

SEPTIEMBRE  
2024



# MAYYA

REVISTA DE GEOCIENCIAS





# 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:** Fitz Roy Mountain in the Argentinian Patagonia. **Fitz Roy** is named after the Captain of the HMS Beagle, who came to Patagonia in 1834 with Charles Darwin. The mountain is 3,375m high. Photo (high dynamic range) by **Claudio Bartolini**.

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

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

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

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

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

Revista de difusión y  
divulgación geocientífica.

# EDITORES



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

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

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



**Bernardo García-Amador** obtuvo su doctorado en Ciencias de la Tierra por la UNAM en 2024. Su geo-pasión es entender la evolución tectónica de Centroamérica, así como del sur y este de México antes, durante y posterior a la fragmentación de Pangea. Además imparte el curso de tectónica en la Facultad de Ingeniería

de la UNAM. 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 was 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



**Ing. Humberto Álvarez Sánchez.** Más de 5 décadas dedicadas a la geología de Cuba occidental y central. Cartógrafo en los macizos metamórficos y ofiolíticos de Cuba central y editor cubano de la Expedición checoslovaca Escambray II. Autor/coautor de 23 unidades del Léxico Estratigráfico de Cuba y miembro de las subcomisiones del Jurásico, Cretácico y Paleógeno de la Comisión del Léxico. Es el descubridor del mayor depósito cubano de fosforitas marinas. Gerente de Operaciones de Geotec, S.A.; dirigió exploraciones de Cu y Au en la Cordillera Central de Panamá y Perú para Juniors canadienses. Country Manager de Big Pony Gold de Utah y Geólogo Senior de Gold Standard Brasil, exploró prospectos de oro en el basamento cristalino de Uruguay y en los Estados de Santa Catarina y Mato



**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



**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

Grosso del Norte. El Ministro de Comercio e Industrias lo nombró Miembro de la Comisión "Ad Honorem" del Plan Maestro de Minería de Panamá. El Banco Interamericano de Desarrollo le encargó de redactar el Proyecto de Geología y Minería y parte de su Misión Especial para su entrega al Gobierno panameño. Anterior Miembro del Consejo Científico de GWL de la Federación Rusa y Representante del BGS en América central. Director de Miramar Mining Panamá y Minera Santeña, S. A., reside en Panamá y redacta obras sobre geología de Cuba y Panamá. En el repositorio Academia edu, se encuentran 22 artículos suyos.

[geodoxo@gmail.com](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)

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 sísmológica del siglo XX; a la historia del pensamiento sísmológico 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)



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

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

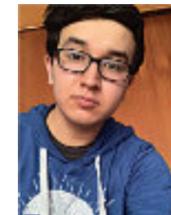
[ensilvacruz@gmail.com](mailto:ensilvacruz@gmail.com)



**María Guadalupe Cordero Palacios** es candidata para obtener el grado de maestra en ingeniería por la UNAM, geocientífica entusiasta por la divulgación en México. Se ha desempeñado como geocientífica en el área de exploración de recursos naturales en las empresas Fresnillo PLC, SGM y ha colaborado

con la Universidad Complutense de Madrid. Su principal gusto en las geociencias se centra en la geología estructural.

[lup@comunidad.unam.mx](mailto:lup@comunidad.unam.mx)



**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)



**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)



**Laura Itzel González León / Ingeniera geóloga ambiental**

Profesionista inclinada a la Geología aplicada a obras de ingeniería civil y a riesgos geológicos desencadenados por fenómenos antrópicos y naturales. Experiencia en

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

[gleon.laura@gmail.com](mailto:gleon.laura@gmail.com)

**Estimados lectores,**

**Es un placer hacer de su conocimiento, que Rodolfo Rafael Avalos Alejandre es a partir de este mes, colaborador de la Revista Maya de Geociencias. Démosle la bienvenida a Rodolfo!**

**Rodolfo Rafael Avalos Alejandre** Es ingeniero geólogo por la Facultad de Ingeniería (2022), actualmente estudiante de la maestría en ciencias de la Tierra por el Instituto de Geociencias. Realizó su estancia profesional en la unidad minera Fresnillo (2019), yacimiento correspondiente con su trabajo de tesis. Su principal interés es el entender procesos geológicos de escala regional enfocados en la exploración de yacimientos minerales a partir de análisis de Mineralogía Avanzada, estudiando variaciones en especies minerales, texturas, asociaciones, grados de cristalinidad, emulsiones por exsolución y elementos menores en solución sólida. Es divulgador científico centrado en la astronomía, historia de la ciencia y cultura desde 2015 en la plataforma Astro Camp MX, montañista entusiasta desde 2021 y fotógrafo de paisaje desde 2021.



## Una geóloga en la industria cementera

Por **Laura Itzel González León**

Colaboradora de la Revista

Hace poco tiempo comencé una nueva etapa laboral en la industria cementera. Recuerdo que durante una capacitación sobre concreto (el producto de la mezcla de cemento, agregados pétreos, agua y aditivos) escuché por primera vez referirse a dicho material como “roca artificial”; ese término me hizo reflexionar un buen rato... Si viajáramos al pasado, veríamos a nuestro ancestros refugiándose de la intemperie en abrigos rocosos y, más tarde, construyendo casas y monumentos a partir de materiales pétreos y cementantes naturales; pero no sería sino hasta la Revolución industrial cuando Joseph Aspdin y James Parker patentaron lo que hoy conocemos como “Cemento Portland” - la primera mezcla estaba hecha a partir de caliza y carbón calentado a altas temperaturas, cuyo producto resultante era similar a las rocas que afloran en la isla de Portland, de ahí el nombre -, a partir de entonces, este material ha sido diversificado por múltiples empresas para crear infraestructura que va desde casas-habitación hasta grandes obras de movilidad. Para darnos una idea de la dimensión de esta industria, en 2021, la fabricación de cemento alcanzó una producción mundial de casi 4500 millones de toneladas según el reporte de la International Cement Review.

¿Qué es lo que hace tan especial al cemento? Al ser hidratado, este polvo sufre una serie de reacciones químicas que le confieren la propiedad de endurecerse, conservar su resistencia y mantenerse estable durante largos periodos de tiempo; es importante mencionar que el fraguado no es el “secado” de la pasta como podríamos lógicamente inferir, sino, la generación de una red de cristales que promueven su endurecimiento. A través de un conjunto de aditivos, probados en laboratorios de calidad, se obtienen características especiales como la resistencia a los sulfatos/cloruros, la disminución de su reactividad a los elementos alcalinos y la modificación del tiempo de fraguado.

Es fácil comprender el papel del geólogo en las actividades extractivas que son llevadas a cabo mediante voladuras en bancos a cielo abierto; pues, al igual que otras explotaciones mineras, se comienza con campañas de exploración para determinar la geología del sitio, presencia de estructuras, condiciones de agua subterránea y propiedades físico-químicas de los materiales. Estos datos son indispensables para desarrollar los modelos que serán la base para la planeación y el diseño de la cantera; incluyendo, la

selección de la maquinaria pesada, la ubicación de las instalaciones administrativas y las del equipo fijo (trituradora, bandas transportadoras, etc.).



Imagen ilustrativa de planta cementera generada con inteligencia artificial.

El geólogo también debe verificar el área y las características del terreno a explotar para producir una voladura eficiente, evitar riesgos geológicos durante la explotación, asegurar la calidad del material y facilitar el acarreo de los materiales a los procesos de conminución donde la granulometría de la materia prima se reducirá a menos de 1” antes de ingresar a la etapa de molienda.

Acá debemos retroceder un poco para saber qué es lo que buscamos en las campañas de exploración, y es que, aunque cada empresa tiene su propia “receta” que debe cumplir con las normas de la ASTM (American Society for Testing and Materials) y/o la normativa de su país (NMX-C-ONNCCE en México), en esencia, todos los productores necesitamos un ingrediente principal para hacer cemento; el “clinker”. El clinker es el producto de la calcinación y sinterización de caliza, arcilla y aditivos (por ejemplo, yeso, puzolana, cenizas o escoria de alto horno), en un horno a más de 1200°C. En estas condiciones, la caliza comienza a disociarse en CO<sub>2</sub> y CaO (cal), mientras que la arcilla se descompone en óxidos de Si, Al y Fe. En proporciones menores, también encontramos impurezas como K, Na, Mg y S. De estos elementos iniciales se generarán 4 compuestos de los que dependerá la calidad del clinker: silicato tricálcico (3CaO·SiO<sub>2</sub>), silicato dicálcico (2CaO·SiO<sub>2</sub>), aluminato tricálcico (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·3CaO) y ferroaluminato tetracálcico (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·4CaO·Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). A los dos primeros les debemos la mayor parte de las características iniciales del cemento, mientras que los dos últimos nos ayudarán a disolver, reaccionar y formar los nódulos o pellets de clinker.



Nódulo de clinker antes de ingresar al molino de bolas para cemento. (Ilustración propia)

Cuando dosificamos las materias primas al horno es importante conocer la composición de cada una de ellas; por lo tanto, las pilas de material deben muestrearse y probarse en laboratorio antes de ingresar a la tritadora y, de ser posible, emplear un analizador de partículas que examine en tiempo real el material que se transporta por las bandas transportadoras una vez triturado. Dado que pocas veces el material local cumple estrictamente con la química necesaria, se tienen stocks de materias primas correctivas que son adicionadas a la mezcla procedente de la tritadora para ajustar la química durante la pre-homogenización.

¿Qué es lo que puede pasar si no cuidamos la calidad de las materias desde su extracción? En realidad, son múltiples los factores que deben vigilarse; por ejemplo, un exceso de CaO libre producirá expansión y retardo del fraguado; una alta cantidad de Mg limitará la formación de los silicatos cálcicos; el K y el NA, si no reaccionan completamente, generarán costras y la corrosión del recubrimiento refractario del horno; el S disminuirá la adherencia entre el cemento y los agregados en el concreto, afectando la resistencia y provocando la corrosión de las estructuras metálicas con las que entre en contacto; la sobredosis de aluminato, responsable del fraguado instantáneo, volvería difícil de manejar por el rápido endurecimiento. Además, la normatividad ambiental es muy estricta con respecto a las emisiones de esta industria, por lo que debemos cerciorarnos de no sobrepasar los límites máximos permisibles de VOC, NOx, SOx y CO que afectan la calidad del aire.

Son tantos los elementos a inspeccionar para garantizar un cemento de calidad que existen departamentos especializados en realizar pruebas a microescala del proceso del horno y, mediante difracción y microscopios analizar las fases minerales formadas y su petrografía (litología, morfología, textura, grado de alteración, porosidad, microfracturamiento, impurezas, etc.) para asegurar que el producto resulte en un sólido rígido capaz de soportar las más altas demandas de la ingeniería. Estos análisis también sientan las bases para el diseño de infraestructura y el estudio de problemas asociados al fallamiento del concreto. Cuando se ha corroborado que la mezcla procedente del molino cumple con la calidad requerida, esta es llevada al horno donde sus compuestos se fundirán y mezclarán para posteriormente enfriarse y molerse con aditivos antes de ser empaquetados.

A partir de este brevísimo resumen de todo el mundo que engloba la fabricación del cemento y del cómo el geólogo puede jugar un rol importante para garantizar la calidad en la elaboración de "rocas artificiales", solo queda imaginar las múltiples aplicaciones en las que este será utilizado.

#### Referencias

- Asociación Colombiana de Productores de Concreto. (2024). Un breve recorrido a la historia del cemento. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/recorrido-historia-del-cemento/>
- Chirif, L. y Barentzen, H. (2010). Conceptos petrológicos aplicados al estudio del concreto. *XV Congreso Peruano de Geología*, Cusco, 27 septiembre - 1 octubre 2010. Resúmenes extendidos. Publicación Especial, n° 9, 2010.
- Diario Oficial de la Federación. (2002). NORMA Oficial Mexicana NOM-040-ECOL-2002, Protección ambiental-Fabricación de cemento hidráulico-Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo68952.pdf>
- Donza, H., Menéndez, G., Irassar, E., Rahhal, V., y Bonavetti, V. (2006). Cementos compuestos elaborados con puzolana natural y escoria granulada de alto horno. *Materiales de construcción*, ISSN 0465-2746, Vol. 56, N°. 283, 2006, págs. 25-36
- European Cement Association (2018). Clinker: la columna vertebral del cemento. <https://lowcarboneyconomy.cembureau.eu/5-years-on/the-5c-approach/clinker/#:~:text=Clinker%20is%20the%20backbone%20of,a%20known%20as%20process%20emissions>
- International Cement Review (2021). The Global Cement Report. <https://ficem.org/uso-estadisticas/>

## Nuevo Canal Youtube de la Revista Maya de Geociencias

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

### Estimados colegas,

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

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



## Visítanos en Revista Maya de Geociencias

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



# CONTENIDO

**SEPTIEMBRE  
2024**

Semblanzas.....	<a href="#">11</a>
Miscelanea de imágenes.....	<a href="#">20</a>
Resúmenes de tesis y publicaciones.....	<a href="#">23</a>
Los libros recomendados.....	<a href="#">31</a>
Temas de interés.....	<a href="#">33</a>
Fotografías de afloramientos/microscopio.....	<a href="#">64</a>
Notas geológicas.....	<a href="#">73</a>
<b>Misceláneos</b>	
Museos de historia natural.....	<a href="#">116</a>
Switich Competition.....	<a href="#">117</a>
GeoLatinas – GeoSeminarios.....	<a href="#">120</a>
Revista de Geociencias UNAM.....	<a href="#">121</a>
Aplicaciones Científicas.....	<a href="#">122</a>
Gulf Coast Section of SEPM Perkins–Rosen Research Conference.....	<a href="#">123</a>
XXXIV Congreso Nacional de Geoquímica–México.....	<a href="#">127</a>
Sitios de interés varios.....	<a href="#">129</a>
Latin America and Caribbean events.....	<a href="#">130</a>
La casa de los Minerales.....	<a href="#">131</a>
Caverna del Arte.....	<a href="#">132</a>
Geo-caricatura (Wilmer Pérez Gil).....	<a href="#">135</a>
Colca Canyon, Peru.....	<a href="#">136</a>
Asociaciones geológicas hermanas.....	<a href="#">137</a>

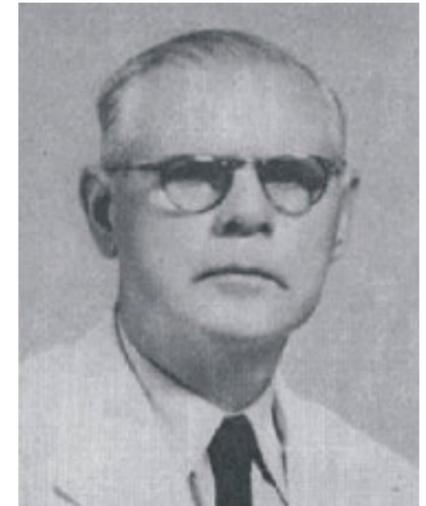
# SEMBLANZAS

## Jorge Brödermann y Vignier: 1889-1968

Nació en La Habana el 21 de mayo de 1889. En 1902 ingresó en la Escuela de Artes y Oficios donde se graduó de constructor civil. En 1905, ingresó en la Escuela de Ingenieros Civiles y Arquitectos de la Universidad de La Habana, graduándose en 1911 de ingeniero civil, y en 1913, de arquitecto. Inició su vida profesional el 22 de julio de 1910, como ingeniero auxiliar de la Secretaria de Obras Públicas del Distrito de Oriente. En 1918, el Negociado de Mejoras de Ríos y Puertos le nombra ingeniero de Tercera Clase de la Secretaría de Obras Públicas. Ese mismo año fue electo presidente del Colegio de Arquitectos de La Habana.

Brodërman comenzó a interesarse por los trabajos de geología y minería desde 1917, con estudios sobre los yacimientos petrolíferos en las cercanías de Guanabacoa, en La Habana.<sup>1</sup> Estos incluyen una descripción sobre los primeros pozos de exploración perforados en los permisos Santiago, Jorge y Jorge Cándido. La mayor parte de los primeros pozos del campo Bacuranao fueron perforados en la sección sedimentaria, pero en las inmediaciones de los afloramientos de rocas serpentínicas. A partir de entonces publica decenas de trabajos relacionados con temas propios de sus disciplinas profesionales, destacándose los relacionados con la posible existencia de petróleo en la zona norte de La Habana<sup>2</sup>, Pinar del Río<sup>3</sup>, Las Villas<sup>4</sup>, Las Tunas<sup>5</sup>, Holguín<sup>5</sup>, Matanzas y Madruga<sup>6</sup>, entre otros.

La Dirección de Montes y Minas del Ministerio de Agricultura, a propuesta del ingeniero José Isaac del Corral, lo nombró ingeniero jefe de la Comisión del Mapa Geológico de Cuba, entidad que a partir de 1950 se denomina Comisión Técnica de la Geología y la Minería. Esta fue una gran obra desde el punto de vista científico, en la que participan los geólogos Jesús Francisco de Albear, Carlos Aguayo, Mario Sánchez Roig, Pedro J. Bermúdez y el Ingeniero Armando Andreu en el apoyo Cartográfico y Topográfico. Este fue el único mapa general de la Isla oficialmente reconocido de la época antes de 1959, se le denominó: "Croquis Geológico de Cuba a escala 1: 1 000 000" y fue editado y publicado en 1946 por la Comisión Técnica del Buro de Montes y Minas del Ministerio de Agricultura. Las investigaciones de la



Comisión resultaron de gran utilidad para el conocimiento de las cuencas petroleras y de las zonas mineras, además de un relevante estudio cartográfico nacional, fue acreedor de Medalla de Oro y Diploma, otorgados por la Sociedad Geográfica de Cuba el 30 de marzo de 1948.<sup>7</sup>

Brödermann prestó servicios como jefe de la Sección de Geología del Instituto Nacional de Hidrología y Climatología Médicas del Ministerio de Salubridad y Asistencia Social. En 1940 publicó una notable obra titulada "Breve reseña de la Geología de Cuba", que constituye una recopilación sobre las principales investigaciones geológicas de Cuba publicadas desde Humboldt hasta esa fecha y por la que recibió el premio "Ingeniero J. Primelles".<sup>8</sup> También le fue otorgado el premio "Presidente F. Gastón" por su relevante escrito "Determinación geológica de la Cuenca de Vento".<sup>9</sup> En mayo de 1940 participó en el VIII Congreso Científico Americano, celebrado en Washington y en junio del mismo año, en la Segunda Reunión Interamericana del Caribe, en Santo Domingo.

A partir de 1942 producto de la Guerra se origina una situación muy difícil con el combustible por lo que se le solicita a la Comisión Técnica estudiar la posibilidad de suministro de combustibles fósiles tanto líquidos como sólidos. El 6 de mayo de 1943 se integra la comisión de investigación de yacimientos asfálticos, integrada por los

ingenieros Brödermann y Andreu de la Comisión del Mapa Geológico y el doctor Federico Villoch de la Dirección de Montes Minas y Aguas. Esta comisión técnica rindió su informe en diciembre de 1943 y publicado en 1945.<sup>10</sup> En el informe se relacionan los afloramientos y yacimientos asfálticos en cada una de las seis provincias y se describen en detalle unas 49 minas, cotos y vetas productivas.<sup>11</sup> Las principales localidades aparecen mucho más completa y efectiva en el mapa minero de 1947. En

1944 la Comisión recibe una felicitación por parte del Ministerio de la Agricultura por el informe.

Jorge Brödermann realizó estudios hidrogeológicos<sup>12</sup> en La Habana<sup>13</sup>, Villa Clara<sup>14</sup>, Camagüey<sup>15</sup> y la ciudad de Pinar del Río.<sup>16</sup> En 1944 recibió reconocimientos del Ministerio de Agricultura por su eficaz auxilio en los proyectos de emplazamiento de presas en el río Yara. En abril de 1945, prestó servicios como jefe de la Sección de Geología del



Croquis geológico de Cuba a escala 1:100 000 de 1946.

Instituto Nacional de Hidrología y Climatología Médicas, del Ministerio de Salubridad y Asistencia Social. A partir del 8 de noviembre de 1946 se desempeñó como presidente de la Sociedad Cubana de Ingenieros. En enero de 1948, ese mismo ministerio lo acreditó como miembro de su Comisión Nacional de Energía Atómica para Usos Civiles. Entre sus numerosas publicaciones, muchas premiadas por instituciones científicas de Cuba, se encuentran: “Bosquejo geológico de la Isla de Cuba”, 1941; “Breve reseña mineralógica de Cuba”, 1947 y en colaboración con el doctor Bermúdez publicó la “Contribución al mapa geológico de la provincia de La Habana”. Dictó conferencias en la Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de La Habana y en la Universidad de La Habana, entre otras instituciones científicas

Fue miembro de la Real Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de La Habana a partir de junio de 1951, cuando pronunció su discurso de ingreso con el título: “Consideraciones generales acerca de nuestras estructuras geológicas con posibilidades petrolíferas”. El

trabajo de ingreso como Académico de Número, fue leído en la Sesión celebrada el 1 de junio 1951 expone como principal elemento que apoya el potencial gasopetrolífero de Cuba las similitudes geológicas entre Cuba y México en la parte norte de la isla en **“las formaciones marinas del Jurásico Superior y el Cretácico Inferior, que corresponden a las formaciones donde ha tenido su génesis el petróleo tanto en México como en Cuba”**.<sup>17</sup>

Brödermann describe con detalle las estructuras principales dentro de las formaciones sedimentarias, donde pueden existir condiciones favorables para acumulaciones petrolíferas económicamente remunerativas y describe con detalle los yacimientos en Guanabacoa.<sup>18</sup> Considera que el yacimiento Bacuranao dentro de una gran estructura anticlinal erodada formando pliegues fallados, fracturados y con abundantes manifestaciones petrolíferas. Asocia la producción comercial a las serpentinitas fracturadas y silicificadas, así como a las areniscas cretácicas en contacto con las mismas. Describe la continuación del campo Bacuranao hacia el norte en las cercanías de la costa norte. El pozo a

2 200 pies descubre dentro de la formación Cretácica una capa con 20 pies de espesor con petróleo pesado. El yacimiento Bacuranao tiene una producción total de 150000 barriles de petróleo donde la práctica de la perforación de los pozos productores lleva a mantener la producción mayor y durante más tiempo.<sup>19</sup>

Jorge Brödermann fue autor de más de medio centenar de trabajos relacionados con las ciencias geológicas. A través de su obra, Brödermann demostró su calidad de investigador y su deseo de explorar la geología de Cuba,

que como bien dijera “el gabinete es para los análisis y determinaciones, pero el geólogo tiene su campo de actividades fundamentalmente en la propia Naturaleza”. Fue socio titular de la Sociedad Cubana de Historia Natural “Felipe Poey” a partir del 12 de diciembre de 1938 y de la Sociedad Micropaleontológica del Museo Americano de Historia Natural. La Sociedad Cubana de Geología otorga el premio “Jorge Brödermann Vignier” para destacar el esfuerzo y los resultados de los miembros en la conducción de esa Sociedad. Falleció en Ciudad de La Habana el 1ro. de junio de 1968.

<sup>1</sup>Brödermann y Vignier, Jorge. 1917. El Petróleo en la región de Bacuranao», Boletín de la Sociedad Cubana de Ingenieros, 9 (9): 591-622, La Habana, septiembre de 1917; Brödermann y Vignier, Jorge. 1917. El petróleo en la región de Bacuranao. Conferencia. Fomento. Habana

<sup>2</sup>Brödermann y Vignier, Jorge. 1917. Yacimientos petrolíferos de Cuba. Fomento, Habana, 1, pág. 11-14.; Brödermann y Vignier, Jorge. 1917. Existencia de Yacimientos Petrolíferos en la Provincia de la Habana, Boletín de la Sociedad Cubana de Ingenieros, 2 (9): 153-156, La Habana, febrero de 1917; Brödermann y Vignier, Jorge. 1918. Nueva zona petrolífera en la provincia de La Habana. Fomento, Habana, 1, pág. 220-223; Brödermann y Vignier, Jorge. 1919. Una descripción sobre los primeros pozos de exploración hecho por las empresas Pinar del Río Mining Co y el Bacuranao Mining Co.

<sup>3</sup>Brödermann y Vignier, Jorge. 1917. El petróleo en Pinar del Río existencia probable de grandes yacimientos. Fomento, Habana, 1, pág. 112-115; Brödermann y Vignier, Jorge. 1917. Reconocimiento petrolífero de la región del Caimito (Cuba). Fomento, Habana, 1, pág. 161-163; Brödermann y Vignier, Jorge. 1918. Los yacimientos petrolíferos al sur de la Sierra del Rosario en la provincia de Pinar del Río. Fomento, Habana, 1, pág. 192-196; Brödermann y Vignier, Jorge. 1918. Primeras Perforaciones en Busca de Petróleo en la Sierra del Rosario, Provincia de Pinar del Río, por Jorge Brödermann, Fomento, La Habana.

<sup>4</sup>Brödermann y Vignier, Jorge y Medley, E. 1918. Reconocimiento petrolífero de la provincia de Santa Clara. Fomento, Habana, pág. 255-258.; Brödermann y Vignier, Jorge. 1948. Posibilidades petrolíferas de la Provincia de Las Villas: Las Gaseras de Jiquimas de Gómez, Boletín de la Sociedad Cubana de Ingenieros, 8 (46): 476-487, La Habana, agosto de 1948.

<sup>5</sup>Brödermann y Vignier, Jorge. 1938. Los cotos mineros de Aguas Claras y Guabajales en Holguín. Boletín de Minas, 16: 78-86.

<sup>6</sup>Brödermann y Vignier, Jorge. 1919. Consideraciones sobre los terrenos petrolíferos de Madruga, Boletín de la Sociedad Cubana de Ingenieros, 3 (11): 138-141, La Habana, marzo de 1919

<sup>7</sup>Brödermann y Vignier, Jorge; de Albear, J y Andreu A. Croquis Geológico de Cuba a escala 1: 1 000 000. Comisión Técnica de Montes y Minas del Ministerio de Agricultura. La Habana, Cuba. 1946. Primera edición.

<sup>8</sup>Brödermann y Vignier, Jorge. 1945. Breve Reseña Geológica de la Isla de Cuba», Boletín de la Sociedad Cubana de Ingenieros, 1 (42): 110-156, La Habana, enero de 1945.; Brödermann y Vignier, Jorge. 1943. Breve reseña geológica (de Cuba). Censo de la República de Cuba, 113-148.

<sup>9</sup>Brödermann y Vignier, Jorge. 1940. Determinación geológica de la Cuenca Vento. Revista de la Sociedad Cubana de Ingenieros, 34 (2): 272-315.

<sup>10</sup>Brödermann y de Vignier, Jorge; Federico Villoch; A. Andreu. 1945. Investigación técnica de yacimientos asfálticos de Cuba. Boletín de Minas, 19: 128-129. Ministerio de la Agricultura 1945;

<sup>11</sup>Brödermann y de Vignier, Jorge; Villoch, Federico; Andreu, Armando. 1944. Yacimientos asfálticos de Cuba. La Habana F.G.-C.P.-04-31 191 p.

<sup>12</sup>Brödermann y Vignier, Jorge. 1947. Breve Sinopsis sobre hidrología y alumbramiento de aguas subterráneas», Archivos del Instituto Nacional de Hidrología y Climatología Médicas, 1 (3): 13-38, La Habana, septiembre de 1947; Brödermann y Vignier, Jorge. 1948. Clasificación de las aguas minero-medicinales, analizadas por el Instituto Nacional de Hidrología y Climatología Médicas», Archivos del Instituto Nacional de Hidrología y Climatología Médicas, año 2 (2): 185-188, La Habana, junio de 1948.

<sup>13</sup>Brödermann y Vignier, Jorge. 1942. Investigación geológica de las Aguas Minero-Medicinales de la Provincia de la Habana, Boletín de la Sociedad Cubana de Ingenieros, 4 (37): 195-219, La Habana, abril de 1942.

<sup>14</sup>Brödermann y Vignier, Jorge. 1947. Informe Geológico e Hidrológico de los manantiales minero-medicinales de Elguea, Anales del Instituto Nacional de Hidrología y Climatología Médicas, año 1 (2): 1-11, La Habana, mayo de 1947.

<sup>15</sup>Brödermann y Vignier, Jorge. 1942. Reconocimiento Geológico al Norte de Florida, Camagüey. Determinación de la cuenca hidrológica y localización del lugar más favorable para el abasto de la ciudad», Boletín de la Sociedad Cubana de Ingenieros, 10 (37): 615-617, La Habana, octubre de 1942.

<sup>16</sup>Brödermann y Vignier, Jorge; Andreu, A., y Valdés Roig, J.M. 1942. Aprovechamiento de agua subterránea para el abastecimiento de Pinar del Río. Revista de la Sociedad Cubana de Ingenieros, 37 (8): 466-480.

<sup>17</sup>Brödermann y Vignier Jorge. 1951. Consideraciones Generales acerca de nuestras estructuras geológicas con posibilidades petrolíferas Anales de la Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de la Habana, 1951, Vol. XC, Fascículo I, Págs. 1 – 46. Compañía Editora de Libros y Folletos. O'Reilly No 304. La Habana. Trabajo de ingreso como Académico de Número, leído en la Sesión celebrada el 1 de junio 1951.

<sup>18</sup>Brödermann y Vignier, Jorge. 1957. Posibles Cuencas Petrolíferas de Cuba Conferencia Pronunciada en la Sociedad Felipe Poey el día 2 de marzo de 1957 Memorias de la Sociedad Cubana de Historia Natural Vol. 24 No 1

<sup>19</sup>Brödermann y Vignier, Jorge. 1957. Posibles cuencas petrolíferas de Cuba. Memorias de la Sociedad Cubana de Historia Natural "Felipe Poey". 1957.



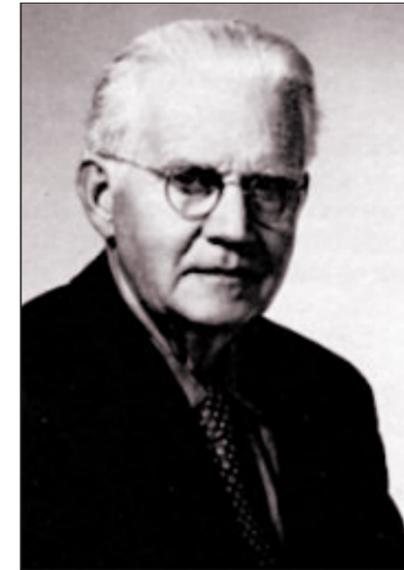
**Rafael Tenreiro Pérez**, se gradúa de ingeniero en geofísica de exploración de petróleo en 1974 en la Academia Estatal de Petróleo de Azerbaiyán, Master en Ciencias en Geología del Petróleo en la Universidad Politécnica CUJAE de la Habana en 1981 y Doctor en ciencias en Geofísica de Exploración la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

Tiene cuarenta y ocho años de experiencia en la Industria petrolera en Cuba y en otros países fundamentalmente en la especialidad de exploración de yacimientos de petróleo y gas. Durante este tiempo transitó desde ingeniero geofísico de adquisición hasta Jefe de Exploración de la empresa petrolera nacional de Cuba - Cupet, cargo

que ocupó por 16 años hasta su retiro en 2016. Investigador científico también recorre desde Aspirante a Investigador a Investigador Titular. Fue Jefe técnico del programa de exploración en la Zona Económica Exclusiva del Golfo de México. Director Técnico del Comisión para la Plataforma Extendida de Cuba. Tiene más de doscientas publicaciones que incluyen artículos científicos, presentaciones en eventos, conferencias, mapas, monografías y libros de texto. Premio de Geología Antonio Calvache Dorado de la Sociedad Cubana de Geología en 1992. En estos momentos trabaja en la empresa australiana Melbana Energy Limited.

[tenreiro2015@gmail.com](mailto:tenreiro2015@gmail.com)

## Ralph W. Imlay: 1908 - 1989



**Ralph W. Imlay**, one of the world's most distinguished authorities on Jurassic and Lower Cretaceous ammonites, bivalves, stratigraphy, and paleontology, died on March 4, 1989, in Santa Barbara, California, at the age of 81. Ralph led a brilliant and productive life equalled by few in American paleontology. The scientific excellence of his work, based on meticulous collection and interpretation of data, has served as a model to generations of students and colleagues that have followed his footsteps through the Americas and the Caribbean Province. Ralph was born on February 21, 1908, in Hampton, Iowa, and shortly afterward his family moved to Reed Point, Montana, where he received his primary and secondary education. He attended The University of Montana, receiving his B.Sc. in Geology in 1930, and then moved to the University of Michigan where he studied with the renowned E. C. Case and L. B. Kellum. This was the time that Kellum was engaged in his pioneer geological and biological studies of interior Mexico. Through his Doctoral thesis work and subsequent contributions, Ralph became an integral part of the University of Michigan's Mexican Research Team, having primary responsibility for Jurassic and Lower Cretaceous regional geology, stratigraphy, and paleontology. His research in Mexico was to become the first comprehensive study of the middle Mesozoic in this region. It had such a profound and lasting impact on the geological development of that nation that, in 1968, Ralph

was made an Honorary Professor of Geology at the University of Mexico. This award was only the fourth such honorary professorship to be granted in the history of this, the oldest University in the Western Hemisphere, since its establishment in the 1500's.

Ralph received his Ph.D. from the University of Michigan in 1933, and after two years of teaching at Rutgers and four years at Michigan, he joined the Paleontology and Stratigraphy Branch of the U.S. Geological Survey in Washington, D.C. Initially, he continued his pioneering work in Mexico as part of the U.S. Government's Point 4 Program. In 1940, Ralph began entirely new research on the Jurassic and Lower Cretaceous of the United States Gulf Coastal Plain and nearby Caribbean islands. Through integration of surface and subsurface data Ralph delineated the complex Mesozoic geologic history of this important province. He was subsequently a leading figure in the formulation of the Geological Society of America-sponsored correlation charts for this region as well as for Mexico, Central America, and the Jurassic of North America. In 1945, Ralph began a 38-year investigation of the Jurassic stratigraphy, paleontology, and paleogeography of the Western Interior, Pacific Coast, and Alaska regions of North America, which culminated in his world-known synthesis The Jurassic Paleogeography of the Conterminous United States and its Continental Setting,

published as U.S. Geological Survey Professional Paper 1062.

Ralph's international reputation as a Mesozoic paleontologist and stratigrapher led to a series of justly deserved awards, including an honorary Ph.D. from the University of Montana in 1959, his election as President of The Paleontological Society in 1964, his Honorary Professorship at the University of Mexico in 1968, and his receipt of the U.S. Department of the Interior's highest honor, the Distinguished Service Award, in 1974. He was an elected Fellow of the Geological Society of America and RALPH WILLARD IMLAY (1908-1989) the Society of Economic Paleontologists and Mineralogists; he was an early moving force in the JOIDES Deep Sea Drilling Program and an original member of its Paleontology and Stratigraphy Panel. In 1982, during his last year of reasonably good health, Ralph, along with J. A. Jeletzky, was honored with a special Symposium at the Third North American Paleontological Convention, in Montreal, Canada (Geological Association of Canada Special Paper 27, 1984). Ralph Imlay's contributions to our science were especially immense in the fields of systematic paleontology, biostratigraphy, paleogeography, and regional geology. His impact was far greater than the more than 100 major publications, 2,500 pages, and innumerable maps and charts he published. He will long be remembered as a one-man service organization for field geologists working in Jurassic and Lower Cretaceous Rocks throughout North America. Identifying fossils, interpreting stratigraphy and paleoenvironments, providing dates and precise correlations, and generally counseling the geologists of the North American Jurassic

community was Ralph's passion for over thirty years. Evidence of this service and his hidden impact on our science lies among the reams of unpublished reports for field geologists, housed in the files of the U.S. Geological Survey, that, in magnitude, exceed his published work. Ralph described and named more molluscan species, and had more named after him, than almost any single Mesozoic paleontologist now alive. The material he described was almost all collected by himself. He was an indefatigable field geologist with a great love for the natural beauties of the areas in which he worked. Even when not in the field he spent many weekends with his wife Bertha, camping and hiking the trails of the nearby Appalachians.

He took pride in having seen and personally collected from virtually every major area of Jurassic exposure from Alaska to the Cordillera of Mexico. Hopefully, a new generation will produce a successor that will match the breadth of his field experience and be so willing to share his knowledge. Ralph retired from the U.S. Geological Survey in 1983, but remained an active member of the research community as a Senior Scientist (USGS) and Honorary Research Associate of the Smithsonian Institution until 1986, when poor health forced him to leave Washington to spend his final years with his family. He is survived by his three sons, Mark, Richard, and Gary. We have lost a giant in our science. His excellence and dedication to paleontology are sorely missed. \*From ERLE G. KAUFFMAN University of Colorado, Boulder and NORMAN F. SOHL U.S.G.S., Reston, VA.

#### Selected Publications

Imlay, R.W., 1982, Jurassic (Oxfordian and Late Callovian) ammonites from the western interior region of the United States. Geological Survey professional paper, 1232.

Imlay, R.W., 1976, Middle Jurassic (Bajocian and Bathonian) ammonites from northern Alaska. Geological Survey professional paper, 854.

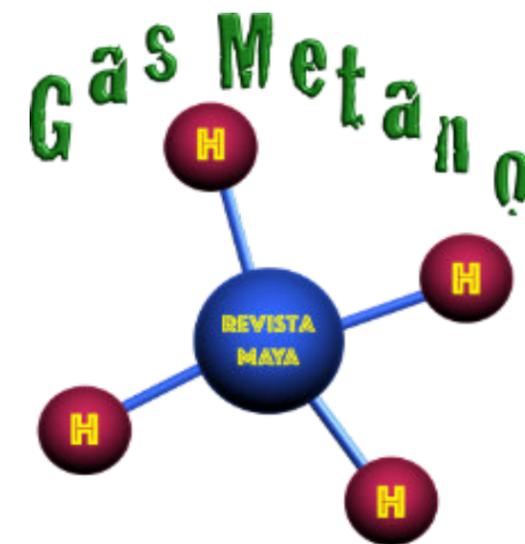
Imlay, R.W., 1975, Stratigraphic distribution and zonation of Jurassic (Callovian) ammonites in southern Alaska. Geological Survey professional paper, 836.

Imlay, R.W., 1948, Characteristic marine Jurassic fossils from the western interior of the United States. USGS Prof. Pap. 214-B; pp. 13-32, 1 fig., 5 pls. h.t. w. molluscs (most ammons.).

Imlay, R.W., 1955, Characteristic Jurassic mollusks from Northern Alaska. - United States Geological Survey Prof. Pap. 274-D; pp. 69-96, 1 fig., 6 pls. h.t. with bivalves (2) and cephalopods (4), fold. stratigr. table in pocket.

Imlay, R.W., and Jones, D.L., 1970, Ammonites from the Buchia zones in northwestern California and southwestern Oregon. USGS Professional Paper 647-B: 1-59.

Imlay, R.W., 1937, Geology of the middle part of the Sierra de Parras, Coahuila, Mexico: GSA Bulletin 48 (5): 587-630.



**El éxito es la suma de pequeños esfuerzos repetidos día tras día.**

Robert Collier

## Emile A. Pessagno: 1933 - 2024



The Department of Sustainable Earth Systems Sciences and the geoscience community mourns the loss of esteemed Emeritus Professor Emile Anthony Pessagno, Jr., who passed away on May 23, 2024, in East Texas. He was 91 years old. A revered figure in the field of micropaleontology, Pessagno's career spanned several decades, notably as a faculty member at The University of Texas at Dallas (UTD) from 1967 to 2006.

Pessagno earned his B.A. in Geology from Princeton University in 1955, his M.S. in Geology from Cornell University in 1957, and his Ph.D. from Princeton University in 1960. His research during the past three decades focused on the study of planktonic microfossils, particularly Radiolaria and planktonic Foraminifera. His groundbreaking work significantly advanced biostratigraphy, chronostratigraphy, and paleobiogeography, helping to solve complex geological problems.

Pessagno's research demonstrated that Radiolaria could be recovered from rocks subjected to significant metamorphism, extending their stratigraphic utility far beyond other Mesozoic microfossils. He developed a detailed radiolarian zonation for the Mesozoic era, which has been well integrated with ammonite-based chronostratigraphic data. His recent studies utilized Radiolaria and other fossils in tectonostratigraphic reconstructions, including the significant discovery that the Caribbean Plate originated in the Pacific during the Late Jurassic.

Throughout his career, Pessagno supervised numerous graduate theses and dissertations, mentoring students who have gone on to make significant contributions to the field of geosciences. Some notable dissertations he supervised include Mahmoud Salah El-Din Ragab's work on the Upper Cretaceous strata of the Rio Grande Embayment, Edgar K. Cross's research on the San Pedro del Gallo Terrane in Mexico, and Pamela A. Stephens's analysis of foraminiferal sediment cores from South Texas.

Pessagno was an influential figure beyond academia. He was a co-founder and chairman of the editorial board of Stratigraphy, a journal dedicated to micropaleontology. He also held prestigious positions in several professional organizations, including the North American Micropaleontology Section of the Society of Economic Paleontologists and Mineralogists (S.E.P.M.), and the International Subcommittee on Jurassic Stratigraphy.

Pessagno's prolific contributions to geological literature include numerous papers on the biostratigraphic and tectonostratigraphic significance of Radiolaria and other fossils. His work on the tectonic transport of Nevadan terranes in Western North America and the origin of the Gulf of Mexico has been particularly influential.

<https://utdallas.academia.edu/EmilePessagno>

Source: <https://nsm.utdallas.edu/renowned-micropaleontologist-emile-pessagno-jr-passes-away-at-91/>

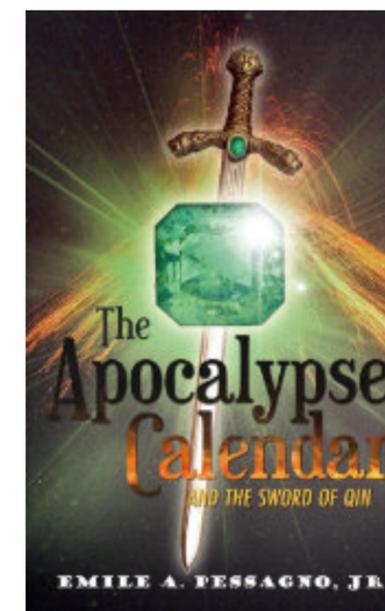
## Emile A. Pessagno: 1933 - 2024

Dr. Pessagno was a regular contributor to the Revista Maya de Geociencias with his articles discussing alternative interpretations of microfossil assemblages related to the K-Pg Chicxulub Bolide Impact. Additionally, Joshua Rosenfeld, one of the Revista's editors, received important technical support during his doctoral research in Guatemala in 1979 and 1980 when Dr. Pessagno and his assistant, Patricia Whelan, identified both radiolaria and foraminifera key to unraveling the origin and emplacement of the Santa Cruz ophiolite in eastern Guatemala.

El Dr. Pessagno fue un colaborador habitual de la Revista Maya de Geociencias cuyos artículos discutían interpretaciones alternativas de los conjuntos de microfósiles relacionados con el impacto del bólido de Chicxulub en el K-Pg. Adicionalmente, Joshua Rosenfeld, uno de los editores de la Revista, recibió importante apoyo técnico durante su investigación doctoral en Guatemala en 1979 y 1980, cuando el Dr. Pessagno y su asistente, Patricia Whelan, identificaron radiolarios y foraminíferos clave para desentrañar el origen y emplazamiento de la ofiolita de Santa Cruz en el este de Guatemala.

Los editores y colaboradores de la Revista Maya de Geociencias le enviamos nuestras sinceras condolencias a sus familiares, amigos y colegas cercanos. Que en paz descanse nuestro estimado amigo y colega el Dr. Emile Pessagno.

El Dr. Emile Pessagno escribió también varios libros de ciencia ficción que se venden en Amazon: [https://www.amazon.com/Apocalypse-Calendar-Sword-Qin-ebook/dp/BOCHLZJNLR/ref=sr\\_1\\_3?dib=eyJ2IjojMSJ9.Okhr9ZkKg47uSLAvZOG4xDGuTzghePsVPdVfBKSLMEr8r0xtUax5tpz zF8ROMwK34g6XpyCZlCw31fyOUxU6ba\\_ZdHtbOm2\\_ECf5k9JtLDrhwczDdCMpJbYFYmSdibBK.3I93TBgFA3FL0sS6mSZ9MQkgOgiVbP-Kof0IUVJ33vo&dib\\_tag=se&qid=1723949883&refinements=p\\_27%3AEmile+A.+Pessagno&s=books&sr=1-3](https://www.amazon.com/Apocalypse-Calendar-Sword-Qin-ebook/dp/BOCHLZJNLR/ref=sr_1_3?dib=eyJ2IjojMSJ9.Okhr9ZkKg47uSLAvZOG4xDGuTzghePsVPdVfBKSLMEr8r0xtUax5tpz zF8ROMwK34g6XpyCZlCw31fyOUxU6ba_ZdHtbOm2_ECf5k9JtLDrhwczDdCMpJbYFYmSdibBK.3I93TBgFA3FL0sS6mSZ9MQkgOgiVbP-Kof0IUVJ33vo&dib_tag=se&qid=1723949883&refinements=p_27%3AEmile+A.+Pessagno&s=books&sr=1-3)



# Miscelanea de Imágenes



*Nota.* **Rosa del desierto** encontrada en el desierto de Túnez [Fotografía], por Lura Peña, 2022, Cinconoticias (<https://www.cinconoticias.com/rosa-del-desierto-piedra/>). [CC BY-SA 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/) Ejemplo de Rosa del Desierto. Se trata de una variedad de yeso denominado de esa manera debido a su parecido a una rosa procedente de desiertos. Consiste en la formación de cristales lenticulares, constituidos por agregados aplanados, entrecruzados de yeso que durante su formación engloban granos de arena. Para que su formación se pueda dar, es necesario dos condiciones; Un yacimiento evaporítico en profundidad y un clima árido.



*Nota:* Geology and Geologists. (s.f). "Fotos" [Grupo de Facebook]. Facebook. Recuperado el 16 de Abril. de 2024. [https://www.facebook.com/groups/435393759811906/?multi\\_permaLinks=25896010676656864&ref=share](https://www.facebook.com/groups/435393759811906/?multi_permaLinks=25896010676656864&ref=share)

Ha habido volcanes en el área de Oregón durante 30 millones de años, haciendo explotar enormes cantidades de cenizas en el cielo. El viento llevó la ceniza hasta donde ahora se encuentra el Monumento Nacional de Lechas Fósiles de John Day. Esta ceniza volcánica enterró los pantanos y los bosques. La erosión tallada barrancos en las suaves capas de ceniza y, con el tiempo, creó el paisaje rayado de las Colinas Pintadas. Las capas amarillas y rojas deben su color a los minerales de hierro en la ceniza volcánica, mientras que las manchas oscuras borrosas son los restos de la vegetación muerta.



UNAM (2021). Especie de pez que vivió en la época de los dinosaurios [Fotografía]. Forbes México.

<https://www.forbes.com.mx/hallan-en-mexico-especie-de-pez-que-vivio-en-la-epoca-de-los-dinosaurios/>

Paleontólogos mexicanos anunciaron el hallazgo de una nueva especie de pez que vivió hace 95 millones de años. El Fósil fue encontrado en el sur de México, en el municipio Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas en una cantera conocida como “El Chango”. De acuerdo con el especialista **Kleyton Cantalice**, se trata de un nuevo grupo de peces por el número de espinas en la aleta dorsal, 13. Este nuevo ejemplar se bautizó como *Choichix alvaradoi*.



Kevers. (2023). **Poza de la Sal**. [Fotografía]. Escapada Rural Mag. Poza de la Sal, Burgos, España. Las Salinas de Poza proceden del mar de Tetis, de hace 200 millones de años.

# PUBLICACIONES

## TESIS & RESÚMENES

**Marlene A. Santana Monroy**

**Monitoreo de parámetros de calidad de agua en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas del municipio de Tepeji del Río, Hidalgo**

Universidad Autónoma del Estado de México: Tesis para obtener el título de Licenciada en Ciencias Ambientales

Diciembre de 2020

Director de tesis: Dra. Belina García Fajardo e Ing. Carlos Antonio Paillés Bouchez

### Resumen.

Este trabajo de tesis se desarrolla como un estudio de caso dentro del Proyecto “Saneamiento Integral del Municipio de Tepeji del Río, Hidalgo” implementado por el Gobierno Municipal en colaboración con el Fideicomiso de Infraestructura Ambiental de los Valles de Hidalgo (FIAVHI). Dentro de este proyecto y como respuesta a la problemática de aguas residuales generadas a nivel doméstico, se han construido 18 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTARs) en diferentes localidades del Municipio, con características propias según las características del terreno donde están ubicadas. El objetivo de esta investigación es monitorear la calidad del agua en nueve PTARs con una estación móvil conformada por dos sensores espectrofotométricos de tecnología austríaca que dan resultados en tiempo real y un transmisor de datos que sube la información a la página web de FIAVHI para su visualización y manejo, lo anterior es para determinar si los efluentes están dentro de los límites establecidos en las Normas Mexicanas vigentes y comprobar si son aptos para los usos a los que están destinados que son el riego agrícola, de campos deportivos y áreas verdes. La metodología se dividió en trabajo de gabinete y trabajo de campo con visitas prospectivas y visitas en las cuáles se realizó el monitoreo. Los parámetros estudiados son cinco: Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Temperatura y pH. Se realizaron monitoreos tanto de los afluentes como de los efluentes para conocer también la eficiencia de las PTARs. La suma de efluentes en las nueve PTARs estudiadas es de 315’360,000.00 litros (315,360 m<sup>3</sup>) anuales de aguas residuales que no llegan a las corrientes de agua de las comunidades ni mucho menos al Río Tepeji o a la Presa Requena ubicada en el municipio y que es conocida como una de las más afectadas en términos de contaminación ambiental del país.

