

**MAYO  
2023**



# **MAYYA**

**REVISTA DE GEOCIENCIAS**



MAYO  
2023



# MAYA

## REVISTA DE GEOCIENCIAS

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

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

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

La Revista tendrá una publicación mensual, por medio de un archivo PDF, el cuál será distribuido por correo electrónico y compartido en las redes sociales. Esta revista digital no tiene fines de lucro. La RMG es internacional y bilingüe. Si deseas participar o contribuir con algún manuscrito, por favor comunícate con cualquiera de los editores.

Las notas geológicas tienen como objetivo el presentar síntesis de trabajos realizados en México y en diferentes partes del mundo por jóvenes profesionales y prestigiosos geocientíficos. Son notas esencialmente de divulgación, con resultados y conocimientos nuevos, en beneficio de nuestra comunidad de geociencias. Estas notas no están sujetas a arbitraje.

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

**Portada de la revista:** The Arches National Park (Utah) is a landscape of contrasting colors, land forms, and textures unlike any other. The Park has over 2,000 natural stone arches, hundreds of soaring pinnacles, massive rock fins, and giant balanced rocks. All of the arches in the park are made of Entrada Sandstone Formation (Jurassic). **Photo by Jhonny E. Casas.**

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

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

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

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

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

Revista de divulgación  
Geocientífica

# EDITORES



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

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

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



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

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

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



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

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

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



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

Correspondent member of the Academy of Engineering of Mexico.

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

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

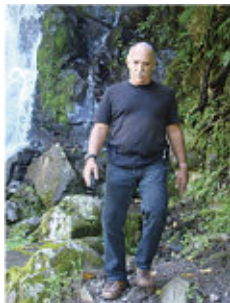
# COLABORADORES



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

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

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



Ing. Humberto Álvarez. Más de 5 décadas, dedicadas a la estratigrafía y tectónica del Jurásico, Cretácico y Paleógeno de Cuba occidental y central. Editor cubano de la Expedición checoslovaca Escambray II realizó cartografías del Macizo Metamórfico Escambray; Complejo Anfíbolítico de Mabujina y Complejo Granítico de Cuba central. Es autor-coautor de 23 unidades litoestratigráficas y litodémicas de Cuba occidental y central. Es miembro extranjero de las subcomisiones del Jurásico, Cretácico y Paleógeno de la Comisión del Léxico Estratigráfico de Cuba. Descubrió el mayor depósito cubano de fosforitas marinas y nuevos prospectos de Cu y Au y realizó la factibilidad de 7 proyectos hidroeléctricos en la Cordillera Central de Panamá. Country Manager de Big Pony Gold de Utah, exploró el potencial de oro del greenstone belt del cratón de Uruguay. Senior Geologist de Gold Standard Brasil, exploró regiones auríferas en los Estados de Paraná, Santa Catarina y Mato Grosso del Norte en rocas arqueanas y

proterozoicas y realizó evaluaciones de exploración para Cias. canadienses en Panamá, Andes de Perú, Honduras y otros países. Nombrado por el Ministro de Comercio e Industrias Miembro de la Comisión "Ad Honorem" del Plan Maestro de Minería de Panamá, fue el redactor encargado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) del Proyecto de Geología y Minería y miembro de su Misión Especial para entregar el proyecto al Gobierno y posterior Consultor del BID para la descentralización de la Autoridad Nacional del Ambiente. Anterior Miembro del Consejo Científico de GWL de la Federación Rusa y Representante del Servicio Geológico de Inglaterra en América central. Director de Miramar Mining Panamá y Minera Santeña, S. A., reside en Panamá por 28 años y redacta obras sobre geología de Cuba y Panamá. En el repositorio Academia.edu de libre acceso, se encuentran 22 artículos suyos de diferente volumen.

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



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

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

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



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

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

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



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

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

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



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

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

[rafaelguardado2008@gmail.com](mailto:rafaelguardado2008@gmail.com)



**Jon Blickwede** egresó de la Universidad de Tufts en Boston, Massachusetts, EEUU con un Bachillerato en Ciencias de la Tierra en 1977. Entró a la Universidad de New Orleans, Louisiana en 1979, donde hizo su tesis de Maestría en Geología sobre la Formación Nazas en la Sierra de San Julián, Zacatecas, México. Jon comenzó su carrera en 1981, trabajando por 35 años como geólogo de exploración petrolera para varias compañías tal como Amoco, Unocal, y Statoil. Realizó

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

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



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

hidrográficas y riesgos geológicos.

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

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

Sus principales áreas de interés son la geotecnia, geotermia, sistemas de información geográfica, gestión de cuencas



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

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

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



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

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

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



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

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

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



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

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

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



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

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

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

## Estimados colegas,

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

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



## Visítanos en Revista Maya de Geociencias

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





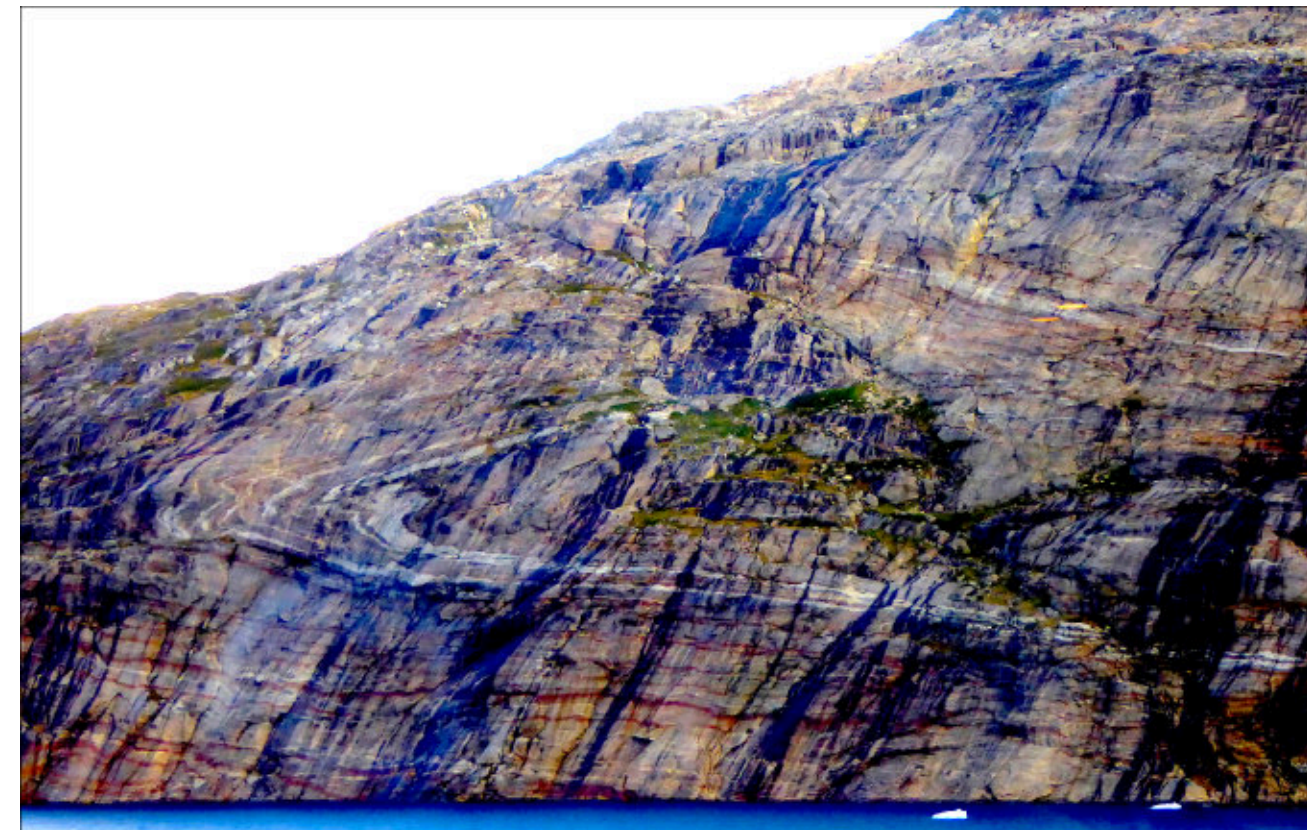
Tertiary mylonites, Catalinas metamorphic core complex, Tucson, Arizona. Photo by Claudio Bartolini.

### Estimados Colegas

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

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

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



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

### Esteemed colleagues

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

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

#### Basic Instructions for Authors

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

(biographical sketches): a maximum of 3 pages

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

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

Geological notes: a maximum of 10 pages

# CONTENIDO MAYO 2023

Semblanzas.....	<a href="#">11</a>
Pioneros de las Geociencias.....	<a href="#">19</a>
Obituary.....	<a href="#">23</a>
Resúmenes de tesis y publicaciones.....	<a href="#">25</a>
Los libros recomendados.....	<a href="#">34</a>
Temas de interés.....	<a href="#">35</a>
Fotografías de afloramientos/microscopio.....	<a href="#">44</a>
Notas geológicas.....	<a href="#">48</a>
<b>Misceláneos</b>	
Museos de historia natural.....	<a href="#">88</a>
La Casa de L. GPS.....	<a href="#">89</a>
Maestría en Geociencias y Administración de Recursos Naturales.....	<a href="#">90</a>
Simposio ESIA Ciencias de la Tierra.....	<a href="#">91</a>
Concurso de fotografía geológica.....	<a href="#">92</a>
GeoLatinas – GeoSeminarios.....	<a href="#">95</a>
International Conference on Medical Geology.....	<a href="#">97</a>
Caverna del arte.....	<a href="#">99</a>
Geo-caricatura (Wilmer Pérez Gil).....	<a href="#">103</a>
Torres del Paine, Parque Nacional de Chile.....	<a href="#">104</a>
Asociaciones geológicas hermanas.....	<a href="#">105</a>

# SEMBLANZAS

## Irene Aloha Wright: 1879-1972

Transcurría el año 1904 cuando a Irene Wright, recién graduada de Stanford, le ofrecen un trabajo como corresponsal en la Habana. Hablaba muy bien el español porque había vivido varios años en México, en esta ocasión se trasladaba fuera de los Estados Unidos en compañía de su madre. Cuando el barco en que viajaba se acercó al puerto de La Habana se quedó totalmente deslumbrada por la visión del faro del Castillo del Morro arrojando su “disco de oro” al amanecer: “Sentí que habíamos llegado a una tierra encantada; los desengaños que he sufrido desde entonces no han desarraigado, ni podrán jamás, mi amor por La Habana, nacido en mí aquella mañana, a primera vista.”<sup>1</sup>

El cariño de Irene Wright hacia Cuba la llevó en 1914 al Archivo General de Indias en Sevilla, lugar donde va a trabajar por veintidos años hasta el comienzo de la Guerra Civil Española. Irene va a producir una serie de estudios sobre la historia colonial de Cuba, basándose íntegramente en documentos originales, lo que les dio un valor especial. En esos primeros años posteriores a la conquista, Cuba fue un país dedicado esencialmente a la explotación de los recursos minerales, algo que no escapó a su sensibilidad por ser Irene descendiente de mineros. El tema de la minería estuvo presente desde sus tiempos de editora de la Revista “Cuban Review”, en sus libros sobre la historia de La Habana<sup>2</sup> y la crónica del siglo XVI de la isla<sup>3</sup>. **Irene Wright es la autora del primer artículo sobre la historia de la minería en Cuba<sup>4</sup>.**

En 1916 Irene A. Wright dio a conocer su monografía denominada “Los orígenes de la minería en Cuba. Las minas del Prado hasta 1600”, sin dudas, la indagación que inauguró los estudios históricos sobre esta temática. Habían transcurrido cien años de las primeras publicaciones e investigaciones geológicas en Cuba, pero se sufría de una falta de publicaciones dedicadas a la historia de los recursos minerales de la isla. La enjundiosa pesquisa de la Sra. Wright se basa única y exclusivamente en documentos inéditos todos conservados en el Archivo General de Indias de Sevilla, España. Irene Wright, demuestra que fueron los aborígenes cubanos los que llevaron a los castellanos hasta muchos de los yacimientos y también al cerro de Cardenillo<sup>5</sup>. En la montaña en la vertiente sur de la Sierra Maestra se podía observar a flor de tierra la mineralización, evidencia de la enorme riqueza mineral, que prometía una dorada avalancha de riquezas.



El jugoso filón, en las faldas de la verde montaña, fue decisivo para la fundación, en el fondo de la hermosa bahía de la costa sudoriental de la isla, de una villa que llamarían Santiago de Cuba en 1515. Irene narra la historia apegándose estrictamente a los documentos, pero hilvanando bien los acontecimientos como una novela. La narración conduce a los lectores a lo largo de los primeros cien años de la fabulosa historia del yacimiento de Santiago del Prado desde 1529 cuando un maestro campanero en tránsito desde México reconoce el lugar. La mina va a pasar por varias manos, incluyendo el capital financiero nuremburgués, con Johan de Tetzl por espacio de cuarenta años, y los trágicamente infaustos intentos de los castellanos Santiago Medina y Álvaro Clavijo.

El interés principal de la corona española era la utilización del metal de las minas en la industria bélica, principalmente para la construcción de piezas de artillería. Sorprendentemente, no solo el aparato castrense se va a beneficiar del desarrollo de la explotación minera y la fundición, pues una producción casi clandestina de calderos, sienta las bases para el nacimiento de la industria azucarera cubana, antes que en ninguna otra isla o territorio americano<sup>6</sup>. Irene Wright concluye su indagación con la narración de los desarrollos mineros del Infanzón y

Cofrade de la Virgen de la Caridad de Illescas Capitán Francisco Sánchez de Moya quien plantó cruz en las minas el 8 de enero de 1599. Sánchez de Moya habilitó las minas, las fundiciones, hizo caminos, siembras y cría de animales y una ermita de guano y madera de tres cuerpos, que poco tiempo después va a albergar la imagen de la venerada virgen minera y patrona de todos los cubanos: la Caridad del Cobre.

Un artículo publicado en 1918 reproduce íntegramente el importante estudio de Irene Wright en español<sup>7</sup>. Las reseñas y notas sobre la historia de la minería de Cuba que aparecieron en los años siguientes, retomaron en gran medida lo dicho por Wright, y en pocos casos reportaron nuevos datos<sup>8</sup>. Los nuevos criterios de periodización de la ciencia histórica moderna han revisado los hitos cronológicos propuestos por la autora, para retomar el pulso interno de la propia actividad y fijar con nuevas herramientas analíticas la temporalidad de la industria minera del cobre<sup>9</sup>. Aún hoy, el bien fundamentado trabajo de Irene Wright sigue siendo fuente de obligada referencia por la calidad indiscutible de información que contiene.

#### Notas biográficas

Irene Wright nació el 19 de diciembre 1879 en Ouray, un pequeño pueblo al pie de las montañas de San Juan, Lake City, Colorado. Provenía de una familia minera, su padre falleció cuando tenía apenas quince años. Ese mismo año, la madre de Irene, Letitia Wright, la matriculó en el Virginia College for Young Ladies en Roanoke, VA. En 1885, en lugar de regresar a Virginia para su segundo año, tomó un tren en dirección sur y no paró hasta Ciudad de México. Solo contaba con algo de oro, herencia de su padre, cosido en el forro de su enagua. Rápidamente aprendió español y encontró trabajo enseñando inglés y traduciendo guías para el museo de historia natural. Con su provisión de oro disminuyendo, tomó un tercer trabajo como institutriz en la familia del vicepresidente de México. En 1890 regresó a casa para retomar los estudios en el colegio de Roanoke. En 1902 ingresó en la Universidad de Stanford, California, donde se convirtió en la segunda mujer en ocupar el cargo de editora en jefe del periódico universitario, graduándose en 1904. Inmediatamente, acepta el puesto de corresponsal y escritora especial del "Havana Post" y más tarde redactora de "Havana Daily Telegraph" (1905-1907).

En 1908 funda su propia publicación, una revista semanal de política y cultura para lectores estadounidenses llamada "The Cuban Review Magazine" de la que va a ser editora. Como dice Lillian Guerra, estudiosa de la historia moderna de América Latina y el Caribe, Wright se propuso "representar a Cuba en términos cubanos". Ella exhibió "una visión inusualmente clara y notablemente respetuosa de la identidad y el orgullo nacional", mostrando valentía al hablar sobre la pesada herencia del colonialismo en

Cuba y en crítica mordaz sobre las compañías terratenientes estadounidenses como la United Fruit Co.

Su interés hacia la historia de Cuba, la república joven y antiguo posesión colonial de España, la llevó al Archivo General de Indias en Sevilla en 1914. Irene Wright se empeñó en un objetivo supremo: la investigación de los archivos, abandonando las anteriores gratificaciones y ventajas pecuniarias de una brillante carrera en el periodismo. Tradujo y editó más de cien mil documentos coloniales. En esta institución comprobó que no eran abundantes los documentos relativos a la conquista de América, anteriores a 1550. Se suponía que estaría en España solo un año, pero se quedó durante más de veinte. En 1916 publica su libro "Early History of Cuba". El texto no se parecía a ninguna de las obras históricas previas: un retrato íntimo de la vida social, política y natural de Cuba, compasivo y perspicaz, pero a la vez preciso, con un vigor posmoderno y ocasionalmente irónico. "Ningún documento sobre Cuba entre mil que existen en Sevilla se ha hecho público de ninguna manera, forma o manera", escribió en la introducción. "Creo por lo tanto justificado decir que las fuentes de la historia de Cuba han sido hasta ahora desconocidas. Por audaz que pueda parecer esta declaración, creo que también está justificada por los hechos".

En 1919 presenta al concurso por el 400 aniversario de la ciudad de La Habana, una escrupulosa investigación en el registro sevillano, considerada "referencia autorizada en estos temas" por el eminente historiador cubano Emilio Roig de Leuchsenring (1889-1964). La investigación deberá esperar varios años para ser finalmente editada y publicada en dos tomos.

Después de completar las historiografías sobre Cuba, recibió encargos de investigaciones especiales por parte del Reino de los Países Bajos, de Gran Bretaña y de España para traducir y editar tratados en varios volúmenes, sobre las primeras conquistas de esos países y las rivalidades entre potencias coloniales en las Américas<sup>10</sup>. A partir de 1932, es nombrada representante de la Biblioteca del Congreso de los Estados Unidos en España. El trabajo de Wright disminuiría después de su salida forzosa de España durante la Guerra Civil Española. En 1936, su madre Letitia, Irene y su hija, Flor regresaron a América. Trabaja luego en los Archivos Nacionales de los Estados Unidos y como especialista en asuntos exteriores del Departamento de Estado.

Irene fue ampliamente reconocida y condecorada por los gobiernos y sociedades científicas de los Países Bajos, Reino Unido, España y Cuba, pero largamente ignorada en su país, Estados Unidos. Falleció el 6 de abril de 1972.

#### Referencias citadas

- <sup>1</sup>Blumetti, Jordan. "The Immortal Mind of the Archive on Irene Aloha Wright's adventures and explorations in Florida history". Lapham's quarterly, Monday, June 17, 2019
- <sup>2</sup>Wright, Irene A. "Historia documentada de San Cristóbal de La Habana en el siglo XVI", 2 ts., La Habana, El Siglo XX, 1927.
- <sup>3</sup>Wright, Irene "Early History of Cuba, 1492-1586". 1916. New York, The Macmillan Company, 1916.
- <sup>4</sup>Wright, Irene "Los orígenes de la minería en Cuba. Las minas del Prado hasta 1600". La Reforma Social Tomo VII. Abril a Julio de 1916.
- <sup>5</sup>Cardenillo, mancha verduzca que cubre los objetos de bronce o cobre a la intemperie
- <sup>6</sup>Riverend, Brusone, Julio. "Los orígenes de la economía cubana (1510 - 1600)". Centro de Estudios Históricos de El Colegio de México. Jornada No. 46. El Colegio de México. Centro de Estudios Sociales. 1945 75 pp.
- <sup>7</sup>Aguilera, Eugenio y Manduley, J. R. "Reseña histórica sobre la minería en Oriente, Cuba", Boletín de Minas, núms. 4-5, La Habana, 1918;
- <sup>8</sup>Antonio Calvache, "Resumen de historia de la minería de Cuba", Boletín de Mina, núm. 9, la Habana, 1925, pp. 22-35;
- <sup>9</sup>Macías, Isabelo "Cuba en la primera mitad del siglo XVII", Sevilla, Escuela de Estudios Hispanoamericanos, 1978; Marrero, Leví. "Los esclavos y la y la Virgen del Cobre. (Dos siglos de lucha por la libertad de Cuba)", Miami, Col. Cuba y sus jueces, 1982; Portuondo, Olga "Viajeros en El Cobre", Santiago. Revista de la Universidad de Oriente, núm. 60, Santiago de Cuba, 1985, pp. 147-160.; Duany Bane, Antonio, "El cobre y su término; apuntes históricos", Santiago de Cuba, Tipografía Arroyo, 1929, 39 pp.; Calvache, Antonio, "Historia y desarrollo de la minería en Cuba", La Habana, s. e., 1944.
- <sup>10</sup>Wright, Irene "Documentos sobre los viajes ingleses al continente español, 1569-1580". Londres: Impreso para la Hakluyt Society 1932; Wright, Irene "English Voyages to the Caribbean, 1580-1592," 1949.



**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)

# Franco Urbani Patat

## A manera de preámbulo

La semblanza que a continuación se elaboró es una versión mínimamente revisada por su autor y debe su aparición a la complicidad bien entendida de un compañero y colega en el quehacer geológico de muchos años atrás, el Ing. Geólogo y MSc. Noel Santiago Mariño P.

Noel y el suscrito desde nuestra época estudiantil universitaria hasta actual fecha, nunca detenida por el tiempo y la distancia, - *a fuer de ello*- seguimos siendo grandes amigos facilitó todos los datos posibles e imposibles al autor para elaborar la semblanza, de este por demás excepcional investigador en Geociencias tanto venezolanas como extranjeras, destacando la labor de investigadores y docentes vinculados a las mismas.

El *II Congreso Venezolano de Geociencias* celebrado a finales del mes de marzo de 2023 y las *VIII Jornadas Venezolanas de Historia de las Geociencias*, amén de otras áreas de la Geología vinculadas a las mismas constituyeron la "*excusa perfecta*" pensada y acordada por unanimidad en las reuniones de los comités organizativo y científico de dicho *Parlamento Geocientífico*, quienes rindieron homenaje a dos de nuestros más distinguidos investigadores y docentes. En el caso de Andre Singer sintetizamos su semblanza en el número de abril de esta misma Revista.

En este número el ausente obligado y temporal de Venezuela, actualmente se encuentra localizado y localizable en tierras australes de nuestro continente e imperdonable era no mencionarlo, eso era una tarea obligatoria, sobre todo para el que *no domina el oficio de escribir* y entremezcla respeto a su profesor, su maestro y su amigo, Franco Urbani. De él platicaremos un poco recordando su figura vista por enorme cantidad de alumnos que se paseó por más de medio siglo en los pasillos de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Facultad de Ingeniería de la UCV.

