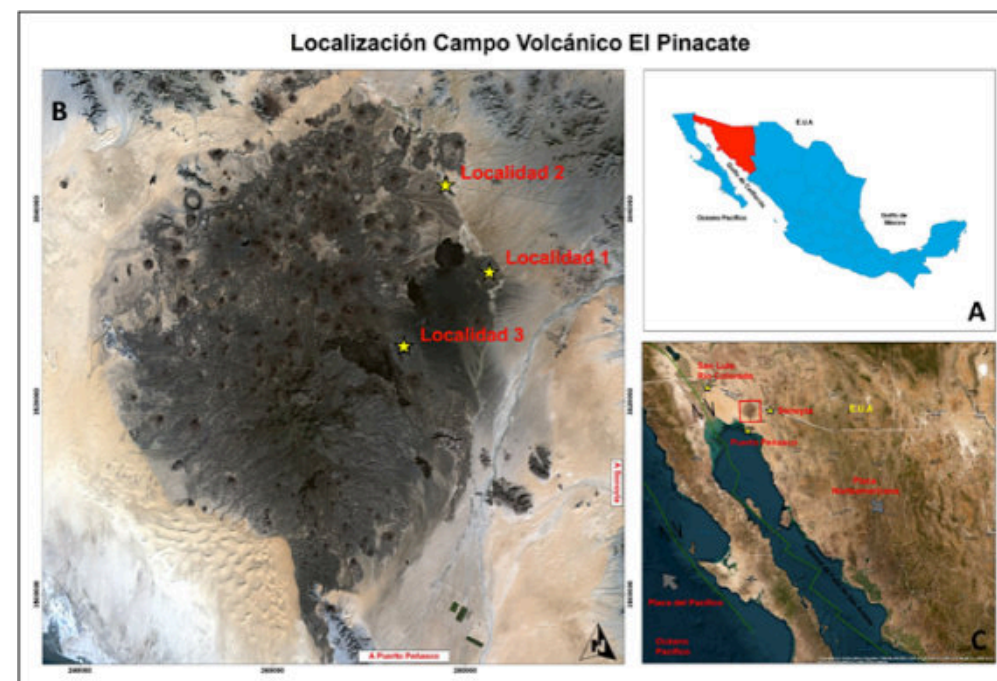
volcánicos, derrames de lava y emisiones piroclásticas (Cázares, 2004) y que, a su vez, originó cerca de 400 volcanes cineríticos. Entre los volcanes más representativos, se encuentran el cráter “El Colorado” y el cráter “El Elegante”.

El presente trabajo tiene como objetivo dar a conocer algunos rasgos geológicos de las unidades volcánicas que conforman a estos cráteres. Este estudio se llevó a cabo a través de un análisis de los estudios previos, un trabajo de campo y un análisis petrográficos de unidades representativas. Además, se integra a este estudio, el reconocimiento de las rocas magmáticas más antiguas del CVP.

### 2. Localización

El Campo Volcánico Pinacate (CVP) se ubica en la parte NW del estado de Sonora en México, al NE del Golfo de California, muy cercano al límite de placas Pacífico-Norteamérica (Figura 1). El CVP forma parte del Gran Desierto de Altar.

El cráter “El Colorado” (localidad 1) se ubica en las coordenadas 282415mE, 353424012mN, en el límite Este del CVP (Figura 1). El cráter “El Elegante” (localidad 3), se ubica al sur a 14 Km del cráter “El Colorado”. Finalmente, las rocas más antiguas son localizadas al norte del cráter “El Colorado” (localidad 2) (Figura 1).



**Figura 1:** a) Localización geográfica del CVP. b) Localidades estudiadas dentro del Campo Volcánico El Pinacate al NW del Estado de Sonora en México. La localidad 1 corresponde a el cráter “El Cerro Colorado”. La localidad 2 corresponde a los afloramientos que representan a las unidades magmáticas más antiguas del área y la localidad 3 corresponde al cráter “El Elegante”. c) Localización del CVP y límite de placas Pacífico-Norteamérica.

### 3. Contexto fisiográfico, geomorfológico y geológico

El área estudiada forma parte del dominio sur de la provincia fisiográfica del “Basin and Range”, caracterizada por el arreglo paralelo y discontinuo de angostas sierras y amplios valles orientados en dirección NNW-SSE (Henry y Aranda-Gómez, 1992) y de la Provincia Extensional del Golfo (Stock y Hodges, 1989). Localmente se emplean los nombres de provincia fisiográfica del Desierto Sonorense, o provincia Llanura Sonorense. Específicamente se encuentra en la Subprovincia del Desierto de Altar. Las geoformas que dominan esta zona son campos de dunas móviles con lomeríos que llegan a alcanzar alturas de más de 100 metros y que, en algunos casos, cubren afloramientos de poca altura. También están presentes llanuras aluviales con dunas, antiguos lechos de arroyos y pequeñas playas. La mayoría de estas planicies se encuentran entre 100 y 200 m.s.n.m., presentando topografías suaves. El origen de la arena se atribuye a la erosión de las sierras granitoides y metamórficas de la región (Vidal-Solano, 2005). La región de El Pinacate es bien conocida en el noroeste de México, dada su riqueza en morfologías volcánicas, la variedad de ellas y la cantidad de edificios volcánicos en excelente preservación (suman más de 400). Diversos estudios geológicos han sido realizados en el área (Lynch, 1981; Cázares, 2004; Vidal-Solano, 2005; Rodríguez-Trejo, et al., 2019; Alva-Valdivia, et al., 2019). Dos principales eventos de volcanismo cenozoico han sido reconocidos en la zona (Lynch, 1981);

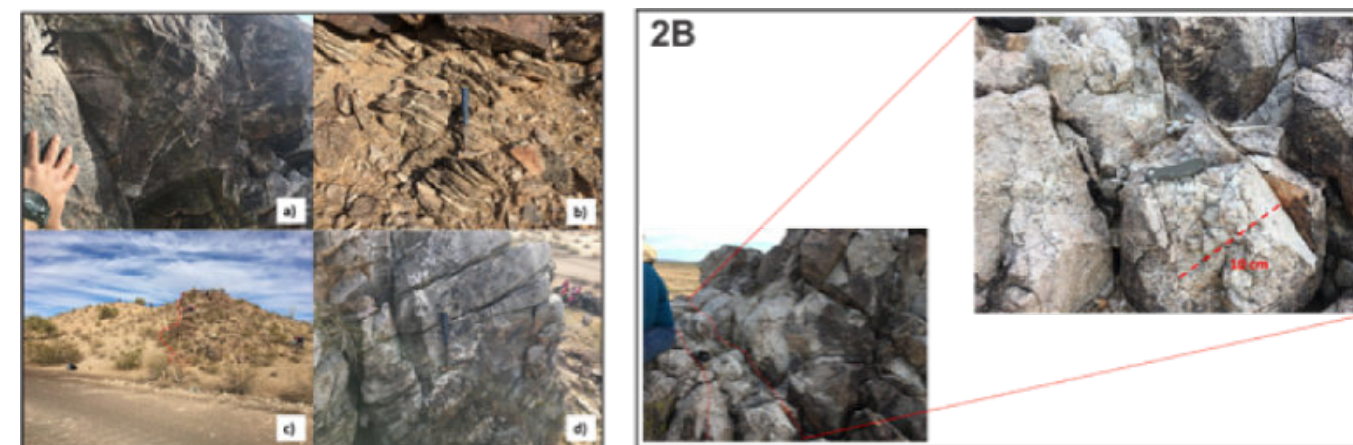
1) un evento denominado Evento Pre-Pinacate con edades de 15 a 11 Ma y 2) un segundo evento más joven, Cuaternario a Histórico, conocido propiamente como Evento Pinacate, y fechado de 1.5 Ma a 10 Ka (Vidal Solano, 2005). Este último ha sido el tema central de la mayoría de los trabajos anteriores y constituye el principal atractivo turístico de la Reserva de la Biosfera.

### 4.- Resultados

#### 4.1 Geología

##### 4.1.1 Basamento

El basamento del área se encuentra expuesto de manera escasa al este del área de la reserva del Pinacate (Figuras 1 y 2). Este basamento es representado por una roca metagranítica con una estructura masiva y fracturación preferencial (NE-SW). El protolito corresponde a un intrusivo de composición félsica y características graníticas. Esta unidad presenta una tonalidad que varía de café a negro en roca intemperizada y gris claro a verde en la roca fresca. Tiene una textura de grano medio a grueso de composición cuarzo-feldespático con escasos cristales de biotita que desarrollan una ligera foliación de rumbo N38°E con un buzamiento de 30° al SE. Presenta cúmulos de minerales ferromagnesianos y vetillas rellenas de cuarzo. El intrusivo es cortado por diques pegmatíticos (Figura 2).



**Figura 2:** 2a) Roca intrusiva que muestra vetillas ligeramente deformadas rellenas de cuarzo. 2b) desarrollo de foliación en roca intrusiva, 2c) Vista panorámica donde se observa la relación de corte entre intrusivos, 2d) detalle del fracturamiento y presencia de esquistosidad en el intrusivo metagranítico. 2B; Dique pegmatítico el cual se encuentra intrusionando a intrusivo.

Por otra parte, la unidad metagranítica es intrusionada por un cuerpo de color rosáceo, de estructura masiva, fuertemente fracturado y sin foliación. Este cuerpo rocoso es de composición félsica y constituido principalmente por cuarzo-feldespato y muy escasos minerales opacos.

##### 4.1.2 Cráter Cerro Colorado

La erupción del cráter “Cerro Colorado” es considerada de tipo surtseyano, debido a que el magma hace contacto con agua a un nivel muy superficial (Vidal-Solano, 2005). Esta característica lo hace único en su tipo dentro del campo

volcánico El Pinacate. El cráter tiene una edad de 3900 años y representa la actividad más joven del CVP (Alva-Valdivia et al., 2019).

Geológicamente, dentro del cráter El Colorado (Figura 3), se expone una unidad lávica de composición máfica que se compone de 3 litofacies que varían texturalmente de la base a la cima (Figura 3). Presenta un fracturamiento en bloque y con una ligera oxidación en su superficie de intemperismo. Esta unidad es clasificada formalmente como un basalto de textura porfídica a glomeroporfídica con fenocristales de plagioclasa (Pl) > olivino (Ol) > piroxenos? (Px). Los fenocristales de plagioclasa son de forma subhedral de tamaño de 2 a 4 mm. Los cristales de Ol presentan una forma anhedral de tamaño 0.5 - 1 cm. Los posibles cristales de piroxenos son de aproximadamente 1 mm. En la litofacies de la base, domina una matriz de textura vítrea a microcristalina, compuesta de pequeños cristales de Pl. Por otra parte, la litofacies central de este derrame basáltico es de textura porfídica y ligeramente vesicular, mientras que la litofacies de la cima presenta una textura vesicular a amigdalar.

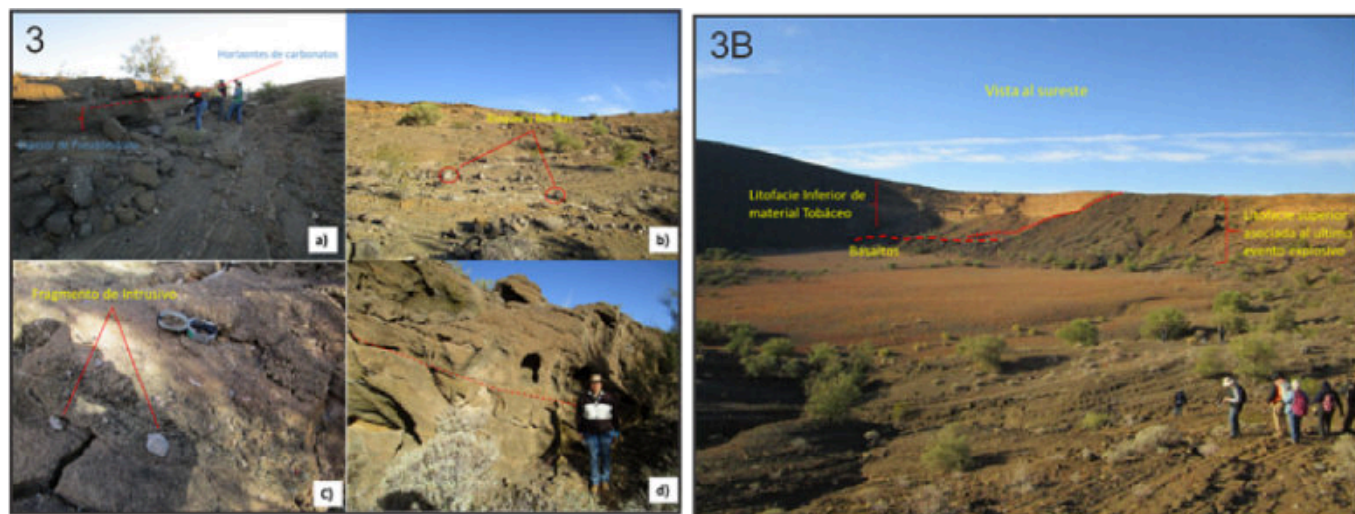
En la periferia del cráter, se expone un anillo de depósito piroclástico. Este depósito de piroclastos varía de tonalidad de amarillo a café claro. Este color obedece al temple que tiene debido a su enfriamiento violento que tienen al contacto con el agua. El depósito presenta un espesor de al menos 70 metros con una estructura en forma de pseudoestratos medianos de 0.50 a 1 metro, que en algunos niveles presenta estratificación cruzada. De la base a la cima presenta diferentes grados de soldamiento. El depósito es dividido en al menos cuatro litofacies.

La litofacies inferior del depósito piroclástico presenta un moderado grado de soldamiento y consiste de una roca de color café claro a mostaza, de textura porfídica compuesta principalmente por cristales de cuarzo. Entre sus constituyentes, presenta fragmentos de roca > vidrio > cristales. Los fragmentos de roca son subangulosos cuyo tamaño varía de 1 hasta 10 cm en promedio. Estos fragmentos son de rocas volcánicas máficas y de rocas intrusivas. Los cristales de cuarzo presentan tamaños de entre 1-3 mm. La unidad tiene una matriz muy fina de ceniza, poco soldada. Presenta una alteración de argilización y presenta horizontes muy delgados rellenos de calcita. De acuerdo a la composición de los minerales y fragmentos que se identificaron esta roca es clasificada como una toba de lapilli de composición félsica.

La fase superior del depósito piroclástico presenta un soldamiento de moderado a bajo y consiste de una roca café oscura que varía a tonalidades amarillas, con piroclastos conformados por fragmentos de roca > cristales > vidrio. Esta facies presenta una alteración palagónica. Este depósito también presenta litofacies donde se observa una pseudoestratificación gradada, donde hacia la base se encuentra un tamaño de piroclastos más fino que aumenta hacia a la cima. (Figuras 3 y 3B).

#### 4.1.3 Cráter El Elegante

El Cráter El Elegante (localidad 3) es considerado de tipo Maar (Gutmann y Turrin, 2006). Su formación tiene una historia violenta. Aquí se describen dos unidades litológicas. La primera unidad, descrita más adelante, es constituida por una roca basáltica acompañada de un pequeño afloramiento de ceniza volcánica. La segunda



**Figura 3.-** a) Se observan pseudoestratos de la toba de lapilli, parte superior del cráter, b) panorámica donde muestra bombas y bloques de basalto, c) detalle de la toba que corresponde a la parte superior donde muestra fragmentos de intrusivo, d) toba de color amarillo mostaza mostrando las dos litofacies de la parte superior correspondiente al último evento piroclástico. Figura 3b: Fotografía panorámica con vista al sureste donde se observa la relación estratigráfica de las diferentes unidades.

unidad es conformada por diferentes unidades piroclásticas.

La primera unidad corresponde a un derrame de lava de composición basáltica. Discordantemente a estos derrames de lava, se encuentra expuesta una roca piroclástica que conforma el anillo del cráter. Este tipo de depósito varía de una tonalidad café claro a amarillo mostaza y se compone de distintas litofacies que presentan distintos grados de soldamiento. El depósito corresponde a oleada piroclástica que presenta al menos 10 metros de espesor, de estructura pseudoestratificada con un rumbo de 26° (azimutal) y una inclinación de 9° al SE (Figuras 4 y 5).

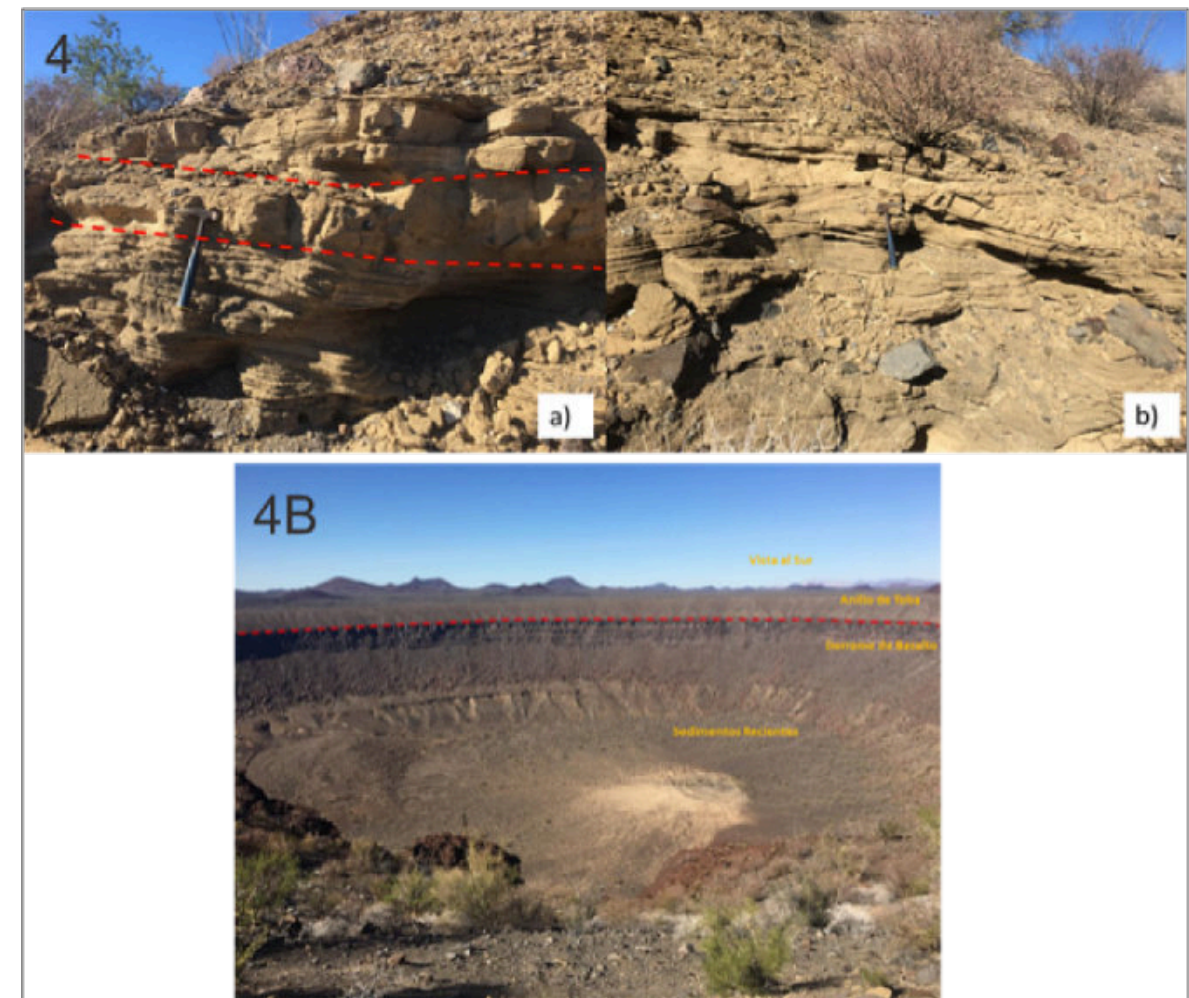
En algunos niveles de este depósito presenta una estratificación cruzada. Los contactos entre estratos no son rectos. La facie más soldada del depósito piroclástico está compuesta por una matriz de ceniza (>75%) clasificando a la roca como una toba de ceniza rica en líticos de composición félsica. La unidad menos soldada

tiene las mismas características que la litofacies soldada, sin embargo, en esta litofacies hay mayor presencia de estratificación cruzada. El depósito explosivo contiene piroclásticos del tamaño de bombas, de composición basáltica que provienen del último evento explosivo del cráter. Las bombas basálticas son de textura porfídica a glomeroporfídica con fenocristales de Pl > Px. Los fenocristales de plagioclasa son de forma subhedral a euhedral de tamaño hasta de 4 mm. Los cristales de piroxenos son de forma euhedral que llegan hasta 1.5 cm. Los fenocristales están en una matriz de textura vítrea a microcristalina compuesta de pequeños cristales de plagioclasa. Además, presenta textura vesicular y se observa zonas o bordes oxidados (Figura 4).

#### 4.2 Petrografía

El análisis petrográfico se realizó en 8 láminas delgadas de las diferentes localidades y unidades identificadas

##### 4.2.1 Basamento



**Figura 4:** a) Unidad piroclástica mostrando los contactos entre las litofacies y la gradación que presenta cada pseudoestrato. b) Estratificación cruzada dentro de la toba de ceniza. Figura 4B: Fotografía panorámica con vistas al sur donde se observa el cráter El Elegante, así como las unidades litológicas que la conforman.



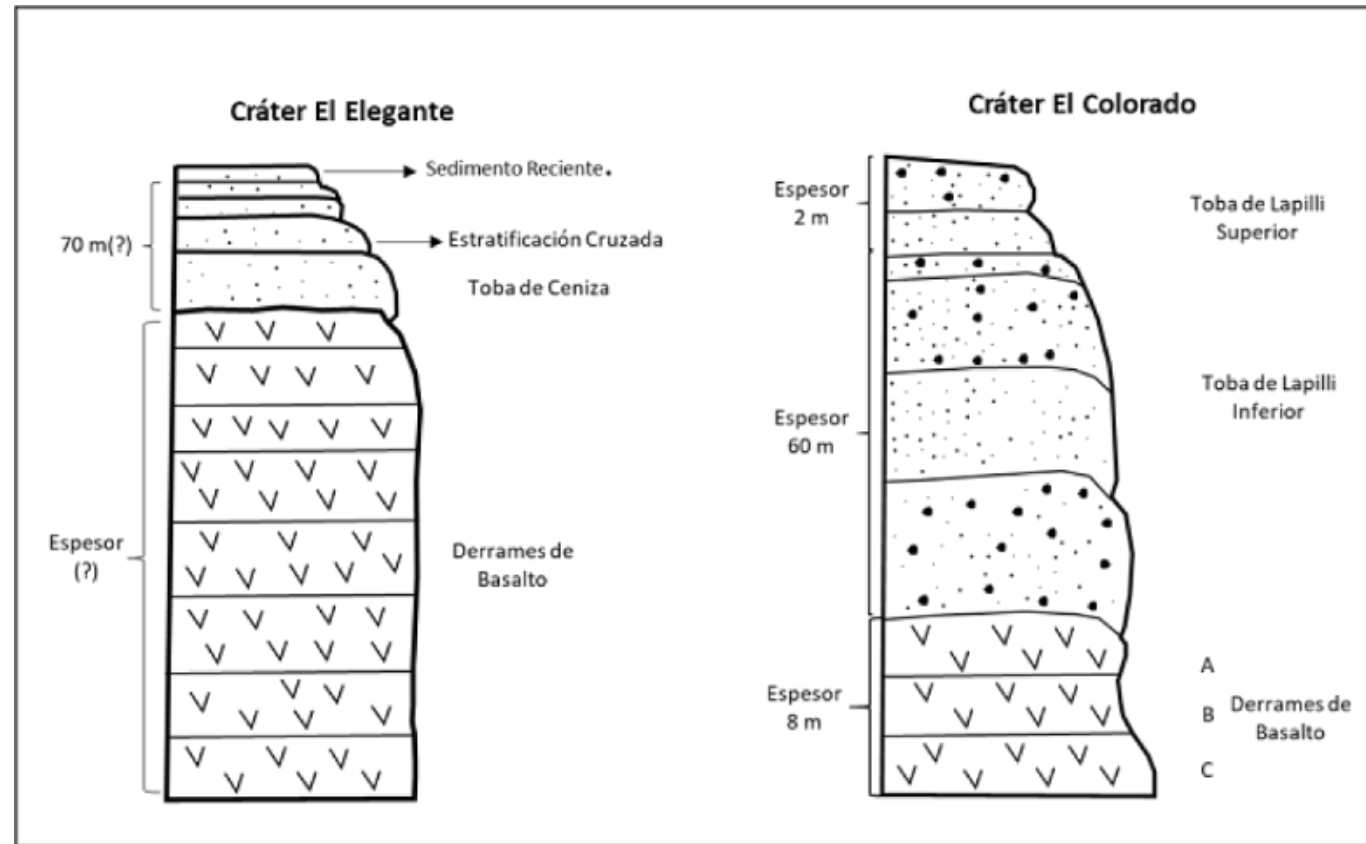


Figura 5.- Columnas litoestratigráficas esquemáticas de los cráteres El Elegante y El Colorado.