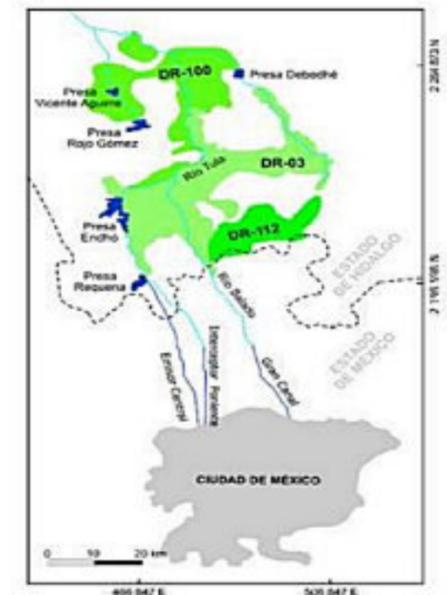


Figura 1.1. Ubicación del Valle del Mezquital

**TESIS SELECTA PRESENTADA DURANTE EL 2020**  
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA**

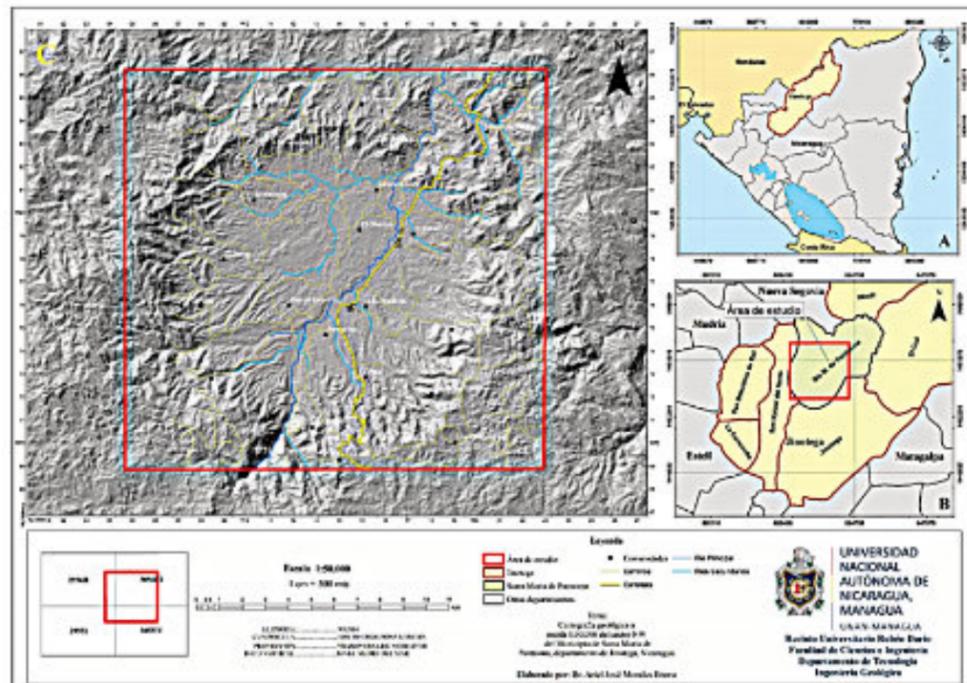
**Cartografía Geológica a escala 1:50,000, del Sector NW del Municipio de Santa María de Pantasma, Departamento de Jinotega, Nicaragua**

Presentado por: **Br. Ariel José Morales Bravo T.**  
Tesis de Licenciatura

Tutor: PhD. Carlos Ariel Rubí Téllez  
Asesor: Ing. Enrique Antonio Navarro  
Asesor metodológico MSc. Karen María Acevedo Mena

**Abstract**

El presente estudio, tuvo como objetivo principal elaborar una cartografía geológica a escala 1:50,000 del sector NW del municipio de Santa María de Pantasma, del Departamento de Jinotega. La metodología que se llevó a cabo en esta investigación consistió tres etapas principales; 1) etapa de trabajo de gabinete, donde se logró recopilar la información más relevante de la zona de estudio, así mismo, se realizó la fotointerpretación para elaborar un mapa preliminar, 2) etapa geológica de campo; consistió en descripción de afloramientos y estructuras geológicas, y la 3) etapa de procesamiento de datos y preparación del informe final. La geología local se caracteriza por seis unidades litológicas distribuidas en la zona, donde identificaron; la unidad metamórfica (PTm), unidad de brechas aglomeráticas (Tomms-b), unidad andesítica (Tomms-a), unidad ignimbrítica (Tomms-i), unidad riolítica y la unidad de depósitos aluviales del Cuaternario (Qal). También, se determinaron tipos de fallas y fracturas las cuales presentaron direcciones preferenciales hacia el NW-SE y NE-SW. La geomorfología de la zona se representa por cinco unidades geomorfológicas donde se identificaron las unidades: 1) Llanuras Aluviales, 2) Lomas Erosionadas, 3) Colinas y Cerros Escarpados, 4) Relieves Abruptos y Montañosos y 5) Cráteres y Calderas. En conclusión la zona de estudio predominan rocas volcánicas de edad Terciaria y rocas metamórficas del Paleozoico. La caldera Pantasma se encuentra afectadas por estructuras geológicas más recientes que se orientan hacia el NW-SE y las más antiguas hacia el NE-SW. Palabras clave: caldera Pantasma, geología, geomorfología, cartografía geológica.



**Ilustración 1.** Mapa de ubicación del área de estudio. Fuente: Extraído de un DEM de la base de datos de la NASA (SRTM30 PLUS, 2011).  
Br. Ariel José Morales Bravo

**Inestabilidad del paisaje y susceptibilidad a erosión en cárcavas en el área de cerro de San Pedro, San Luis Potosí.**

Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Tesis para obtener el título de Maestría en Ciencias Ambientales

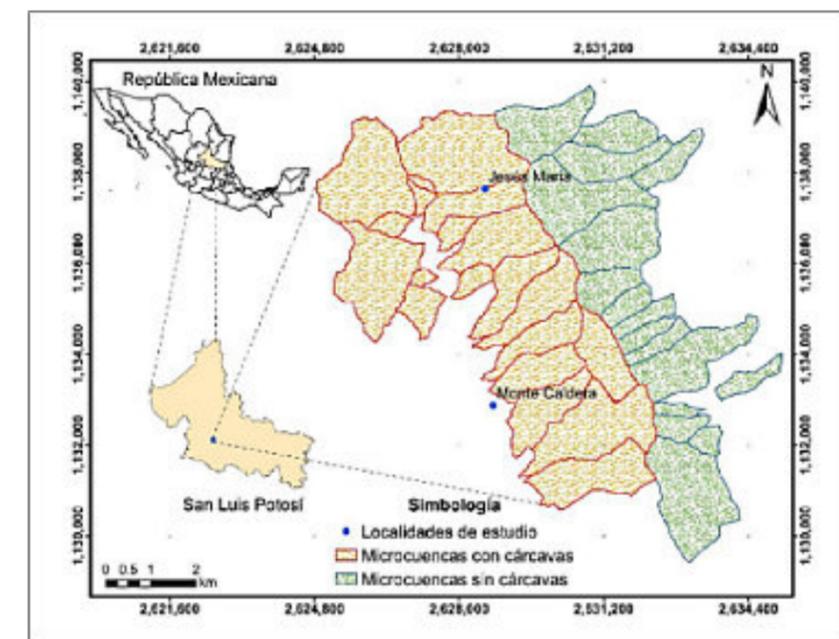
23 de Noviembre de 2018

**Sustentante: Lourdes de la Torre Robles**

*Director de tesis: Dr. Carlos Alfonso Muñoz Robles*

**Resumen.**

La erosión en cárcavas es un tema de importancia global que puede acelerar la desertificación en paisajes áridos y semiáridos. Este proceso de erosión es complejo, y resulta de la interacción de diversas variables de diversa índole que da lugar al inicio y desarrollo de cárcavas. La presente investigación se realizó en la región semiárida de Cerro de San Pedro, San Luis Potosí, y sus objetivos fueron: (1) identificar los factores ambientales y antropogénicos relacionados con la erosión en cárcavas, (2) analizar las diferencias de estas variables entre microcuencas estables (sin cárcavas) e inestables (con cárcavas) y (3) generar un modelo de susceptibilidad a la erosión en cárcavas. Se caracterizaron en campo la actividad y dimensiones de cárcavas y se realizaron análisis de correlación para determinar sus relaciones con la cobertura, atributos topográficos y rasgos antropogénicos como distancia a caminos y a bordos de agua. Se utilizaron pruebas de Wilcoxon para identificar diferencias ambientales entre microcuencas con cárcavas y sin cárcavas y un análisis de covarianza para determinar umbrales topográficos para su presencia o ausencia. Las variables estudiadas se integraron a un modelo de susceptibilidad construido con un árbol de clasificación CART. Se encontraron las mayores correlaciones entre la actividad y dimensiones de cárcavas con factores topográficos y la disgregación de agregados del suelo en las topofomas de colinas y arroyos profundos. Las microcuencas inestables tuvieron pendientes menos pronunciadas, menor capacidad de transporte de sedimentos y poder erosivo de la pendiente, menor cobertura del suelo y menor distancia a caminos y a bordos en comparación con las microcuencas estables. Las áreas con mayor cercanía a caminos y con menor cobertura son las más susceptibles a la presencia de cárcavas y se ubican al norte del área de estudio. Los resultados pueden ser usados para la toma de decisiones referentes al control de la erosión en cárcavas en este paisaje semiárido.



**Figura 1.1.** Localización del área de estudio, en el municipio de Cerro de San Pedro, San Luis Potosí, México.

**TESIS SELECTA PRESENTADA DURANTE EL 2021**  
**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**Identificación de rasgos geológicos mediante la aplicación del atributo sísmico de descomposición espectral en el proceso de caracterización estática de yacimientos.**

Tesis de Licenciatura, Ing. Geofísica

**Felipe De Jesús Bohórquez Toribio**

**Resumen**

El objetivo de este trabajo consistió en el desarrollo e implementación de una metodología que incluye los procesos de caracterización estática de yacimientos e incorporación del atributo sísmico de descomposición espectral como una integración para reducir el grado de incertidumbre en la exploración de un área determinada. El estudio parte del análisis de tres pozos exploratorios presentes en la zona, la interpretación de estos pozos permitió calcular las propiedades petrofísicas de volumen de arcilla ( $Vsh$ ), porosidad efectiva ( $\phi_e$ ) y saturación de agua ( $S_w$ ). Los datos sísmicos utilizados en la interpretación de horizontes y fallas fueron escalados al dominio de la profundidad usando como base un modelo de velocidades generado a partir de los registros geofísicos de pozo.

La caracterización estática se basa en el análisis geoestadístico de las propiedades petrofísicas y su distribución espacial, su desarrollo parte de tres procesos principales: la generación de una malla geológica sustentada por la interpretación sísmica, el escalamiento de las propiedades petrofísicas al tamaño de la malla y la distribución de dichas propiedades por el método de simulación secuencial gaussiana. Esta metodología permitió generar un modelo regional para cada propiedad calculada. El estudio se complementó con la aplicación del atributo sísmico de descomposición espectral, generado a partir de la visualización conjunta de las frecuencias de 15, 27 y 45 Hz, permitiendo identificar una zona de canales en área de interés.

Al analizar los resultados obtenidos tanto de la caracterización estática de yacimientos como del atributo sísmico de descomposición espectral se determinó que la aplicación conjunta de estos métodos logra reducir la incertidumbre al estudiar áreas con una baja densidad de datos, ya que permite enfocar el estudio en áreas más pequeñas donde se presenten estructuras relevantes para la búsqueda de hidrocarburos.

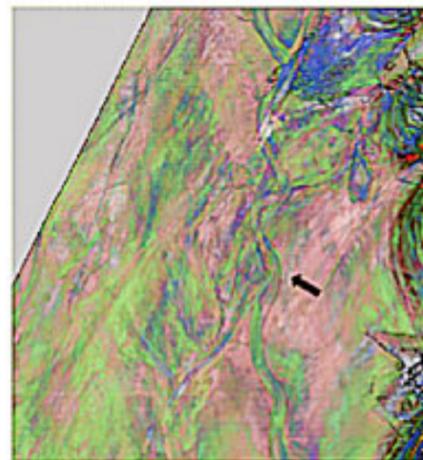


Figura 71. Atributo sísmico de descomposición espectral. Corte horizontal a 4068 metros. Cruz Z3 muestra las regiones de interés tanto en el atributo como en la distribución de propiedades principal (Cruz A).

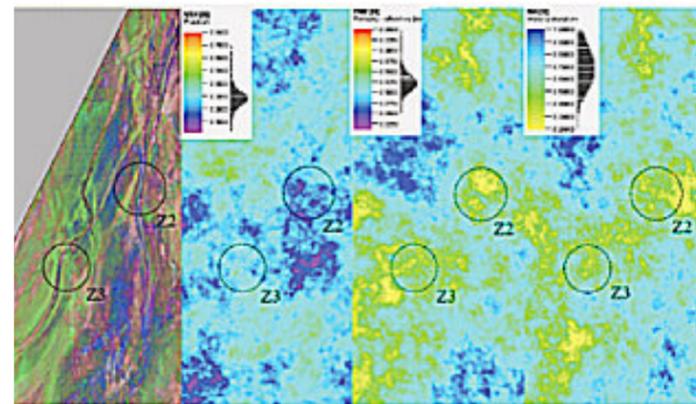


Figura 76. Relación del atributo sísmico de descomposición espectral (4240 metros de profundidad) con la distribución de propiedades petrofísicas ( $V_{sh}$ ,  $\phi_e$  y  $S_w$ ). La zona dos y tres (Z2, Z3) muestran las regiones de interés tanto en el atributo como en la distribución de propiedades.

**Structural styles and evolution of the Campeche salt basin, southern Gulf of Mexico**

Md Nahidul Hasan\*, Paul Mann

Department of Earth and Atmospheric Sciences, University of Houston, TX, 77204-5007, USA

**Abstract**

The late Jurassic Campeche salt basin in the southern Gulf of Mexico (GOM) forms a passive margin foldbelt of late Middle Miocene to the Recent age. The Campeche salt basin is defined by a 200-km-wide updip zone of listric, normal faults of the Comalcalco and Macuspana rifts, and a coeval, 300-km-wide, downdip zone of deeper-water, salt-cored folds, detachment folds with kink bands, thrusts, and diapirs. This study integrates shipborne magnetic data with 28,612 km of pre-stack, depth-migrated, 2D seismic data to reconstruct the geometry of the top of the Paleozoic basement and base-salt topography above which the passive margin foldbelt evolved. Magnetic and basement mapping reveals that the 40-55-km-wide Campeche segment of the 400 km long GOM outer marginal trough marks the limit of the northwest-directed passive margin foldbelt. The elongated basement depression of the outer marginal trough combined with a basement step-up fault along the edge of Jurassic oceanic crust localizes the thickest Bajocian-early Callovian salt. The outer marginal trough controls the arcuate, northwestward, and downdip path of salt flowage within the passive margin foldbelt.

\*Corresponding author.

E-mail addresses: mhasan11@uh.edu (M.N. Hasan), pmann@uh.edu (P. Mann).

<https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2021.105313>

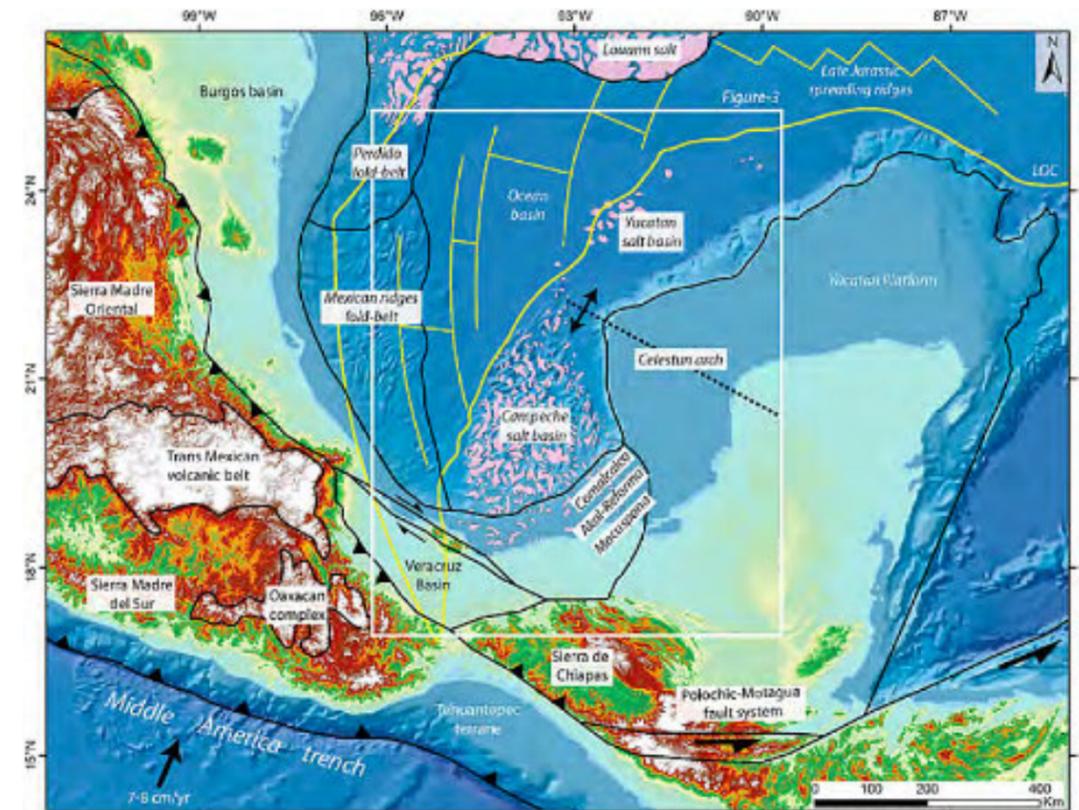


Fig. 1. Tectonic map of Mexico and the southern Gulf of Mexico basin showing the Campeche salt basin, the limit of oceanic crust (LOC), area of late Jurassic oceanic crust, and major sedimentary basins. The white box shows the location of the more detailed map of the Campeche salt basin shown in Fig. 3. Map information is compiled from Witt et al. (2012a); Hudec et al. (2013); Comisión Nacional de Hidrocarburos, 2015; Nguyen and Mann (2015); Fitz-Díaz et al. (2018); Kenning and Mann (2020a,b).

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

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

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

Sustentante: **Karla de Jesús Pérez Hernández**

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

### Resumen.

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

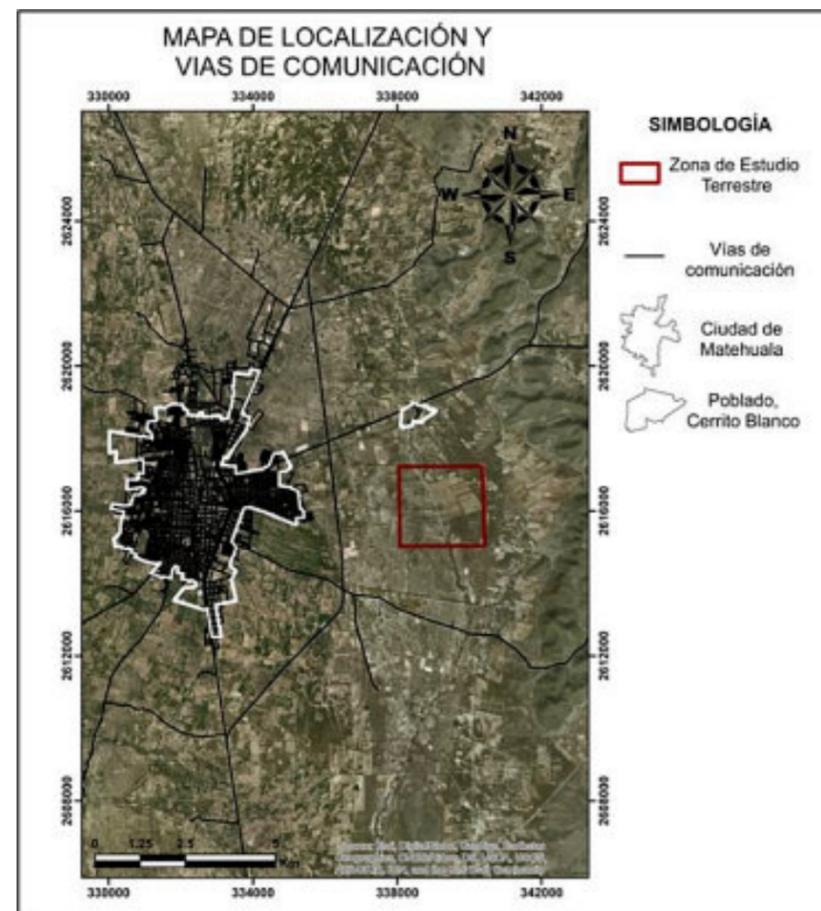


Figura 1.1. Ubicación de la zona de estudio y vías de comunicación, en el valle de Matehuala, San Luis Potosí.

## TESIS SELECTA PRESENTADA DURANTE EL 2021 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

### Relaciones espacio-temporales y petrología de los batolitos de la región de Jamiltepec-Puerto Escondido, Oaxaca

Tesis de Maestría en Ciencias de la Tierra

**Sustentante: Hermes Martín García Rodríguez**

(Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM)

Asesor: Dr. Dante Jaime Morán Zenteno

(Instituto de Geología, UNAM)

### Resumen.

La margen continental del sur del estado de Oaxaca es conocida por la presencia de numerosos batolitos cenozoicos emplazados en el complejo metamórfico Xolapa. Estos cuerpos pertenecen a las raíces de un arco magmático extinto, expuestas en superficie como resultado de la rápida exhumación-erosión de la margen continental mexicana. En este trabajo se presentan nuevos datos para tres batolitos aflorantes entre las localidades de Jamiltepec y Puerto Escondido. Estos batolitos están expuestos en un área aproximada de 1300 km<sup>2</sup> y pertenecen a un pulso magmático oligocénico que se extiende de manera continua desde Pinotepa Nacional hasta Salina Cruz. Estos cuerpos intrusivos presentan composiciones modales principalmente monzo-graníticas, granodioríticas y tonalíticas, con biotita y hornblenda como las principales fases máficas. En el caso particular de los batolitos Jamiltepec y Progreso, destaca también la presencia conspicua de fenocristales de titanita. Los análisis de elementos mayores y trazas reflejan un típico comportamiento de magmatismo de arco, con un claro enriquecimiento de elementos LIL respecto a los HFSE, así como una alta relación de LREE / HREE, que sugieren fraccionamiento de una fuente relativamente somera. Las afinidades calcialcalinas y metaluminosas refuerzan esta interpretación, aunque también se cuenta con ligeros atisbos adakíticos en el batolito Jamiltepec, que también podrían indicar una fuente magmática profunda. Las relaciones <sup>87</sup>Sr / <sup>86</sup>Sr y <sup>143</sup>Nd / <sup>144</sup>Nd indican aportes corticales claros, mientras que los datos termobarométricos indican una profundidad de emplazamiento de ≈ 14 km. Los fechamientos de U-Pb arrojaron 4 edades de cristalización que oscilan entre 27.5 y 25.9 Ma, las cuales se asemejan a las edades de enfriamiento de K-Ar previamente obtenidas en el área. Esto indica procesos rápidos de emplazamiento y enfriamiento magmático, seguidos de una exhumación moderadamente rápida estimada en 0.4 km/Ma. De estos fenómenos se deduce la remoción de la margen continental mexicana, favorecida por el desplazamiento sinistral del bloque Chortís y la subsecuente erosión por la subducción. Con el avance del bloque, el límite transcurrente evolucionó a un margen convergente activa, lo que produjo la reducción del ángulo de subducción y la migración paulatina del magmatismo hacia el norte y el este. Al considerar las edades de cristalización de U-Pb obtenidas en batolitos adyacentes se puede estimar una tasa de extinción magmática de 23.6 km/Ma para el segmento Tierra Colorada - Salinas Cruz, con una dirección NW-SE. Finalmente, la obtención de 2 edades paleozoicas permitió reconocer la presencia de un basamento pérmico en el área de Puerto Escondido, el cual parece tener afinidad con el Complejo Juchatengo.

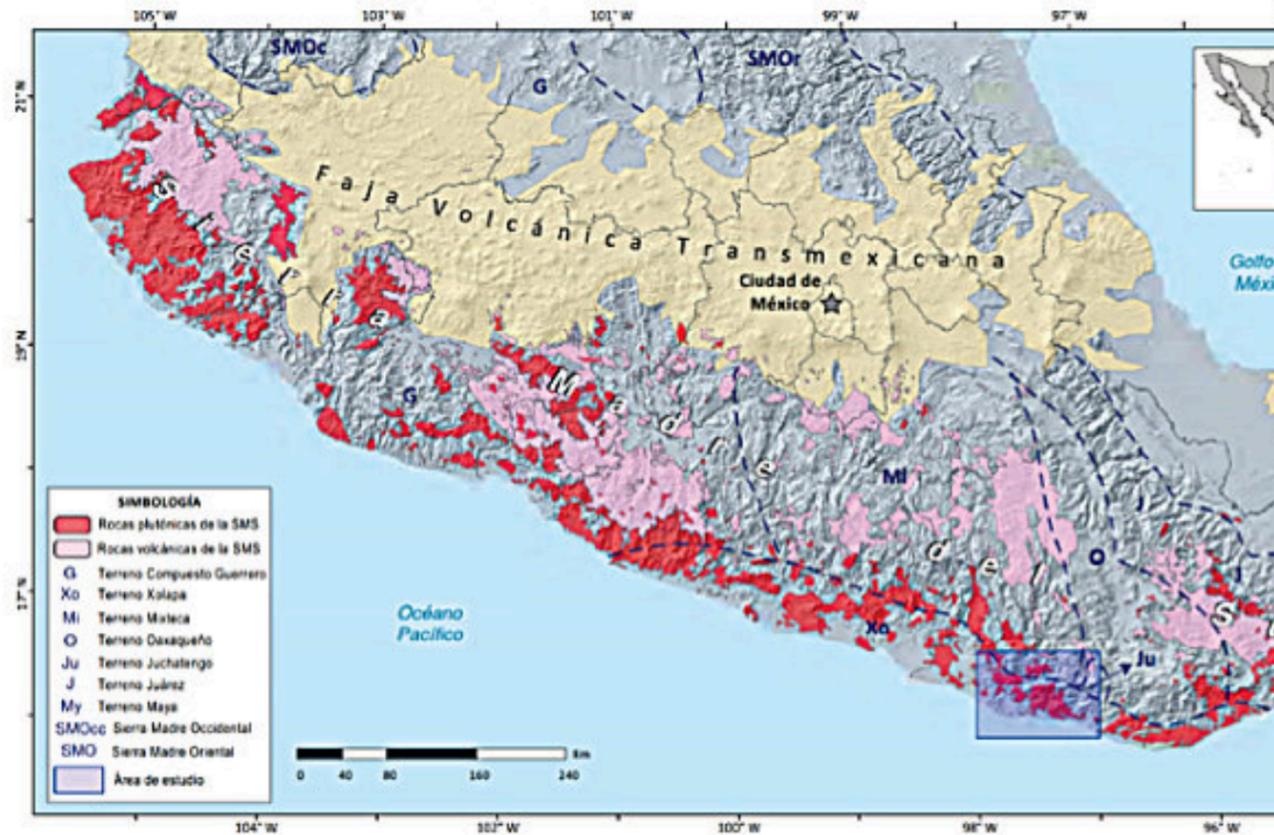


Figura 1.1. Distribución regional de las rocas magmáticas de la SMS. Modificado de Morán-Zenteno et al. (2018). Límites de los terrenos tectonoestratigráficos por Campa y Coney (1983); Sedlock et al. (1993).

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



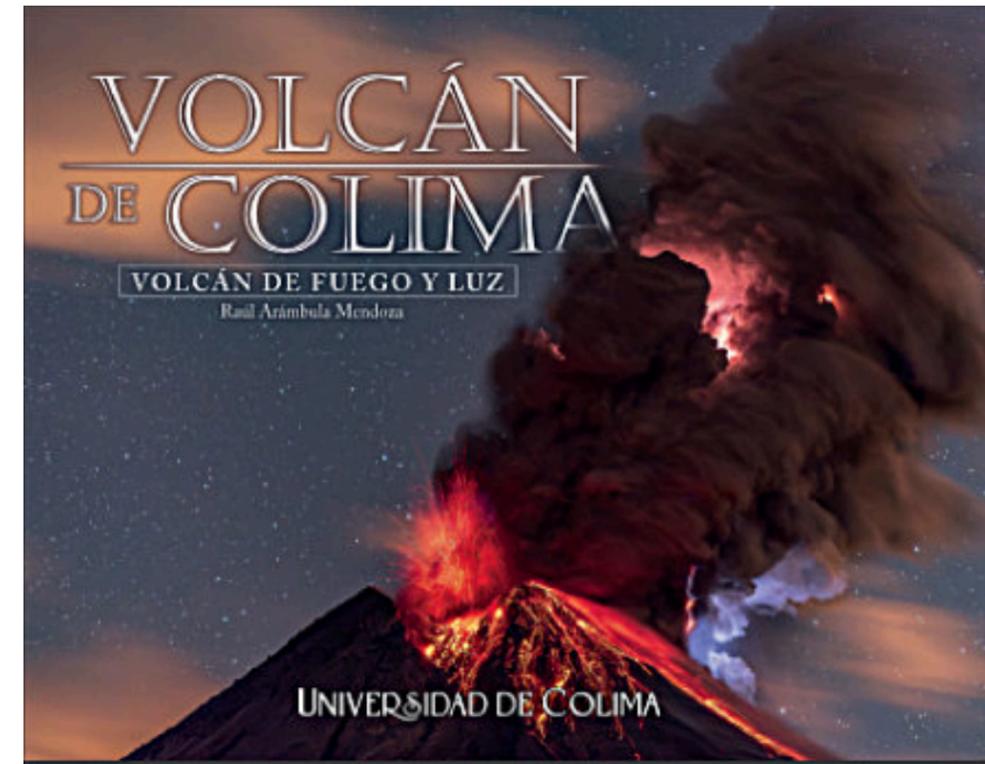
**Miguel Vazquez Diego Gabriel**, es estudiante de la carrera de Ingeniería Geológica en la Universidad Nacional Autónoma de México (Facultad de Ingeniería), sus principales áreas de interés a lo largo de la carrera han sido la tectónica, geoquímica y mineralogía. Es un

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

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

## El libro recomendado

<https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2024/08/Volcan-Colima.pdf>

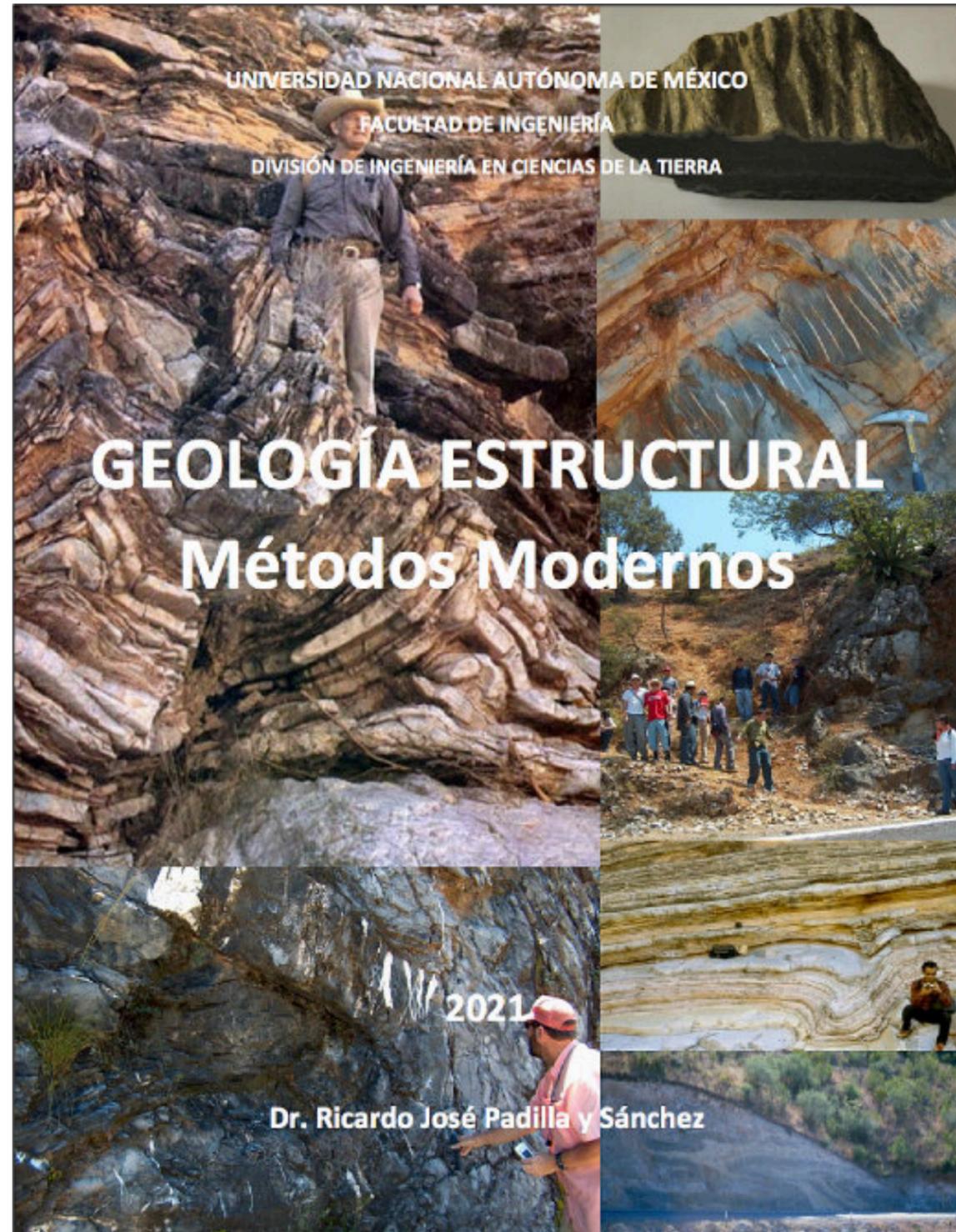


**VOLCÁN DE COLIMA**  
VOLCÁN DE FUEGO Y LUZ

# El libro recomendado

Para descargar una copia gratuita del libro (PDF) haz click en el link:

[http://www.dict.unam.mx/Metodos\\_modernos\\_geologia\\_estructural](http://www.dict.unam.mx/Metodos_modernos_geologia_estructural)



# TEMAS DE INTERÉS

## Sostenibilidad en la transición energética. ¿Cómo va la descarbonización?

**Natalia Silva Cruz**  
Colaboradora de la Revista

La ciencia ha demostrado que para controlar el cambio climático es ineludible reducir el contenido de dióxido de carbono en la atmósfera por ser uno de los causantes mayoritarios del efecto invernadero. Para minimizar los efectos del calentamiento global, en el Acuerdo de París de 2016 nos propusimos mantener el promedio mundial de temperatura en un máximo de 2 °C por encima de los niveles preindustriales, apuntándole incluso a no subir del 1,5 °C como un compromiso que aseguraría un impacto

mucho menor. Hoy, la temperatura promedio es de 1,3 °C por encima<sup>1</sup>, y la Organización de Naciones Unidas (ONU) estima que para mantenernos dentro del margen de los 1,5 °C es indispensable reducir para 2030 nuestras emisiones de CO<sub>2</sub> un 45% en relación con las de 2010, seguidas de una eliminación total para 2050<sup>2</sup>. Veamos entonces cómo vamos. Datos publicados por la Comisión Europea y la organización *Climate Action Tracker* indican que ahora mismo estamos produciendo algo así como un 25% más de los gases de efecto invernadero de los que deberíamos estaríamos generando si desde 2017 se hubieran tomado acciones contundentes enfocadas en mantener el aumento de temperatura a 2100 dentro del rango de los 2 °C<sup>3</sup> y un 3% si se al menos se hubieran realizado todas las medidas pactadas en 2016 en el Acuerdo de París (ver Figura 1).

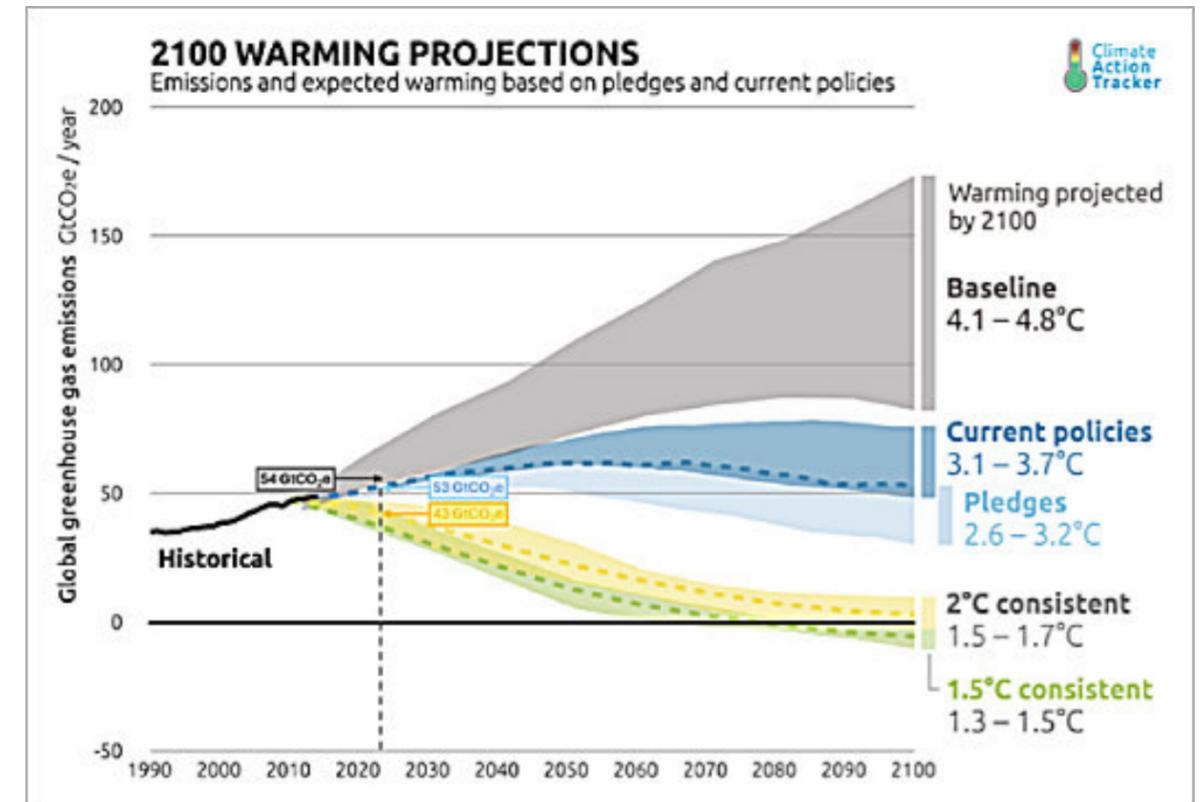


Figura 1. Proyección de escenarios de emisión de gases de efecto invernadero hasta 2100 según información disponible en 2017. El escenario verde corresponde a un aumento de temperatura de 1.5 °C, el amarillo a un aumento de 2 °C, el azul claro a lo que sucedería si se cumplía lo pactado, el azul oscuro a lo que pasaría si continuaban las medidas ambientales que ya se estaban realizando, y el gris a lo que sucedería si se eliminaran todos los controles de emisiones. El valor de emisiones reales a 2022 es 54 GtCO<sub>2</sub>e (dato de la Comisión Europea). Fuente: Climate Action Tracker<sup>4</sup>.

El Acuerdo de París es uno más de los tratados ambientales que no es vinculante, contrario al Protocolo de Kioto (firmado en 1997 y puesto en marcha en 2005), que cayó poco a poco en el olvido debido a la falta de ratificación o del retiro de importantes países como Canadá, Estados Unidos y Japón. Los objetivos planteados en Kioto y en su posterior enmienda en Doha significaban un detrimento económico que pocas potencias mundiales estarían dispuestas a asumir, mientras que los mecanismos para alcanzar los objetivos contenidos en el Acuerdo de París ganaban adeptos en las grandes esferas políticas debido a su flexibilidad. Analicemos uno por uno los compromisos más relevantes:

1. Reducir sustancialmente las emisiones de gases de efecto invernadero para limitar el aumento de la temperatura global en este siglo a 2 °C y esforzarse para limitar este aumento a incluso el 1,5 °C: Los países firmantes están obligados a establecer una serie de objetivos ambientales enmarcados dentro del tratado

conocidos como Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (CDN), las acciones contenidas en sus CDN deben ser cumplidas en un plazo de 5 años para posteriormente ser revisadas y reemplazadas por un nuevo plan adaptado a las condiciones de ese momento. También es posible plantear estrategias a largo plazo como apoyo a las CDN, pero su puesta en práctica es menos rígida. Hasta la fecha, todos los países firmantes han presentado al menos un paquete de CDN, sin embargo, limitantes como falta de financiación, cambios en las corrientes políticas de los gobiernos y falta de capacidad, han demostrado ser determinantes y no todas las CDN han cumplido con su objetivo o ni siquiera han sido actualizadas. Nótese la construcción de esta parte del acuerdo, la obligatoriedad está ligada a la creación de las CDN, más no a su ejecución, aún así, aunque se cumplieran los objetivos trazados, estos esfuerzos no serían suficientes para mantenernos dentro de ese 1,5 °C. Veamos el análisis realizado por la organización *Climate Action Tracker* en la Figura 2: el primer escenario (azul) muestra lo que sucedería si

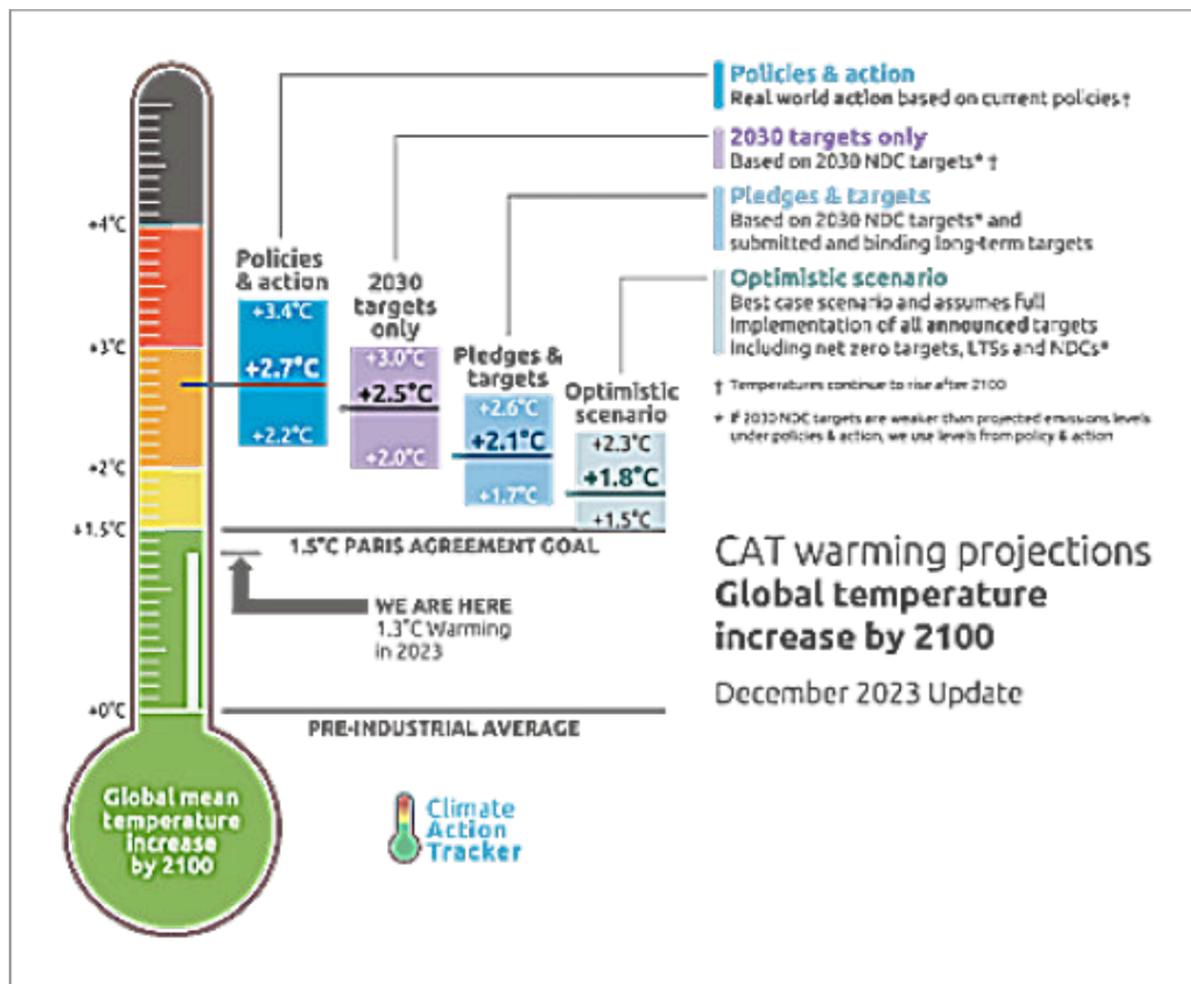


Figura 2. Proyección de aumento de temperatura promedio global para el año 2100. Fuente: Climate Action Tracker<sup>5</sup>.

continuamos con la tendencia de emisión de gases de efecto invernadero que tenemos hasta la fecha y mantuviéramos las políticas de control de emisiones actuales, el violeta indica lo que sucede si además se cumplen los CDN pactados a 2030, el azul claro muestra si además se incluyen las estrategias a largo plazo, y el turquesa es el caso más optimista, en el que también se alcanzan objetivos de emisiones totales cero en diversos sectores.

En la Figura 3 se observa la proyección de emisiones según los planes de acción existentes a la fecha. El escenario

verde muestra las emisiones asociadas a un aumento de temperatura de 1,5 °C, el amarillo a un aumento de 2 °C y el azul a un caso en el que se mantengan las políticas actuales.

2. Políticas de emisiones totales cero entre 2050 y 2100, los únicos gases producidos serán los que pueden ser absorbidos por el sistema conformado por árboles, algas, océanos y suelo. Más de 140 países (incluyendo China, Estados Unidos, India y la Unión Europea) tienen planteado una serie de medidas encaminadas a reducir el total de emisiones en un 88%<sup>7</sup>. Ahora, estos planes no son

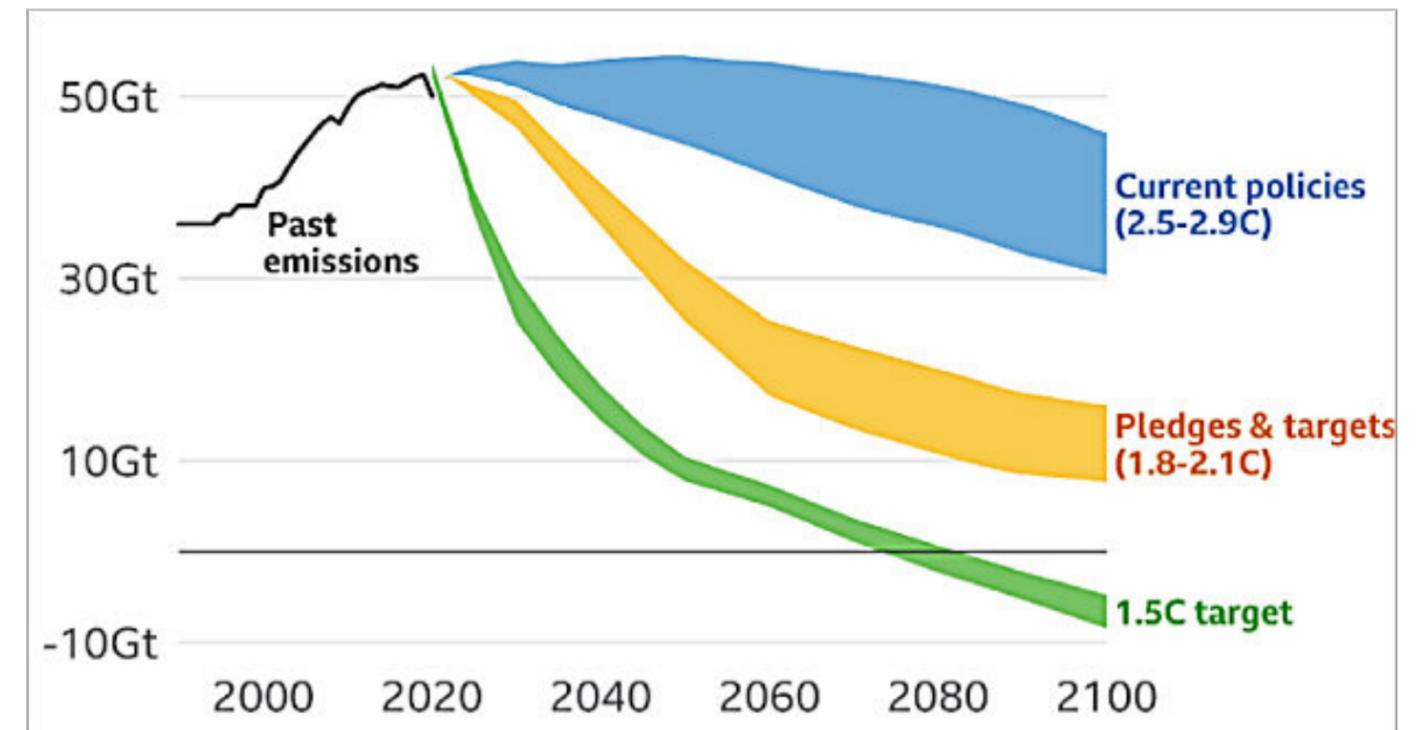


Figura 3. Proyección de emisiones de gases de efecto invernadero en GtCO<sub>2</sub>e. Fuente: Climate Action Tracker<sup>6</sup>.

suficientes, la ONU indica que si seguimos como vamos, en 2030 estaremos liberando un 9% más de gases de efecto invernadero que en 2010<sup>8</sup>.

3. Revisar los compromisos de los países cada cinco años. Un 95% de los 195 firmantes han entregado el soporte técnico detrás de sus CDN y al menos 151 han enviado una versión nueva o actualizada.

4. Ofrecer financiación a los países en desarrollo para que puedan mitigar el cambio climático, fortalecer la resiliencia y mejorar su capacidad de adaptación a los impactos del cambio climático. Este compromiso tenía

una cifra pactada de 100 millardos de dólares anuales para países en desarrollo desde la firma hasta 2020, esta fecha se extendió a 2025 debido a que lo recaudado no había alcanzado lo acordado (en 2020 solo se reunieron 83.3 millardos de dólares<sup>9</sup>).