## Entre una muy corta biografía y su récord académico-profesional

Nace en *Gemona del Friuli, Italia* un 13 de noviembre de 1946 egresando como geólogo de la Universidad Central de Venezuela, UCV en 1968. Una anécdota proveniente de sus recuerdos y de los cuales me he tomado el atrevimiento de hacerlo público, ubica su persona visitando en forma regular al entonces Ministerio de Minas



e Hidrocarburos. En él es captado por Cecilia Martín Franchi de Bellizzia, primera mujer egresada de geóloga en Venezuela y proveniente al igual que Urbani de la UCV; Cecilia buscaba apoyo profesional para el Congreso Geológico del año 1969.

En la conversación, Martín le propone ingresar a este ente público ubicándolo hacia la Dirección de Geología pues ello le daría la oportunidad y responsabilidad de estar a cargo del Campamento de Trujillo con el objeto de estudiar el Granito de Valera. Su respuesta no se hizo esperar y no aceptó la oferta al tener aprobado el postgrado que lo llevaría a la Universidad de Kentucky en donde obtendría Maestría y Doctorado (1972-1979) para realizar posteriormente un Postdoctorado en la Universidad de Basilea, Suiza, entre los años 2009 – 2011, pero ello no se quedó allí, Urbani seguiría en su actividad, ocupando el cargo de profesor visitante en *Los Alamos National Laboratory (1986)* y en la *University of Georgia, EEUU*.

Es co-fundador de la Sociedad Venezolana de Espeleología (1967), ocupando en ella los cargos de Presidente y Secretario. Además, igualmente lo ha sido de la Federación Espeleológica Latinoamericana y del Caribe FEALC (1983) en donde ocupó los cargos de Presidente, Secretario y Coordinador de la Comisión de Geoespeleología, (1997-2015).

Su carrera como docente e investigador de la Universidad Central de Venezuela, y en la misma Escuela que lo vio graduarse lo llevó a obtener en el escafón universitario los

grados de Instructor en 1968 hasta Titular en 1983, último grado de ascenso como docente "UCVista". Ya con el tiempo reglamentario en el ejercicio de su carrera docente es jubilado en 1997 pero, no obstante, permanece activo en la docencia y la investigación.

Ha sido profesor de pre- y postgrado en las cátedras de Petrología, Geoquímica, Mineralogía y Geología de campo. Profesor guía con más de 300 tesis en su haber entre pregrado y postgrado, se le suma a este impresionante récord, más 400 ponencias presentadas en eventos científicos y aún prosigue su producción académica con contribuciones al catastro espeleológico de Chile para 2023, a manera de ejemplo. Es coautor de más de 650 artículos científicos o divulgativos arbitrados o no, reseñas, capítulos, libros y un largo etc. Ha sido editor o miembro de comités editoriales de las revistas técnicas: (a) Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología (desde 1972); (b) Geos- UCV, 1985-2013; (c) Revista Venezolana de Ciencias de la Tierra (desde 2014); (d) Boletín de Historia de las Geociencias en Venezuela (desde 1984 a fecha actual y (e) Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat (desde 2016 al presente).

Su jubilación no lo detuvo en su faena creadora y continuó asesorando, guiando tesis y profesionales por más de 16 años en el que fuera por 45 años consecutivos Departamento de Ciencias de la Tierra de FUNVISIS. Actual unidad Técnico-Departamental encargada de la Geología de Terremotos de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS).

Tal actividad contribuyó a que muchas hojas geológico-cartográficas que dormían un injusto sueño en los estantes de la Biblioteca Virgil Winkler de la Escuela de Geología-UCV y que pertenecían a diversas tesis de grado y postgrado fuesen remozadas, con una que otra modificación digitalizada, lo cual alimentó un banco de datos naciente y de veloz crecimiento, dando como recompensa un grueso ejemplar de la "*Geología del norte de los estados Lara y Yaracuy, volumen 2. Atlas geológico*", el cual acompaña al libro "*Geología del norte de los estados Lara y Yaracuy, volumen 1*" en cuya elaboración estuvieron presentes muchas instituciones docentes y académicas. De nada valió un dicho de vieja factura: "tecnología vulnerable" y lo que se tenía que hacer se hizo.

Junto a su alumno y co-autor, el Ing. Geólogo Alí Ricardo Gómez, Franco Urbani obtuvieron el Premio al mejor libro de investigación del año 2021, versión Atlas, distinción otorgada por la Universidad Católica Andrés Bello en Caracas. Sus principales líneas de investigación e interés bien podemos resumirlas en: Geología Regional; Petrología y Geoquímica de las regiones ígneo-metamórficas del norte de Venezuela y la edición de 420

hojas geológicas a escala 1:25.000 que abarcan 54.000 km<sup>2</sup> y que fueron vertidos en un Atlas; Recursos Geotérmicos venezolanos; Geo-espeleología y la Historia de las Ciencias Geológicas de Venezuela.

## El quehacer geológico y la función pública de Franco Urbani

El profesor Urbani Patat ha compartido tópicos desde las fronteras de la docencia y la investigación con responsabilidades administrativas. Ha sido Jefe del Departamento de Geología, Director de Escuela, Coordinador y Miembro de Comités Académicos de postgrados en Geología y Geoquímica, durante su larga carrera docente.

## Reconocimientos

Sus años de docencia universitaria e investigación han sido reconocidos tal cual siguen: (a) Premio anual al mejor trabajo científico en Ingeniería, CONICIT (1986); (b) Orden José María Vargas – mención Corbata (1991); (c) Premio Francisco de Venanzi a la Trayectoria del Investigador Universitario (1996) y (d) II Premio Nacional del Libro (Categoría Libro Universitario) (2004), otorgado por el Ministerio de la Cultura de entonces.

## El académico

Desde el 2009 es individuo de número de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat ocupando el sillón XXVI de dicha institución, así como individuo electo de la Academia Nacional de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales de Venezuela, sillón XXVIII.

## Actividades extra-cátedra nacionales

Una vez dada por concluidas las actividades que realizaba en FUNVISIS y en las que no nos detendremos, marcha fuera de Venezuela para realizar actividades de campo en Costa Rica.

Luego de concluida su estancia en tierras "ticas" se dirige al sur en plan de visita familiar y por razones estrictamente de salud, el "profe" Urbani detendrá temporalmente su periplo en Chile y entre sus actividades y la lejanía de esta otra tierra que actualmente lo acoge, decide junto a Andre Singer y a José Antonio Rodríguez, relanzar nuevamente en 2021, la Sociedad Venezolana de Historia de las Geociencias, SVHGC y su boletín que nunca se ha extinguido, de hecho.

Allí lo encontramos haciendo actividades de campo, dictando clases y escribiendo y contribuyendo por qué no, en otro catastro espeleológico. Quienes lo conocemos, sabemos que es todo un docente inquieto.

<https://www.researchgate.net/profile/Franco-Urbani>





Un día de actividad de campo normal en Venezuela (fecha desconocida).  
De izquierda a derecha: actuales Ingenieros geólogos, Walter Reátegui,  
David Mendi, el profesor Franco Urbani Patat y Alí Ricardo Gómez  
Fuente: Ing. Geól-PhD: Herbert Fournier (marzo, 2023)



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

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

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

## Francisco de Asís Formell Cortina

**Humberto F. Álvarez Sánchez**  
Colaborador de la Revista

El Doctor en Ciencias Geológicas **Francisco Formell Cortina** nació el 12 de Septiembre de 1939 en la ciudad de La Habana, en la popular barriada de Cayo Hueso, célebre asentamiento cultural del centro de la capital, fundado por los trabajadores cubanos que regresaron de Cayo Hueso a principios de Siglo XX.

Después de su graduación como Bachiller en Ciencias en 1957, en este mismo año se tituló como Agrimensor y Tasador de Tierras y comenzó su trabajo en el Instituto Cubano de Cartografía y Catastro, inicio de su dilatada relación con la naturaleza de su país, a través de amplias experiencias adquiridas en la cartografía y el trabajo con aerofotos de gran utilidad en sus investigaciones futuras.

Su actividad como investigador en la geología comenzó en 1962 en el Instituto de Geología de la Academia de ciencias de Cuba, institución donde no demoró en manifestarse la clara vocación del Doctor Formell Cortina en las ciencias de la Tierra, al recibir con honores su Licenciatura en Geología en 1967, en la primera promoción de geólogos cubanos, graduados en la prestigiosa Universidad de La Habana. Y por su importante labor realizada en la institución, en 1976 defendió su Candidatura en Ciencias geólogo-mineralógicas en el Instituto de Geología de los Yacimientos Minerales (IGEM) de la Academia de Ciencias de la URSS y recibió su Doctorado en Ciencias Geológicas, otorgado por la Comisión de grados científicos en 1993. Investigador titular del Instituto de Geología desde 1981, continuó su desempeño en la propia institución después que esta se unió al Centro de Investigaciones Geológicas del MINBAS en 1986, hasta su jubilación ocurrida en diciembre de 1999. Como con toda razón señala su biógrafo el Ing. J. R. Oro el Doctor Formell Cortina demostró a lo largo de su vida profesional como investigador una trayectoria



polifacética. Fue uno de los fundadores de la Teledetección de la Tierra, como disciplina científica en Cuba. Entre ellas su contribución como geólogo cartógrafo en los levantamientos geológicos regionales del centro y oriente de Cuba. Miembro de la delegación cubana a la Conferencia de las Academias de Ciencias de los países socialistas para la confección del mapa geológico de Cuba a escala 1:250,000, en 1968 y Jefe de la Sección de Geología del Atlas Nacional de Cuba, en 1989 es autor de numerosos mapas de dicha obra y Secretario ejecutivo de la Comisión de Unificación del mapa geológico de Cuba (CUR) y uno de los autores del mismo y de su texto explicativo. A ello se añade su actividad académica como secretario científico de tribunales para el otorgamiento de doctorados y categorías científicas y su ejercicio como tutor y oponente de numerosos aspirantes.

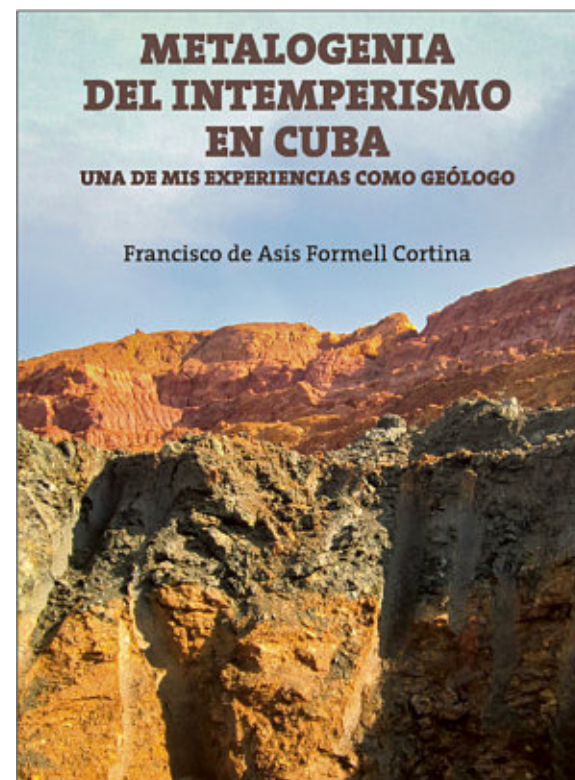
Fue participante en los preparativos geológicos del vuelo espacial conjunto soviético-cubano del cosmonauta cubano Arnaldo Tamayo en la nave Soyuz 38, por cuya destacada participación se le otorgó la Medalla Conmemorativa. Participante del Experimento Trópico III y Biosfera 1979 por la Academia de Ciencias de Cuba. Miembro fundador y permanente del Consejo Científico del IGP. Subdirector del Instituto de Geología y Paleontología de 1965-1970, 1981-1986 y de 1990 a 1994. Medalla "René Ramos Latour" por 25 años

ininterrumpidos de actividad en la geología. Es autor o coautor de más de 80 artículos científicos, libros y mapas y participante de más de 60 eventos científicos nacionales e internacionales. Miembro del Comité Gestor de la Sociedad Geológica de Cuba y Miembro Fundador. Secretario ejecutivo de su primer comité de dirección y actual Miembro Emérito de la Sociedad Cubana de Geología.

Dentro de sus variados desempeños, se destaca su trabajo en investigaciones sobre los yacimientos minerales epitermales y de sulfuros masivos, las cortezas de intemperismo y los yacimientos minerales asociados con ellas; desempeñándose como geólogo jefe cubano en la exploración de prospectos y yacimientos minerales por parte de Minería Siboney Goldfields (1995-1996); consultor para Gran Colombia Resources en Colombia (1997); consultor de Holmer Gold Mines Ltd. Cuba para depósitos de sulfuros masivos (1998-1999); Gerente General de Operaciones de la parte cubana y Geólogo Jefe de San Felipe Mining Ltd. y de Camagüey Mining Ltd., subsidiarias de Billiton PLC. Cuba. Exploración del yacimiento de intemperismo San Felipe (98-99) y Geólogo consultor para Canadian Shield Resources en Perú, en los Proyectos Humajala, Cello.Cello y Cerro Cori, de sistemas epitermales con oro (2005).

En el año 2021 el Instituto de Geología y Paleontología de Cuba publicó la obra monográfica del Doctor Francisco de

Asís Formell Cortina titulada: **Metalogenia del Intemperismo en Cuba. Una de mis experiencias como geólogo**". No encuentro forma más apropiada para destacar el valor de esta obra que las empleadas en su prólogo por su biógrafo Ing. J. R. Oro de quien me presto sus palabras: "Desearía remarcar que este es un trabajo académico, con un formidable componente teórico, ampliamente documentado, pero no es, ni mucho menos, una recopilación de otros estudios. Todo lo contrario, está fundamentado en la prolongada e intensiva investigación de campo, laboratorio y conceptual del autor que, a través de más de cinco décadas, realizó una cuantiosa investigación de todos los ángulos del problema. Esto hace de esta monografía una obra sumamente original y que expone una cantidad muy considerable de conclusiones teóricas y prácticas, de manera manifiesta y explícita, para los especialistas de distintos campos de las Ciencias de la Tierra, de la metalurgia, de los estudios paleoclimáticos (de marcada importancia a tenor de los cambios climáticos que enfrentamos en la actualidad) y de otros campos de las ciencias contemporáneas. Esta monografía es muy amplia, rigurosa e informativa. En el campo de las menas níquelíferas-cobaltíferas considero que es fundamental para entender la riqueza de Cuba en ese tipo de recursos naturales".



<https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2023/04/METALOGENIA-DEL-INTEMPERISMO-EN-CUBA.-2021.pdf>

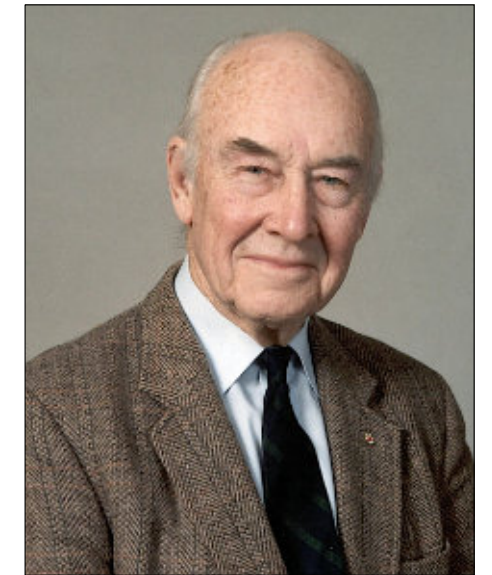
# PIONEROS DE LAS GEOCIENCIAS

## John Tuzo Wilson: (1908 - 1993)

Wilson's most significant work involved finding support for continental drift and seafloor spreading, especially with the development of the transform fault concept. He also proposed that groups of linear volcanic islands were caused by mantle plumes, foreshadowing W. Jason Morgan's idea of hotspots. Wilson led an enormously rich life, as a student traveler attempting to learn geophysics, as a member of the Geological Survey of Canada, as an active researcher at the University of Toronto, as the first principal of the Erindale College, and as director general of the Ontario Science Centre. To avoid confusion with another J. T. Wilson, he used his middle name, and became known professionally as J. Tuzo Wilson or simply Tuzo Wilson.

**Education and Early Career.** The eldest child of three children of John Armistead and Henrietta Wilson (née Tuzo), Wilson was born in 1908 in Ottawa, Canada. His Scottish father, just sixteen when his own father died, was forced to learn engineering as an apprentice. After contracting malaria in India, he sought a colder climate, settling in Alberta, Canada. Spending most of his professional career working for the Canadian government, he helped develop civil aviation in Canada. Thus, Wilson met many aviators while growing up; he later attributed his love of travel to their influence. Wilson's mother was born in British Columbia, Canada. Her father, trained as a physician at McGill University in Montreal, joined the Hudson Bay Company in 1853 and traveled with fur traders by canoe to Manitoba, on horseback through the mountains of Alberta, and down the Columbia River by longboat to the Pacific. He died while Wilson's mother was in medical school, and she had to leave before getting her degree to take care of her own mother. An avid mountain climber, she and her Swiss guide Christian Bohren were the first to climb "Peak Seven" in the Valley of the Ten Peaks, Alberta, Canada. In honor of the accomplishment, the mountain was named Mount Tuzo.

Although Tuzo's family was not rich, they still traveled, and Tuzo obtained an excellent education. He and his siblings were expected to study, work in the garden, and walk four miles to and from school. Their weekends were filled with swimming, canoeing, and skiing, and, like his mother, he



developed a love for the outdoors. He excelled academically at a private school in Ottawa. Often alone, he became accustomed to following his own path, and developed a distrust of orthodoxy. At seventeen, he became a field assistant for Noel Odell, the English geologist and mountaineer, who introduced him to geology.

Wilson majored in honors mathematics and physics his first year at the University of Toronto (1926). However, in part because of his encounter with Odell, he switched to geology, much to the dismay of his physics teachers. Even though he appreciated the elegance of physics, he preferred working in the field to the laboratory. His geology professor told him that he would have to repeat his first year because he needed introductory geology and biology courses. However, Professor Lachlan Gilchrist, a classical physicist who realized the promise of geophysics for prospecting, proposed a double major for Wilson in physics and geology. Wilson graduated in 1930 as the first Canadian to obtain a geophysics degree. Awarded a Massey Fellowship to study at Cambridge University, he decided to pursue a second BA degree in geophysics. Edward Bullard was to be his tutor, but was delayed in East Africa doing gravity work. Wilson took Harold Jeffreys's

course of lectures in geophysics but failed to understand them. Jeffreys told him not to worry. Tuzo spent much of his time learning how to fly, rowing, and traveling throughout Europe. Nonetheless, he was influenced by Jeffreys, and later adopted his contractionist account of mountain building.

Wilson returned to Canada with his BA from Cambridge, and spent a year working under William Henry Collins, director of the Geological Survey of Canada. Although Collins recognized the need for geologists to work with geophysicists, he was unable to secure Wilson a position, and suggested that he get a PhD in geology and return to Canada once the economy improved. Tuzo chose Princeton University over Harvard University and the Massachusetts Institute of Technology (MIT) because Princeton offered him more money, and Professor Richard M. Field told him that Princeton was going to begin teaching geophysics. Although Field failed to recruit a geophysicist to Princeton, he obtained funding from the U.S. Coast and Geodetic Survey to support Maurice Ewing's seismic study of the New Jersey coastal plain, and Wilson occasionally worked with Ewing at nearby Lehigh University. Wilson also became friends with Harry Hess, who joined the Princeton faculty in 1934, a year after Wilson arrived. Wilson's dissertation advisor was the structural geologist Professor Taylor Thom, an expert on the Beartooth Mountains of Montana. Thom gave Wilson \$180, told him to buy a car for \$50 and spend the summer mapping a section of the Beartooth Mountains. Wilson's assigned area included the 3,749-meter (12,300-foot) Mount Hague, which he was the first to ascend.

Obtaining his PhD from Princeton in 1936, he spent three years at the Geological Survey of Canada before joining the Royal Canadian Engineers during World War II. In the field for most of his time with the survey, he worked in the Maritime Provinces, Quebec, and the Northwest Territories. Once short of food in the Northwest, Wilson found an ancient Indian birch-bark canoe, paddled up to a moose in a large lake, and killed it with a blow to the head with his ax. It was during this time with the survey, that he learned the value of surveying by air, and showed his skeptical colleagues in the survey that major trends could be spotted and mapped more successfully from the air than on foot. His appreciation of flight, learned from his father, proved professionally helpful. It also gave him a way to look at huge areas in ways accenting large structures, a theme that he would later exploit. Wilson married Isabel Dickson of Ottawa in 1938, a year before he joined the war effort. She accompanied him to England during the war.

In 1946, a year after his return to Canada, Wilson had three career choices: stay in the army, where he had reached the rank of colonel; return to the survey, where he was promised the directorship; or accept a position as professor of geophysics in the Department of Physics at

the University of Toronto in 1946. He followed the advice of Chalmers Jack Mackenzie, then president of the National Research Council of Canada, who told him to return to university life and spend twenty years doing basic research. Indeed, he remained at the University of Toronto until 1967, becoming one of the most creative Earth scientists of his generation.

Research on Earth's Crust. Wilson began making a name for himself as a researcher in 1949/1950 when several of his papers, one coauthored with the applied mathematician Adrian E. Scheidegger, appeared, defending and expanding Jeffreys's contractionism to explain the origin of continents, their growth, and the origin of mountains and island arcs. Wilson proposed that Earth first solidified without a sialic (continental) outer crust; that its outer crust repeatedly fractured as Earth contracted by cooling; that uprising sial reached the surface through fractures and first formed volcanic islands; that eroded sediments from the islands combined with repeated rising sial through old and new fractures and formed mountain ranges surrounding the original volcanic islands; that these new structures combined to become continental shields; and that the repetition of such processes led to continental growth by addition of peripheral island arcs and mountain ranges. He paid particular attention to the geometry of groups of island arcs (1949a, 1950b); extending the British geologist Philip Lake's (1931) suggestion that such groups typically form circular or spiral arcs, he proposed that similarly shaped fractures would occur in Earth's outer layer as it contracted. Wilson argued that his updated contractionism was superior to mantle convection, which he considered to be the only alternative worth serious consideration. He discarded continental drift in a single paragraph arguing that there are no physical forces strong enough to break apart a supercontinent, that it could account only for formation of recent orogenic belts, and that there was no reason, as Alfred Wegener had proposed, that continental drift should have occurred only once and, in geological terms, so recently (1949b, p. 173).