El análisis petrográfico del basamento de la región se realizó en dos unidades intrusivas. La primera unidad (Figura 6a) corresponde a una roca ígnea intrusiva clasificada como Monzogranito. Particularmente, presenta una mineralogía dominada por Feldespato Alcalino (FA) + Cuarzo (Qz) + Plagioclasa (Pl) con pseudomorfos de micas, probablemente biotita (Bt). Presenta una ligera alteración sericitica, además de texturas en criba presentes en los feldespatos potásicos (Figura 6b).

La segunda unidad se describe como un Sienogranito (Figura 6c). La muestra en lámina delgada de esta unidad es de textura holocristalina de grano fino leucocrática con fenocristales de Qz > FA > Pl > Bt > hornblenda (Hb) > óxidos Fe-Ti (OxFeTi), con una proporción de cuarzo de 25 a 30%, feldespato potásico de 20%, plagioclasa 15%, biotita 10-5%, hornblenda 10-5% y óxidos de Fe-Ti 5%. Los cristales de cuarzo presentan una forma anhedral de tamaño promedio 0.2 a 0.4 mm, el feldespato potásico (microclina) se presenta de forma euhedral a subhedral.

#### 4.2.2 Cráter "El Colorado"

En esta localidad se describen tres distintas unidades.

La primera unidad corresponde a un derrame basáltico de distintas litofacies (Figura 7). La litofacies de la base presenta Pl > Ol > Px (Clinopiroxenos, Cpx) > Minerales Opacos en una matriz de textura intergranular. La litofacies intermedia varía en el tamaño de los cristales que son de hasta 1.5 mm, con una mayor proporción de vesículas y menor proporción de vidrio en la matriz manteniendo la textura intergranular. Finalmente, la litofacies que corresponde a la zona superior del derrame basáltico, presenta una textura altamente vesicular con fenocristales de Ol de hasta 2mm.

#### 4.2.3 Cráter "El Elegante".

Aquí se describió la unidad piroclástica (Figura 8). Petrográficamente, presenta textura porfídica con fenocristales de feldespato alcalino de hasta 2 mm, Px y fragmentos de rocas ígneas en una matriz criptocristalina con una proporción alta de ceniza > 80%.

En los bordes del cráter, se expone una unidad basáltica de emplazamiento hipabisal. Tiene una textura porfídica con fenocristales de Pl con texturas en criba. Como ferromagnesianos, presenta cristales de Px y abundantes minerales opacos. La matriz presenta una textura vítrea,

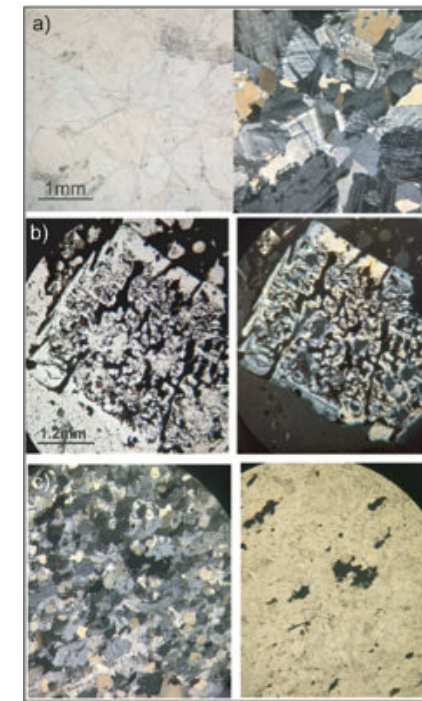


Figura 6: Microfotografías representativas de las rocas del basamento. a) Monzogranito. b) Fenocristal de FA con textura en criba. c) Mineralogía dominante del Sienogranito.

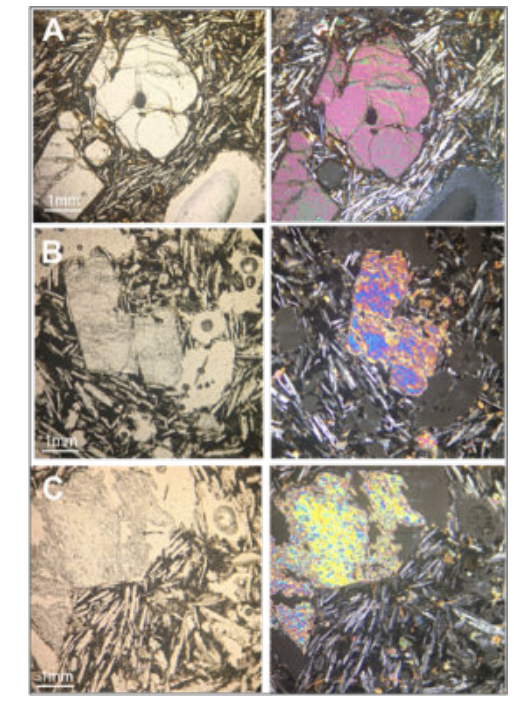


Figura 7: Microfotografías representativas de la unidad basáltica. Note que la columna de la izquierda corresponde a microfotografías en luz natural y la columna de la derecha en luz polarizada. A.- Corresponde a la facie superior. B.- Corresponde a la facie intermedia. C.- Corresponde a la litofacies inferior.

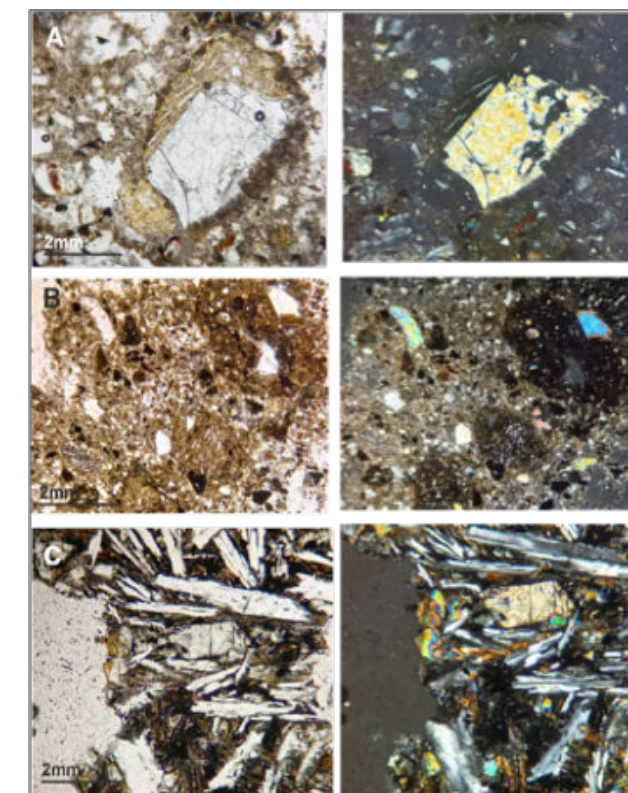


Figura 8: A.- Unidad Piroclástica con un fenocristal alterado de Px. B.- Toba de ceniza con fragmentos de rocas ígneas. C.- Basalto con fenocristales de Px y plagioclasa.

con una coloración rojiza causada por una fuerte oxidación. Los cristales de olivino en la matriz tienen un aspecto dendrítico (Figura 8).

### 5. Discusión y conclusiones

Las unidades rocosas identificadas en el CVP, ponen en evidencia al menos tres grandes eventos. De lo más antiguo, a lo más joven, el primer evento, corresponde a las rocas del basamento, constituido rocas intrusivas con diques pegmatíticos y con una marcada foliación, lo que clasifica a estas rocas con el prefijo “meta”. La mineralogía que presentan las muestras y los rasgos de campo confirman que sus orígenes (protolito) se preservan a pesar de tener evidencias de haber pertenecido a un ambiente dúctil. Por lo tanto, es posible, que este afloramiento represente una zona milonítica en un nivel profundo del intrusivo granítico (Figura 1). Un trabajo con más detalle, así como un estudio estructural, podrían confirmar la presencia de grandes estructuras en esta zona.

Un segundo evento es representado la formación y explosión del volcán “El Elegante”, que deja el cráter principal en la localidad 2 (Figura 1). En este cráter, se evidencio el emplazamiento, muy cerca de la superficie, de inyecciones máficas, que sirven de conductos alimentadores para los posteriores derrames basálticos.

Posteriormente, y como el tercero evento, ocurren lavas basálticas en bloques en la base del cráter “El Colorado”, que posteriormente, fueron cortados por la erupción de este volcán y además, formaron el anillo de tobas. Por último, petrográficamente, los fragmentos de rocas hospedados dentro de las tobas estudiadas confirman eventos volcánicos lávicos anteriores.

Este documento es una aproximación geológica y petrográfica a la compleja historia del Campo Volcánico El Pinacate, que enriquece el territorio Sonorense con una

geología impresionantemente reciente, en donde se pueden realizar diversos estudios.

### 6 Bibliografía

Alva-Valdivia, L. M., Rodríguez-Trejo, A., Vidal-Solano, J. R., Paz-Moreno, F., & Agarwal, A. (2019). Emplacement temperature resolution and age determination of Cerro Colorado tuff ring by paleomagnetic analysis, El Pinacate Volcanic Field, Sonora, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 369, 145-154.

Cázares Armenta, F. (2006). *Origen del freatomagmatismo basáltico-acalino cuaternario del cráter El Elegante, Campo Volcánico El Pinacate, Sonora, México-* (Ser. Tesis de Licenciatura). Departamento de Geología UNISON.

Guntmann, J., & Turrin Brent, D. (2006). The age of Crater Elegante, a maar in the Pinacate volcanic field. *Geologic Society of America*.

Henry, C. D., & Aranda-Gomez, J. J. (1992). The real southern Basin and Range: Mid-to late Cenozoic extension in Mexico. *Geology*, 20(8), 701-704.

Lynch, D. J. (1981). *Genesis and geochronology of alkaline volcanism in the Pinacate Volcanic Field Northwestern Sonora, Mexico* (dissertation). UA Campus Repository, Tucson, Arizona.

Rodríguez-Trejo, A., Alva-Valdivia, L. M., & Vidal-Solano, J. R. (2019). Paleomagnetism and rock magnetic properties of Late Pleistocene volcanism from El Pinacate Volcanic Field, northwest Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 96, 102368.

Stock, J. M., & Hodges, K. V. (1989). Pre-Pliocene extension around the Gulf of California and the transfer of Baja California to the Pacific plate. *Tectonics*, 8(1), 99-115.

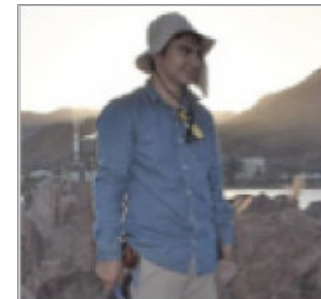
Vidal Solano, J. R. (2005). *Caracterización y cronología del evento volcánico terciario pre-pinacate, campo El Pinacate, Noroeste de Sonora, México*. Boletín Del Departamento De Geología, 18 y 19, 117–140.



**Daniela Martínez Valencia** es Geóloga egresada de la UNISON, actualmente se encuentra cursando el posgrado en Ciencias-Geología en la Universidad de Sonora bajo la temática petrogénesis ígneo-metamórfica. Ha participado en congresos nacionales e internacionales. Durante su formación profesional ha ganado premios nacionales. Ha colaborado en proyectos de investigación internacionales abriendo brecha para futuras generaciones en las ramas de geoquímica, petrología ígnea y metamórfica. Ha sido miembro del Instituto Nacional de Geoquímica durante dos años.



**José Antonio Enríquez Navarro** es geólogo egresado en la universidad de Sonora. Actualmente cursa la maestría en ciencias geología en la universidad de Sonora enfocado en los sistemas de plomería ígnea relacionados con yacimientos minerales. Se ha desempeñado como geólogo enfocado en cartografía geológica-minera y geoquímica por 6 años y medio. Tiene participaciones en cursos relacionados con yacimientos magmáticos hidrotermales en el NW de México, depósitos mesotermales de oro orogénico, cursos de software de Arcgis aplicado a la edición cartográfica y petrología de rocas félsicas anorogénicas. Ha impartido cursos relacionado con métodos cartográficos impartidos a estudiantes que cursan la carrera relacionada en ciencias de la tierra.



**Luis Alonso Velderrain Rojas** es Geólogo egresado del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora. Cuenta con una Maestría en Ciencias-Geología de la UNISON y un Doctorado en Ciencias de la Tierra por la UNAM, ambos grados obtenidos con mención honorífica. Su principal línea de investigación está enfocada en los sistemas de plomería ígneos y en el estilo, tiempo y distribución de la deformación asociado a límites de placas divergentes, a través de la observación directa de rocas en el campo, aplicando además petrografía, geoquímica, geología estructural y paleomagnetismo. Actualmente es Profesor del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora.

## La digitalización de afloramientos de rocas sedimentarias

Ramón López Jiménez

Colaborador de la Revista

El conocimiento en geología, y en particular de sedimentología, ha sido transferido y compartido con éxito durante cientos de años a través de dibujos en papel. De la misma manera que un botanista o zoólogo, un geólogo es capaz de recoger datos del campo con tan solo un papel y un lapicero en forma de dibujos (la Figura 1 muestra uno de los dibujos de un afloramiento geológico más antiguos que existen en los registros bibliográficos). Los dibujos de afloramientos y los mapas geológicos son dos de los más básicos formatos a partir de los que un geólogo representa las observaciones que realiza en el campo. Para un sedimentólogo, uno de los objetivos principales sería reflejar la distribución espacial y la geometría de las unidades sedimentarias (capa, miembro, formación grupo y supergrupo).

### La fotografía: una mejor representación de la realidad

La llegada de la fotografía supuso un avance espectacular en la recogida y la compartición de datos obtenidos de afloramientos (La Figura 2 muestra una de las fotografías más antiguas en el registro bibliográfico que se hayan tomado en un afloramiento con el objetivo de realizar un análisis geológico). Cualquier dibujo es una representación artística de la realidad, sin embargo, una fotografía es casi una perfecta representación en dos dimensiones de esa realidad. Cuanto más realista es la representación del afloramiento, mejor cualquier persona podrá observar características cualitativas y cuantitativas de este. Idealmente, los datos que se obtienen de afloramientos deberían poder ser compartidos exactamente tal y como una persona los observa físicamente in situ, de manera que se puedan observar y medir características de las rocas sedimentarias de ese afloramiento. Pero hay barreras que impiden tal representación de un afloramiento, por ejemplo: el amplio rango de escalas de todas esas características relevantes para el análisis geológico que se traducen en un infinito cantidad de datos que se pueden recoger o también el hecho de que algunos de los datos son cualitativos, de forma que su anotación o registro es subjetivo (por ejemplo, el color y la textura de la roca). Incluso usando la fotografía o el video, las imágenes que se obtienen muchas veces no son iguales que las que el ojo humano y el cerebro procesan. De forma que cuando uno regresa a la oficina o casa, y revisa las

fotografías tomadas en el campo, comprueba que la fotografía desfloramiento que fue observado no refleja algunas de las características que in situ fueron observadas por uno mismo. Las innovaciones tecnológicas de las últimas décadas han permitido registrar datos de afloramientos en un rango de escalas que ha mejorado la cantidad y la calidad de características geológicas que pueden ser compartidas con otras personas. En los siguientes párrafos se van a describir brevemente las mejoras que han ocurrido en la obtención de imágenes aéreas, desde drones y desde satélites, así como la llegada de la realidad virtual y aumentada.

### Las imágenes aéreas: aeronaves y satélites

Desde muy temprano los militares comprendieron las ventajas de tomar desde el aire imágenes de territorios tanto propios como ajenos. La perspectiva y las diferentes escalas de visualización que proporcionan las imágenes aéreas da una información muy valiosa sobre, por ejemplo, la posición y las rutas de escape de vehículos enemigos. Los geólogos también inmediatamente entendieron el valor de la fotografía aérea para las tareas de cartografía geológica. Geólogos de los Estados Unidos de América fueron pioneros en los años 20 en el uso de la fotografía aérea para diferenciar diferentes tipos de suelos y litologías a partir de los diferentes tonos en fotografías en blanco y negro. Sin embargo, el avance más significativo llegó con el despliegue de satélites que incorporaban lentes de gran resolución óptica y sensores de diferentes tipos. Los sensores, de hecho, fueron la clave para mejorar el análisis geológico a partir de imágenes obtenidas con satélites. Un gran salto cualitativo en este tipo de análisis sucedió gracias a las imágenes de satélite multispectrales, las cuales permitieron una cartografía predictiva de alta precisión para grandes territorios alrededor de la tierra. En 1972 La NASA lanzó el primer satélite multispectral a través de la misión Landsat. Los sensores multi espectrales miden la señal electromagnética en rangos específicos del espectro de luz solar haciendo posible la identificación de diferentes grupos de minerales. Hoy día, en 2022, el satélite con los sensores y lentes ópticas más avanzadas es el WorldView 3. Este satélite usa 16 bandas colocadas en longitud de onda visible y corta del infrarrojo. Esto hace posible la identificación de una mayor cantidad de grupos de minerales y de una manera más precisa, así como la mejora de la resolución espacial en la que se analiza el terreno llegando a un rango de entre 1.25 y 3.7 m (Figura 3). Los satélites sin duda alguna ayudan a cartografiar características geológicas del terreno en escala relativamente grandes, así como la identificación de unidades litológicas mentales regiones, pero, ¿qué ocurre

con la recogida y análisis de características geológicas en afloramientos que tienen escalas espaciales mucho más pequeñas? Los drones han revolucionado la adquisición de datos en estas escalas relativamente más pequeñas.

### La llegada de los drones: la democratización en la recogida de datos de afloramientos geológicos

Hoy día no es necesario pagar cientos o miles de dólares por el alquiler de un avión o un helicóptero privado para tomar fotos y vídeos desde el aire. Cualquiera puede comprar un dron por unos cuantos cientos de dólares y recoger datos del terreno durante años (¡a no ser que estrelles el dron!). Aún más importante, permite la toma de imágenes de afloramientos que antes eran inaccesibles. Los drones también han facilitado el desarrollo de técnicas como el Lidar o la fotogrametría. Estas técnicas tienen el objetivo de proporcionar modelos topográficos del terreno con gran resolución, y ahora gracias a los drones esto se puede realizar de una forma más barata que antes.

### Realidad virtual y aumentada

Las innovaciones actuales en el manejo qué almacenamiento de datos, así como los avances técnicos en hardware están permitiendo el desarrollo de nuevas herramientas de aprendizaje como las clases virtuales. ¿Pueden las clases virtuales con la ayuda de modelos digitales 3D y realidad aumentada transferir conocimiento

efectivamente de la misma manera que esto sucede con experiencias personales en el campo? Definitivamente no. Como instructor online y de cursos de campo he sometido a decenas de asistentes de cursos al análisis del mismo afloramiento en el campo y también a partir fotografías vídeos y modelos 3D. El resultado es muy claro: los que tienen la oportunidad de observar el afloramiento in situ describen muchos más elementos de la arquitectura sedimentaria que aquellos que han tenido acceso a fotografías vídeos e incluso modelos digitales 3D (puedes ver un ejemplo de las desventajas de los modelos 3D digitales en este video: <https://twitter.com/i/status/1572933147045552128>). En el área de la enseñanza, consultoría o 'training', la observación insuficiente de elementos geológicos de un afloramiento conlleva a una pobre transferencia de conocimientos y habilidades. No existe hoy día un modelo digital capaz de sustituir el grado de observación que permite una presencia personal en un afloramiento; pero tampoco debemos olvidar como drones y modelos digitales están permitiendo mostrar a cualquier persona en cualquier parte del planeta excelentes afloramientos en zonas remotas o antes totalmente inaccesibles. La mejor fórmula para aprender geología, es sin duda combinar las visitas in situ con material digital disponible. La digitalización de los afloramientos está tan solo comenzando.



Figura 1. Este dibujo de un afloramiento está considerado 1 de los más antiguos publicados. El autor, Georgious Agricola, Re quiso mostrar un depósito mineral en forma de una vena mineralizada que había en la Loma de una montaña. From "De re metallica" (1556), Page 45.



Figura 2. Fotografía obtenida de la página 128 del "Bulletin of the Geological Society of America" (1890). Title: Bulletin of the Geological Society of America. Year: 1890 (1890sa). Está considerada una de las fotografías más antiguas que existen de un afloramiento geológico.