Resumiendo, la descarbonización está bastante lejos de lo que debería, y la implementación de acuerdos vinculantes sólo desmotiva a las partes, tal como sucedió con el Protocolo de Kioto. Desafortunadamente, todavía no tenemos una solución que nos asegure que el cambio climático será controlado y sus efectos se mantengan dentro de niveles aceptables.

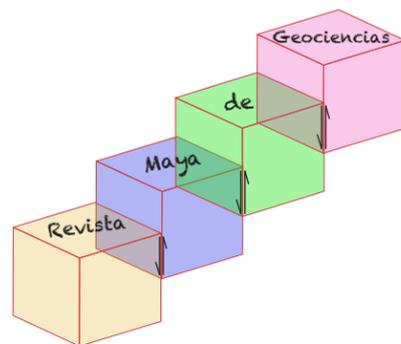
- <sup>1</sup>Climate Action Tracker. Warming Projections Global Update. December 2023.  
<sup>2</sup>United Nations. Climate Action. <https://www.un.org/en/climatechange/net-zero-coalition>  
<sup>3</sup>European Commission. GHG Emissions of All World Countries. 2023.  
<sup>4</sup>Climate Action Tracker. Global emissions time series. November 2017.  
<sup>5</sup>Climate Action Tracker. Warming Projections Global Update, p. i. December 2023.  
<sup>6</sup>Climate Action Tracker. Warming Projections Global Update. December 2023.  
<sup>7</sup>United Nations. Climate Action. For a livable climate: Net-zero commitments must be backed by credible action. <https://www.un.org/en/climatechange/net-zero-coalition>  
<sup>8</sup>United Nations. UNFCCC NDC synthesis report. November 2023.  
<sup>9</sup>BBC News. What is the Paris climate agreement and why does 1.5C matter? February 2024.



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

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

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



**El verdadero secreto del éxito es el entusiasmo.**

Walter Chrysler

**EL COSMOS QUE NO VEMOS**

**M.C. (c) Alex Altamirano Cabello**  
 Facultad de Ciencias, ICN, UNAM  
 Astro Camp MX  
[aleingeox@gmail.com](mailto:aleingeox@gmail.com)

En 1937, una persona versada en astronomía -y sin mucho que hacer- apuntaba su mirada a la Constelación de Coma Berenice (“Cabellera de Berenice” en latín, refiriendo a una antigua reina egipcia), Fritz Zwicky miraba específicamente hacia las galaxias individuales que componen este cúmulo para analizar su movimiento, estimar sus velocidades y poder determinar su campo gravitatorio, es decir, Zwicky pretendía saber qué tanto deformaban unas decenas de galaxias ese punto del espacio.

¿Por qué Coma Berenice? Porque es un cúmulo aislado, no hay tantos obstáculos en los aproximadamente 300 millones de años luz entre él y nosotros. Además de estar compuesto de alrededor de 1000 galaxias, Coma Berenice (Figura 1) también tiene una edad estimada de 10 000 millones de años, ¿te suena algo este número? Muy cercano a los ~ 13 800 millones de años del universo -estimado actualmente-. Una maravilla antigua del cosmos.

¿Qué fue lo que encontró y por qué estás leyendo esta historia que esperas sea maravillosa? El valor medio de la velocidad del cúmulo resultó ser mucho más alto de lo que se esperaba. Lo que hace pensar que debe haber más materia ahí -más materia igual a más gravedad, por lo tanto, más velocidad-. Años de estudio arrojaron los mismos resultados en ese mismo punto del universo y no se encontró esa masa faltante, es más, en 1976, una prominente astrónoma llamada Vera Rubin encontró una anomalía similar al estudiar galaxias espirales: las velocidades de las estrellas más lejanas del centro

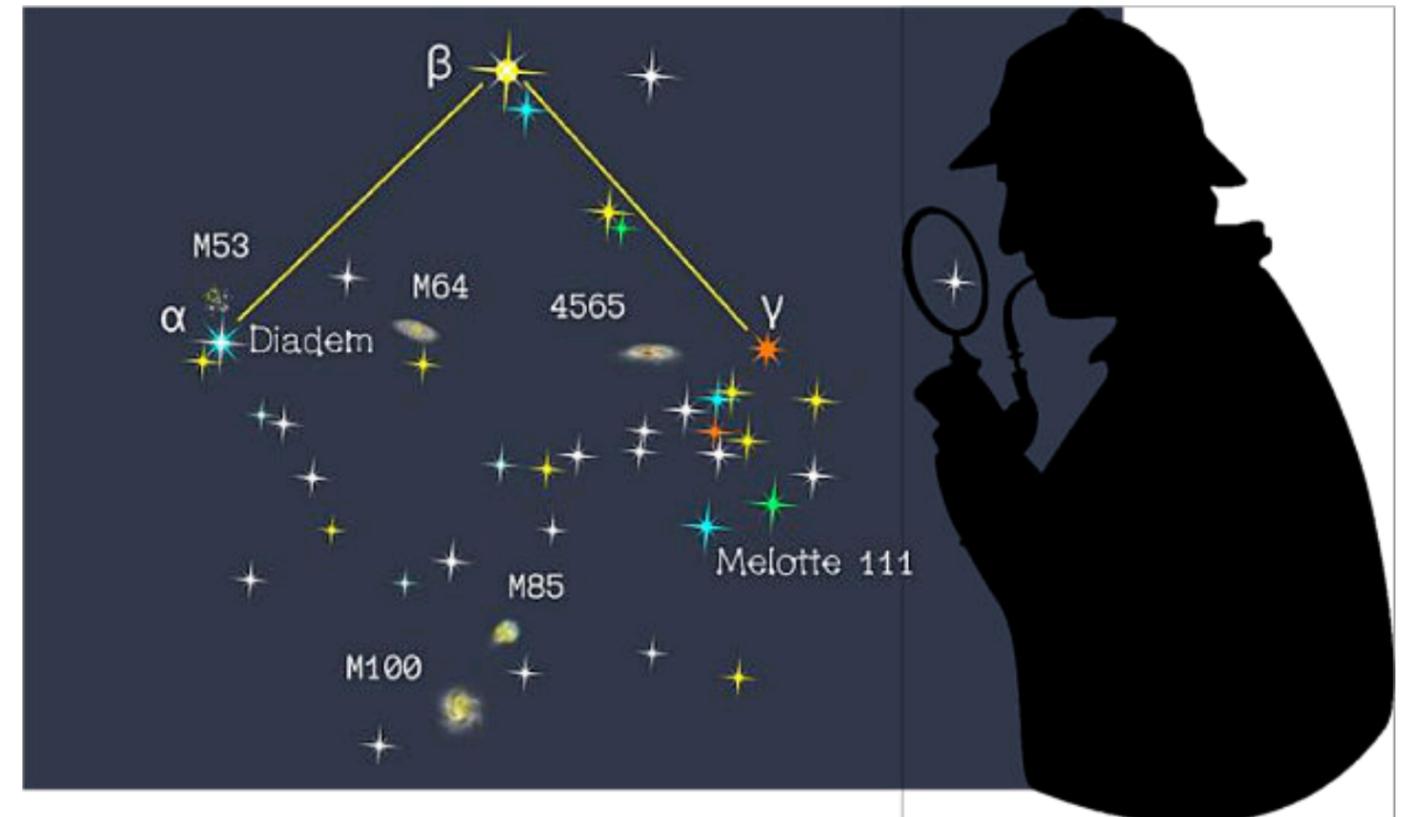


Figura 1. Constelación Coma Berenice, también llamada Cúmulo de Coma, con algunas de sus galaxias y estrellas representativas.

galáctico eran muy altas, a veces mayores que de las estrellas cercanas. Debemos tomar en cuenta que las estas regiones rurales de las galaxias son muy poco pobladas.

El Universo, no conforme con eso, también nos mostró que las velocidades orbitales de las estrellas rurales iban aumentando conforme pasaba el tiempo -o se mantenían altas-, al contrario de lo que nuestra intuición nos sugería.

A este fenómeno lo denominaron “problema de la masa faltante”. Además, este fenómeno se encuentra en todo el universo y esa masa faltante discrepa de la materia ordinaria en orden de 1:6, respectivamente.

Entonces los astrónomos comenzaron a preguntarse ¿qué es lo que no estamos viendo? Con el paso del tiempo surgieron muchos candidatos en respuesta: planetas errantes y enormes nubes intergalácticas (Figura 2). Pero todos fueron desechados, veamos por qué:

- Planetas errantes intergalácticos: Si bien son sumamente difíciles de observar -porque no hay estrellas de las cuales el tránsito de los planetas interrumpa su brillo-, los cálculos nos dicen que, de ser la respuesta, deberían haber 6000 Júpiteres por



Figura 2. Representaciones artísticas de un planeta errante (izquierda) y una nube oscura (derecha).

1) ¿Hay materia que no podemos ver? Veamos, nosotros definimos como “materia” a todo aquello que ocupa un espacio en el universo, por más pequeño y liviano que sea, como los fotones, electrones, protones y neutrones. Y si nos remontamos al inicio -literalmente-, sabemos que el hidrógeno (H) y el helio (He) fueron los únicos dos elementos en surgir -los demás elementos se formaron en el corazón de las estrellas moribundas-. En los primeros minutos se producía un núcleo de He por cada 10 de H y ambos no eran más que protones interactuando nuclearmente. Así que, más concretamente, nosotros podemos definir a la materia como todo aquello que participa procesos atómicos, como la fusión nuclear. Si esta “masa faltante” interactuara en la fusión entonces habría más He que H en el universo, por lo que se desclasifica como “materia ordinaria” y como no la podemos ver, pero sabemos que está ahí, la llamamos actualmente “materia oscura”.

cada estrella en una galaxia o, si decimos alocarnos, dos millones de Tierra por estrella. Obviamente esto no pasa.

- Nubes oscuras: Nubes tan grandes y densas deberían interactuar con la luz de las estrellas detrás de ellas, pero no existe registro de que haya una interacción nube-estrella.

En cierto punto histórico, los astrónomos estaban seguros que el problema podía responderse con un punto de vista más amplio, es decir, con lo que vemos y con lo que percibimos, así que, surgieron preguntas descabelladas -las preguntas más difíciles de responder suelen ser de las que más aprendemos porque nos obligan a pensar de otra manera-:

2) ¿Qué sentimos respecto al universo? Y no nos referimos a aspectos emocionales, aunque estudiar el cosmos sí genera pasiones desbordantes, nos referimos al efecto de la materia a gran escala: gravedad; Newton, quizá la mente más brillante en la historia, desentrañó todos los misterios de esta “fuerza” que actúa con la materia a distancia y la describió con un elegante matemáticas, esta “fuerza” fue la base inspiracional para que un genio a inicios del siglo XX complementara la idea de Newton y determinara que **no es una fuerza, sino, una repercusión del espacio-tiempo** (Figura 3).

Al considerar esa materia no ordinaria y a la gravedad los expertos contaron con un panorama más amplio responder la incógnita, así concibieron otros candidatos, entre los que destaca la materia oscura relacionada con agujeros negros:

- Materia oscura relacionada con agujeros negros: Un

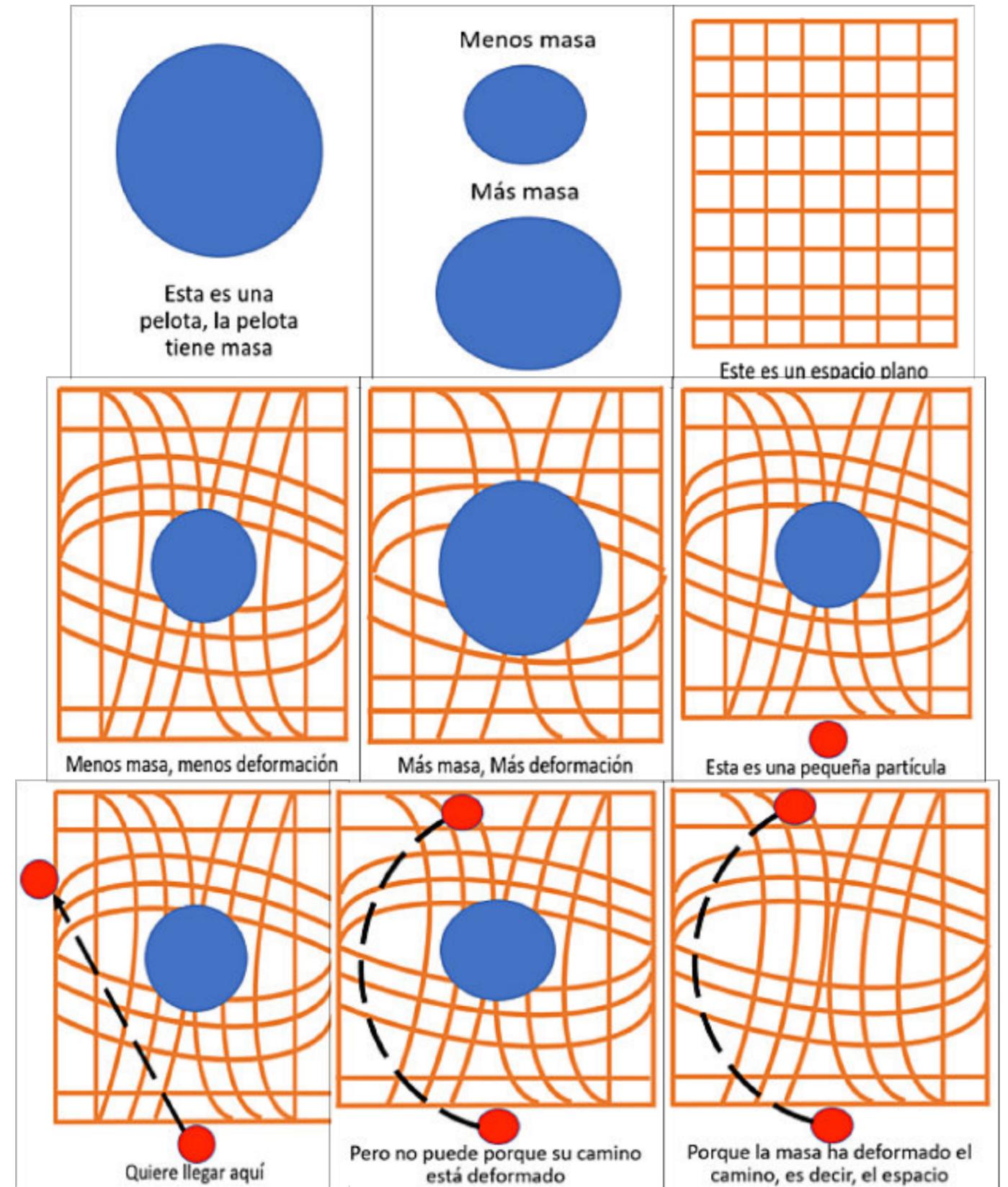


Figura 3. Sucesión de imágenes que representan la acción de la gravedad sobre el espacio y el tiempo. Inspirado en el libro General Relativity For Babies de Christopher Ferrie.

candidato muy llamativo por su naturaleza -¿a quién no le encanta el tema de los agujeros negros?-. No. De contener materia oscura ya se habrían detectado más agujeros negros, debido a los efectos gravitacionales quijotescos.

No. Puede que realmente lo que no comprendamos sea la gravedad y no la materia, pero ¿cómo estar seguros? Habrá que esperar la próxima idea genial que nos brinde el conocimiento, una idea que nazca de una mente con convicciones poderosas.

¿Entonces qué es lo que compone a esa materia oscura y cuál es su naturaleza? Hasta el día de hoy, **no tenemos idea** y lo poco que sabemos es que, las partículas que conforman a la materia oscura no participan en la fusión nuclear ni ningún otro proceso atómico conocido, tampoco absorben, emiten o reflejan la luz, pero sí generan una gravedad aplastante que afecta a la gravedad ordinaria.

Si no podemos responder con la información actual, ¿debemos dudar de las bases de nuestro conocimiento? ¿Newton se equivocó? No parece serlo, llevamos más de 250 años que comprobando sus ecuaciones, sino, pregúntele como le ha salido eso a Elon Musk. ¿Einstein?

Mientras tanto, lo único que sabemos con certeza es que este fenómeno solo sucede a niveles galácticos, no tiene injerencia en planetas, satélites o sistemas planetarios. Y, por si fuera poco, los cálculos sugieren que esta materia oscura comprende cerca del 22% del universo, desplazando a la materia ordinaria a un mísero 4-5%, por lo que todo aquello que vemos, olemos, sentimos, escuchamos y, ocasionalmente saboreamos no es más que un destello en la bastedad del oculto universo que, parece ser, es lo más importante y sin embargo no entendemos. De ahí el título de este texto y su repercusión en mi propio pensamiento: lo más importante es todo aquello que no podemos ver, pero sí percibir (Figura 4).

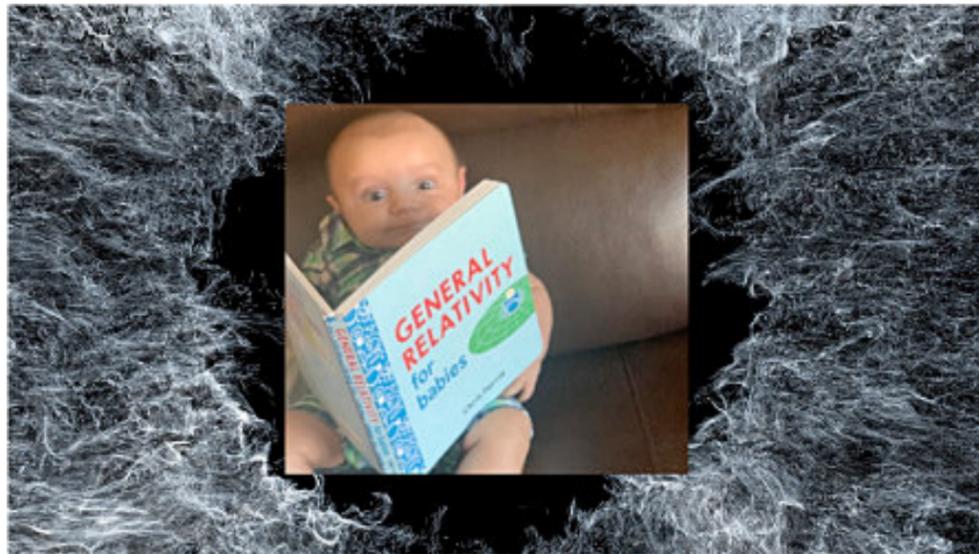


Figura 4. Materia oscura y la absurda búsqueda actual por tratar de comprenderla.



**Alex Altamirano Cabello** es ingeniero geólogo (FI, UNAM) y candidato a maestro en ciencias de la Tierra, en ciencias espaciales y planetarias (ICN, UNAM). Sus principales campos de conocimiento son la termodinámica planetaria, Marte, meteorítica, y astrobiología. También es espeleólogo, guía de alta montaña y divulgador científico en Astro Camp MX y Colectivo Astrocultura.

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

## Caracterización y clasificación de la calidad del agua subterránea para riego y consumo humano en el Valle de Santo Domingo Baja California Sur

Ana Elizabeth Marín Celestino<sup>1</sup>, Diego Armando Martínez Cruz<sup>2</sup>, María Mercedes Zavala Arriaga<sup>3</sup>

<sup>1</sup> CONAHCYT-Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. División de Geociencias Aplicadas, Camino a la Presa San José 2055, Col. Lomas 4ta Sección, San Luis Potosí CP 78216, México.

<sup>2</sup> CONAHCYT-Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Durango CP 34147, México.

<sup>3</sup> Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. División de Geociencias Aplicadas, Camino a la Presa San José 2055, Col. Lomas 4ta Sección, San Luis Potosí CP 78216, México.

Email: [ana.marin@ipicyt.edu.mx](mailto:ana.marin@ipicyt.edu.mx)

### Resumen

La evaluación de la calidad del agua para riego ha adquirido gran importancia en los últimos años, debido a que muchos acuíferos están contaminados por alta salinidad. Particularmente los acuíferos costeros y que se localizan en regiones áridas, donde se depende principalmente del agua subterránea. El acuífero del Valle de Santo Domingo (VSD) está ubicado en una región árida con actividad agrícola intensiva que se abastece en su mayoría del agua de pozos. La sobreexplotación del acuífero costero ha provocado la intrusión marina (IM), favorecido por la baja profundidad del agua subterránea, lo que ha disminuido la calidad del agua. Este estudio caracterizó y clasificó la calidad del agua subterránea para riego y consumo humano, mediante Índices de Calidad de Agua para Riego IWQI y para Consumo Humano DWQI (por sus siglas en inglés). También se clasificó la salinidad del agua, mediante el Diagrama de Wilcox. Se recolectaron muestras de agua en 582 pozos de uso agrícola, y se les analizó 10 parámetros fisicoquímicos: conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (SDT), pH,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$  y se calculó la Relación Adsorción de Sodio (RAS). También se realizó un análisis geoespacial para conocer la distribución de la calidad del agua. Los resultados mostraron que: el 1 % de los pozos presenta agua con restricción severa para su uso en la agricultura, se recomienda emplearla para cultivos con alta resistencia a la salinidad, 15 % de los pozos tienen agua con alta restricción, se recomienda para cultivos con tolerancia moderada a las sales y bajo prácticas especiales de control de salinidad, 60 % de los pozos presenta agua con restricción moderada, se recomienda para cultivos con tolerancia moderada a las sales y sólo 24% con baja restricción, recomendada para la mayoría de los cultivos excepto aquellos sensibles a sales. El Diagrama Wilcox, muestra que la mayor parte del agua de los pozos analizados tiene alta salinidad, y es apta para cultivos tolerantes y resistentes a altos niveles de sodio. Respecto a la calidad del agua para consumo humano: 8 % como "Inadecuada para su consumo", 15 % como "Agua muy pobre", 48 % como "Agua pobre", 28 % como "Agua buena", y 1 % encuentra "Agua excelente". Se observó que el agua para uso agrícola en su mayoría es de calidad moderada a baja, y es adecuada para el riego de cultivos tolerantes a la salinidad con el propósito de obtener un mejor rendimiento. Los pozos que presentan mayor concentración de sales están cercanos a la costa y a las zonas urbanas. No obstante, la calidad del agua para consumo humano en su mayoría es agua pobre o de calidad baja.

### Introducción

La calidad del agua subterránea y su manejo sostenible han adquirido gran importancia debido a la sobreexplotación de los recursos hídricos en los últimos años. El aumento de la población, la industria, así como la agricultura han afectado directamente la calidad del agua que se recarga en los acuíferos (Abbasnia et al., 2018). Un caso importante son los acuíferos costeros que resultan afectados e incluso amenazados por la alta demanda de agua dulce (Zepeda et al., 2018), los cuales pueden ser afectados por diferentes factores como: la intrusión marina (IM), la sobreexplotación, bajas precipitaciones, altas temperaturas y alta evapotranspiración característicos de clima áridos (Troyo et al., 2015).

La IM es uno de los fenómenos más estudiados para definir la calidad del agua en los acuíferos costeros, se describe como el movimiento de agua con un alto contenido de sólidos totales disueltos (STD), CE,  $Na^+$  y  $Cl^-$  en el agua dulce

(Cardona et al., 2004); el efecto mostrado en el agua dulce varía según la concentración presente de sólidos disueltos: si la concentración corresponde al 2%, la calidad del agua se verá deteriorada; una concentración del 4% producirá graves impactos ambientales, pero concentraciones del 6%, inutilizarán completamente el agua afectada, esto último resulta en un agua que ya no cumple con los estándares permitidos para poder consumirse o para riego (Zepeda et al., 2018), según lo establecido por la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA-2021, la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1994).

Por otro lado, el mal manejo de los recursos hídricos ha llevado a la sobreexplotación de los acuíferos costeros, afectando no solo en el agua subterránea, sino también el agua superficial (Wurl et al., 2018). Debido a que es mayor el volumen de agua extraído que el volumen de agua recargado, en los acuíferos costeros es común que se presente la IM, contaminando gradualmente los acuíferos (Troyo et al., 2015). Los acuíferos costeros localizados en regiones áridas, en donde la escasez de agua superficial es evidente, tienen mayor probabilidad de sufrir IM ya que, los periodos de mayor demanda coinciden con los periodos de mayor escasez (Troyo et al., 2015; Zepeda et al., 2018). En estas zonas, desarrollar obras de recarga artificial resulta limitado por la escasez de fuentes de agua superficial. Asimismo, el problema de IM se agudiza en regiones con actividad agrícola intensiva de riego, que demanda grandes cantidades de agua; por lo que resulta prioritario hacer una buena gestión de los recursos hídricos (Zepeda et al., 2018).

El acuífero del Valle de Santo Domingo (VSD) es un acuífero costero sobreexplotado, donde las condiciones climáticas áridas y el desarrollo agrícola intensivo, ha generado problemas de IM, fomentando la mineralización del suelo y la salinidad en el agua subterránea. Esto ha provocado la disminución del rendimiento de los cultivos, ha reducido las fuentes de riego y limitando la disponibilidad de agua potable para consumo de las zonas aledañas (Cardona et al., 2004; Wurl et al., 2018). El uso del agua subterránea es la principal fuente de abastecimiento para las actividades económico/sociales en el VSD, especialmente para la irrigación que es el centro agrícola más grande en el noroeste de México (Cardona et al., 2004). Por lo que, es importante estudiar la alteración de la calidad del agua subterránea y el deterioro del suelo agrícola, pues se ha reportado la entrada lateral de agua de mar desde la costa del Pacífico (Wurl et al., 2018).

En las regiones costeras, es necesario comprender el origen y las características de los problemas relacionados con la calidad del agua para proponer soluciones que permitan la mitigación de los mismos, generando así estrategias de gestión para controlar la salinización en el agua y el suelo (Cardona et al., 2004). Este estudio tiene como objetivo caracterizar y clasificar la calidad el agua subterránea para riego y consumo humano, mediante Índices de Calidad de Agua para Riego IWQI y para consumo humano WQI (por sus siglas en inglés) en el acuífero del VSD. Este estudio ayudará a la toma de decisiones para el buen manejo del agua para riego y adecuar el uso según el tipo de cultivo presentes en la región.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El acuífero del VSD se localiza en la península del estado de Baja California Sur en el municipio de Comundú en México (Figura 1). El clima en del VSD se caracteriza por ser en su mayoría árido, con una temperatura que varía de 19.8°C a 43.3°C y una temperatura media anual que varía de 1.9°C a 43.3°C. La precipitación media anual alcanza los 150 mm, con un rango de 50 a 300 mm/año. Mientras que, los periodos de sequía ocurren durante los meses de abril a junio. El VSD es la región agrícola más extensa del estado de Baja California Sur, cubre un área de 72,409 ha, de las cuales 49.4% son de riego intensivo (INEGI, 1996; INIFAP, 2009; Wurl et al., 2017; Marín et al., 2018).

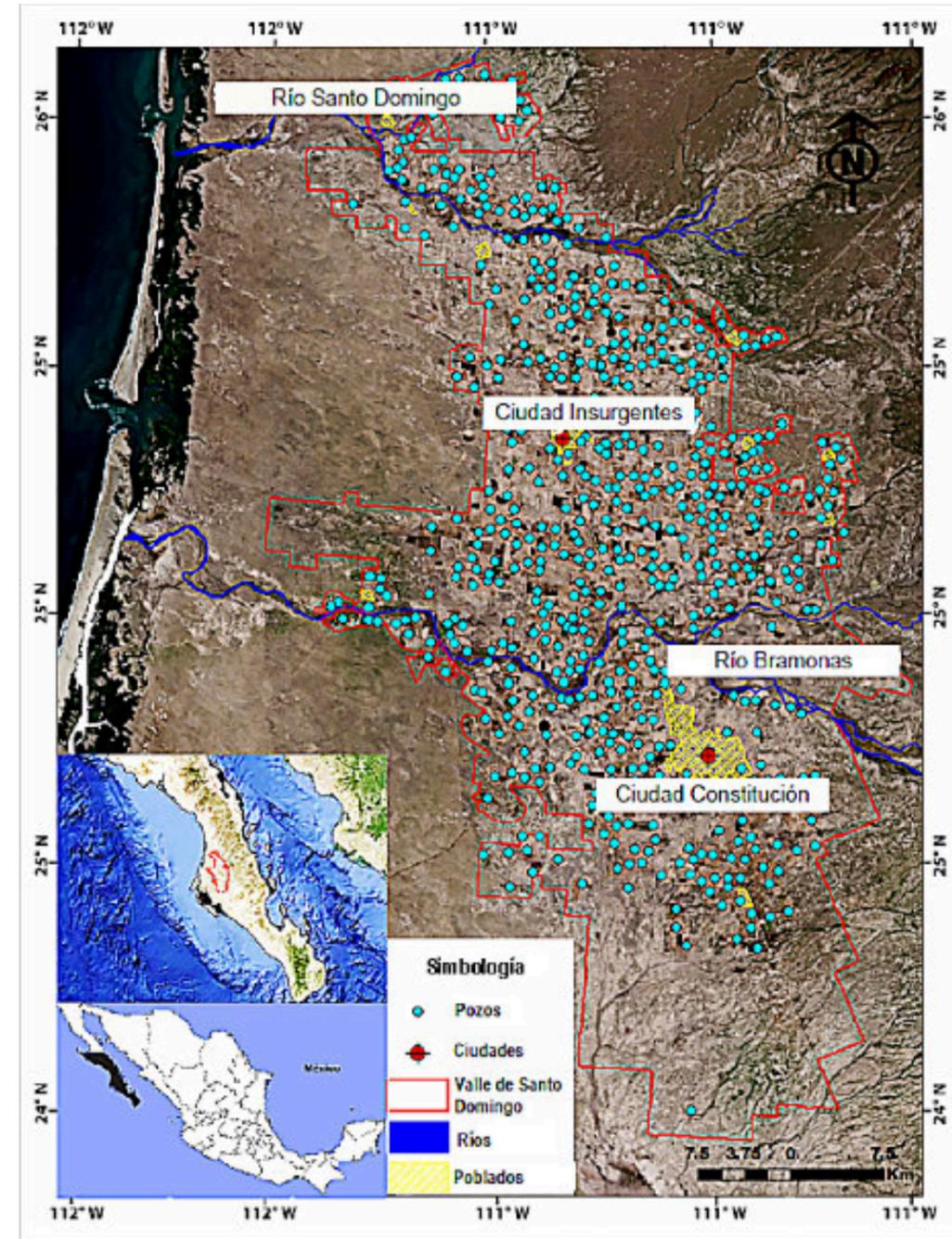


Figura 1. Localización del Valle de Santo Domingo y pozos muestreados (Tomado de Marín et al., 2018).

### Muestreo de agua y técnicas de análisis

Se realizó un muestreo de agua subterránea en 582 pozos des uso agrícola, las muestras se recolectaron a profundidades entre 16 m y 83 m aproximadamente entre los meses de marzo y julio de 2010. Se utilizaron frascos de polipropileno de 250 ml; la muestra se mantuvo sin acidificar para la determinación de aniones y cationes principales (Marín et al., 2018).

Se determinaron un total de 10 parámetros fisicoquímicos. La conductividad eléctrica (CE) se midió utilizando un conductímetro en unidades de deciSiemens (dS/m), el pH se midió con un potenciómetro y los sólidos disueltos totales (SDT), en unidades de partes por millón (ppm) con un multiparámetro WTW. Además, se determinaron cationes principales como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  en ppm por absorción atómica y un fotómetro de llama. Se determinó la concentración de  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{Cl}^-$  en ppm por medio de una titulación con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y  $\text{AgNO}_3$  respectivamente. Por último, se midió la concentración de  $\text{SO}_4^{2-}$  en ppm por turbidimetría.

### Índices de calidad del agua

Son herramientas de análisis de la calidad del agua en términos de potabilidad y perspectivas de gestión para otros usos (Khanoranga, 2019). Es una escala de calificación del agua que se basa en la relación de diferentes parámetros de calidad a una escala común y combinarlos en un solo dígito, que pueden llegar a afectar de forma general la calidad del agua, su objetivo es reducir una gran cantidad de datos de calidad del agua de manera que sea comprensible e informativa (Khanoranga, 2019; Zahedi, 2017). En este estudio se calcularon dos índices: el índice de calidad de agua para riego (IWQI) y el índice de calidad de agua para consumo humano (DWQI), los cuales se mencionan a continuación.

### Índice de calidad de agua para riego (IWQI)

Para calcular el IWQI se aplicó la metodología propuesta por Meireles et al. (2010). Se seleccionaron los parámetros más representativos para fines de riego, los cuales, de acuerdo con sus efectos sobre el riego son: CE,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y RAS (Bortolini et al., 2018). Para calcular el índice, se debe obtener el valor de  $q_i$ , como se presentan en la siguiente ecuación:

$$q_i = q_{max} - \left( \frac{[(x_{ij} - x_{inf}) \times q_{iamp}]}{x_{amp}} \right) \quad [1]$$

Donde  $q_i$  representa la calidad para cada parámetro con un rango de 0 a 100 en función de las medidas de concentración,  $q_{max}$  es el máximo valor de  $q_i$  para cada clase;  $x_{ij}$  representa el valor observado para cada parámetro;  $x_{inf}$  se refiere al valor mínimo del límite de la clase al que pertenece el parámetro;  $q_{iamp}$  presenta la amplitud de la clase y  $x_{amp}$  corresponde a la amplitud de la clase al que pertenece el parámetro (Abbasnia et al., 2018). El peso relativo ( $w_i$ ) para cada parámetro representativo del agua ya ha sido normalizado, por lo que en la Tabla 1 se muestran los valores correspondientes de los pesos relativos.

Tabla 1. Pesos normalizados de cada parámetro para el cálculo de IWQI (Meireles et al., 2010).

Parámetro	$W_i$
[CE]	0.211
[ $\text{Na}^+$ ]	0.204
[ $\text{HCO}_3^-$ ]	0.202
[ $\text{Cl}^-$ ]	0.194
[SAR]	0.189
Total	1

El IWQI se obtiene de la suma del producto entre el peso relativo y el valor de cada parámetro, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$IWQI = \sum_{i=1}^n q_i w_i \quad [2]$$

En esta ecuación,  $IWQI$  es un valor adimensional que varía de 0 a 100;  $w_i$  se refiere al peso relativo normalizado para cada parámetro y está relacionado con la función de importancia para explicar la variabilidad en la calidad del agua y se muestran en la Tabla 2 (Meireles et al., 2010; Abbasnia et al., 2018).

Tabla 2. Valores límite de cada parámetro para el cálculo de la medición de la calidad ( $q_i$ ).

$q_i$	CE (ms/m)	SAR ( $(\text{mmol.L}^{-1})^{0.5}$ )	$\text{Na}^+$ (meq/L)	$\text{Cl}^-$ (meq/L)	$\text{HCO}_3^-$ (meq/L)
85 – 100	[200 – 750)	[2 – 3)	[2 – 3)	[1 – 4)	[1 – 1.5)
60 – 85	[750 – 1500)	[3 – 6)	[3 – 6)	[4 – 7)	[1.5 – 4.5)
35 – 60	[1500 – 3000)	[6 – 12)	[6 – 9)	[7 – 10)	[4.5 – 8.5)
0 – 35	CE < 200 o	SAR < 2 o	$\text{Na}^+$ < 2 o	$\text{Cl}^-$ < 1 o	$\text{HCO}_3^-$ < 1 o
	CE $\geq$ 3000	SAR $\geq$ 12	$\text{Na}^+$ $\geq$ 9	$\text{Cl}^-$ $\geq$ 10	$\text{HCO}_3^-$ $\geq$ 8.5

El IWQI propuesto considera el riesgo de problemas de salinidad, la reducción de la infiltración de agua del suelo y la toxicidad para las plantas, las categorías y la restricción del uso del agua fueron determinadas y caracterizadas como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Clasificaciones y características generales para IWQI (Meireles et al., 2010).

IWQI	Restricciones de explotación	Recomendaciones	
		Suelo	Plantas
[85 – 100]	Sin restricción	El agua puede usarse en casi todos los tipos de suelo. El suelo está expuesto a menores riesgos de salinidad/problemas de sodicidad.	No hay riesgo de toxicidad para la mayoría de las plantas.
[70 – 85]	Baja restricción	Los suelos irrigados con textura ligera o permeabilidad moderada pueden adaptarse. Para evitar la sodicidad del suelo en texturas pesadas, se recomienda la lixiviación del suelo.	Riesgos elevados para cultivos sensibles a la sal.
[55 – 70]	Moderada restricción	El agua puede usarse en suelos de permeabilidad moderada a alta. La lixiviación moderada de sales es altamente recomendada para evitar la degradación del suelo.	Se pueden cultivar plantas con tolerancia moderada a las sales.
[40 – 55]	Alta restricción	El agua se puede utilizar en suelos con alta permeabilidad sin capas compactas. Programa de riego de alta frecuencia.	Adecuado para el riego de cultivos con tolerancia moderada a alta a sales, con prácticas especiales de control de salinidad, excepto agua con valores bajos de $\text{Na}^+$ , $\text{Cl}^-$ y $\text{HCO}_3^-$ .
[0 – 40]	Severa restricción	Se debe evitar el uso de esta agua para el riego en condiciones normales.	Solo plantas con alta tolerancia a la sal, excepto en aguas con valores extremadamente bajos de $\text{Na}^+$ , $\text{Cl}^-$ y $\text{HCO}_3^-$ .

**Índice de Calidad del Agua para Consumo Humano (DWQI)**

Para calcular el DWQI se aplicó la metodología propuesta por Brown et al. (1970). Se seleccionaron, 37 parámetros, considerando sus los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por los estándares nacionales e internacionales de calidad del agua (NOM-1994-SSA y OMS, 2013). Las ponderaciones ( $w_i$ ) de los parámetros fisicoquímicos se asignaron según la importancia de los efectos que ocasionan a la salud y son mostrados en la Tabla 4 (Soleimani et al., 2018). Así mismo, se muestran los parámetros que se emplearon para hacer el cálculo del DWQI, así como los LMP de la OMS y la NOM y los pesos. El peso relativo se calculó utilizando la ecuación:

$$W_i = \frac{\sum W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad [3]$$

Donde  $W_i$  es el peso relativo para cada parámetro (Tabla 4),  $n$  corresponde al número de parámetros. Para cada parámetro, la escala de calificación se obtuvo dividiendo la concentración obtenida en cada muestra de agua a sus estándares correspondientes, tomados de la OMS en 2004 y, por último, se multiplicó el resultado obtenido por 100:

$$q_i = \left(\frac{C_i}{S_i}\right) \times 100 \quad [4]$$

Donde  $q_i$  representa la escala de calificación,  $C_i$  corresponde a la concentración de cada parámetro en las muestras de agua analizadas en unidades de miligramos por litro (mg/L) y  $S_i$  corresponde al límite máximo permisible de cada parámetro (mg/L) de acuerdo con lo establecido por la OMS en 2004.

Tabla 4. Parámetros y estándares empleados por la OMS (2004) y la NOM-127-SSA1-1994.

Parámetro	Estándar OMS (mg/L)	Estándar NOM-127-SSA1-1994 (mg/L)	Peso ponderado ( $w_i$ )	Peso relativo ( $W_i$ )
[Ca <sup>2+</sup> ]	75	---	2	0.08
[Na <sup>+</sup> ]	200	200	2	0.08
[K <sup>+</sup> ]	12	---	2	0.08
[Mg <sup>2+</sup> ]	50	---	2	0.08
[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]	500	500	1	0.04
[Cl <sup>-</sup> ]	250	250	4	0.16
[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	250	400	4	0.16
[CE]	500	500	3	0.12
[SDT]	500	1000	4	0.16
[pH]	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	1	0.04
$\sum$	---	---	---	1

Finalmente, para el cálculo del DWQI, se determinó  $SI_i$  para cada parámetro y luego, la suma de los resultados de  $SI_i$  dio el WQI para cada muestra:

$$SI_i = W_i \times q_i \quad [5]$$

$$DWQI = \sum_{i=1}^n SI_i \quad [6]$$

Donde  $SI_i$  es el subíndice del parámetro,  $q_i$  corresponde a la clasificación basada en la concentración de cada parámetro, y  $n$  representa el número total de parámetros utilizados (Tyagi et al., 2013; Soleimani et al., 2018). Según los resultados de DWQI, la calidad del agua se puede agrupar en cinco categorías, las cuales se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Clasificación de DWQI (Brown et al., 1970).

Rango DWQI	Tipo de agua subterránea
< 50	Agua excelente
50 – 99.99	Agua buena
100 – 199.99	Agua pobre
200 – 299.99	Agua muy pobre
≥ 300	Inadecuada para beber

**Diagrama de Wilcox**

Por otro lado, se realizó el diagrama Wilcox, propuesto por Wilcox (1955) para clasificar la calidad del agua para riego con base a la salinidad. Los parámetros utilizados fueron: Conductividad Eléctrica y SAR. En la Tabla 6 se muestran la clasificación de la calidad del agua y las restricciones de acuerdo a su uso.

Tabla 6. Clasificación del agua de riego según el diagrama Wilcox.

Tipos	Calidad y normas de uso
C <sub>1</sub>	Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas sólo en suelos de muy baja permeabilidad.
C <sub>2</sub>	Agua de salinidad media, apta para riego. En ciertos casos, puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.
C <sub>3</sub>	Agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego de suelos con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C <sub>4</sub>	Agua de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego. Solo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar las sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C <sub>5</sub>	Agua de salinidad excesiva, que sólo debe emplearse en casos muy particulares, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente.
C <sub>6</sub>	Agua de salinidad excesiva, no aconsejable para riego.
S <sub>1</sub>	Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.
S <sub>2</sub>	Agua con contenido medio en sodio y, por lo tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiante del suelo, corrigiendo en caso de ser necesario.
S <sub>3</sub>	Agua con alto contenido en sodio y gran peligro de acumulación de sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere de un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego.
S <sub>4</sub>	Agua con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general, excepto en casos de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas.

**Resultados y discusión**

**Características fisicoquímicas**

De acuerdo a los resultados, se observó que el pH del agua en la mayoría de los pozos se encuentra dentro de los LMP (8.5) establecidos por la FAO (1994). Un pH alcalino podría deberse al fenómeno de IM presente en la zona de estudio, además del uso continuo de fertilizantes en la agricultura. Los valores de SDT en la mayor parte de los pozos están dentro de los LMP. Los altos niveles determinados en algunos de los pozos podrían deberse a la IM. Por otro lado, para los valores de CE la FAO no contempla un límite máximo permisible para el agua de uso agrícola, por lo que no es posible establecer si se encuentra dentro de lo permitido. Sin embargo, los altos valores de CE encontrados podrían deberse a la disolución de minerales por las interacciones agua-roca, además de la IM en el acuífero. El principal problema que

ocasiona la alta CE en las plantas es la incapacidad para competir con los iones en solución del suelo, generando condiciones de sequía fisiológica (Khanoranga, 2019).

Las concentraciones de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) se encuentra dentro de los LMP en la mayoría de los pozos. Se puede presentar de forma natural en el agua subterránea como carbonato de calcio o cloruro de calcio. Sin embargo, en los pozos donde la concentración rebaza lo establecido por la FAO, es probable que se deba también a la IM. Asimismo, los niveles de sodio ( $\text{Na}^+$ ) se encuentran en la totalidad de los pozos dentro LMP. En los casos donde se excede el LMP, podría ser debido a la problemática de IM, así como a los residuos de sales que quedan después de la evaporación del agua aplicada en el riego agrícola. Se observó que los niveles el potasio ( $\text{K}^+$ ) sobrepasan los LMP, lo cual podría deberse al uso frecuente de fertilizantes, ya que es una zona agrícola intensiva. Las concentraciones de magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) se encuentra dentro de los LMP en la mayor parte de los pozos analizados. Sin embargo, y como sucedió con el caso del potasio, es muy posible que las altas concentraciones se deban al uso frecuente de fertilizantes en la región. Además de la constante evaporación del agua usada para el riego, dejando residuos de sales en el suelo que se acumulan en las zonas de cultivo para después ser infiltradas al subsuelo.

Las concentraciones de bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) y cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) se encuentran dentro de los LMP en la mayoría de los pozos. El excedente de estos aniones en algunos pozos, puede ser por la disolución de minerales sedimentarios, y en el caso de los cloruros por la IM. Las concentraciones de sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) se encuentra dentro de los LMP para todos los pozos muestreados. Es posible que la presencia de sulfatos sea por la mineralización de rocas sulfatadas o a la descarga de aguas residuales de uso industrial o doméstico.

#### Índice de calidad de agua para riego (IWQI)

El IWQI se obtuvo para un total de 582 muestras de agua, estos resultados fueron interpolados y su distribución espacial, así como la clasificación para el uso del agua se muestran en la Figura 2.

El 1% del total de las muestras se encuentra en la categoría de “severa restricción”. Esta agua debe evitarse su uso para el riego en condiciones normales. Se recomienda usarse en plantas con una alta tolerancia a la sal. Los cultivos de espárragos y palmera aceitera son los más adecuados por su tolerancia a la salinidad elevada. Así como otros cultivos como cebada, algodón, remolacha azucarera, jojoba que son muy tolerantes a la salinidad (FAO, 1994). Los pozos con este tipo de agua se localizan cerca de la costa. El 15% se clasifica como agua de “alta restricción”. Esta categoría indica que debe usarse en riego programados y en suelos con alta permeabilidad. Esta agua se recomienda en cultivos de calabaza, calabacín, sorgo y trigo (FAO, 1994). Los pozos con este tipo de agua se encuentran próximos a la costa y aledañas a la zona urbana.

El 60% se categoriza como agua de “moderada restricción”. Esta agua debe usarse en suelos con moderada a alta permeabilidad y donde se procure una lixiviación moderada de sales para evitar su degradación, además de utilizarse en plantas con una tolerancia moderada a las sales. Se recomienda este tipo de agua para cultivos de maíz, girasol, alfalfa, melón, papa, calabaza, tomate, sandía, entre otros, y comenzar con la siembra de caña de azúcar, brócoli, pepino, lechuga, uva, entre otros, cuya sensibilidad a las sales es moderada (FAO, 1994). Los pozos con este tipo de agua se encuentran distribuidas por todo el VSD.

El 24% se encuentra en la categoría de “baja restricción”. Esta agua debe usarse en suelos con textura ligera o permeabilidad moderada y puede presentar un riesgo elevado para plantas con sensibilidad a la sal. Se recomienda usar este tipo de agua en los cultivos mencionados en la categoría anterior (moderada restricción), donde las plantas presentan una tolerancia de moderada a elevada a la salinidad. Los pozos con este tipo de agua se encuentran en el centro del VSD y a una distancia considerable de la zona costera. Cabe destacar que ninguna de las muestras está dentro de la categoría “sin restricción”, por lo que se puede decir que ninguno de los pozos muestreados presenta agua con una calidad excelente para usarse en todos los tipos de cultivo que se cosechan en la zona del VSD.

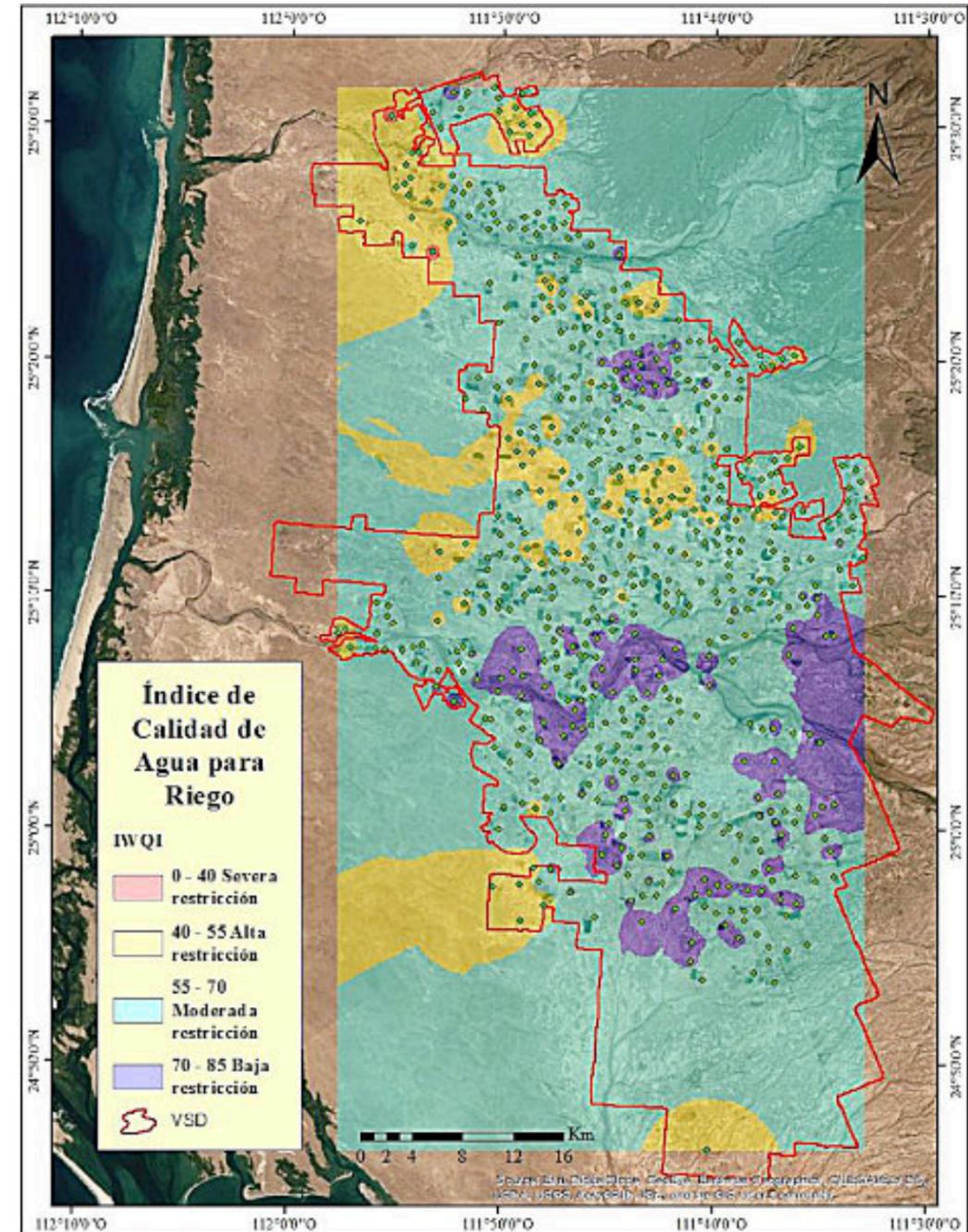


Figura 2. Distribución espacial de la calidad del agua para riego agrícola en el VSD.