Wilson espoused the same view throughout most, if not all, of the 1950s, as witnessed by the 1959 publication of his 1957–1958 Sigma Xi National lecture. He incorporated the new discovery by Bruce Heezen, Marie Tharp, and Ewing of the mid-ocean ridge system into his contractionist theory, claiming that it should be viewed as a gigantic fracture system rivaling the terrestrial one formed by mountain belts and island arcs, and arguing that it was caused by uprising basalt that reached the surface through a continuous fracture zone that formed early in Earth's history (1959). He made no mention of developments in paleomagnetism that suggested continental drift and polar wandering, and again effortlessly dismissed continental drift: "Continental drift is without a cause or a physical theory. It has never been applied to any but the last part of

geological time" (1959, p. 23)—Wilson, apparently, had never read Émile Argand, who spoke of a proto-Atlantic and formation of Wegener's supercontinent, and he either thought little of Arthur Holmes's mantle-convection mechanism of continental drift or did not know of it. Wilson did, however, acknowledge the possibility of polar wandering, and noted that it could be included within his contractionist theory.

Wilson had yet to waver from contraction theory. Within a few years, however, he became inclined toward continental drift. Wilson retrospectively claimed that he "was too stupid to accept, until I was fifty, the explanation which Frank Taylor and Alfred Wegener had advanced in the year I was born". The "too stupid" was likely said in good humor; he was wrong in claiming that Taylor and Wegener advanced their views in 1908; Wilson probably misremembered how old he was when he accepted continental drift. He favored Earth expansion in 1960 without drifting continents when he was already fifty-one, and did not "welcome" continental drift in print until October 1961, when approaching his fifty-third birthday. Regardless of his age, once Wilson let go of contractionism, he began to apply his fertile mind to the consequences of continental drift, and developed a series of interesting, often original, hypotheses.

Wilson entertained Earth expansion but explicitly rejected its use as an explanation for continental drift (1960). After noting Paul A. M. Dirac's suggestion that the gravitational constant G may be decreasing over time and Heezen's hypothesis that Earth expansion not only explains the formation of the system of mid-ocean ridges but causes the widening of ocean basins and drifting continents, Wilson argued that the rate of Earth expansion needed to cause continental drift was unreasonably high (1960). He suggested that a much slower and reasonable rate of expansion could explain formation of ridges, and, just as with Earth contraction, formation of arcuate fracture zones where island arcs and mountains form. He argued that his view, unlike mantle contraction, avoided the difficulty of continental flooding by ocean waters with the shrinking of ocean basins.

Wilson came out in favor of continental drift and seafloor spreading, approximately a year and a half after entertaining slow expansion (1961). He favorably reviewed both Hess's and Robert Dietz's versions of seafloor spreading. Instead of analyzing seafloor spreading per se, he acknowledged the paleomagnetic support of continental drift put forth by Kenneth Creer, Edward Irving, Keith Runcorn, Patrick Blackett, John A. Clegg, and Peter H. S. Stubbs. He also removed a difficulty facing seafloor spreading, and in so doing was the first to suggest that ridges themselves may migrate (1961, p. 126). Given that ridges entirely surround Antarctica, if new seafloor flows toward Antarctica from all directions, it seemed that Earth

would have to expand because Antarctica lacks sinks where seafloor is destroyed. To avoid the difficulty, he proposed that the surrounding ridges themselves migrate northward.

Once committed to seafloor spreading and continental drift, Wilson applied them to a nest of problems. Turning his attention back to his homeland, he suggested that previous pre-Pangea breakups and collisions of drifting continents could explain ancient mountain systems and differently aged provinces of the Canadian Shield (1962a). He then argued that Cabot fault, which he claimed extends through New England and the Canadian Maritime Provinces, and the Great Glen fault in Scotland once formed a single fault before the continents separated (1962b, 1962c). Turning to the rest of the world, Wilson wondered about the origin of the Hawaiian Islands and other such parallel, linear chains of volcanic islands and seamounts found in the Pacific (1963). Most claimed that such island chains formed as lava reached the surface along large linear faults. Invoking seafloor spreading, he argued that the upwelling basalt comes from "a deep source" below the mass of moving sea floor and upper mantle (1963). As the spreading seafloor went over the plume, islands were created when the basalt reached the surface. He noted that this solution explained, unlike the received view, why the age of islands within such island chains increases the further the islands are from the East Pacific Rise (1963). His "deep source" was the precursor for W. Jason Morgan's (1968) hotspots. Wilson first sent the paper to the Journal of Geophysical Research where it was rejected; he then sent it to the Canadian Journal of Physics.

Transform Faults. His next major contribution, and his most important, was his concept of transform faults. Wilson (1965) was impressed by the fact that movements of Earth's crust appeared to be concentrated in three types of tectonic features, mid-ocean ridges, mountain ranges (including island arcs and trenches), and major faults with large horizontal displacements. These features seemed to end abruptly, and up to the middle 1960s were generally viewed as unconnected. He proposed that they were connected, not isolated features. Although the features end abruptly, he claimed that they actually are transformed into one of the other features. A ridge, for example, could be transformed into a horizontal fault, which could be transformed into a trench. Wilson named these horizontal faults transform faults. These horizontal faults had been viewed previously as transcurrent faults. Wilson further applied his transform fault concept to fracture zones that connect segments of oceanic ridges. Mid-ocean ridges are not continuous, but are made up of ridge segments that are offset from each other by fracture zones. He reasoned that if seafloor spreading occurs, the fracture zones connecting ridge segments should be transform not transcurrent faults. He further explained how seismological data could be used test his idea. If the

fracture zones were transform faults, then movement along them should be in the opposite sense to that of transcurrent faults. He also noted that current seismicity should be confined to the segment of the fault between ridge segments, whereas it should extend along the whole of the fracture zone, if transcurrent faulting occurs. When Wilson proposed his idea the relevant seismological data were missing to determine if the faults between ridge segments were transform or transcurrent. Lynn Sykes (1967) presented the missing data, and confirmation of Wilson's transform fault concept and the Fred J. Vine–Drummond H. Matthews hypothesis (1963) led to the acceptance of seafloor spreading and continental drift by many who had vehemently argued against them. Indeed, Vine and Wilson (1965) coauthored a paper that explained generation of seafloor from the Juan de Fuca and Gorda ridges south of Vancouver Island in terms of seafloor spreading, the Vine-Mathews hypothesis, and transform faults. Wilson's transform fault concept became a crucial element of plate tectonics. Morgan, coinventor of plate tectonics, went so far as to characterize plate tectonics as "an extension of the transform fault hypothesis [Wilson, 1965] to a spherical surface" (1968, p. 1959).

Later Career and Honors. Wilson recalled that by 1967 his "research had reached an impasse" and that he was unsure as to whether he had enough "will and strength" to continue (1990, p. 281). Moreover, he had spent about twenty years doing research, as his old mentor Mackenzie had advised. So, with strong encouragement by his wife, he accepted the offer to become the principal of Erindale College, a suburban campus of the University of Toronto. In just seven years, when he was forced to take mandatory retirement at age sixty-five, he turned 300 acres of land with just one building into a thriving campus.

With his impending retirement, Wilson was asked by the premier of Ontario to become director general of the Ontario Science Centre. With usual enthusiasm he directed the Science Centre from 1974 until 1985. During his directorship, the Science Centre expanded its "hands-on approach," which allows visitors to "do experiments" and see science as a creative and fun activity. He also organized traveling exhibits to remote places in Ontario, and with his support, a northern extension of Science Centre, Science North, was built in Sudbury, Ontario.

Recognized as one of the most imaginative Earth scientists of his generation, and a leader among Canadian scientists, Wilson received many honors and awards. He was Officer, Order of the British Empire (1946); Order of Canada, Officer (1970); Order of Canada, Companion (1974). He was elected Fellow of the Royal Society of London (1968). His awards and medals include the R. M. Johnston Medal, Royal Society of Tasmania (1950); the Willet G. Miller Medal, Royal Society of Canada (1958); the S. G. Blaylock Medal, Canadian Institute of Mining and Metallurgy (1959); the Logan Medal, Geological Association of Canada (1968); the Bancroft Award, Royal Society of Canada (1968); the Bucher Medal, American Geophysical Union (1968); the Penrose Medal, Geological Society of America; the J. J. Carty Medal, U.S. National Academy of Sciences (1974); the Gold Medal, Royal Canadian Geographical Society (1978); the Wollaston Medal, Geological Society of London (1978); the Vetlesen Prize, Columbia University (1978); the J. Tuzo Wilson Medal, Canadian Geophysical Union (1978); the Ewing Medal, American Geophysical Union (1980); the M. Ewing Medal, Society of Exploration Geophysics (1980); the Albatross Award, American Miscellaneous Society (1980); the Huntsman Award, Bedford Institute of Oceanography (1981); the Alfred Wegener Medal, European Union of Geosciences (1989); and the Killam Award, Canada Council (1989). Wilson died on 15 April 1993. He was eighty-four and was survived by his wife, two daughters, and three grandchildren.

Tuzo Wilson was a remarkable scientist. An antidrifter until his fifties, he, unlike many of his peers, was able to change his mind relatively late in his career and embrace continental drift. He also was able to transcend the regionalism that he shared with most Earth scientists, and begin to take a more global approach. The permanence of the Canadian Shield spoke against continental drift. But once he began to appreciate continental drift's paleomagnetic support, and realized the explanatory promise of seafloor spreading, he changed his mind, and then, through hard thinking and voracious reading of the literature relevant to a mobilistic Earth in fields beyond those in which he was trained, he drew out unsuspected consequences of continental drift and seafloor spreading, culminating in his transform fault concept.

Source: <https://www.encyclopedia.com/people/science>

[https://www.researchgate.net/publication/263214058\\_John\\_Tuzo\\_Wilson\\_A\\_man\\_who\\_moved\\_mountains1](https://www.researchgate.net/publication/263214058_John_Tuzo_Wilson_A_man_who_moved_mountains1)

[https://www.researchgate.net/publication/312035550\\_Tuzo\\_Wilson\\_An\\_Appreciation\\_on\\_the\\_50th\\_Anniversary\\_of\\_his\\_1966\\_Paper](https://www.researchgate.net/publication/312035550_Tuzo_Wilson_An_Appreciation_on_the_50th_Anniversary_of_his_1966_Paper)

# OBITUARY

**Manik Talwani**, an internationally recognized pioneer of modern applied marine geophysics, died March 22 in Auburndale, Mass., surrounded by his family. He was 89.

Manik's scientific exploration reached from deep beneath the ocean bottoms up to the moon, and his research in seismology, gravity and magnetics has influenced the course of science and petroleum exploration for decades, contributing greatly to human understanding of the Earth's crust, plate tectonics, continental margins and ocean basins. He was a pioneer in the acquisition of marine gravity and geomagnetic data and developed research methods that were adopted by both industry and academic researchers. Computer programming he wrote to analyze data 70 years ago is still in use with little change today.

Manik was born in Patiala, India, in 1933, the middle son of a civil engineer who led numerous dam projects in parts of the Punjab region that are now within both Pakistan and India. He was schooled at these remote locations by tutors before attending boarding school at age 11 and college at age 15.

He earned bachelor's and master's degrees from Delhi University and, at age 19, left India for Trondheim, Norway, to work on seismic and electromagnetic experiments. It was the start of a relationship with Norwegian friends and colleagues that would last a lifetime, eventually leading to an honorary doctorate from the University of Oslo, presented by the King of Norway.

In 1954, he accepted an opportunity to study geophysics at Columbia University and the next summer went on his first research trip aboard the R.V. Vema, a research vessel he would lead as chief scientist starting in 1961. In the early years, some experiments involved throwing live dynamite charges overboard night and day to acquire data for mapping the sub-ocean features. He went to sea every year for more than two decades as the Vema accumulated more geophysical data and sediment cores than any other ship of its era. His research also brought him a four-month stint in a British Navy submarine off the coast of Africa.

In 1958, he married his beloved wife, Anni (nee Anna Elizabeth Fittler), who joined in his endeavors and traveled with him around the world for the next 55 years. They raised three children, Rajeev, Indira and Sanjay.



After receiving his Ph.D. from Columbia, Manik continued at the university's Lamont-Doherty Geological Observatory (now Lamont-Doherty Earth Observatory) in Palisades, N.Y. He became a professor at Columbia in 1967 and the director of the observatory in 1973, a position he held until 1981. In 1972, he reached new heights as principal investigator for the experiments on the gravitational field of the moon conducted by the crew of Apollo 17, resulting in the only gravity measurements ever to be made on the moon. Anni and the three children witnessed the lift-off at Cape Canaveral, and the instrument he designed and built remains on the surface of the moon, with a replica on display at the Smithsonian Institute.

In 1974, during Manik's six-month sabbatical in Oslo, Norway, Anni and the children also developed a lifelong affinity with the culture of that country. Thanks in part to numerous treks among Norway's mountains and glaciers and elsewhere through the years, the family's passion for hiking and cross-country skiing continues to this day.

After four-years in industry, including a role as chief scientist for Gulf Research and Development Company, Talwani joined Rice University in Houston in 1985 as the Schlumberger Chair of Advanced Studies and Research and the founding director of the Geotechnology Research Institute, part of the Houston Advanced Research Center.

In 2004, Manik turned his research deeper into the Earth as president and CEO of the Integrated Ocean Drilling Program, an international nonprofit dedicated to deep sea drilling from ships around the globe. In 2009, he returned

to Rice University where he continued his research for 13 more years, giving his final paper in October 2022 at the annual meeting of the Geological Society of America.

Manik received a wide range of honors. He was the first recipient of the Krishnan Medal of the Indian Geophysical Union and received the IGU's Dr. Hari Narain Lifetime Achievement Award in 2018. He received the Macelwane Award from the American Geophysical Union, the Woollard Award from the Geological Society of America, the Exceptional Scientific Achievement Award from NASA, the Maurice Ewing Award from the Society of Exploration Geophysicists, the Alfred Wegener Medal from the European Geosciences Union, and the Emile Wiechert Award from the German Geophysical Society. He was a member of the Russian and Norwegian Academies of Science.

For several years he and Anni made monthlong trips to the National Institute of Oceanography in Goa, India, where he lectured and led research. He and Anni especially cherished the friendships made with young scientists in India, who gave them great hope for the future of his profession. After Anni's death in 2013, he established the

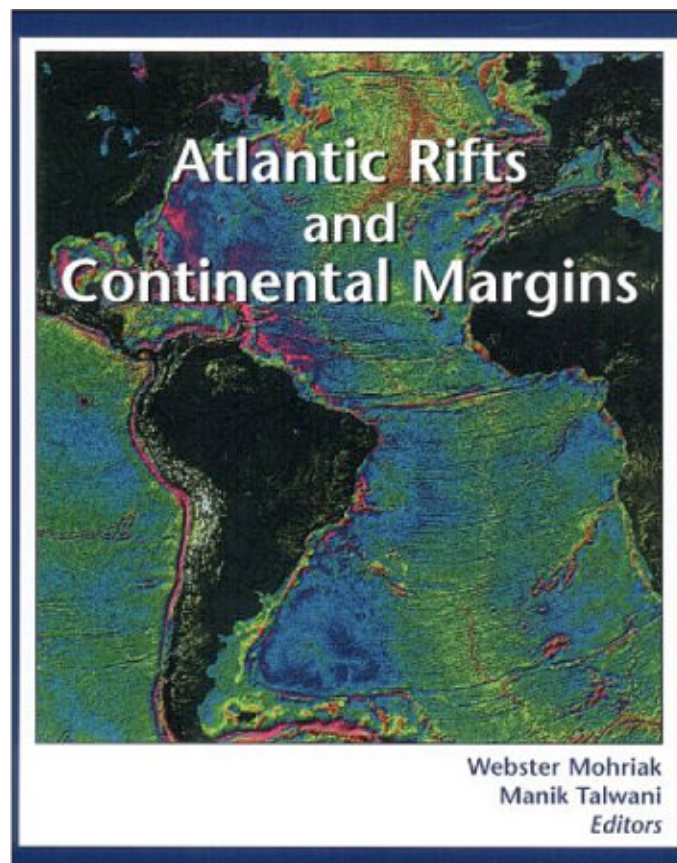
Anni Talwani Memorial Prize in her honor, given annually to a scientist under age 60 with significant contributions to the study of India's land and offshore areas.

Above all, Manik and Anni loved to spend time with their children and grandchildren in California, Montana, Washington, D.C., and Massachusetts. In his 80s, Manik made annual hiking expeditions with his eight grandchildren, reaching India, Nepal, Iceland, the Alps, the U.S. and Canadian Rockies, and other memorable destinations.

Manik is survived by his son Rajeev Talwani and his wife, Carolyn McKnight, of Los Angeles, and their children; his daughter Indira Talwani and her husband, Tod Cochran, of Newton, Massachusetts, and their children; his son Sanjay Talwani and his wife, Danna Jackson, of Washington, D.C., and Helena, Montana, and their children; his brother Pradeep Talwani, of Columbia, South Carolina; sister-in-law Renu Talwani of New Delhi, India; his uncle Navjeevan Khosla, of Chandigarh, India, and many nieces, nephews and cousins.

Source: Legacy.com

<https://www.researchgate.net/profile/Manik-Talwani>



<https://www.amazon.com/Atlantic-Continental-Margins-Geophysical-Monograph/dp/0875900984>

# PUBLICACIONES

## TESIS & RESÚMENES

**Leonardo v.d. Laat Muñoz**

**Análisis de los precursores sísmicos de los periodos eruptivos de 2010, 2013 y 2016 en el volcán Turrialba, Costa Rica.**

Universidad de Costa Rica. Tesis para optar por el grado académico de Licenciado en Geología, 8 de diciembre 2020.

Sustentante: **Leonardo van der Laat Muñoz.**

Director de Tesis: *Dr. Mauricio M. Mora Fernandez.*

### Resumen

El Turrialba es un estratovolcán andesítico ubicado en el extremo sureste de la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica. Tras más de un siglo de calma desde de la erupción de 1864-1866, el volcán comenzó a mostrar signos de reactivación en la década de 1990. En enero de 2010 ocurrió la primera erupción freatomagmática reciente, a la cual le siguieron una serie de erupciones quasi-anales en 2011, 2012, y 2013. Posteriormente, entre octubre de 2014 y noviembre de 2016 las erupciones sucedieron con mayor frecuencia, duración y volumen de emisión. A finales del 2016 inicio una nueva etapa marcada por el aumento drástico en el contenido juvenil de las cenizas emitidas y por explosiones estrombolianas. A partir de principios del 2019 la actividad comenzó a menguar.

Desde los años 80, se vigila y estudia sismológicamente el volcán Turrialba por parte de los observatorios nacionales. A partir del 2009, se cuenta con una estación sísmica permanente de banda ancha en la cima y en los años siguientes la red se fue extendiendo poco a poco. En esta investigación se considera, el período de registro sísmico entre los años 2009 y 2018, durante el cual se identificaron marcadas disminuciones de la amplitud del temblor volcánico en periodos de semanas a meses previo a erupciones. Algunas observaciones en conjunto del flujo de gases magmáticos y del temblor, junto con evidencias petrográficas, sugieren que estas disminuciones podrían estar relacionadas a un sello del sistema hidrotermal debido a la precipitación de minerales.

En esta investigación se comparan tres periodos de menor amplitud de temblor que ocurren previo a erupciones importantes en la evolución de la actividad reciente: 1) la primera erupción en 2010; 2) la erupción de 2013 que ocurre en un contexto de baja actividad y sismicidad; y 3) la erupción de 2016 que se considera la transición a la fase a conducto abierto. Para su descripción se aplicaron métodos de análisis de la señal sísmica en continuo y se detectaron y caracterizaron los eventos sismo-volcánicos precursores. Además, se llevó a cabo un estudio de los efectos de sitio y se implementó una rutina de localización de señales sismo-volcánicas por medio de las amplitudes sísmicas.

En los períodos de estudio se identificaron tres variedades de señales compuestas por un evento de largo período (LP) y una segunda fase relativamente larga que puede ser: 1) temblor armónico 2) temblor de amplio espectro; o 3) una coda multitonal no armónica (tipo tornillo). En general, los resultados del análisis de las características de estos eventos reflejan las condiciones de presurización del sistema previo a cada erupción. Por medio de la comparación de los resultados obtenidos para cada período junto con otros indicadores vulcanológicos y sísmicos (petrografía, deformación, actividad volcano-tectónica y otros eventos sismo-volcánicos) se describe el proceso paulatino de apertura del sistema.

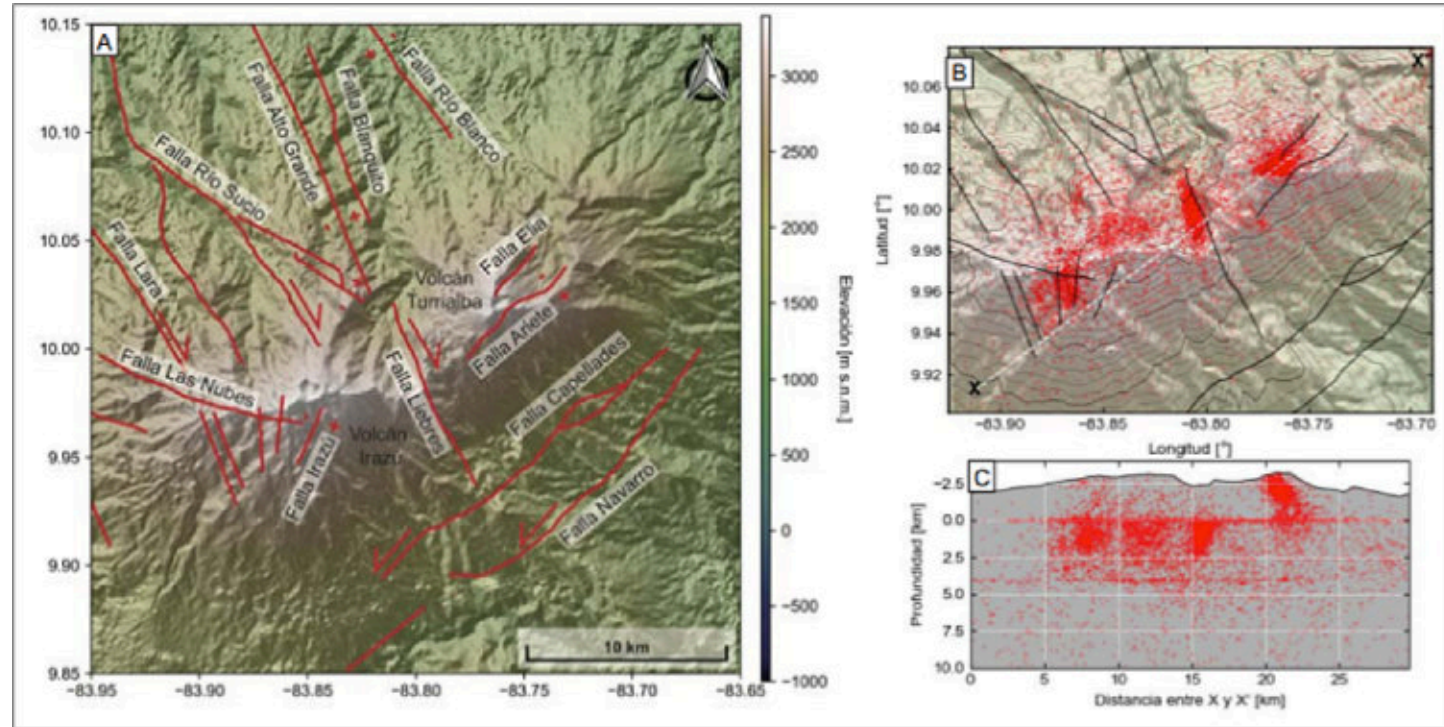
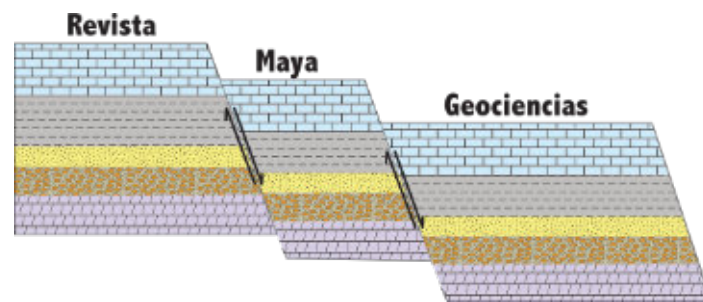


Figura 1.1. A) Mapa neotectónico de los volcanes Irazú y Turrialba. Basado en los aportes de Montero y Alvarado (1995); Montero et al. (2013); Linkimer et al. (2018). Las flechas indican el sentido del movimiento lateral relativo. Los signos + y - indican movimiento vertical relativo. B) Mapa de sismicidad tectónica entre los años 2010 y 2020 en los volcanes Irazú y Turrialba (OVSICORI). Las fallas se indican en línea negra. C) Perfil SW-NE.