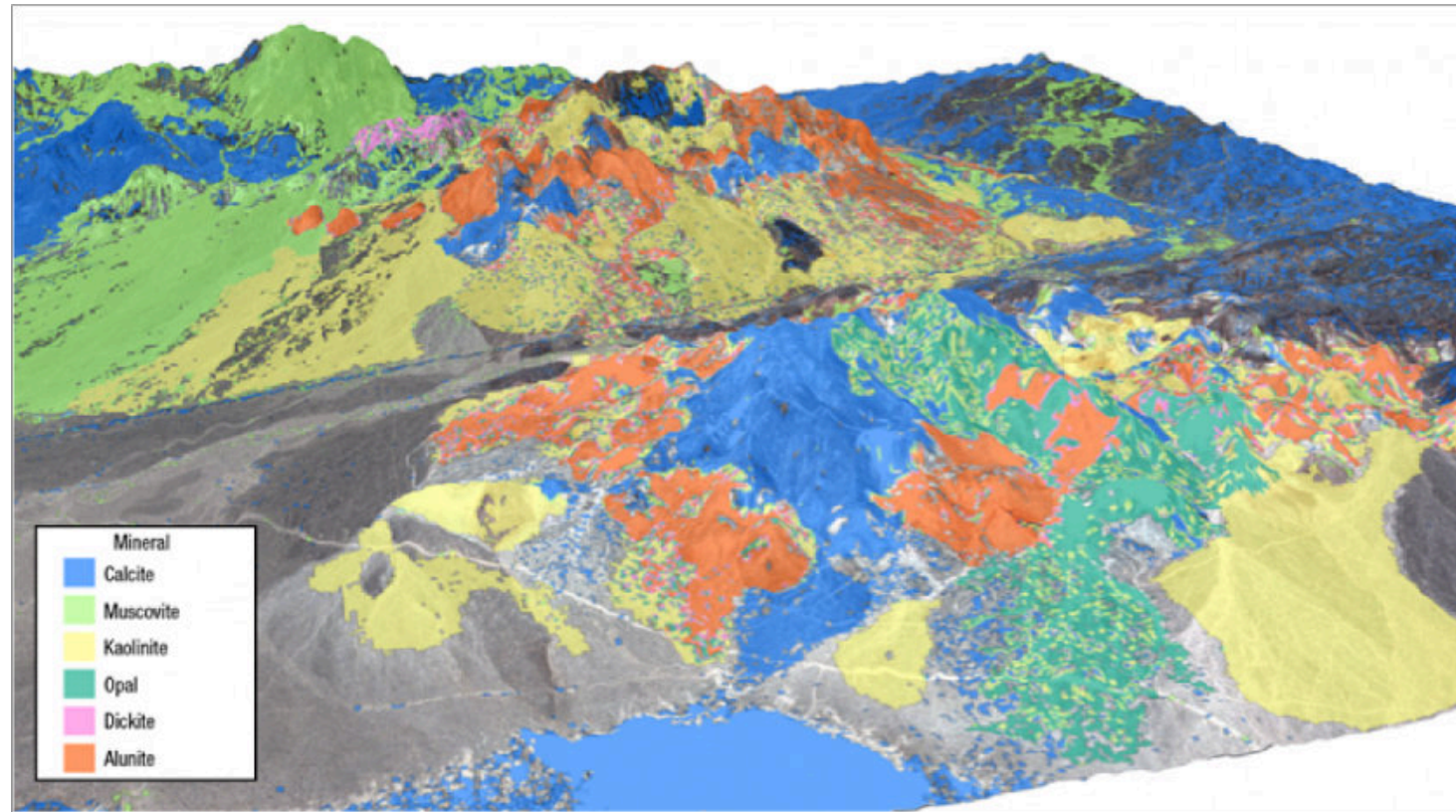


Figura 3. Mapa de minerales derivado del análisis espectral de imágenes de Cuprite Hills, Nevada, obtenidas del satélite WorldView-3 (50-cm resolución). Fuente: [www.earthmagazine.org/article/fieldwork-among-pixels-virtual-and-augmented-reality-diversify-geoscience-education](http://www.earthmagazine.org/article/fieldwork-among-pixels-virtual-and-augmented-reality-diversify-geoscience-education).



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

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

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

### Estudio petrológico de los diques de composición intermedia-máfica de la Sierra del Bachoco en Hermosillo: Los lamprófiros del Basin and Range en Sonora, México.

F.J. QUIRÓZ-AVECHUCO<sup>1</sup>, A.P. COTA-BURRUEL<sup>1</sup>, A. B. BRACAMONTES-SOTO<sup>1</sup>, O.E. TRUJILLO-RIVERA<sup>1</sup>, K. A. SANCHEZ-ALVARADO<sup>1</sup>, C. M. MORENO-GARCIA<sup>1</sup>, T. A. ARREDONDO-CONTRERAS<sup>1</sup>, A. C. MONTIJO-ANGULO<sup>1</sup>, K. RAMOS-HURTADO<sup>1</sup>, J. L. ANCHONDO-ALVAREZ<sup>2</sup>; P. G. ROBLES-ROBLES<sup>1</sup> y J.R. VIDAL-SOLANO<sup>2\*</sup>.

<sup>1</sup>Licenciatura en Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, 83000, México

<sup>2</sup>Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, 83000, México

Autor correspondiente: [\\*Roberto.vidal@unison.mx](mailto:Roberto.vidal@unison.mx)

#### Resumen

En el presente trabajo se presentan los resultados obtenidos bajo el proyecto de la materia de Temas Avanzados de Petrología Endógena dentro del programa de Geólogo en la Universidad de Sonora. En esta investigación se analizaron diques de composición intermedia-máfica con alteración propilítica por medio de estudios petrográficos, donde, además, los cortes de roca que fueron obtenidos en las muestras se utilizaron para adquirir algunos contenidos de elementos mayores y traza bajo un equipo portátil de Fluorescencia de rayos X (XRF). Los resultados permitieron clasificar y nombrar a las rocas utilizando la concentración de los elementos traza incompatibles inmóviles, así como conocer la variación química de su composición y su petrogénesis. La petrografía permitió reconocer y clasificar a los diques

como lamprófiros, corroborando los resultados de estudios realizados con anterioridad en la localidad, los cuales determinaron su edad al Oligoceno tardío – Mioceno temprano. Sin embargo, el estudio de estas rocas cobra de nuevo un interés geológico al conocer más sobre su ubicación espacial y temporal en Sonora, y poder entender mejor la historia evolutiva del magmatismo relacionado a la tectónica neógena del Basin and Range. Finalmente, se concluye en este estudio petrológico que, considerando las relaciones estructurales de los diques, estos fueron emplazados en fallas, que fueron reactivadas, promoviendo la circulación de fluidos hidrotermales que alteraron a la roca de moderada a fuertemente, marcando así al menos dos episodios extensivos importantes.

#### Introducción

El área de estudio denominada Sierra el Bachoco se encuentra ubicada al norte de la Ciudad de Hermosillo en la región central de Sonora, dentro de la provincia del Basin and Range del Sur (Henry y Aranda-Gómez 1992), entre el Golfo de California y la Sierra Madre Occidental (Figura 1). La geomorfología de esta área presenta valles, colinas y montañas alineadas NNW-SSE, donde pueden ocurrir picos de hasta casi 700 m de altura.

La geología de Hermosillo se compone generalmente de un basamento cristalino ígneo-metamórfico del Paleoceno, con granitos y granodioritas de arco volcánico continental, que ocurren en las montañas ubicadas en el margen oriental de la ciudad. Las rocas metamórficas que albergan a las unidades intrusivas son hornfels calcosilicatados y mármoles, cuyo protolito se trata de las rocas marinas paleozoicas que se encuentran a pocos kilómetros

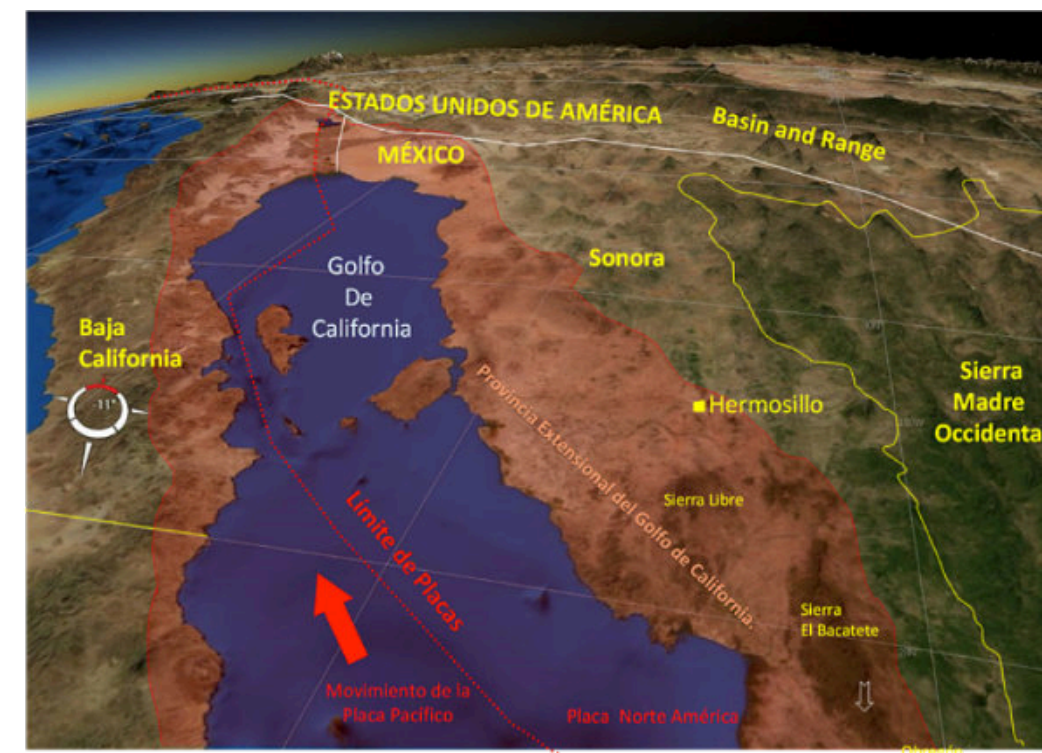


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio dentro del NW de México.

al Este de la ciudad, donde las compañías con plantas productoras de cemento explotan a estas rocas.

Las unidades litológicas del basamento fueron falladas y exhumadas durante un evento distensivo del Mioceno (Calmus et al. 2015), para luego ser cubiertas por depósitos detríticos poco consolidados y rocas volcánicas, que ocurren como lomeríos y colinas en el margen occidental de la ciudad. Estas rocas de cobertura son derivadas de la etapa final del arco volcánico en el Mioceno medio y el desarrollo de la apertura del Golfo de California en el Mioceno tardío (Vidal-Solano et al. 2005). Este último proceso de extensión cortical es responsable de una fuerte denudación en la región desde los 12 millones de años. Esta área geográfica es parte de la Provincia Intermontana del Basin and Range presente en el oeste de los Estados Unidos y el Noroeste México.

Lo diques estudiados corresponden a cuerpos verdosos de poco espesor (0.2 a 5m) fuertemente fracturados y fallados, que ocurren en forma de enjambre, pero bajo una orientación preferencial Nw-SE, cortando al basamento cristalino igneo-metamórfico. En la presente investigación se desarrolló la petrografía y la geoquímica

de una decena de diques con el objetivo de caracterizar sus rasgos petrológicos, clasificarlos, compararlos con los de trabajos previos y proporcionar nuevos datos sobre el significado geológico en la región.

#### Materiales y método

Para poder alcanzar los objetivos planteados en este tema de investigación se realizó una recopilación bibliográfica que integró diversos trabajos de tesis y artículos realizados en el área de estudio, con la finalidad de tener un panorama general de la distribución de las zonas donde afloran estas unidades, y de sus características geológicas, pero particularmente sobre los rasgos petrológicos reportados.

El trabajo de campo se realizó aprovechando una reciente zona de corte en la parte occidental de la sierra, cuya orientación E-W a lo largo de al menos 100m, permitió la exposición de decenas de diques (Figura 2). El muestreo de 14 ejemplares consideró obtener las rocas menos afectadas por la alteración (Figura 3A), tanto de las facies centrales con un tamaño de grano medio, como de las de borde con grano fino, e inclusive algunas zonas con bolsas pegmatoides de grano grueso (Figura 4E).



Figura 2. Aspectos de los diques estudiados. A, Enjambre de diques métricos ubicados en el límite oriental de la zona de estudio; B, Aspecto de dos de los diques muestreados, nótese su característico color verde, su fracturamiento y la poca área de roca encajonante (granitoide) entre ellos; C, Aspecto general en campo del corte que permite exponer tanto a los diques estudiados, que presentan un alto grado de fracturamiento, como a la roca encajonante granitoide de grano grueso, correspondiente a un batolito del Paleoceno.

El estudio petrográfico se llevó a cabo a partir de 14 láminas delgadas, que fueron obtenidas sobre cortes orientados en las muestras. La orientación de los cortes fue establecida tomando en cuenta el arreglo mineral dictado por el emplazamiento de los diques, cuidando obtener superficies perpendiculares a la foliación y paralelas a la lineación mineral (Figura 3B).

El estudio geoquímico por Fluorescencia de Rayos X de dispersión de energía (FRX-ED) se realizó en un equipo portátil Thermo Fisher Scientific Niton FXL del Laboratorio de Cristalografía y Geoquímica de la Universidad de Sonora (Figura 3C), en 9 muestras de roca preparadas como secciones pulidas (talón de roca de 2.4 cm de diámetro y 2.1 cm de largo) siguiendo el protocolo establecido en Ochoa-Alcalá y Vidal-Solano, 2020.

Tanto el área de medición del equipo analítico, como las superficies de las muestras de roca analizadas, se limpiaron con papel y alcohol para evitar cualquier tipo de contaminación (e.g. polvo, grasa de las manos). Para llevar a cabo la medición analítica se utilizó el método de análisis Test all Geo proporcionado por el fabricante del instrumento, con el cual es posible medir los siguientes elementos: Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, K, P, Rb, Sr, Ba, Y, Zr, Nb, V, Cr, Cu, Ni, Zn y Th, siendo posible contar con algunos de los elementos mayores y traza de uso petrogenético. Se realizaron tres mediciones puntuales en un área de 1 cm<sup>2</sup> en una cara de los talones de roca bajo un tiempo de 120 segundos.

#### Resultado Petrográfico



Figura 3. Ilustración de la toma de datos y análisis geoquímico. A, Obtención de muestras y toma de datos en la zona de estudio. B, control de la muestra de mano (Sobrante) después de la realización de la lámina delgada, donde se observa la línea de corte establecida de acuerdo con la petrofábrica definida, y el talón o testigo de la lámina delgada con el que se realizaron los estudios geoquímicos; C, equipo de fluorescencia de rayos X utilizado para determinar las concentraciones de ciertos elementos químicos.

El estudio petrográfico arrojó que en estas rocas dominan los ferromagnesianos con alrededor del 50% de los cristales, que son mayormente hidratados de tipo anfíbol y en menor proporción anhidros como el clinopiroxeno (Figura 4).

Algunas de las rocas estudiadas presentan una textura porfídica de clinopiroxeno y en otras domina la presencia de una textura euhedral granular de grano fino, o medio, o grueso, de tipo poikilitica, donde se observan oicocristales de plagioclasa (oligoclasa) y chadacristales de anfíbol y clinopiroxeno (Figura 4). En todos los diques se presentan la misma mineralogía, pero diferente tamaño de grano y un grado variable de alteración de tipo propilítico con clorita, epidota y calcita.

#### Resultado geoquímico

Utilizando las relaciones de los elementos traza incompatibles e inmóviles como el Zr, Ti, Nb e Y por medio del diagrama de Pearce (1996; Figura 5A) fue posible determinar que todas las rocas analizadas tienen una afinidad subalcalina, y que se clasifican como rocas intermedias a máficas (andesita-andesita basálticas). Mientras que los contenidos de Ti y Zr las permiten asociar a una serie magmática calcoalcalina (Pearce y Cann, 1973; Figura 5B), que presenta altos valores en K (1- ~3%), Ca (6-10%), Ba (hasta 1000ppm) y Sr (hasta 1100ppm) (Figura 6).

#### Discusión

##### Clasificación y nomenclatura

De acuerdo con la subcomisión para la clasificación de las rocas ígneas, de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS por sus siglas en inglés; Le Maitre et al.,

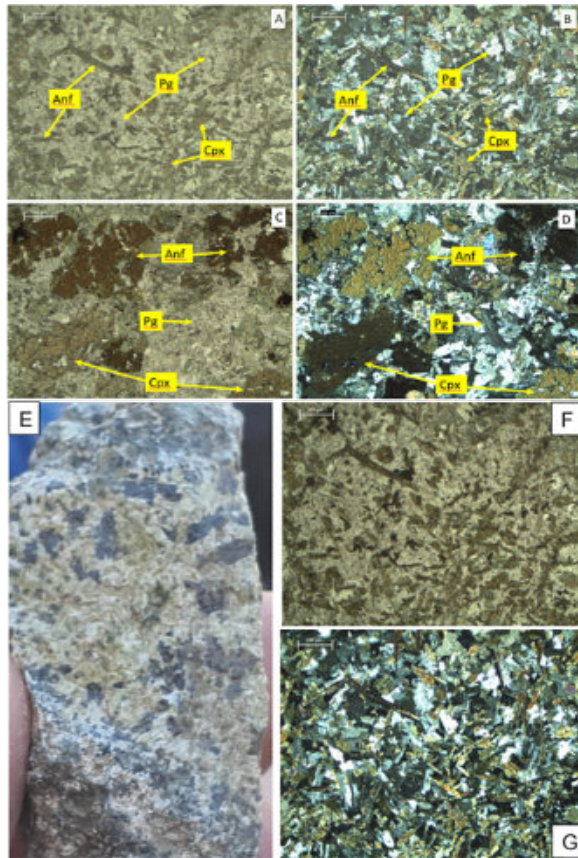


Figura 4. Imágenes de las rocas estudiadas mostrando la mineralogía representativa y el gran desarrollo de ferromagnesianos hidratados: A-D, F y G fueron obtenidas en un microscopio óptico con lente de 2.5x. Las fotografías B, D y G son en Luz natural, las fotografías A, C y F son con núcleos cruzados (luz polarizada); E, aspecto de una muestra de una mano donde se observa una cristalización pegmatoides con desarrollo de Anfíbol y Epidota.

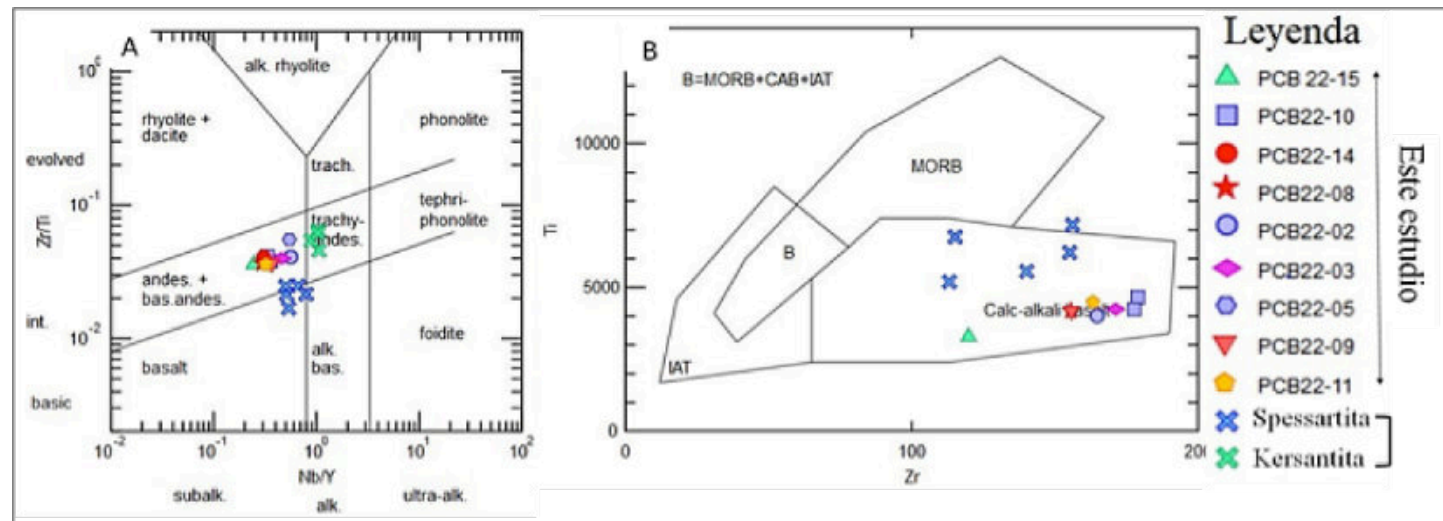


Figura 5. Diagramas de clasificación química bajo el uso de elementos traza incompatibles e inmóviles de las muestras estudiadas. A, Diagrama de clasificación Zr/Ti vs Nb/Y propuesto por Pearce (1996); B, Diagrama Ti vs Zr de Pearce y Cann (1973). Las muestras de Espesartitas y Kersantita corresponden a lamprófiro estudiados en Hermosillo por Orozco-Garza et al., 2013.

2002), los lamprófiro son un grupo diverso de rocas que químicamente no se pueden separar fácilmente de otras rocas ígneas comunes, por lo que no puede utilizarse un diagrama químico para su clasificación y nomenclatura. No obstante, mineralógicamente tampoco pueden clasificarse por medio del diagrama QAPF utilizado comúnmente para

las rocas intrusivas. La particularidad de estas rocas tradicionalmente se ha distinguido por las siguientes características:

(1) Se presentan como diques y no son simplemente variedades texturales comunes de rocas plutónicas o volcánicas.

(2) Son porfíricas, mesocráticas a melanocráticas ( $M' = 35 - 90$ ) pero raramente holomelanocráticas ( $M' > 90$ ). Donde "M" se refiere a la cantidad modal de los ferromagnesianos más los óxidos de Fe-Ti que contiene una roca.

(3) Los feldespatos y/o feldespatoideos, cuando están presentes, están restringidos a la matriz.

(4) Generalmente contienen biotita esencial o Fe-flogopita y/o anfíboles y, a veces, clinopiroxeno.

(5) La alteración hidrotermal del olivino, piroxeno, biotita y plagioclasa, cuando está presente, es común.

(6) Calcita, zeolitas y otros minerales hidrotermales pueden aparecer como fases primarias.

(7) Tienden a tener contenidos de  $K_2O$  y/o  $Na_2O$ ,  $H_2O$ ,  $CO_2$ , S,  $P_2O_5$  y Ba que son relativamente altos en comparación con otras rocas de composición similar.

De acuerdo con los criterios anteriores las rocas aquí estudiadas cumplen siendo diques con texturas particulares, porfíricas mesocráticas a malonocráticas ( $M > 30$ ), con anfíbol y clinopiroxeno, con feldepatos solo presentes en la matriz y con una alteración hidrotermal representada por epidota, clorita y calcita. Siguiendo las recomendaciones de la IUGS, para la clasificación y nomenclatura de estas rocas magmáticas (Le Maitre et al., 2002), la Tabla 1 permite distinguir variedades de lamprófiro basado en su mineralogía, por lo que los diques petrográficamente estudiados en este trabajo se clasifican como Espesartita (Spessartite) debido a la asociación mineral de Plagioclasa mayor que Feldespato Alcalino, sin presencia de Feldespatoideos, con minerales ferromagnesianos como anfíbol y clinopiroxeno, y sin biotita.

**Petrogénesis**

Light-coloured constituents		Predominant mafic minerals		
feldspar	foid	biotite > hornblende, $\pm$ diopsidic augite, ( $\pm$ olivine)	hornblende, diopsidic augite, $\pm$ olivine	brown amphibole, Ti-augite, olivine, biotite
or > pl	-	minette	vogesite	-
pl > or	-	kersantite	spessartite	-
or > pl	feld > foid	-	-	sannaite
pl > or	feld > foid	-	-	camptonite
-	glass or foid	-	-	monchiquite

Tabla 1. Tabla que muestra la clasificación modal para los lamprófiro recomendada por la IUGS (Le Maitre et al., 2002). De acuerdo a las relaciones mineralógicas, las rocas aquí estudiadas se clasifican como Espesartitas.

Para observar el comportamiento de los elementos traza, en las muestras analizadas en este trabajo, se utilizó un diagrama multi-elemental normalizado a MORB (Pearce, 1983; Figura 6A). De manera general, las muestras presentan un enriquecimiento de los LILE (Large Ion Lithophile Elements; Sr, K, Rb y Ba) con respecto a los HFS (High Field Strength Elements; Th, Nb, Ce, P, Zr, Hf, Ti, Y), con anomalías positivas en Ba, Th y Ce, y anomalías negativas en Nb, P y Ti, que son deseables de acuerdo con su clasificación como rocas calcocalcálicas de composiciones básicas a intermedias.