#### Índice de calidad de agua para consumo humano (DWQI)

El DWQI se obtuvo para un total de 582 muestras de agua. Estos resultados fueron interpolados, y su distribución espacial, así como la clasificación para el uso del agua se muestran en la Figura 3. Del total de muestras analizadas, el 8% se encuentra en la categoría de “agua inadecuada para beber”. Esta agua no es recomendable para consumo, ya que los niveles de calidad son muy deficientes, que requeriría un monitoreo constante para evaluar qué los procesos y metodologías serían aplicadas para su uso un tratamiento efectivo y eficiente. Los pozos con este tipo de agua se ubican en los extremos del VSD cercanos a la costa,

El 15% se categoriza como “agua muy pobre”. Esta agua requiere de un tratamiento previo riguroso para poder ser consumida. Los pozos con este tipo de agua se encuentran en las orillas del VSD cercanos a la costa, así como aledaños a los pozos con menor calidad de agua, indicando una posible propagación de los contaminantes hacia los otros pozos, llegando incluso a los ubicados en el centro del VSD. El 48% se clasifica como “agua pobre”. Este agua requiere un tratamiento previo medio para antes de consumirse. Los pozos con este tipo de agua abarcan casi en su totalidad el VSD.

El 28% se categoriza como “agua buena”, esta agua requiere un tratamiento previo sencillo antes de su consumo. Los pozos con este tipo de agua se localizan en el centro del VSD y alejados de la zona cercana a la costa. Finalmente, el 1% se clasifica como “agua excelente”, esta agua no requiere un tratamiento previo si para consumirse. Los pozos con este tipo de agua están ubicados en el centro del VSD y muy alejados de la zona costera.

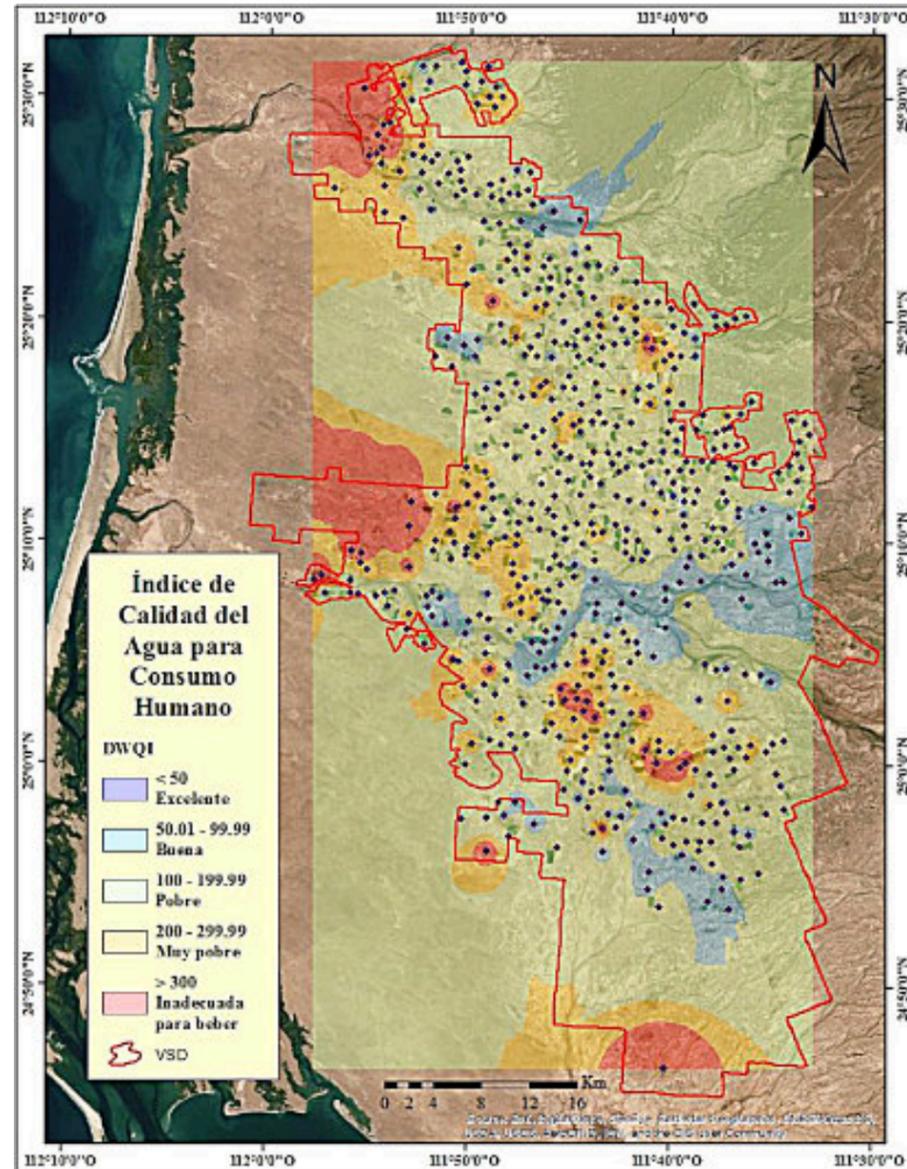


Figura 3. Distribución de la calidad del agua para consumo humano en VSD.

**Diagrama de Wilcox**

Para clasificar la salinidad se aplicó el diagrama de Wilcox, como se muestra en la Figura 4. Se observó que la mayoría de las muestras se encuentran en la clasificación C3-S1, que corresponde a la categoría de “agua con alta salinidad”. Esta agua puede usarse para el riego en suelos con buen drenaje, ya que tiene alto contenido de sodio. Puede ser usada para cualquier tipo de cultivo, sin embargo, puede causar problemas en cultivos con alta sensibilidad al sodio.

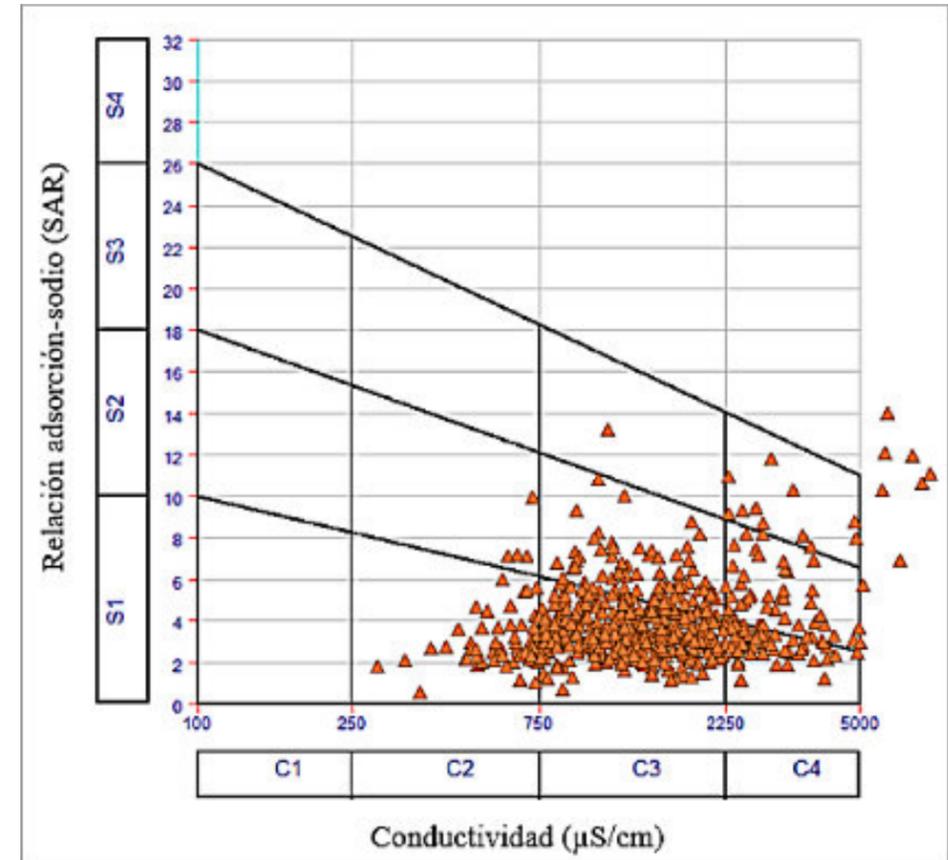


Figura 4. Clasificación de la salinidad en el VSD, de acuerdo al Diagrama de Wilcox.

Existe una relación entre los resultados obtenidos en el diagrama de Wilcox y el IWQI, ya que en ambas técnicas se observa que el agua utilizada en el VSD presenta niveles muy altos de salinidad que pueden afectar no solo los cultivos, sino también los suelos agrícolas. Ambas metodologías mencionan que los cultivos deben ser seleccionados de acuerdo con su tolerancia a la salinidad, así como su uso en suelos donde el drenaje sea adecuado. Sin embargo, también deben tomarse ciertas precauciones en el uso del agua, como es un control de salinidad para evitar daños a las plantas y en la fertilidad del suelo.

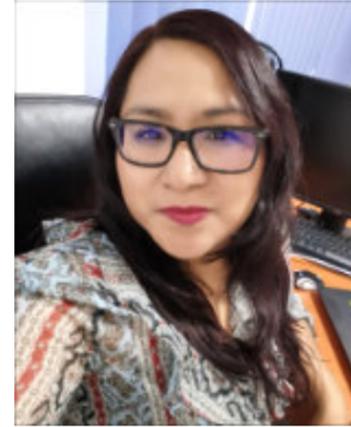
La calidad del agua de riego tiene un efecto directo sobre las plantas y el suelo. Los cultivos de alta calidad solo se producen con agua de riego con alta calidad. La baja calidad del agua de uso agrícola afecta el rendimiento de las plantas en términos de toxicidad/deficiencia o indirectamente alterando la disponibilidad de nutrientes. La calidad también varía según la fuente, la geología local y regional, y el clima. Por ejemplo, el agua con alta salinidad puede afectar de manera perjudicial a la planta, alterando sus procesos metabólicos o retrasando su crecimiento al disminuir su capacidad de absorción de agua.

**Conclusiones**

En este estudio se clasificó la calidad del agua del acuífero de VSD para fines de riego y consumo humano, y se clasificó la salinidad para determinar su idoneidad para riego agrícola. De acuerdo con los resultados obtenidos, se encontró que la mayor parte de los pozos tiene agua poco aceptable para su uso en el riego agrícola. Esto debido a los niveles de salinidad presentes, afectando significativamente en el desarrollo de los cultivos bajo condiciones normales de riego, e incluso bajo riegos programados, suelos permeables y en cultivos tolerantes a la salinidad. Por otro lado, la calidad del suelo también se ve afectada, comprometiendo su sustentabilidad. La clasificación de agua puede ayudar a los productores a seleccionar aquellos cultivos tolerantes a la salinidad y hacer un mejor manejo del recurso, así como en el caso del agua para consumo humano.

**Bibliografía**

- Abbasnia, A., Yousefi, N., Mahvi, A. H., Nabizadeh, R., Radfard, M., Yousefi, M., & Alimohammadi, M. (2018). Evaluation of groundwater quality using water quality index and its suitability for assessing water for drinking and irrigation purposes: Case study of Sistan and Baluchistan province (Iran). *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 25(4), 988-1005. doi: 10.1080/10807039.2018.1458596
- Bortolini, L., Maucieri, C., & Borin, M. (2018). A Tool for the Evaluation of Irrigation Water Quality in the Arid and Semi-Arid Regions. *Agronomy*, 8(2), 23. doi: 10.3390/agronomy8020023
- Brown, R.M., N.I. McClelland, R.A. Deininger and R.G. Tozer. (1970). A water quality index – do we dare? *Water Sewage Works* 117:339-343
- Cardona, A., Carrillo-Rivera, J. J., Huizar-Álvarez, R., & Graniel-Castro, E. (2004). Salinization in coastal aquifers of arid zones: an example from Santo Domingo, Baja California Sur, Mexico. *Environmental Geology*, 45(3), 350-366. doi: 10.1007/s00254-003-0874-2
- INEGI (1996). Estudio Hidrológico del Estado de Baja California Sur; Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática; Aguascalientes, México; 1996.
- INIFAP (2009). Reporte Climatológico para el Valle de Santo Domingo; Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; Ciudad de México, México; 2009.
- Khanoranga, & Khalid, S. (2019). An assessment of groundwater quality for irrigation and drinking purposes around brick kilns in three districts of Balochistan province, Pakistan, through water quality index and multivariate statistical approaches. *Journal of Geochemical Exploration*, 197, 14-26. doi: 10.1016/j.gexplo.2018.11.007
- Marín Celestino, A., Martínez Cruz, D., Otazo Sánchez, E., Gavi Reyes, F., & Vásquez Soto, D. (2018). Groundwater Quality Assessment: An Improved Approach to K-Means Clustering, Principal Component Analysis and Spatial Analysis: A Case Study. *Water*, 10(4), 437. doi: 10.3390/w10040437
- Meireles, A. C. M., Andrade, E. M. d., Chaves, L. C. G., Frischkorn, H., & Crisostomo, L. A. (2010). A new proposal of the classification of irrigation water. *Revista Ciência Agronômica*, 41, 349-357.
- Soleimani, H., Nasri, O., Ojaghi, B., Pasalari, H., Hosseini, M., Hashemzadeh, B., . . . Feizabadi, G. K. (2018). Data on drinking water quality using water quality index (WQI) and assessment of groundwater quality for irrigation purposes in Qorveh&Dehgolan, Kurdistan, Iran. *Data Brief*, 20, 375-386. doi: 10.1016/j.dib.2018.08.022
- Troyo Diéguez, E., Mercado Mancera, G., Cruz falcón, A., Nieto Garibay, A., Valdez Cepeda, R. D., García Hernández, J. L., & Murillo Amador, B. (2015). Análisis de la sequía y desertificación mediante índices de aridez y estimación de la brecha hídrica en Baja California Sur, noroeste de México. *Investigaciones Geográficas*, 0(85). doi: 10.14350/rig.32404
- Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P., & Dobhal, R. (2013). Water Quality Assessment in Terms of Water Quality Index. *American Journal of Water Resources*, 1(3), 34-38.
- Wilcox, L.V., 1955. Classification and Used Irrigation Waters 969. U.S. Deptt, Agr. Crc, Washington D.C.
- Wurl, J., Gámez, A. E., Ivanova, A., Imaz Lamadrid, M. A., & Hernández-Morales, P. (2018). Socio-hydrological resilience of an arid aquifer system, subject to changing climate and inadequate agricultural management: A case study from the Valley of Santo Domingo, Mexico. *Journal of Hydrology*, 559, 486-498. doi: 10.1016/j.jhydrol.2018.02.050
- Wurl, J., & Imaz-Lamadrid, M. A. (2017). Coupled surface water and groundwater model to design managed aquifer recharge for the valley of Santo Domingo, B.C.S., Mexico. *Sustainable Water Resources Management*, 4(2), 361-369. doi: 10.1007/s40899-017-0211-7
- Zahedi, S. (2017). Modification of expected conflicts between Drinking Water Quality Index and Irrigation Water Quality Index in water quality ranking of shared extraction wells using Multi Criteria Decision Making techniques. *Ecological Indicators*, 83, 368-379. doi: 10.1016/j.ecolind.2017.08.017
- Zepeda Quintana, D. S., Loeza Rentería, C. M., Munguía Vega, N. E., Peralta, J. E., & Velazquez Contreras, L. E. (2018). Sustainability strategies for coastal aquifers: A case study of the Hermosillo Coast aquifer. *Journal of Cleaner Production*, 195, 1170-1182. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.05.191.



La **Dra. Ana Elizabeth Marín Celestino** es Ingeniera ambiental por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Estudió una maestría ciencias en el Colegio de Postgraduados Campus Puebla, y un doctorado en hidrociencias en el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Realizó una estancia posdoctoral en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, en el posgrado de ciencias ambientales. Investigadora por México-CONAHCYT, adscrita al Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. (IPICYT) en la División de Geociencias Aplicadas. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 1. Sus líneas de investigación son la caracterización y modelación hidrogeoquímica del agua superficial y subterránea en espacio-tiempo, mediante técnicas estadísticas multivariantes. Asimismo, a la cuantificación de volúmenes de agua en una región, mediante modelación hidrológica computacional. Ha impartido cursos a nivel posgrado y nivel licenciatura. Ha dirigido y codirigido tesis de maestría y licenciatura, y actualmente está dirigiendo tesis de doctorado. Cuenta con diversas publicaciones nacionales e internacionales en estas temáticas.

**ORCID: 0002-2459-0397**



El **Dr. Diego Armando Martínez Cruz** es Investigador por México-CONAHCYT, adscrito al departamento de Ingeniería Sustentable del Centro de Investigación en Materiales Avanzados, A.C. (CIMAV). Doctorado en hidrociencias por el Colegio de Postgraduados. Ingeniero ambiental por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I. Mi trabajo está enfocado a investigar y aplicar la nueva generación de tecnologías de la información y de la inteligencia Artificial, en la gestión sustentable, monitoreo y la estimación de escenarios futuros de la disponibilidad y la calidad de los recursos hídricos en México. A través de la integración de los más recientes avances en telemetría, automatización, la inclusión de técnicas avanzadas de análisis de datos y modelación computacional. Ha impartido cursos a nivel posgrado y licenciatura, y ha dirigido tesis de maestría y licenciatura, algunos de estos trabajos han sido reconocidos por su innovación y pertinencia en su campo con reconocimientos estatales y nacionales. Cuenta con diversas publicaciones nacionales e internacionales en estas temáticas, en revistas indexadas de prestigio.

**ORCID: 0002-7304-2928**



La **M. en C. MARÍA MERCEDES ZAVALA ARRIAGA** es Maestra en Ciencias en Geología Aplicada, por la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de S.L.P. Estudió la licenciatura en la Facultad de Ingeniería, Área Ciencias de la Tierra, por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, obteniendo el grado de Ingeniero Geólogo. Inició su experiencia laboral como supervisora de exploración en mina a cielo abierto en la compañía minera C. M. B. J. Peña Colorada, S. A. de C. V. Participó en proyectos de SENER-CONACYT y el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, fue Subdirectora de Posgrado e Investigación en el Instituto Tecnológico Superior de Poza Rica (ITSPR) y Jefa de Departamento de Ingeniería en Geociencias del ITSPR. Actualmente es Técnica Académica Titular B de laboratorios de Petrofísica y Geología Aplicada en la División de Geociencias Aplicadas-IPICYT, se dedica a la investigación de materiales pétreos caracterización sedimentológica, geoquímica, petrofísica básica y avanzada de rocas. Miembro de Geolatinas.

**ORCID: 0009-0000-7973**

## LAS ROCAS OOLÍTICAS COMO ALMACENADORAS DE HIDROCARBUROS (PARTE 2)

*(Aspectos petrofísicos importantes a considerar en un yacimiento petrolero)*

Reporte compilado por  
**Luis Angel Valencia Flores**  
Editor de la revista

Las características petrofísicas de un yacimiento son de gran importancia en el desarrollo de cualquier proyecto de evaluación y caracterización, están directamente relacionadas con la producción y el futuro desarrollo de este. La cantidad de hidrocarburos contenida en una unidad de volumen se encuentra relacionada de manera directa con la porosidad, independientemente de las rocas que conformen el yacimiento. La saturación de agua complementa un estudio volumétrico, así como la permeabilidad que es la propiedad que otorga movimiento a los fluidos. A continuación, se detallan los parámetros petrofísicos que son de gran importancia al analizar un yacimiento petrolero:

### Porosidad

La porosidad de un yacimiento está definida como esa fracción del volumen que no está ocupado por la parte sólida de la roca (Pittman, E. C., 1971). Esto puede ser expresado matemáticamente de la siguiente forma:

$$\Phi = \frac{V_b - V_{gr}}{V_b} = \frac{V_p}{V_b}$$

Donde:

$\Phi$ =porosidad, fracción.

$V_b$ =volumen de la roca que conforma el yacimiento.

$V_{gr}$ =volumen de grano.

$V_p$ =volumen de poro.

### Porosidad primaria.

Denominada así como la porosidad generada al momento en que la roca se forma, esta puede ser pre-depositacional o depositacional, los tipos de porosidad primaria se pueden clasificar de la siguiente forma:

- 1.- Intercristalina: Son aquellos poros entre planos de clivaje de cristales, poros entre cristales individuales, y poros entre redes cristalinas. Muchos de estos poros son subcapilares, es decir, poros de menos de 0.002 mm de diámetro
- 2.- Intergranular o intrapartícula: Esta porosidad fluctúa entre la sub-capilar y la super-capilar (espacios huecos más grande que 0.5 mm de diámetro).
- 3.- Planos de estratificación: Los espacios porosos de muchas variedades están concentrados paralelos a los planos de estratificación, la geometría del yacimiento está controlada por estos planos.
- 4.- Miscelánea sedimentaria de huecos o poros: (1) los poros son resultado de la acumulación de fragmentos detríticos fósiles, (2) los poros son el resultado del empaquetamiento de oolitas, (3) vórgulos y cavernas de tamaño irregular y variado formados en el tiempo del depósito y (4) poros creados por organismos que vivían durante el tiempo del depósito.

### Porosidad secundaria

Es el resultado de procesos ocurridos después del depósito de los sedimentos. La magnitud, forma, tamaño e interconexión de los poros no están directamente relacionados a la forma sedimentaria de las partículas. La porosidad secundaria o inducida puede subdividirse en tres grupos determinados por los procesos geológicos dominantes.

1. Porosidad por disolución: canales originados por disolución de rocas, actuando primordialmente soluciones cáldas que circulan y por acción de los organismos que después agrandan las cavidades.

2. Dolomitización: proceso por el cual la caliza es transformada en dolomita de acuerdo con la siguiente reacción química:



3. Porosidad de fractura: Porosidad generada por esfuerzos estructurales. La porosidad solamente de fracturas en carbonatos usualmente no excede el 1%, sin embargo, en yacimientos mexicanos de la Sonda de Campeche esta porosidad llega a ser del orden de 10%.

4. Miscelánea de porosidad secundaria: Pueden estar presentes en una misma roca fracturas ocurridas en

crestas de anticlinales pequeños y brechas ocurridas por movimientos generados simplemente por gravedad, (Figura 1). El papel que juega el análisis visual debido a la descripción de espacios porosos en rocas carbonatadas ha cambiado considerablemente desde que Archie en 1952 desarrollo una clasificación para las rocas de yacimientos carbonatados. El desarrollo de los registros geofísicos de pozos ha proporcionado a la industria un método efectivo para medir la porosidad "in-situ" de la formación. La

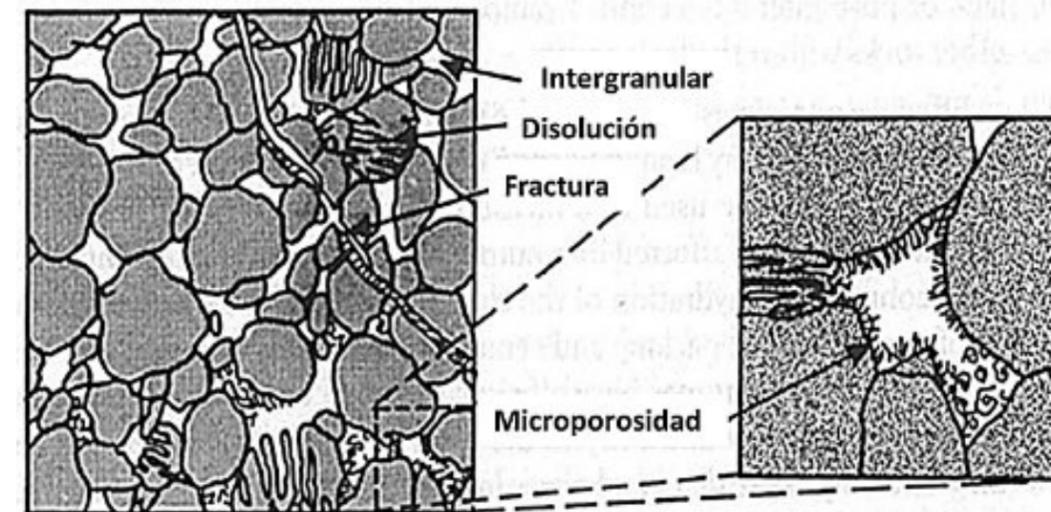


Figura 1. Tipos de porosidades. Tomado de Djebbar and Donaldson, 2004.

### Saturación de fluidos

La porosidad de un yacimiento es importante porque es una medición de la capacidad que tiene la roca para almacenar fluidos (aceite, gas y agua). Igualmente, importante es la cantidad relativa de los poros que están llenos de fluidos específicos. Esta propiedad es llamada saturación de fluidos y es expresada como la fracción o porcentaje, del volumen de la porosidad total ocupada por aceite, gas o agua.

El agua connata, sin embargo, casi siempre es encontrada en los yacimientos. En adición a la densidad, la mojabilidad y la tensión interfacial se combinan para alterar la manera en que el aceite, gas y agua están distribuidos en el yacimiento.

En la práctica, el agua connata casi siempre existe, incluso en el yacimiento. Valores altos de Saturación de agua irreductible ( $S_{wi}$ ) son indicativos de poros de tamaño pequeño. La zona de transición (contacto agua/aceite) corresponde a la zona de variación de saturación de agua. Los pozos completados dentro de esta zona producirán hidrocarburos y agua, y los pozos completados sobre esta zona dentro de la zona de agua irreductible producirán solo hidrocarburos.

descripción de la geometría de poro, sin embargo, es necesaria para estimar los efectos de (1) el tamaño de grano; (2) la cantidad de porosidad interpartícula e intrapartícula; (3) la cantidad de vórgulos no conectados; (4) la presencia de fracturas y cavidades; (5) la presencia o ausencia de vórgulos conectados sobre la relación de porosidad-permeabilidad y otros parámetros petrofísicos de yacimientos naturalmente fracturados.

### Permeabilidad

Además de la existencia de poros, un yacimiento debe tener la habilidad de permitir a los fluidos fluir a través de los poros interconectados. Esta propiedad se llama permeabilidad. Obviamente, la permeabilidad de una roca depende de la porosidad efectiva. La permeabilidad también es afectada por el tamaño de grano de roca, forma del grano o cristal, distribución del tamaño del grano, empaquetamiento del grano, y el grado de consolidación y cementación. La permeabilidad también es afectada por el tipo de arcilla presente, especialmente en presencia de agua dulce. Algunas arcillas, particularmente las esmectitas (bentonitas) y montmorrillonitas, se hinchan con agua dulce y pueden bloquear completamente los espacios porosos.

Henry Darcy desarrolló una ecuación de flujo de fluidos, que se ha convertido en una de las herramientas matemáticas "Standard" en la ingeniería.

$$u = \frac{q}{A_c} = - \frac{k}{\mu} \frac{dp}{dl}$$

$u$ =velocidad, cm/seg.

$q$ = índice de flujo del fluido,  $\text{cm}^3/\text{seg}$ .

$K$ = permeabilidad de la roca porosa, Darcy ( $0.986923 \mu\text{m}^2$ ).  
 $A_c$ = sección transversal del área,  $\text{cm}^2$   
 $\mu$ = viscosidad del fluido que fluye, centipoise (cP).  
 $l$ = longitud, cm.  
 $dp/dl$ = gradiente de presión en la dirección del flujo, atm/cm.

Un Darcy es una permeabilidad relativamente alta, y la permeabilidad de la mayoría de los yacimientos está en menos de un Darcy. La medida común de la permeabilidad de una roca es en milidarcies (mD), o  $\mu\text{m}^2$  en unidades del sistema inglés (SI).

Clasificación de la permeabilidad.

Los yacimientos petroleros pueden tener permeabilidad primaria, la cual es también conocida como "permeabilidad de matriz", y permeabilidad secundaria. La permeabilidad de matriz se origina al mismo tiempo del depósito y litificación de la roca sedimentaria. La porosidad secundaria o inducida resulta de la alteración de la matriz, por: compactación, cementación, fracturamiento y disolución. Mientras que la compactación y cementación generalmente reducen la permeabilidad primaria, el fracturamiento y la disolución tienden a incrementarla. En algunos yacimientos, particularmente en los carbonatos de baja porosidad, la

permeabilidad secundaria provee el principal conductor para la migración de fluidos (Chilingarian, G.,1992).

Factores afectando la magnitud de la permeabilidad.

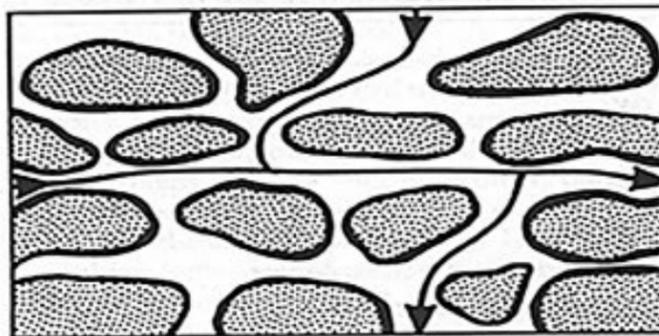
La calidad de un yacimiento en función de la permeabilidad puede ser calificado de la siguiente manera:

- (1) Pobre. - si  $k < 1$
- (2) Regular. - si  $1 < k < 10$
- (3) Moderada. - si  $10 < k < 50$
- (4) Buena. - si  $50 < k < 250$
- (5) Muy buena. - si  $k > 250$

Los factores que afectan la magnitud de la permeabilidad en los sedimentos son:

a) Forma y tamaño de granos o cristales de la roca: Si la roca está compuesta de granos grandes y planos uniformemente dispuestos con una dimensión horizontal alargada, (Figura 2), su permeabilidad horizontal ( $k_H$ ) será muy alta, mientras la permeabilidad vertical ( $k_V$ ) será de mediana a grande. Si la roca está compuesta en su mayoría de granos grandes uniformemente redondeados, su permeabilidad será considerablemente alta y de la misma magnitud en ambas direcciones, (Figura 3). La permeabilidad del yacimiento es generalmente baja,

**Granos planos y largos**



Permeabilidad Horizontal= 2000mD  
 Permeabilidad Vertical= 800 mD

Figura 2. Efectos de granos grandes y largos en la permeabilidad. Tomado de Djebbar and Donaldson, 2004.

Figura 3. Efectos de granos grandes y redondeados en la permeabilidad. Tomado de Djebbar and Donaldson, 2004.

**Granos grandes y redondeados**

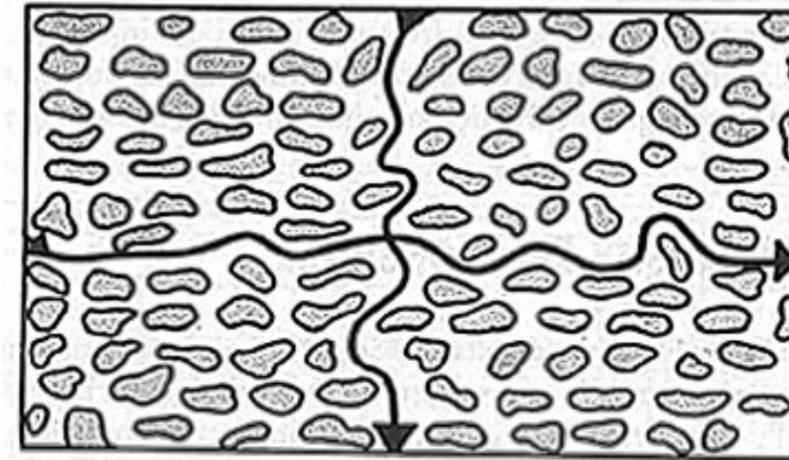


Permeabilidad Horizontal= 2000mD  
 Permeabilidad Vertical= 1500 mD

especialmente en dirección vertical, si los granos de arena son pequeños y de forma irregular (Figura 4). La mayoría de los yacimientos están en esta categoría.

La presencia de minerales planos como la muscovita, y laminaciones de arcilla actúan como barreras a la permeabilidad vertical. A veces, sin embargo, la  $k_V$  es más alta que la  $k_H$  debido al fracturamiento o desarrollo vertical de fracturas y canales de disolución verticales.

**Granos muy pequeños e irregulares**



Permeabilidad Horizontal= 150mD  
 Permeabilidad Vertical= 15 mD

Figura 4. Efectos de granos pequeños e irregulares en la permeabilidad. Tomado de Djebbar y Donaldson, 2004.

Relación Porosidad-Permeabilidad en rocas carbonatadas.

La relación Porosidad-Permeabilidad en rocas carbonatadas está relacionada con el tamaño de grano en la matriz, el tamaño de los poros intergranulares, la cantidad de vórgulos no-conectados (fracturas y cavidades de disolución), y la presencia o ausencia de vórgulos conectados. Existe una relación entre porosidad y permeabilidad para varios tipos de roca con tamaño de partícula en rocas no-vugulares uniformemente cementadas. Existen casos en donde una gráfica de porosidad vs permeabilidad ( $\Phi$  vs  $k$ ) indica que hay una buena relación entre estos parámetros petrofísicos, por lo tanto, si el tamaño de partícula y la porosidad de matriz son conocidos, la permeabilidad (en mD) de la porción no-vugular de la roca carbonatada puede ser estimada por:

$$k_{ma} = A_{gr} \Phi_{ma}^{Amcp}$$

b) Cementación: La porosidad y permeabilidad de rocas sedimentarias está influenciada por la extensión de la cementación y la localización de material cementante dentro del espacio poroso.

c) Fracturamiento y disolución: En carbonatos, la disolución de minerales debido a la percolación de agua acida superficial y de subsuelo, que pasa por porosidad primaria, fisuras, fracturas y planos de estratificación, incrementa la permeabilidad del yacimiento.

Donde:

- $\Phi_{ma}$  =porosidad de matriz, fracción.
- $A_{gr}$ =coeficiente de tamaño de grano, sin dimensiones.
- $A_{mcp}$ =coeficiente de cementación - compactación, sin dimensiones.

Prácticamente todas las correlaciones de porosidad-permeabilidad pueden ser usadas solo con propósitos cualitativos. Para obtener una correlación precisa entre la porosidad y permeabilidad, se debe incluir un gran número de factores físicos que caracterizan el medio poroso, incluyendo saturación del fluido irreducible, superficie de un área específica, distribución de tamaño de grano, forma de grano, empaquetamiento y estratificación, litología y mineralogía, grado y tipo de cementación, etc. Aunque algunas formaciones geológicas pueden mostrar una correlación entre porosidad y permeabilidad, un gran número de factores físicos influenciando estos dos parámetros difieren ampliamente en formaciones distintas. El actual trabajo de tesis tiene

como reto encontrar la relación óptima entre la porosidad y permeabilidad del yacimiento.

Rocas naturalmente fracturadas.

Las rocas naturalmente fracturadas pueden ser categorizadas en tres principales tipos con base en sus sistemas de porosidad:

- (1) Inter cristalina-intergranular.
- (2) Fractura-matriz.
- (3) Vugular-solución.

La acumulación y migración de fluidos en un yacimiento con una formación naturalmente fracturada teniendo el

primer tipo de sistema poroso es similar a aquel encontrado en formaciones de areniscas. Consecuentemente, las técnicas desarrolladas para determinar las propiedades físicas del medio poroso de una arenisca pueden ser directamente aplicados a formaciones con porosidad Inter cristalina-intergranular. Desafortunadamente, este no es el caso para yacimientos con los otros dos tipos de sistemas porosos. Los poros en la matriz de una formación fractura-matriz están pobremente interconectados, produciendo un modelo de movimiento del fluido que es diferente a una formación arenosa. Rocas con un sistema poroso vugular-disolución exhiben un rango amplio de distribuciones de permeabilidad variando desde relativamente uniforme a extremadamente irregular (Nelson, R., 2001).

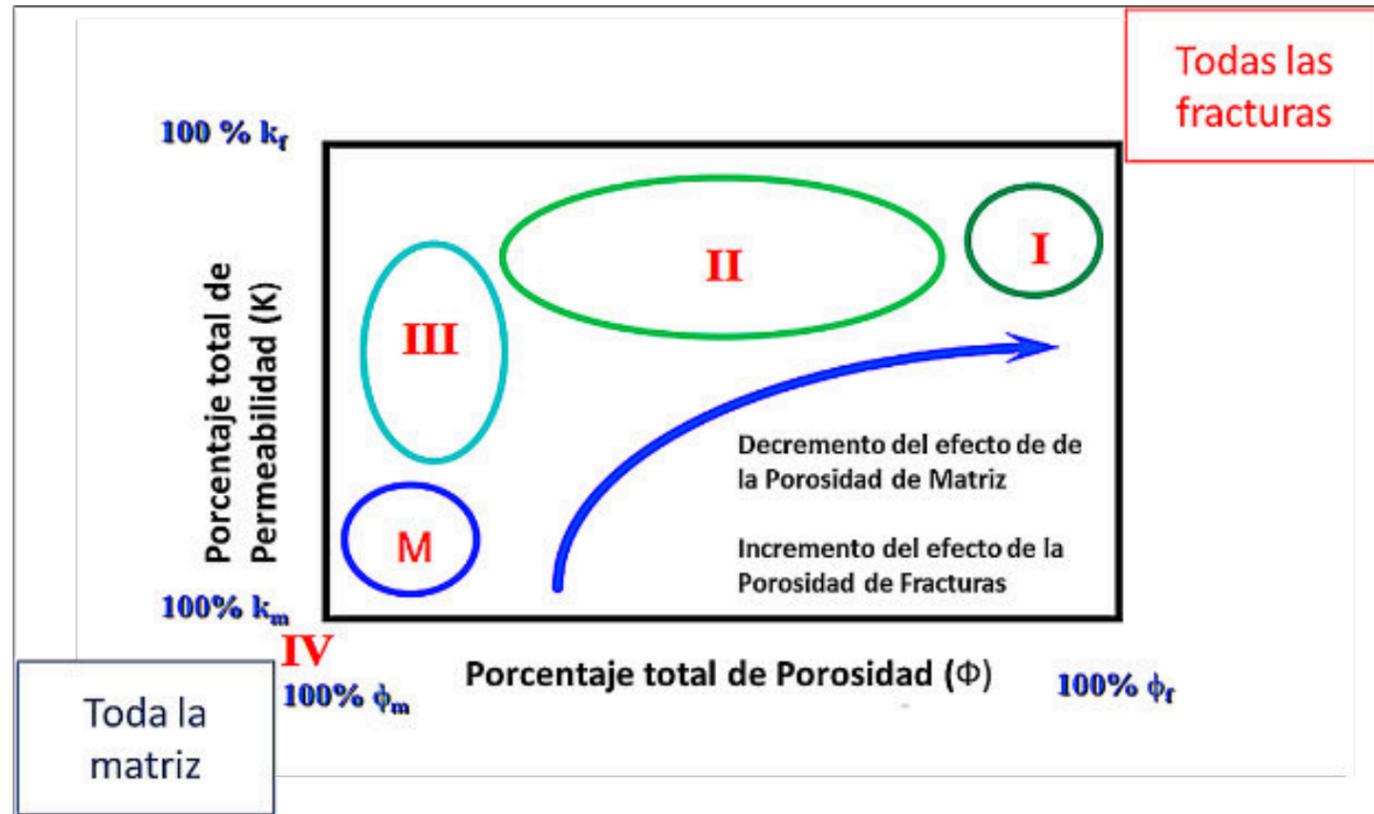


Figura 5. Clasificación de Nelson, respecto a los yacimientos fracturados. Modificado de Nelson 2001.

Nelson identificó cuatro tipos de yacimientos naturalmente fracturados, con base en el grado en que las fracturas han alterado la porosidad y permeabilidad de matriz del yacimiento (Figura 5).

- (1) Yacimientos tipo 1.- Las fracturas proveen toda la capacidad de almacenaje y permeabilidad del yacimiento. La Porosidad y Permeabilidad de matriz son bajas.
- (2) Yacimientos tipo 2.- La matriz tiene permeabilidad insignificante, pero contiene la mayoría, si no es que todos

los hidrocarburos. Las fracturas proveen la permeabilidad esencial del yacimiento.

(3) Yacimientos tipo 3.- La matriz ya tiene buena permeabilidad primaria. Las fracturas adicionan permeabilidad al yacimiento y puede resultar en un considerablemente alto porcentaje de flujo.

(4) Yacimientos tipo 4.- Las fracturas están rellenas de minerales. Este tipo de fracturas tienden a formar barreras contra la migración de fluidos y divide las formaciones en

bloques relativamente pequeños.

Ejemplos de porosidades en rocas oolíticas.

El las siguientes dos imágenes (Figuras 6 y 7) se pueden apreciar los diferentes tipos de porosidades existentes en

rocas oolíticas del Golfo de México (tomado de Caracterización geológica de facies de alta energía en un yacimiento petrolero del Jurásico Superior Kimmeridgiano mediante la integración de datos petrográficos, registros geofísicos e información sísmica, Alpírez, Petrí y González, 2017). Con base en su ambiente sedimentario, estas rocas

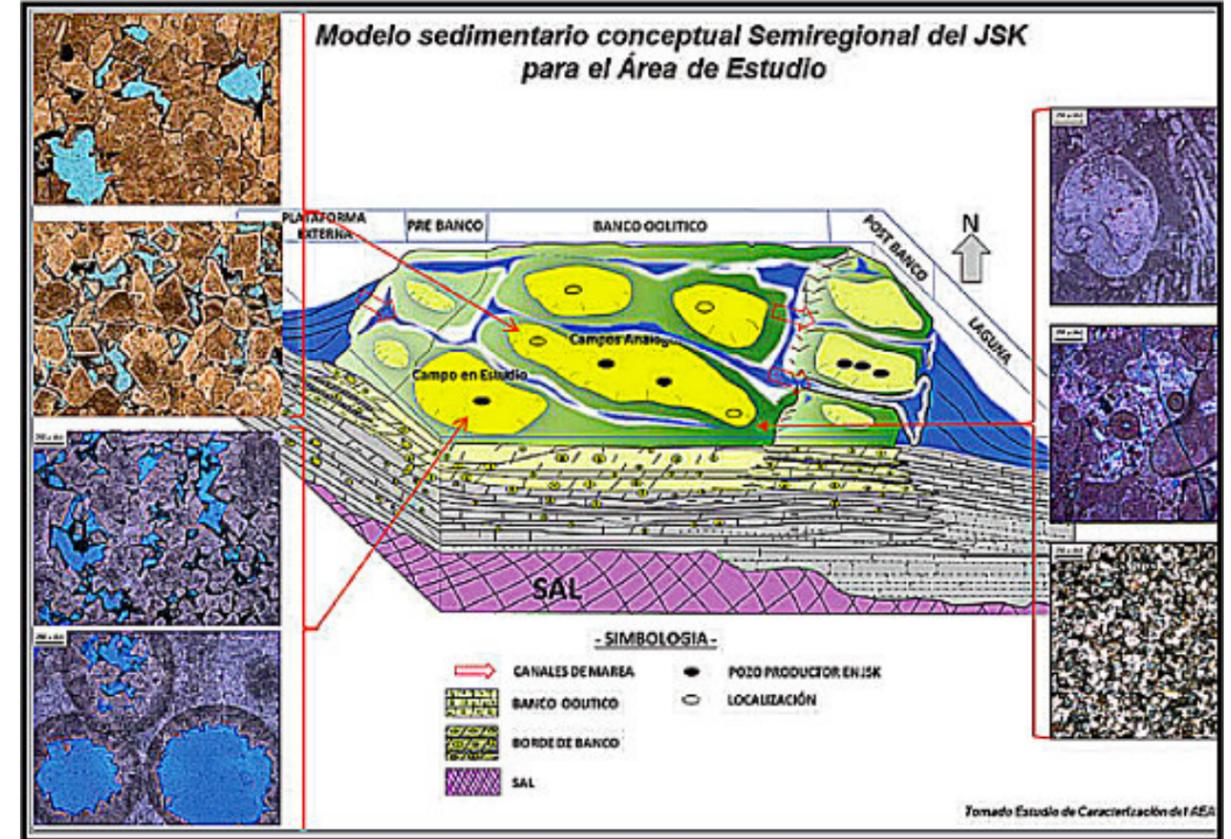


Figura 6. Alpírez, Petrí y González, 2017

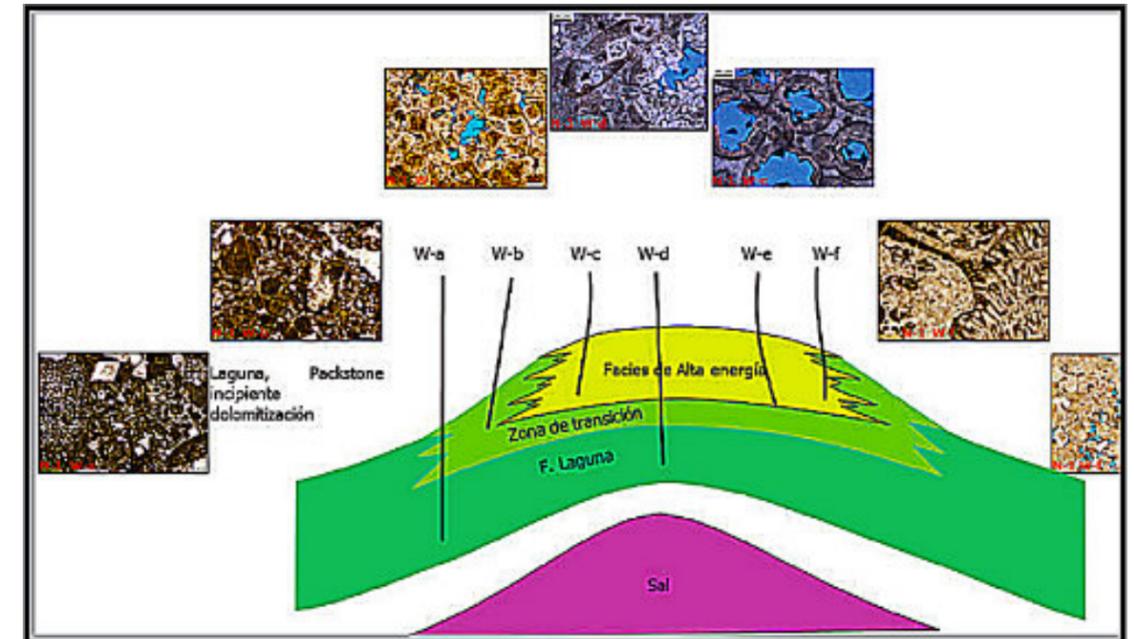


Figura 7. Alpírez, Petrí y González, 2017

desarrollan tipos de porosidades de excelente calidad para el almacenamiento de hidrocarburos. Como ejemplos de campos petroleros mexicanos en rocas oolíticas se tienen a Bolontiku, Sinan, Xanab, Kax, Kab y Och (nombres obtenidos de publicaciones existentes en internet).

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

Alexandrov, B. L., 1979. Investigation of Carbonate Reservoirs by Geophysical Methods, Moscow.

Anderson, W., 1986." Effect of wettability on the electrical properties of porous media", SPE JPT, pp. 1,371-1378.

Babadagli, T. Al Salmi, S., 2004. A Review of Permeability – Prediction Methods for Carbonate Reservoirs using Well-Logging Data, SPE RE&E, pp.75-88 (SPE 87824).

Burchette T., Wright V., 1992. Carbonate ramp depositional systems, Sedimentary geology, v. 79, p. 3-57.

Djebbar Tiab and Erle C. Donaldson, 2004. Petrophysics, second edition, 880 pg, Elsevier.

Dobrinin, V., Vendelshtein, B., Kozevnikov, D., 1991. Petrophysics, Moscow, Nedra (in Russian).

Dubey, S., Waxman M., 1989. Asphaltene Adsorption and Desorption from Mineral Surfaces, SPE 18462 presented at the SPE International Symposium on Oil Field Chemistry held in Houston, TX, USA.

Dunham R., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. Reprinted from classification of carbonate rocks. A Symposium, Memoir Nº 1, American Association of Petroleum Geologists.

Hanin A., 1986. Petrophysics of Oil and Gas Formations, Moscow, 165 pp.

Lucia F., 2007. Carbonate Reservoir Characterization, Austin, Texas, 336 p, Springer.

Mirotnich, K., Kantzas, A., Starosud A., Aikman, M., 1998. A New Method for Group Analysis of Petroleum Fractions in Unconsolidated Porous Media, paper CIM 98-64, presented at the 49th Annual Technical Meeting of The Petroleum Society, Calgary, Alberta.

Nelson, R., 2001, Geologic analysis of Naturally Fractured Reservoirs, pp 77 – 136, Elsevier.

Rasmus, J., 1983. A Variable Cementation Exponent, M, for Fractured Carbonates, The Log Analysis, v. 24, no.6, pp. 13-23.

Tearpock, D. Bischke, R., 1991. Applied Subsurface Geological Mapping. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey. P. 648.

Tulbovitch, B., 1990. Petrophysical Support for Effective Recovery of Hydrocarbons, Moscow.

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)



**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

**ACOGUE UNIVERSIDAD PINAREÑA EVENTO GEOPINAR'2024**

Por: **M.Sc. Wilmer Pérez Gil**

Departamento de Geología, Universidad de Pinar del Río, Cuba

[wilmer.perez@upr.edu.cu](mailto:wilmer.perez@upr.edu.cu)

Con la participación de especialistas, investigadores, docentes, estudiantes y profesionales del sector geólogo-minero en el territorio, fue celebrado este sábado 13 de julio el evento **Pre-Convención GEOPINAR'2024**.



Organizado por la Filial Pinar del Río de la **Sociedad Cubana de Geología**, en coauspicio con la casa de altos estudios vueltabajera, el evento se desarrolló en las aulas de posgrado del Edificio Docente.



(De vestido rojo, **Kenya Núñez Cambra**, presidenta de la Sociedad Cubana de Geología. El señor con traje es el **Dr. C. Yorki Mayor Hernández**, Rector de la Universidad de Pinar del Río "Hermandades Saíz Montes de Oca").

Se presentaron unas 50 ponencias agrupadas en 4 comisiones de trabajo. Las temáticas abordaron investigaciones relacionadas con la Geología Regional, Petrografía, Mineralogía, Tectónica, Patrimonio Geológico, Geología Ambiental, Educación en las Geociencias, Ingeniería Geológica, así como la exploración y explotación de yacimientos minerales y gasopetrolíferos.