[https://revistamaya.com/?page\\_id=226](https://revistamaya.com/?page_id=226)

ISSN 0258-3135



**Boletín 140**  
**Abril, 2023**

**BOLETÍN DE HISTORIA DE LAS GEOCIENCIAS**  
**EN VENEZUELA**



Número dedicado a las *VIII Jornadas Venezolanas de Historia de las Geociencias*, celebradas en el marco del *II Congreso Venezolano de Geociencias*. Caracas, Ciudad Universitaria. 20 al 24 de marzo 2023.

Ediciones de la Sociedad Venezolana de Historia de las Geociencias  
Apartado 47.334, Caracas

## TRATAMIENTO PASIVO “*IN SITU*” PARA LA REMEDIACIÓN DEL DRENAJE ÁCIDO DE MINA (DAM) EN TAXCO, GUERRERO (México), MEDIANTE EL USO DE FILTROS DE ROCA CALIZA Y HUMEDALES ARTIFICIALES

Universidad Nacional Autónoma de México.

Tesis que para optar por el Grado de: Doctor en Ciencias, Febrero 2023.

Sustentante: **Daniel Ramos.**

Director de Tesis: *Dr. Francisco Martín Romero.*

### Resumen

El drenaje ácido de mina (DAM) es uno de los problemas asociados a la minería más importantes, por sus características ácidas y alta concentración de elementos potencialmente tóxicos (EPT), que ponen en riesgo al medio ambiente.

En México, el problema de generación de DAM ha sido reportado en la zona minera de Taxco, Guerrero, a través del socavón 1412 desde 2007; encontrándose concentraciones importantes de EPTs entre los que destacan, Al, As, Cd, Cu, Ni y Zn. Aunque se han estudiado alternativas de tratamiento a nivel laboratorio, aún no existen registros de su implementación y remediación *in situ*.

En este trabajo de investigación se realizó una caracterización histórica del DAM generado en este sitio de Taxco a lo largo de 2 años y se implementaron sistemas de tratamiento pasivo *in situ*, mediante el uso de filtros inundados de rocas calizas del sitio, sedimentadores y probando el uso humedales artificiales con diferentes basamentos para la remoción de los principales EPTs.

Se encontró que el DAM presenta una elevada CE de  $3.4 \text{ mS cm}^{-1}$  y un pH bajo de 3.1, además de una concentración importante de EPTs como: Zn ( $539 \text{ mg L}^{-1}$ )>Fe ( $132.8 \text{ mg L}^{-1}$ )>Al ( $61.7 \text{ mg L}^{-1}$ )>Mn ( $47.5 \text{ mg L}^{-1}$ )>Cd ( $3.19 \text{ mg L}^{-1}$ )>Cu ( $2.14 \text{ mg L}^{-1}$ )>Ni ( $0.32 \text{ mg L}^{-1}$ )>As ( $0.12 \text{ mg L}^{-1}$ )>Pb ( $0.08 \text{ mg L}^{-1}$ )>Cr ( $0.06 \text{ mg L}^{-1}$ ). Esta concentración se incrementa entre los meses de octubre a noviembre debido a procesos microbiológicos, requiriendo de un sistema de tratamiento robusto para su manejo adecuado.

Los resultados de este estudio indican que, los sistemas de tratamiento pasivo implementados *in situ* son eficientes para remover elementos como Al y Fe con una eficiencia >99%, y Cu, con una eficiencia >96%, mediante fenómenos de precipitación de oxihidróxidos e hidroxisulfatos, promovido por el incremento de pH en los filtros de roca caliza. Sin embargo, elementos como el Cd, Ni y Zn se remueven en menor medida, con eficiencias de remoción entre 26 y 80%, principalmente mediante mecanismos de adsorción en los materiales, plantas y microorganismos presentes en los humedales. La remoción de estos elementos en los humedales está en función del tipo de basamento, ya que, para el caso del Cd, se obtienen remociones más altas en presencia de un basamento reactivo formado por roca fosfórica, zeolita y paja de avena (80.7%), en comparación con un basamento poco reactivo (68.5%) asociado a las interacciones entre los microorganismos y *A. donax* en los humedales. Sin embargo, este efecto es contrario en elementos como el Mn, Ni y Zn, los cuales se remueven 0.77, 25.30 y 33.39%, respectivamente, en humedales con basamento reactivo, mientras usando un basamento poco reactivo se obtienen remociones de 21.64, 50.0 y 43.86%, respectivamente.

Finalmente, es importante establecer nuevas estrategias de mejora en los sistemas de remediación que permitan aumentar la remoción de elementos como Cd, Mn, Ni y Zn para una disposición ambiental segura del DAM en Taxco, Guerrero, incluyendo estrategias híbridas que contemplen estrategias de tratamiento abióticas y bióticas

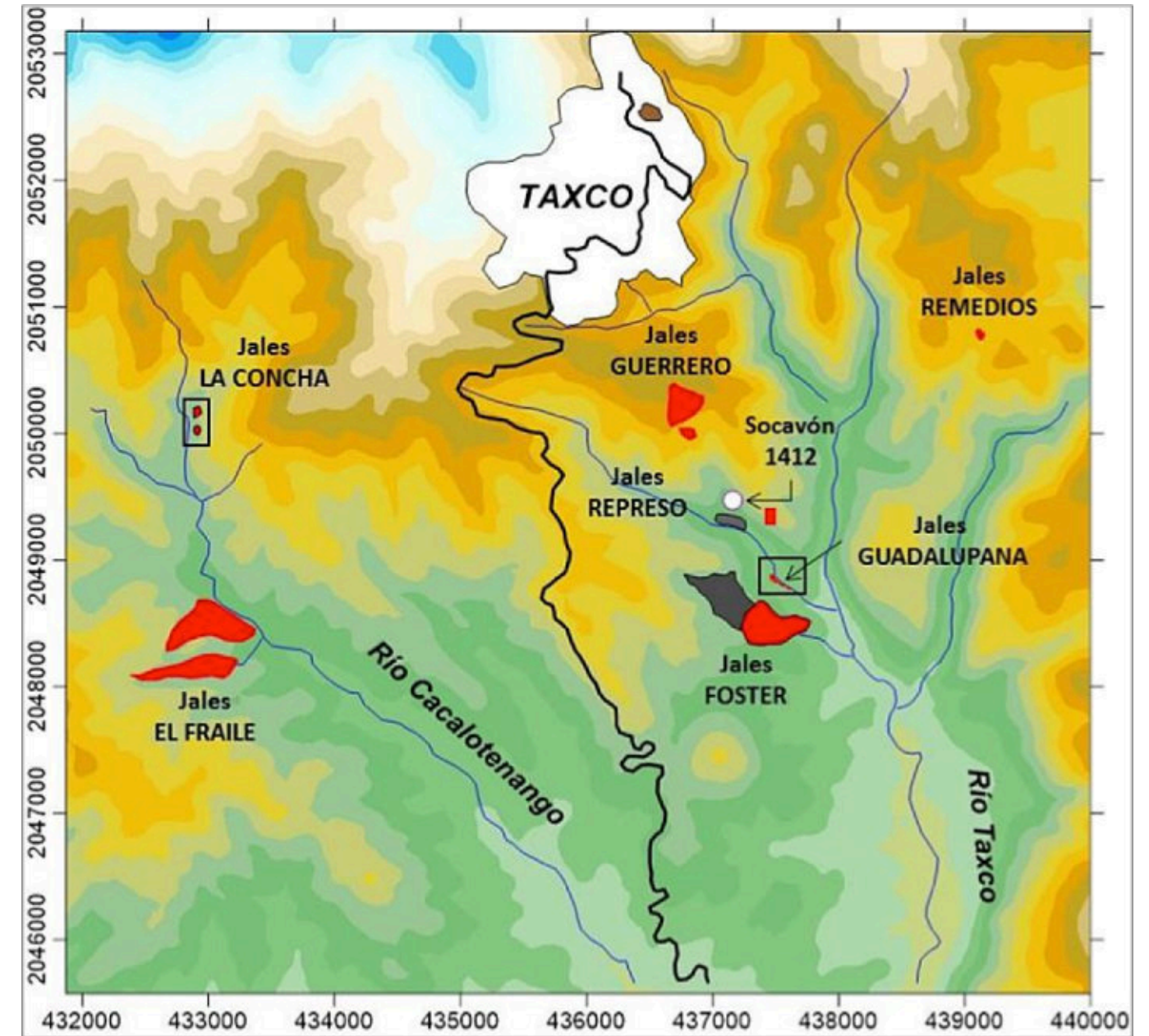


Figura 1.1. Ubicación del distrito minero de Taxco, Guerrero, México, con los principales sitios, la distribución de residuos mineros (jales) y corrientes de agua superficial influenciadas (Modificado de Industrial Minera Mexico, 2017).

## Caracterización petrogenética e isotópica del basamento cristalino de la porción centro-sureste del Macizo de Chiapas (poblado Ampliación Lagunas), México.

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

Tesis para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Maestro en Ciencias, 2023

Sustentante: **José Daniel Rendón Vázquez**

Director de Tesis: *Dr. Bodo Weber*.

### Resumen

La presente investigación se realizó en el centro-sureste del Complejo Macizo de Chiapas, (CMC) en la zona limítrofe entre dos litodemas distintos: (1) El Complejo El Triunfo (CT) hacia el sureste está constituido por secuencias metasedimentarias ediacáricas (Unidad Jocote), rocas metaígneas Neoproterozoicas (Unidad Candelaria) y un complejo anortosítico. Característico del CT es el metamorfismo ordovícico de grado medio-alto, contemporáneo con intrusiones de la Serie Motozintla. (2) El litodema hacia el noroeste resalta por la ausencia del evento ordovícico y se distinguen las unidades metamórficas Catarina (UCA) con protolitos mesoproterozoicos y Custepec (UCu) con corteza máfica retrabajada. Ambos litodemas tienen en común abundantes intrusivos pérmicos. En el área de estudio se cartografiaron anfibolitas, ortogneises, metagranitoides, micaesquistos y rocas ultramáficas. Edades modelo TDM (SmNd) entre 1.5 y 1.1 Ga en la mayoría de las rocas analizadas son concordantes con TDM del CT. Un gneis anfibolítico en el extremo noroeste del área de estudio en cambio arrojó 1.93 Ga, relacionándolo con la UCa. El supuesto límite estructural entre UCa y CT se encontró en un vasto deslizamiento que expone rocas de la Unidad Jocote, compuestos por micaesquistos de rutilo y cianita. Mediante geocronología U-Pb, se obtuvo una edad de ~252 Ma en rutilo, mientras que termometría de Zr-en-rutilo indica temperaturas de 550-600°C a presiones >8 Kbar durante el metamorfismo pérmico. Variaciones en las relaciones P/T entre UCu, UCa, el micaesquisto estudiado y CT para el Pérmico sugieren un contacto tectónico donde UCa/UCu se encuentra cabalgando sobre CT. Anfibolitas intercaladas con las micaesquistos, arrojaron una edad U-Pb en zircón de ~458 Ma, reflejando el metamorfismo ordovícico típico para el CT. Análisis de isótopos de Sm-Nd en rocas ultramáficas (clinopiroxenitas olivínicas) del área de estudio arrojaron una isócrona con una edad de 480 ±30 Ma. Tanto la edad como las características químicas típicas de arco magmático relacionan a las rocas ultramáficas con la Serie Motozintla. Adicionalmente, se encontraron granitos peraluminosos con granate, que arrojaron de manera independiente edades de U-Pb en zircón y Sm-Nd en granate-roca total en 220-217 Ma. Estos intrusivos anatócticos se atribuyen a extensión cortical durante la ruptura de Pangea.

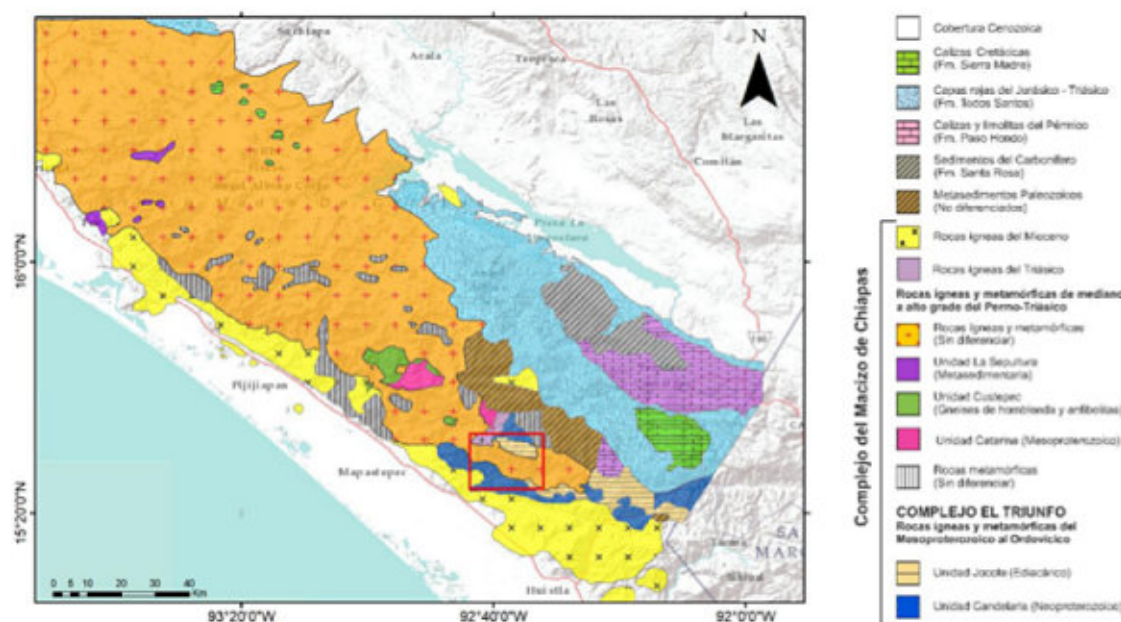


Figura 1.1. Mapa geológico simplificado de la parte sureste del CMC. El recuadro rojo muestra el área estudiada en este trabajo. Tomado y modificado de Weber et al. (2018).

## ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA DE LA PERMEABILIDAD DE LAS ARCILLAS DEL EX LAGO DE TEXCOCO (MÉXICO) A PARTIR DE PRUEBAS DE CONSOLIDACIÓN.

Universidad Nacional Autónoma de México.

Tesis que para optar por el Grado de: Maestro En Ingeniería, Mayo 2021.

Sustentante: **Ángel Rodrigo Terrones Porcayo**.

Director de Tesis: *Dra. Norma Patricia López Acosta*.

### Resumen

Esta investigación tiene como objetivo representar de manera regional la permeabilidad de las arcillas del ex Lago de Texcoco. La magnitud de la permeabilidad se determina por un método indirecto a partir de pruebas de consolidación realizadas en laboratorio. Los resultados se procesan con un enfoque geoestadístico para su caracterización espacial.

En la parte principal de esta tesis, se muestra una metodología para la representación regional de la permeabilidad de las arcillas del ex Lago de Texcoco, fundamentada en la geoestadística. Se destaca el método indirecto a partir de la prueba de consolidación para la obtención de los valores puntuales de la permeabilidad del sitio, además del análisis estadístico para asignar una función de distribución de probabilidad que defina la permeabilidad.

En función de lo anterior, el estudio se considera como un análisis geoestadístico univariable fundamentado en la teoría de los campos aleatorios. La predicción de los valores de permeabilidad se obtiene a partir de la técnica de estimación optimizada conocida como el método de Kriging Ordinario, mientras que, el desarrollo de los algoritmos necesarios para los análisis, se realiza con el software geoestadístico de acceso libre SGeMS.

Los resultados obtenidos se validan con el método de validación cruzada y con la comparación de los valores empíricos de permeabilidad obtenidos en investigaciones previas. Para la representación de los resultados se recurre a perfiles y cortes virtuales de isovalores en diferentes zonas y profundidades del sitio de estudio, los cuales permiten la evaluación de la distribución regional de la permeabilidad.

Al final, se emiten las conclusiones derivadas de los análisis realizados. Se espera que trabajos como este contribuyan a difundir y promover el uso de la geoestadística en la caracterización de las propiedades hidráulicas de los suelos.

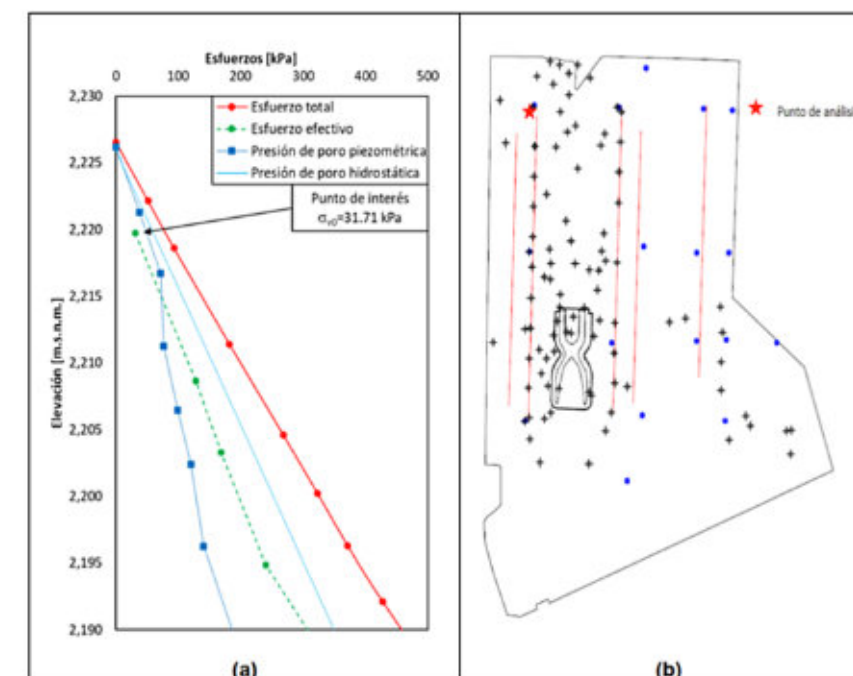


Figura 1.1. (a) Cálculo del estado de esfuerzos y condiciones piezométricas para el punto que se indica en (b) (Elaboración propia a partir de datos de CFE, 2018).



**Modelado numérico en 2D del transporte de solutos (Na, K, Ca y Mg) en un yacimiento geotérmico: El caso de Las Tres Vírgenes, BCS, México.**

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

Tesis para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Maestro en Ciencias, 2023

Sustentante: **Yesica Ximena Peña Beltrán**

Director de Tesis: *Dr. Efraín Gómez Arias*

**Resumen**

En sistemas geotérmicos, entender las condiciones de equilibrio termodinámico-químico de la interacción fluido-roca nos permite estudiar las reacciones involucradas en la formación o disolución de los minerales. En este trabajo, se discretizó mediante el Método de Volumen Finito (MVF) la ecuación de transferencia de calor para simular el perfil de temperaturas del campo geotérmico Las Tres Vírgenes (CGLTV) y posteriormente, mediante el mismo método, se discretizó la ecuación de transporte de solutos advectivo-difusivo con el fin de modelar las concentraciones de los cationes mayores (Na, K, Ca y Mg) del fluido geotérmico en los últimos 20 años, correspondientes al tiempo de explotación del campo. Para ello, se desarrolló un código numérico en FORTRAN que resuelve las ecuaciones discretizadas en 2D en estado transitorio. De acuerdo con la mineralogía reportada para el campo, las fases mineralógicas que se consideraron como fuente de Na, K y Ca corresponden a albita, microclina y zoisita. Basados en los modelos obtenidos, se propone un reservorio entre 1450 y 2450 m de profundidad y concentraciones iniciales de 100.0 ppm para el sodio y 10.0 ppm para el potasio, logrando reproducir las concentraciones promedio a condiciones de yacimiento de los pozos LV-13, LV-11, LV-6, LV-3 LV-4 y LV-1 correspondiente a valores entre 3138 y 3661 ppm y temperaturas entre 225° y 249 °C para el sodio y concentraciones promedios entre 604 y 663 ppm para los pozos LV-13, LV-11, LV-4 y LV-5 y temperaturas entre 223° y 257 °C para el potasio. Para el calcio, a partir de una concentración inicial de 2.0 ppm se lograron reproducir las concentraciones de los pozos LV-5 y LV-6 las cuales varían entre 251 y 260 ppm encontrándose a profundidades entre 1737 y 2162 m y temperaturas entre 225° y 260 °C. Finalmente para el magnesio las condiciones propuestas en este trabajo no lograron reproducir los valores reportados de las concentraciones del fluido geotérmico. Este trabajo se presenta como un paso a entender el transporte de solutos en sistemas geotérmicos y además, favorecer el uso de geotermómetros de Na/K basados en actividades iónicas propuestos en la literatura.