Los resultados muestran una similitud general de acuerdo a la forma de los espectros de todas las muestras analizadas, lo que asegura su vínculo genético. Estos patrones comparados con respecto a los datos de los diques lamprofíricos estudiados por Orozco-Garza et al, (2013) en la región de Hermosillo, aunque presentan un paralelismo, pueden mostrar una ligera diferencia relacionada a los distintos tipos de métodos analíticos utilizados. La comparación señala que existe una mejor

relación entre las rocas aquí estudiadas y las rocas de tipo espesartita. Sin embargo, es posible observar ligeras diferencias en las tendencias de los elementos, con respecto a las muestras de las rocas de tipo kersantita, que presentan un mayor enriquecimiento, lo cual puede indicar una mayor diferenciación magmática para desarrollar a esos especímenes.

Considerando el contenido de Zr como un índice de diferenciación entre los lamprófiro aquí estudiados y los de la literatura, es posible observar una buena correlación con los elementos mayores K, P, Ca y Mn, así como con los Traza Ba y Sr, mostrando que las kersantitas provienen de magmas más diferenciados (Figura 6B).

**Contexto tectónico y fuente**

Según Orozco-Garza y colaboradores (2013) los diques lamprofíricos de Hermosillo tienen firmas isotópicas radiogénicas de Sr y Nd que sugieren que los magmas derivan del manto litosférico subcontinental, que fue

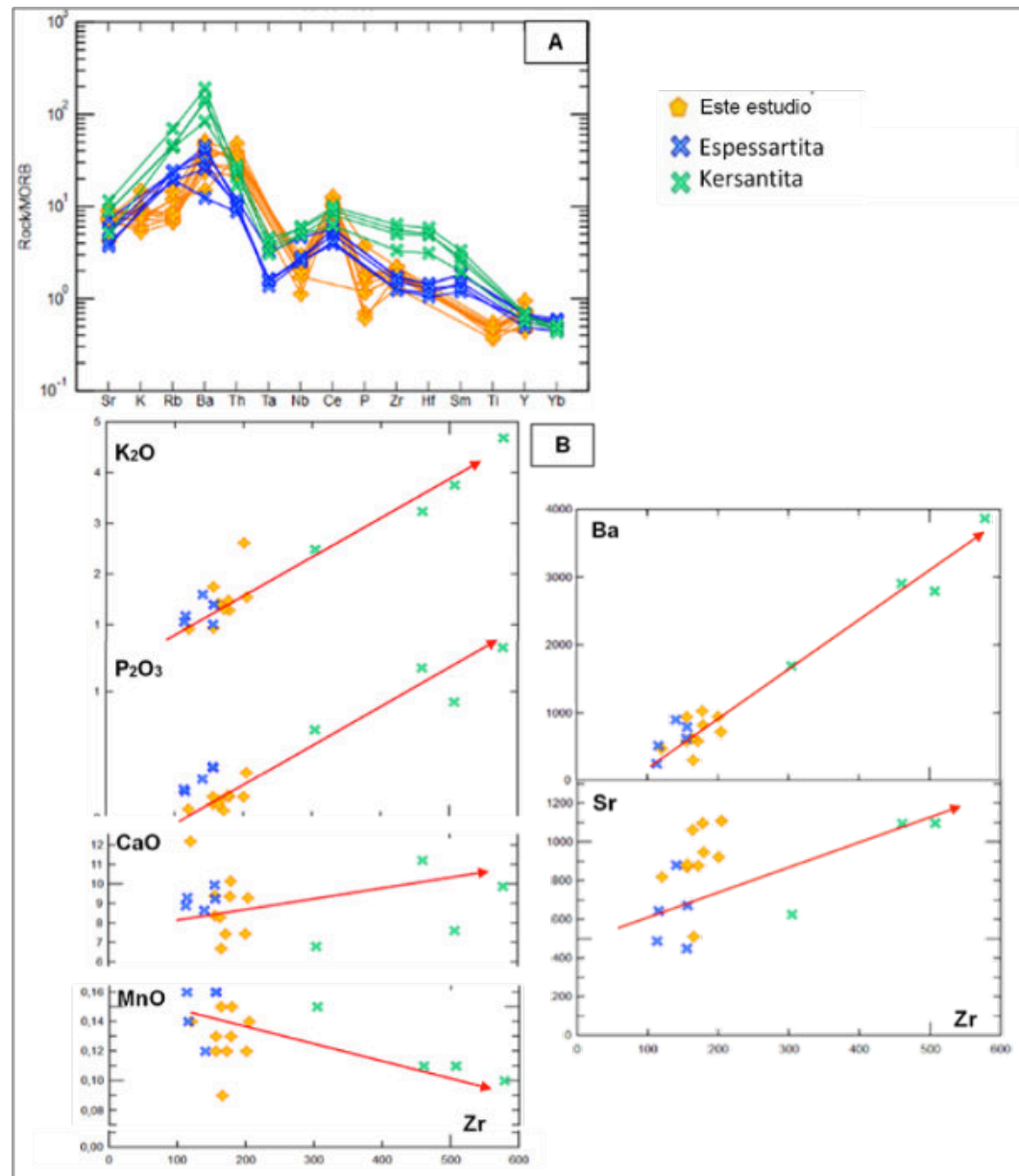


Figura 6. Diagramas geoquímicos para las muestras estudiadas. A, Diagrama multielemental normalizado con MORB propuesto por Pearce (1996); B, Diagramas de correlación de elementos mayores y traza vs Zr como índice de diferenciación. Las muestras de Espesartitas y Kersantita corresponden a lamprófirios estudiados en Hermosillo por Orozco-Garza et al., 2013.

previamente modificado por fluidos relacionados con la subducción. Estas características pueden representarse por el aumento en las relaciones de Ba/Y y Ba/Nb, con respecto a las de la fuente del manto superior astenosférico o las de un manto primitivo, debido a las altas concentraciones del Ba en los componentes de subducción. Comparando esos valores en los lamprófirios aquí estudiados con los de las rocas de Arco de la costa de Sonora, se observa que poseen los mismos contenidos elevados en los cocientes Ba/Y y Ba/Nb (Figura 7), atestiguando una fuente de origen similar. Recientemente,

Velderrain-Rojas y Vidal-Solano (2022) propusieron que el magmatismo de rift del Mioceno medio-tardío, ligado al límite oblicuo-divergente de las placas Pacífico y Norte América en la Costa Sur de Sonora, posee una firma híbrida entre toleítica y calcoalcalina derivada de una fuente mantélica metasomatizada por procesos de subducción. Ese magmatismo anorogénico, aunque muestra una herencia de una fuente similar a las rocas de arco, posee valores más bajos en los cocientes de Ba con Y y Nb (Figura 7), atestiguando que la firma dejada por la subducción no ha sido del todo borrada en el manto.

Finalmente, los resultados obtenidos con este estudio, aunados a las fechas (21 a 25 Ma) y los resultados obtenidos por Orozco-Garza y colaboradores (2013), permiten establecer que los lamprófirios de Hermosillo derivan de magmas originados por los procesos de subducción de la placa Farallón debajo de la placa norteamericana, y fueron emplazados gracias al contexto distensivo del Basin and Range que imperaba en ese tiempo. Ese mismo evento tectónico permitió posteriormente deformar los diques, reactivando las fallas donde fueron emplazados, así como alterarlos por fluidos hidrotermales asociados al contexto, y por último exhumarlos a la superficie.

### Conclusiones

- Las rocas estudiadas se clasifican como Espesartitas de composición máfica-intermedia y aunque presentan pequeñas diferencias con los diques previamente estudiados en Hermosillo, podemos decir que tanto el origen como sus edades y las condiciones de emplazamiento son similares.
- El posible origen del magma de estas rocas proviene de una zona mantélica afectada por la subducción de la placa Farallón bajo la placa Norte Americana, en donde se propone que estos diques lamprófirios fueron emplazados en el Oligoceno tardío-Mioceno temprano durante el evento distensivo Basin and Range.

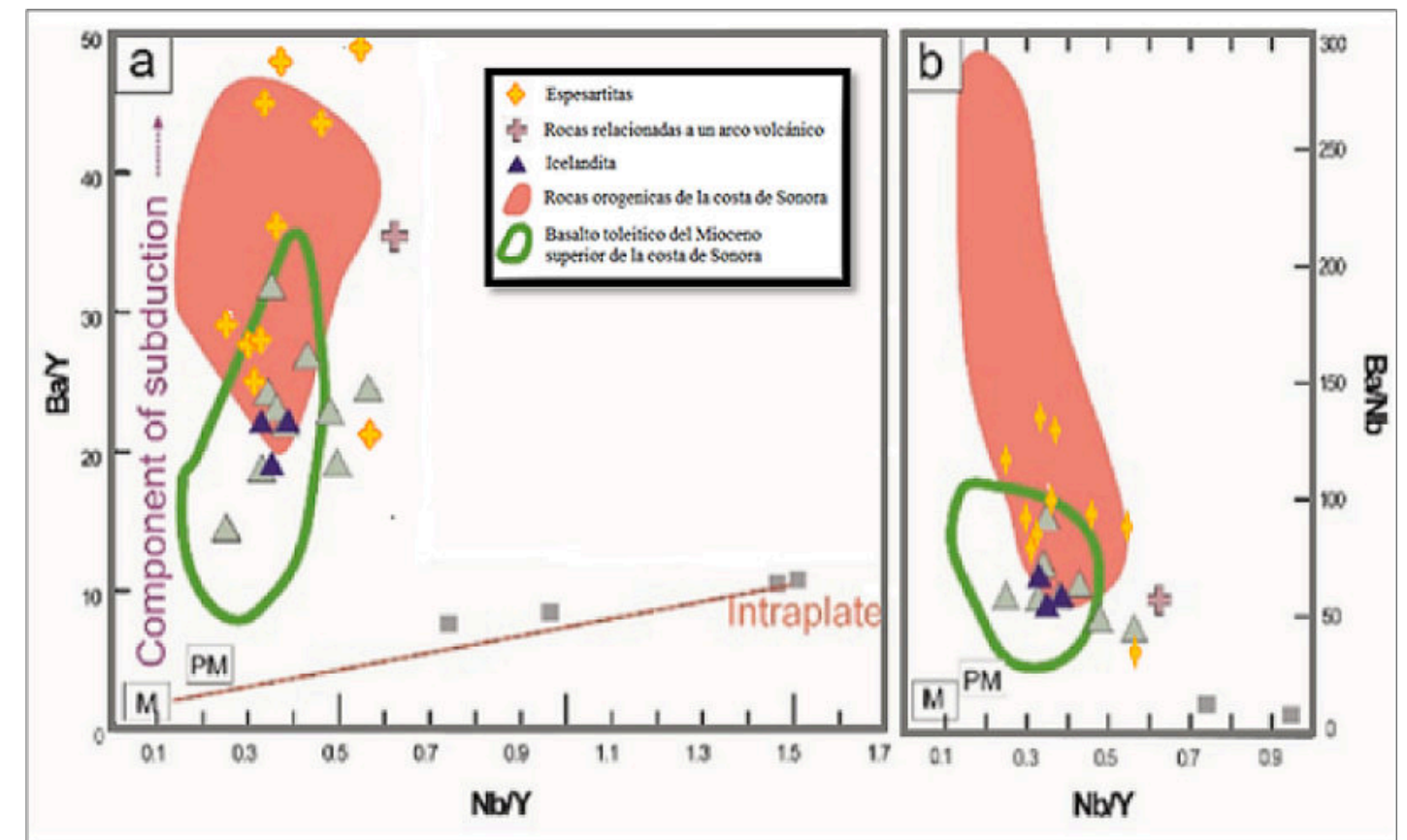


Figura 7. Diagrama de Ba/Y y Ba/Nb vs. Nb/Y modificado de Velderrain-Rojas y Vidal-Solano, 2022, mostrando la influencia del componente de subducción propuesto por Cameron et al, (1989), para las rocas magmáticas de la Costa Sur de Sonora que comprende a rocas volcánicas relacionadas con arco y rocas volcánicas relacionadas con el rift. Muestras de Islanditas (Vidal-Solano et. Al., 2008); Basaltos alcalinos OIB (Paz Moreno, 1992); Diques Lamprófirios clasificados como espesartitas en este trabajo; M, MORB (Fitton y Dunlop, 1985); PM, Manto Primitivo (Thompson et al., 1982).

- Utilizando los recursos de la universidad y con ayuda de los docentes, fue posible realizar el presente estudio de caso de una manera práctica, en relativamente poco tiempo, y bajo un proyecto de clase, permitiendo un aprendizaje más efectivo de la petrología magmática.

### Agradecimientos

Al técnico del taller de laminado del Departamento de Geología UNISON, Edgar Manuel Alcantar, por la elaboración de las secciones delgadas, así como a las Dras.

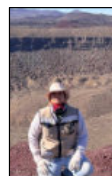
Belem Gonzalez Grijalva y Diana María Meza Figueroa del Laboratorio de FRX del Departamento de Geología Unison por el apoyo para el análisis de elementos mayores y traza.

**Bibliografía**

Orozco-Garza Alberto, Dostal Jaroslav, Duncan Keppie J., Paz-Moreno Francisco A., (2013). Mid-Tertiary (25–21 Ma) lamprophyres in NW Mexico derived from subduction-modified subcontinental lithospheric mantle in an extensional backarc environment following steepening of the Benioff zone. *Tectonophysics*, V. 590, 59-71, ISSN 0040-1951, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.01.013>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040195113000462>)

Calmus, T., Bernet, M., Lugo-Zazueta, R., Hardwick, E., & Mendivil-Quijada, H. (2015). Apatite fission-track thermochronology of Laramide plutonic rocks in northwestern Mexico: Distinguishing Basin and Range extension versus Gulf of California rifting. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 32, 529–541. <https://doi.org/10.22201/cgeo20072902e.2015.3>

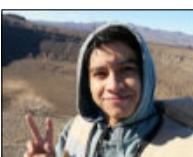
Henry, C. D., & Aranda-Gomez, J. J. (1992). The real southern Basin and Range: Mid-to-late Cenozoic extension in Mexico. *Geology*, 20, 701–704. [https://doi.org/10.1130/0091-613\(1992\)020%3c0701:TRSBAR%3e2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-613(1992)020%3c0701:TRSBAR%3e2.3.CO;2)



**Francisco Javier Quiroz Avechucu** está por concluir la carrera de Licenciatura en Geología en la Universidad de Sonora. Participó en la presentación de un cartel sobre los diques lamprófidos en la RUIIM XXV (Reunión Universitaria de Investigación en Materiales), como parte de un proyecto de la asignatura de Petrología Endógena en conjunto con sus compañeros de clase y el maestro Jesús Roberto Vidal Solano. [A212220763@unison.mx](mailto:A212220763@unison.mx)



**Andrea Paola Cota Burruel**, estudiante de licenciatura en Geología en la Universidad de Sonora, se encuentra cursando su etapa final de estudios de licenciatura, ha participado en eventos académicos relacionados a la petrología endógena, actualmente se encuentra desarrollando un proyecto de investigación en conjunto con sus compañeros de clase y el profesor Jesús Roberto Vidal Solano.



**Ángel Bulmaro Bracamontes Soto** por concluir estudios de licenciatura en Geología en la Universidad de Sonora. Participó en un proyecto de la clase de temas avanzados en petrología endógena, relacionado a lamprófidos, a cargo del Dr. Jesús Roberto Vidal Solano, proyecto que se presentó posteriormente en la RUIIM XXV (Reunión Universitaria de Investigación de Materiales).



**Omar Eduardo Trujillo Rivera**, estudiante de la Licenciatura en Geología de la Universidad de Sonora. Participó en un proyecto de la materia de Petrología Endógena impartida por el Dr. Jesús Roberto Vidal Solano “Estudio petrográfico de los diques alterados de composición intermedia en La Sierra del Bachoco, Hermosillo, Sonora, México” presentado en la pasada XXV RUIIM (Reunión Universitaria de Investigación de Materiales). [a217203062@unison.mx](mailto:a217203062@unison.mx)

Le Maitre, R. W. (2002). *Igneous rocks, a classification and glossary of terms* (2.a ed.). Cambridge University Press.

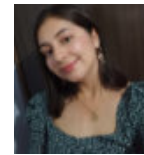
Ochoa-Alcalá Dulce Adilene y Vidal-Solano Jesús Roberto (2020). Geoquímica por FRX-ED semi-portátil en secciones y polvos de rocas volcánicas básicas del Mioceno superior en la región costera sur de Sonora, México: Utilidades y ventajas en la aplicación de estudios petrológicos. *Actas INAGEQ*, V. 26, 30-39.

Velderrain-Rojas Luis Alonso and Vidal-Solano Jesús Roberto (2022). Middle-late Miocene rift-related magmatism in Guaymas, Sonora, Mexico at the eastern margin of the Gulf of California: Petrogenetic implications associated to the Pacific-north American plate boundary, *Applied Geochemistry*, Volume 148, 105508, ISSN 0883-2927, <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2022.105508>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0883292722003122>)

Vidal-Solano, J. R., Paz-Moreno, F. A., Iriondo, A., Demant, A., & Cochemé, J. J. (2005). Middle Miocene peralkaline ignimbrites in the Hermosillo region (Sonora, Mexico): Geodynamic implications. *Comptes Rendus Geoscience*, 337, 1421–1430. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2005.08.007>



**Karla Anaid Sanchez Alvarado**, es Estudiante de la Licenciatura en Geología en la Universidad de Sonora. Participó en el proyecto de clase de Petrología Endógena impartida por el Dr. Jesús Roberto Vidal Solano, el cual habla de los diques lamprófidos de la Sierra El Bachoco de Hermosillo, Sonora. Dicho proyecto fue presentado en la RUIIM XXV (Reunión Universitaria de Investigación de Materiales). [a217200392@unison.mx](mailto:a217200392@unison.mx)



**Casandra Maylee Moreno García**, estudiante de Licenciatura en Geología en la Universidad de Sonora. Actualmente se encuentra desarrollando su tesis en un proyecto de investigación que tiene como objetivo definir la continuidad de la Provincia del Rift del Río Grande en Chihuahua, donde se involucran las temáticas de petrología y petrogénesis ígnea, geoquímica, tectónica, entre otras. Ha participado en eventos de difusión científica como el XXXII Congreso Nacional de Geoquímica INAGEQ (Instituto Nacional de Geoquímica) y la RUIIM XXV (Reunión Universitaria de Investigación en Materiales). [a217210663@unison.mx](mailto:a217210663@unison.mx)



**Tania Abigail Arredondo Contreras** es estudiante de la licenciatura en Geología de la Universidad de Sonora, ha participado en proyectos de divulgación científica de geología general, y actualmente se encuentra en la etapa final del desarrollo de su tesis en un proyecto relacionado a rocas félsicas anorogénicas. [a217210157@unison.mx](mailto:a217210157@unison.mx)



**Ana Cristina Montijo Angulo**, es estudiante de la carrera de Geología en la Universidad de Sonora. Actualmente, es integrante del proyecto de divulgación geocientífica “La Rocateca” como creadora de contenido audiovisual y divulgación en redes sociales.



**Kevin Ramos Hurtado**, es un estudiante de la Carrera de Geología de la Universidad de Sonora. En la actualidad es integrante del grupo de divulgación geo-científica “La Rocateca” contribuyendo en la creación de contenido audiovisual y divulgación en redes sociales.



**Juan Luis Anchondo Álvarez**, estudiante de Licenciatura en Geología de la Universidad de Sonora. Participó en el proyecto de clase de Petrología Endógena impartida por el Dr. Jesús Roberto Vidal Solano, el cual habla de los diques lamprófidos de la Sierra Bachoco de Hermosillo, Sonora. Dicho proyecto fue presentado en la RUIIM XXV (Reunión Universitaria de Investigación de Materiales).



**Perla Guadalupe Robles Robles** es egresada de la licenciatura en Geología en la Universidad de Sonora, actualmente forma parte del proyecto de investigación “El Rift del Río Grande en México, ¿posible fuente de REE?” a cargo del Dr. Jesús R. Vidal. Sus principales áreas de interés son la petrología ígnea, hidrología y riesgos geológicos. [PerlaGpe\\_Robles@hotmail.com](mailto:PerlaGpe_Robles@hotmail.com).



**Jesús Roberto Vidal Solano** es doctor en Geociencias por la Universidad Paul Cézanne en Francia y realizó un postdoc en el Laboratorio Sismológico del Caltech en EEUU. Fue egresado de los programas de Geólogo y de la Maestría en Ciencias-Geología de la Universidad de Sonora en donde actualmente es profesor investigador desde hace 17 años. Es divulgador geocientífico y fundador del proyecto La Rocateca [www.rocateca.uson.mx](http://www.rocateca.uson.mx) y actualmente es secretario del Instituto Nacional de Geoquímica AC. Su investigación científica de tipo básico se centra en la obtención de conocimiento sobre los procesos magmáticos y geodinámicos de la litosfera, en particular de los vestigios petrológicos y tectónicos de los últimos 30Ma en el límite transformante de las placas Pacífico-Norte Americana. Sus investigaciones científicas de tipo aplicado se enfocan en el estudio de geomateriales para la solución de problemas geoarqueológicos, paleoclimáticos y de yacimientos minerales no-metálicos en el NW de México. [Roberto.vidal@unison.mx](mailto:Roberto.vidal@unison.mx)



**Acondicionamiento de imágenes sísmicas con datos PSTM para la delimitación de estructuras salinas utilizando atributos sísmicos**

Ing. Agustín Uribe de Santiago, M. en C. Luis Angel Valencia Flores.

Derivado del Proyecto de Investigación SEPI ESIA TICOMÁN: Análisis geológico de los espesores, geometría y distribución de rocas terciarias potencialmente almacenadoras de hidrocarburos en la cuenca petrolera Salina del Istmo, México.

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI) ESIA Ticomán, Ciudad de México, México.

**RESUMEN**

La exploración petrolera con sísmica de reflexión ha evolucionado durante las últimas décadas y uno de los avances tecnológicos más importantes ha sido la obtención de imágenes sísmicas con mejor relación señal-ruido, gracias a la migración pre-apilamiento (*Pre-Stack*). Este tipo de avances ha surgido a raíz de explorar zonas con modelos geológicos complejos, un ejemplo de ellos son las estructuras salinas, las cuales por su variación lateral de velocidad y composición genera una gran incertidumbre para definir los límites de los domos salinos, los cuales funcionan como trampas petrolíferas.

Este trabajo tiene como fin mostrar una metodología para delimitar estructuras con fuertes variaciones laterales de velocidad, enfocándose en un ejemplo de la Cuenca Salina de Istmo. La metodología se desarrolló debido a la falta de

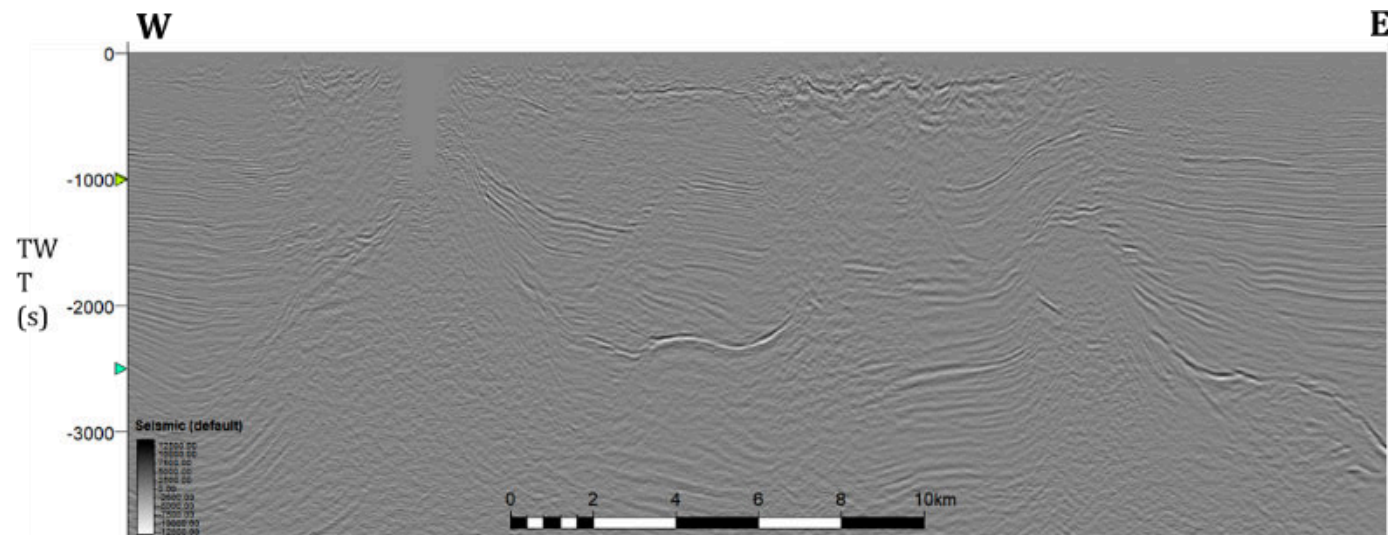
insumos al momento de empezar a construir el modelo estructural de la zona, al no contar con más información que la sísmica en dominio del tiempo y profundidad y una cantidad considerable de pozos, pero sin más que los registros de potencial espontáneo y normal larga y corta, se dio a la tarea de idear una manera diferente de identificar y delimitar de manera adecuada las principales estructuras geológicas de la zona.