Entre los objetivos esenciales que se persiguen está ofrecer una mayor visibilidad al quehacer del sector geólogo-minero de la provincia, y también a la carrera de Ingeniería Geológica. Sobre esto último, es importante destacar que la carrera de Ingeniería Geológica de nuestra universidad se encuentra acreditada nacionalmente, con una cobertura de matrícula que abarca hasta la provincia de Ciego de Ávila. La misma constituye una de las tres existentes en el país, relacionadas con la rama de las geociencias, junto a las de Ingeniería Geofísica del Centro Universitario José Antonio Echeverría (CUJAE), en La Habana; y las de Ingeniería en Minas y Geología de la Universidad "Dr. Antonio Núñez Jiménez" de Moa, respectivamente.

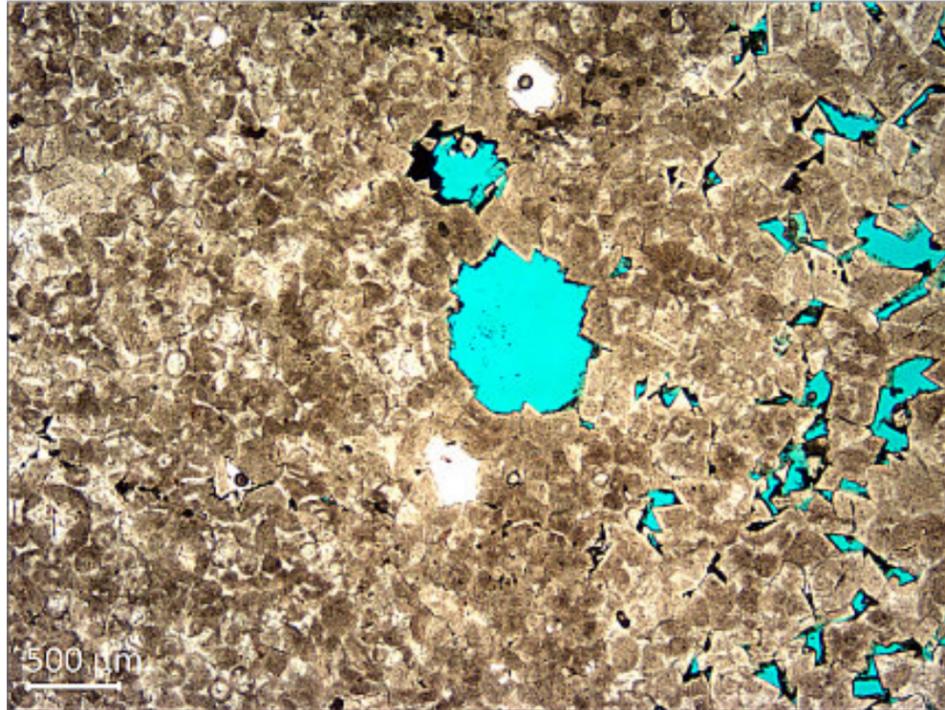
En el encuentro se renovó el convenio de colaboración firmado entre la Sociedad Cubana de Geología y la Universidad de Pinar del Río. La **M.Sc. Kenya Núñez Cambra**, presidenta de la organización, hizo entrega oficial de un importante donativo de libros de temática geológica al rector de la institución académica **Dr. C. Yorki Mayor Hernández**.

**GEOPINAR'2024** constituye la participación previa de los geocientistas pinareños a la XI Convención de Ciencias de la Tierra "GEOCIENCIAS'2025", que tendrá lugar del 7 al 11 de abril en el Palacio de Convenciones de La Habana.

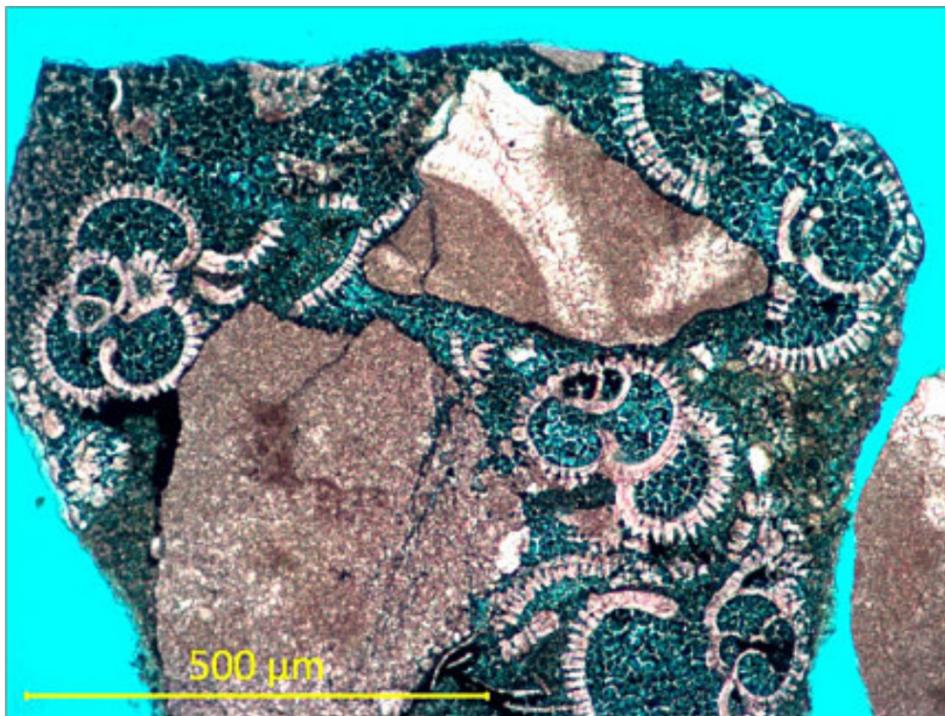


Coincidimos en que dicho espacio se consolida como un importante cónclave para el intercambio de experiencias y el fortalecimiento de lazos de cooperación mutua entre las entidades de la producción y la academia, siendo un incentivo y a la vez un reto, para continuar trabajando, desde las geociencias, al servicio de la sociedad y el desarrollo.





Jurassic grainstone reservoir in offshore southern Mexico. The sample shows a coarse crystalline dolomite mosaic that contains very well- preserved ghosts of original grains, notably peloids, small and large ooids. Coarse porosity is visible, as oomoulds after the larger oolitic grains, whilst there is also locally developed intercrystalline porosity. Traces of residual bitumen are also present within the pore network. Most likely the observed fabric developed due to coarse but replacive dolomitization of an original calcitic fabric, that was succeeded by a phase of dissolution (of remaining calcite) and subsequently, renewed growth of dolomite but as a porefilling cement phase. Photo by **Dr. Andy Horbury**.



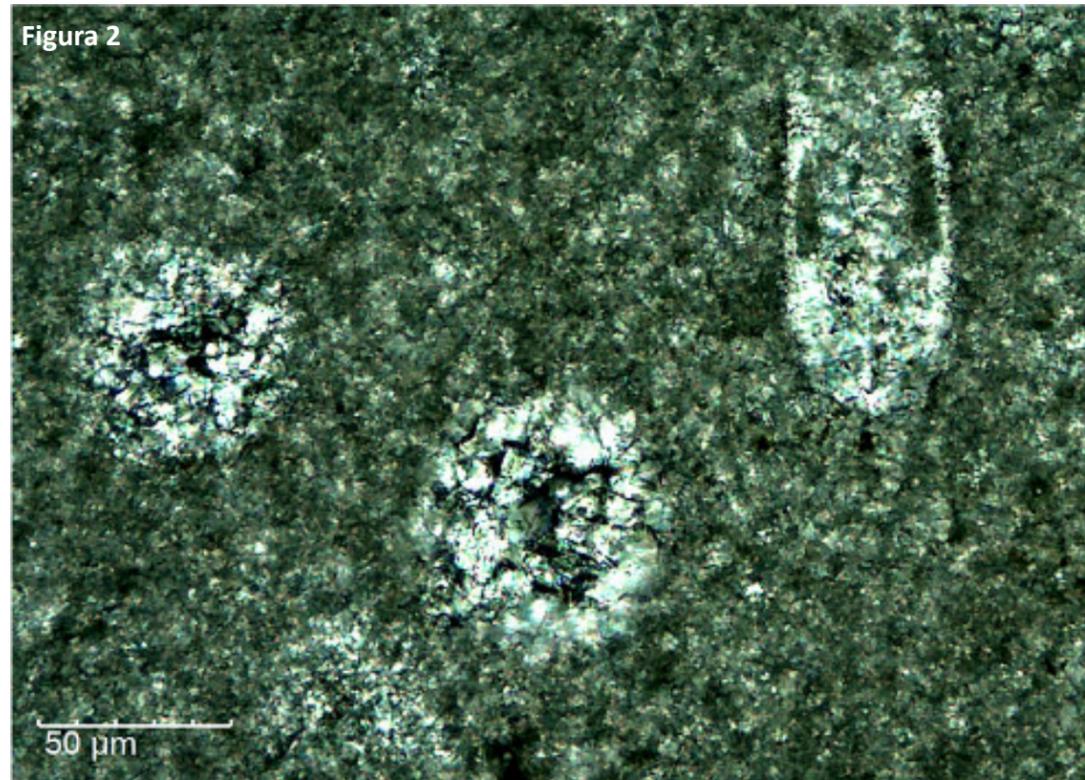
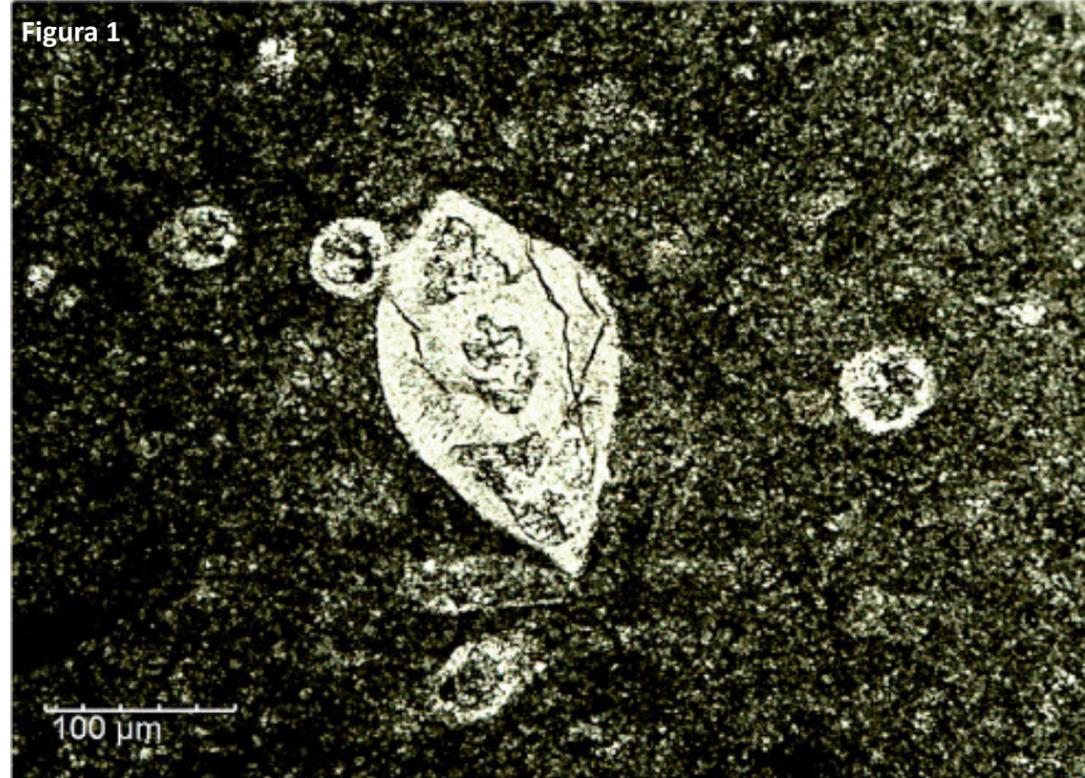
Breccia of Eocene age, offshore Tuxpan Platform. Clasts are of totally cemented up El Abra. The planktonics in the matrix are of Eocene age. Note the ferroan calcite cements (staining blue). Probably this represents collapse of the unstable platform margin into deeper waters during the Eocene. Porosity would have stayed open until deeper burial when the calcite cement occludes all pore space. Photo by **Jo Garland**. Cambridge Carbonates Ltd.



En la foto, pared rocosa con el esqueleto de ictiosaurio que descubrió René Dopico, campesino residente en El Cuajaní, Viñales. Este es el primer esqueleto articulado de un reptil de gran talla que se encuentra en Cuba, el cual apareció en el interior de una caverna transfluente en calizas biomicrocíticas del Tithoniano superior tardío. Otros restos de dinosaurio, reptiles marinos y peces se han encontrado en depósitos que datan del Oxfordiano al Tithoniano en Viñales y sus alrededores. Fotografía de **Ronald Suárez Díaz**. [http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2006\\_Gasparini\\_Iturralde\\_Oxfordian\\_herpetofauna\\_Cuba\\_new.pdf](http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2006_Gasparini_Iturralde_Oxfordian_herpetofauna_Cuba_new.pdf)



Concreciones discoidales en calizas laminadas margosas y lutitas de la Formación Apón, Cretacico Inferior. Cantera Catatumbo, Sierra de Perija, Venezuela Occidental. Discoidal limestone concretions in marly laminated limestones and shales of the Apon Formation (Lower Cretaceous) at Catatumbo Quarry, Perija Range, Western Venezuela. Fotografía de **Jesus S. Porras**.



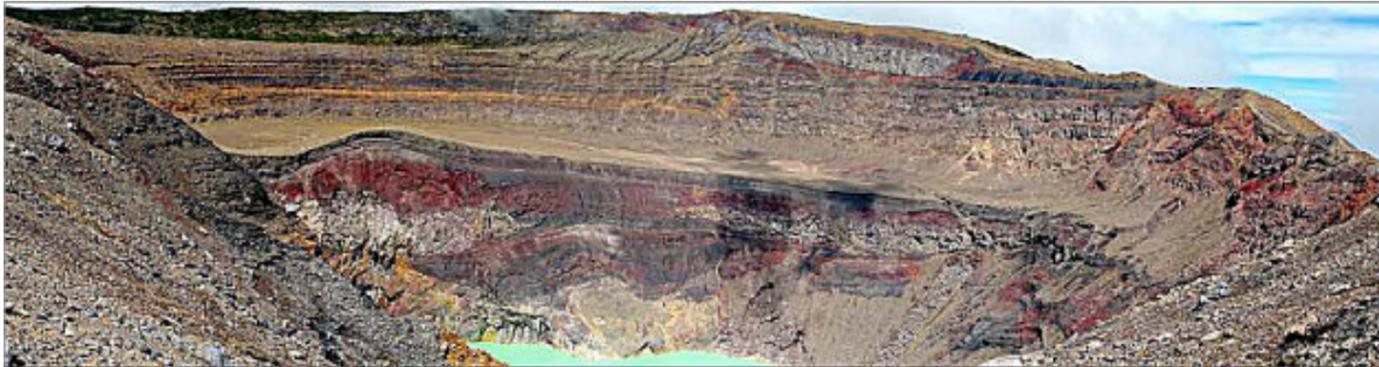
En la figura 1 se observa un foraminífero bentónico y varios cortes de calcionélidos y radiolarios. En la figura 2 se presenta un ejemplar de *Remaniella cadsichiana* y dos cortes de radiolarios. Estos ejemplares proceden de Cerro El Padhi, en el centro-este del estado de Hidalgo, México y fueron estudiados por el estudiante de doctorado en Ciencias de la Tierra, UNAM, **José Carlos Jiménez López**.



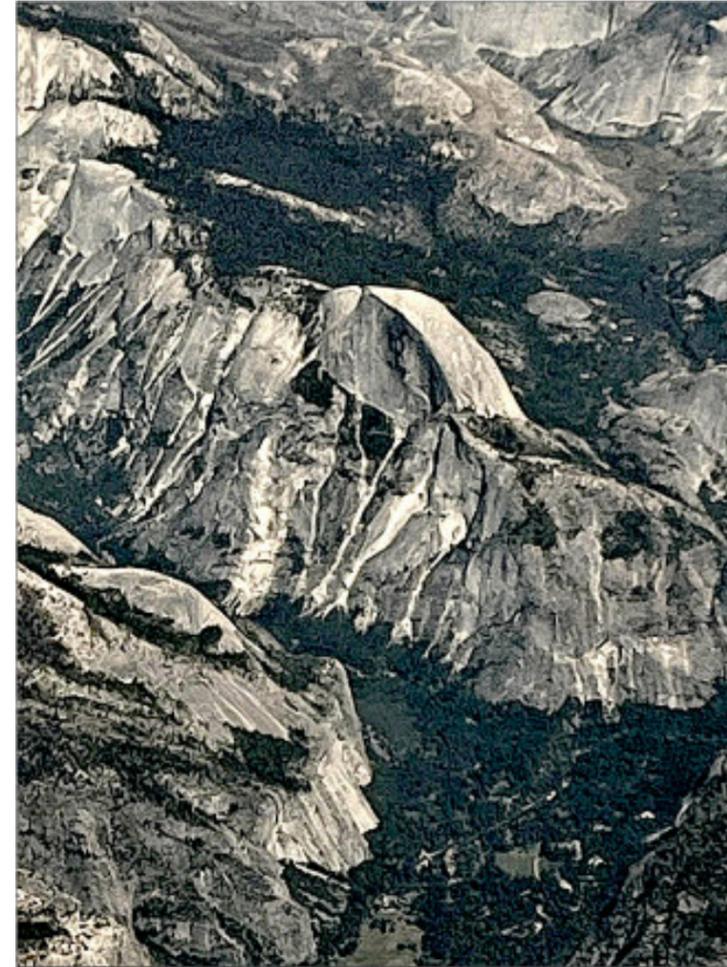
Fumaroles on Cerro Putana, part of the High Andes late Oligocene to Recent volcanic arc 37 miles (60 km) north of San Juan de Atacama, Chile. The peak is 19,320 ft (5890 m) and is an active stratovolcano, as seen by the fumaroles coming from inside and near the crater. In the foreground is a large cinder cone on Miocene-Pleistocene ignimbrites of the Puna Plateau/Altiplano. **Photos by Dr. Gary Prost.**



El Tatio geyser field, 50 mi (80 km) north of San Juan de Atacama, Chile, is the highest geyser field in the world at 14,170 ft (4320 m), the third largest in the world, and the largest in the southern hemisphere. El Tatio comes from the Atacameño word for "the grandfather." There are over 80 geysers, including 30 "perpetual spouters." The water issues from Pleistocene ignimbrites and lavas overlying a Mesozoic sedimentary basement. The source of the water is snowmelt in the High Andes volcanoes 9 to 12 miles (15 to 20 km) to the east.



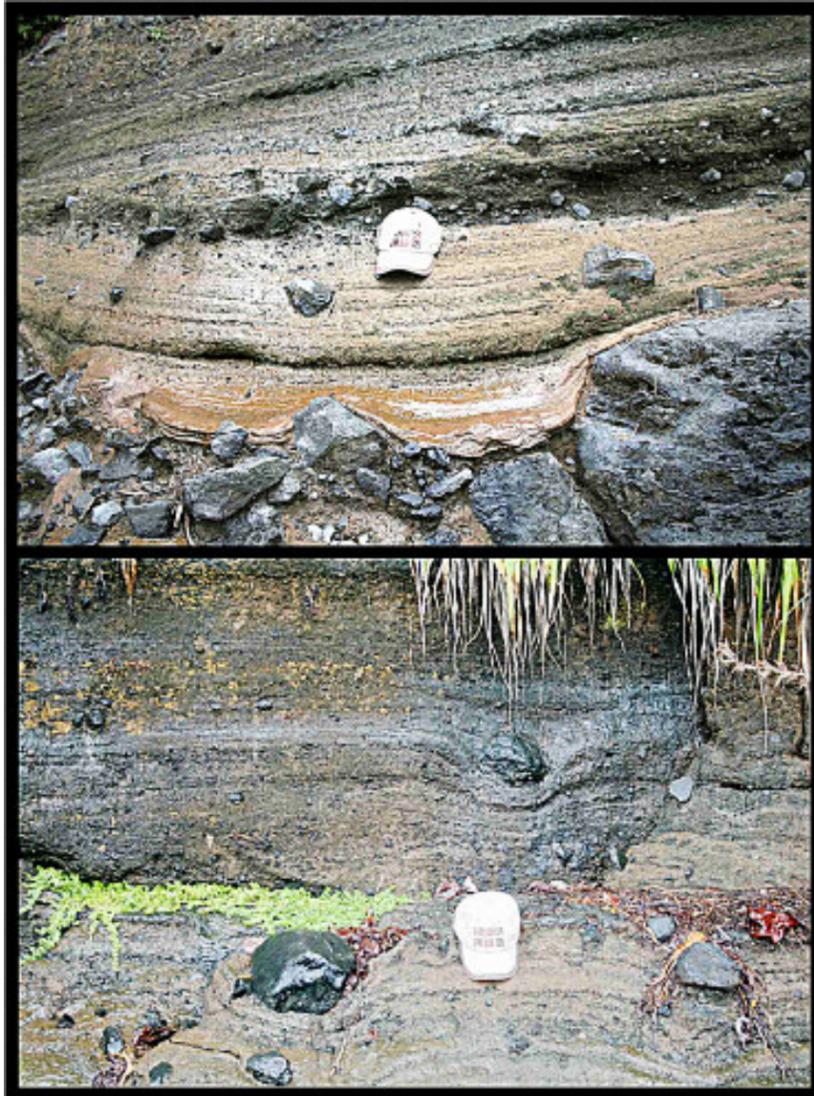
El Volcán de Santa Ana, también conocido como Ilamatepec, es un estratovolcán ubicado en el departamento de Santa Ana, El Salvador. La altitud de 2,381 m sobre el nivel del mar lo convierte en el volcán más alto de El Salvador. Se caracteriza por tener cuatro calderas anidadas y en la más interna se observa un pequeño lago (ácido) de color turquesa. Se considera que el volcán Santa Ana ha tenido actividad desde el Pleistoceno hasta el Reciente. Fotografías de **Bernardo García Amador**.



Yosemite National Park, California, from 30,000 feet high. Half dome at the center. Photo by **Dr. Joshua Rosenfeld**.



Boudinage of sandy layers in phyllite at Juneau, Alaska. Photo by **Dr. Joshua Rosenfeld**.

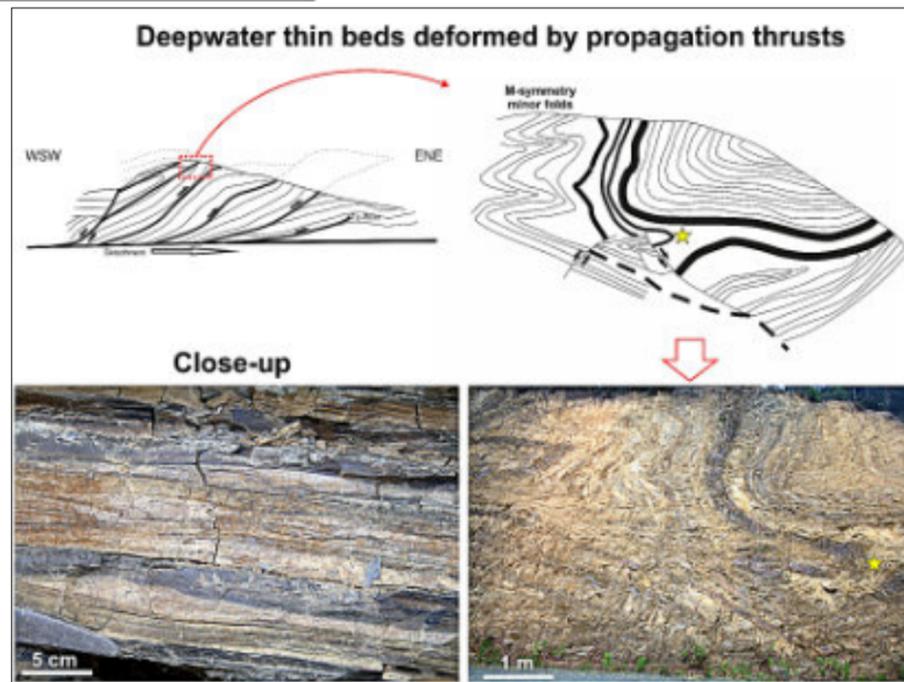


Depósito de 'Base Surges' húmedas con bombas volcánicas o fragmentos balísticos sobre coladas de lava.

Wet Base surges with ballistic blocks over lava flows.

Localidad: Los Tuxtlas, Veracruz, México.

Fotografías del **Dr. Ramón López Jiménez**.



Capas centimétricas depositadas por flujos gravitacionales en aguas profundas del Cretácico (aka capas delgadas de 'turbiditas').

Centimetre-thick beds deposited by Cretaceous deep-water gravity-flows (aka thin-bedded turbidites). Sierra Zongolica, Veracruz, México.



Macizo Metamórfico Escambray, de Cuba central. Cúpula de Trinidad. Valle de Jibacoa. Mármoles de la Formación Loma Quivicán del Cretácico Inferior. Fotografía del **Ing. Humberto Álvarez Sánchez**.



Macizo Metamórfico Escambray, de Cuba central. Cúpula de Trinidad. Una delgada lámina restante de un manto tectónico de mármoles jurásicos, visible en la cúspide; descansa sobre un complejo de metaflysch del Cretácico Inferior de la Formación El Tambor. Fotografía del **Ing. Humberto Álvarez Sánchez**.



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

INTEGRATED SEQUENCE STRATIGRAPHIC MODEL FOR C1 UNIT (OFICINA FORMATION, MIOCENE), PETROCEDEÑO FIELD (JUNÍN), ORINOCO HEAVY OIL BELT, VENEZUELA

JHONNY E. CASAS<sup>1</sup>, ELIMAR GUDINO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Escuela de Petróleo, Universidad Central de Venezuela

<sup>2</sup> Mint rethinking the future, La Coruña, España



FAJA PETROLIFERA DEL ORINOCO - VENEZUELA

## INTRODUCTION

PetroCedeño Field is located within the Junín area, belonging to the Orinoco Heavy Oil Belt, at the southern margin of the Eastern Venezuelan Basin, South America (Fig. 1). The Orinoco Oil Belt is oriented parallel to the Orinoco River/ It has approximately 460 km long and between 40 and 80 km wide, with a total area of 55,300 km<sup>2</sup>, containing the biggest extra heavy oil reserves in the world.



Figure 1: Map of northern Venezuela showing the location of the Orinoco belt (yellow) and PetroCedeño field (red).

Inside the Junín area, the PetroCedeño project was in the past, a Joint Venture between Pdvsa, Total, and Equinor (former Statoil). They started producing extra heavy oil (8.5° API) in 2000. The accumulation is mainly stratigraphic, in a thick volume of Early Miocene sediments, onlapping sedimentary rocks of Cretaceous age and or Cambrian. In some areas to the south, the Miocene sediments cover directly, crystalline rocks from the basement.

The PetroCedeño project is located along the foreland bulge on the south side of the eastern Venezuelan foredeep basin. Its hydrocarbon is derived mainly from marine source rocks from the early Paleocene to the Miocene, where traps are mostly stratigraphic.

## DATABASE

PetroCedeño field has available 2D seismic lines and two 3D seismic cubes of 390 Km<sup>2</sup> and 91 Km<sup>2</sup> that were melted in one. Despite the extra heavy oil content of this field, located inside the Lower Oficina Formation (Morichal Member), mobility is enough to produce the

oil by long horizontal wells. For many years, the pattern of these horizontal wells was radial and during the last six years such a pattern was changed to a fork pattern. The total number of horizontal wells has reached about 1500 and the typical length is about 1400 meters (4600 feet). The sand record was set in a well with 1694 meters (5555 feet) of continuous sand. All the horizontal wells were logged while drilling (LWD) with GR and resistivity.

The Fig. 2 shows the study area subdivided into small polygons called clusters or "macollas", in which the geometric center is the central point to place the production platform, making a development in a radial way or a fork trend, with some variations depending the geometry and orientation of the main sandbodies to be produced. The field also has an important number of vertical wells with stratigraphic purposes or observation purposes for about 200 wells. Also, the field has about 250 inclined wells, whose purpose was the investigation and delineation of the reservoirs, and at the same time to be the guideline as control points for horizontal developments.

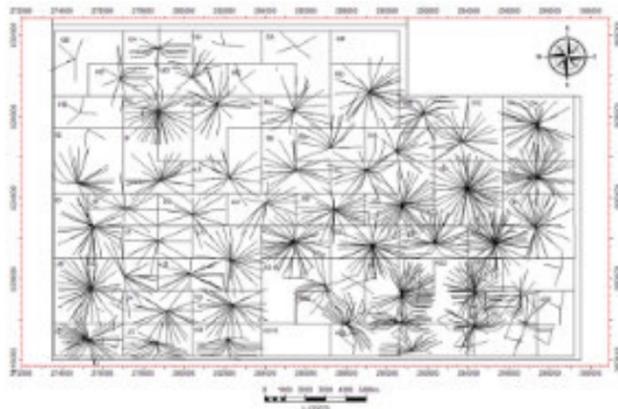


Figure 2: Study area, showing the cluster subdivision and the 2D projection of all horizontal wells drilled inside Oficina Formation. A radial pattern can be observed from the center of each cluster and a fork type in some clusters.

**PREVIOUS WORK**

Regional studies were made by numerous authors [1, 2, 3, 4] who interpreted the Orinoco Heavy Oil Belt as part of a peripheral bulge, that was not affected by the oblique compression between the Caribbean plate and the South American plate. Over the igneous-metamorphic basement, there are remnants of sedimentary rocks from the Cambrian age (Hato Viejo & Carrizal Formations) and Cretaceous rocks (Tigre & Canoa Formations), both tilted and partially eroded (Fig.

3). At the beginning of Tertiary time, sedimentation resumes, depositing Merecure Formation (Oligocene) to the north and the Miocene age, Oficina Formation, which were feed thought a depositional system moving sediments from the Guayana shield located to the south. Oficina Formation then, creates a thick clastic wedge to the south of a foreland basin within the Eastern Venezuelan Basin [5].

An important amount of core material is available; inside and in the neighborhood of the study area, for a total of about 40 cores, spanning different parts of the stratigraphic column of Lower Oficina. With this core information, several lithofacies and facies associations were defined and integrated with biostratigraphy and ichnological studies. The facies and facies associations were widely described and interpreted in [5, 6, 7] for this sedimentary section.

The structural framework of the PetroCedeño area was interpreted from 3D seismic cubes and revealed that a main fault runs east/west, along with some very small subsystems, described in [5, 6]. Fig. 3 shows a seismic line, oriented north-south, with the main seismic markers in the study area, and some of the operational stratigraphic units defined.

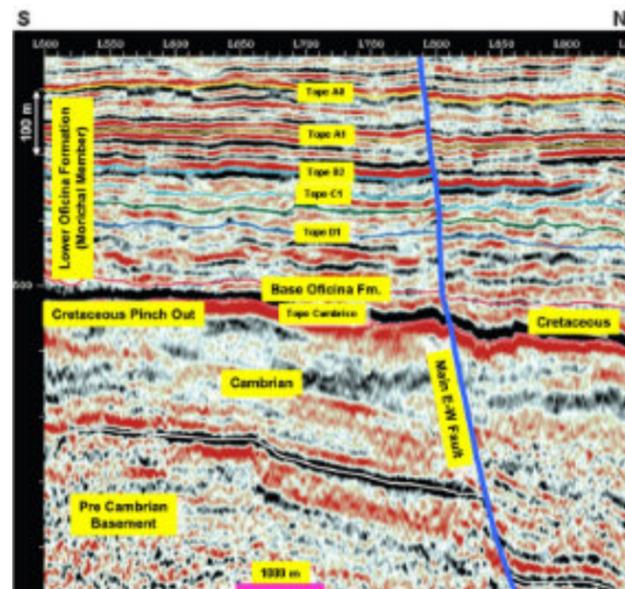


Figure 3: North-south seismic section across the study area shows the stratigraphy and the main interpreted seismic markers, along the operational units defined in the field. The main structural feature is an east-west fault crossing the entire field. Modified from [5].

During the last 15 years, some sedimentological and stratigraphical models have been published in the Junín area. The most important were [5, 7, 8, 9]. The first one [5], made a detailed sedimentological description of the Oficina Formation and the vertical stacking pattern, beginning with a fluvial setting at the base of the column, overlaid by a deltaic system that was progressively drowned and transformed into an estuary system, ending with a maximum flooding surface. Above this sedimentary system, they described a progradation with deltaic plain sediments tidally influenced, ending the Lower Oficina Formation (Morichal Member) cycle. References [5, 7] based their model (Fig. 4) in:

- 1) Recognition of key stratigraphic surfaces, correlated within the study area and definition of informal units or reservoir zonations.
- 2) The interpretation of the facies association and reservoir architecture based upon cores and its vertical stacking pattern, along with biostratigraphic data.

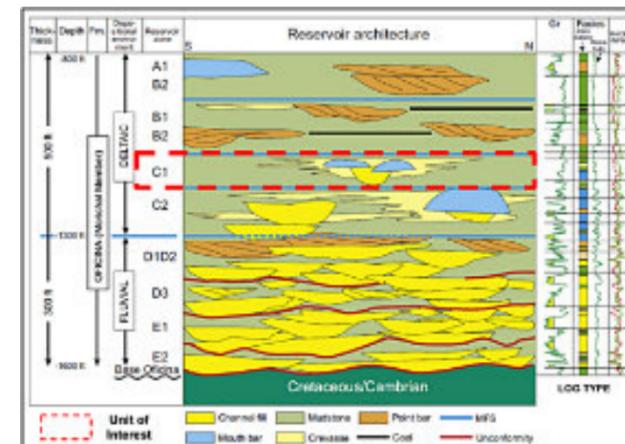


Figure 4: Stratigraphic model modified from [6, 7] with the operational subdivision and the architecture for Lower Oficina Formation (Morichal Member). Reference [6].

Later on, [8] in an unpublished Master Thesis, modifies parts of the previous model [5, 7], using a bigger study area, including some regional seismic, but unfortunately, with few wells and core data. With this data, the author [8] identifies three big system tracts, within the Morichal Member, starting with:

- 1) A lowstand system tract (LST) at the base of the Oficina Formation (composed of Units D, E, and F). This LST is associated with a relative sea level drop close to the limit of Oligocene-Miocene, where fluvial braided deposits filled the topographic lows over the sequence boundary and aggradated, probably reflecting a fast

increase in accommodation space. This system tract in both models [5, 7, 8, 9], has the same interpretation.

2) A transgressive system tract (TST), where a fast rise of the eustatic level, moved the coastline to the south of the basin, depositing a big deltaic to the estuarine system (composed of C2 and C1 units, Fig. 4 and 5). References 8 and 9, interpreted this system tract as a continuous transgression. Hence, the difference in both models is that [7], proposed deltaic environments progressively drowned by the transgression, and in [8], it was proposed that the entire system is exclusively estuarine. The top of this transgressive system tract in both models is defined by a regional maximum flooding surface (MFS), at the top of the C1 unit, that can be traced hundreds of kilometers across Faja del Orinoco [6, 7, 8, 9, 10].

3) Finally, for the Morichal Member, both authors described a high stand system tract (HST) above the MFS, composed of fluvio-deltaic progradational pattern tidally influenced (composed of Units A and B, Fig. 4 and 5).

**BIOSTRATIGRAPHY OF THE LOWER OFICINA FORMATION**

There are numerous biostratigraphic internal reports in the area, with the resulting analysis from different cores. Reference [11] represents a good summary of them, showing the analysis of 76 samples for 15 different cores in the study area, to obtain geological age. Those analysis results shows that Lower Oficina Formation (Morichal Member) in the study area, may correspond to palinological zones T1 y T2 (Early Miocene).

In a more extended and detailed study [12, 13, 14], working with the core material regarding nanoplankton and palynology for the study area, the authors concluded that Lower Oficina Formation corresponds to T1 palynological subzone [15].

**TIMING OF THE SEQUENCE STRATIGRAPHIC UNITS IN THE STUDY AREA**

An approximation of geological ages using biostratigraphy for some key surfaces defined in the study area was published in [16]. As is shown in Fig. 5, the age assigned for these authors to for example top of unit B1 is about 16.8 Ma, and the age for the base of Lower Oficina Formation is about 23.8 Ma. The difference between both gave us 7.0 Ma, which is classified (using [17] hierarchies) as a depositional

sequence of 2° order (unit range), containing several system tracts and parasequence sets in that period.

Paleozoic	Chronostratigraphy		Lithostratigraphy			Reg. Strat.	
	Fluoroce	Fluoroce Fin.	Par. Member 1	Unit B1	Upper	MP2	No.
Cretaceous	Miocena	Oficina Formation	Par. Member 1	Unit B1	Upper	MP2	19.1
			Par. Member 2	Unit B2	Middle	MP1	17.0
			Par. Member 3	Unit B3	Lower	MP0	18.1
Cretaceous	Terciario						23.8

Figure 5: Stratigraphic column at Faja del Orinoco, and geological ages. Modified from [15].

Taking another example from Fig. 5, the LST defined by [7], [8] and [9] is located between the base of Oficina Formation and top of unit D1 (the span between 19.1 and 23.8 Ma), so the difference is about 4.7 Ma, placing the duration of this LST as a 3° order cycle, where sedimentary deposits, (parasequences and parasequence sets), basically fluvial in origin, fill and aggradates. The vertical stacking of repeated facies and facies associations in this system tract reflects a fundamentally aggradational setting.

All the previous analysis allows to conclude that the Lower Oficina Formation (Morichal Member) is a depositional sequence of 2° order, composed of different system tracts of 3° order, and the internal operational units defined for the study area, like B1, B2, C1, C2, D1, D3, E1, E2 and F (Fig. 4 and 5) are interpreted as 4° order parasequences or parasequence sets, according to the biostratigraphic dating [16].

#### RATIONALE FOR A NEW MODEL

The idea to review the current sequence stratigraphic model is based upon two major key points:

- 1) A lot of new data was acquired between 2012 and 2020, in the PetroCedeño field, with new vertical and inclined wells, hundreds of horizontal wells, and new core material, all inside the study area, that has to be incorporated into the stratigraphic model.
- 2) The previous models failed to explain or predict, some features in the sequence stratigraphic evolution of the Lower Oficina Formation, within the study area, mainly in the C1 operational unit or parasequence set C1.

#### The "Channel Problem" in the Operational Unit C1

The current models cannot explain in a sequence stratigraphic context, the presence of anomalous thick channelized sandstones with an apparent erratic distribution in the upper part of an interpreted transgressive system tract (C1 unit). Reference [18] in an unfinished and unpublished internal report, stated that in future work, evidence of relative sea level fluctuations has to be explored, as a possible explanation of some thick sandbodies located inside C1 and in the upper part of the C2 operational unit. Reference [18] also mentioned that looking at the 3D seismic, there is not enough resolution to interpret incised valleys and further investigation must be done with the 3D seismic to test that idea.

A study published in [19], focused only on the operational unit C2, where that stratigraphic section is composed of the vertical stacking of three parasequences (C21, 22, and 23). In some stratigraphic sections, the authors mentioned the possibility of incised valley fills based on the deep erosion probably produced by some sandbodies above C2. In 2008, one of the authors (Casas, J.), made an unpublished net sand map for the C1 operational unit within the PetroAnzoategui field, located just northeast of the study area and showing an important isolated sandbody with a NW/SE orientation (Fig. 6), almost perpendicular to the depositional system trend in the area for all the parasequence sets in the stratigraphic column [7, 9]. This thick sandbody was correlated with all available well data and interpreted stratigraphically, as part of the operational unit C1.

In this area, the anomalous sandbody is up to 24 m (80 feet) thick, and about 2.5 to 5 km wide. Outside this sandbody, the wells around showed net sand values close to zero (Fig. 6). This is strong evidence, very close to the study area, about the presence of an incised valley fill (IVF) system in the area. Using this analogy, the main channels observed in C1, within the study area, will be interpreted as an incised valley system (IVF) and discussed in detail, in further chapters with new evidence. References [7] and [9] mentioned in a general sense, that the C1 operational unit shows a change in the orientation of the sedimentary trend. At that time, the author did not realize this was probably related to the superimposed incised valley system over the previously interpreted transgressive system tract (TST).

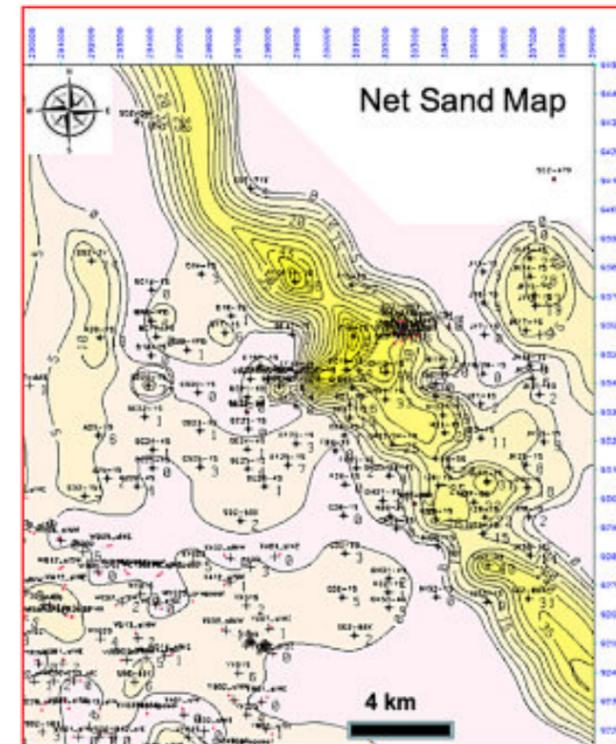


Figure 6: Net Sand Map from operational unit C1 at the northeast of the study area. Reference [9].

All the previous ideas exposed, have strong implications and changes in the previously published sequence stratigraphic models [7, 10], because both only defined a continuous transgressive event for the C2-C1 units, ending with the MFS at the top of C1. The possible explanation to account for these anomaly thick sandbodies in the C1 operational unit is related to a relative sea level drop, to decrease the amount of accommodation space, allowing an important incision process. This event also can be associated with a minor tectonic rise pulse, suggested by the change in the paleosedimentary trend [9]. The hypothesis of the tectonic pulse has to be further evaluated with a regional study, so by this time, the relative sea level drop is the simplest explanation with the available data within the study area. All this changes the previous sequence stratigraphic reference, because a new sequence boundary, never described in this area, has to be included in the sequence stratigraphic model [9].

#### SYSTEMS TRACTS IN THE C1-C2 UNITS

##### A. The Original Transgressive System Tract

Over the fluvial deposits that filled the lowstand system tract (LST), mentioned in [5, 6, 7, 8, 9], the first indications of estuarine and marine influence appear in the sedimentary section. Also, for the first time some

thin coals, aerially extended, are well noticed. They all point to the beginning of the first transgressive system tract (TST). The presence of these continuous coals and coaly shales at the very top of D1/base C2 operational units can be interpreted as the response to the rise in relative sea level and the rise of the phreatic level in a more continental setting [20].

The transgressive system tract (TST) is composed from base to top of operational units C2 and C1, each of them formed by the vertical stacking of parasequences (mostly with a sandier upward trend), but at the same time all together with an apparent vertical transgressive pattern [7, 9]. In the sequence stratigraphic model, this TST ended with a regional MFS at the top of the C1 unit.

##### B. The New Lowstand System Tract and the second Transgressive System Tract

During TST late development, a relative sea-level change must occur, because of the interruption of the transgression. Once the relative sea level drop took place, a series of incisions were developed across the entire study area and beyond. Different pieces of evidence point out the existence of this incised valley system, but the main ones are:

- 1) Anomalous sand thickness (sandbodies up to 24 m thick) close to the top of a previously interpreted TST.
- 2) These thick sandbodies pinch out laterally in only a few hundred meters.
- 3) Some well logs show anomalous responses compared with the normal transgressive vertical stacking pattern of C2/C1.
- 4) The mapping of each anomalous sandbody shows geometries and orientations rather than the sedimentological trend of the rest of the operational units or parasequence sets (NE/SW).
- 5) Outside the study area, it has also been suggested for the C1 unit, the existence of thick anomalous sandbodies with quite different sedimentary geometry and orientation.

Figure 7 shows a possible interpretation of the sequence stratigraphy events and the system tracts involved in explaining the thick oil-bearing sandbodies in some wells for the C1 and C2 operational units in the southern part of the study area (LC-LA-AS11 clusters).

During the evolution of the C1 parasequence set, a relative sea-level fall might create an erosive surface, cutting deep and narrow valleys, probably filled during

the LST and later filled up when the transgression resumes, creating a second TST. This new TST ended quickly, placing an interpreted MFS for the entire Orinoco Heavy Oil Belt area [9].

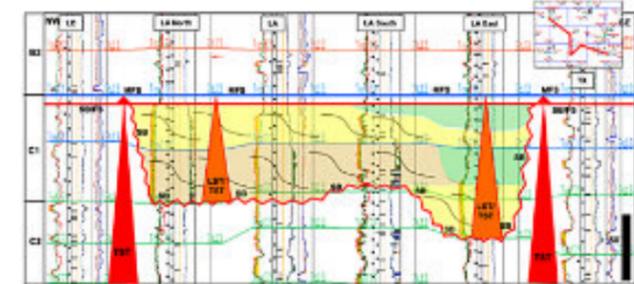


Figure 7: Sequence stratigraphy interpretation for clusters LC/LA/AS11, showing the presence of an interpreted incised valley, cutting the normal TST vertical pattern for C2/C1 units observed in wells LC and TX. The cross-section spans about 6 km between both wells. The datum corresponds to the MFS at the top of the C1 unit. (Green color = shaly fill, yellow/brown color = sandy fill). Reference [9].

The existence of an incised valley system cannot be an isolated feature in the study area. It must be a regional event that should be recognized in other areas of the Orinoco belt. When the key stratigraphic surfaces interpreted in the study area were extrapolated into the neighborhood field to the northeast (PetroAnzoategui), the correlation indicates that the anomalous sandbody mentioned before (Fig. 6), truly corresponds to the C1 unit, below the regional MFS. In this PetroAnzoategui field, a core cut in the C1 unit (well 171) was analyzed and interpreted, confirming the existence of a sequence boundary within the C1 unit [9].

As can be observed in Fig. 8, the core/log description and interpretation from well 171, allowed the identification of different key surfaces like a SB at 2218'8" (Venezuelan standard units for well-core depths are in feet and inches), represented by a sharp contact between medium to coarse-grained fluvial sandstones above, and a tidally influenced succession below (Fig. 9). Above the sandy filling of the incision, a TSE was interpreted at the contact between a 30 cm coal layer and a 60 cm overlaying sandy siltstone, fully bioturbated by Asterosoma (Netto, R. 2019, personal communic.). References like [19] suggested that a coal at the top of an incised valley fill may represent the flooding surface (FS) associated with a transgression. Still, in this example, Reference [9] interpretation placed the TSE immediately above the coal layer, at 2173'2" (core depth), where the fully bioturbated sandy

siltstone appeared, probably representing the first truly brackish to marine influence in this area. Above that section, an interpreted MFS ends the transgression, confirmed with the core information, corresponding to a high GR peak (Fig. 8) in that well log.

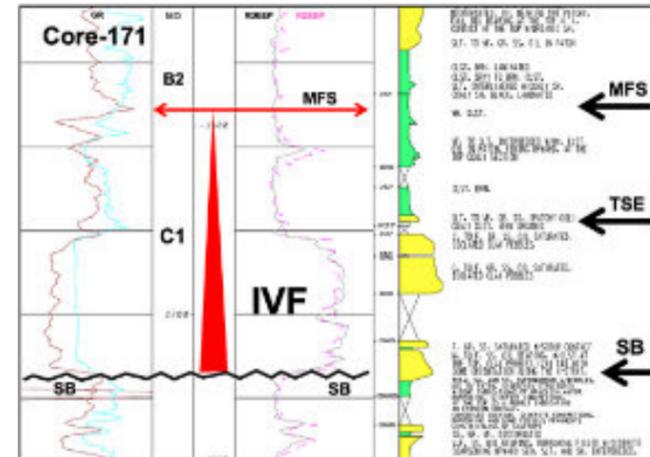


Figure 8: Well log and original core description (author unknown) of Core-171 showing the sedimentary section interpreted as an incised valley fill (IVF), within the C1 operational unit. Notice the interpreted SB at the base of the fluvial channel facies and the MFS upwards in the core section, coincident with the GR peak response (high radioactivity).

The following Fig. 9 shows core photos from the mentioned cored-well 171, highlighting the sharp contact between interpreted fluvial sandstones (above) and interpreted tidal successions typical from the C2 unit. This sharp and erosive contact (Figure 9, right side) is interpreted as a sequence boundary (SB) originated during C1 unit time.

Fig. 10 shows the conceptual model modified from Reference [18] and created to explain the system tract distribution in this section of the stratigraphic column. This conceptual model would explain the presence of abnormal sand thicknesses and its areal and localized distribution within the operational unit C1. As it is shown in the same Fig. 10, the sequence boundary (SB) in places, may have eroded deeply both C1 parasequences (C11-C12) and may even have reached the upper part of the underlying C2 unit [9].

After de SB, produced by the relative sea level fall, and the creation of an incised valley complex, a new transgression occurred, filling the incised system and ending with a regional maximum flooding Surface

(MFS), identified as top of the C1 unit (top of parasequence C11). Examples showing this MFS, are recorded by many cores inside and outside the study area. The MFS also corresponds most of the time to a maximum peak in the Gamma Ray (GR) log response, calibrated with the presence of many cores, of biostratigraphic abundance and diversity content, around this MFS surface. Fig. 11 exemplifies this important surface definition based on cores, well logs, and biostratigraphy. This is an important key surface that can be traced along the entire Orinoco Heavy Oil Belt. [6, 8, 9].