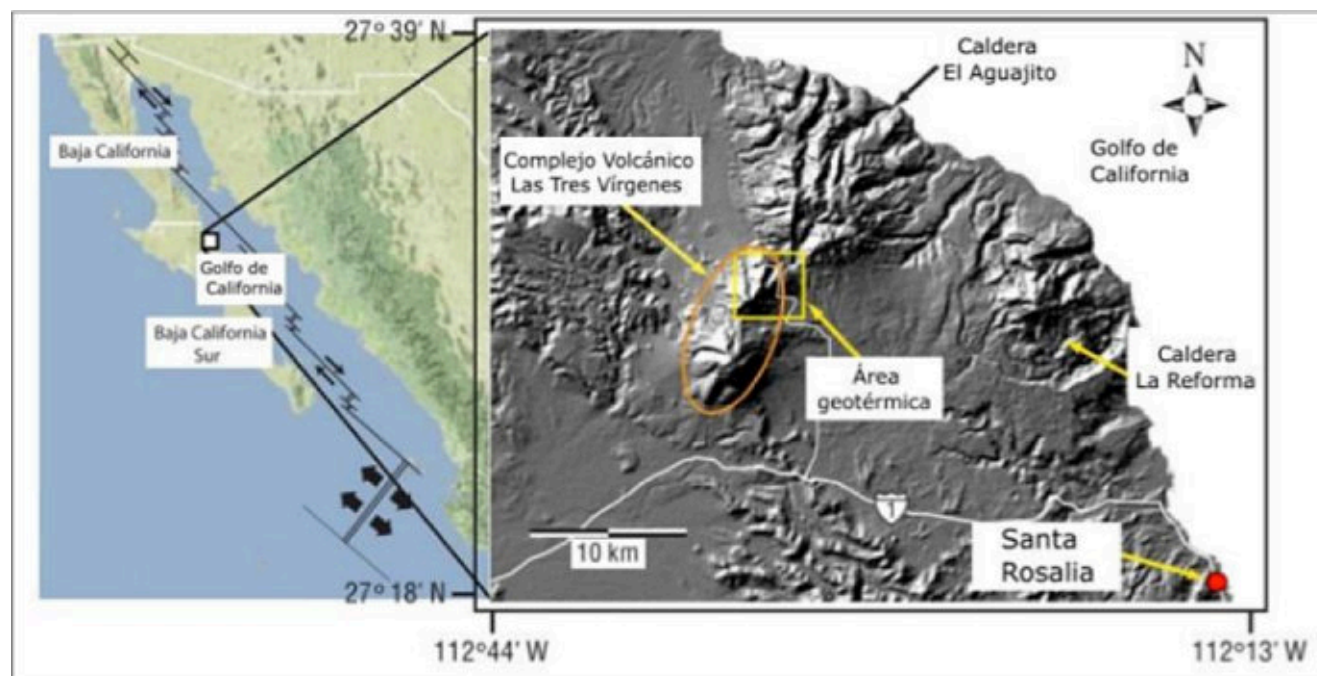


Figura 1.1. Ubicación del Complejo Volcánico Las Tres Vírgenes (CVTV), la Caldera de La Reforma y el Complejo El Aguajito, adicionalmente se delimita el área geotérmica (Tomado de Guerrero-Martínez & Verma, 2013).

[https://revistamaya.com/?page\\_id=226](https://revistamaya.com/?page_id=226)

Received: 15 Oct. 2022, Accepted: 28 Nov. 2022

Published online: 31 Dec. 2022

DOI: <https://doi.org/10.22201/igg.25940694e.2022.2.97>

Volume: 6, Issue: 2, Pages: 1-10



**Identificación, clasificación y representación cartográfica de las depresiones kársticas en la Reserva de la Biósfera El Cielo, Tamaulipas, México<sup>☆</sup>**

**Identification, classification and mapping of the karst depressions in El Cielo Biosphere Reserve, Tamaulipas, Mexico**

Jerjes Rigoberto Pantoja-Irys<sup>\*a</sup>, Christian Santillanes-Gutiérrez<sup>a</sup>, Luis Eduardo Arista-Cázares<sup>a</sup>, Lizbeth Ramírez-Colín<sup>a</sup>, Daniela Hernández-García<sup>a</sup>, Hugo Mujica-Sánchez<sup>a</sup>, Mark Wagner<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Corporación Ambiental de México, S.A. de C.V. Texcoco 100, Colonia Satélite Acueducto, Monterrey, Nuevo León, 64960, México

<sup>b</sup>Arcadis US, Inc. 7550 Teague Road, Suite 210, Hanover, MD, 21076, USA

**Resumen**

El cambio climático y el crecimiento de la población continúan generando demandas, riesgos y vulnerabilidades importantes para los recursos hídricos. Los acuíferos kársticos representan algunas de las formaciones acuíferas más prolíficas con ecosistemas críticos. Una mayor comprensión de su extensión y características es importante como parte de la planificación urbana para garantizar que se establezcan acciones adecuadas en el futuro para su protección. En este trabajo se han creado mapas temáticos con procedimientos semiautomáticos desarrollando índices morfométricos para la identificación de depresiones kársticas dentro de la sucesión carbonatada de la Reserva de la Biosfera El Cielo en el Estado de Tamaulipas, México. Las herramientas de digitalización se utilizaron para: 1) identificar estructuras; 2) fotointerpretar los valles fluviales kársticos y las depresiones kársticas; 3) definir índices morfométricos para el agrupamiento de depresiones; 4) clasificar a través de parámetros morfométricos; 5) identificar "clusters" de dolinas a través de métodos estadísticos, y 6) generar un catálogo completo de las depresiones kársticas y su cartografía. El procedimiento adoptado identificó 1578 rasgos que incluyen: a) 35 valles fluviales kársticos longitudinales; b) 35 valles fluviales kársticos transversales; c) 3 poljes; d) 17 uvalas, y e) 200 dolinas B y 1288 dolinas A.

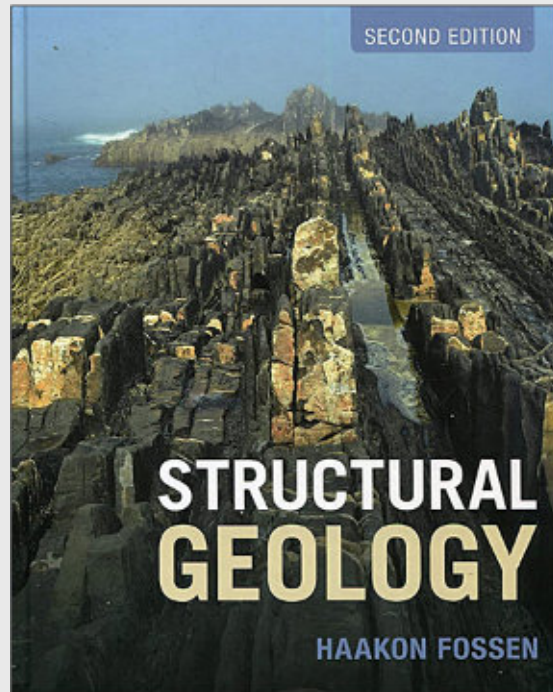
**Palabras clave:** Reserva de la Biósfera El Cielo, karst, dolinas, uvalas, poljes, valles, morfometría.

**Abstract**

Climate change and population growth continue to create significant demands, risks and vulnerability to water resources including groundwater. Karstic aquifers represent some of the most prolific water-bearing formations with critical ecosystems. A greater understanding of their extent and features is important as part of urban planning to ensure adequate actions are established into the future for its protection. In this work, thematic maps have been created with the semi-automated procedures to develop morphometric indices for the identification of karst depressions within the carbonate sequences of the El Cielo Biosphere Reserve in Tamaulipas State, Mexico. Digitalization tools were utilized to: 1) identify structures; 2) photo-interpret the fluvio-karstic valleys and identified karst depressions; 3) define morphometric indices for depression grouping; 4) classification through morphometric parameters; 5) identify doline "clusters" through statistical methods; and 6) generate of a comprehensive catalog of the karst depressions and cartography. The adopted procedure identified 1578 features including: a) 35 longitudinal fluvio-karstic valleys; b) 35 transverse fluvio-karstic valleys; c) 3 poljes; d) 17 uvalas, and e) 200 B dolines and 1288 A dolines.

**Keywords:** Biosphere Reserve El Cielo, karst, doline, uvala, polje, valley, morphometry.

# El libro recomendado



## Structural Geology Second Edition

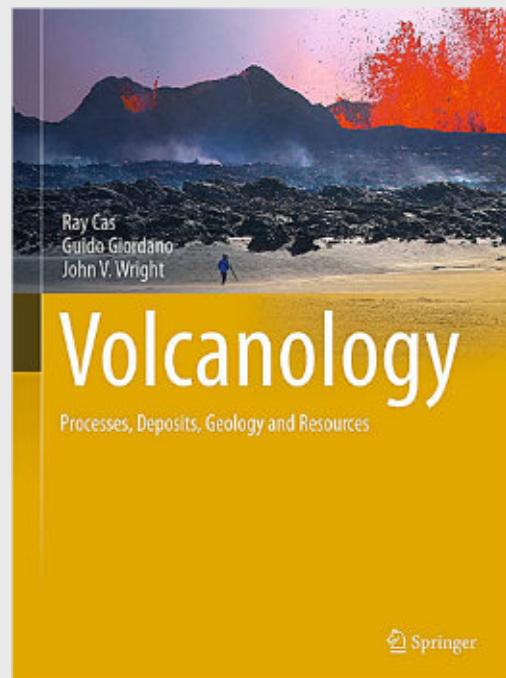
Author: Haakon Fossen, Universitetet i Bergen, Norway  
Date Published: March 2016

This market-leading textbook has been fully updated in response to extensive user feedback. It includes a new chapter on joints and veins, additional examples from around the world, stunning new field photos, and extended online resources with new animations and exercises. The book's practical emphasis, hugely popular in the first edition, features applications in the upper crust, including petroleum and groundwater geology, highlighting the importance of structural geology in exploration and exploitation of petroleum and water resources. Carefully designed full-colour illustrations work closely with the text to support student learning, and are supplemented with high-quality photos from around the world. Examples and parallels drawn from practical everyday situations engage students, and end-of chapter review questions help them to check their understanding. Updated e-learning modules are available online ([www.cambridge.org/fossen2e](http://www.cambridge.org/fossen2e)) and further reinforce key topics using summaries, innovative animations to bring concepts to life, and additional examples and figures. <https://www.amazon.com/Structural-Geology-Haakon-Fossen/dp/1107057647>

## Volcanology: Processes, Deposits, Geology and Resources (Springer Textbooks in Earth Sciences, Geography and Environment). Second Edition

Author: Ray Cas, Guido Giordano, John V. Wright  
Date Published: 2023

This book is a substantially updated, revised and extended version of the book Volcanic Successions, published by Cas and Wright back in 1987. Divided into six major parts, it offers comprehensive information on magma properties; fragmentation processes; subaerial and subaqueous lava types and field textures; sub-volcanic intrusions; explosive or pyroclastic eruptions and deposits; surface sedimentary processes; hydrothermal alteration and lithification, and effects on volcanic rock textures; terminology and approaches to describing and mapping volcanic rocks and terrains; geology of volcanoes and facies models; volcanism and tectonic setting; and to conclude, volcanic-hosted resources. It is a highly up-to-date text, presenting a coherent flow of topics, together with excellent visual material to illustrate key points and deposit features. <https://www.amazon.com/Volcanology-Processes-Deposits-Geology-Resources/dp/3319666126>



# TEMAS DE INTERÉS

## Sostenibilidad en la transición energética. Materiales críticos para el aprovechamiento de energías limpias.

**Natalia Silva Cruz**  
Colaboradora de la Revista

La principal razón que justifica la descarbonización de la economía mundial es la sostenibilidad, simplemente no es viable para la humanidad continuar liberando gases de efecto invernadero a la atmósfera sin generar una catástrofe ambiental, y aunque existan fuentes de energía renovables y tengamos el conocimiento para su utilización, aprovecharlas puede no ser sostenible. La generación, almacenaje y transporte energético requieren de una serie de materiales críticos, y su obtención y utilización deben

ser realizadas de manera ética bajo los mejores estándares posibles que garanticen que no se comprometa el ambiente ni exista detrimento de las condiciones de vida de ninguna especie, incluyendo la nuestra. La escasez en la corteza terrestre, la distribución de la aparición, las complejidades para la extracción, los mecanismos de explotación, la situación socio política, entre otras, son algunas de las variables que afectan la sostenibilidad de la obtención de estos minerales y elementos. En la Figura 1 podemos observar una gráfica que representa una matriz de criticidad de los materiales más determinantes para el uso de energías renovables preparada por el Departamento de Energía de los Estados Unidos. Ahora veamos los más importantes para la transición energética según su utilidad.

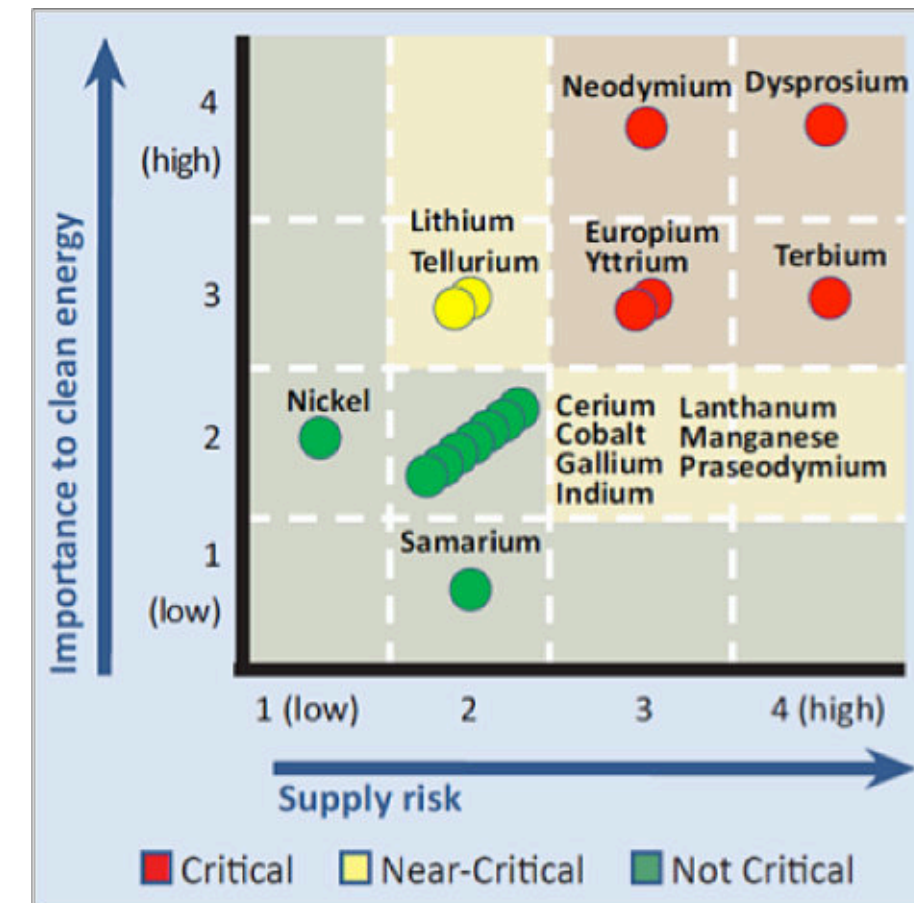


Figura 1. Criticidad de materiales determinantes para las energías limpias<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>U.S. Department of Energy. Critical Materials Strategy. Diciembre 2011.

**Materiales críticos para la energía fotovoltaica.**

El reto más considerable para el uso exitoso de la energía fotovoltaica es identificar materiales y tratamientos de estos que aseguren una vida útil de al menos 20 años y eficiencias mayores al 20% (para celdas de base de silicio), sin embargo, la demanda en aumento de tecnologías de celdas delgadas, que son muy atractivas por su flexibilidad y facilidad para ser transportadas, hace que algunos de los elementos requeridos en su fabricación sean críticos, los más relevantes son:

**Indio.** Es un elemento que aparece como componente menor en acumulaciones de sulfuros de zinc (como la esfalerita) y es por lo mismo un subproducto del refinado del zinc. Se encuentra también en menor abundancia en minerales de cobre sulfídico. Es casi tan abundante como la plata, tiene una presencia en la corteza de 0,24 ppm. Se considera un elemento crítico tecnológico porque su uso más notable es en la industria de semiconductores. El principal productor es China (290 toneladas en 2016), seguido por Corea del Sur (195 toneladas), Japón (70 toneladas) y Canadá (65 toneladas)<sup>2</sup>. Aunque no existe un claro panorama de reservas, se estima que podría acabarse antes de 2050 y por lo mismo es necesario encontrar un sustituto con urgencia.

**Galio.** Es un elemento más común en la corteza terrestre que el anterior, con una presencia de 16,9 ppm, algo cercana a la del plomo y del cobalto. Se encuentra en concentraciones bajas en minerales como la bauxita, mena del aluminio, por lo que es un subproducto de la minería de dicho elemento. Aparece en proporciones altas en minerales como la galita, pero como la aparición de este mineral es tan baja, no se considera una fuente comercial para el galio. El mayor productor es China, con 300 toneladas de las 315 producidas mundialmente durante 2017<sup>3</sup>.

**Telurio.** Es un elemento bastante raro, tiene una abundancia similar a la del platino (alrededor de 1 µg/kg). Se encuentra asociado con metales como el oro y la plata, pero aparece mayoritariamente en minerales como la melonita, un telururo de níquel. El precio del telurio se duplicó de 2017 a 2018, y es alarmante que la aceleración en la producción hace suponer que la disponibilidad de este material caerá en picada a partir de 2025<sup>4</sup>.

La recomendación generalizada es mejorar la tecnología de las celdas solares para reducir el espesor sin sacrificar la

eficiencia de los equipos, reduciendo la cantidad de materiales críticos necesaria.

**Materiales críticos para la energía eólica.**

Tal como discutimos en el artículo “Materiales críticos para el aprovechamiento de la energía eólica”, publicado en la edición de diciembre de 2022 en la Revista Maya de Geociencias, la principal limitante para viabilizar la energía eólica en masa es la construcción de imanes permanentes formados a partir de elementos de tierras raras que den lugar a la generación de un campo magnético variable gracias a la rotación de la turbina, dando lugar a la generación eléctrica. La mayoría de las tierras raras son extraídas en China, que produce el 60% y consume el 70% del total mundial, y además de su alta demanda, mantiene controles de exportación que complican el acceso a estos elementos afuera. Conjuntamente, la comunidad internacional ha manifestado desconfianza en la transparencia de precios y en el uso de prácticas de extracción que no son amigables con el planeta debido en su mayoría a la proliferación de la minería ilegal. Para contrarrestar la criticidad, se recomienda la evolución de imanes permanentes de neodimio, praseodimio y disprosio, por imanes de samario – cobalto, que, si bien son más costosos, no se consideran como críticos en el cercano ni lejano plazo.

**Neodimio.** Este elemento es uno de los metales de tierras raras, aparece en rocas del grupo de la monacita y bastnasita, que son las menas de tierras raras más frecuentes. Es un elemento con una aparición alta en la corteza, siendo tan común como el cobalto, el níquel o el cobre, encontrándose principalmente en China, donde se cuentan con las mayores acumulaciones.

**Praseodimio.** Esta tierra rara también aparece en rocas del grupo de la monacita y bastnasita. Tiene una abundancia en la corteza terrestre similar a la del boro, lo que lo hace un elemento relativamente común. Tal como para el caso anterior, el principal productor es China.

**Disprosio.** Este elemento de tierras raras se asocia a los anteriores, encontrándose en rocas del grupo de la monacita y bastnasita, además de otras rocas de tipo xenotima, fergusonita y gadolinita. La criticidad es bastante elevada porque además de los altos precios que ha alcanzado en su historia (1.400 USD/kg en 2011<sup>5</sup>), promoviendo la minería ilegal en China, es muy complejo conseguir un reemplazo que satisfaga las necesidades de las energías limpias.

**Materiales críticos para el transporte vehicular eléctrico.**

Los vehículos eléctricos e híbridos tienen dos áreas que se ven restringidas por materiales críticos. La primera consiste en imanes permanentes que se constituyen con base en los mismos elementos de tierras raras que vimos para el caso de la construcción de aeroturbinas: neodimio, praseodimio y disprosio, por lo que presentan las mismas dificultades mostradas anteriormente. La segunda es para el almacenaje de energía, sobre este tema les recomiendo el artículo “El litio y otros minerales indispensables para la manufactura de baterías”, publicado en octubre de 2022 de la Revista Maya de Geociencias. Los materiales críticos para las baterías de vehículos eléctricos son:

**Cerio.** Es una tierra rara que se encuentra en rocas del tipo de la monacita y bastnasita, con la diferencia para los demás casos discutidos en que su extracción es mucho más sencilla. Es tan abundante en la corteza como el cloro, y cinco veces más común que el plomo. El principal productor es China, y la mayoría de la demanda se encuentra en industrias fuera de las energías renovables (90%<sup>6</sup>).

**Lantano.** Es una tierra rara que aparece en rocas del tipo de la monacita y bastnasita, es un elemento relativamente común, aparece en una proporción tres veces mayor que el plomo en la corteza terrestre. Con una abundancia de 39 mg/kg, solamente el neodimio (41.5 mg/kg) y el cerio (66.5 mg/kg) son más comunes dentro de todas las tierras raras. Se utiliza como ánodo en las baterías de vehículos eléctricos.

**Litio.** Es un elemento metálico con moderada a alta abundancia en la corteza, con una presencia de 65 ppm, la dificultad para acceder al litio es su diseminación en todo el planeta, manteniendo proporciones muy bajas, así, la producción comercial en masa se realiza en salares, donde aparece en concentraciones mucho más altas. El principal productor es Australia (40 kTon/año), seguido por Chile (20 kTon/año) y China (14 kTon/año). El 85% de los recursos se ubican en el Triángulo del Litio, entre Bolivia, Chile y Argentina. La criticidad de la obtención del litio está definida por el tiempo que requiere la extracción, puesto

que se necesitan meses para que se realice la evaporación de agua previo a la separación de otras sales.

**Cobalto.** Este elemento se produce en su mayoría como subproducto de la minería de cobre y níquel. Igual que en el caso del litio, el principal destino del cobalto es para baterías. Las menas de cobalto más comunes son la cobaltita, la eritrina y el glaucodot. El mayor productor es la República Democrática del Congo, donde también se ubican las mayores reservas. Ha perdido criticidad en la industria de vehículos eléctricos debido a que es posible reemplazarlo por materiales que contienen níquel, que es más barato.

**Níquel.** Se encuentra en minerales como la pentlandita, la millerita, la niquelina y la galena. Es uno de los cuatro elementos ferromagnéticos a temperatura ambiente, junto con el cobalto, el hierro y el gadolinio. Se obtiene a través de la minería de lateritas que contienen limonita y garnierita y en depósitos de sulfuros magmáticos de pentlandita. Si bien es un buen sustituto para el cobalto, los precios no son mucho más bajos y se busca un reemplazo diseñando baterías que contengan cátodos intercrecidos de sal de roca, constituido por manganeso, que es mucho más barato.