El flujo que se presenta cuenta con datos sísmicos de una adquisición Migrada en Tiempo Pre apilada (PSTM), y se enuncian los pasos que se siguieron para aplicar una serie de atributos sísmicos para observar y posteriormente delimitar los cuerpos salinos basándose en la teoría detrás del análisis de atributos sísmicos.

**INTRODUCCIÓN**

El decaimiento de la producción, en grandes yacimientos dentro de campos maduros, ha abierto la oportunidad de exploración petrolera en zonas donde anteriormente la complejidad geológica imposibilitaba la prospección y mucho más la explotación de los recursos.

Con el avance de la tecnología de adquisición y la migración de datos sísmicos como las migraciones preapilada en tiempo (*PSTM*) y en profundidad (*PSDM*) se han iluminado zonas donde antes no se tenían acceso. Aunque las nuevas tecnologías de imagen sísmica implementan algoritmos que ubiquen los cuerpos en su posición original y definan mejor algunas estructuras y reflectores, aún en zonas subsalinas, la dispersión de la energía sísmica debido a la atenuación de la energía por los cuerpos de sal ofrecen una relación señal ruido muy por debajo de lo esperado para una buena identificación de cuerpos geológicos, como lo son estructuras salinas (domos, pilares, canopis, etc.), anticlinales, fallas, entre otros (*Figura 1*).



**Figura 1.** Sección sísmica del cubo dentro de la Cuenca Salina del Istmo. Se logran apreciar dos estructuras asociadas a la evacuación de sal, la estructura de la izquierda no se logra definir adecuadamente en la cima, tanto por la falta de detectores como por el tipo de migración que utiliza trazado de rayos, la cual no ilumina de manera adecuada la estructura y forma una especie de cono inverso que se puede confundir con una falla. En el centro se encuentra un reflector fuerte que fácilmente se puede asociar a un reflector de estrato o a un caprock, aquí la habilidad del intérprete juega un papel importante en la aproximación de este evento. Por su parte, la estructura de la derecha igualmente asociada a una evacuación de sal tiene problemas en la definición de su flanco izquierdo.

La capacidad para poder identificar y definir estas estructuras de manera adecuada desde la exploración es una tarea importante para los intérpretes sísmicos, ya que, al ubicarlas correctamente se podrá hacer un cálculo más acertado de la probabilidad de éxito geológico y con ello el cálculo del volumen del yacimiento, así como la posibilidad de reducir la incertidumbre que genera el cálculo de la trampa.

Es importante recalcar que la información con la que se cuenta es únicamente con los cubos sísmicos preapilados y migrados en tiempo (*PSTM*) y profundidad (*PSDM*). Si se contara con alguna otra información como el cubo de velocidades o los *gathers* de la sísmica, así como reportes de perforación donde se especifique el contacto con sal, o trabajos con métodos potenciales con gravimetría o magnetometría, etc. Ello resultaría en otro tipo de metodología o mejoramiento de la que se desarrolló.

Por todo lo anterior, se ha tomado la iniciativa de realizar este estudio para poder acondicionar la imagen sísmica y definir de mejor manera estructuras salinas que funcionen como trampas estructurales y/o sellos, para la identificación de yacimientos del Mioceno Superior en la cuenca Salina de Istmo, esto con la finalidad de obtener un mapa del yacimiento (Superficie del Mioceno Superior) y de formaciones de interés y así reducir costos en la perforación al tener ubicadas estas estructuras y generar un plan adecuado para la extracción de los recursos petrolíferos.

La metodología se divide en 3 secciones principales: análisis de frecuencias, atributos de volumen basados en la amplitud y atributos basados en tiempo. Como primer punto se busca obtener el rango de frecuencias útiles y generar filtros que nos permitan tanto visualizar como discretizar ciertas frecuencias dentro del área de estudio,

principalmente bajas frecuencias asociadas a rocas de basamento y el ruido dentro de estructuras salinas y el rango de frecuencias de las formaciones de interés.

Como segundo punto, nos enfocaremos en generar una imagen sísmica lista para empezar la interpretación de fallas y horizontes aplicando un flujo de atributos de volumen que nos permitirá tener una mejor imagen aún, principalmente se utilizarán atributos como *Structural Smoothing*, *Caos*, *Varianza* y *Amplitud*. Por último, aplicaremos los atributos basados en tiempo para definir y medir las zonas donde la relación señal-ruido genera una incertidumbre y encontrar el límite de las estructuras salinas, los dos principales atributos que utilizarán son iluminación de echados y *Amplitud de Contraste*.

**Atributos sísmicos**

El reconocimiento de patrones sísmicos ha estado desarrollándose de manera constante, durante las últimas décadas han aparecido gran número de aplicaciones. Pero no importa cuán nuevo y sofisticado sea el algoritmo, el reconocimiento de patrones sísmicos se basa en una vieja y simple fundación: atributos sísmicos.

Los atributos sísmicos describen los datos sísmicos y cuantifican las características de datos específicos, por lo que representan subconjuntos de la información total. El cálculo de atributos descompone los datos sísmicos en atributos constituyentes. Esta descomposición es informal, en la cual, no existen normas que regulen cómo se calculan los atributos o incluso lo que pueden ser. De hecho, cualquier cantidad calculada a partir de datos sísmicos se puede considerar un atributo. En consecuencia, los atributos son de muchos tipos: *prestack* (pre-apilamiento), de inversión, de velocidad, de horizonte, de componentes múltiples, 4-D y de los datos apilados convencionales (*Tabla 1*).

Método	Atributos Representativos
Traza compleja	amplitud, fase, frecuencia, polaridad, respuesta de la fase, respuesta de la frecuencia, echado, azimut, paralelismo.
Tiempo-frecuencia	echado, azimut, frecuencia promedio, atenuación, descomposición espectral.
Correlación / Covarianza	discontinuidad, echado, azimut, gradiente de amplitud.
Intervalo	amplitud promedio, frecuencia promedio, varianza, máximo, número de cimas, % de umbral, forma de onda.
Horizonte	echado, azimut, curvatura.
Misceláneos	frecuencia cero-crossing, frecuencias dominantes, amplitud rms, complejidad de la señal, componentes principales.

**Tabla 1.** Métodos para calcular los atributos sísmicos después del apilamiento, con atributos representativos. Muchos atributos, tales como buzamiento y el azimut se pueden calcular de muchas maneras (Barnes, 1972).

Una gran cantidad de atributos se han inventado, estos han sido calculados por una amplia variedad de métodos, incluyendo el análisis complejo de traza, estadísticas de intervalo, medidas de correlación, análisis de Fourier, análisis tiempo-frecuencia, transformada de ondícula, componentes principales, y diversos métodos empíricos. Sin importar el método, los atributos se utilizan como filtros para revelar las tendencias o patrones, pueden combinarse para predecir unas facies sísmicas o una propiedad. Si bien la interpretación cualitativa de los atributos individuales ha dominado análisis de atributos a la fecha, el futuro pertenece al análisis cuantitativo de atributos múltiples para la predicción geológica.

La interpretación de imágenes obtenidas por sísmica de reflexión fue en gran medida una cuestión de mapeo de los eventos dependientes del tiempo y la conversión a profundidad de estos, para determinar la estructura geológica del subsuelo. Reconocer que existen variaciones en las reflexiones sísmicas por el contenido de fluidos, porosidad y cambios de facie a partir de los caracteres de estas reflexiones, estableció una herramienta clave en la geofísica de exploración. Esto dio paso a la creación del primer atributo sísmico, reflexión de la amplitud, el cual muestra las variaciones de amplitud de una imagen sísmica iluminando zonas (*bright spots*) donde existen variaciones de la señal, las cuales posteriormente serán analizadas a través de otros métodos geofísicos para conocer el origen de esta variación. De esta manera, los puntos brillantes pusieron la primera piedra para el análisis de atributos.

**Características del volumen sísmico**

La migración preapilada en tiempo o *prestack time migration* (PSTM) es una solución sísmica para migrar las estructuras del subsuelo, debido a su habilidad de enfocar y posicionar los reflectores en escenarios donde la variación lateral de velocidades es fuerte. La extrapolación del campo de onda puede implementarse en el dominio de la profundidad (con intervalos constantes de profundidad) o en el dominio del tiempo (con intervalos constantes de tiempo).

La migración preapilada transforma los *gathers* de puntos medios comunes o *common midpoints* (CMP) en *gathers* de puntos de reflexión común o *common reflection point* (CRP). Cuando se apilan, las amplitudes son sumadas desde solo un punto de reflexión del subsuelo y elimina la dispersión. Respecto al mecanismo de migración de *Controlled Beam Migration* (CBM) (Figura 2), este se basa en la formulación de destellos de rayos los cuales proveen la información de la cinemática y amplitud de la migración. El método es desarrollado para offset común, información de azimut común y la migración por sí misma es realizada en el dominio de los parámetros del rayo sísmico. Por lo anterior, se recomienda su aplicación para conjuntos de datos sísmicas de adquisición *narrow-azimuth*. Como es un método de trazado de rayos como *Kirchhoff*, este mantiene varias características de ese tipo de migración como son la migración por paso de echado y la incorporación de modelos anisotrópicos como el TTI. Esto lo hace una propuesta interesante para áreas como el

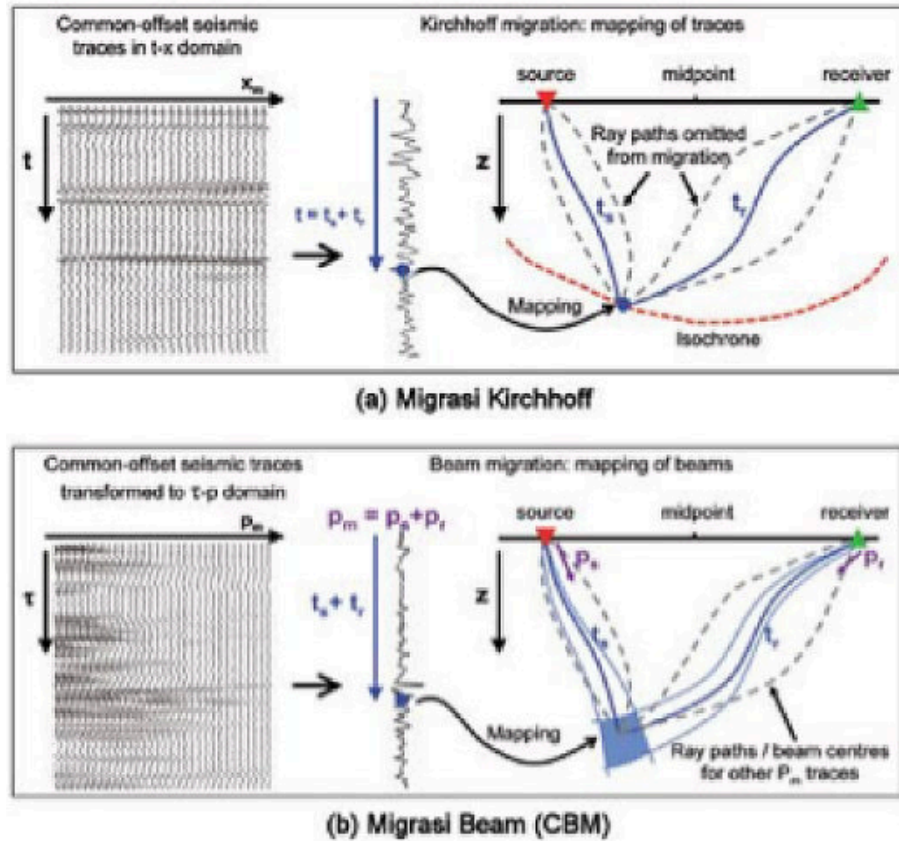


Figura 2. a) Esquema mostrando el mecanismo básico de la migración Kirchhoff. Una muestra en tiempo de una traza de un offset común es mapeado en todas las localizaciones del subsuelo a lo largo de la isocrona donde la suma del tiempo de viaje de la trayectoria del rayo entre la fuente y el receptor ( $t_s+t_r$ ) es igual al tiempo de viaje de la muestra. b) Esquema mostrando el mecanismo básico de la migración Beam. Se realiza una transformada local  $t$ - $p$  y una muestra de la traza  $p_m$  es mapeada a lo largo de la localización del subsuelo correspondiente a la suma del tiempo de viaje de la trayectoria del rayo entre la fuente y el receptor de la trayectoria del rayo entre la fuente y el receptor ( $t_s+t_r$ ) con la condición  $p_m = p_s+p_r$ . los campo de onda son calculados en la vecindad de la trayectoria de los rayos para crear un haz (Vetle, Graham, & Roger, 2008).

Golfo de México donde los cuerpos de sal crean estructuras altamente buzadas y ello genera que la energía sísmica llegue a través de varios caminos hasta el receptor.

**Metodología**

La metodología que se utilizó está representada en el diagrama 1.

**Análisis de frecuencias**

La teoría de frecuencias nos dice que las frecuencias altas están asociadas a capas delgadas mayormente asociadas a lutitas o areniscas, mientras que las bajas frecuencias están asociadas a estructuras que absorben o dispersan la

energía sísmica como sería el basamento o los domos salinos.

De las primeras actividades que realiza un intérprete sísmico después de hacer el control de calidad, georreferenciación y carga de datos en el software es el análisis de frecuencias, el cual consiste en analizar el tipo de frecuencias con las que cuenta la adquisición sísmica y separarlas entre frecuencias útiles y las que no lo son.

El trabajo primordial en este paso es utilizar el atributo de amplitud (antes mencionado) para visualizar un perfil sísmico y analizar cómo se comporta el ancho de frecuencias útiles en la sísmica (Figura 3) y posteriormente

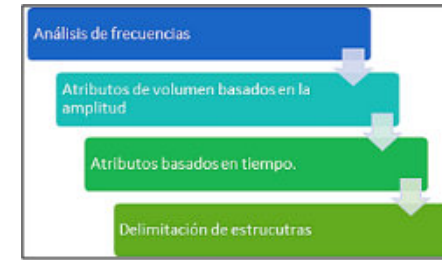


Diagrama 1. Metodología de acondicionamiento de imágenes sísmicas con datos PSTM para la delimitación de estructuras salinas.

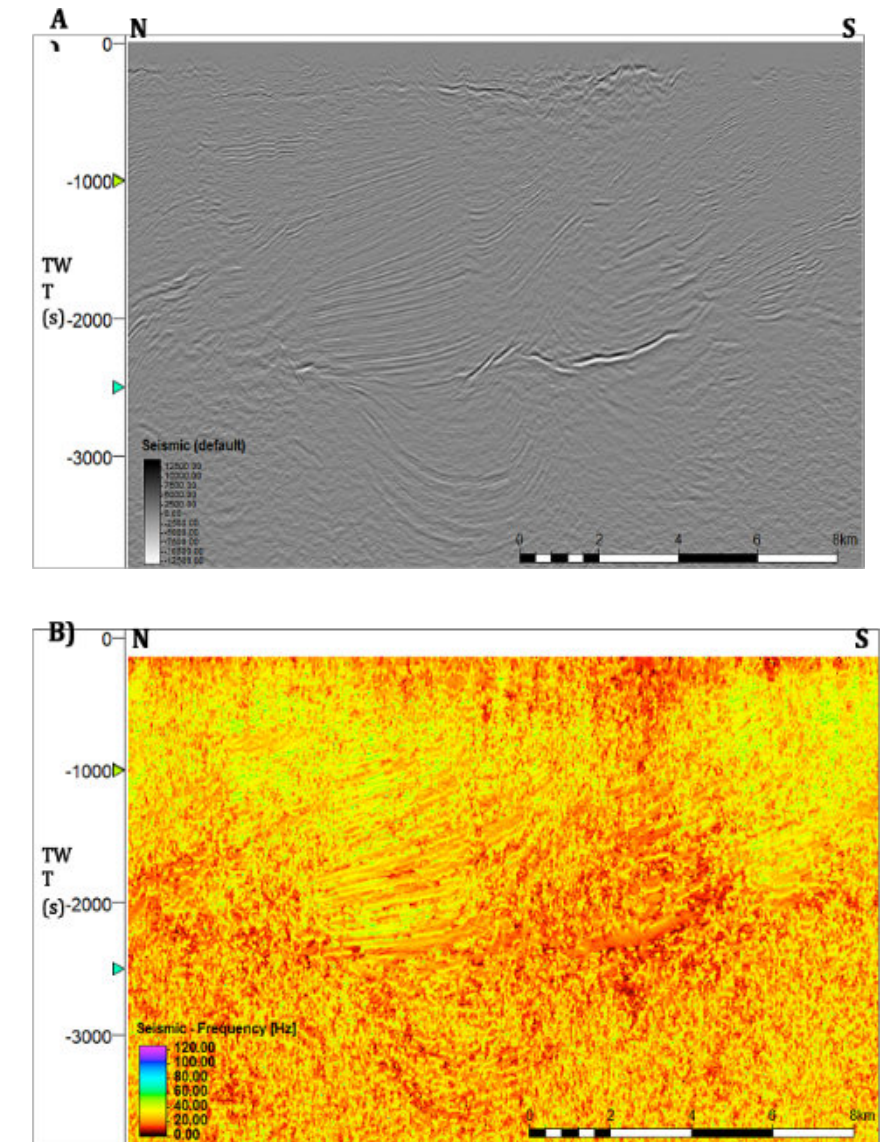
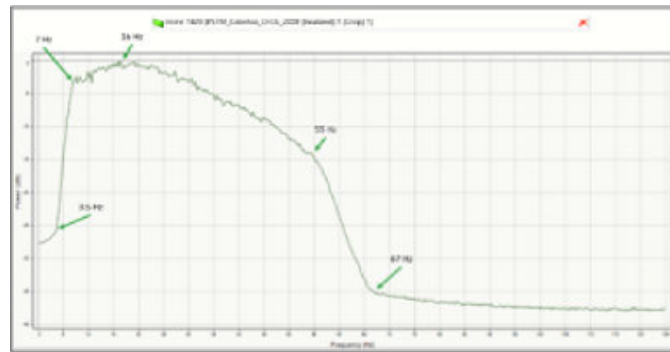


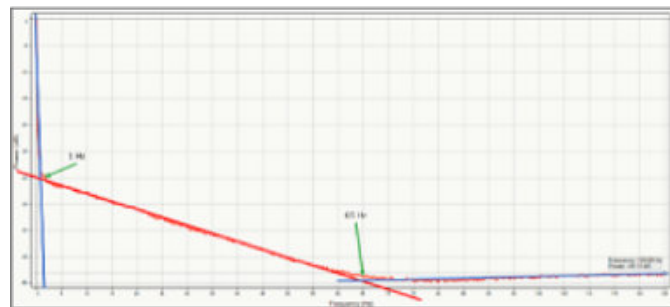
Figura 3. Se muestra a continuación la comparación de la inline 1420 del cubo dentro del área de la Cuenca Salina del Istmo en su parte terrestre. A) Inline 1420 filtro de color White-Gray-Black B) Inline 1420 con atributo de amplitud. De acuerdo a la escala de colores que tiene

compáralo con un espectro de frecuencias del mismo perfil.

Con la información obtenida de la banda de frecuencias del atributo de amplitud, la cual da un rango de 0 a 60 Hz (Figura 4). Haciendo un análisis más meticuloso con el espectro de frecuencias y la transformada de Fourier de esta misma (Figura 5), podemos analizar cuáles son nuestros valores de corte para poder realizar un filtro cuadrado de las frecuencias contenidas en este conjunto de datos sísmicos, con el objetivo de trabajar únicamente con el ancho de frecuencias útiles para la delimitación de estructuras de interés.



**Figura 4.** El espectro de frecuencias de la Inline 1420 muestra cuales son las frecuencias indicadas para realizar el filtro cuadrado de frecuencias, se encontraron que la primera deflexión es a los 3.5 Hz, la segunda a 7 Hz, la tercera a 55 Hz y la última a 67Hz. De igual manera se muestra el pico máximo en la gráfica, el cual se traduce como la frecuencia dominante.



**Figura 5.** La transformada de Fourier del espectro de frecuencias nos ayuda a visualizar los puntos de quiebre y una versión de dos puntos de conversión del rango de frecuencias de los datos, dados estos puntos entre 1Hz y 65 Hz.

#### Atributos de volumen basados en la amplitud

Como se mencionó anteriormente, los atributos sísmicos son herramientas que nos ayudan a visualizar de diferentes formas la información contenida en los datos sísmicos, ya que realza elementos de importancia y/o sutiles que contiene la sísmica. Después de haber aplicado el filtro de frecuencias se utilizará la sísmica en tiempo para interpretar utilizando atributos basados en amplitud. Esto con la finalidad de familiarizarse con la información y principalmente para diferenciar algunos rasgos característicos, los cuales, dentro del sismograma no podemos percibir a simple vista.

Se buscará obtener dos datos principales de la información la amplitud, ya que este dato nos permite diferenciar entre las distintas capas por las que atraviesa la energía sísmica. Lo segundo es comparar las frecuencias de entrada y salida, para poder preservar aquellas que resulten importantes del análisis anterior.

Los atributos que se aplicaron al proyecto son los siguientes:

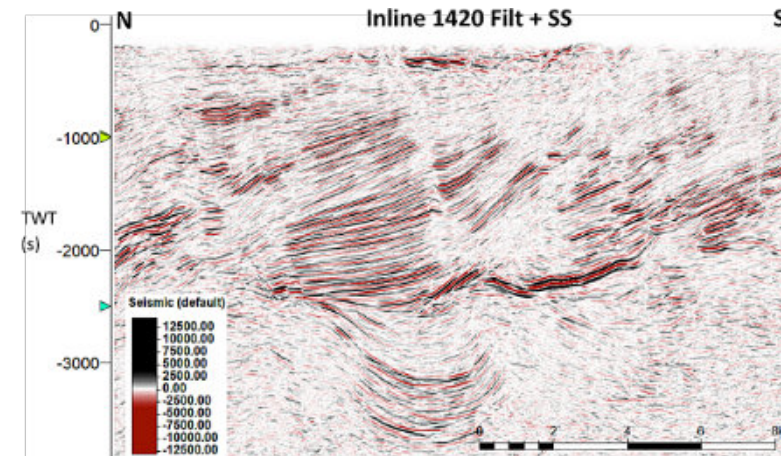
Con la información obtenida de las figuras 4 y 5 se procede a crear el filtro cuadrado que nos ayudará a eliminar el ruido de baja y alta frecuencia. El primero asociado a la dispersión de la energía dentro las estructuras salinas y en zonas bajas del cubo. Mientras que los ruidos de alta frecuencia asociados a ruido blanco, ambiental y de las mismas herramientas nos ayudará a definir de mejor manera los reflectores adecuados. Este mismo atributo nos mostró que nuestras frecuencias útiles para los reflectores arenosos están en orden de 30 a 40 Hz y los reflectores asociados a estructuras salinas como lo es el *caprock*, se encuentran en el rango de 3 a 10 Hz.