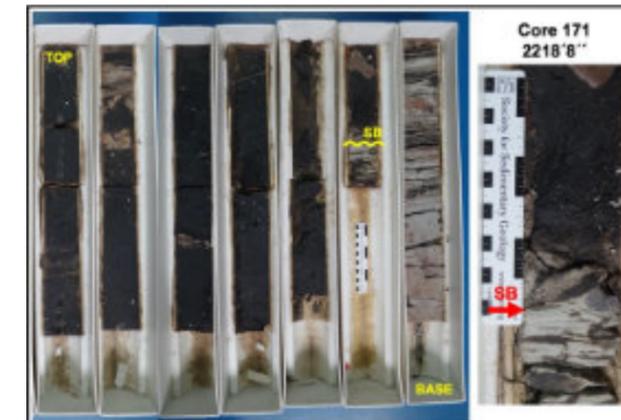


Figure 9: Core interval 2207'-2221' from well 171, where the interpreted SB can be seen in C1 unit, with a sharp/erosive contact, and the sandy filling of the incision. Reference [9].

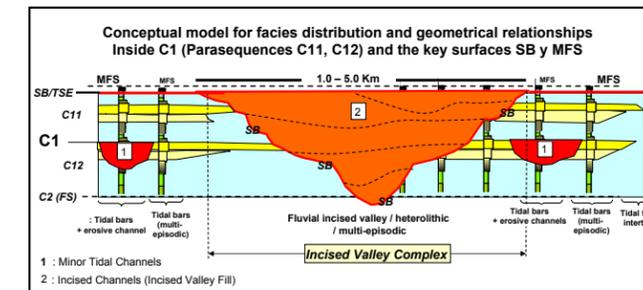


Figure 10: Conceptual model regarding the distribution of facies associations and genetic relationships, to explain the presence of an incised valley system complex in C1.

#### INTEGRATION OF HORIZONTAL WELL DATA INTO THE NEW SEQUENCE STRATIGRAPHIC MODEL

The development of PetroCedeño field, with its extra heavy oil reservoirs, was carried out with the drilling of long horizontal wells. Every horizontal well starts with a vertical to inclined section before reaching the landing point, where the proper horizontal section begins. This logged vertical/inclined section also provide valuable stratigraphic information in every cluster area. Also,

during horizontal drilling, some stratigraphic branches would be necessary (up and down) to confirm the presence or absence of the targeted oil-bearing sandbody. These branches also provide stratigraphic control points, along the main horizontal section, and they were included in this study to obtain a more robust sequence stratigraphic model for the C1 unit [9].

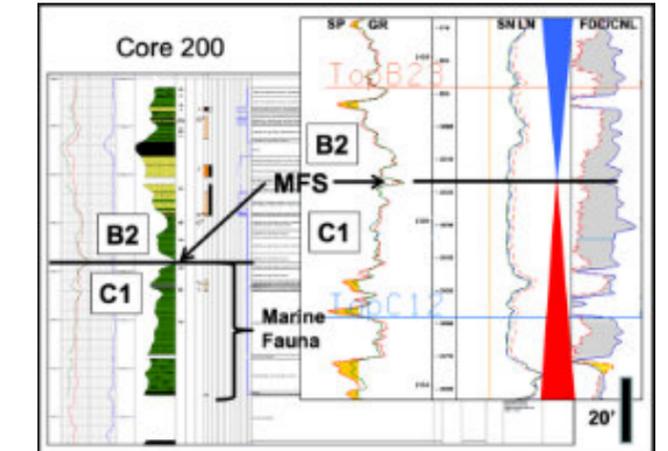


Figure 11: Core-log calibration for Well 200, showing the maximum flooding surface (MFS), ending the second transgressive system tract. Modified from [9].

Fig. 12 shows a seismic line and cross-section in LD cluster, both oriented SW-NE, along horizontal well Hor14 trajectory, with two additional control wells, RX and LD northeast. The horizontal well had as a target, the operational unit C2 Lower. In the logged section through the vertical/inclined trajectory of Hor14, it is possible to observe the development of a massive sandbody about 15 m (50 feet) thick, within the C1 operational unit. The sandbody is interpreted as a possible incised channel, or incised valley fill (IVF), that is not present in control wells RX and LD northeast, despite the close distance from the first one (about 200 meters). The seismic responses close to Hor14 are discontinuous and that may be is related to the presence of an incision, confirmed by the sandy presence in the inclined section of the well itself (Fig. 12).

Fig. 13, another example of a seismic line and cross-section (SE-NW) is shown, but now for cluster LA. Well LA and the vertical/inclined section of Hor 06, also crossed a thick sandbody in operational unit C1, interpreted as an incised valley. This sandbody is absent in control well LA East, which is 430 meters from the southeast. Again, in this seismic line, thick sandbodies in

C1 seems to correspond with chaotic seismic responses [9].

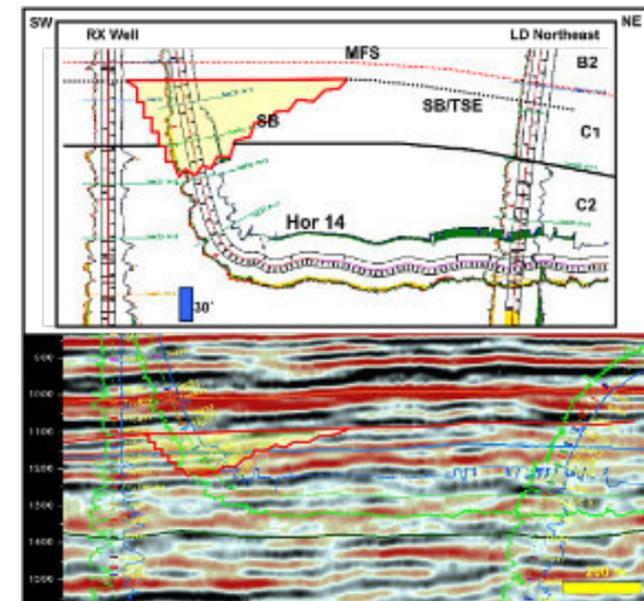


Figure 12: Well cross-section and seismic line from cluster SE showing horizontal well Hor 14. In its inclined section, the well crosses a thick sandbody (50 feet thick) in the C1 unit, which is not in the well RX (200 meters away). The sandbody is also absent in well LD Northeast. Reference [9].

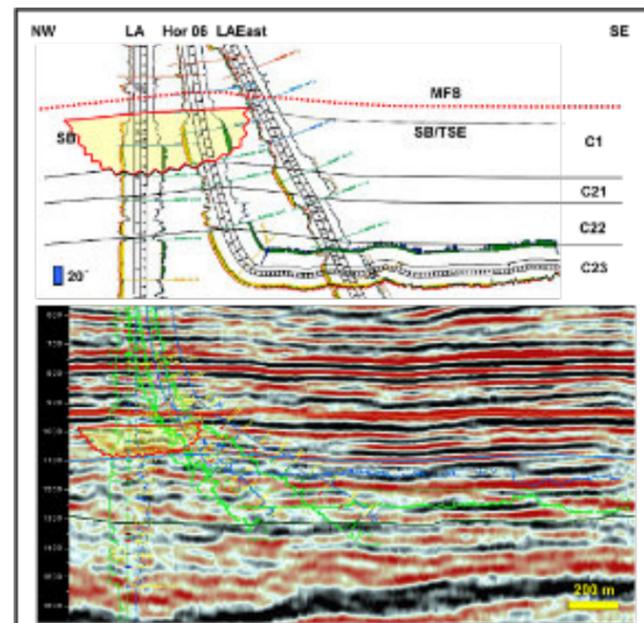


Figure 13: Example in seismic and well cross-section for cluster LA, showing wells LA and Horizontal 06 crossing a thick sandbody in operational unit C1. The sandbody is absent 430 meters away in control well LA East. Reference [9].

The Fig. 14 shows an arbitrary seismic line between SA and SB clusters (central area), following the trajectory

of horizontal well Hor13, and targeting the C2 operational unit. This seismic line, is one of the best examples where apparently a perfect delineation of the incised channel, or incised valley fill (IVF) can be interpreted, cutting most of the C1 operational unit. This geographical location in the seismic confirmed the geometry and orientation interpreted in this cluster, using only well logs interpretation [9].

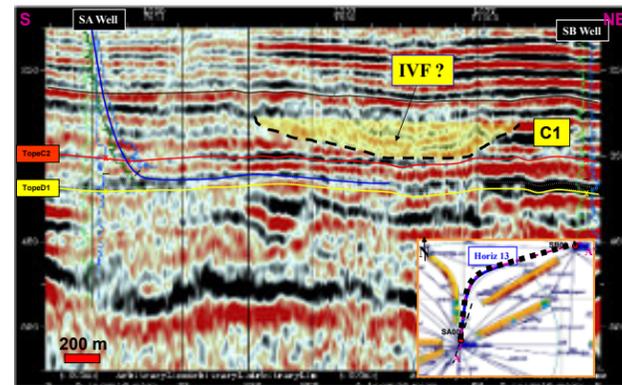


Figure 14: Seismic line along horizontal well Hor13 (black dotted trajectory), using as reference vertical wells SA-SB. Between vertical wells, an anomaly in seismic response can be seen and interpreted as a possibly incised valley fill (IVF).

#### 2D MAPPING OF WELL AND SEISMIC DATA WITH THE INCISED VALLEY FILL (IVF) INTERPRETATION

From the interpretation of all wells (verticals, inclined, and horizontals), showing sedimentary bodies with features considered part of an incised valley complex, a stratigraphic interpretation was achieved regarding the possible geometry and orientation of such complex or system in the study area. Starting with the hypothesis that many of these incised valley features may be well connected, the interpretation emphasized geographical continuity between all the wells with incised valley interpretation. The interpretation of the valley system in some regions of the central study area, had excellent well control, allowing a good interpretation of the complex valley system, normally very narrow and localized, sometimes with strong sinuosity. On the other hand, some areas/clusters to the east, are highly interpretative because of the low density of wells, so more emphasis was placed on the seismic features observed [9].

In Fig. 15 the wells interpreted were placed over a time slice generated within C1 unit (50 milliseconds above the base of C1). The seismic slice did not show a clear image of the incise system along the study area, only some clusters in the south-central area showed

morphologies that can be associated with a possible incision. Also, some seismic features in the eastern region, helped the interpretation, because the well density control was scarce. With the current 3D seismic quality, even working with different attributes, it was impossible to calibrate confidently, anomalous sand thickness or erosive features in the study area. More detailed work with different seismic attributes has to be done in the future, including drilling some additional key wells and cores, to prove better the hypothesis presented in Reference [9].

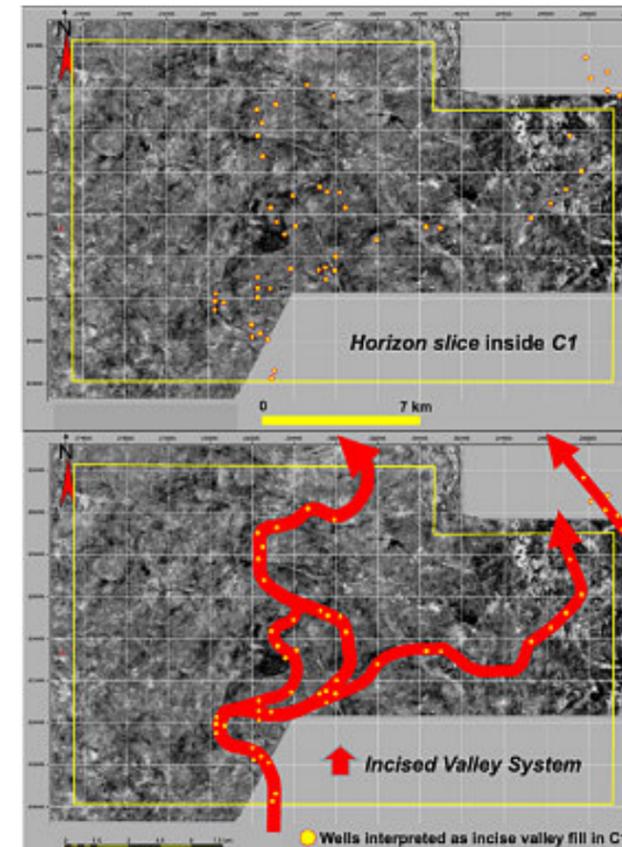


Figure 15: Time slice 50 milliseconds above the base of unit C1 (uninterpreted above). 2D interpretation of the incised valley system for the C1 unit (below) overlying the time slice. Notice the high sinuosity trajectory in some places, and its interpretation outside the study area to the northeast. Yellow dots in both images are wells interpreted as valley-fill sediments. Reference [9].

#### CONCLUSIONS

The sedimentary deposits of the Lower Oficina Formation (Early Miocene) at the study area (Junín Block), represent a depositional sequence of 2nd order, composed of several systems tracts of 3rd order, which in turn are composed of several transgressive/regressive cycles of 4th order. Most of

these cycles corresponded to parasequences and parasequence sets, that in the past were referred to as informal operational units (reservoir zonation) and termed A1, A2, B1, B2, C1, C2, D1, D2, D3, E1, and E2, from top to bottom.

The great number of vertical wells, slanted wells, and horizontal wells, as well as numerous cores and the 3D seismic in the study area, yield the definition and confident correlation of a series of key surfaces traced along the study area and beyond. Adding the detailed core descriptions and interpretations over the years, and the amount of biostratigraphical studies created a robust base for establishing a sequence stratigraphic framework in the Lower Oficina Formation (Morichal Member) for this part of the Orinoco Heavy Oil Belt.

Close to the end of a parasequence set, with a clear transgressive pattern (C2/C1), a relative sea-level drop occurred in the area, generating a sequence boundary (SB) and an incised valley system. These incised valleys show great complexity and sinuosity, creating a narrow and localized system in the study area.

With a new relative sea level rise, some fluvial facies were preserved inside the valley system, deposited probably during the LST time. The facies association them, gradually became more and more transitional towards the top of the valley, until a transgressive surface of erosion (TSE) was placed across the area, eroding in some places the SB. The TSE was confirmed in a few cores outside the study area. This TSE marked the change between the LST (preserved mostly inside the valley system) and the new transgressive system tract (TST) period. This new TST ends with a well-defined MFS (calibrated with wells, cores, biostratigraphy, and seismic as C1 Top), along most of the Orinoco Heavy Oil Belt.

Integrating 3D seismic, vertical, inclined, and horizontal well data into the sequence stratigraphic model has been crucial to delineate the geometry, orientation, and continuity of the main sandbodies, especially in the case of the incised valley complex, at the C1 operational unit. The information obtained by the inclined landing sections in many horizontal wells, allowed in several clusters, defines a very complex incised valley system.

**REFERENCES**

[1] G. Fiorillo, Exploration and evaluation of the Orinoco oil belt: AAPG Studies in Geology, 25, p. 103–114, 1984.

[2] F. Audemard, I. Azpirixaga, P. Baumann, A. Isea, and A. Latreille, Marco geológico del terciario en la Faja Petrolífera del Orinoco de Venezuela: Venezuelan Geological Congress, 6th, Proceedings, Caracas, SVG Memoir 1, p. 70–108, 1985.

[3] F. Parnaud, J. Gou, I. Pascual, I. Truskowski, O. Gallango, H. Passalacqua, and F. Roure, Petroleum geology of the central part of the Eastern Venezuelan Basin, in A. J. Tankard, S. Suarez, and H. J. Welsink, (Eds.), Petroleum basins of South America: AAPG Memoir 62, p. 741–756, 1995.

[4] P. Rodriguez, and L. Oswaldo, Sequences and sediment sources in the central part of the eastern Venezuelan basin (Anzoategui state area): AAPG Bulletin, V. 80, p. 1330, 1996.

[5] A. Martinius, J. Hegner, I. Kaas, X. Mathieu, and R. Mjøs, Geologic reservoir characterization and evaluation of the PetroCedeño field, Early Miocene Oficina Formation, Orinoco Heavy Oil Belt, Venezuela, in F. J. Hein, D. Leckie, S. Larter and Sutter (Eds.) Heavy oil and oil-sand petroleum systems in Alberta and beyond. AAPG Studies in Geology, 64, p.103-131, 2013.

[6] A. Martinius, J. Casas, M. Exposito, X. Mathieu, R. Mjos, and J. Peralta, Sedimentological and stratigraphic analysis for high resolution reservoir characterization of the Oficina Formation (Sincor field, Orinoco Heavy Oil Belt, Venezuela). AAPG Hedberg Conference, Banff, Alberta, Canada, 2007.

[7] A. Martinius, J. Hegner, I. Kaas, X. Mathieu, and R. Mjøs, Sedimentology and depositional model for the Early Miocene Oficina Formation in the Petrocedeño field (Orinoco Heavy Oil Belt, Venezuela), Marine and Petroleum Geology, 2012. doi:10.1016/j.marpetgeo.2012.02.013

[8] W. Rodriguez, Sedimentology, ichnology, and sequence stratigraphy of the Miocene Oficina Formation, Orinoco Oil Belt, Eastern Venezuela. Unpublished M.Sc. Thesis. University of Saskatchewan, Saskatoon, 86 p. 2015.

[9] CASAS, J. E. & GUDINO, E. (2021) Integrated Sequence Stratigraphic Model for C1 Unit (Oficina Formation, Miocene), PetroCedeño Field (Junín), Orinoco Heavy Oil Belt, Venezuela. International Journal of Innovative Science and Research Technology (IJISRT), Volume 6, Issue. 12, pp. 470-481.

[10] W. Rodríguez, L. Buatois, G. Mangano, and E. Solorzano, Sedimentology, ichnology, and sequence

stratigraphy of the Miocene Oficina Formation, Junín and Boyacá areas, Orinoco Oil Belt, Eastern Venezuela basin. Marine and Petroleum Geology, 92, p. 213–233, 2018.

[11] A. Aranguren, and I. Delgado, Estudio bioestratigrafico a través del análisis de núcleos en el Campo principal Zuata (Junín), Bloque Petrocedeño. Unpublished Internal report, 22 p. 2009.

[12] L. Mata, and O. Rodríguez, Palinoestratigrafía y nanoplancton calcáreo de muestras de pared y núcleo de los pozos SDZ-86X, IZZ-52X, YX-05-E, FX-05D, SDZ-21 y SDZ- 97. Área Junín, Petrocedeño (Faja Petrolífera del Orinoco, Venezuela). PDVSA. Puerto La Cruz, Unpublished Internal report. 23p. 2009a.

[13] L. Mata, and O. Rodríguez, Palinoestratigrafía y nanoplancton calcáreo en intervalos seleccionados de los pozos IX02E, SDZ-185, PB5-000, PB3-00PV, PA3-000, PC2-000, VX05E, QA00E. Área Junín, Petrocedeño (Faja Petrolífera del Orinoco, Venezuela). PDVSA. Puerto La Cruz, Unpublished Internal report. 16p. 2009b.

[14] L. Mata and O. Rodríguez. Palinoestratigrafía y nanoplancton calcáreo del pozo PE2-00PV. Área Junín, Petrocedeño (Faja Petrolífera del Orinoco, Venezuela). PDVSA. Puerto La Cruz, Unpublished Internal report. 11p. 2009c.

[15] J. Muller, E. Di Giacomo, and A. van Erve, A. A palynological zonation for the Cretaceous, Tertiary, and Quaternary of Northern South America. AASP Contributions Series 19: p. 7-76, 1987.

[16] T. Svanes, A. Martinius, J. Hegre, J. Maret, R. Mjøs, and Ustariz, J. Integration of subsurface applications to develop a dynamic stochastic modeling workflow: AAPG Bulletin, V. 88, p. 1369–1390, 2004. doi:10.1306 /05180402026

[17] O. Catuneanu, Principles of Sequence Stratigraphy, Elsevier, Amsterdam, 2006, p. 386.

[18] P. Imbert, Assistance to Sincor on the C1-C2 full field G&G study (Petrocedeño, former Sincor). Unpublished internal progress report, 2006, 6 p.

[19] R. Labourdette, J. Casas, and P. Imbert, 3D sedimentary modeling of a Miocene deltaic reservoir unit, Sincor field, Venezuela: a new approach. Journal of Petroleum Geology 31, p. 135-152, 2008. doi:10.1111/j.1747-5457.2008.00412.x

[20] J.M. Demarest and J.C. Kraft, Stratigraphic record of Quaternary sea levels: Implications for more ancient strata, in Nummedal, D., Pilkey, O.H. & Howard, J.D. (Eds.), Sea-level fluctuations and coastal evolution: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 41, p. 233-239, 1987.



[jcasas@geologist.com](mailto:jcasas@geologist.com)

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

Autor/Co-autor en 53 publicaciones para diferentes boletines y revistas técnicas, como: Bulletin of Canadian Petroleum Geology, Geophysics, The Leading Edge, Asociación Paleontológica Argentina, Paleontology, Journal of Petroleum Geology, y Caribbean Journal of Earth Sciences; incluyendo presentaciones en eventos técnicos: AAPG, SPE, CSPG-SEPM y Congresos Geológicos en Venezuela y Colombia, así como artículos históricos de exploración en la revista Explorer.

Profesor de Geología del Petróleo en la Universidad Central de Venezuela (1996-2004). Profesor de materias de postgrado tales como: Estratigrafía Secuencial, Modelos de Facies y Análogos de afloramiento para la caracterización de yacimientos (2003-2024), en la misma universidad. Mentor en 11 tesis de maestría. Representante regional para la International Association of Sedimentologist (2020-2026) y ExDirector de Educación en la American Association of Petroleum Geologists (AAPG) para la región de Latinoamérica y del Caribe (2021-2023).



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

**Elimar J. Gudino R.** es Ingeniero Geólogo graduado de la Universidad de Oriente, y con una maestría en Ciencias Geológicas, obtenida en la Universidad Central de Venezuela. Tiene 8 años de experiencia en geología exploración, modelos estratigráficos y secuenciales, caracterización de yacimientos y estudios integrados de yacimientos en la Cuenca Oriental de Venezuela, Faja Petrolífera del Orinoco, Bloque Junín. 2 años de experiencia en geología integrada de proyectos de prospección y exploración minera para la evaluación y cuantificación de recursos mineros auríferos, Nacupay, El Callao, Edo Bolívar Venezuela.

Autor /Co- autor de informes técnicos en Petróleos de Venezuela PDVSA SA., y de una publicación en la revista técnica International **Journal of Innovative Science and Research Technology**. Ex-Profesor Geología General y Geología Estructural en la Escuela de Petróleo, Núcleo Anzoátegui y Geofísica II, Resistencia de los Materiales, Mecánica de los Fluidos, Topografía I en Escuela de Ciencias De la Tierra Núcleo Bolívar (2012-2022). Tutor industrial de 2 tesis de Geología, Ex Estratígrafo En Pdvsa, Petrocedeño (2017-2022).

Recientemente suma a su carrera profesional a las Energías Renovables a través de la Especialización En Energía Solar que desarrolla en Mint rethinking the future. A Coruña, España, en donde actualmente desarrolla el proyecto final, evaluando la factibilidad de acoplar un sistema fotovoltaico a un aerogenerador, para la producción de energía eólica cuando no haya viento.

## Cordillera Blanca, Andes Peruanos: Una Maravilla Geológica, Glaciológica y Eco-GeoTurística (Senderismo, Campismo y Alta Montaña)

Alejandro Carrillo-Chávez<sup>1</sup> y Wilmer Sánchez Rodríguez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México Campus UNAM Juriquilla, Blvd. Juriquilla 3001, Juriquilla, 76230, Querétaro, México  
e-mail: [ambiente@geociencias.unam.mx](mailto:ambiente@geociencias.unam.mx); ORCID: 0000-0003-3452-0576

<sup>2</sup>Centro de Investigación en Ciencias de la Tierra, Ambiente y Tecnología (ESAT), Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Ancash, Perú  
e-mail: [wsanchezr@unasam.edu.pe](mailto:wsanchezr@unasam.edu.pe); ORCID: 0000-0002-5062-0262

### Introducción

La Cordillera Blanca (CB) es una de las cadenas montañosas más hermosas y espectaculares de todo el planeta. Está ubicada en el Departamento de Áncash, noroeste del Perú. Es parte de la Cordillera de los Andes y se extiende en dirección noroeste por unos 180-200 km de largo con unos 20 a 30 km de ancho (Figura 1). La CB es la cadena montañosa tropical nevada (localizada entre los paralelos 8° 30' y 10° 00' latitud sur) más extensa de nuestro planeta con unos 30 picos que sobrepasan los 5000 metros de altura sobre el nivel del mar (msnm) y unos 17 picos que sobrepasan los 6000 msnm. Existe un total de 850 lagunas glaciares de diferentes tamaños y 511 glaciares inventariados por el Instituto Nacional de Investigaciones Glaciológicas y Ecosistemas de Montaña del Perú (INAIGEM, 2023: <https://inaigem.gob.pe/web2/institucion/>). La CB se caracteriza por una topografía muy accidentada con diferencias de nivel de más de 4000 m. Como ejemplo tenemos el poblado de Yungay, que se

localiza a unos 2500 msnm, y la cumbre del Huascarán (6768 msnm), la diferencia de altura es de 4278 m en una distancia horizontal de unos 15 km aprox. El Huascarán es la montaña más alta de la CB (en realidad es un complejo de tres montañas muy cercanas entre sí y que alimentan el mismo sistema glaciar: Huascarán Sur, 6768 msnm; Huascarán Norte, 6654 msnm y el Chopicalqui, 6355 msnm). El Huascarán Sur es la tercera montaña más alta de los Andes, solo por debajo del Cerro Aconcagua (6960 msnm) en Argentina y del Nevado Ojos del Salado (6891 msnm) localizado en la frontera Argentina - Chile. Otro interesante dato de la topografía de CB es que la carretera 107 de Perú va del poblado de Carhuaz (2688 msnm), localizado en el lado oeste de la CB, sube a 4736 msnm (1748 m de diferencia de altura) y cruza la montaña por el túnel vehicular más alto del Continente Americano, el Túnel Punta Olímpica (1.38 km de longitud), en un trayecto de 47 km, comunicando a poblados del lado este de la CB (como el hermoso poblado de Chacas (Figura 2), parada obligada en la ruta, en motocicleta o en bicicleta, de la “Vuelta al Huascarán” y con agradables hoteles para descansar como el Hotel-Restaurante Mirador LODGE de Chacas con los muy buenos anfitriones, la Sra. Rosa Jara Castillo y el Sr. Gaudencio LaTorre Cabello; <https://www.google.com.mx/maps/place/Mirador+LODGE+de+Chacas/@-9.1584607,-77.3691387,948m/data=!3m2!1e3!4b1!4m9!3m8!1s0x91a9254f5f210317:0x97bdf75bd1922ce4!5m2!4m1!1i2!8m2!3d-9.158466!4d-77.3665584!16s%2Fg%2F1ptx8m2wf?entry=ttu>). La CB presenta profundos valles y circos esculpidos por la actividad glaciar, lo que contribuye a su espectacular paisaje. Estos valles suelen estar llenos de impresionantes lagunas de diferentes colores (debidos a los iones disueltos en el agua) a gran altitud (arriba de 4000 msnm). Muchos circos están cubiertos de hielo, lo cual los hacen un verdadero desafío para escaladores que tratan de subir por paredes de 70° o más de pendiente (algunas paredes prácticamente verticales). La Montaña Alpamayo (5947 msnm), localizada en la porción norte de la CB, y con una pared final de 70° de unos 400 m, ha sido considerada en

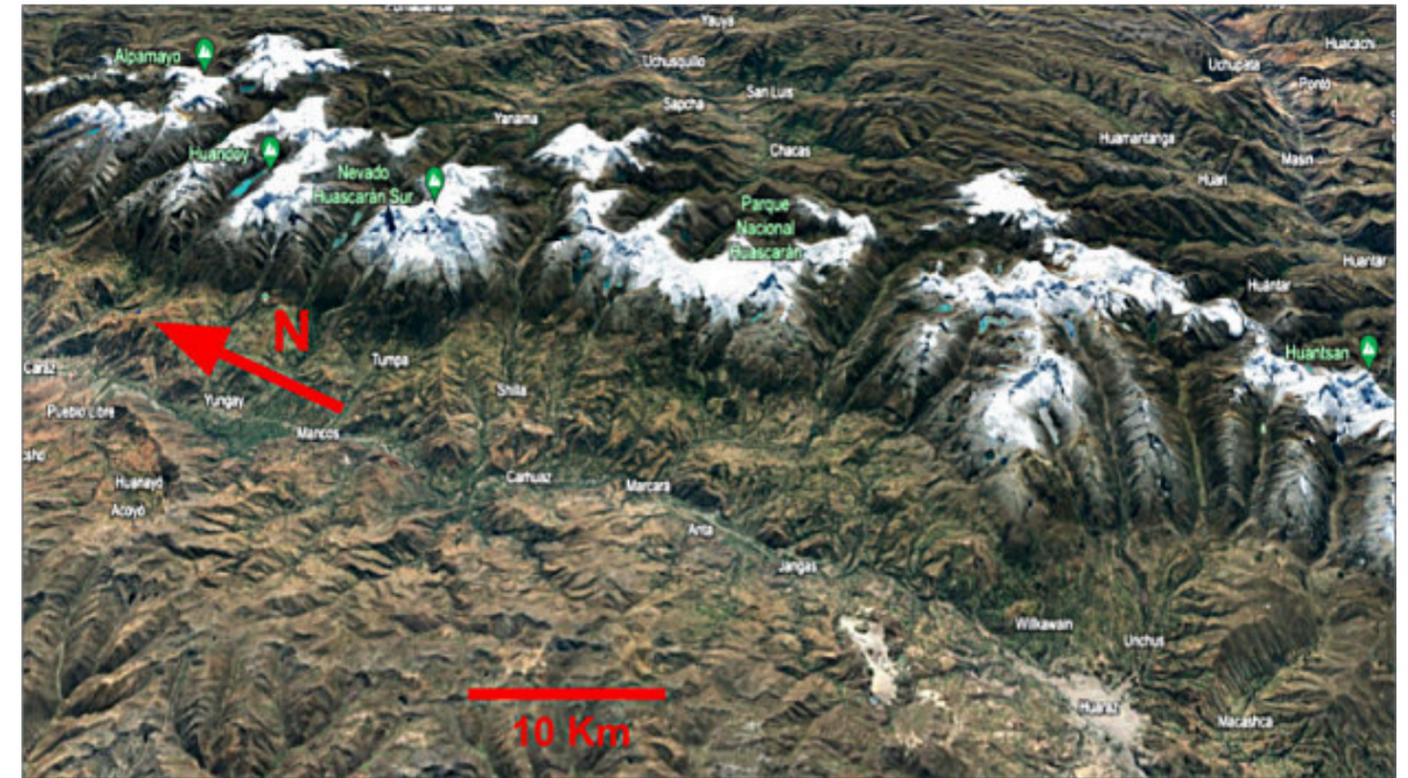


Figura 1. Parte central de la Cordillera Blanca (este), Cordillera Negra (oeste), Callejón (Valle) de Huaylas (zona central en donde se ubican los principales poblados). Barra de escala igual a 10 km. (Imagen de Google Earth <https://earth.google.com/>)



Figura 2. Poblado de Chacas localizado al este de la Cordillera Blanca y parada durante la vuelta al Huascarán en Motocicleta (o bicicleta). Fotografía: Alejandro Carrillo.

varios concursos de fotografía como la montaña más hermosa del mundo (Figura 3).

En este artículo describimos brevemente la geología general de la CB, sus yacimientos minerales metálicos (entre los más grandes del mundo), los riesgos geológicos (geología ambiental), los glaciares de montaña, la glaciología climática ambiental, las lagunas glaciares y algunas actividades de ecoturismo de montaña.

### Geología General de la Cordillera Blanca

La CB forma parte de la orogenia andina, un complejo proceso geológico impulsado por la subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana. La geología de la región se caracteriza principalmente por las eras Mesozoica y Cenozoica, con una importante actividad

tectónica que le da su forma actual. La zona está marcada por un sistemas de fallas normales, paralelas a la CB y a la zona de subducción. Especialmente se tiene la falla de la CB, que ha desempeñado un papel crucial en el levantamiento de la cordillera. Esta falla de la CB la separa de la Cordillera Negra (al oeste) y forma un profundo valle conocido como el Callejón de Huaylas y en donde se localizan los principales poblados de la zona: Huaraz, Carhuaz, Yungay y Caraz, entre otros (Figura 1). La cordillera se compone principalmente de rocas granodioríticas que forman parte del batolito de la CB. Este batolito fue emplazado durante el Mioceno, hace unos 8-10 millones de años, como resultado de procesos magmáticos relacionados con la subducción. El batolito está rodeado de rocas metamórficas más antiguas, principalmente del Paleozoico, como pizarras, esquistos, cuarcitas y carbonatos.



Figura 3. Alpamayo (5847 msnm), considerada por muchos como la montaña más hermosa del mundo: a) arista final saliendo de la pared. Fotografía: Zunueal De la Portilla (<https://summitexperienceperu.com/>); b) Alpamayo cara oeste. Fotografía: Raúl Gómez; c) Campo Alto Glaciar del Alpamayo. Fotografía: Raúl Gómez; d) Cumbre del Alpamayo. Fotografía: Raúl Gómez.

### Yacimientos Minerales

La CB es también una importante región de recursos minerales. La zona alberga una variedad de yacimientos minerales metálicos, formados a través de complejos procesos geológicos relacionados con la orogenia andina y el magmatismo asociado. La CB forma parte del Cinturón Metalogénico Andino, uno de los yacimientos minerales más ricos del mundo. Los principales yacimientos de CB son yacimientos tipo "skarn". Los skarns se forman por la interacción entre rocas ígneas intrusivas (como las granodioritas del Batolito de la CB) y las rocas carbonatadas circundantes. Este proceso de metamorfismo de contacto da lugar a la formación de ricos conjuntos minerales, incluidos minerales de cobre, plomo, zinc y wolframio. A menudo se encuentran notables depósitos de skarn a lo largo de las zonas de contacto del batolito, donde se producen reacciones térmicas y químicas entre las rocas ígneas y sedimentarias. Un excelente ejemplo de un yacimiento polimetálico tipo skarn es la mina Antamina (posiblemente el skarn más grande del mundo). También existen vetas epitermales polimetálicas que contienen metales valiosos como plomo (Pb), zinc (Zn), cobre (Cu) y plata (Ag). Estas vetas están típicamente asociadas a la actividad hidrotermal relacionada con el emplazamiento del Batolito de CB. Las vetas polimetálicas se encuentran en estructuras como fallas y fracturas, donde los fluidos mineralizantes han depositado minerales metálicos. La Mina Pierina (yacimiento epitermal de alta sulfuración de Au y Ag) es un excelente ejemplo de este tipo de yacimientos minerales metálicos. Aunque menos comunes en la CB, en comparación con otras partes de los Andes, existe potencial para de tipo pórfidos de cobre. Estos grandes depósitos de baja ley están generalmente asociados con la actividad intrusiva profunda, particularmente en el contexto del magmatismo relacionado con la subducción. Los pórfidos contienen cobre diseminado, molibdeno y, a veces, oro.

### Riesgos Geológicos (Geología Ambiental)

La explotación minera en la región de la Cordillera Blanca plantea desafíos medioambientales, especialmente en lo que se refiere a la preservación de sus delicados ecosistemas de gran altitud y de sus recursos hídricos. La presencia de glaciares y el papel de la región como fuente de agua para las comunidades situadas aguas abajo hacen que la gestión medioambiental sea crucial. Las prácticas mineras responsables son necesarias para mitigar el impacto en el paisaje, la calidad del agua y la biodiversidad de la región.

Por otro lado, uno de los mayores desastres geoambientales en Perú se dio el 31 de mayo de 1970, cuando un terremoto de gran magnitud sacudió la región peruana de Ancash. Este sismo de 7,9 grados de magnitud provocó una catastrófica avalancha glaciar en la ladera norte del Huascarán. El deslizamiento, formado por roca, hielo y nieve, se desplazó a una velocidad de hasta 200 kilómetros por hora (124 mph) y sepultó las ciudades de Yungay y Ranrahirca. Se estima que 20.000 personas murieron sólo en Yungay, y sólo unos pocos sobrevivientes lograron llegar a la colina del cementerio de la ciudad, que estaba ligeramente elevada y por lo tanto escapó a la trayectoria directa de la destrucción. Este desastre se considera uno de los más mortíferos de la historia de Perú y el peor evento relacionado con una avalancha de la historia

([https://es.wikipedia.org/wiki/Aluvi3n\\_de\\_Yungay\\_de\\_1970](https://es.wikipedia.org/wiki/Aluvi3n_de_Yungay_de_1970)). La combinación de la actividad sísmica y las inestables condiciones geológicas de la CB hicieron que la zona fuera especialmente vulnerable a este tipo de catástrofes. La tragedia puso de relieve los peligros de vivir en zonas de alto riesgo bajo montañas glaciares en regiones sísmicamente activas. Otro riesgo geológico es la generación de drenaje ácido de rocas (DAR), el cuál es producido por el intemperismo químico de sulfuros metálicos (básicamente pirita). En esta reacción química se liberan acidez y metales al agua que abastece a algunas poblaciones. (Para información mas detallada sobre la geología general y ambiental de la CB se remite al lector a consultar el Libro "Geoenvironmental Changes in the Cordillera Blanca,

Peru”, Springer, 2024, editado por Vit Vilimek, Bryan Mark y Adam Emmer; <https://doi.org/10.1007/978-3-031-58245-5>).

### Glaciares

A nivel global, el Perú tiene el 68% de los glaciares tropicales del mundo. De este porcentaje la región Ancash contiene el 42% de la superficie glaciar, repartidos entre la CB, la Cordillera Huallanca y parte de la Cordillera Huayhuash. Presentándose en la CB el mayor número de glaciares, con un total de 511, lo que representa 424.86 km<sup>2</sup> según el último inventario de glaciares del INAIGEM (2023). Así mismo, se determinó que la CB perdió el 41.5% de su área glaciar entre 1960 al 2020, este porcentaje representa una pérdida de 301.40 km<sup>2</sup>, equivalente a haber perdido el área de 241 mil piscinas olímpicas en unos 60 años. Esta pérdida se asocia principalmente al calentamiento global y cambio climático, siendo el aumento de la temperatura global el principal factor para el acelerado derretimiento de los glaciares en la CB.

Los glaciares de la CB representan reservas de agua en estado sólido, así mismo, la nieve que se acumula durante la temporada húmeda sobre los glaciares y su entorno inmediato representan el abastecimiento de agua líquida a medida que se derrite, el cual sirve como insumo principal para el equilibrio de los glaciares, si la cantidad de nieve acumulada es menor a la nieve y/o hielo derretido en la parte baja de los glaciares, estos se encuentran en un balance negativo, lo que significa que se encuentran en pérdida. La desaparición de los glaciares de la Cordillera Blanca es alarmante, según el último inventario de INAIGEM (2023) se perdieron 45 glaciares en la región Ancash, lo que representa 26 km<sup>2</sup> de área glaciar desaparecida. Si consideramos el peor escenario planteado por el IPCC, se estima que para el 2050 la temperatura media global se incrementará entre 1.5°C a 2.4°C, mientras que para el 2100 se incrementará entre 3.2°C a 5.4°C. Esto implica cambios en los patrones de precipitación, en el porcentaje de humedad relativa, en la permanencia y acumulación de nieve sobre los glaciares,

por lo que se estima que para el 2100 no existirán glaciares por debajo de los 5500 msnm. ([https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC\\_SPM\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC_SPM_es.pdf)).

### Glaciología climática – ambiental

La glaciología se entiende como el estudio de todas las formas de hielo que se presenta en la naturaleza, por ejemplo, los glaciares, el hielo marino, las nevadas y el permafrost. En general, los estudios glaciológicos se enfocan en el balance de masa, el balance de energía y el balance hídrico de los glaciares. Los estudios glaciológicos realizados desde la década de los sesenta en varios glaciares de la CB se enfocaron en estas temáticas de investigación. Sin embargo, en las dos últimas décadas ha tomado relevancia el estudio glaciológico ambiental, relacionando la contaminación del aire con el acelerado derretimiento de los glaciares. En esta línea de investigación se han hecho avances en cuanto a los métodos para el análisis del aerosol denominado Carbono Negro (CN) depositado sobre la nieve de los glaciares de la Cordillera Blanca (Figura 4: <https://tc.copernicus.org/articles/9/331/2015/>). Usando esta metodología de análisis se ha estimado que el CN acelera el derretimiento de la nieve en la parte baja de los glaciares en mayor medida. Además, los resultados indican que la concentración de CN es mayor en los glaciares cercanos a la ciudad de Huaraz (140,000 habitantes aproximadamente), esto en base a un registro mensual de datos y muestras en los glaciares Yanapaccha, Shallap, Vallunaraju y Tocllaraju, desde 2014 a 2018 (<https://repositorio.inaigem.gob.pe/items/3d8ba6c0-bfba-4fc8-985e-55859b302dec>). Esto pone en evidencia la necesidad de nuevos enfoques en los estudios glaciológicos, sobre todo si consideramos que el planeta está sufriendo un calentamiento global, el cual agrava e intensifica los fenómenos naturales extremos.

Otro aspecto glaciológico poco comprendido por la población andina, pero bien estudiado por la comunidad científica a nivel mundial, es la paleo-climatología glaciar. Esto se relaciona con la condición de los glaciares más



Figura 4. Muestreo de nieve superficial para determinar la concentración de carbono negro. Fotografía: Wilmer Sánchez.

elevados como almacenes naturales del registro climático del pasado, ya que preservan atrapados en el hielo los gases y partículas depositados hace miles de años. En este campo de investigación el científico Lonnie Thompson y su equipo extrajeron núcleos de hielo en los Andes desde la década de los 70s, recientemente en la Cordillera Blanca se extrajeron núcleos de hielo en el 2019 en el nevado Huascarán (6768 msnm). Durante esta expedición se perforó casi 170 metros en el collado (6010 msnm.) y casi 70 metros en la cumbre sur del nevado Huascarán, con el fin de extraer los núcleos de hielo; así mismo, se recolectaron muestras de nieve a distintas profundidades (2-3 metros) para el análisis de CN, bacterias, algas, y polvo, entre otros contaminantes (<https://repositorio.inaigem.gob.pe/items/3c66a2b0-d929-4dd2-b205-a8075704c72a>). En el ámbito social, esta expedición puso a relucir el limitado conocimiento sobre investigaciones glaciológicas de la sociedad en conjunto. Esto se experimentó cuando los pobladores locales

generaron su propia percepción de la presencia de investigadores “extranjeros” en el nevado Huascarán, creyendo que la presencia de estos extranjeros estaba ligada a la búsqueda de minerales para su explotación, lo cual generó un conflicto, que puso en riesgo el éxito de la expedición (<https://news.osu.edu/when-scientists-face-an-angry-community/>)

### Lagunas Glaciares

Desde un punto de vista hídrico, la Cordillera Blanca contiene un total de 826 lagunas de formación periglacial (lagunas ubicadas en la base del glaciar), que representa 53.6 km<sup>2</sup>, 23 lagunas de formación proglacial (lagunas producto del retroceso del glaciar), que representa 1.76 km<sup>2</sup> y 1 laguna supraglaciar (laguna sobre el glaciar), que representa 0.01 km<sup>2</sup>, que en suma hacen un total de 850 lagunas, según el último inventario del INAIGEM (2023). Así mismo, se reporta que el número de lagunas se encuentra en notable aumento en la Cordillera Blanca, en

solo cuatro años (2016-2020) se reportó la formación de 25 nuevas lagunas. Esto es debido al retroceso y fusión glaciar y este fenómeno aumenta el riesgo de aluviones con consecuencias catastróficas para las poblaciones que viven en la parte baja de la Cordillera Blanca. (Figura 5).



Figura 5. Laguna Lejiacocha (4706 msnm) en la base del glaciar del Nevado Copa (6188 msnm). Fotografía: Jehú Hinojosa.

exigen una mediana experiencia en escalada. Existen montañas que son muy accesibles de escalar como el Nevado Mateo y el Huarapasca. En el otro extremo, también existen montañas que requieren de experiencia en montañismo, varios días de caminata y varios campamentos (base, morrena, glaciar-1 y glaciar -2) escalada técnica, escalada mixta roca-hielo y escaladas de paredes de 70° o más, como es el caso del Alpamayo (Figura 3), Artesonraju, Chacaraju, Tocllaraju, Huascarán y Huantsan, este último catalogado como el K2 de los Andes, entre otras montañas. En general, para la práctica del montañismo, en específico la escalada en hielo y roca y montañas que requieren de varios días y campamentos altos en glaciar (Figura 6) requieren de los famosos porteadores locales, similares a los sherpas de los

### Eco-GeoTurismo

La Cordillera Blanca alberga picos nevados ideales para la práctica del montañismo, llamado en esta parte del mundo “andinismo”. Entre estos picos destacan el Vallunaraju, Pisco, Ishinca, Urus, y Yanapaccha que

Himalayas, quienes transportan el mayor peso de los turistas y/o escaladores hasta las zonas más elevadas (Figura 7). Una labor encomiable y crucial para el éxito de las expediciones, que a su vez dinamiza la económica de las poblaciones locales. Por supuesto, es altamente recomendable contratar un servicio de Guía de Alta Montaña (la ciudad de Huaraz es sede de la famosa Escuela de Guías de Montaña (Centro de Estudios de Alta Montaña; <https://www.iestpceam.edu.pe/>). Otra actividad común en la Cordillera Blanca es el senderismo de montaña, esto solo requiere de una buena condición física y una aclimatación adecuada. Existen diversos senderos al pie de picos nevados, los cuales varían en distancia y elevación. Entre las más conocidas están las caminatas a la Laguna Radian, la Laguna Churup, la Laguna



Figura 6. Campo alto en glaciar del Chopicalqui (5500 msnm), descansando y recuperando energía para ascenso a cumbre en la madrugada. Fotografía: Jehu Hinojosa.



Figura 7. Los Héroes de la montaña, los Porteadores (Sr. Luciano y su hijo Ever (no aparece en la fotografía) con cargas de 30+ kg descendiendo de campo alto en Chopicalqui. Fotografía: Alejandro Carrillo.

Ahuac, la Laguna 69 y la Laguna 513, las cuales se realizan en un solo día. Por otro lado, también existen senderos que atraviesan pasos de montaña, que requieren más de dos días de caminata, entre ellos destacan la caminata en el valle de Santa Cruz, el valle Cedros-Alpamayo y el valle Ulta-Ishinca. En Huaraz, y otras poblaciones de la zona, existen múltiples “Agencias de Ecoturismo de Montaña” las cuales ofrecen paquetes completos que incluyen hospedaje, alimentos, transporte, y guía a muchos hermosos lugares de la CB (<https://summitexperienceperu.com/>; <https://www.nuestramontana.com/>).

Una de las actividades que ha tomado relevancia en la última década en las carreteras, terracerías y brechas transitables de la CB es el deporte de los motores, tales como el “off-road”, donde se utiliza camionetas de doble

tracción para poner a prueba la pericia y habilidad de los pilotos para conducir por estas vías. Así mismo, se puede recorrer estos caminos con motocicletas de enduro, lo cual exige una condición física más fuerte, ya que involucra horas de recorrido por senderos agrestes y en condiciones de frío, calor, viento y sobre todo a la altura. Se pueden rentar motocicletas para recorrer hermosas rutas de montaña, sobresaliendo la famosa vuelta al Huascarán en motocicleta (Figura 8; <https://www.facebook.com/lacasaazulcaraz/>). Otra actividad que ha tomado relevancia en los últimos años en las montañas de la Cordillera Blanca es el ciclismo de montaña, en sus modalidades de “Downhill y Enduro”, donde se aprovechan los senderos que recorren y atraviesan las partes altas para descender con bicicletas de montaña (Figura 9).



Figura 8. Parada antes de entrar el Tunel Punta Olimpica, el túnel transitable más alto de América (4736 msnm), en el popular recorrido entre motociclistas y ciclistas (Vuelta al Huascarán de 250 km, 100 km en asfalto y 150 km en terracería brecha). La montaña al fondo es el Chopicalqui (6354 msnm). Fotografía: Alejandro Carrillo.



Figura 9. Ciclismo extremo estilo “downhill”. Fotografía: Wilmer Sanchez.

### Conclusión

La Cordillera Blanca es una región de notable complejidad geológica y belleza natural. Sus extensos glaciares, altas cumbres y ricos yacimientos minerales la convierten en una zona importante para la investigación científica, la conservación, desarrollo sustentable y el turismo. La interacción entre geología, yacimientos minerales, glaciología, montañismo y eco conservación subraya las intrincadas conexiones entre los paisajes naturales y las actividades humanas. La geología sienta las bases para comprender la formación de las montañas, dando forma a los imponentes picos que atraen tanto el interés científico como los espíritus aventureros. La glaciología profundiza en el conocimiento de los glaciares, que no sólo esculpen estos paisajes sino que también actúan como depósitos vitales de agua dulce, por lo que su preservación es esencial ante el cambio climático. El montañismo, al tiempo que fomenta una profunda conexión con estos majestuosos entornos, debe practicarse de forma responsable para minimizar el impacto sobre los frágiles ecosistemas. Cuando los alpinistas y exploradores superan

los límites de la resistencia humana, también tienen la responsabilidad de garantizar que sus actividades no degraden los mismos paisajes que admiran. Esto exige prácticas sostenibles y un compromiso con la eco conservación, cuyo objetivo es proteger estas maravillas naturales para las generaciones futuras. En última instancia, el equilibrio entre exploración y conservación reside en nuestra capacidad para apreciar la belleza y la importancia únicas de estos entornos, al tiempo que abogamos por su protección. La colaboración entre geólogos, mineros, glaciólogos, montañeros y conservacionistas puede conducir a estrategias más eficaces para salvaguardar los paisajes más sobrecogedores del planeta.