Concluyendo, la transformación energética tiene muchos aspectos que limitan su sostenibilidad, no solamente quisiéramos contar con una fuente energética más potente que los clásicos hidrocarburos, sino además queremos que no dañe el ecosistema ni afecte la economía ni nuestro estilo de vida. Es frecuente encontrar agentes que se oponen a la transición energética, que parecen ignorar que tenemos una catástrofe ambiental tocándonos a la puerta, por esto debemos procurar que nuestros gobernantes le exijan a las grandes compañías a mejorar sus prácticas e invertir en investigación que permita encontrar soluciones sostenibles a la transformación energética, y más importante, todos debemos poner de nuestra parte y si es necesario, cambiar nuestro estilo de vida mientras sea viable, con el fin de procurar un mejor futuro para todos.



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

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

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

<sup>2</sup>USGS. Mineral Commodity Summaries (PDF). United States Geological Survey. 2017.USGS.

<sup>3</sup>Gallium Statistics and Information. United States Geological Survey. 2018.

<sup>4</sup>Crow, J. 13 elements you can't live without. The New Scientist, vol. 201, issue 2817, pp. 36-41, 2011.

<sup>5</sup>Investment Monitor. Can the West break China's stranglehold on rare earth supply chains? <https://www.investmentmonitor.ai/sectors/extractive-industries/china-rare-earths-supply-chain-west/>

<sup>6</sup>USGS. Rare Earths Statistics and Information. United States Geological Survey. 2016

**La historia del petróleo cubano: 200 millones de años en un día.**

Rafael Tenreyro Pérez

Melbana Energy, La Habana, Cuba

Si se condensa la historia del petróleo cubano a una sola vuelta de la Tierra sobre su eje imaginario el resultado pudiera ser el siguiente:

A las 12 de la noche, la mayor parte de las masas continentales en el planeta están fusionadas en un único supercontinente llamado Pangea. A partir de este momento se fragmenta en dos: al Norte, Laurasia de la cual forma parte Norteamérica y al Sur, Gondwana, incluyendo Sudamérica. Las rocas sedimentarias más antiguas de Cuba se depositaron en un estrecho valle entre Norteamérica y Sudamérica. Este valle se amplió constantemente toda la madrugada hasta que los dos continentes se separan definitivamente a las 5 de la mañana. A partir de las 4 de la mañana, comienza a irrumpir el agua del mar depositándose grandes capas de sal. Se ha extendido el océano de Tetis.

Entre las cinco y las seis de la madrugada se depositan en el fondo del margen continental norteamericano rocas con una gran riqueza de materia orgánica – estas son las principales rocas generadoras de los hidrocarburos que hoy se producen en Cuba. Hasta la una de la tarde continúa la deposición de rocas en el margen continental alcanzando hasta dos kilómetros de espesor en las zonas de aguas profundas y más de siete kilómetros en los bancos carbonatados. Toda esta sección sedimentaria posee varios niveles de roca madre, así como rocas reservorios capaces de contener y entregar petróleo o gas.

Lejos de la cuenca sedimentaria del margen continental norteamericano en las cercanías de Centroamérica comienza a formarse a las 7 de la mañana una cadena de

islas volcánicas. Este arco volcánico se mueve hacia el Nordeste llegando a las cercanías del margen continental norteamericano a la una y treinta de la tarde. La última erupción volcánica ocurre a las 2 de la tarde y a esta misma hora comienza el choque entre dos grandes unidades litosféricas: el arco volcánico ya extinto de la placa Caribe y la cuenca del margen continental norteamericano. A las seis de la tarde se origina al sur de Cuba la falla de Bartlet nuevo límite septentrional de la placa Caribe que continúa migrando hacia el Este hasta situarse a miles de kilómetros de Cuba en el arco de las Antillas Menores.

Entre las dos y las seis de la tarde se forma, producto de la colisión, una gran montaña que surge prácticamente del fondo del mar plegando y deformando todas las rocas depositadas en la cuenca marina. Este es uno de los principales momentos para el petróleo. Entre cuatro y cinco de la tarde se depositan las lutitas que van a servir de sello impermeable que va a impedir el escape del petróleo. Entre cinco y seis de la tarde se forman las estructuras contenedoras de los principales yacimientos. Ya están listas las trampas que van a contener el petróleo.

A partir de las siete de la noche, maduran las rocas madre, expulsan el petróleo y este comienza a migrar desde las zonas donde se generó hacia las trampas formadas con anterioridad. Después de la siete de la tarde, la montaña orogénica no se va a mantener estática. Débiles esfuerzos tectónicos continúan afectando la isla orogénica formando nuevas colinas y cuencas donde se depositan rocas sedimentarias, son las llamadas cuencas Terciarias.

A las 11 de la noche cincuenta y nueve minutos y veinte segundos aparece el “homo sapiens” en la Tierra. Los primeros aborígenes llegan a Cuba faltando 2 segundos y Cristóbal Colon a una décima de segundo para que termine el día. El petróleo se descubre faltado solo 40 milésimas de segundo para la media noche. En este lapso de tiempo se han producido 800 millones de barriles, setecientos de ellos en las últimas 4 milésimas de segundo.



**THE CONNECTION BETWEEN A VOLCANO IN ALASKA, THE FALL OF THE ROMAN REPUBLIC AND THE END OF THE PHARAONIC DYNASTY**

JHONNY E. CASAS<sup>1</sup>

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



**THE OKMOK VOLCANO**

Mount Okmok is the highest point on the rim of Okmok Caldera at the NE part of Umnak Island, eastern Aleutian Islands, Alaska (Figure 1). This 9.3 km wide circular caldera truncates the top of a large shield volcano. Major eruptions of Okmok occurred approximately 8.200 and 2.400 years ago, but in 2020, analysis of volcanic provenance in tephra (volcanic ash) deposits found in ice cores from Greenland and the Russian Arctic were tied to another eruption of Okmok. Analysis of the ice cores resulted in a precise date of 43-41 BC. Based on the eruption date and global climate models, McConnell *et al.*, (2020) hypothesize that an eruption dated at 43 BC led to crop failures and famine around the whole Mediterranean Sea, potentially influencing events surrounding the fall of the Roman Republic and the end of Pharaonic dynasty in Egypt.

Okmok is one of the most active volcanoes in the Aleutian Island chain (Alaska). It consists of a complex of shields truncated by a caldera and several active vents inside. After the caldera formed, numerous satellite cones and lava domes have formed on the flanks of the

volcano. They include Mount Tulik (1,253 meters), Mount Idak (585 meters), and Jag Peak. At least seventeen eruptions of Okmok have been noted since 1805. (Wikipedia 2020).

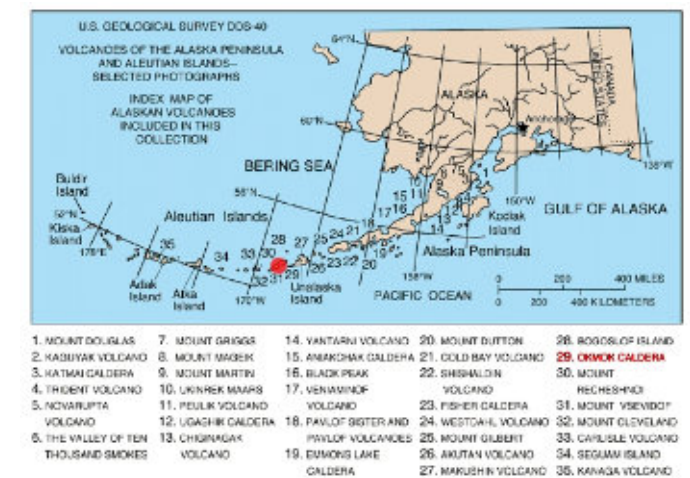


Figure 1. Map showing volcanoes of Alaska. The mark is set at the location of Okmok Caldera. Source: Wikipedia.

The volcanic arc of Aleutians was formed by the collision between the Pacific plate and the North American plate (Figure 2). The Okmok's caldera (Figure 3) was formed by at least two collapses following catastrophic pyroclastic eruptions, at around 8200 BP and 2400 BP. Within the caldera, the oldest volcanic deposits are brecciated pillow lavas and pyroclastic rocks once deposited in a caldera lake. The lake attained a maximum depth of about 150 m and the upper surface reached an elevation of about 475 m, at which point it overtopped the low point of the caldera rim. Hot springs and fumaroles occur within Okmok caldera.

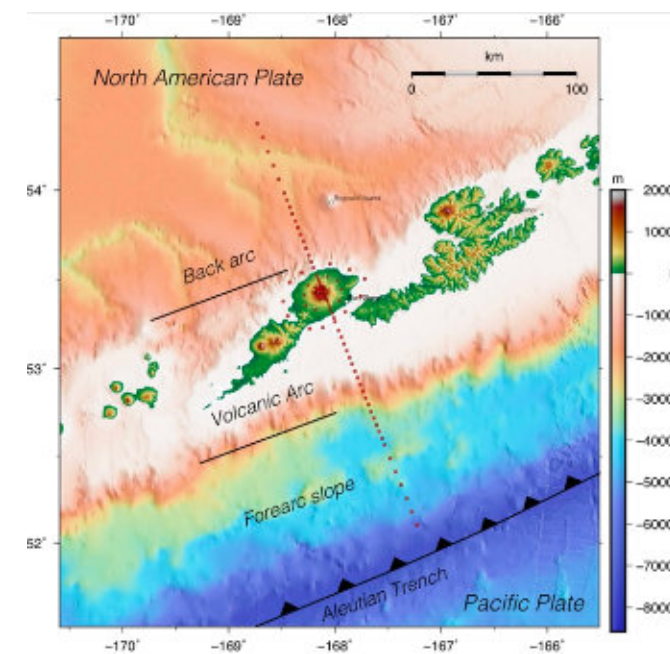


Figure 2. Tectonic setting of the magmatic system beneath Okmok volcano in the Aleutian island arc. Source: Lamont-Doherty Earth Observatory, Columbia University

**BLAMING OKMOK VOLCANO (The clue inside the ice)**

In a recent study published in Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS), a research team led by Joe McConnell of the Desert Research Institute in Reno (Nevada), uses an analysis of tephra (volcanic ash) found in Arctic (Greenland and Russia) ice cores, to link the period of unexplained extreme climate in the Mediterranean with the caldera-forming eruption of Alaska's Okmok volcano in 43 BC

McConnell *et al.* (2020) found the Okmok sulfur fallout in every Arctic ice core record that they had analyzed from all over Greenland and from Akademii Nauk in the

Russian Arctic. The layer of increased sulfur concentration is about 30 to 50 cm thick depending on the ice core, and was probably deposited all over the Northern Hemisphere.

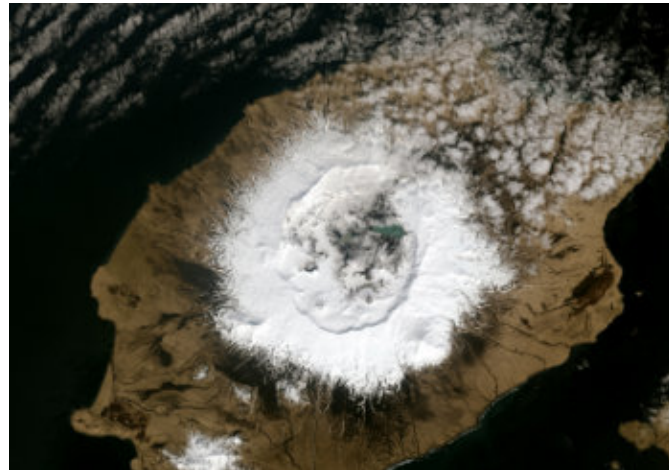


Figure 3. Alaska's Umnak Island in the Aleutians on May 3, 2014, showing the 10-kilometer wide caldera largely created by the Okmok eruption in 43-41 BC. (Image: U.S. Geological Survey)

The geochemistry analysis performed by McConnell and his group in that frozen ash, matched layers of rock fragments associated with an ancient eruption of Mt. Okmok. According to their findings, the two years following the Okmok eruption were some of the coldest in the Northern Hemisphere in the past 2,500 years, and the decade that followed was the fourth coldest.

Climate models (Figure 4), performed by McConnell *et al.* (2020), suggest that seasonally averaged temperatures may have been as much as 7 centigrade below normal during the summer and autumn that followed the 43 BC eruption of Okmok, with summer precipitations of 50-120% above normal throughout Southern Europe, and autumn precipitation reaching as high as 400 percent of normal. The climate models run by McConnell and his colleagues suggest that when Okmok eruption cooled the Northern Hemisphere, it also disrupted the weather systems that produce the Nile's annual flood because of failure of the East African Summer Monsoon, resulting in severe droughts at the headwaters of the Nile.

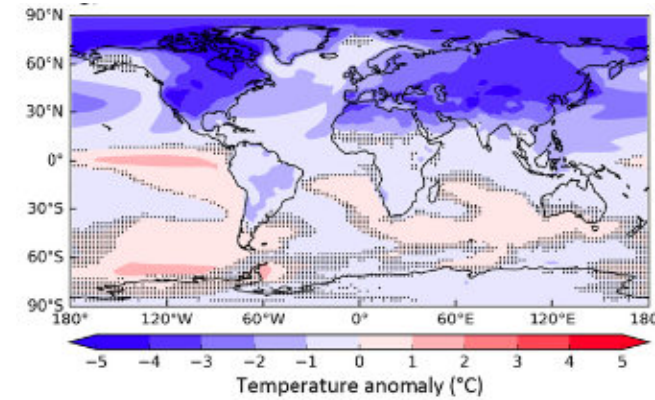


Figure 4. Simulated 43 and 42 BC average air temperature anomalies (Source: McConnell *et al* 2020)

**THE ROMAN REPUBLIC IN CRISIS**

Many factors contributed to the fall of the Roman Republic, but Okmok's eruption and the climate change that followed, may have been the last straw that broke the Republic. By 44 B.C., the Republic was on turbulent waters, after decades of political and economic troubles called the 'Crises of the Roman Republic' and the assassination of Julius Caesar (Figure 5) on March of the same year. During 43 B.C. and 42 B.C., Europe and North Africa were unusually cold and rainy; temperatures were colder than they'd been in more than 2,500 years (McConnell *et al.*, 2020).

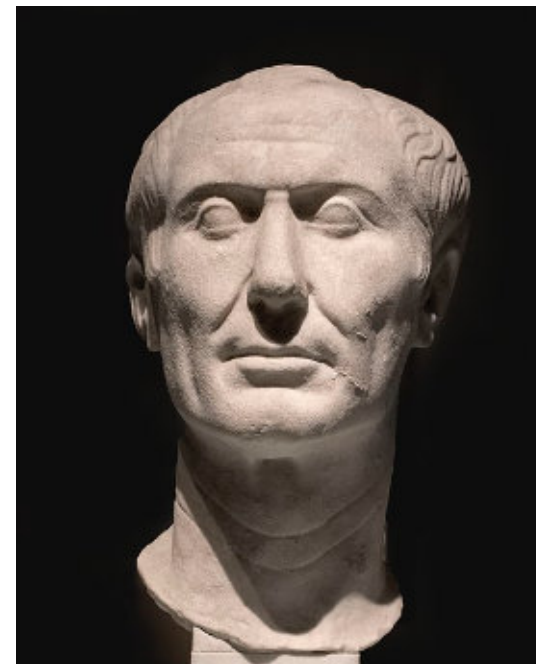


Figure 5. Gaius Julius Caesar (100 BC-44 BC). Possibly the only surviving sculpture of Caesar made during his lifetime. Archaeological Museum, Turin, Italy.

Following Julius Caesar's assassination in 44 B.C, voices from the Oracle of Delphi prophesy rises: Madness of wolves in winter; in summer, no grain is harvested. Ancient writers who survived the period describe cold weather, short growing seasons, and widespread famine around the Mediterranean, from Rome to Egypt. Ancient Greek and Roman historians painted a grim picture of the cold years. Frequent snowstorms, disease and food shortages plagued the land, with the Roman army at one point reduced because of hunger. Famine and disease would have worsened the already tumultuous political situation, starvation led to disease and fueled growing civil unrest in an already turbulent time, perhaps enough for the Republic to collapse and give way to the authoritarian rule of the Roman Empire.

With the Republic already shaken by power struggles in the wake of Julius Caesar's death, years of famine probably helped undermine the little stability left. Given the circumstances, it's likely that the extreme weather caused by Okmok's eruption had some impact on historical events, McConnell *et al.*, (2020) stated that: "while it's difficult to say for sure how much the volcano eruption directly affected the Republic's fall, it seems logical that it must have a huge impact over the life of the Roman Empire".

**CONSEQUENCES IN EGYPT**

While farmers along the Mediterranean coast were dealing with too much rain, farmers along the Nile in Egypt faced the opposite problem. Egypt's survival has always depended on the Nile's summer floods, which bring water and fertile soil to the narrow strip of land along the river's banks. But for two years in a row, 43 and 42 BCE, the floods didn't come. Particularly striking was the severity of the Nile flood failure at the time of the Okmok eruption, and the famine and disease that was reported in Egyptian sources.

Octavian (who become Augustus Caesar, Rome's first emperor in 27 BC) and his ally Marcus Antonius were still fighting Brutus (the one who murder Cesar) and Gaius Cassius Longinus for power, and neither side could get grains from Egypt to feed their armies. Cassius reportedly asked Cleopatra (Figure 6) for military aid, and she turned him down because her country was already struggling with famine and diseases.

The volcanic eruption in Alaska may have possibly helped to make Cleopatra the last Ptolemaic ruler of Egypt. Military conflicts raged, and nearly every corner of the old Roman Republic was desperately short of food. The failure of the Nile floods in 43 and 42 BC made Cleopatra's Egypt much more vulnerable to attacks in long term. Historically, the end of Ptolemaic dynasty in Egypt was accredited to the suicide of Cleopatra in 30 BC, following her naval defeat to Rome at the Battle of Actium (31 BC).

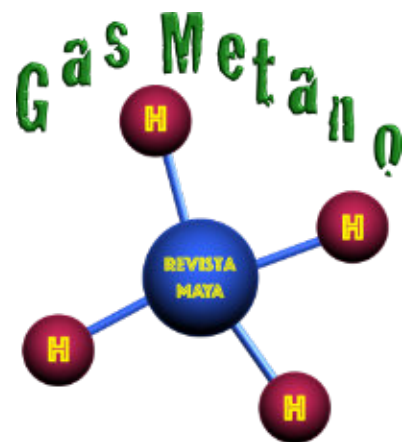
There is little doubt, however, that Rome's interest in Egypt food supply was further magnified by the events suffered by Rome during 42-43 BC and following years. The same events that possibly diminished Egypt's own capacity to defend against Rome as a consequence of the famine, disease, land abandonment that followed the Okmok eruption.

**REFERENCES**

McConnell, J. *et al.* (2020) Extreme climate after massive eruption of Alaska's Okmok volcano in 43 BCE and effects on the late Roman Republic and Ptolemaic Kingdom. *Proceedings of the National Academy of Sciences* Jun 2020 p. 1-7.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Julius\\_Caesar](https://en.wikipedia.org/wiki/Julius_Caesar)  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Cleopatra>  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Mount\\_Okmok](https://en.wikipedia.org/wiki/Mount_Okmok)  
<https://emlab.ldeo.columbia.edu/index.php/projects/okmok/>



Figure 6. Bust of Cleopatra draped and wearing diadem. Coin was struck proclaiming Marcus Antonius victory in Armenia in 34 BC, and the relationship between him and Cleopatra.  
**CLEOPATRAE·REGINAE·REGVM·FILIORVM·REGVM.**



**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 36 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 39 publicaciones para diferentes boletines y revistas técnicas, como: Bulletin of Canadian Petroleum Geology, Geophysics, The Leading Edge, Asociación Paleontológica Argentina, Paleontology, Geos, Journal of Petroleum Geology, Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales de Venezuela y Caribbean Journal of Earth Sciences; incluyendo presentaciones en eventos técnicos como: AAPG, SPE, CSPG-SEPM y Congresos Geológicos en Venezuela y Colombia, así como artículos históricos de exploración petrolera para la revista Explorer.

Profesor de Geología del Petróleo en la Universidad del Zulia (1991-1992) y Universidad Central de Venezuela (1996-2004). Profesor de materias de postgrado tales como: Estratigrafía Secuencial, Modelos de Facies y Análogos de afloramiento para la caracterización de yacimientos (2003-2023), en la Universidad Central de Venezuela. Mentor en 12 tesis de maestría.

Actualmente es Director de Educación en la American Association of Petroleum Geologists (AAPG) para la región de Latinoamérica y del Caribe (2021-2023), y Representante Regional para la International Association of Sedimentologist (2020-2026).

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



Fotografía 1. Especialistas en Ciencias de la Tierra de Corporación Ambiental de México, Universidad Autónoma de San Luis Potosí e Instituto de Geofísica de la UNAM en la surgencia del Manantial Termal de Potrero del Prieto en la Formación Taraises. Geología Medioambiental, Geoquímica, Isótopos y Estructura Microbiana. Todas las fotografías fueron provistas por el Ing. Jerjes R. Pantoja Irys.



Fotografía 2. Especialistas en Ciencias de la Tierra de Corporación Ambiental de México, Universidad Autónoma de San Luis Potosí e Instituto de Geofísica de la UNAM en la surgencia del Manantial Taninul en la Formación El Abra. Geología Medioambiental, Geoquímica, Isótopos y Estructura Microbiana.



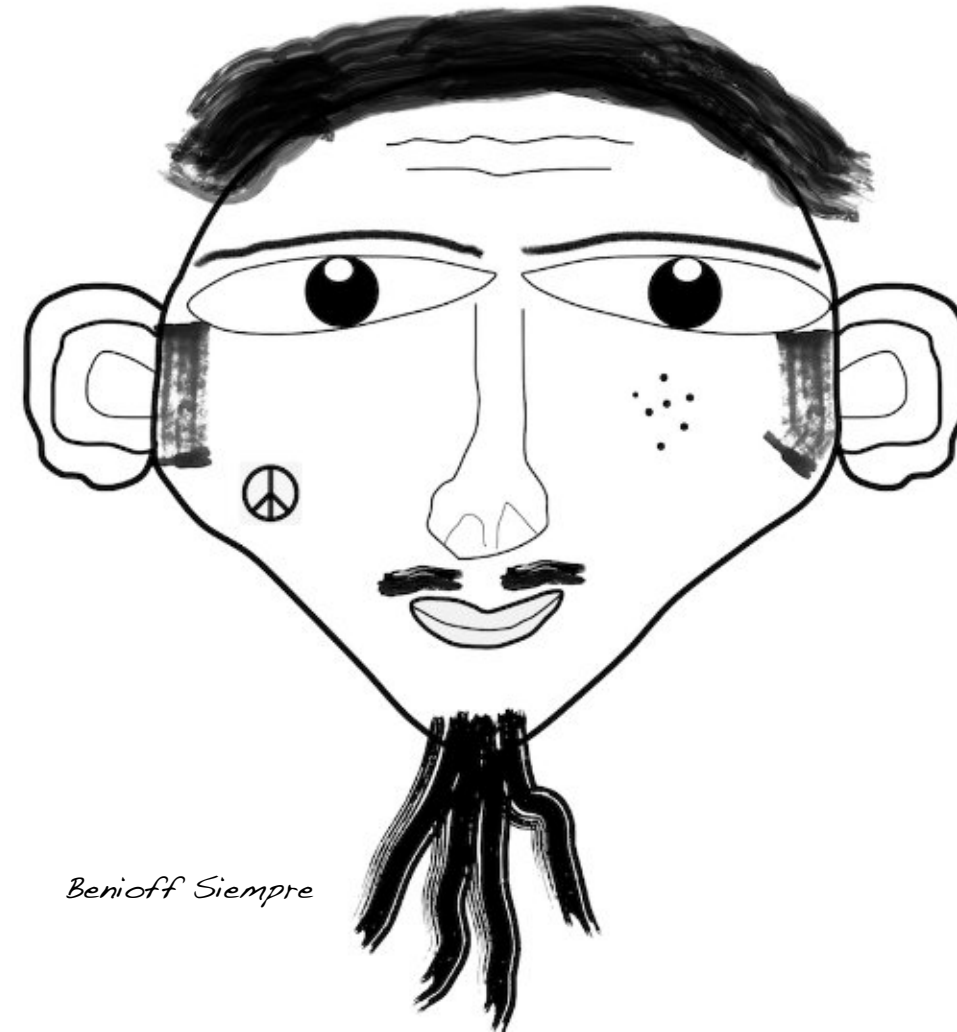
Fotografía 3. Especialistas en Ciencias de la Tierra de Corporación Ambiental de México, Universidad Autónoma de San Luis Potosí e Instituto de Geofísica de la UNAM en la surgencia del Manantial Termal Poza Verde en tufas y travertinos del Cenozoico. Geología Medioambiental, Geoquímica, Isótopos y Estructura Microbiana.