- **Structural Smoothing:** Categorizado como método estructural, *structural smoothing* suaviza la señal de entrada guiada por la estructura para incrementar la continuidad de los reflectores sísmicos. Los componentes principales del echado y azimut son utilizados para determinar la estructura. El suavizado Gaussiano es aplicado al mismo tiempo que se orienta la estructura (Figura 6).
- **Varianza:** Este atributo estima la variación local de la señal. Se aplica opcionalmente para el suavizado vertical en la reducción del ruido. Los parámetros que determinan como actuará el algoritmo de varianza se enlistan a continuación. El filtro de dimensión *Filter length* controla el número de trazas que usará para la estimación de la varianza horizontal. El filtro de suavizado vertical, *Vertical Smooth*, controla que tipo de afilado aplicará para el computo de la varianza. La corrección por buzamiento *Dip correction* es el parámetro que otorga la dirección al atributo de varianza. Por último, el límite de confianza del plano,

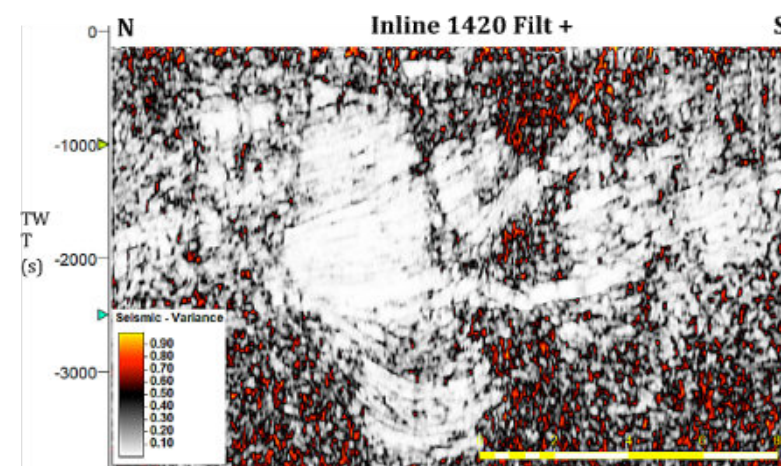
*Plane confidence threshold*, computa el algoritmo de varianza en inclinación guiada a lo largo del plano inclinado estimando la confianza de esta medida, las áreas arriba de la varianza calculada se les aplicará el filtro, mientras que las áreas por debajo del cálculo usarán la varianza estándar (Figura 7).

- **Chaos:** El atributo de Chaos es medido a partir del patrón de señal caótica contenido en la señal sísmica y la carencia de organización en el método de estimación del echado y azimut. El caos dentro de la

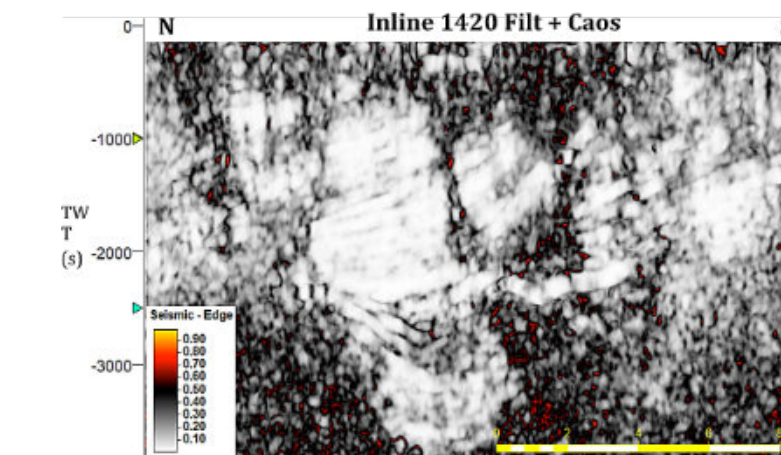
señal puede ser afectado por los caminos de migración del gas, intrusiones de cuerpos de sal, texturas arrecifales, canales de relleno, etc. Los parámetros que se nos permiten modificar son llamados SigmaX, SigmaY y SigmaZ; estos nos permiten modificar la ventana de radio para calcular el caos de la información sísmica. El caos en la señal puede usarse para iluminar fallas, discontinuidades y para clasificar la sísmica por textura caótica. El caos también puede ser relacionado con las fracturas geológicas (Figura 8).



**Figura 6.** Inline 1420 filtro Structural Smoothing + filtro de frecuencia. Dentro de los parámetros que presenta están Dip guiding y Edge Enhancement, además cuenta con un filtro de tamaño, el cual controla el número de trazas horizontales y muestras verticales usadas para estimar el suavizado estructural. Comparado con la figura 2.A. se pueden observar mejor los elementos como las fallas y horizontes.



**Figura 7.** Inline 1420 filtro Varianza + filtro de frecuencia. Debido a la gran cantidad de ruido generado por la dispersión de la energía a causa de las estructuras salinas, los elementos dentro de la imagen no son muy distinguibles, pero se pueden observar las tendencias de algunas fallas principales.



**Figura 8.** Inline 1420 filtro Chaos + filtro de frecuencias. Al resaltar elementos precisos a la varianza y ser afectado por la misma razón que la varianza, el resultado de este atributo es similar al anterior, pero con algunos arreglos dentro de los parámetros del echado se pudo corregir adecuadamente la imagen..

La información sísmica puede variar en las mediciones en las que se basa: tiempo, amplitud, frecuencia y/o atenuación. Las medidas de tiempo son relativas a la estructura, las de amplitud a la estratigrafía y caracterización de yacimientos, y las de frecuencia tienen el mismo enfoque las de amplitud, aunque no son bien comprendidas. De estos grupos antes mencionados cada uno tiene una gran variedad dependiendo de si se realizan antes o después del apilamiento. Posterior a esa ramificación existe otra en la que nos enfocaremos en este apartado que es la división entre atributos aplicados en horizonte y ventana después de apilar.

Con los *gather* apilados ya contamos con la imagen sísmica, la cual es un ejemplo de las figuras anteriores, las cuales variedad de estas componen el cubo sísmico que a grandes rasgos es la unión de varias trazas sísmicas acomodadas en una superficie dada. Con esta explicación podemos entender que un cubo se compone de n cantidad de trazas sísmicas acomodadas de acuerdo con la superficie de migración.

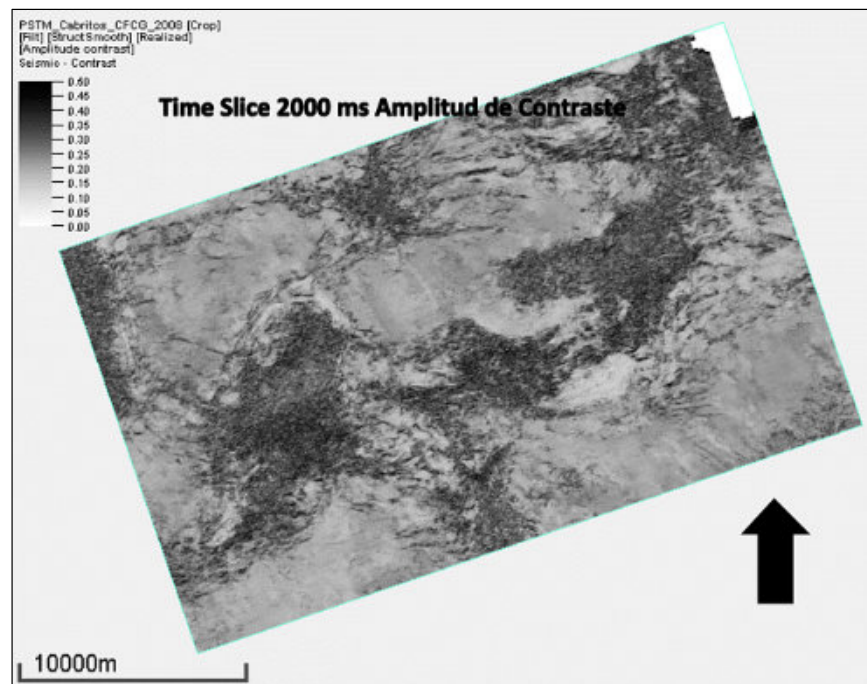
Teniendo en cuenta esto existirían 2 formas de visualización de estas trazas sísmicas, la convencional donde están acomodadas por número de traza, CDP, CMP, que sería la convencional como las figuras anteriores, a lo que le llamamos vista de ventana o perfil. Mientras que si las acomodamos en función de su corte (*slice*) ya sean en tiempo o profundidad, tendremos la vista de horizonte o de planta, donde de igual manera se pueden visualizar varias características de la información sísmica.

Los atributos, como se ha comentado, ven características de la onda, básicamente usan la función de onda y sus componentes para poder graficarlos de acuerdo con ejercicios empíricos, los cuales se relacionan con alguna característica física. Los atributos basados en tiempo, por ejemplo, utilizan su parte de la ecuación de onda que

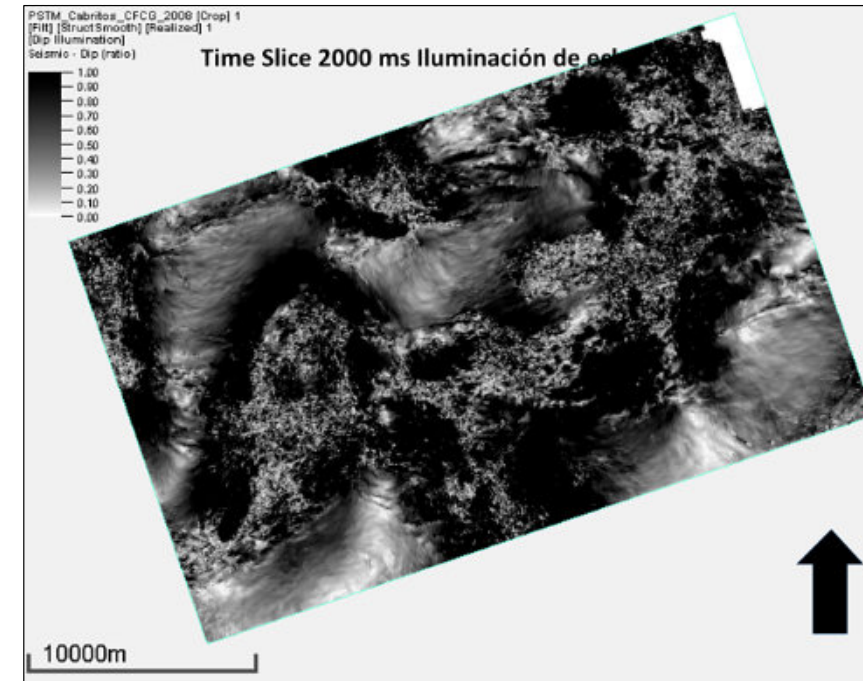
depende del tiempo y se puede realizar operaciones en ese dominio para poder graficarlo con alguna otra característica de la onda para poder resaltar elementos de esta. Mientras que los atributos basados en la amplitud igualmente usan su parte de la ecuación de onda basada en la amplitud, realiza operaciones en ese dominio y las compara con alguna característica de la función de onda, al cual resalte o identifique elementos de interés.

Con la explicación anterior y haciendo uso de los atributos preapilados en tiempo, damos paso al uso de los atributos de horizonte. Estos los utilizaremos en conjunto con los atributos de ventana para poder realizar una interpretación más exacta utilizando el campo tridimensional que nos otorga el poder utilizar este tipo de herramientas.

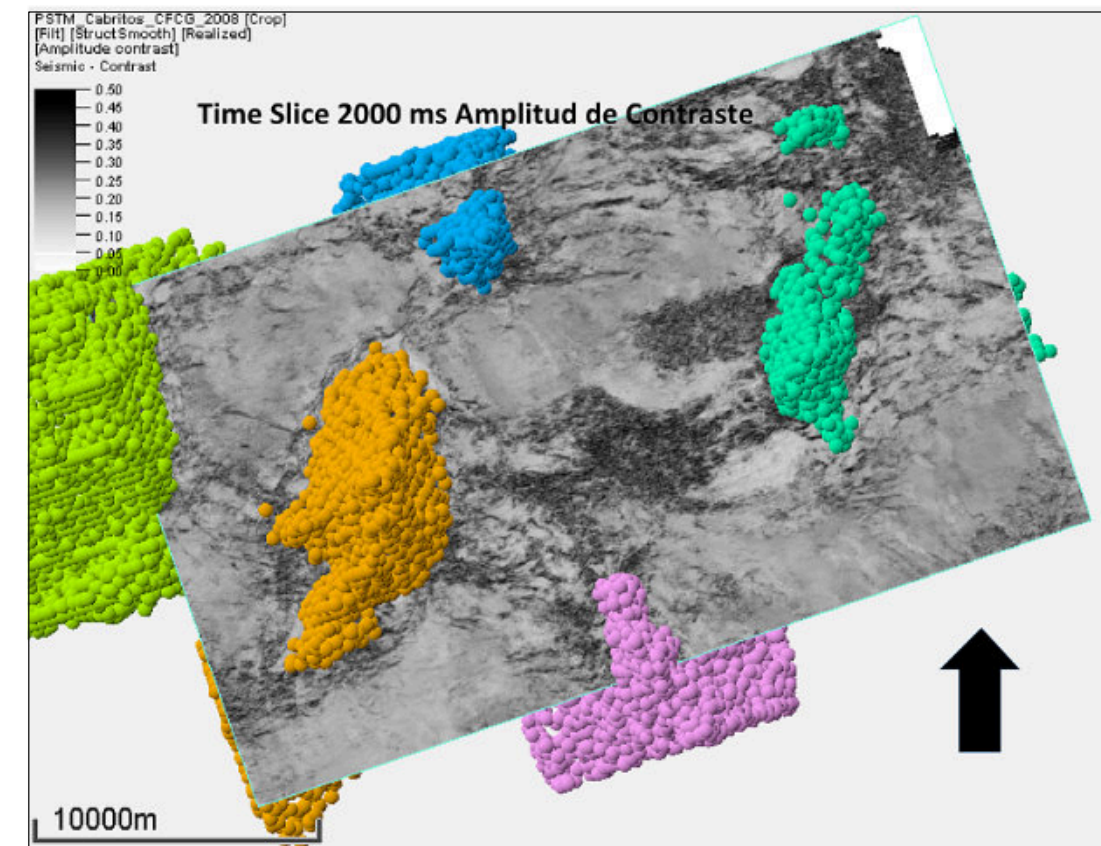
- **Illuminación de echados:** El echado también es un buen indicador estructural, por ello este atributo utiliza un nuevo método de estimación del echado y muestra los cálculos en dos diferentes vistas. Una buena estimación del echado nos ayuda a revelar varias estructuras geológicas en la sísmica, como lo son las discontinuidades (fallas) y áreas ruidosas (domos de sal). El atributo usa un método de estimación del echado con correlación cruzada, la cual ha sido modificada con un gradiente decente para acelerar los cómputos (Figura 9).
- **Amplitud de contraste:** Este atributo se basa vagamente en un filtro Sobel. Esto implica que estás viendo las derivadas en 3 dimensiones y usando esta información para obtener resultados. Además de calcular las derivadas, normaliza, pondera y suaviza verticalmente para lograr los resultados que ve la figura 10.



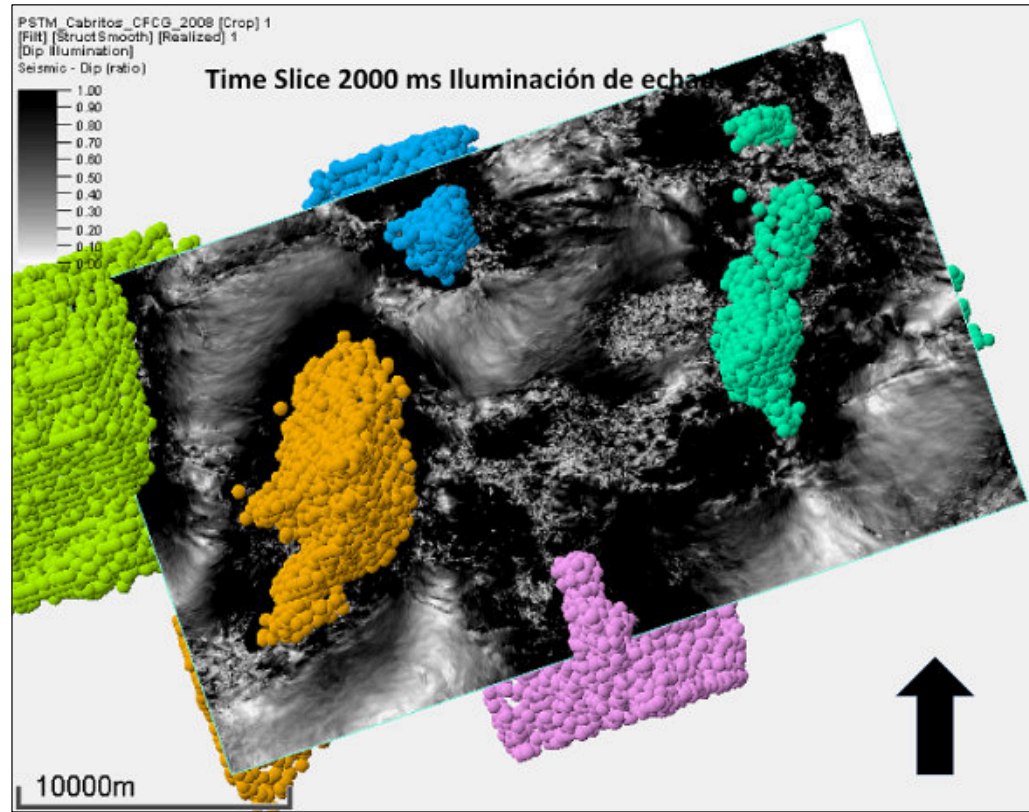
**Figura 9.** Time Slice a 2000 ms con atributo Amplitud de Contraste. Las estructuras salinas son usualmente ruidosas en la información sísmica, muchos atributos detectan partes de los bordes de la estructura o la falta de información pero este atributo es consistente en delimitar la estructura y resalta de manera adecuada los domos.



**Figura 10.** Time Slice a 2000 ms con atributo Iluminación de Echado. Este atributo en la forma que se generó nos muestra dos cosas importantes: uno en negro la zona donde la relación señal ruido es pobre y por ende esta relacionada a la pérdida de energía sísmica por la sal y segundo en el centro delimita los domos salinos.



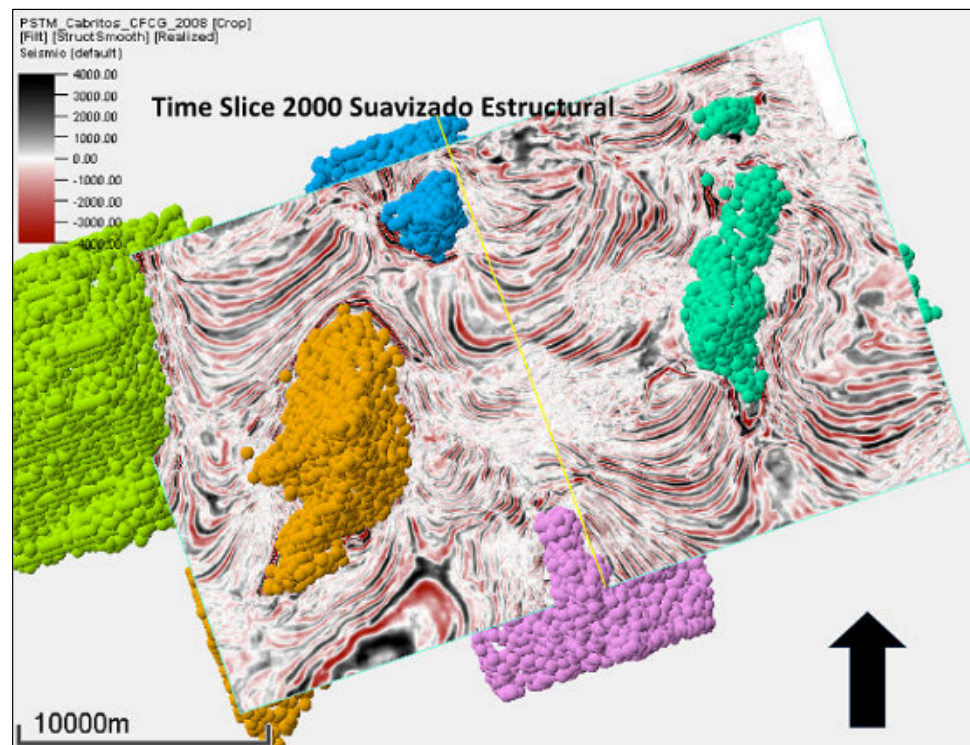
**Figura 11.** Time Slice a 2000 ms con atributo Amplitud de Contraste. Se muestra en conjunto con la interpretación de las estructuras salinas encontradas en el área y se demuestra la utilidad de esta combinación de atributos para poder delimitar este tipo de estructuras.