### Agradecimientos:

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a: Zunuel Portella, Gerente y Fundador de la Agencia “Summit Experience” de Huaraz (<https://summitexperienceperu.com/about-us/>), Sergio Ramírez, Gerente y Fundador de la Agencia “Nuestra Montaña” de

Huaraz (<https://www.nuestramontana.com/>) por su apoyo en varias expediciones. También agradecemos a Victor Sarmiento (Darling) Gerente y Fundador de la “Casa Azul, Hostal y Renta de Motocicletas” en Caraz (<https://www.facebook.com/lacasaazulcaraz/>) por su excelente apoyo y guía para la vuelta el Huascarán en motocicleta y a todo el personal del Hostal Big Mountain en Huaraz (<https://www.bigmountainhostel.com/>) y a la Sra. Rosa Jara Castillo y el Sr. Gaudencio LaTorre Cabello, Administradores y Fundadores del Hotel Restaurante Mirador LODGE Chacas; <https://www.google.com.mx/>

[maps/place/Mirador+LODGE+de+Chacas/@-9.1584607,-77.3691387,948m/data=!3m2!1e3!4b1!4m9!3m8!1s0x91a9254f5f210317:0x97bdf75bd1922ce4!5m2!4m1!1i2!8m2!3d-9.158466!4d-77.3665584!16s%2Fg%2F1ptx8m2wf?entry=tu](https://maps/place/Mirador+LODGE+de+Chacas/@-9.1584607,-77.3691387,948m/data=!3m2!1e3!4b1!4m9!3m8!1s0x91a9254f5f210317:0x97bdf75bd1922ce4!5m2!4m1!1i2!8m2!3d-9.158466!4d-77.3665584!16s%2Fg%2F1ptx8m2wf?entry=tu) por hacernos la vida más cómoda y sencilla. Finalmente, pero no menos importante, agradecemos a otros héroes de la montaña (guías y porteadores) como a Octavio, Ever, Luciano y todas las personas de las comunidades Quechuas en las bases de las montañas de la hermosa Cordillera Blanca.



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



**Wilmer Sanchez** es Ingeniero Ambiental de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Ancash, Perú. Su primera experiencia laboral comenzó en el 2015 como investigador en el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM). Su campo de estudio se enfoca en comprender la relación entre la contaminación atmosférica y el derretimiento de los glaciares del Perú. En 2016 fue invitado como investigador adjunto por el Dr. Lonnie Thompson de la Universidad Estatal de Ohio, para participar en la expedición científica a la capa de hielo Quelccaya, Cusco. Posteriormente, en el 2019 fue parte esencial de la expedición científica al nevado Huascarán (6768 msnm), para la extracción de núcleos de hielo en el collado y cumbre sur, liderado por el Dr. Lonnie Thompson. Ha realizado trabajos de consultoría ambiental ligados a cuerpos de hielo y lagunas de origen glaciar para empresas mineras de Perú. Sus principales líneas de investigación son: glaciología ambiental, contaminación atmosférica, geomática ambiental y la gestión de riesgos ligado a ambientes de montaña. Es miembro del Centro de Investigación en Ciencias de la Tierra, Ambiente y Tecnología (ESAT) de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Ancash, Perú. [wsanchezr@unasam.edu.pe](mailto:wsanchezr@unasam.edu.pe)

## LAS IGNIMBRITAS Y METASEDIMENTITAS DE BRISBANE, AUSTRALIA: UNA HISTORIA DE MÁS DE 200 MILLONES DE AÑOS

Jesús S. Porras M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Consultor Independiente



### INTRODUCCIÓN

La ciudad de Brisbane, capital de la provincia australiana de Queensland, se localiza al sureste de la cordillera Herbert Taylor, cercana a la costa del Mar del Coral (océano Pacífico) y de la bahía de Moreton, y a orillas del río homónimo, que la surca de suroeste a noreste. Sus suburbios están asentados principalmente sobre las planicies aluviales bajas del río Brisbane; sobre aisladas y poco elevadas colinas, de suaves pendientes, hacia el sureste; y hacia el oeste y noroeste, en las montañas, de mayores elevaciones y pronunciados escarpes, pertenecientes al sistema montañoso D'Aguilar-Taylor.

La planicie aluvial y costera está conformada por una mezcla de sedimentos terciarios y cuaternarios marinos, estuarinos y aluviales, entre los que se distinguen gravas, arenas y arcillas de textura media, depositados en cordones litorales, barras, marismas, dunas, salinas, canales de marea y manglares.

Las colinas bajas están compuestas de rocas paleozoicas de bajo grado metamórfico: la filita Bunya y las metasedimentitas del Grupo Neranleigh-Fernvale (Devónico-Carbonífero). Las cuarcitas, areniscas, grauvacas, cherts, lodolitas y lutitas, y algunas volcánicas del Grupo Neranleigh están ampliamente distribuidas en la ciudad y se extienden hasta zonas suburbanas y aldeañas del sur-sureste.

La zona montañosa del oeste, está formada casi totalmente por rocas del Grupo Neranleigh-Fernvale y por las filitas Bunya, llegando estas últimas a ser intruidas por plutones graníticos y riolíticos.

Hacia el centro de la ciudad, es notoria la presencia de una espesa capa de toba volcánica (ignimbrita) que se extiende en sentido NO-SE como una amplia franja discontinua más allá de los límites urbanos. La toba, de 226 Ma en edad (Triásico) fue explotada intensamente por los colonos desde 1860 y constituye uno de los íconos ciudadanos.

La ciudad, y zonas adyacentes, son ricas en recursos minerales y pétreos. Importantes canteras, activas o no, están integradas al paisaje urbano, son referencia obligada de la comunidad y parte de su herencia cultural, patrimonial y paisajística. Rocas de estas canteras son componentes arquitectónicos de muchas edificaciones y de obras de infraestructura civil.

En diversos sitios se llegan a identificar espectaculares afloramientos, todos de fácil acceso y reconocibles por el espectador común o por experimentados geólogos (Fig. 1). Los coloridos afloramientos del Grupo Neranleigh-Fernvale expuestos en cortes de avenidas y carreteras y los acantilados de la toba Brisbane dentro de la ciudad son los más frecuentes y llamativos. Este último es una de las

más famosas atracciones turísticas de la ciudad por las grandiosas vistas desde su tope y por las escaladas deportivas que se realizan en sus paredes.

En este trabajo se registran y describen varios de ellos, unos por su valor histórico y patrimonial y otro por su

interés geológico, científico y escénico. Los afloramientos se encuentran dispersos en un área aproximada de 400 km<sup>2</sup>.

lava basáltica e intrusión de agujas volcánicas traquíticas y diques. Comienza periodo de meteorización y erosión y sedimentación fluvial y costera, controlada en algún momento por descensos en el nivel del mar durante las glaciaciones del pleistoceno, y actualmente por el gran sistema fluvial-estuarino del río Brisbane. Depósitos aluviales recientes (Holoceno) y más antiguos

(Pleistoceno) de espesor variable se encuentran en toda la ciudad y las áreas urbanas cercanas, pero se concentran principalmente en los antiguos canales de arroyos y la llanura aluvial del río Brisbane (Baczynski, 2001). En la fig. 2 se presenta el mapa geológico del Sureste de la Provincia de Queensland, Australia (Willmott, 2012) e indica el área de estudio.



**Figura 1.** Mapa Topográfico + Satelital de la ciudad de Brisbane indicando la ubicación de los afloramientos descritos en este estudio  
Mapa Topográfico (<https://en-au.topographic-map.com/map-zz3b3/Brisbane/>); Mapa Físico recuadro (<https://www.freeworldmaps.net/australia/queensland/map.html>)

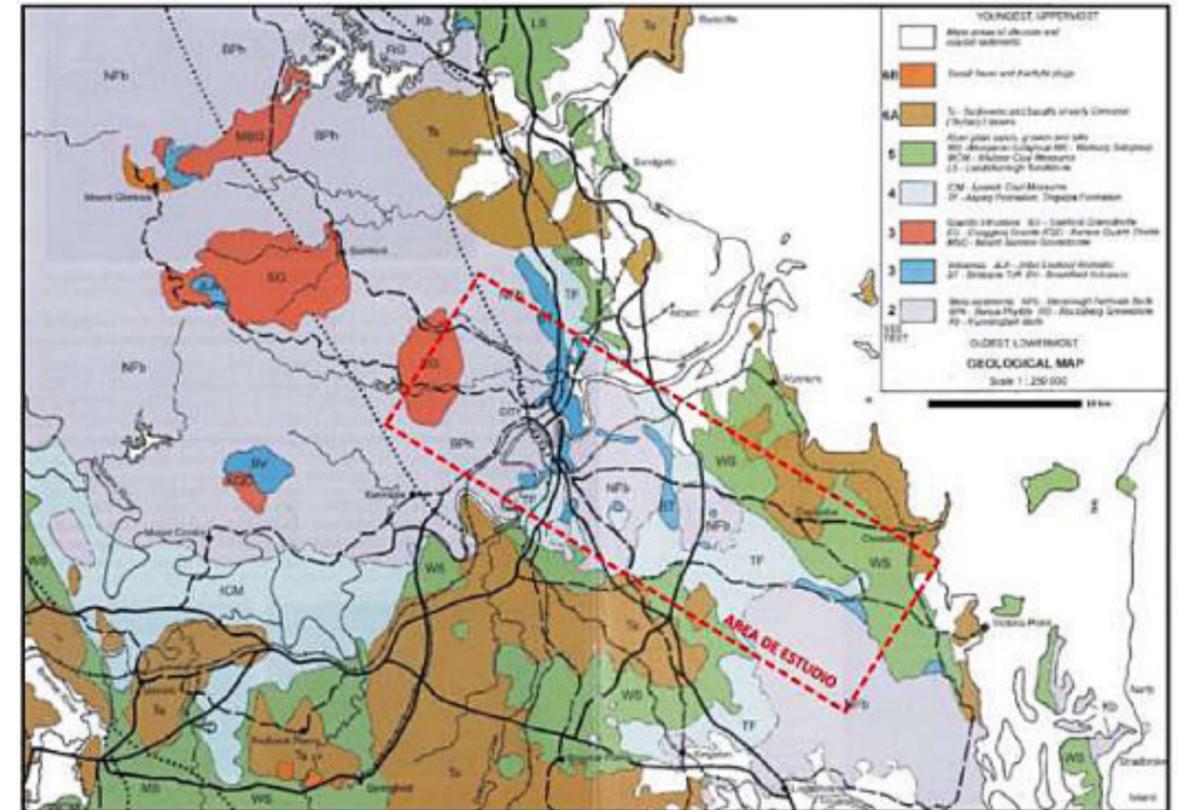
### HISTORIA GEOLOGICA

La historia geológica de la zona puede resumirse en varios eventos mayores, sucedidos principalmente entre el Devónico y el Triásico (Willmott, 2012). Incluye largos periodos de erosión entre eventos, con remoción de muchos sedimentos y la depositación y subsidencia relativa en pequeñas cuencas.

**Devónico-Carbonífero (370-290 Ma):** Colisión y subducción de las placas oceánica y continental australiana. Acumulación de espesas capas de sedimentos en una fosa oceánica profunda ubicada en el margen este inestable del continente australiano (370-315 Ma). Consolidación, colapso, compresión-plegamiento (metamorfismo) y levantamiento de amplias cadenas montañosas. En esa época se originan las Metamórficas de Brisbane. Las rocas paleozoicas fueron finalmente erosionadas en una superficie bastante irregular antes de la sedimentación triásica (Stevens, 1984).

**Triásico (250-200 Ma):** Fusión de corteza continental adelgazada. Erupción de volcanes e intrusión de magmas graníticos. Comienza la estabilización del margen continental en 235-215 Ma. Violentas erupciones de composición riolítica con nubes de ceniza ardiente cubriendo valles y colinas (Brisbane Tuff). Erosión de montañas de rocas metamórficas y volcánicas, desarrollo de sistemas fluviales, lagunares y amplias planicies aluviales. Distribución y acumulación de sedimentos, incluyendo carbones en planicies aluviales, lagos y pantanos. Para 210-180 Ma está casi finalizada la estabilización del continente. Pequeños levantamientos de montañas. Periodo intenso de erosión.

**Terciario (60 Ma-Reciente):** Desarrollo de pequeñas cuencas y subsidencia. Acumulación de sedimentos clásticos en lagos pequeños, y la erupción de volcanes basálticos (55-45 Ma). Entre 31-23 Ma se desarrolla nueva actividad volcánica asociada a un hotspot, erupciones de



**Figura 2.** Mapa Geológico del Sureste de la Provincia de Queensland, Australia (Willmott, 2012). Se indica en el recuadro el área aproximada de estudio.

### MARCO ESTRUCTURAL

Interpretaciones iniciales indicaban que la principal estructura en la región era el anticlinal Indooroopilly, asimétrico, de rumbo noroeste y vergencia S-SE donde se exponen la filita Bunya, en la cresta, y el Grupo Neranleigh-Fernvale en los flancos, separados entre sí por dos fallas normales, las fallas Kenmore y Normanby, al oeste y este, respectivamente (Houston & Tucker, 1965; Jones y Stevens, 1967).

Holcombe (1977) sugiere que ésta es una estructura compuesta, en la que la zona occidental y la cresta están definidas por la intersección de generaciones diferentes de estructuras de transposición. Menciona que la falla Kenmore representa una zona de transición entre dos generaciones estructurales, de dos foliaciones diferentes,

y que no hay evidencias claras de la existencia de la falla, aunque sí de un cambio litológico. Indica también, que la falla Normanby está formada por una gran flexura de tercera generación desarrollada sobre las anteriores y que existen muy pocos elementos para asignar adecuadamente un límite estructural o litológico al este de la estructura, en donde se ha interpretado la mencionada falla.

Sin embargo, SKM/Aurecon (2011) señalan que la falla Normanby ha sido identificada en el lado norte del río Brisbane, al oeste de la estación de Roma Street y que continúa en dirección sur-sureste hasta el borde del canal del río. Interpretan que la falla ocurre entre las unidades Filita Bunya y Neranleigh-Fernvale y que se extiende en dirección sureste desde el borde de los depósitos

aluviales del río Brisbane hasta el borde occidental de la toba Brisbane.

Otra falla notable que se distingue en la zona es la falla Buranda, y si bien hay dudas sobre su existencia, es la responsable aparente del desplazamiento sinistral de terrenos adyacentes al sur del río Brisbane y de la discontinuidad y separación entre las metamórficas en el SE y NO de Brisbane (Houston & Tucker, 1965; Jones & Stevens, 1967).

Una importante zona de falla y cizallamiento, de tendencia NO-SE también ha sido identificada en la zona. Es el contacto entre la ignimbrita Brisbane y las metasedimentitas del GNF. Otros cizallamientos menores, de igual tendencia, se estima que ocurren en el área.

Se interpretan también estructuras sinclinales de dirección N-NE a S-SO dentro de la Formación Aspley. Se considera que pueden formar parte de estructuras mayores. Otros elementos estructurales menores son visibles, tales como: delgados pliegues en "V", crenulaciones, *kink bands*, pliegues abiertos e isoclinales y venas de cuarzo.

**ESTRATIGRAFIA**

La estratigrafía de Brisbane y del sureste de la provincia de Queensland ha sido perfectamente estudiada y descrita por muchos autores (Houston & Tucker, 1965; Jones & Stevens, 1967; Holcombe 1977; Stevens, 1984; Willmott, 2012).

La columna estratigráfica comprende rocas paleozoicas, mesozoicas y terciarias (Fig. 3). Las rocas paleozoicas están representadas por las Metamórficas de Brisbane, de edad Devónico-Carbonífero, conformadas por la filita Bunya y las capas levemente metamorfizadas del Grupo Neranleigh-Fernvale (GNF). Ambas son intruidas por plutones graníticos y diques de grano fino. Sobre ellas yacen discordantemente sedimentos del Triásico y Terciario.

La filita Bunya es una roca metamórfica de bajo grado, en la facies de esquistos verdes, compuesta por cuarzo-sericita-clorita, con ocurrencia de filonita, que contiene plagioclasa relictas. La filita consiste básicamente de capas ricas en cuarzo, alternando con capas de clorita de grano fino y mica, conformando una secuencia sedimentaria de lutitas y sedimentos ricos en cuarzo (Stevens, 1984). Se distingue por la pronunciada foliación, la poco aparente estratificación y la alternancia paralela de bandas anchas de material micáceo oscuro (sericita y grafito) con bandas

más angostas de pequeños cristales de cuarzo y otros dispersos de clorita (Jones & Stevens, 1967). Se considera que las rocas fueron depositadas y que sufrieron un episodio de metamorfismo regional, antes de la deposición del Grupo Neranleigh-Fernvale (Houston & Tucker, 1965; Holcombe 1977; Stevens, 1984)

El GNF está conformado por sedimentos clásticos (grauvacas, areniscas, limolitas, lutitas), cuarcitas, lavas basálticas, lavas almohadilladas y tobas, junto con cherts masivos y estratificados, y pizarras, que suprayacen discordantemente a la filita Bunya. A diferencia de la filita Bunya, reúne una mayor variedad de rocas, está menos metamorfizado, presenta muy débiles y pocas estructuras secundarias de deformación y contiene menos venas de cuarzo. Su estratificación es visible. Está afectada por diversos intrusivos ígneos grano-dioríticos entre los que destaca el Granito Enoggera, de edad Pérmico tardío o principios del Triásico (K-Ar).

La secuencia mesozoica descansa discordantemente sobre rocas paleozoicas. Su base la representan fragmentos de rocas, sedimentos lagunares e ignimbritas soldadas o tobas volcánicas (Brisbane tuff), estas últimas producto de un masivo flujo piroclástico de origen y composición riolítica que sufrió la región. Sobre ella se depositaron las areniscas, conglomerados y lutitas de la Formación Aspley, de ambiente fluvial-aluvial y las areniscas, limolitas, lutitas carbonáceas lacustres y carbones de la Formación Tingalpa, ambas del Triásico tardío. La secuencia mesozoica culmina con las areniscas, conglomerados y algunas lutitas de ambiente mixto fluvial-aluvial del Sub-Grupo Woogaroo, del Triásico tardío-Jurásico temprano, depositadas en discordancia angular sobre la Formación Tingalpa.

Bryan & Jones (1951) mencionan que el área no hay evidencia de deposición entre el Jurásico y el Eoceno. Durante este intervalo, los últimos lagos y pantanos mesozoicos fueron drenados, y las capas mesozoicas sufrieron una erosión considerable. Los sedimentos lacustrinos del Cenozoico se depositaron en depresiones y bajos estructurales en aparente concordancia. En el Terciario temprano y medio se registra actividad volcánica al sur de la provincia, esta última asociada a un hotspot. Numerosos tapones de riolita o traquita intruyeron rocas más antiguas, rellenando chimeneas volcánicas y lacolitos someros.

Los depósitos cuaternarios comprenden sedimentos propios de ambientes fluviales, estuarinos, deltaicos y costeros, entre los que se incluyen terrazas fluviales,

dunas, islas, playas, barras litorales. Más hacia la costa se desarrollan calizas coralinas.

ERA	PERIODO	EPOCA	UNIDAD	COLUMNA	DESCRIPCION
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	S/D		Depósitos y rellenos antropogénicos
			S/D		Terrazas aluviales recientes: arenas, limos, arcillas
			S/D		Terrazas aluviales bajas: gravas, limos, arcillas
		PLEISTOCENO	Aluvión S/D		Depósitos estuarinos: limos, arenas arcillosas, lodos arenosos
			Aluvión de planicie de inundación: limo, arcillas, arenas, gravas		
MESOZOICO	JURASICO	Inferior	Subgrupo Woogaroo	Areniscas cuarzosas, limolitas, lutitas, conglomerados, (-) carbón	
	TRIASICO	Tardío	Fm Tingalpa	Limolitas, areniscas, capas de carbón	
		Temprano	Fm. Aspley	Areniscas, conglomerados, lutitas	
			Toba Brisbane	Tobas volcánicas riolíticas, ignimbritas.	
	PALEOZOICO	CARBONIFERO		Neranleigh-Fernvale	Metasedimentitas (areniscas, pelitas, chert, limolitas, cuarcitas), conglomerados, (-) volcánicas
DEVONICO			Filita Bunya	Filitas, (-) areniscas, volcánicas básicas	

Figura 3. Columna Estratigráfica Generalizada del Area de Brisbane (adaptado de SKM/Aurecon, 2011)

**GEOSITIOS Y AFLORAMIENTOS NOTABLES**

Los afloramientos y sitios donde están expuestas rocas notables han sido divididos en dos tipos por sus características y ubicación: a) dentro de la ciudad y zonas suburbanas y b) en zonas rurales adyacentes, fuera de los límites urbanos.

Los primeros, están incorporados al paisaje urbano. Generalmente son de dimensiones lo suficientemente grandes como para apreciarlos. Tiene una buena sección de roca expuesta. Otros más reducidos, pueden llegar a identificarse.

Se les encuentra en cortes de calles y avenidas, comúnmente cubiertos por el suelo y vegetación, meteorizados o protegidos con mallas metálicas en

prevención de deslizamientos y derrumbes. Los más representativos son las capas interestratificadas del Grupo Neranleigh-Fernvale y los acantilados de tobas masivas (Toba de Brisbane) del centro de la ciudad. En las zonas rurales, fuera de la ciudad, se localizan en cortes de carreteras y autopistas o son componentes o elementos importantes de reservas o parques nacionales.

En esta última zona, se describe un corte donde afloran rocas del Grupo Neranleigh-Fernvale. En todos estos afloramientos, privilegiados por contener secuencias muy antiguas, se pueden observar sus fantásticas rocas e interpretar y entender los dinámicos procesos geológicos que se sucedieron en Australia Suroriental en tiempos triásicos-paleozoicos. (Tabla Nº 1).

**Tabla Nº 1.** Afloramientos notables de la ciudad, descritos en el presente trabajo

Zona	Tipo de roca (Unidad)	Localización
Urbana y Suburbana	Tobas volcánicas/Ignimbrita soldada <b>(Brisbane Tuff)</b> Metasedimentitas <b>(Grupo Neranleigh-Fernvale)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kangaroo Point</li> <li>• Northern Story Bridge</li> <li>• Brunswick Street</li> <li>• Adelaide Street</li> <li>• Roma Park Street</li> <li>• Old Cleveland Road</li> <li>• Mount Gravatt</li> <li>• Kangaroo Point &amp; Story Bridge</li> <li>• Ithaca Creek (Mt Coot-Tha)</li> </ul>
	Filita /Hornfels <b>(Bunya Phyllite)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• West Mt Cotton</li> </ul>
Rural	Metasedimentitas <b>(Grupo Neranleigh-Fernvale)</b>	

### 1. ZONA URBANA Y SUBURBANA

#### Toba Volcánica (Ignimbrita soldada, Toba Brisbane)

La toba de Brisbane es la unidad triásica más antigua de la cuenca de Brisbane. Fue descrita originalmente por Leichhardt en 1855 y ampliamente estudiada desde entonces (Richards & Bryan, 1927,1933; Briggs, 1928; Houston & Tucker, 1965; Houston, 1967; Thomas, 1999; Willmott 2012).

Comprende una brecha basal, seguida de areniscas y lutitas y por una secuencia de tobas riolíticas, estratificadas o masivas, con menos areniscas y lutitas, que yacen en discordancia angular sobre las metasedimentitas del GNF (Houston & Tucker, 1965). Se estima, que la toba es el resultado de una o varias erupciones volcánicas explosivas: unas iniciales, que dieron lugar a la formación de arcillitas tobáceas (tobas no soldadas o mal soldadas) en algunos lugares y otras posteriores, más masivas, de toba riolítica depositada por la caída de cenizas calientes o flujos piroclásticos, formando una toba soldada (o ignimbrita). Aunque se desconoce la localización del cráter o la cámara volcánica, se tienen evidencia de que el flujo piroclástico se desplazó en sentido NNO-SSE por más de 25 km en la región como una franja angosta que se extiende desde Milne Mountain, en el norte, hasta el río Brisbane, al sur, en Kangaroo Point, donde se ramifica hacia Morningside, al oeste y hacia Dutton Park y Santa Lucía al este (Houston, 1967) (ver Fig. 2).

La toba presenta un espesor entre 150-250 pies (50-80 metros). Richards y Bryan (1933) le atribuyen entre 200-300 pies, aunque mencionan que puede sobrepasar los

500 pies. A la ignimbrita masiva le asignan 200 pies de espesor. Señalan que el espesor decrece hacia el sur y este. Briggs (1928) lo estimó entre 100-300 pies.

Aunque es notable la ausencia de planos de estratificación (Briggs, 1928), suele presentarse como un depósito de apariencia estratificada, o totalmente masiva y compacta. Muestra fuerte diaclasamiento, con fracturas ortogonales, algo espaciadas, algunas de planos curvados, llegando en casos a mostrar cierta apariencia y arreglo columnar. Richards y Bryan (1933) describen columnas muy uniformes, la mayoría pentagonales, de 12 pulgadas como diámetro promedio, de lados rectos o levemente ondulados.

El color de la toba es predominantemente rosado a púrpura distribuido aleatoriamente y atribuido a la cantidad y grado de oxidación de los óxidos de hierro y manganeso presentes (Thomas, 1999). Se reconocen además variaciones de color verde, ocre, crema, naranja, gris azulado, marrón rojizo y marrón pálido.

Se distingue por contener fragmentos angulares de rocas y minerales de tamaño inferior a media pulgada y poco arreglados. Restos de madera carbonizada logran identificarse en las tobas. Por estas características fue originalmente confundida como un pórfido. Richards y Bryan (1927) identificaron, además, en la sección media-inferior de la toba, pequeños cuerpos redondeados, esferoidales, e internamente concéntricos, de tamaño no mayor a 30 mm, de la misma composición de ésta.

En la toba también ocurren fallas de carácter regional y zonas alteradas. Esto es claramente visible en la ribera norte del río Brisbane, a pocos metros al este del puente Story. Algunas lutitas del GNF ubicadas inmediatamente debajo de la toba han sido particularmente deformadas y brechadas (Richards y Bryan, 1933)

Aflora especialmente en Kangaroo Point y otros lugares del centro urbano, aunque otros afloramientos en diversos sitios de la zona norte de Brisbane son perfectamente descritos por Willmott (2012) y Stevens (1984). La toba, por su resistencia al desgaste, manejo y textura, y singular belleza, ha sido extraída de canteras locales desde mediados del Siglo XIX, en tiempos de la colonia, y empleada como piedra de construcción y ornamental en fachadas, paredes y muros de casas y edificios gubernamentales, así como en bordillos de aceras, canaletas y en pavimentación.

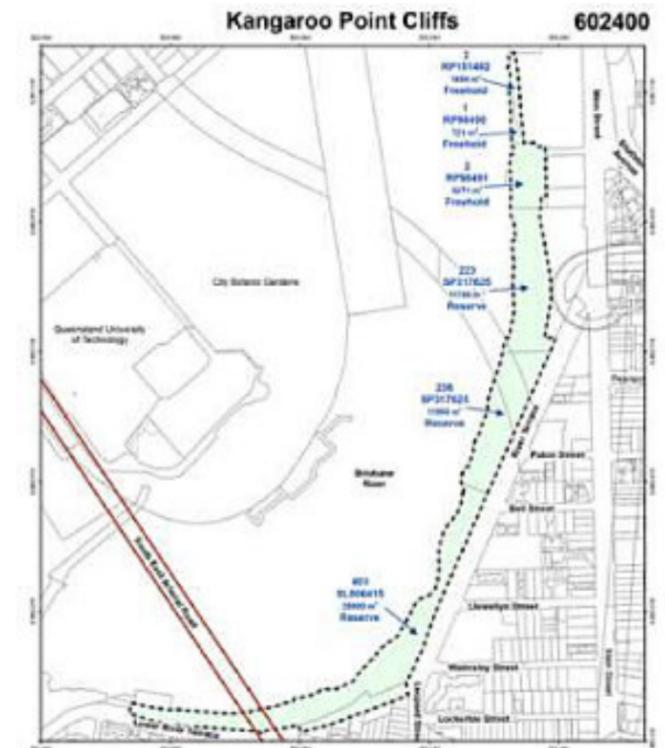
#### Kangaroo Point

Es quizás el más conocido y famoso de los afloramientos y visita obligada de los turistas por sus panorámicas vistas, por sus senderos para caminar y como lugar para hacer rapel o escaladas en sus paredes verticales. El sitio es un prominente acantilado que se encuentra situado en la ribera sur del río Brisbane y es el resultado de la explotación de una cantera de toba volcánica (ignimbrita) desde épocas coloniales.

Los acantilados fueron la más importante fuente de piedra natural de construcción para los edificios y carreteras de la ciudad, y de muelles, muros y malecones durante un período de 150 años desde 1826, comienzo de la colonia penitenciaria, hasta 1974 (Queensland Government, 2024). Es notorio en la ciudad el uso de tobas multicolores en edificaciones, templos y muros.

Identificada inicialmente como un “pórfido”, la toba o ignimbrita riolítica soldada, fue depositada tras una violenta erupción, o flujo piroclástico, en tiempos triásicos (~ 230 Ma). Se interpreta que los acantilados de Kangaroo Point están formados por uno o dos flujos de este tipo o por dos flujos casi consecutivos.

El afloramiento se extiende por más de un kilómetro por la costa sur del río y alcanza una altura aproximada de 20-25 metros (Fig. 4). Es el más representativo y extenso de todos los afloramientos de esta roca volcánica. La roca es masiva, espesa, de color gris pálido a marrón amarillento y anaranjado, está oxidada, decolorada y/o enmohecida y carece de estratificación, aunque está dispuesta subhorizontalmente.



**Figura 4.** Mapa de los límites de los acantilados en Kangaroo Point (modificado de Queensland Government, Heritage Branch Staff, 2021 (<https://apps.des.qld.gov.au/heritage-register/detail/?id=602400#!lightbox-uid-3>))

Thomas (1999) indica que el color de las tobas es predominantemente rosado a púrpura, y distribuido al azar, y se atribuye a la cantidad y grado de oxidación de los óxidos de hierro y manganeso presentes. Stevens (1984) indica que las ignimbritas se distinguen por su color rosado, verde y malva. Pueden exhibir bandas concéntricas de tonos marrones como resultado de la meteorización. Las ignimbritas suelen presentar diminutos fragmentos angulares de minerales, de otras rocas y de madera carbonizada.

Las rocas se encuentran afectadas por extensivo fracturamiento y diaclasamiento discontinuo. Las diaclasas son subparalelas, tanto verticales como horizontales, cerradas y espaciadas; algunas muestran planos curvados. Fueron presumiblemente iniciadas durante el enfriamiento del flujo volcánico (Willmott, 2012). Se llegan a observar fracturas abiertas subverticales, continuas, que cortan completamente la secuencia, desde su base hasta al tope. Muestran un patrón columnar irregular (Richards, 1933)

Al norte del afloramiento, en una zona de ignimbritas alteradas blanquecinas, suaves y lavadas, se logra distinguir una estructura única tipo dique de 30 cm de

ancho y color verde claro, contentiva de fragmentos de cuarzo y arcilla y de origen sedimentario, resultado de la depositación o inyección de material clástico dentro de fracturas pre-existentes o inducidas tectónicamente (Stevens, 1984; Willmott, 2012).

No hay signos evidentes de plegamiento, salvo unas delgadas capas muy puntuales hacia el extremo oeste, en el parking y al centro del afloramiento.

La Fig. 5 muestra diversas vistas de la ignimbrita en el acantilado de Kangaroo Point. Resalta el grado de fracturamiento que exhibe. Se presenta además un muro perimetral confeccionado con bloques y sillares de ignimbrita multicolor obtenidos de ésta y otras canteras de la zona.



**Figura 5.** Diversas vistas del acantilado de ignimbrita soldada en Kangaroo Point: desde paseo peatonal ubicado en la base (a,d); detalle del grado de fracturamiento de la ignimbrita (b,e); fracturas subverticales cortando parcialmente la roca del acantilado (c); muro perimetral hecho con bloques y sillares de ignimbrita, mostrando los diversos colores que presenta la ignimbrita (f) (Fotos J. Porras)

#### Northern Story Bridge (New Farm River walk)

Es un acantilado situado diagonal y frente de Kangaroo Point, en la ribera opuesta del río, en la zona del terminal de ferrys Howard Smith. Las rocas, expuestas en un tramo de unos 650 metros, desde la base del puente Story, hacia el este, hasta Moray St incluyen metasedimentitas del Grupo Neranleigh-Fernvale y de la toba de Brisbane.

En el sector central de esta zona, a unos 200 metros hacia el este de la base del puente, ambas rocas se encuentran en contacto discordante. Se identifican rocas de grano fino de color marrón blanquecino, suaves, muy meteorizadas y brechadas. Willmott (2012) le calcula un buzamiento aparente de 15° al sureste a la discordancia.

La zona de brecha tiene unos 5 m de espesor y comprende, hacia la base de la ignimbrita, varias capas, entre las que se identifican tobas, lutitas tobáceas, areniscas y conglomerados; y capas alternas de toba sin soldar o lutita tobácea hacia la parte superior (Thorley et al., 2012). Los mismos autores identificaron en la toba cuatro conjuntos de fracturas de orientaciones diferentes.

La toba propiamente dicha está perfectamente expuesta al este de la discordancia. Consiste de una roca masiva, de grano fino a grueso, dispuesta en “capas subhorizontales”, de estratificación aparente entre 5-15°. Se identifican largas fracturas tanto horizontales como verticales, dispuestas en diferentes orientaciones. La

unidad muestra zonas meteorizadas de color marrón pálido y blanquecino, así como parches oscuros producto de la oxidación o enmohecimiento de las rocas (Fig 6 a,b).

Willmott (2012) indica que un dique similar al observado en Kangaroo Point se identifica en el extremo este del acantilado, en una zona donde la ignimbrita tiene un color más claro o decolorado.

#### Brunswick Street

Es una sección de rocas que se encuentra parcialmente expuesta en la famosa, por su vida bohemia y nocturna, Brunswick Street, a mitad de camino entre Langshaw St. y Barker St., por una extensión aproximada de 90 metros y de una altura que apenas supera los 2 metros. Las rocas se encuentran incorporadas a paredes exteriores y muros de edificios residenciales y multiusos.

Se presentan como bloques masivos de tamaños métricos, de colores marrón claro a blanquecino-amarillentos, alterados y decolorados en ciertos sectores, con evidencias de meteorización, enmohecimiento y caolinización. El paquete de rocas muestra una burda estratificación, con tendencia paralela y espesor variable, especialmente hacia su sección superior y está afectado por fracturas subverticales y subhorizontales suficientemente espaciadas y sin ningún patrón específico (Fig. 6 c,d,e).

Embebidos en la roca se observan fragmentos dispersos e irregulares de carbón, o madera carbonizada, cuyo tamaño varía entre 1 y 4 cm; también se aprecian pequeñas cavidades (max 10 mm) producto de la degradación parcial o total de estos fragmentos (Fig. 6d). No se observan partículas de vidrio volcánico ni indicios de burbujas o de escape de gases.



**Figura 6.** Afloramiento de la ignimbrita Brisbane en New Farm River walk (a,b) y Brunswick Street (c,d,e). En la figura d, se logran distinguir pequeños fragmentos de madera carbonizada embebidos en la roca (Fotos J. Porras).

#### Metasedimentitas del Grupo Neranleigh-Fernvale (GNF)

De edad Devónico-Carbonífero temprano (420-350 m.a), son junto a la filita Bunya, de las rocas más antiguas de Brisbane. La unidad está conformada por lutitas, cherts,

jaspes, limolitas, cuarcitas, areniscas feldespáticas y líticas, conglomerados y volcánicas básicas levemente metamorfizadas, pertenecientes a un sistema de abanicos marino profundos (Lohe, 1981).

En la base de datos de las Unidades Estratigráficas Australianas, las definen como meta-arenitas feldespáticas y líticas, metalimolitas y conglomerados de turbiditas proximales, con sílex estructuralmente intercalado o estratigráficamente subyacente, jaspe y metavolcánicas básicas. Le asignan una edad entre Devónico tardío y Carbonífero temprano.

Yacen concordantemente sobre la filita Bunya, un equivalente más deformado de la unidad y alcanzan un espesor superior a 7000 m (SKM/Cornell Warner, 2008).

Lohe (1981) las describe como una secuencia no deformada y sin evidencias de metamorfismo regional. Holcombe (1977) las incluye como parte de las metamórficas de Brisbane y la diferencia de la filita Bunya por su mayor diversidad litológica, carencia de venas de cuarzo y por la ausencia del típico clivaje. Bryan y Jones (1951) afirman que las rocas que forman este grupo difieren de las filitas Bunya, sobre las que descansan con una ligera discordancia, tanto por la litología como por el grado metamórfico.

Estos últimos autores sostienen que la unidad se presenta en un área muy amplia formando depósitos de espesor considerable. La describen como una alternancia irregular de rocas de tipo pelítico como pizarras bandeadas y tipo psammíticos como grauvacas masivas. Incluyen también, rocas altamente silíceas como cuarcitas y jaspes, así como también algunas calizas impuras. Estos diferentes tipos de rocas muestran los variados resultados de un probable metamorfismo regional uniformemente suave.

Baczynski, N.R.P. (2001) señala que las capas suelen tener rumbo NO-SE y buzanan moderadamente hacia el NE, aunque pueden existir otras orientaciones debido al plegamiento regional. Los sedimentos los describe como marinos de grano fino a medio y ocasionalmente volcánicos marinos. La litología puede variar localmente y los cambios de facies estratigráficas y laterales son comunes. Comprende horizontes de arcillita, filita, arenita, arenita cuarzosa, metagrauvaca, cuarcita y metabasalto, comúnmente muy inter laminados, lo cual, junto a lo fino del tamaño de grano dificulta la distinción entre las diferentes litologías.

Deanmead (1927) reconoció lutitas compactas de grano fino, estériles; grauvacas y capas delgadas de cuarcitas teñidas con manganeso. Observó capas plegadas de una manera característica, las cuales exhiben pequeños anticlinales, sinclinales, pliegues y fallas. Grauvacas masivas y peñascos, cuarcitas manganosíferas y cuarcitas masivas brechadas y mineralizadas llegan a encontrarse en la unidad.

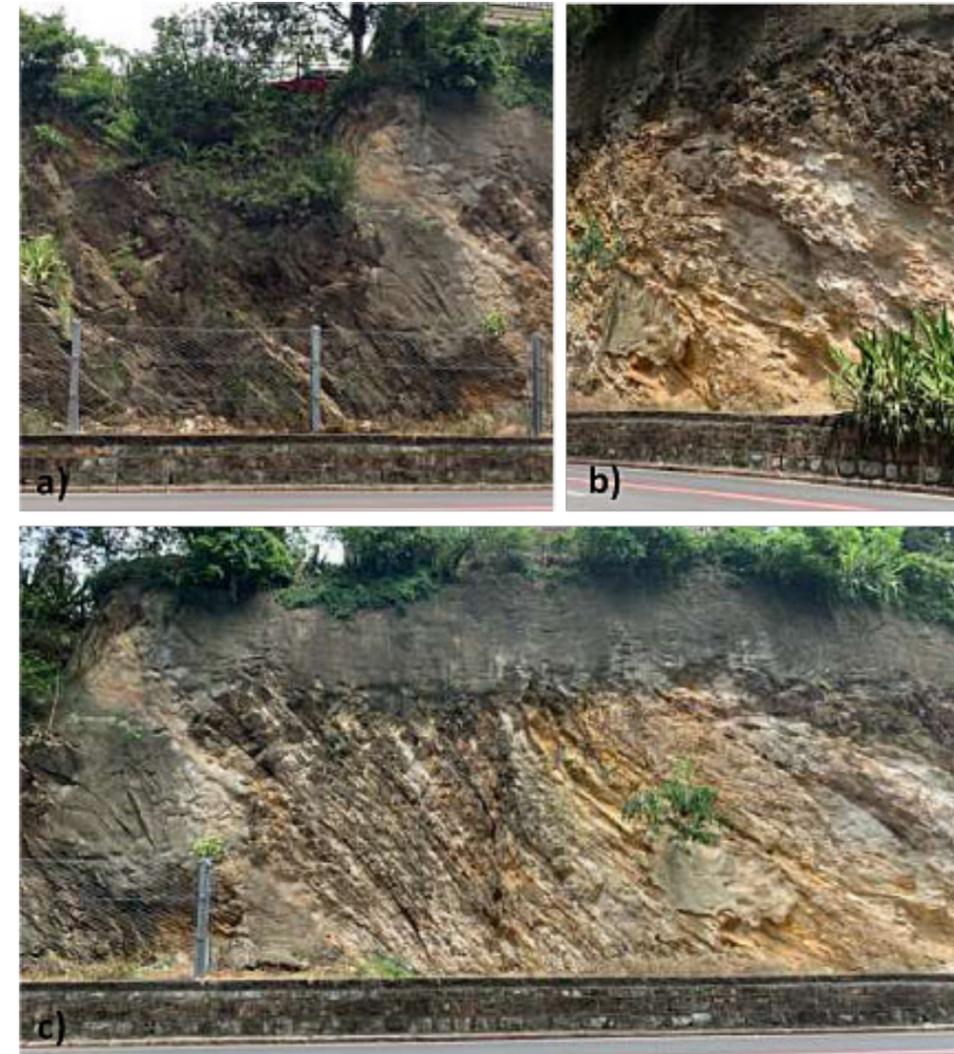
De amplia distribución en la región urbana y suburbana, aflora en diversos sitios, o subyace en gran parte de la ciudad a una profundidad relativamente baja (Baczynski, N.R.P., 2001). En la ciudad son notables los afloramientos de: Adelaide Street, Old Cleveland Road, Roma Park Street y Mont Gravatt, los cuales se detallan a continuación.

Ha sido identificada hacia el S-SE en Redland City e inmediaciones del Gold Coast, y hacia el O-NO hasta la cordillera D'Aguilar. En la zona rural se describe el afloramiento identificado en la carretera de West Mount Cotton en Redland City Council.

#### *Adelaide Street*

Es un corte en una suave colina localizada al final de la calle Adelaide, entre las calles Wharf y Queen, debajo de donde se encuentra la Catedral Anglicana Saint John. El afloramiento tiene unos 15-20 m de altura y una longitud de un poco más de 100 m. En él están expuestas capas inclinadas, de buzamiento E-NE y muy ligeramente plegadas del GNF (Fig. 7). En el afloramiento se distinguen dos sectores con rocas de diferente aspecto y color. Hacia el sector oeste, se observan capas inclinadas, mayormente pelitas, de colores oscuros, masivas, poco estratificadas y algo meteorizadas. Esas rocas ocupan dos tercios del afloramiento, de los cuales, uno está cubierto por vegetación y raíces aéreas de árboles. Hacia el este, se distinguen rocas también inclinadas, con un mayor buzamiento, más laminares y mejor estratificadas, de colores amarillento-ocres y mucho más arenosas. Ambos sectores están en contacto geológico y litológico por falla.

En la zona de falla se observan bloques caídos y rotados, mayor deformación y rocas finas alteradas, fragmentadas y brechadas, de colores blanquecinos.



**Figura 7.** Diferentes vistas del afloramiento de metasedimentitas del GNF en Adelaide Street: (a) sector occidental (b y c) sector centro-oriental. En esta última zona, las rocas son mucho más arenosas, presentan color amarillento-ocre, son más laminares y están bien estratificadas. Buzanan hacia el E-NE. Ambos sectores están en contacto por falla. (Fotos J. Porras)

#### *Roma Park Street*

Se localiza en el boulevard ubicado sobre la estación de trenes subterráneos de Roma St y debajo del Spring Hill Corner, en el sector sureste del Roma Street Parkland. En el corte de la colina está expuesta una sección de más de 100 m de largo por 25 de alto, de arcillitas gris oscuro, finamente laminadas (Fig. 8). Willmott (2012) las describe como arcillitas grises, frescas, finamente estratificadas, de buzamiento también al noreste.

Shen et al. (2022) en un estudio geotécnico para el diseño del soporte primario y el revestimiento

permanente de la estación de trenes, señalan que ésta fue excavada en rocas del Grupo Neranleigh-Fernvale (GNF), que incluye areniscas débilmente metamorfizadas (meta-grauvacas y arenitas), filitas y cuarcitas subordinadas y metabasaltos. Indican que la estación se encuentra dentro de la zona regional de la falla de Normanby, caracterizada por una falla principal de hasta 20 m de ancho y que comprende una combinación de roca fresca intacta, brecha y polvo de arcilla (clay gouge).



**Figura 8.** Afloramiento de argilitas grises, finamente estratificadas y muy levemente metamorfizadas del GNF en Roma Park (Fotos J. Porras)

#### Old Cleveland Road

Es un imponente y colorido corte de carretera ubicado sobre la famosa Old Cleveland Road justo en la intersección con la Creek Road en el suburbio de Carindale (Carina), al sureste de la ciudad. El corte divide la colina en dos secciones geológicamente diferentes, asimétricas y poco correlacionables: una norte que se ubica en el Belmont Historical Parkland y otra sur, dentro del Whatmore Street Park. El afloramiento tiene cerca de 350 metros de longitud en sentido oeste-este y entre 20-30 metros en su parte más espesa. Pierde espesor hacia los extremos.

La sección norte está formada por metasedimentos altamente fracturados, tectonizados y meteorizados, entre los que se distinguen areniscas finas marrones-amarillentas, limolitas, lutitas y arcillitas blanquecinas a gris claro, moteadas en ocre, rojo pálido y tonalidades púrpura. Las lutitas son físilas, laminadas y finamente estratificadas, lajosas y están inclinadas unos 40 grados. Están claramente fracturadas. Las areniscas están muy fracturadas, presentan venas color rosa y/o están

mineralizadas con cuarzo de origen hidrotermal. Las limolitas, lutitas y arcillitas muestran manchas rojizas, marrón rojizo y rosáceas. Son evidentes los rastros de disolución y se observan fracturas y venas color ocre, rellenas de óxido ferruginoso.

En el afloramiento se identifican tres sectores: a) uno occidental, de rocas marrones amarillentas, muy fragmentadas y deformadas; b) uno central, de rocas más masivas, donde se distinguen cambios en los colores de las rocas, hacia más blanquecinas, con tonalidades rosáceas, violáceas y ocre, y con largas fracturas mineralizadas; y c) uno al este, similar a este último, de color gris claro moteado sin las tonalidades rosáceas y violáceas.

En la Fig. 9 se muestran distintas vistas del afloramiento. Resaltan los vistosos colores, el carácter pelítico, laminación y clivaje pizarroso de las rocas, así como la intensidad y multi-orientación del fracturamiento.



**Figura 9.** Diversas vistas de rocas multicolores del GNF a lo largo del corte de la Old Cleveland Road. Además de las variadas tonalidades de colores, se distingue el carácter arcilloso de la secuencia, la fina laminación, el clivaje pizarroso y la intensidad de fracturamiento. Se observan fracturas, venas y venillas en todas direcciones, mineralizadas o no, e incluso pequeñas fallas. (Fotos J. Porras)

Se reconocen zonas donde la secuencia de rocas pierde continuidad, cambiando de color y aspecto, presumiblemente debido a deformación de sedimentos blandos, presencia de pequeñas fallas y fracturas, o como resultado de la meteorización. Las fracturas son abundantes y múltiples, de diferentes escalas y no siguen un patrón, apariencia y dirección única. Están orientadas en muchas direcciones y pueden cambiar abruptamente su dirección en pocos centímetros. El espaciamiento y densidad de fracturas es variable. Se presentan aisladas o en arreglos de varias fracturas, conectadas o no, estas últimas llegan a mostrar un patrón conjugado o radial. Pueden estar abiertas, cerradas o mineralizadas. Se identifican fracturas paralelas a la estratificación.

Hay pocas secciones plegadas; sin embargo, se notan algunas ligeras y muy difusas flexuras o micropliegues.

El tope de la secuencia lo define un horizonte de hasta 3 metros de espesor de rocas arcillosas gris claro a marrón y moteadas en ocre, fracturadas y/o abigarradas, especialmente hacia el centro y este del afloramiento.

La sección sur está conformada principalmente por lutitas, arcillas, limolitas y algunas areniscas finas, todas muy levemente metamorfizadas. Predominan las arcillas grises claro moteadas, con manchas ocre, y menor rosadas, y fracturas rellenas de color ocre. La lutitas son

muy laminadas, físilas, color gris claro con manchas ocre, están fracturadas y fragmentadas. Las areniscas son de grano fino y de color marrón amarillento-rojizo, oxidadas y fracturadas. En general, rocas con coloraciones y motas violáceas y rosadas son pocas, predominan los colores grises pálidos, amarillos y ocre, a diferencia del corte del lado norte opuesto.

Asimismo, en este corte, los paquetes sedimentarios son inclinados y más espesos, permitiendo diferenciar la inter-estratificación y distinguir algunos rasgos estructurales. Las capas se encuentran truncadas al tope. Las discontinuidades observadas en la estratificación son debido a fallas de poco salto o acuñamiento de las unidades. Hacia el borde oeste, la colina alcanza su máxima elevación, si bien el afloramiento está cubierto de vegetación.

#### Mount Gravatt

Mount Gravatt está entre las colinas más elevadas (194 m) de todas aquellas que caracterizan gran parte de la ciudad. Se encuentra a unos 10 km del centro. Las rocas están expuestas en un corte en la ruta que conduce al mirador ubicado al tope de la colina y se ubica a unos 2 km de la avenida principal Logan Road subiendo por Shire Road. A lo largo del corte se identifican se identifican

rocas silíceas (cherts y cuarcitas) de color gris medio, estratificadas, muy plegadas y deformadas, volcadas, fracturadas y dispuestas caóticamente; otras color marrón rojizo opaco, bien estratificadas y otras masivas,

de color gris-marrón, fracturadas (Fig. 10). Stevens (1984) reconoce pliegues en chevron y en caja en los cherts, con planos axiales de rumbo NNO y fuerte buzamiento al oeste.



**Figura 10.** Rocas altamente deformadas y fracturadas del GNF, entre las que se distinguen metapelitas y cuarcitas, en la vía que conduce al mirador de Mt Gravatt. (Fotos J. Porras)

Es uno de los mejores afloramientos para observar los cherts plegados de la unidad y para conocer su historia tectónica y sedimentológica. Para muchos, la geología de Mt Gravatt refleja la geología de toda la provincia de Queensland.

Otros dos elementos geológicos de importancia que involucran capas del Grupo Neranleigh-Fernvale han sido descrito en la zona por varios autores (Stevens, 1984; Willmott, 2012). Uno de ellos es una caverna desarrollada en cuarcitas por efectos de la percolación y canalización de agua meteórica y dispersión y lavado de los fragmentos de roca; y el otro es, una discordancia entre las capas de esta unidad y el Subgrupo Woogaroo, notable por el cambio litológico, en el color y grado de meteorización y por la inclinación de las capas.

#### *Kangaroo Point & Story Bridge*

En ambas zonas, lo notorio es el contraste litológico y el contacto discordante entre las sedimentitas del Grupo Neranleigh-Fernvale y las ignimbritas triásicas.

Hacia la ribera norte, predominan metasedimentitas y filitas (¿?) de color gris verdoso oscuro a marrón verdoso, laminares, de buen clivaje pizarroso, leve buzamiento al este y con fracturas espaciadas. Thoeley et al. (2012) identificaron tres orientaciones estructurales diferentes y

dos conjuntos de diaclasas. La filita expuesta en el acantilado está visiblemente meteorizada.