Fotografía 4. Especialistas en Ciencias de la Tierra de Corporación Ambiental de México, Universidad Autónoma de San Luis Potosí e Instituto de Geofísica de la UNAM en la surgencia del Manantial La Azufrosa. Geología Medioambiental, Geoquímica, Isótopos y Estructura Microbiana.



Fotografía 5. Flanco Oriental de la Sierra Madre Oriental cerca de Villa Mainero, límite entre Nuevo León y Tamaulipas.



*Benioff Siempre*

**A nosotros los maestros 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

## Sí, el hidrógeno natural existe

**Jordi Tritlla Cambra**

Investigador, Geología y geoquímica de fluidos corticales, Instituto de Geociencias de Barcelona (Geo3Bcn – CSIC)

“Resources are not, they become” (“los recursos no son, devienen”). Esta aserción, forjada en la primera mitad del siglo XX por el economista Erich Zimmerman, está adquiriendo todo su significado durante este primer cuarto del siglo XXI.

Los recursos son conceptos que tienen una gran dinámica funcional. Evolucionan en paralelo a la humanidad, a la cultura científica dominante, así como a nuestra interacción con la naturaleza. Zimmerman ya afirmaba que esta evolución no es continua, y que está íntimamente asociada a las sucesivas crisis por las que atraviesa la humanidad desde que se consagró como especie dominante en el planeta.

La solución a la presente crisis climática y a la transición energética vigente pasa por la diversificación de las fuentes de energía libres de carbono. Esta se puede conseguir mediante el aprovechamiento de recursos escasamente utilizados (mareas, geotermia) y de recursos, hasta cierto punto, revolucionarios (fusión nuclear, hidrógeno), al más puro estilo Zimmermann.

El interés por el uso del hidrógeno manufacturado como vector energético se ha acelerado en los últimos años.



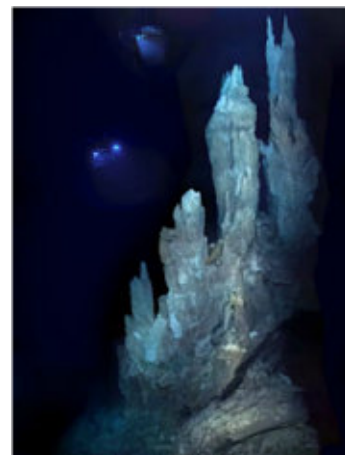
Fuegos permanentes en Yanartaş (Turquía) por emisiones de gases naturales. Alexey Komarov / Wikimedia Commons, CC BY-SA.

Precisamente, aquí entra en juego el descubrimiento de un recurso natural ignorado hasta tiempos muy recientes: el hidrógeno nativo de origen geológico.

### ¿Dónde se localizan las emanaciones de hidrógeno nativo?

La existencia y abundancia de emanaciones de hidrógeno nativo es aún hoy día sistemáticamente ignorada por la gran mayoría de los especialistas en transición energética. No obstante, desde la antigüedad se conocen zonas de la corteza terrestre que emiten continuamente gases inflamables, sin relación con hidrocarburos fósiles. Destacan los llamados “fuegos eternos” del monte Quimera, en Yanartaş (Turquía). Estos últimos ya fueron citados por autores clásicos como Ctesias de Cnido y Plinio el Viejo hace más de 2 500 años.

Tres descubrimientos han sido clave en el reciente desarrollo del conocimiento sobre los sistemas geológicos con hidrógeno nativo. Durante el año 2 000 se realizó una campaña oceanográfica en el macizo Atlantis en la que se descubrieron una serie de inusuales fuentes termales submarinas (Lost City, Atlántico norte). Estas están formadas por blancas chimeneas verticales de calcita – conocidas como white smokers– de hasta decenas de metros de altura, situadas a profundidades de entre 750 y 900 metros. A través de ellas se produce la expulsión de salmueras calientes y alcalinas, junto con gases que contienen hasta un 70 % de hidrógeno nativo.

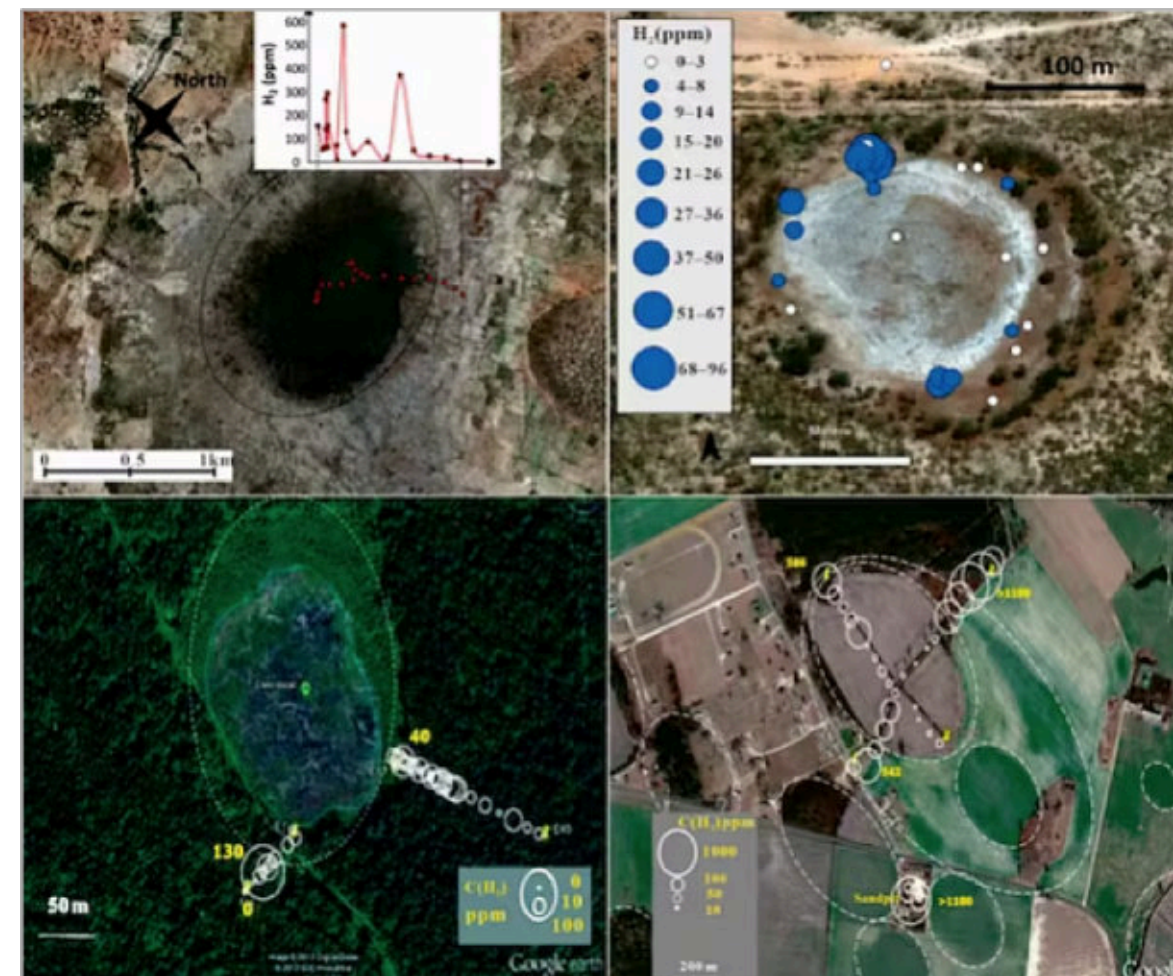


Chimeneas de carbonato cálcico en Lost City fotografiadas durante una expedición de 2005. D. Kelley / M. Elend / UW / URI-IAO / NOAA.

El investigador francés Jean-Luc Charlou y coautores calcularon que cada una de estas surgencias emite entre 5 y 10 millones de metros cúbicos por año de hidrógeno. Se estima que existen varios miles de fuentes submarinas similares repartidos por todos los océanos.

Unos pocos años más tarde (2005), los geólogos rusos Vladimir y Nikolay Larin descubrieron unas extrañas depresiones subcirculares (“zapadyny”) en el Oblast de Voronez, a unos 600 km al sur de Moscú. Actualmente, se conocen como “círculos de hadas” (“fairy circles”).

Estas depresiones rusas se caracterizan por la ausencia total de vegetación y por una estructura subcircular externa a través de la que emanan cantidades importantes de hidrógeno nativo, nitrógeno y helio. Este descubrimiento pasó inadvertido en occidente hasta que Nikolay Larin convenció a investigadores del IFPEN (París) para desplazarse a Voronezh y validar sus descubrimientos. Posteriormente, se han hallado estructuras similares en Australia, Brasil, Mali y EE. UU.



‘Círculos de hadas’ en Malí (arriba a la izquierda), Australia (arriba a la derecha), Rusia (abajo izquierda) y Estados Unidos (abajo derecha). Wang, L.; Jin, Z.; Chen, X.; Su, Y.; Huang, X. The Origin and Occurrence of Natural Hydrogen. Energies 2023.

En 1987 se realizó un pozo somero para agua en Bourakebougou, a unos 50 km al norte de Bamako (Mali). Durante la perforación, el pozo repentinamente explotó debido a que un operario se encontraba fumando, recibiendo importantes quemaduras. El pozo se controló, se tapó rápidamente y se abandonó, bajo la creencia de

que se había perforado una bolsada superficial de gas natural.

En 2011, la compañía local Hydroma obtuvo muestras de gas para su análisis que, inopinadamente, arrojaron una composición del 98 % de hidrógeno. A la vista de estos resultados, se inició una campaña de exploración

mediante la perforación de más de 25 pozos. Todos los sondeos muestran concentraciones de hidrógeno nativo de entre el 90 y el 99 %. Este descubrimiento, fruto de la

casualidad, es el único yacimiento en explotación a día de hoy. El hidrógeno obtenido actualmente se quema in situ para la producción local de electricidad.



Operaciones de perforación para la exploración de hidrógeno en los alrededores de Bourakebougou (Mali). Hydroma.

**Un cambio de paradigma: de vector a fuente de energía**  
Estos descubrimientos están provocando un importante cambio de paradigma. El hidrógeno ha pasado de ser considerado únicamente como un vector energético (hidrógeno manufacturado) a una posible fuente de energía (hidrógeno nativo). Por fin se ha abandonado el concepto erróneo del hidrógeno natural como una mera curiosidad científica.

El interés por el hidrógeno nativo se ha acelerado considerablemente durante el último decenio. Se ha desatado una verdadera fiebre exploratoria mundial, cuya máxima expresión se está viviendo en Australia y EE. UU. En estos momentos (2023) se están iniciando las pruebas de producción del primer pozo perforado exclusivamente para la prospección de hidrógeno nativo en Nebraska por la compañía Hyterra (EE. UU.) sin, por el momento, datos públicos.



Perforación para hidrógeno (pozo Hoarty N3) de la empresa Hyterra cerca de Geneva City en Nebraska (EE. UU.). Hyterra.

Los hallazgos más recientes sugieren que es posible caracterizar los mecanismos geológicos que controlan la producción y emisión de hidrógeno nativo. Estos avances están facilitando el desarrollo de herramientas de prospección más eficaces. La alta reactividad del hidrógeno en la naturaleza, así como sus bajos tiempos de residencia, indican que estamos ante una posible fuente de energía renovable y sostenible. Además, la asociación de helio junto con el hidrógeno hace aún más atractiva la

exploración de estos recursos. El helio es un gas noble, considerado estratégico y de extraordinaria importancia técnica e industrial.

El impacto del hidrógeno nativo en la transición energética depende del avance en el conocimiento de estos sistemas, pero también del necesario apoyo por parte de los estamentos públicos de investigación e industriales.

### Acknowledgments

We thank Dr. Jordi Tritlla for allowing us the publication of this very interesting article.

Revista Maya of Geosciences is grateful to **The Conversation** for permitting the re-publication of this manuscript.

SOURCE: <https://theconversation.com/si-el-hidrogeno-natural-existe-201500>



### Dr. Jordi Tritlla

Soy geólogo y geoquímico con 36 años de experiencia en investigación, docencia y consultoría. Tengo amplia experiencia en el estudio de yacimientos minerales (MVT, SEDEX, VMS, IOCG, Skarns, Hg-Sb, ofiolitas), diagénesis de carbonatos lacustres alcalinos; y fluidos corticales incluida la reconstrucción de paleofluidos PVTx (configuraciones compresivas y extensionales), incluyendo sistemas geotérmicos actuales e hidrógeno nativo.

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

Ing. Rogelio Ramos Aracén

ramosrogelio51@gmail.com



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



### Panorámica de El Paso de la Muerte

**Localidad:** Región de la Hacienda de Santa Engracia, estado de Tamaulipas.

**Desarrollo del trabajo:** En los recorridos de campo de la Brigada de Geología Superficial en la región entre Nuevo León y Tamaulipas, siendo ayudante de la Brigada a cargo del Ing. David Colín en el año de 1978, me tocó observar este impresionante, lugar donde vimos en el fondo del cañón, numerosos restos de camiones madereros que habían caído al fondo con funestas consecuencias, es de aquí donde los lugareños le adjudican este nombre.

Posteriormente, en los trabajos de Geología Regional me tocó visitarlo nuevamente.

**Descripción del Dibujo.** Para llegar a esta localidad se toma la vereda del camino de la población de la Ha. de Sta. Engracia, lugar donde pasa el FC. Monterrey-Tampico, y de aquí se sigue hacia el lugar de Guayabas y se sube un camino hacia la mina La Joya de Caracol en el estado de Nuevo León y en ese trayecto se llega a un estrecho camino de terracería conocido como “El Paso de la Muerte”.

En esta localidad se tiene a una gran pared que está formado por capas de calizas gruesas de la formación Tamaulipas inferior, constituido por capas gruesas horizontales que la erosión de río del cañón de Guayabas hace de este lugar un fuerte precipicio de pendiente casi vertical, que dificulta el manejo de vehículos, aquí de referencia la presencia de una camioneta, el camino es de un solo sentido y es un punto muy peligroso para los camiones madereros de la región.



### Turbiditas de la Formación Chicontepec

**Localidad:** Afloramiento en Atlapexco, estado de Hidalgo.

**Desarrollo del trabajo:** Durante los trabajos de Geología Regional, se efectuó un recorrido sobre algunas localidades del frente de la Sierra Madre Oriental, me tocó la oportunidad de levantar y medir secciones mediciones estratigráficas junto con el Ing. Estanislao Velázquez QEPD y tiempo después fueron varios recorridos, primeramente para conocer sus facies sedimentarias y después para organizar y excursiones geológicas de las cuales he realizado dos.

**Descripción del Dibujo.** En este afloramiento en la localidad de la carretera de Atlapexco, Hidalgo, situado en la región de Huejutla, Hidalgo, se observa a dos paquetes la de arriba es una secuencia de areniscas de grano muy fino en capas delgadas de 5 a 10 cm. Son de color café claro y café amarillento las cuales se encuentran encima por discontinuidad sedimentaria de un paquete de lutitas de color gris claro con delgados horizontes de areniscas de grano muy fino de color café grisáceo.

Nótese que las capas superiores de areniscas están ligeramente inclinadas hacia el poniente y la secuencia inferior de lutitas tienen un echado de unos 30 grados hacia el oriente.

Se tratan de areniscas y lutitas de tipo turbiditas en facies distales, las cuales se depositaron en los extremos de amplios abanicos submarinos, que se depositaron en profundidades batiales.



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

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

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

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

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

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

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

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

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

#### Co Autor del Libro

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

#### Principales Conferencias Impartidas.

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

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

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

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

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

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

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

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

## Análisis e Interpretación Tectónico-estructural de la Sierra Oriental en la Región Tehuacán-Córdoba, a Partir de Imágenes de Satélite Landsat MSS; Oriente de México

**Salvador Ortuño Arzate**  
Colaborador de la Revista

### Resumen

La Teledetección aeroespacial abarca el conjunto de técnicas para la adquisición a distancia de la información procedente de la superficie terrestre, a través de captadores de diferentes frecuencias de ondas electromagnéticas. Esta información espectral es representada en un soporte material (cinta magnética, papel fotográfico, principalmente). Sum representación en papel fotográfica constituye una imagen de satélite.

La interpretación analógica de imágenes de satélite, optimizadas por la aplicación de tratamientos digitales específicos, permite definir y cartografiar los elementos lineales, morfoestructurales y textural-espectrales, los cuales permiten definir entidades geológicas de carácter litoestratigráfico, estructural y tectónico. Estas metodologías han sido de gran utilidad en Ciencias de la Tierra, así como en diferentes aplicaciones temáticas geológico-económicas.

El estudio de la región de la Sierra Madre Oriental, en el sector de Tehuacán-Córdoba, realizado a partir de imágenes de satélite Landsat MSS, del análisis fotogeológico y de la información de campo, permitió la definición del marco estructural regional de la serie sedimentaria, así como la conceptualización de modelo estructural, cinemático y tectónico.

El procedimiento general incluye el procesamiento digital y la interpretación analógica de los caracteres y objetos geológicos. Los tratamientos digitales constituyen operaciones estadístico-matemáticas, de distribución y frecuencia de variables radiométricas, de comparación y correlación de información, de operaciones de convolución, entre otras.

En cuanto a la interpretación analógica ésta permitió la definición de la estructuración regional de la región de estudio. De esta forma, se identificaron varios grupos direccionales de los elementos lineamentarios: primeramente, de dirección N 120-150°, que se asimila a fallas inversas y cabalgamientos tectónicos; en segundo lugar, los lineamientos de dirección N 35-55° y N 100-120°, los cuales constituyen un sistema de fallas conjugadas de desplazamiento lateral, superpuesto al primer sistema de compresión. Y finalmente, los grupos de direcciones N 130° a N 160°, los cuales representan los sistemas de fracturación y de fallamiento normal de extensión regional.

El modelo cinemático de la evolución tectónico-estructural, presenta tres fases: a. fase de apertura de la cuenca sedimentaria inicial, durante el Jurásico Temprano terminal; b. fase de compresión tectónica, la cual manifiesta dos etapas, la de compresión (*sensu stricto*), acaecida desde el Cretácico Tardío hasta el Paleoceno; y c. la fase tectónica distensiva del Paleógeno Tardío. De esta manera, este estudio hizo posible la elaboración de la carta estructural y tectónica teleanalítica (por medio de la teledetección aeroespacial) de la región Tehuacán-Orizaba-Córdoba, en la Sierra Madre Oriental.

### INTRODUCCIÓN

En el estado actual de los conocimientos geológicos de esta región de la Sierra Madre Oriental, en el sector Tehuacán-Orizaba-Córdoba (sierras de Zongolica, Mazateca y Tlacuiloltécatl), se presentaba la necesidad de elaborar una cartografía de carácter regional, teniendo como objetivo la homogeneización y la síntesis de la información existente en ese momento. Esta cartografía deberá contener una definición detallada de las unidades litoestratigráficas, así como la representación de los elementos estructurales, tanto locales como regionales, en un conjunto coherente tectónicamente.

Para este cometido, los métodos de la teledetección aeroespacial presentan la particularidad de conceder una visión de conjunto, sinóptica y, además, de grandes regiones. Es decir, la teledetección permite la representación cartográfica regional de los "objetos geológicos"; capacidad que el sólo trabajo de campo no satisface.

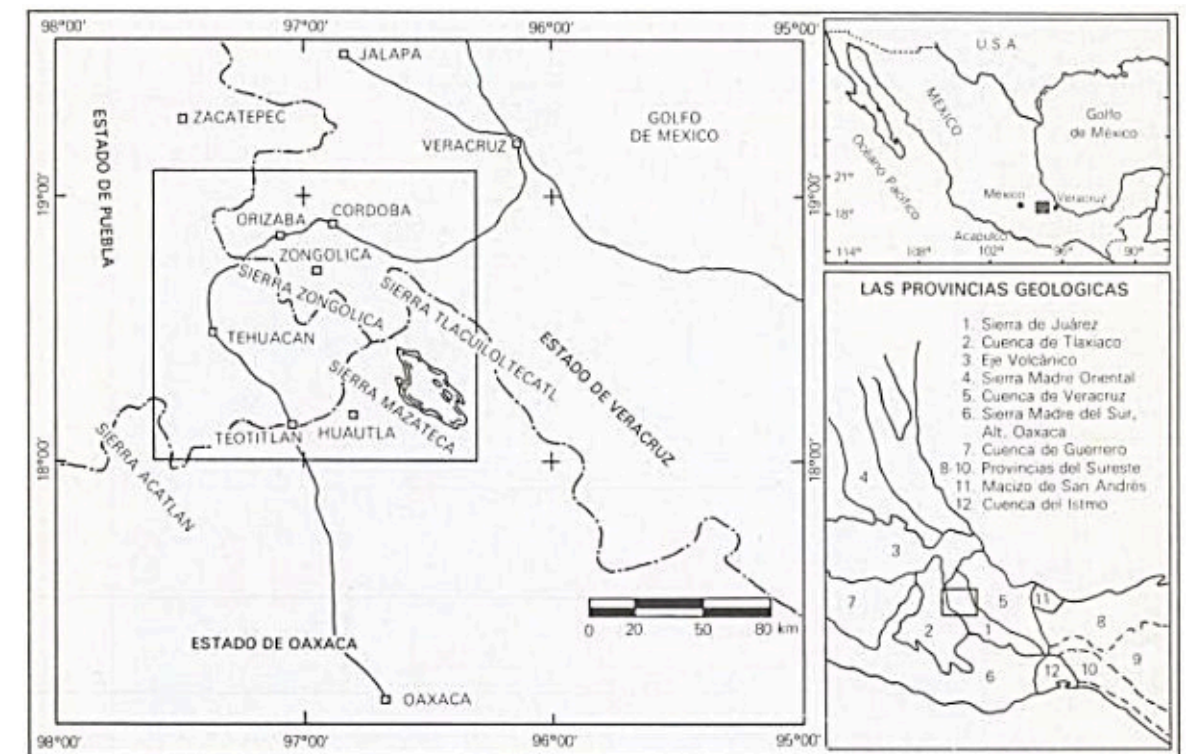
Así, la factibilidad de una cartografía basada en los métodos de la teledetección, en una región con densa cubierta forestal y de difícil acceso como es el caso de esta región topográficamente compleja, es función fundamental de la de la cubierta forestal y de la calidad, y cantidad, de los datos satelitarios de que se dispone. En tales circunstancias, es necesario complementar el estudio cartográfico con diferentes tipos de medios como las fotografías aéreas, las imágenes obtenidas por radar, etcétera. Así, el estudio geológico de esta región ha sido abordado por los métodos de la teledetección, con el objetivo de reconocer y de cartografiar los diferentes elementos lineamentarios (lineamientos geológicos) y la estructuración en el contexto regional. En complemento de esta metodología, se ha utilizado la información fotogeológica, la cual fundamentó la cartografía litoestratigráfica y estructural de detalle. Además, los datos de campo y la información cartográfica preexistentes, complementaron aquellas fuentes de información antes mencionadas.