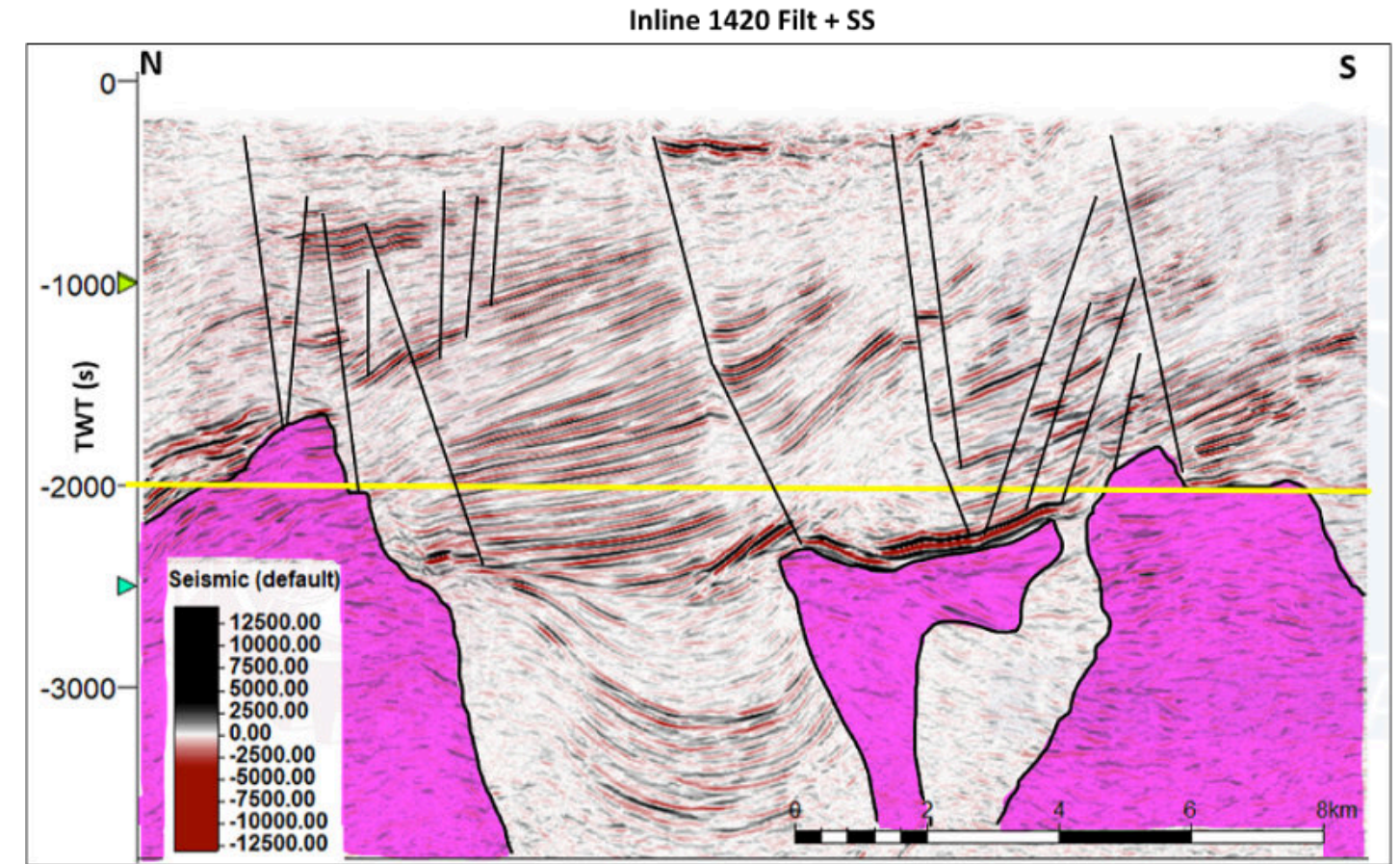
**Figura 12.** Time Slice a 2000 ms con atributo Iluminación de Echado. Este atributo en la forma Se muestra en conjunto con la interpretación de las estructuras salinas encontradas en el área mostrando como este atributo define la zona de ruido en los bordes de la sal. Esta información es de gran importancia al momento de hacer el modelo estructural.

Una vez aplicado los atributos se procedió a identificar los elementos estructurales importantes en el área, como lo son las fallas, estas son importantes porque nos ayudan a entender la cinemática del área, al igual que empezar a delimitar las estructuras salinas. En el marcado de las

estructuras se tomó en cuenta la correlación hecha con las *InLine* y *CrossLine* para tener un mejor control de los puntos y área del cubo sísmico que se quería abarcar. Este picado se realizó con la combinación de todos los atributos antes mencionados más la ayuda de la amplitud RMS.



**Figura 13.** Time Slice a 2000 ms con Structural Smoothing. Se muestra este atributo, ya que es la base de la interpretación y resalta muchas de las cualidades de la información, así mismo se compara con una versión de perfil del mismo.



**Figura 14.** Inline 1420 filtro Structural Smoothing + filtro de frecuencia. Se muestra la interpretación de las estructuras salinas sobre esta sección. Se puede observar como se definieron los bordes de las estructuras y se bordean las áreas donde se sigue la sedimentación y la deformación provocada por esta misma tectónica salina. Otro punto importante a resaltar es como el uso de esta metodología determino que en la parte central no se trataba de un reflector asociado a una estructura de caprock o anhidrita, la amplitud de estos reflectores muestran que se traba de ello, el análisis de frecuencias arrojó que se traba de un cap rock, esto se puede asociar a la acumulación de los sedimentos acarradeados durante la evacuación y ascensión de la sal, así mismo a la formación de anhidrita durante este proceso.

### Conclusiones

Tener una base sólida de conocimientos geológicos, geofísicos, estructurales y sedimentológicos siempre será la base para una buena interpretación sísmica, al igual que la correcta selección de los modelos en los que nos basaremos para recrear la realidad del subsuelo. Por ello, el entendimiento del modelo tectónico y estructural del área debe ser comprendido a la perfección por el intérprete sísmico.

Muchas veces nos encontramos con el dilema de que atributos usar y como utilizarlos, ya que se cuenta con una gran variedad de estos. Comprender la génesis y sobre todo el trasfondo y matemática que lleva el utilizar un atributo hará que nuestro modelo se acerque cada vez más a lo que representa la realidad que se planea reconstruir.

Esta guía que se realizó no planteó ser una regla única para definir las estructuras salinas dentro de la Cuenca Salina del Istmo, si no plantea como se resolvió un reto, planteado por la falta de información sobre la estructura de la sal y sobre todo la nueva información con la que se cuenta como es la migración Beam y como los nuevos interpretres pueden tomar ventaja de la gran cantidad de herramientas que se tiene a la mano, tanto el uso de los nuevos atributos, como la implementación de la modelización 3D para tener una visión completa de las estructuras que se quieren definir.

La realidad geológica que se planteó con este modelo se utilizó para la creación del modelo estructural del campo y entender de mejor manera como es que la tectónica salina afectó la zona, pero sobre todo se busca encontrar nuevas zonas con potencial de entrapamiento de hidrocarburos, la cual es la razón principal por la que se hizo esta delimitación de estructuras salinas.

**Bibliografía:**

Ángeles, F. J., Reyes-Nuñez, J., Quezada-Muñetón, J., & Meneses-Rocha, J. (1994). Tectonic evolution, structural styles, and oil habitat in Campeche Sound. En F. J. Ángeles, J. Reyes-Nuñez, J. Quezada-Muñetón, & J. Meneses-Rocha, *Tectonic evolution, structural styles, and oil habitat in Campeche Sound* (págs. 53-62). México: GCAGS Transactions.

Barnes, A. E. (1972). Atributos sísmicos en tus facies. *Seiscom 72*.

Dabe, R., & Wagner, C. (2010). *Interpreters Guide for Seismic to Well Ties*. Houston: Schlumberger.

Dupre, R. (2015). Mexico opens up offshore areas for new seismic surveys. *Offshore*.

Goss, T. (16 de mayo de 2017). *The Value Proposition of 3D and 4D Marine Seismic Data*. Obtenido de Slideshare: <https://www.slideshare.net/TaylorGoss2/the-value-proposition-of-3d-and-4d-marine-seismic-data>

Guo, N., & Fagin, S. (2002). Becoming effective velocity-model builders and depth imagers, Part 1—The basics of prestack depth migration. *The Leading Edge*, 1205-1209.

Jo Firth, CGGVERITAS. (s.f.). CGGVERITAS. Obtenido de Adquisición Marina Mas segura, Menos ruidosa, Mejor!!!! : [https://www.cgg.com/technicalDocuments/cggv\\_0000010172.pdf](https://www.cgg.com/technicalDocuments/cggv_0000010172.pdf)

Martell Andrade, B., & Grimaldo Ávalos, J. R. (2016). Sistema Petrolero. *Petrofísica y registros de pozo*. Ciudad de México: UNAM.

Meneses de Gyves, J. (1999). Breve reseña de la explotación petrolera en México. *Boletín AMGP*, 48(1-2), 49-74.

Pindell, J., & al, e. (2002). *Análisis Paleográfico Mesozoico-Cenozoico y dinámica de cuencas en el Golfo de México profundo y márgenes: La relación entre la evolución tectosedimentaria y sistemas petroleros: Informe Interno*. PEMEX Exploración y Producción.

Schlumberger. (10 de Agosto de 2015). *Schlumberger Launches Industry-First Multiclient Wide-Azimuth Deepwater Seismic Survey in Mexican Waters, Gulf of Mexico*. Obtenido de Schlumberger: <https://www.slb.com/newsroom/press-release/2015/pr-2015-0810-multiclient-mexico>

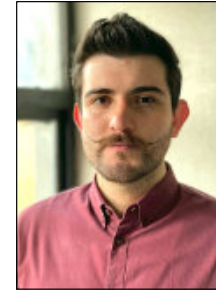
Schlumberger. (2010). *Evaluación de Formaciones en México*. México: WEC.

Schlumberger. (Enero de 2020). *Oilfield Glossary*. Obtenido de Schlumberger: <https://www.glossary.oilfield.slb.com/Terms/v/vsp.aspx>

SEG. (27 de Junio de 2017). *Elements of 3D Seismology*. Obtenido de SEG Library: <http://library.seg.org/>

Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. F. (1990). *Applied Geophysics* (Segunda ed.). Cambridge: Cambridge University.

Vetle, V., Graham, R., & Roger, T. (2008). Controlled beam migration: a versatile structural imaging tool. *First Break*, 109-113.



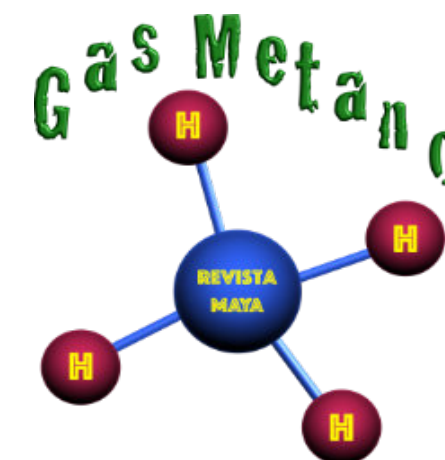
**Agustín Uribe de Santiago**, es Egresado de la ESIA Ticoman en 2019 de ing. Geofísica Egresado del posgrado de la ESIA en 2022. Estancia de movilidad académica en la universidad politécnica de Madrid en España Realicé prácticas profesionales en el grupo multidisciplinario de geociencias de Cantarell en Ciudad del Carmen Participación en el intership EVOLVE 2022 por parte de la SEG y ponencia en la reunión anual de SEG/AAPG IMAGE 2022. Participación en el IBA 2022



**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](mailto:luis.valencia.11@outlook.com)



# MISCELÁNEOS

Xaman Ek, Dios de la Estrella Polar



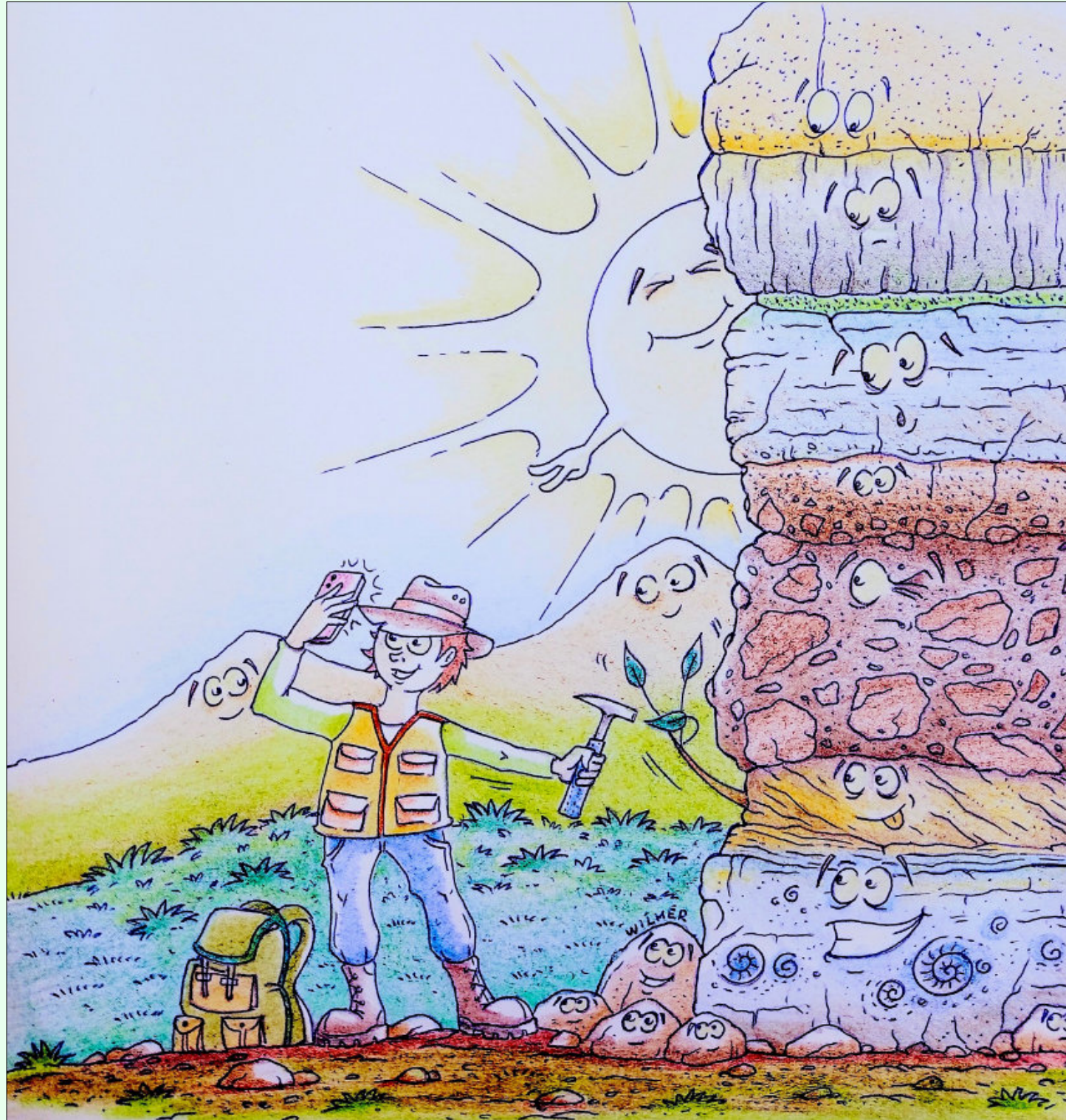
La quinta deidad más común en los códices es Xaman Ek, el dios de la estrella polar, que aparece 61 veces en los tres manuscritos. Se le representa siempre con la cara de nariz roma y pintas negras peculiares en la cabeza. No tiene más que un jeroglífico de su nombre, su propia cabeza, que se ha comparado 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.

## National History Museum of South Africa

Haz click en la imagen



## CONCURSO DE FOTOGRAFÍA GEOLÓGICA 2023



Por Wilmer Pérez Gil

## CONCURSO DE FOTOGRAFÍA GEOLÓGICA 2023

La Revista Maya de Geociencias y la empresa Corporación Ambiental de México S.A. de C.V. (CAM) hacen una atenta invitación para que los estudiantes de geociencias de cualquier país envíen a partir del 1 de enero hasta el 30 de octubre del 2023 sus fotografías de afloramientos para participar en el Concurso de Fotografía Geológica. El jurado, que se conformará más adelante por Editores de la RMG y personal de la empresa CAM, decidirán quiénes son los ganadores el día 30 de noviembre del 2023. Con las fotografías sometidas al concurso se creará un album fotográfico para su publicación en un tomo especial de la Revista.

### BASES:

1. Solamente se puede someter una fotografía por estudiante.
2. El tamaño de la fotografía deberá tener un lado máximo de 1,000 Píxeles.
3. Incluya su nombre y dirección de correo electrónico. La descripción de la fotografía no deberá exceder 100 palabras.
4. Las fotografías deberán enviarse por correo electrónico a los Editores: Bernardo García Amador y Luis A. Valencia Flores: [bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu](mailto:bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu); [luis.valencia.11@outlook.com](mailto:luis.valencia.11@outlook.com) con fecha límite del 30 de octubre del 2023.

### PREMIOS:

El día 30 de noviembre del 2023, se darán a conocer los tres ganadores del concurso, siendo los premios como se indica a continuación:

- Primer lugar: La cantidad de \$25,000 pesos mexicanos (aprox. \$1,250 dólares).  
 Segundo lugar: La cantidad de \$15,000 pesos mexicanos (aprox. \$750 dólares).  
 Tercer lugar: La cantidad de \$10,000 pesos mexicanos (aprox. \$500 dólares).

\* Los premios y gastos asociados los patrocinará la empresa Corporación Ambiental de México (CAM), con domicilio en Monterrey, Nuevo León, México.



## GEOLOGICAL PHOTOGRAPHY CONTEST 2023

The Revista Maya de Geociencias and the Corporación Ambiental de México, S.A. de C.V. (CAM) cordially invite students of the geosciences from any country to participate in this contest by sending us their outcrop photographs between the 1<sup>st</sup> of January and the 30<sup>th</sup> of October, 2023 in order to participate in this Geological Photography Contest. The judges, to be selected by the Editors of the RMG and personnel from CAM, will decide upon the winners the 30<sup>th</sup> of November 2023. An album will be published from submitted photos in a special issue of the RMG.

### RULES:

1. You may submit only one photograph per person.
2. The photograph should be a maximum of 1,000 pixels per edge.
3. Include your name and email address in the description of the photograph, which should not exceed 100 words.
4. Email the photograph to Editors Bernardo García Amador and Luis Valencia Flores by the 30<sup>th</sup> of October, 2023: [bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu](mailto:bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu); [luis.valencia.11@outlook.com](mailto:luis.valencia.11@outlook.com)

### PRIZES:

The winners of the contest will be revealed on the 30<sup>th</sup> of November, 2023 with the following prizes.

First place: 25,000 Mexican pesos (approximately \$US 1,250).

Second place: 15,000 Mexican pesos (approximately \$US 750).

Third place: 10,000 Mexican pesos (approximately \$US 500).

\* Prizes and associated expenses will be provided by the Corporación Ambiental de México headquartered in Monterrey, Nuevo León, México.

## La casa de los micro plásticos

<https://www.gob.mx/imta/articulos/contaminacion-por-microplasticos>

<https://www.gob.mx/semarnat/articulos/microplasticos-en-el-menu>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135421010228>

<https://www.mdpi.com/1660-4601/19/3/1174>

[https://www.maritimeaquarium.org/single-use-plastics-initiative?gclid=Cj0KCQiAyracBhDoARIsACGFcS6097CFbePfo5V34ZWJMDv6p9gmhkj6wFPFZCJvG4wdV0twmZz-5YaAnrNEALw\\_wcB](https://www.maritimeaquarium.org/single-use-plastics-initiative?gclid=Cj0KCQiAyracBhDoARIsACGFcS6097CFbePfo5V34ZWJMDv6p9gmhkj6wFPFZCJvG4wdV0twmZz-5YaAnrNEALw_wcB)

<https://www.youtube.com/watch?v=OH3I2-N8zQg>

<https://www.youtube.com/watch?v=Hhch38neMrg>

Compilado por **Uriel Franco Jaramillo** Colaborador de la Revista.



<https://media.gettyimages.com/photos/small-plastic-pellets-on-the-finger-micro-plastic-air-pollution-picture-id1170923784>



# REVISTA ENSEÑANZA Y COMUNICACIÓN DE LAS GEOCIENCIAS

- Revista electrónica de acceso abierto, semestral, editada por el Centro de Geociencias de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- Destinada a docentes y público en general.
- Sección Enseñanza para docentes interesados en las Ciencias de la Tierra, desde la enseñanza a nivel preescolar hasta posgrado.
- Sección Comunicación para personas interesadas en conocer y entender mejor fenómenos naturales que ocurren en nuestro entorno.



## ¡Invitación a contribuciones para el vol. 2-1, junio 2023!

- Convocamos a autores y autoras interesados en la enseñanza y comunicación de las geociencias a enviar sus manuscritos inéditos para su publicación en el volumen 2 número 1 de la RECG.
- Los tipos de trabajos que se publican están relacionados con experiencias en el aula, notas para explicar eventos recientes, sobre ciencia informática y recreativa, con el ambiente, biodiversidad y sustentabilidad (e.g., blogs, podcasts, videos).

Fecha límite para la recepción de escritos (vol 2. núm 1):  
15 de abril del 2023

Normas editoriales y número anteriores consulta el código QR

Dudas y aclaraciones escríbenos a:  
[encomunicacionct@geociencias.unam.mx](mailto:encomunicacionct@geociencias.unam.mx)

Escanéame!



Website

Directoras en jefe:

Sección Enseñanza  
Dra. Susana Alicia Alaniz Álvarez  
[alaniz@geociencias.unam.mx](mailto:alaniz@geociencias.unam.mx)  
CGEO-UNAM

Sección Comunicación  
M. en C. Raiza Pilatowsky Gruner  
[raiza.pila@gmail.com](mailto:raiza.pila@gmail.com)  
Estudios Planeteando

## Diplomado en Enseñanza de Ciencias de la Tierra

El Centro de Geociencias  
de la Universidad Nacional Autónoma de México



**CONVOCA**



a egresados de una licenciatura en Ciencias de la Tierra, maestros de educación básica y media, y a personas interesadas en la divulgación de la ciencia participar en el **Diplomado en Enseñanza de Ciencias de la Tierra**

**Inscripciones abiertas**

Duración: 125 h (del 1 de febrero al 30 de junio del 2023)

Costo único: MX \$ 5000.00, US\$ 250.00

Modalidad: Virtual

**¡Aprendizaje basado en la experimentación!**

Para más información escríbenos al correo:  
[diploadoCT@geociencias.unam.mx](mailto:diploadoCT@geociencias.unam.mx)

**¡Cupo limitado a 25 participantes!**



Página web



Proyectos

Profesores: Dra. S. Alaniz, Dr. Ángel Nieto, M. en C. Francisco Fernández, Dr. Juan Martín Gómez.  
Coordinadora: Dra. Susana A. Alaniz Álvarez  
Diseño del Aula Virtual: M. en C. Juan Carlos Mesino

### Programa general Módulo I "Deriva Continental"

¿Te has fijado que la península de Baja California se está separando del continente? ¿Sabes cuál es el mecanismo que opera para mover los continentes?

- Introducción. Pangea
- Clase 1. Densidad de materiales comunes
- Clase 2. Densidad de las capas de la Tierra
- Clase 3. Flotabilidad Parte I
- Clase 4. Flotabilidad Parte II
- Clase 5. Flotabilidad Parte III
- Clase 6. Hidrosfera. Variación de la densidad del agua
- Clase 7. Viscosidad
- Clase 8. Isostasia Parte I
- Clase 9. Isostasia Parte II
- Clase 10. Transmisión del calor Parte I
- Clase 11. Transmisión del calor Parte II
- Clase 12. Tectónica de placas
- Clase 13. Video "A la Deriva"



Profesores: Dra. Susana Alicia Alaniz Alvarez  
M. en C. Juan Carlos Mesino Hernández

### Programa general Módulo II "El Clima"

- Introducción.
- Clase 1. Ideas previas equivocadas
- Clase 2. Demostración que la Tierra es redonda
- Clase 3. Medición de la circunferencia de la Tierra
- Clase 4. Movimientos de la Tierra:  
Demostración de la Rotación
- Clase 5. Traslación
- Clase 6. Estaciones
- Clase 7. Calor específico y albedo
- Clase 8. Vientos
- Clase 9. Efecto Coriolis
- Clase 10. Huracanes



Profesores: Dra. Susana Alicia Alaniz Alvarez  
M. en C. Juan Carlos Mesino Hernández

### Programa general Módulo III. La edad de la Tierra

- Introducción.
- Clase 1. Cálculos basados en la biblia.
- Clase 2. Cálculos basados en el registro fósil.
- Clase 3. Cálculos basados en la salinidad del agua del mar.
- Clase 4. Cálculos basados en el registro geológico.
- Clase 5. Cálculos basados en la pérdida de calor de la Tierra.
- Clase 6. Cálculos basados en la desintegración radiactiva.
- Clase 7. Contribuciones del Experimento de Rutherford.
- Clase 8. Bases del fechamiento isotópico.
- Clase 9. Por fin la edad absoluta de la Tierra.