En el extremo oeste de la caminerías del Kangaroo Point (Lower River Terrace), se identifica un tramo con capas de la unidad, algunas pocas muy levemente plegadas. En general, las rocas en este sector son de grano fino, color marrón claro y gris verdoso oscuro, masivas y foliadas, de clivaje paralelo y diaclasadas en dos direcciones principales. Es común encontrar rastros claros de erosión y meteorización que pueden afectar y alcanzar internamente las fracturas. Estas últimas áreas son de colores claros, arcillosas, polvorientas e inestables, propensas a derrumbes y caída de bloques.

#### **Filita Bunya**

Considerada como parte del basamento, consiste en metasedimentitas de edad Devónico tardío-Carbonífero, de bajo grado, en la fase de esquistos verdes, caracterizadas por la intrincada red de fracturas mineralizadas y plegadas que presentan.

Bryan & Jones (1951) indican que consisten en sedimentos predominantemente pelíticos, de edad Paleozoico temprano o Precámbrico, que han experimentado un metamorfismo regional moderado. Están expuestos, en una franja, de unos 10 km de ancho, que se extiende hacia el N-NO en la provincia. Jones &

Stevens (1967) proponen que las rocas están formadas por una alternancia paralela de bandas anchas de material micáceo oscuro (principalmente sericita y grafito) y otras bandas más delgadas de cristales de cuarzo muy pequeños y grano uniforme, entre los cuales se dispersan numerosos cristales diminutos de clorita verde. Observan que la foliación es pronunciada, pero la estratificación no es aparente.

Holcombe (1977) la define como una unidad monótona de rocas de clivaje pizarroso o esquistosidad bien desarrolladas, fuertemente entrelazadas con vetas de cuarzo y cuarzo-clorita de grano fino, muchas de ellas plegadas o curvadas, lo que le da esa gran complejidad, las cuales, junto con delgadas laminaciones de chert, provocan una marcada irregularidad en la fisilidad de la roca.

Willmott (2012) y Marques & Williams (2015) señalan que estas rocas se originaron a partir de sedimentos de grano fino a fangoso, aunque también pueden provenir de otros sedimentos recristalizados y/o de grano medio. Hacia el SO del centro de la ciudad llega a estar intercalada con delgadas capas de cuarcita y rocas verdes metavolcánicas. Los mismos autores la definen como una roca metamórfica intensamente plegada y deformada, de color gris claro a medio con bandas de mica y cuarzo y de foliación fina, generada por la recristalización de la mica laminar. La roca presenta venas de cuarzo paralelas a la foliación o que están fuertemente plegadas y retorcidas. Las principales estructuras geológicas reconocidas son el clivaje pizarroso bien desarrollado, algunas familias de fracturas tectónicas, pequeños pliegues y las variaciones en la orientación de la foliación. Holcombe (1977)

identificó estructuras del tipo “kink bands” tanto aisladas como continuas y conjugadas. Notó que aumentan en intensidad cerca de pequeñas zonas de falla o de algunos de los diques intrusivos ácidos del área.

La unidad se encuentra comúnmente en los suburbios occidentales de Brisbane, principalmente en Indooroopilly, Taringa y Santa Lucía y hacia Mount Coot-Tha.

#### *Ithaca Creek, Mt. Coot-Tha*

Es una pequeña quebrada que nace en el Mount Coot-Tha, en los suburbios occidentales de la ciudad. Pertenece a la cuenca hidrográfica Enoggera Creek y es alimentada por arroyos locales. El sitio se localiza muy cercano a una zona de picnics, senderismo y parqueadero de la citada quebrada y cerro.

Las rocas en esta área son de color variable entre gris claro, gris oscuro, negro y marrón. Se diferencian varios tipos de rocas dentro de la unidad: a) unas hacia los bordes de la quebrada, de color gris claro a marrones, algo estratificadas y bandeadas y en bloques medianos; b) otras dispersas, en bloques masivos de gran tamaño, de color gris oscuro, con numerosas venas de colores más claros, en arreglos multidireccionales que se intersectan entre sí, sin foliación aparente y c) otro grupo de rocas, de color negruzco, las cuales presentan bandas blancas paralelas de espesor variable, pequeños pliegues y microfallas.

La Fig. 11 muestra los varios tipos de rocas del afloramiento, donde destaca, la intrincada red de fracturas mineralizadas, multidireccionales y/o paralelas. Se lograron identificar micropliegues y microfallas.



**Figura 11.** Afloramiento de la Filita Bunya en Ithaca Creek. Destaca la intrincada red de fracturas mineralizadas, orientadas en múltiples direcciones, en un caso, y la alternancia paralela de venas claras, blanquecinas, microplegadas o no, en otros casos. La foliación de las rocas es moderada. (Fotos J. Porras)

En esta zona la filita Bunya está influenciada por el granito Enoggera, de textura granular y color naranja, quien la intruye y metamorfiza a hornfel. La filita es típicamente gris oscuro a negra con foliación prominente y abundantes venas y lentes de cuarzo. Los hornfels son duros, gris oscuro y presentan una fábrica limitada. Estas rocas pueden estar interestratificadas, incluso con cuarcitas o filitas ricas en cuarzo asociadas al granito. Pueden presentarse también como capas más espesas.

## 2. ZONA RURAL

### Metasedimentitas del Grupo Neranleigh-Fernvale (GNF)

#### West Mount Cotton

Es una sección de rocas de color ocre-rojizo expuesta en la carretera rural de West Mount Cotton (Redland City

Council), cercana al acceso a una cantera de cuarcitas feldespáticas y meta-grauvacas y del área de conservación "Eastern Escarpment". Se encuentra a unos 27 km al SE de Brisbane (Fig. 12).

Sigue una dirección SW-NE, en la misma dirección de la vía, y se encuentra en el flanco NW del alineamiento de Mt Cotton. Su elevación es de 110 m aproximadamente.

El afloramiento consiste principalmente de rocas inmaduras de granos finos como limolitas y arcillitas, muy pocas areniscas de grano muy fino, aunque se distinguen fragmentos diseminados de meta-areniscas o cuarcitas duras, de grano fino a medio y grauvacas. En el área, los escarpados consisten en una combinación de suelos podzólicos rojos y amarillos y litosoles hacia las crestas de cuarcita, y de arcillas rojas en las laderas (Mak, 2018).



**Figura 12.** Afloramiento del GNF en West Mt Cotton. Destaca la ausencia de areniscas, el carácter pelítico-arcilloso, la fina estratificación y laminación y los colores ocre y rojizos de las rocas. La secuencia se encuentra afectada por fracturamiento intenso y por pequeñas fallas. (Fotos J. Porras)

Se distinguen varios sectores a lo largo del corte: a) sector sur, de capas color crema a blanquecino con algunas manchas amarillas y ocre de óxido de hierro, claramente estratificada b) sector central, de capas blanquecinas, arcillosas, moteadas más del 50% en rosado predominantemente, con estratificación más marcada, muy levemente plegada, cortada por pequeñas fallas, numerosas fracturas verticales y oblicuas, otras conjugadas, algunas con mineralizaciones de color blanco y con claros lentes discontinuos de arcilla ( $\delta$ ) color crema y estriaciones. En esta zona se observa una superficie irregular, coloreada en ocre, erosiva, que la separa del sector norte. Es notable el cambio de color, las terminaciones estratigráficas contra ella y las formas truncadas desarrolladas. Manchas bandeadas de colores ocre cortan abruptamente la estratificación y están contiguas a ella, y c) sector norte, donde las tonalidades rosadas disminuyen progresivamente en esa misma dirección, difuminándose y tornándose más blanquecinas, amarillentas y/o marrón pálido hacia el tramo final, donde se observan cambios en el buzamiento de las capas y aparentes planos de fallas. La estratificación en este sector es notoria, media a fina, llegándose a identificar algunas capas e intercalaciones de mayor

espesor. El tope del corte es, en general, un horizonte ocre, limolítico, meteorizado, de espesor variable.

T-Rocks (2024) sugiere que estas rocas, en general, son el resultado de la descomposición de ceniza volcánica e identifica arcillas bentoníticas en el afloramiento. Mediante espectrometría de rayos gamma/variación radiométrica, reconoce altas concentraciones de K y menores de los elementos U y Th, asociado a la degradación de granitos, fenómeno común en el GNF.

### CONCLUSIONES

Por la rica historia geológica que encierran, por su rareza y por su valor escénico, la mayoría de los afloramientos descritos en este trabajo han sido declarados sitios de significancia dentro del patrimonio de la ciudad. Otros, aunque no lo están, cumplen con los criterios de selección para una eventual inclusión, como los localizados en la intersección de la Old Cleveland Road con Creek Road, formando parte de los parques adyacentes, y el de Mount Cotton, ambos sitios donde se exponen rocas metasedimentarias del Grupo Neranleigh-Fernvale.

Otros afloramientos igual de espectaculares se consiguen en las afueras de la ciudad, como los identificados en cortes de rutas y canteras del Distrito de Ipswich donde se distinguen calizas, rocas volcánicas,

restos fósiles, lutitas fosilíferas y carbonáceas y capas de carbón; y las famosas agujas volcánicas del Parque Nacional Glass House Mountains. Por ser, en ambos casos, rocas de diferente origen, significancia y edad, merecen un trato diferente y especial.

#### REFERENCIAS

Baczynski, N.R.P., 2001. Australian Geomechics Journal, Volume on Geotechnical Engineering & Engineering Geology, Brisbane and SE Queensland, Vol 36, No 3 (Sep 2001), pp 9-15.

Briggs C., 1929. The Brisbane Tuff. Proceedings of The Royal Society of Queensland for 1928, Vol. XL, No. 12, p 147-164. Issued March 1929.

Bryan W. H. & O. A. Jones O.A., 1951. Explanatory Notes to Accompany a Geological Map of the City of Brisbane, University of Queensland Papers, Department of Geology, Vol III (N.S), Number 13, 6 p.

Denmead A.K., 1927. A survey of the Brisbane Schists. Proceedings of The Royal Society of Queensland for 1927, Vol. XXXIX, No. 7, p71-106. Issued Feb 1928.

Gould R.E., 1967. The Geology of the Slacks Creek Area, Southeast Queensland, University of Queensland Papers Department of Geology, Volume VI Number 5, University of Queensland Press, St. Lucia

Holcombe R. J., 1977. Structure and Tectonic History of the Brisbane Metamorphics in the Brisbane Area, Journal of the Geological Society of Australia, Vol. 24, Pt 8, pp. 475-490, December, 1977

Houston Beverly R. and Tucker R.M., 1965, Explanatory Notes to Accompany a Geological Map of the City of Brisbane, Geological Survey of Queensland, Publication No. 323, 14 p.

Houston Beverly R., 1967. Economic Geology of the City of Brisbane, Geological Survey of Queensland, No. 325

Jones O. A. and Stevens N. C., 1967. Notes on the Geology of the University of Queensland Experimental Mine, University of Queensland Papers, Department of Geology, Volume VI, Number 4, University of Queensland Press.

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

Lohe, Eric Manfred, 1981. The Neranleigh-Fernvale beds of southeastern Queensland: petrology, sedimentology, structure metamorphism, and tectonic evolution. PhD Thesis, School of Physical Sciences, The University of Queensland  
<https://doi.org/10.14264/uql.2014.533>

Mak Planning & Design Pty Ltd, 2018. Eastern Escarpment Conservation Area Plan: Connecting with Recreation. Report for Redland City Council.

Marques E.A.G. and Williams D. J., 2015. Weathering profiles of Bunya Phyllite in southwest Brisbane - A geotechnical approach, Proceedings of the 12<sup>th</sup> Australia New Zealand Conference on Geomechanics, Graham Ramsey (eds). Queensland Government Home <https://apps.des.qld.gov.au/heritage-register/detail/?id=6024> (Acceso Mayo 2024)

Richards H. C. and Bryan W.H., 1927. Volcanic Mud Balls from the Brisbane Tuff, Proceedings of the Royal Society of Queensland, Vol. XXXIX., No. 5., p 50-65.

Richards H.C. and Bryan W.H., 1933. The problem of the Brisbane Tuff, Proceedings of the Royal Society of Queensland, Vol. XLV, No. 11., p 54-60.

Shen B., Clarke S., Rogan A.r & McCormack P., 2022. Design and Construction of Roma Street Station Cavern, Cross River Rail, Brisbane. Australian Geomechanics Journal. 115-128. 10.56295/AGJ5744.

SKM/Aurecon, 2011. Cross River Rail Technical Report, Chapter 7, Topography, Geology, Geomorphology and Soils.

Stevens N.C., 1984. Queensland Field Geology Guide, Geological Society of Australia (Queensland Division), p 112.

Thomas, Glenn S., 1999. Porphyry, tuff and loose specifications. Landscape Australia 21(2):pp. 124-126

Thorley C.B., B.E. MIE (Aus), RPEQ and T. Weingarth B.E., 2012. Remediation of a Major Urban Rock Slope - Howard Smith Wharves, Brisbane, 11th Australia New Zealand Conference on Geomechanics Proceedings, downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE).

T-Rocks, Unexpected Geology of Brisbane's Adelaide Street Road Cutting, Youtube Video. <https://www.youtube.com/watch?v=La9Go31NRck> (acceso Dic 2024)

T-Rocks, Brisbane's Carindale Cutting Haf a Billion Years exposed, Youtube Video. <https://www.youtube.com/watch?v=JUN29XqQitY&t=648s> (acceso Mayo 2024)

T-Rocks, We go Over the Rainbow at this Colorfoul Mt Cotton Road Cutting, Youtube Video <https://www.youtube.com/watch?v=KGtGmLZW22Y> (acceso Mayo 2024)

Willmott W., 2007, Rocks and Landscapes of the Sunshine Coast, Revised 2nd Edition, Geological Society of Australia, Queensland Division, 66 p.

Willmott W., 2012, Rocks and Landscapes of Brisbane and Ipswich, 2nd Edition, Geological Society of Australia, Queensland Division, 86 p.



**Jesús S. Porras** es Ingeniero Geólogo con maestría en Ciencias Geológicas de la Universidad Central de Venezuela. Posee amplia experiencia profesional tanto en proyectos de exploración como de desarrollo de reservorios convencionales y no convencionales en Venezuela, Colombia, Perú y Argentina.

Se ha desempeñado como Geólogo de Operaciones y de Producción en la Cuenca Oriental de Venezuela; como Superintendente de Yacimientos y Gerente Técnico del campo La Concepción, en la Cuenca de Maracaibo y como Technical Advisor, este último en Exploración Argentina. Actualmente trabaja como Geólogo Consultor Senior liderando grupo de estudios integrados de yacimientos para consultoras y operadoras nacionales e internacionales.

Su principal interés es la evaluación técnico-económica tanto de áreas exploratorias como de campos maduros y la caracterización de reservorios convencionales y no convencionales, entre los que se incluyen shale y tight plays, carbonatos e ígneo-metamórficos naturalmente fracturados, y el monitoreo a proyectos exploratorios, de avanzada y desarrollo. Tiene especial afición por la identificación, evaluación y documentación del patrimonio geológico y sitios de interés geológico y por la promoción del geoturismo y la geología urbana.

Es miembro activo de varias asociaciones geológicas locales e internacionales y autor o coautor de numerosos trabajos en congresos, ponencias, seminarios y revistas técnicas especializadas.



**Sólo aquellos que intentan el absurdo pueden lograr lo imposible.**

*Albert Einstein*

# Foro de discusión

# Discussion Forum

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

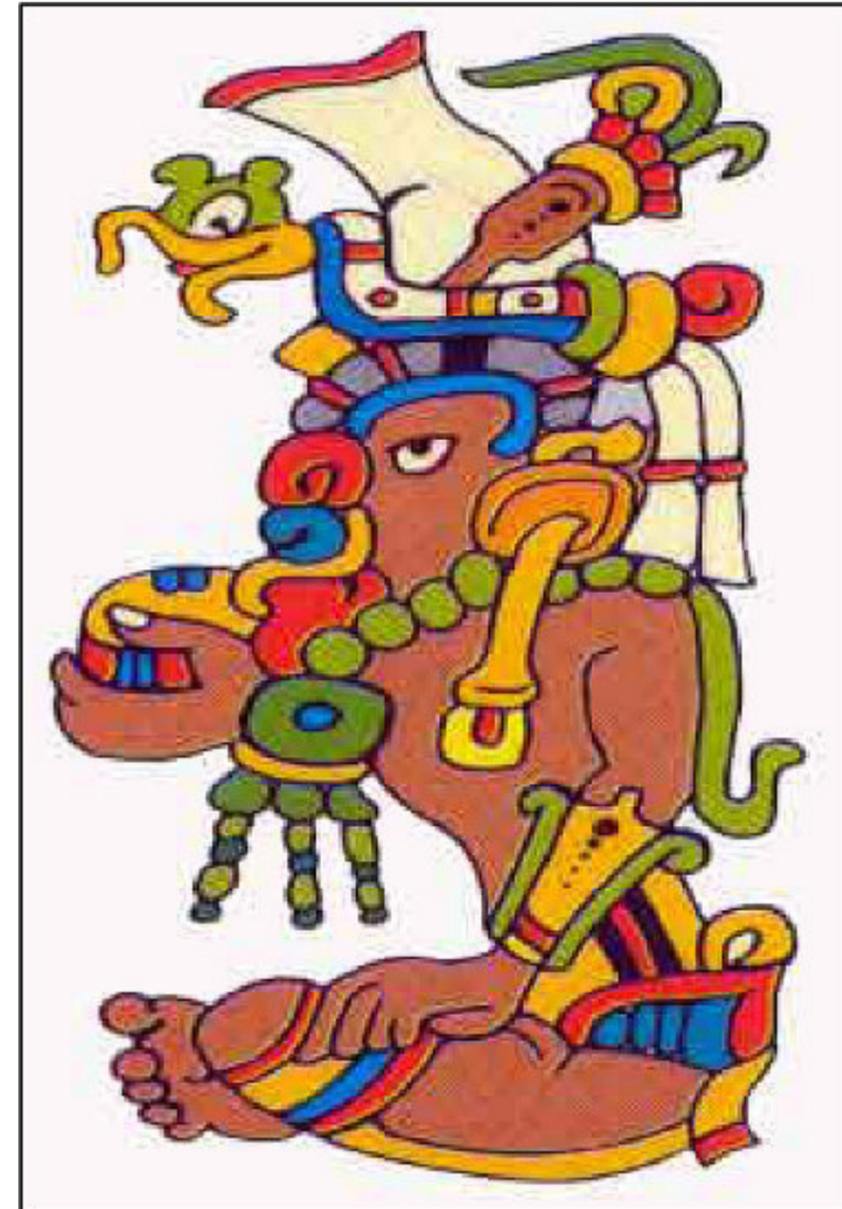
Por favor envíen sus observaciones, comentarios y sugerencias a cualquiera de los Editores de la Revista Maya de Geociencias.

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

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

# MISCELÁNEOS

Xaman Ek, Dios de la Estrella Polar



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

# Museo de Historia Natural, Santa Barbara, California.

**Haz click en la imagen**



[Switch Energy Alliance](#) is thrilled to announce the launch of the 2024 [Switch Competition](#) a global competition that challenges university students from all around the world to tackle the pressing issue of energy poverty.. This competition is more than just a contest; it's an opportunity for students to innovate, collaborate, and make a real impact, while competing for \$25,000 in prize money.



Since its inception in 2020, Switch Competition has seen over 3,200 students from 55 countries rise to the challenge, guided by more than 730 volunteers from various energy-related professions who serve as mentors and judges. This year promises to be even more exciting as we expand our global reach.

### Who Can Participate?

The competition is open to both graduate and undergraduate students, regardless of discipline, year of study, university, country, or continent. This diversity ensures a wide range of perspectives and innovative ideas.

### Key Dates for the 2024 Competition:

- Friday, Sept 1 - Switch Competition registration opens
- Friday, September 27 - Registration for Switch Competition ends
- Monday, September 30 - Competition begins, teams receive case packets
- Saturday, October 5 - Kick-off with Dr. Scott Tinker & Competition Q&A
- Sunday, October 6 - Teams must submit scenario of choice
- Monday, October 7 - Mentor assignments for teams that submitted countries
- Sunday, October 27 - End of preliminary round (deadline to submit)
- Friday, November 1 - Energy Career Path Session #1, Semifinalists announced
- Tuesday, November 5 - Energy Career Path Session #2, Finalists announced
- Saturday, November 9 - Finals Round, Live

<b>SEPT 01</b> 2024 Competition registration opens	<b>SEPT 27</b> 2024 Registration for Switch Competition ends	<b>SEPT 30</b> 2024 Competition begins, teams receive case packets
<b>OCT 06</b> 2024 Teams must submit scenario of choice	<b>OCT 27</b> 2024 Preliminary round submission deadline	<b>NOV 01</b> 2024 Semifinalists announced
<b>NOV 05</b> 2024 Finalists announced	<b>NOV 09</b> 2024 Finals Round, Live	

### What to Expect

Over three weeks, teams will dive deep into their chosen energy issue, conduct research, and craft a compelling presentation that outlines their solution. Along the way, they'll be mentored by energy professionals who will guide them through the complexities of their chosen topic. These mentors, along with our judges, play a crucial role in determining which teams advance to the semifinals and finals.

Workshops for Mentors, Judges, and Team Leaders will ensure everyone is well-prepared for their roles, with additional support available through Slack channels. During the judging period in November, "Energy Career Path Sessions" will give sponsoring companies and universities a platform to present their offerings, discuss internship and entry-level opportunities, and share insights into energy-related career paths with participating students.

### Why Get Involved?

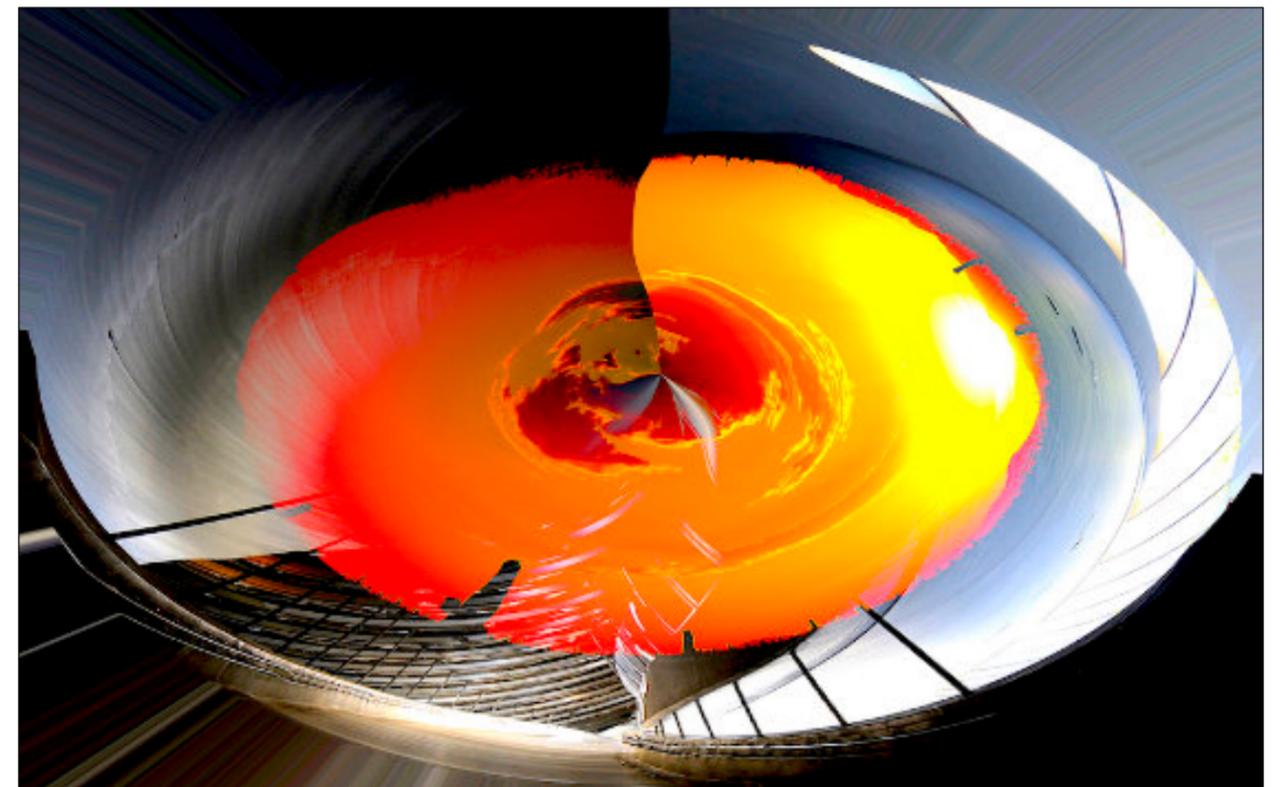
Participation in the competition allows students to develop a better understanding of critical global energy issues, receive broad recognition by competing in an international competition, can hone their leadership skills while engaging with a global energy non-profit, Network with energy professionals, develop research and communication skills, gain experience in working virtually and communicating with a remote team, and compete for cash prizes!

We also need passionate mentors and dedicated judges to help guide these ambitious teams through the competition.

Volunteering requires only a small time commitment but offers the immense reward of watching students engage with and solve one of the world's most pressing challenges. Registration opens on September 1st, 2024, for both students and volunteers interested in making a difference.

For more information, check out this [short video](#) or visit the competition website for more information.

Contact Program Manager [Carl Steffensen](#) to be added to the distribution list for future emails, and let's work together to inspire the next generation of energy leaders! [carl.k.steffensen@gmail.com](mailto:carl.k.steffensen@gmail.com)



**La mejor manera de predecir el futuro es inventándolo.**

*Alan Kay*

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

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

Comité de Educación y Divulgación de GeoLatinas. División GeoSeminarios

COMITÉ DE EDUCACIÓN Y DIVULGACIÓN

# GeoSeminarios

**¡QUEREMOS DAR A CONOCER TU TRABAJO!**

En GeoLatinas estamos por comenzar la temporada 2023 de **GeoSeminarios**

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

¡Y nos encantaría dar a conocer tu trabajo de

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

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

Escánelo!

O envíanos un mensaje en nuestras redes sociales.  
(\*Esta iniciativa está abierta a todo género, raza, edad, etc.)

GeoSeminarios disponibles en:

GeoLatinas: Latinas in Earth and Planetary Sciences

geolatinasista  
GeoLatinas\_per\_mexico  
eGeoLatinas

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

ENSEÑANZA Y COMUNICACIÓN DE LAS GEOCIENCIAS

IUGS COGE

Volumen 3, Número 1, Junio 2024

### "Herramientas prácticas para comprender el origen de la vida"

Síntesis

Concentración

Selección

Polimerización

Plegamiento y propiedades emergentes

Valderrama-Méndez et al., 2024

PARA TODOS AQUELLOS QUE TIENEN QUE ESCRIBIR TESIS, DISERTACIONES, REPORTES TÉCNICOS, Y PUBLICACIONES CIENTÍFICAS, LA SIGUIENTE LISTA DE APLICACIONES “OPEN SOURCE” FUERON IDENTIFICADAS POR:

DR. JORDI TRITLLA CAMBRA

**Para imágenes:**

XNVIEW: <https://www.xnview.com/en/>

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

Darktable: [www.darktable.org](http://www.darktable.org)

**Para Petrología Ignea:**

GeoChemical Data toolkit: (GCDkit): <http://www.gcdkit.org/>

**Para imágenes científicas:**

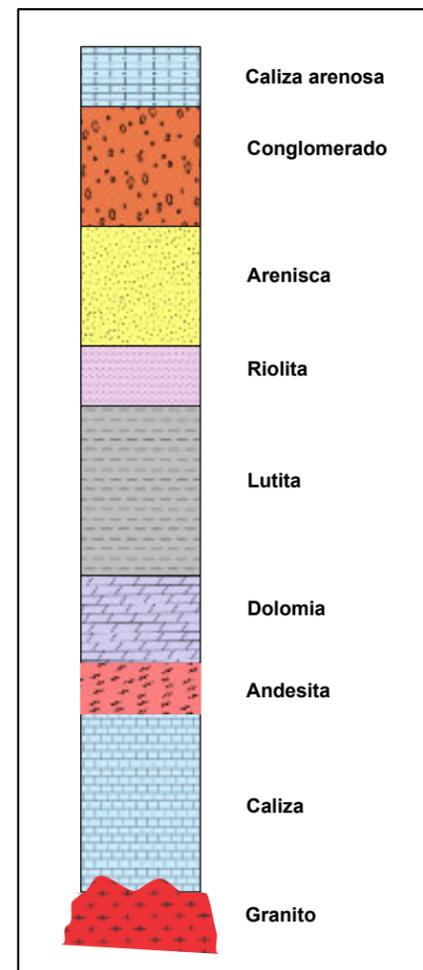
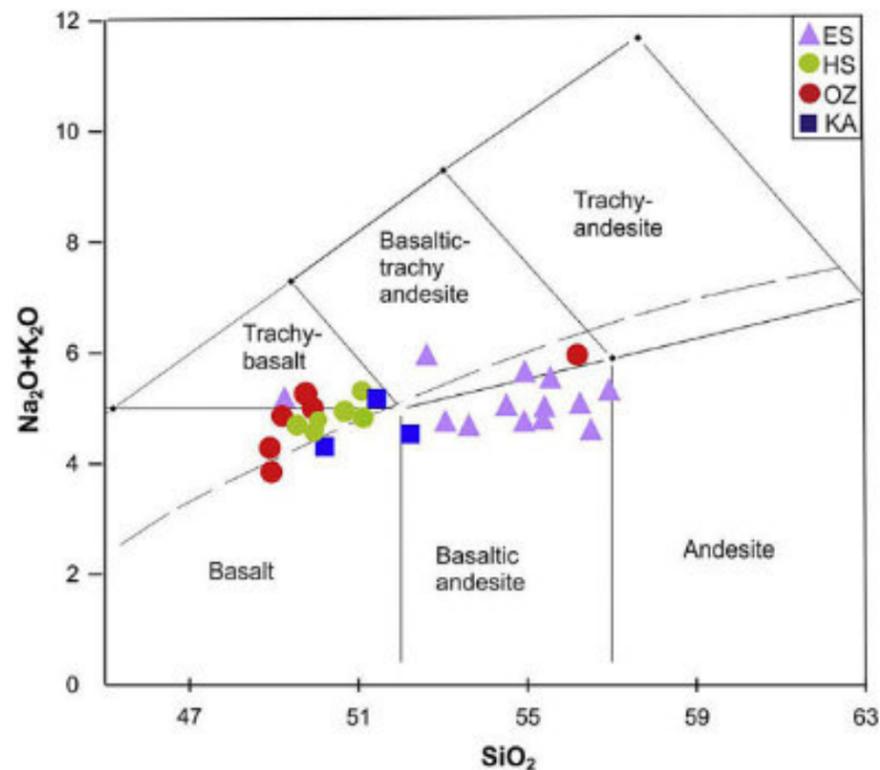
Fiji: <https://imagej.net/software/fiji/>

**Para Gráficos científicos:**

Veusz: <https://veusz.github.io/>

Inkscape: <https://inkscape.org/>

**EJEMPLOS DE ILUSTRACIONES**



**Abstract Portal Now Open!**

40th Annual GCSSEPM Foundation Perkins-Rosen Research Conference December 2-4, 2024 Houston, TX

[Abstract Submission Form is a second attachment](#)

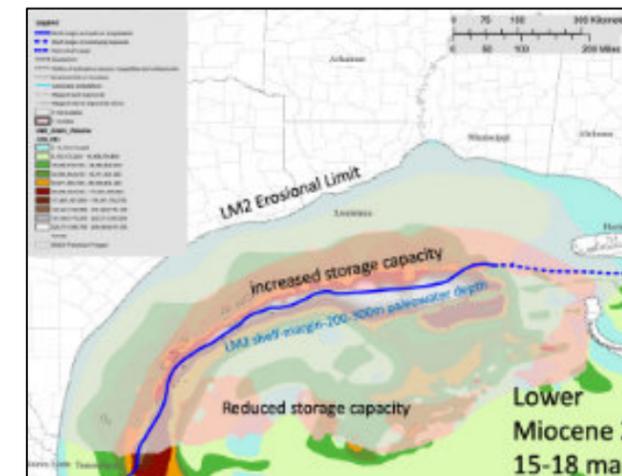


**Old Rocks, New Energies**

**The Energy Transition in the Gulf Coast and Basin**

**Announcement and Call for Papers**

<https://www.sepm.org/2024-perkins-rosen-gcssepm-rc>



Areas of potential CO2 storage for the Lower Miocene 2 of Texas and Louisiana, combining CO2 suitability (depth range between supercritical cutoff and Top of Hard Overpressure (0.70 psi/ft) with reservoir grain volume (inverted porosity) (Snedden, Sweet, and Whiteaker, GBDS UT-Austin).

The Gulf Coast and adjacent basins are poised to become a hub for new energies, including continuing and emerging sources such as geothermal and hydrogen, as well as serving as a storage repository for anthropogenic carbon in the subsurface of onshore and offshore areas. The GCSSEPM Foundation 40th Annual Perkins-Rosen Research conference will open with thoughts on the challenges of the energy transition, broad insights on basin fundamentals, and using that knowledge to guide our thinking on these new energy sources and subsurface storage requirements.

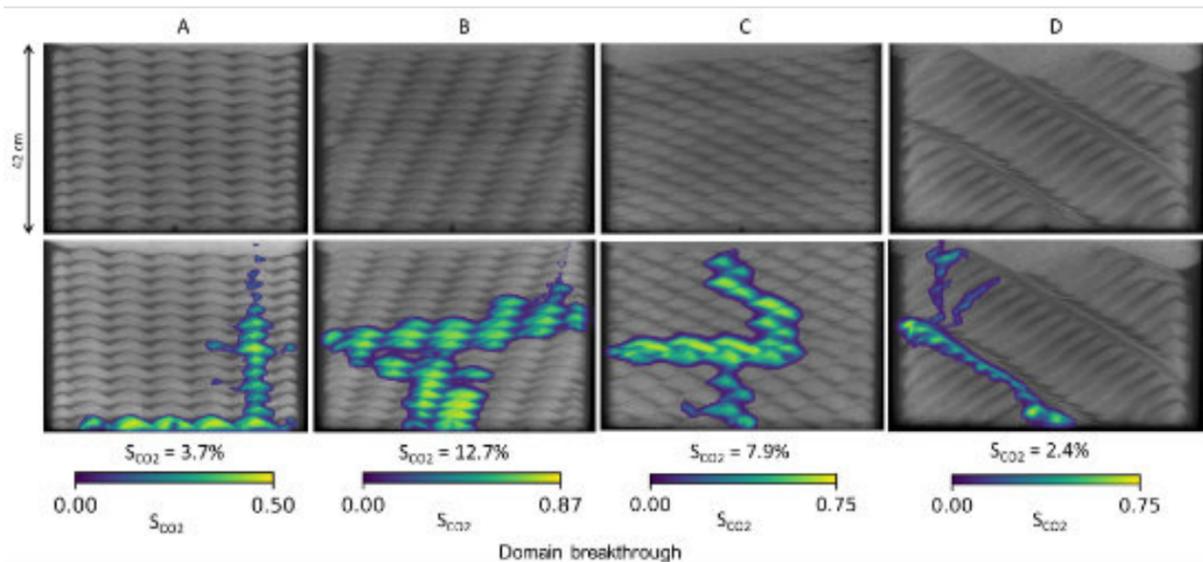
This broad research conference aims to attract a diverse set of papers illuminating the near-term and long-range energy future of this complex yet prolific energy-producing sedimentary basin. It will further offer opportunities to explore the range of resource potential in the basin, as well as network with other Gulf basin researchers.

The conference themes will include:

- 1) Overview of the new energy challenge for the Gulf Basin
- 2) Gulf Basin fundamentals relevant to the new energies

- 3) Carbon capture and storage: simulation, modeling, and site characterization
- 4) Hydrogen (H<sub>2</sub>) underground storage and utilization
- 5) Geothermal energy: subsurface occurrence and practical application
- 6) Water and critical mineral resources in the Gulf Coast subsurface
- 7) Transition of existing O&G skills to the new energies; new workforce ideas
- 8) Machine learning for alternative energies and critical minerals

A mix of invited and volunteered oral and poster presentations will be accompanied by potential short courses and core workshops in Houston, Texas. We encourage student poster sessions and presentations.



Numerical modeling of injected CO<sub>2</sub> plume movement into various small scale bedform types (Ni and Ubiulus, BEG UT Austin)

### Organizing Committee - Conveners

#### Organizing Committee - Conveners

- **Clare Falcon:** [cfalcon@lsu.edu](mailto:cfalcon@lsu.edu) - Louisiana Geological Survey, Baton Rouge, LA
- **John Snedden:** [jsnedden@ig.utexas.edu](mailto:jsnedden@ig.utexas.edu) - UT Institute for Geophysics, Austin, TX
- **Cindy Yeilding:** [cindy.yeilding@swbell.net](mailto:cindy.yeilding@swbell.net) – Houston, TX
- **Hailun Ni:** [hailun.ni@beg.utexas.edu](mailto:hailun.ni@beg.utexas.edu) – Bureau of Economic Geology, Austin, TX
- **Robert Bruant:** [rbruant@outlook.com](mailto:rbruant@outlook.com); BP, Houston Texas
- **Bianca Kennedy:** [kennedybia@gmail.com](mailto:kennedybia@gmail.com); Baton Rouge, LA.
- **Milly Wright:** [mwright@rohmtex.com](mailto:mwright@rohmtex.com), Houston, Texas
- **Janine Helmich:** [jhelm@equinor.com](mailto:jhelm@equinor.com); and **Matt Croy:** [mcroy@equinor.com](mailto:mcroy@equinor.com); Houston
- **Luke Walker:** [lukw@equinor.com](mailto:lukw@equinor.com); Site Coordinator for Equinor, Houston

### Important Dates and Deadlines Perkins-Rosen Research Conference 2024:

July 25, 2024	Abstract Submissions Open
August 3, 2024	Preliminary Program Announced
September 6, 2024	Abstracts, Extended Abstracts and Full papers due
October 18, 2024	Revised version of abstracts, extended abstracts, and papers due
December 2-4, 2024	Gulf Coast Section, SEPM Perkins-Rosen Annual Research Conference in Houston, Equinor Office Complex

**Abstract submission Portal Open Now at**

[https://drive.google.com/drive/folders/19hKmq6fF6uTOfl679sf9pMpGsEJ4MRkF?usp=share\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/19hKmq6fF6uTOfl679sf9pMpGsEJ4MRkF?usp=share_link)  
just upload a word or pdf file to the google drive

or send it to  
[mtomlinson@sepm.org](mailto:mtomlinson@sepm.org)

**Venue is Equinor's office complex in West Houston**  
2107 CityWest Blvd., Suite 100, Houston, Texas 77042.

For more information, or to sponsor the Conference, contact:

John R. Suter, Executive Director, The GCSSEPM Foundation at  
[gcssepm1@gmail.com](mailto:gcssepm1@gmail.com).



The GCSSEPM Foundation supports and complies with the [SEPM Code of Conduct](#)



**40<sup>th</sup> Annual GCSSEPM Foundation Perkins-Rosen Research Conference**  
**Old Rocks, New Energies**  
**The Energy Transition in the Gulf Coast and Basin**

**December 2-4, 2024**  
**Abstract Submission Form**

Please complete this form and submit it with your abstract. Abstracts should be no more than 250 words. One figure is allowed. Please return your abstract to [mtomlinson@sepm.org](mailto:mtomlinson@sepm.org) or upload at [https://drive.google.com/drive/folders/19hKmq6fF6uTOfl679sf9pMpGsEJ4MRkF?usp=share\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/19hKmq6fF6uTOfl679sf9pMpGsEJ4MRkF?usp=share_link)

Please send your abstract as a Word document. **Please do NOT send PDF versions.**

**Title of Abstract:**

**Keywords:** (maximum of four):

**Corresponding Author:**

**Company/Affiliation:**

**Address** (City/state/postal code):

**Country:**

**Email address:**

**Student/Early career:** YES / NO

**List Co-Authors** (name, company/affiliation, and email):

**This abstract is offered for:**

- Oral presentation
- Poster presentation
- Oral or Poster presentation

Has this material been presented elsewhere? (if yes, please indicate where and when);

Acknowledge that you have permission to present and publish this content:

All accepted abstracts are expected to submit a paper for the proceedings volume by the date shown on the Call for Papers.



**XXXIV Congreso Nacional de Geoquímica**

**Universidad Autónoma de Baja California Sur**  
 La Paz, Baja California Sur, México

**Cursos**

**Del lunes 07 al miércoles 09 de octubre**  
 15:00 - 17:00 hrs

	<p><b>Curso: Geoquímica de exploración</b>  <b>Imparte:</b> Dr. Tomás Israel Grijalva Rodríguez          Estudiante de PhD en Geoquímica ambiental en Ben-Gurion University of the Negev, Israel.  <b>Modalidad:</b> Presencial</p>
	<p><b>Curso: Inclusiones fluidas</b>  <b>Imparte:</b> M.C. Edith Fuentes Guzmán          Investigadora-Técnico académico responsable del Laboratorio de Catodoluminiscencia e Inclusiones Fluidas del LANGEM en el Instituto de Geología, UNAM.  <b>Modalidad:</b> Presencial</p>
	<p><b>Curso: Termo-cronología por trazas de fisión</b>  <b>Imparte:</b> Dr. Fanis Abdullin          CONAHCYT – Programa Investigadores por México.  <b>Modalidad:</b> Presencial</p>
	<p><b>Curso: Geoquimiometría para el manejo de datos experimentales</b>  <b>Imparte:</b> Dr. Daniel Pérez Zarate          Instituto Mexicano de Tecnología y Agua (IMTA).  <b>Modalidad:</b> Presencial</p>

Dirígete al siguiente Qr y sigue los pasos para inscribirte al curso de tu interés

<https://sites.google.com/view/inageq2024uabcs/inicio> Instituto Nacional de Geoquímica - INAGEQ



**XXXIV Congreso Nacional de Geoquímica**



**Universidad Autónoma de Baja California Sur**  
La Paz, Baja California Sur, México  
06 y 11 de octubre del 2024

**Excursiones**

**Excursión 1**

**Complejo Ígneo Metamórfico de La Paz - Todos Santos**

**Domingo 06 de octubre**

Cupo: 10-20 personas

**\$1,100 (\$1,300 después del 30 de agosto)**



**San Bartolo - Cuenca San José del Cabo**

**Viernes 11 de octubre**

Cupo: 10-20 personas

**\$1,100 (\$1,300 después del 30 de agosto)**

**Excursión 3**



**Excursión 2**

**Isla Espíritu Santo - La Partida**

**Viernes 11 de octubre**

Cupo: 10-20 personas

**\$2,000 (\$2,400 después del 30 de agosto)**

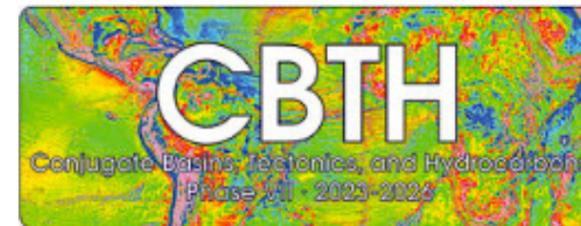
Dirígete al siguiente Qr y sigue los pasos para inscribirte a la excursión de tu interés



**Aprobado en Viñales, el primer geoparque de Cuba.**

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

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



CBTH Newsletter. University of Houston.

[http://cbth.uh.edu/newsletters/CBTH2024\\_08.pdf](http://cbth.uh.edu/newsletters/CBTH2024_08.pdf)



**Haz click en el perro**

Es la línea recta la distancia más corta entre dos puntos?

<https://www.aapg.org/global/latinamerica/events/workshop/articleid/66156>

Home > Global > Latin America & Caribbean

SHARE THIS PAGE     Input your search

# LATIN AMERICA & CARIBBEAN EVENTS

## Energy Summit 2024: Security, Strategy and Transition

Tuesday, 19 November – Thursday, 21 November 2024, 8:00 a.m.–5:00 p.m. | Uruguay



What Can I Do

 Become a Sponsor

 Add to Calendar

 Recommend

With Support

 ANCAP

About Us

Events  
Videos and W

the human energy company  
Platinum Sponsor - Coffee Breaks

Shell  
Platinum Sponsor

VIRIDIEN  
Gold Sponsor

RystadEnergy  
Patron Sponsor

 Become a Sponsor

Details Program Exhibitors Venue Lodging Pricing Sponsors

Plan now to be a part of the 2024 Energy Summit, hosted by the AAPG's Latin America and Caribbean Region, taking place at the Enjoy Punta del Este Resort in Punta del Este, Uruguay on 19-21 November 2024.

The Energy Summit is an executive level event connecting decision makers working to provide reliable, affordable, and sustainable energy for communities throughout the world.

Enjoy keynote presentations and panel discussions with industry and government leaders who will share insights about E&P activities, decarbonization strategies, and technological advances shaping the region's energy future. Meet privately with current and future partners at the Business-to-Business session held on-site during the event.

# La casa de los minerales

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

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

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

[https://www.rocksandminerals4u.com/mineral\\_classification.html](https://www.rocksandminerals4u.com/mineral_classification.html)

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

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

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

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

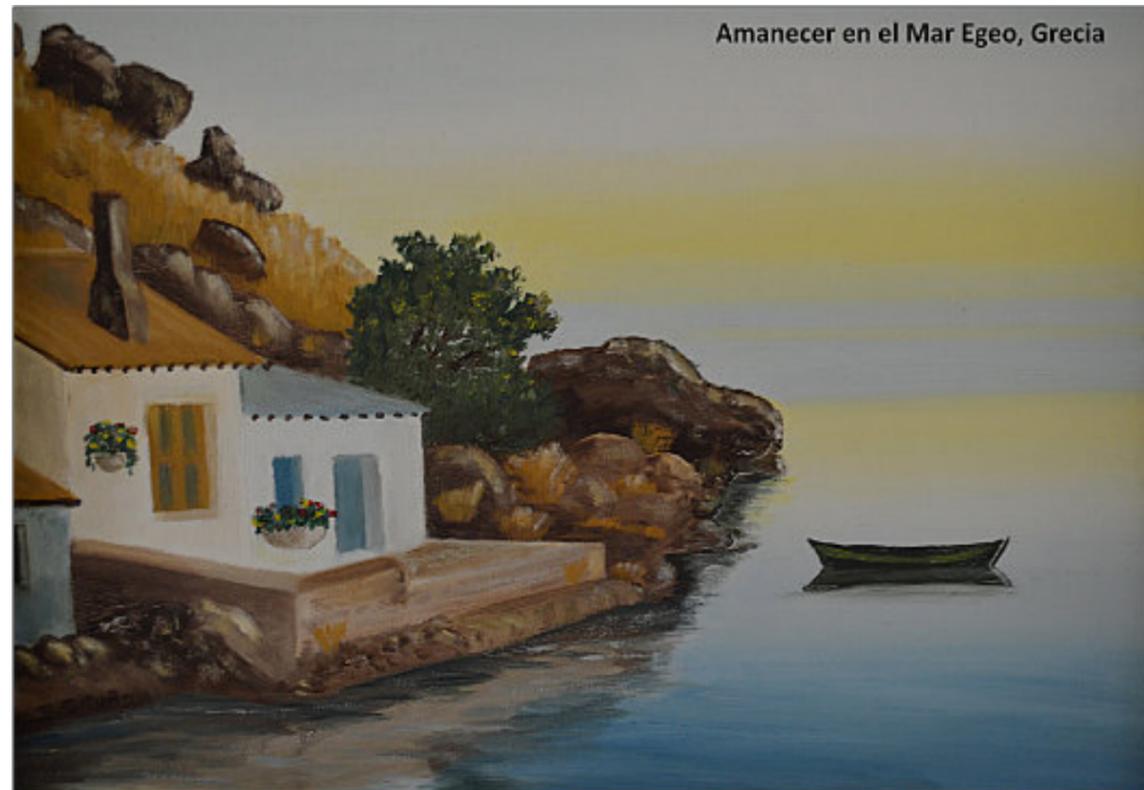


# Caverna del arte

Pinturas de Salvador Ortuño Arzate



Paisaje otoñal



Amanecer en el Mar Egeo, Grecia



Lago Jasper, Canadá



Atardecer en Gore Range, Colorado



Constelación de Orión resguardando el campamento. Foto tomada por **Rafa Avalos**, campamento de Astro Camp en Villa del Carbón, Estado de México. Diciembre de 2023.



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

## Colca Canyon, Peru

Colca Canyon is within the Andes of southern Peru some 160 kilometers northwest of Arequipa. Its bottom is about 2000 meters above sea level and its walls reach 3000 to 4000 meters above sea level. Colca Canyon is over 70 kilometers long and is one of the deepest canyons in the world. This feature formed about 150 million years ago through the erosion of volcanic rocks by the Colca River along a fault line. The first scientific survey of the canyon was accomplished in 1931 by George Johnson and Robert Shippee of the Geographical Society.

<https://www.quechuasexpeditions.com/geological-marvel-the-formation-of-colca-canyon/>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Colca\\_Canyon](https://en.wikipedia.org/wiki/Colca_Canyon)

[https://www.tripadvisor.com/Attraction\\_Review-g2656668-d311725-Reviews-Colca\\_Canyon-Arequipa\\_Region.html](https://www.tripadvisor.com/Attraction_Review-g2656668-d311725-Reviews-Colca_Canyon-Arequipa_Region.html)

<https://www.lonelyplanet.com/peru/arequipa-and-canyon-country/canon-del-colca>

<https://www.nationalgeographic.com/travel/article/camping-in-puquio-peru>

<https://colcawonderperu.wordpress.com/about/>

[http://www.discover-peru.org/colca-canyon/#google\\_vignette](http://www.discover-peru.org/colca-canyon/#google_vignette)

Compilado por Nimio Tristán,  
Geólogo,  
Houston, Texas



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

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

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

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



Geología Médica

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



GeoLatinas

<https://geolatinas.org/>



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



Asociación de Geólogos y Geofísicos Españoles del Petróleo

<https://aggep.org/>



Sociedad Geológica de España

<https://sociedadgeologica.org/>



Sociedad Cubana de Geología

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



Sociedad Dominicana de Geología

<http://sodogeo.org/>



Universidad Tecnológica del Cibao Oriental, República Dominicana

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





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