Profesores: Dra. Susana Alicia Alaniz Alvarez  
Dr. Angel Francisco Nieto Samaniego

### Programa general Módulo IV "Electricidad y Magnetismo"

- Introducción.
- Clase 1. Cargas eléctricas.
- Clase 2. Generación de la electricidad (la pila de Volta).
- Clase 3. Conductores y aislantes eléctricos.
- Clase 4. Magnetismo natural y construcción de una brújula.
- Clase 5. Identificación de polos magnéticos en imanes.
- Clase 6. Campo magnético terrestre
- Clase 7. Magnetismo de origen eléctrico.
- Clase 8. Experimento de Millikan.



Profesores: M. en C. Francisco Fernández Escobar  
M. en C. Juan Carlos Mesino Hernández



### Programa general Módulo V "Ondas"

- Clase 0. Introducción Método Científico
- Clase 1. Ondas en la vida diaria
- Clase 2. Ondas en el agua
- Clase 3. Ondas en el aire
- Clase 4. Ondas en los sólidos
- Clase 5. Ondas electromagnéticas
- Clase 6. Ondas y burbujas
- Clase 7. Ondas y luz
- Clase 8. Patrón de interferencia
- Clase 9. Demostración de que la luz se comporta como onda



Profesor: Dr. Juan Martín Gómez González

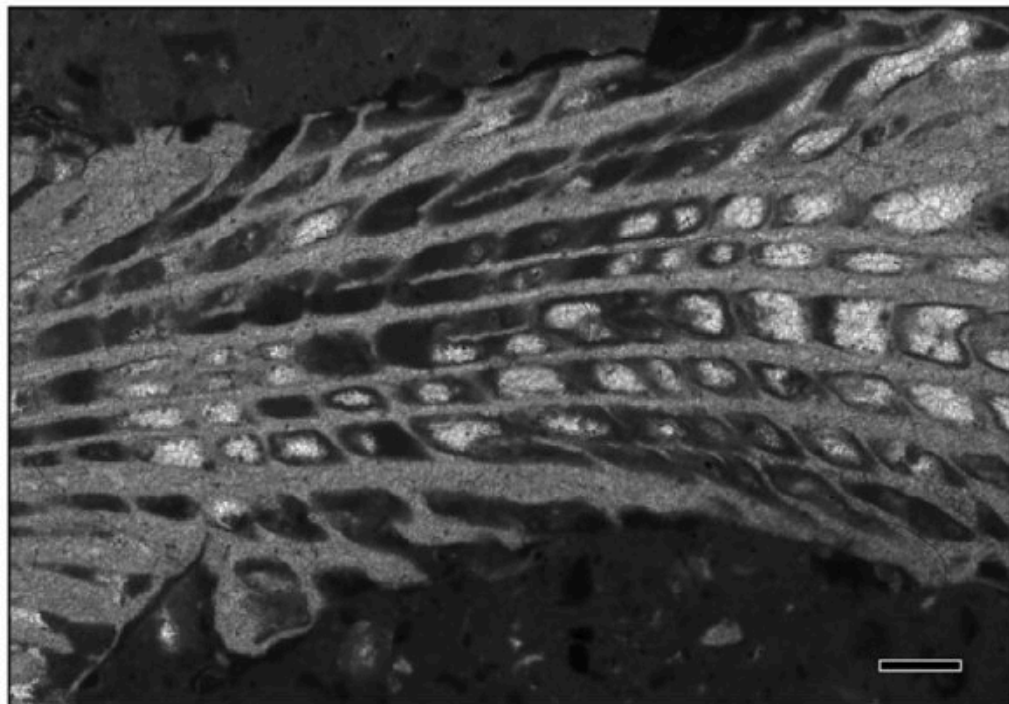


*Nueva Revista Mexicana de Ciencias Geológicas.*

# REVISTA MEXICANA DE CIENCIAS GEOLÓGICAS

Volumen 39, número 3, diciembre 2022

<http://www.rmccg.unam.mx>



ISSN 1026-8774

Aplicaciones gratuitas en:

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

1. **SURFER v.12 y v.13** (versión demo): Programa de modelamiento en 3D.
2. **STEREONET 9** (versión gratuita): Programa de análisis estereográfico de discontinuidades.
3. **DAPPLE v.2.1.4** (versión gratuita): Programa de visualización de geoimágenes espaciales, kmz y mapas.
4. **GRASS GIS** (versión gratuita): Programa de gestión de datos, procesamiento de imágenes, producción de gráficos, modelamiento espacial y visualización.
5. **ARCGIS v.10.2.2** (versión de prueba): Programa de generación de mapas, visualización de geoimágenes y análisis de información.
6. **GLOBAL EARTHQUAKE EXPLORER v.2.2.0** (versión gratuita): Programa de educación y localización de epicentros sísmicos con visualización en mapas y análisis de datos.
7. **GOOGLE EARTH PRO** (versión completa): Programa interactivo de visualización de imágenes satelitales en 2D y 3D.
8. **ELK (SHARPGEO)-GEOTECHNICAL PLATFORM** (versión gratuita): Plataforma de análisis geotécnico con plugins gratuitos y de pago, para análisis de suelos y estructuras.
9. **GPLATES v1.4** (versión gratuita): Programa de visualización de dinámica tectónica, con reconstrucción de escenarios de placas tectónicas y localización espacial de los puntos de análisis.
10. **PREDICT 2D** (versión gratuita): Programa de generación de secciones 2D de secuencias sedimentarias.
11. **Numbat 3D** (versión gratuita): Programa de generación de modelos de facies basado en descripciones sedimentarias, utilizado para reservorios de petróleo.
12. **GEOTRIPLER FOR OIL & GAS EXPLORATION** (versión gratuita): Programa de plataforma de geociencias para exploración de gas y petróleo.
13. **OPENDTECT** (versión pagada): Programa de visualización y procesamiento de datos sísmológicos.
14. **GEOBLOCK** (versión gratuita): Programa de modelamiento en 2D/3D, con procesamiento de sondajes, puntos, polígonos, TIN, sólidos y mallas.
15. **EARTH'S CORE v.1.1** (versión gratuita): Programa de información de gemas, rocas y minerales. Cuenta con fotografías de detalle.
16. **GEOCALC v.4.20** (versión completa): Programa conversor de coordenadas.

## Tesis selectas presentadas en la U.N.A.M. en 2020

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

**Génesis y evolución del cuerpo de Santa María, distrito minero de Velardeña, Durango.**  
Cano Hernández, Néstor Alfredo

**Condiciones paleoambientales durante el lapso Cenomaniano tardío-coniaciano en la cuenca de Huayacocotla y su relación con los eventos de cambio global acelerado.**  
Colín Rodríguez, Azucena

**Geología estructural del contacto entre el Litodema Chazumba del Complejo Ayú y la Formación Cosoltepec del Complejo Acatlán, sur de México.**  
Combata Ariza, Luis Alberto

**Reinterpretación de la estratigrafía e hidro-estratigrafía de la cuenca de México.**  
Cruz González, Daniel

**Petrología, geoquímica, termobarometría, pseudosecciones metamórficas y geocronología de la porción centro-sur del complejo oaxaqueño, Oaxaca, México.**  
Culí Verdaguer, Laura

**Dinámica superficial del Holoceno Tardío en la Zona de Punta Arena, Baja California Sur, mediante técnicas geocronológicas e indicadores ambientales.**  
Díaz Limonte, Rainer

**Caracterización de los minerales secundarios de Fe(III) :Schwertmannita, Jarosita e (Hidr)óxidos, provenientes de residuos minero-metalúrgicos y su reactividad de retención de iones contaminantes.**  
Escobar Quiroz, Ingrid Nayeli

**Génesis de los depósitos autigénicos e hidrotermales asociados a sistemas de filtración de fluidos en la cuenca de Guaymas, Golfo de California.**  
Escorcia Ocampo, Emmanuel

**Geoquímica de sedimentos y geocronología U-Pb de zircones detríticos de Playa Norte y Playa Tamiahua del Golfo de México: implicación de procedencia.**  
Flores Ocampo, Itzamna Zaknite

**Estudio de estabilidad de aldehídos y cetonas ante campos energéticos en la tierra primitiva.**  
Fuentes Carreón, Claudio Alejandro

**Paleoambiente del lago Coatetelco y su correlación con el desarrollo de Xochicalco, Estado de Morelos.**  
García Arriola, Oscar Agesandro

**Geología y exploración geofísica en San Miguel Tecamatlán, municipio Nochixtlán, Oaxaca.**  
García Hurtado, María Fernanda

**Micromorfología experimental en la cerámica de Santiaguillo Tlalcilcalli, Almoloya de Juárez, Estado de México: estabilidad mineral y estructural en procesos pre y post-coCCIÓN.**  
García Ramírez, Pamela Aide

**Caracterización paleoambiental de la Formación Tecamalucan del Cretácico Superior (Turoniano-Santoniano).**  
García Sandoval, Analí

**El suelo como fuente de materia prima en la arquitectura de tierra de Mesoamérica antigua.**  
García Zeferino, Thania Alejandra

# Caverna del arte

Fotografías del geólogo Jerjes R. Pantoja Irys.  
Corporación Ambiental de México (CAM), Monterrey, México.

Rayadora Neón (*Libellula croceipennis*)



Lagartija Espinosa Vientre Rosado (*Sceloporus variabilis*)



## Glosario de términos geológicos

Compilado por:

**E.P Saul Humberto Ricardez Medina**

Colaborador de la Revista

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.

**Alta presión:** Después de que una masa de aire se enfría, el movimiento de las moléculas que la componen disminuye. La masa de aire se contrae aumentando su densidad, por lo tanto, pesa más y baja hacia el suelo, donde crea una zona de alta presión (anticiclón).

**Baja Presión:** Es un sistema de isobaras cerradas concéntricas en el cual la presión mínima se localiza en el centro. Este fenómeno provoca convergencia y convección por lo que se asocia a la presencia de gran nubosidad y chubascos. A esto se le llama también Ciclón.

**Anticiclón:** Zona atmosférica de alta presión atmosférica. El aire de un anticiclón desciende sobre el suelo desde las capas altas de la atmósfera, produciéndose un fenómeno denominado subsidencia. Los anticiclones, provocan tiempo estable y ausencia de precipitaciones, ya que la subsidencia limita la formación de nubes.

**Barómetro:** Es el instrumento utilizado para medir la presión atmosférica. El más común es el barómetro de mercurio el cual permite visualizar la presión por medio del equilibrio que existe entre la presión atmosférica y la de una columna de mercurio.

**Depresión Tropical:** Etapa de transición de una zona de inestabilidad o perturbación atmosférica a la formación de un sistema ciclónico donde la circulación del viento es rotatoria. Aumenta la cantidad de nubes y disminuye la presión atmosférica.

**Isobara:** Línea que une puntos con misma presión atmosférica sobre una superficie dada (superficie de nivel, corte vertical, etc).

**Meteorología:** Ciencia que estudia las propiedades físicas de la atmósfera en periodos cronológicamente cortos, comprende el estudio del tiempo atmosférico.

**Ojo del Huracán:** Zona relativamente en calma, es el centro de una fuerte tormenta o huracán. En esta zona los vientos son débiles, pero es en la pared del ojo donde se registran los vientos más fuertes; el cielo a menudo está solo parcialmente cubierto o despejado de nubes

**Pluviómetro:** Instrumento que se utiliza para medir la cantidad de precipitación. Se mide en milímetros, equivalente a la altura que alcanzaría 1 litro de agua vertido en una superficie de 1 m.

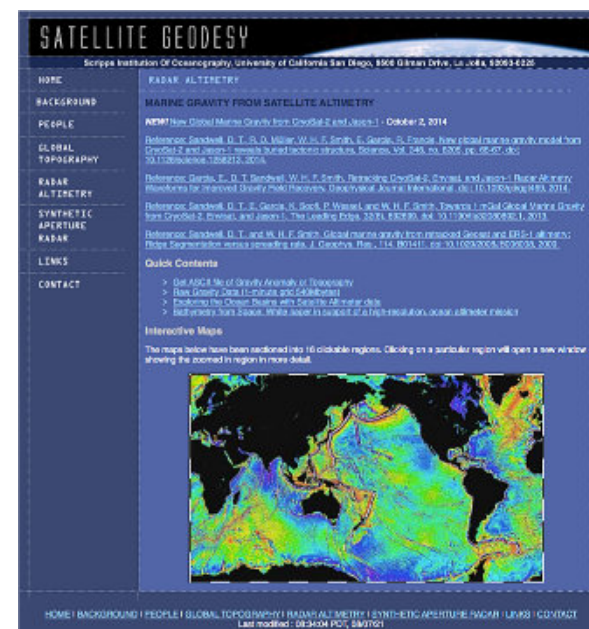
**Humedad:** Es la capacidad del aire para contener vapor de agua, dependiendo de su temperatura (una masa de aire caliente contiene mayor cantidad de vapor de agua que una masa de aire frío); puede ser expresado como humedad absoluta, específica, relativa o razón de mezcla.

Fuentes de Información: Servicio meteorológico Nacional (diciembre 14, 2022) Servicio meteorológico nacional. Sitio web: <https://smn.conagua.gob.mx/es/smn/glosario>



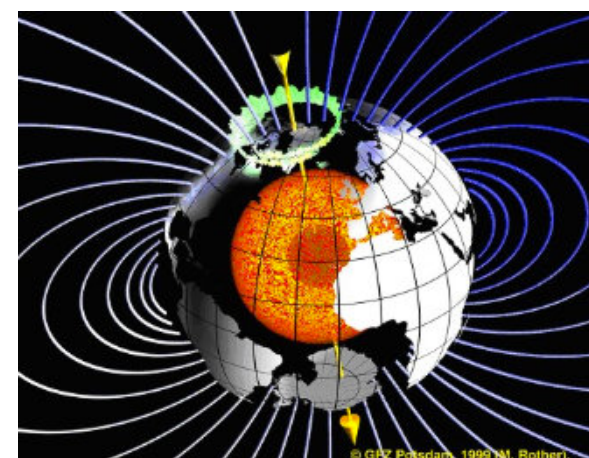
EN ESTE SITIO PUEDES ENCONTRAR INFORMACIÓN GRAVIMÉTRICA TERRESTRE DE DOMINIO PÚBLICO.

<https://ggos.org/item/bgi/>



EN ESTE SITIO PUEDES ENCONTRAR INFORMACIÓN GRAVIMÉTRICA MARINA DE DOMINIO PÚBLICO.

[https://topex.ucsd.edu/marine\\_grav/mar\\_grav.html](https://topex.ucsd.edu/marine_grav/mar_grav.html)



EN ESTE SITIO PUEDES ENCONTRAR INFORMACIÓN DE DOMINIO PÚBLICO, SOBRE EL CAMPO MAGNÉTICO DE LA TIERRA

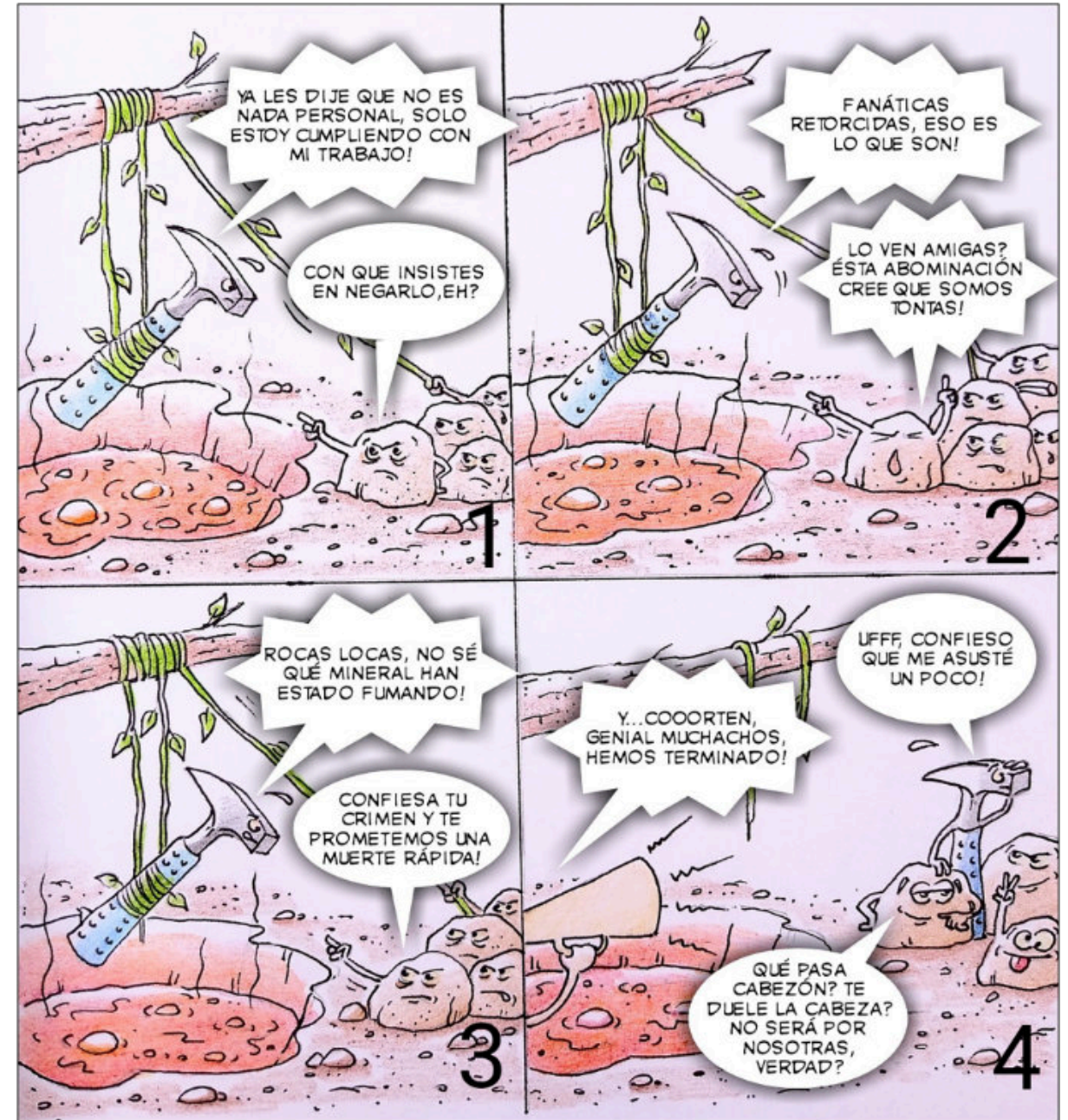
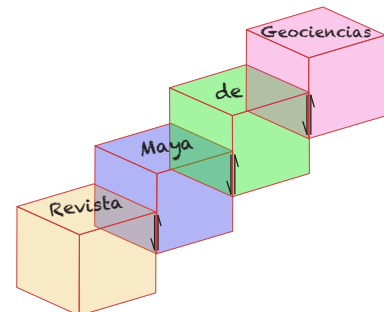
<https://geomag.us/index.html>

## Consortios de Investigación

En varias universidades de Estados Unidos se han establecido numerosos consorcios para atender la demanda de especialidades geológicas de la industria del petróleo. Esto ha permitido que los grupos de investigación y académicos en dichas universidades, perciban ingresos económicos que utilizan para el desarrollo de proyectos de investigación, y la financiación de equipos y materiales.

A continuación listamos algunos de esos consorcios, para que tengamos una noción de cómo se se organizan sus capacidades en relación con la industria petrolera.

- Consortio Interdisciplinario de Carbonatos de Kansas: <https://carbonates.ku.edu/>
- Consortio de Cuencas Conjugadas, Tectónica, e Hidrocarburos: <http://cbth.uh.edu/>
- Programa de Bases de Datos de Análogos Sedimentarios: <https://geology.mines.edu/research/sand/>
- Consortio para Modelado Electromagnético e Inversión: <http://www.cemi.utah.edu/>
- Consortio de Investigación de Interacción Sal-Sedimento: <https://www.utep.edu/science/its/>
- Consortio de Laboratorio de Geodinámica Aplicada: <https://www.beg.utexas.edu/agl>
- Proyecto de Síntesis Depositional: Golfo de México: <https://ig.utexas.edu/energy/gbds/>
- Consortio de Investigación de Fracturas y su Aplicación: <https://www.beg.utexas.edu/frac>
- Consortio para la Energía Avanzada: <https://www.beg.utexas.edu/aec>
- Laboratorio de Sedimentología Cuantitativa: <http://www.qsc.uh.edu/>
- Consortio: Análisis Tectónico: <https://www.tectonicanalysis.com/#top-bar>
- Investigación por Hidrocarburos (EGI): <https://egi.utah.edu/research/hydrocarbon/>
- Procesado Sísmico e Interpretación Atributos: <http://mcee.ou.edu/aaspi/>
- Laboratorio de Registros de Pozo: [https://www.spwla.org/SPWLA/Technical/Software/WELL\\_LOGGING\\_LABORATORY.aspx](https://www.spwla.org/SPWLA/Technical/Software/WELL_LOGGING_LABORATORY.aspx)



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

## Cueva de los Cristales Gigantes, Chihuahua, México)

La Mina de Naica fue descubierta en 1794 por unos mineros, Alejo Hernández y Vicente Ruiz y Pedro Ramos, mientras buscaban diversos minerales, se encontraron con estas increíbles cuevas cubiertas de cristales podrían incluso confundirse con la etérea guarida ártica de Superman. Diez años después del sorprendente descubrimiento, científicos solicitaron al gobierno mexicano reclamar el estatus de Patrimonio Mundial de la Unesco. Esto con la intención de proteger las formaciones únicas para las generaciones futuras. La mina que alberga estas impresionantes vigas blancas de yeso que han estado creciendo durante cientos de miles de años se encuentra ubicada en cuevas debajo del poblado de Naica, municipio de Saucillo en el estado mexicano de Chihuahua.

[https://es.wikipedia.org/wiki/Cueva\\_de\\_los\\_cristales\\_\(Naica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Cueva_de_los_cristales_(Naica))

<https://www.mexicodesconocido.com.mx/maravillas-de-naica.html>

<https://www.mexicotravelclub.com/grutas-de-naica-chihuahua>

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

[https://www.guiaturisticamexico.com/attractivo.php?id\\_blog=00300](https://www.guiaturisticamexico.com/attractivo.php?id_blog=00300)

<https://www.nationalgeographic.com/science/article/photos-mexico-cave-of-crystals>

<https://www.agenciasinc.es/Noticias/Los-cientificos-explican-como-se-formaron-los-cristales-gigantes-de-Naica>

<https://www.youtube.com/watch?v=yYepZlLcp3s>

<https://www.youtube.com/watch?v=TgguxYW13UE>

Compilado por Nimio Tristán,  
Geólogo,  
Houston, Texas



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

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

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

Asociación de Geólogos y Geofísicos  
Españoles del Petróleo

<https://aggep.org/>



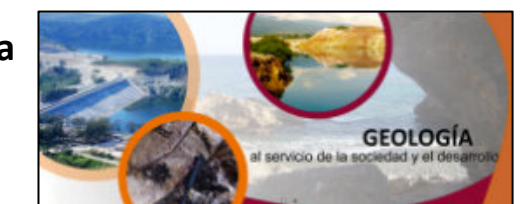
Sociedad Geológica de España

<https://sociedadgeologica.org/>



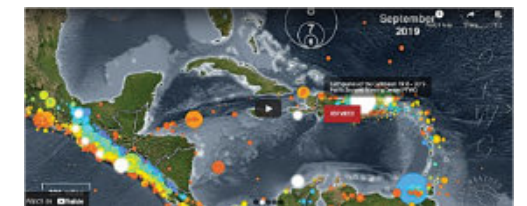
Sociedad Cubana de Geología

<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