Para el estudio, se utilizó una imagen Landsat MSS que cubre la totalidad de la región de interés. La región de estudio comprende las siguientes provincias geológicas: la Sierra de Acatlán, la porción meridional del Eje Neovolcánico, la Sierra Madre Oriental entre Tehuacán y Córdoba y una porción menor de la planicie costera del golfo, cercana al puerto de Veracruz. El presente trabajo se fundamenta, en su enfoque metodológico, en el análisis y las interpretaciones geológicas, en el análisis tectónico realizado por Ortuño (1991)<sup>28</sup> y Ortuño *et al.*, (1992)<sup>29</sup>.

### MARCO GEOLÓGICO

#### Aspectos Generales

La región de estudio se sitúa en la porción centro-oriental de México, formando parte de los estados de Veracruz, Puebla y Oaxaca. La localización geográfica corresponde a los paralelos 18° y 19° de latitud Norte y los meridianos 96° 15' y 97° 30' de longitud Oeste, (cf. Figura 1. En esta región se distinguen tres entidades morfogeográficas: la Sierra de Zongolica, la Mazateca y la Sierra Tlacuiloltécatl. Éstas constituyen una unidad tectónica, representando la provincia geológica denominada Sierra Madre Oriental y de la Plataforma de Orizaba-Córdoba. Desde el punto de vista morfoestructural, la Sierra de Zongolica constituye la prolongación suroriental de la Sierra Madre Oriental, denominada localmente como Sierra de Juárez.



**Figura 1.-** Localización de la región Tehuacán, Orizaba y Córdoba en el contexto geográfico y de las provincias geológicas.

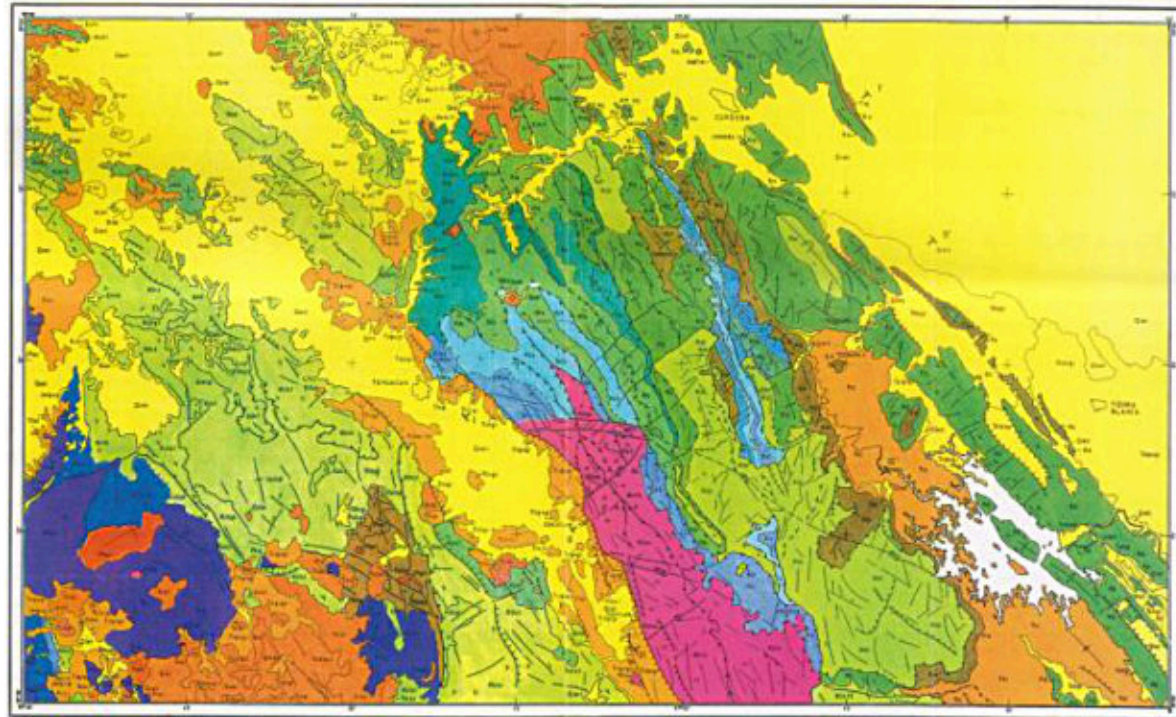
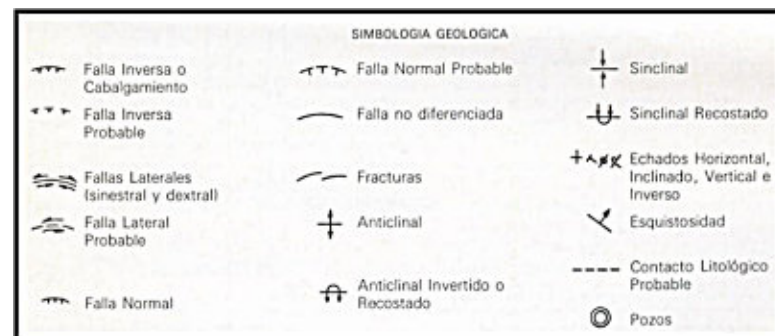


Figura 2.- Carta geológica de la región Tehuacán – Córdoba; y su leyenda de símbolos utilizados.

**LEYENDA: UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS:** Q Cuaternario; Ts Terciario Superior; TI Terciario Inferior; TVc Formaciones Velasco-Chicontepec; KA Formación Atoyac; Km Formación Méndez; Ks Cretácico Superior; KG Formación Guzmantla; KTe Formación Tecamalucan; KMt Formación Maltrata; KTs Formación Tamaulipas Superior; KTa Formación Tamabra; KOr Formación Orizaba; Kc Formación Capolucan; KTx Formación Tuxpanguillo; Kch Formación Chivillas; KTi Formación Tamaulipas Inferior; KChm Formación Chivillas metamórfico; Kx Formación Xonamanca; J-KCh Formación Chivillas "jurásica"; KI Cretácico Inferior; JTe Formación Tepexilotla; JM Jurásico Medio; JI Jurásico Inferior; TR Triásico; Ps Paleozoico Superior; GA Grupo Acatlán; Pi Paleozoico Inferior.

**LEYENDA: ROCAS SEDIMENTARIAS:** c, caliza; g, arenisca; l, lutitas; cg, conglomerado; al, aluviones; **ROCAS VOLCANICAS:** r, riolita; gd, granodiorita; a, andesita; da, dacitas; b, basaltos; bv brechas volcánicas; t, tobas;  
**ROCAS METAMORFICAS:** e, esquistos; gn, gneis; **ROCAS PLUTONICAS:** gr, granito.

**SIMBOLOGÍA GEOLÓGICA:**



La evolución geodinámica de esta región, tuvo como consecuencia la acumulación de una potente serie sedimentaria durante el Jurásico y Cretácico. Posteriormente, esta serie sedimentaria fue deformada durante el transcurso del Cenozoico por un proceso tectónico polifacético, que la integró al orógeno de la Sierra Madre.

La columna estratigráfica de esta región está representada por el basamento paleozoico, al cual cubre la serie sedimentaria jurásico-cretácica, las series sedimentarias del Paleógeno y algunas series sedimentarias del Neógeno (carta geológica de la Figura 2).

**El Substrato Paleozoico**

El basamento paleozoico aflora en la región de la Sierra de Acatlán (al suroeste de Tehuacán, Pue.). Este substrato paleozoico está constituido por rocas metamórficas (principalmente gneises y esquistos), y por rocas sedimentarias paleozoicas (Formación Matzitzí). El substrato está afectado por intrusiones graníticas y granodioríticas. La unidad metamórfica se conoce, en la nomenclatura estratigráfica, como Grupo Acatlán (Rodríguez-Torres, 1970)<sup>33</sup> y su edad es responde al paleozoico Inferior (Ortega, 1978)<sup>26</sup>.

**La Serie Sedimentaria del Jurásico y Cretácico**

La serie sedimentaria de la región de Zongolica ha sido estudiada por vanos autores, particularmente: Böse, (1899)<sup>3</sup>; Mena, (1957, 1960 y 1962)<sup>21, 22, 23</sup>, Flores, (1969, 1970)<sup>10, 11</sup>; Mena y Flores *in* Viniegra, (1965)<sup>40</sup>; Viniegra, (1965)<sup>40</sup>; Burckhardt, (1930)<sup>4</sup>; Bonet, (1969)<sup>2</sup>; Viniegra y Olivas, (1956)<sup>41</sup>; López (1956)<sup>18</sup>; Godoy, (1971, 1973 y 1975)<sup>12, 13, 14</sup>; Tarango, (1971 y 1973)<sup>34, 35</sup>; Carrasco, (1978)<sup>5</sup>; Carrasco, Flores y Godoy, Flores y Godoy, (1975)<sup>6</sup>; Pimentel, (1976)<sup>31</sup>; Menes, (1977 y 1980)<sup>24, 25</sup>; Vázquez, (1977)<sup>39</sup>; Lin, (1979)<sup>17</sup>; Zozaya, (1981 y 1982)<sup>43, 44</sup>; Toriz, (1982, 1983 y 1984)<sup>36, 37, 38</sup>; Quinteros, (1984)<sup>32</sup>; Castro, Ruiz y de La Torre, (1972)<sup>7</sup>; Becerra, (1980)<sup>1</sup>; Martínez y Gallo, (1979)<sup>19</sup>; Pacheco y Ortiz, (1983)<sup>30</sup>; Charleston, (1978)<sup>9</sup>; Holguín, (1981)<sup>16</sup>; entre otros. Estos trabajos corresponden, principalmente, a estudios sobre la estratigrafía de la región y algunos a estudios de la geología estructural.

A partir del análisis secuencial y de la distribución lateral de facies, en la región de Zongolica se distinguen tres sectores o dominios tectonoestratigráficos dispuestos en el sentido transversal al alineamiento NO-SE de las sierras. Así, el dispositivo sedimentario presenta los dominios siguientes: sector A, desarrollado en el margen suroccidental de la cuenca sedimentaria; el sector B, que representa el surco central; y el sector C, instalado sobre el margen nororiental (Ortuño y Delfaud, (1989)<sup>27</sup> y Ortuño, (1991)<sup>28</sup>. La distribución de estos conjuntos sedimentarios y las series estratigráficas representativas se muestran en la Figura 3. La serie sedimentaria de la cuenca representa el Jurásico Tardío (Kimmeridgiense)-Maestrichtiense. En el sector A la serie es siliceoclástica, en su base, y carbonato-siliceoclástica hacia la parte superior; en el sector central es principalmente carbonatada, y en el sector C es totalmente carbonatada.

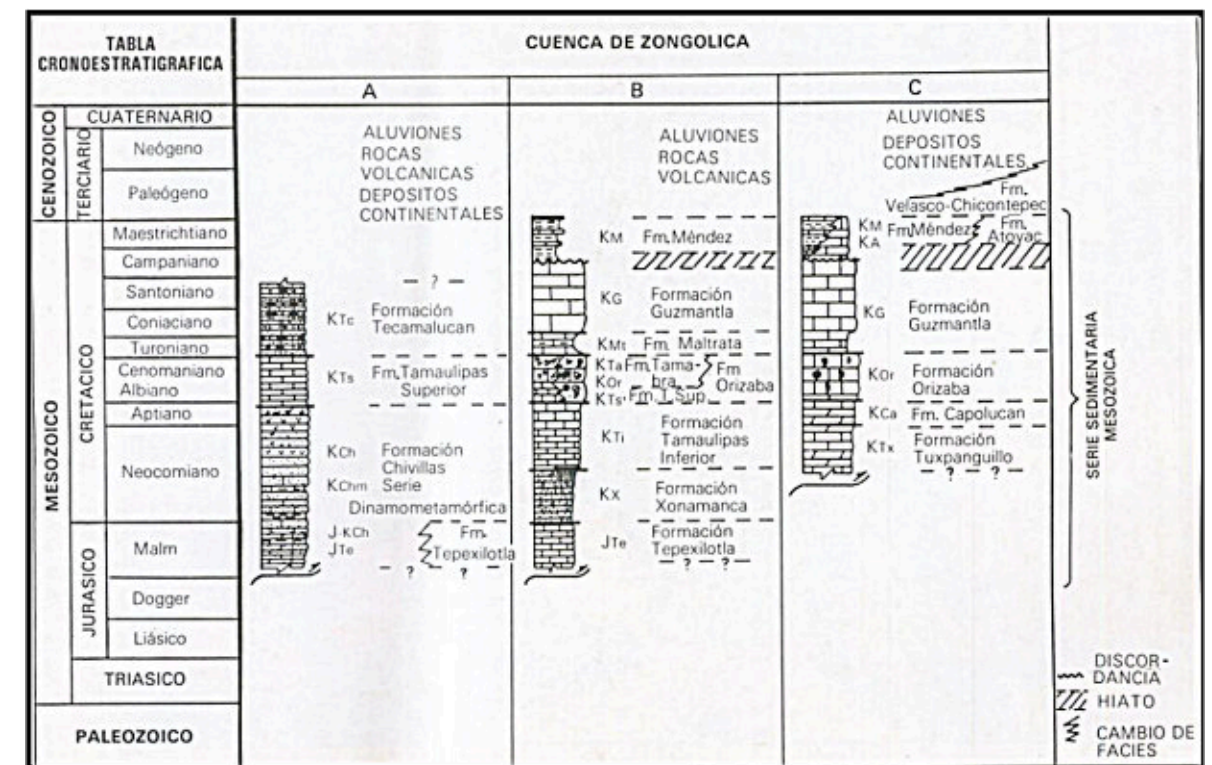


Figura 3.- Columnas estratigráficas de la región Tehuacán – Córdoba, en los tres sectores A, B y C.

### La Serie Metamórfica

Ésta constituye una franja, de dirección noroeste-sureste, que se extiende en la mayor parte del sector A (cf. carta geológica de la Figura 2). Esta unidad constituye el equivalente metamórfico-estratigráfico de la serie sedimentaria del Jurásico Tardío-Cretácico Temprano (Formaciones Tepexilotla y Chivillas, JTe y KCh, respectivamente). La unidad dinanometamórfica se ha denominado Complejo Metamórfico Cuicateco (según Charleston, 1978)<sup>9</sup>.

### La Serie Volcánica

Las rocas volcánicas presentes en la región de estudio corresponden, en general, al conjunto basáltico-andesítico; y sus afloramientos se localizan en el área de la Sierra de Acatlán (suroeste de Tehuacán) y en la porción septentrional de la región de Zongolica (cf. Figura 2). La serie volcánica corresponde al Neógeno-Cuaternario.

## LA TELEDETECCIÓN: NOCIONES FUNDAMENTALES

Los métodos y técnicas de la Teledetección aeroespacial tienen por objetivo la adquisición de la información contenida y transportada en la radiación electromagnética, a partir de plataformas aéreas o espaciales, y que proviene de la superficie de la Tierra o de otros planetas. Los satélites de observación de la Tierra están equipados de varios captosres; cada captor puede recibir una información en un dominio particular del espectro electromagnético. A estos dominios o intervalos del espectro se les denomina bandas o canales.

Los satélites de la serie LANDSAT 1 a 3, de los cuales proceden los datos utilizados en este estudio, están equipados de un sistema de captosres que son de dos tipos: una cámara de televisión RBV (*Return Beam Vidicon*) y de captosres MSS (*Multi Spectral Scanner*). La serie de satélites posteriores son los *Thematic Mapper*, de la NASA. Actualmente, multitud de países poseen ahora una gran variedad de satélites equipados con medios y captosres especiales para la observación de la Tierra en temas diferentes como, ciencias de la Tierra, impacto ambiental, meteorología, vigilancia geoestratégica, etc.

El sistema de medida MSS está constituido por 24 detectores repartidos en cuatro bandas espectrales (satélites LANDSAT 1, 2 y 3). En el satélite LAND-SAT 1 MSS, los canales se denominan MSS-4, MSS-5, MSS-6 y MSS-7. Sus intervalos espectrales son, respectivamente, 500 a 600 nm, 600 a 700 m, 700 a 800 m y 800 a 1 100 nm. Los tres primeros intervalos se sitúan en el dominio del espectro visible (verde-rojo) y el último en la primacía del infrarrojo próximo. Los captosres MSS de LANDSAT efectúan medidas de la reflectancia del suelo, durante su paso, por medio de un espejo oscilante, cuyo movimiento es transversal a la trayectoria del satélite. El barrido de los captosres cubre una distancia en el terreno de 185 km; después, las medidas de la luminancia energética de la superficie terrestre efectuadas por los captosres son codificadas y digitizadas.

Las imágenes obtenidas tienen la forma de un "paralelogramo", a causa de la rotación de la Tierra durante la trayectoria del satélite; y la inclinación del paralelogramo es, a su vez, función de la latitud de la región captada. Posteriormente, las imágenes son sujetas a tratamientos y correcciones, antes de ser grabadas en las cintas magnéticas u otros soportes materiales.

Los datos de teledetección son, en general, de dos tipos: numéricos y fotográficos. Los datos numéricos son grabados en discos flexibles o en cintas magnéticas; éstos constituyen la fuente de datos para la lectura y el tratamiento digital. Por otro lado, los datos fotográficos (la mayor parte de los datos de teledetección están producidos en estos formatos) son editados en papel, principalmente. Estas imágenes se producen en blanco y negro o en color, de acuerdo a las necesidades de utilización temática.

Los datos satelitarios representan "muestreos de la realidad heterogénea del mundo que nos rodea", (Yu, 1987)<sup>42</sup>. La representación de estos datos en un soporte material (cinta magnética, papel fotográfico u otra modalidad), es lo que se denomina imagen de teledetección o satelital. Una imagen es, por lo tanto, "una representación plana obtenida a partir de un registro estructurado de datos (imagen potencial), adquiridos por Teledetección Aeroespacial y, por extensión, es el registro que permite obtener esta representación" (*Journal Officiel*, 112° année, no. 288, 11 décembre 1980, in *Terminologie de la Télédétection Aérospatiale*, Bull. Soc. Géol. Fr., 1982, no. 1).

Desde el punto de vista matemático, una imagen es una función de dos variables independientes representadas  $f(x,y)$ . Las variables independientes " $x$ " e " $y$ " corresponden a las coordenadas en el plan de la imagen. Las coordenadas " $x$ " e " $y$ " se identifican como los parámetros geográficos Este-Oeste para " $x$ " y Norte-Sur para " $y$ ". La función imagen  $f(x,y)$  es una función real de dos variables independientes " $x$ " e " $y$ ", éstas son reales también. La función se puede expresar como sigue:

$$z(x,y) \mid ((x,y) < A \text{ si, } "x" \text{ e } "y" \in E$$

0 para el resto del espacio.

donde:

A, el parámetro relacionado con la amplitud de la función.

E, es la extensión conocida como "el dominio de variación de  $x$  e  $y$ ."

La expresión  $z(x,y)$  representa la amplitud de la imagen analógica en el punto de coordenadas  $(x,y)$ . El valor de la amplitud es el valor de la función  $f(x,y)$  del punto en cuestión y que pertenece a E. "La conversión de una función imagen en forma numérica implica una doble aproximación. Por un lado, en el dominio del espacio, la función imagen  $z(x,y)$ , de coordenadas " $x$ " e " $y$ ", es reemplazado por sus valores  $z(k \Delta x, 1 \Delta y)$  en distancias múltiples enteras de dos distancias elementales  $\Delta x$  y  $\Delta y$ ; ésta es la operación de muestreo. Y, por otro lado, en el dominio de las amplitudes,  $z(k \Delta x, 1 \Delta y)$ , es aproximado por un múltiplo entero de una cantidad elemental  $q$  expresada como  $z(k \Delta x, 1 \Delta y)$ ; ésta es la operación de cuantificación" (Martínez, 1989)<sup>20</sup>.

Después viene la codificación, que es la asociación del valor obtenido en la aproximación con un número entero. Una imagen numerizada está representada, por lo tanto, por la codificación de la función imagen  $z(x,y)$ . En resumen, se puede decir que la imagen numérica es una matriz geométrica, en la cual cada elemento matricial posee tres valores: la coordenada en " $x$ ", la coordenada en " $y$ " y la medida física (amplitud codificada) efectuada por el captor en un dominio particular del espectro electromagnético.

El elemento matricial fundamental se denomina pixel (*picture element*). Éste representa la superficie homogénea más pequeña y que es definida por las dimensiones de la malla de muestreo efectuada por el captor. La medida física de cada elemento matricial (pixel) es codificada entre 0 y 255 (un octeto). Por otro lado, la matriz geométrica (imagen) presenta " $k$ " columnas y " $l$ " líneas. Así, la talla de una imagen está dada por el número de pixeles, es decir,  $N = k \cdot l$ .

La imagen de satélite representa, por lo tanto, un paquete de información numérica. Esta característica permite realizar tratamientos numéricos (u operaciones matemáticas perfectamente definidas) para seleccionar, eliminar o contrastar los valores radiométricos que materializan las informaciones susceptibles de utilización. A partir de estos tratamientos, se obtienen imágenes se obtienen imágenes mejoradas por la interpretación teleanalítica.

### Teledetección en las Ciencias de la Tierra

Con a este campo científico de conocimiento, la experiencia adquirida ha mostrado excelentes resultados en las aplicaciones temáticas, ya durante varios años de experiencia, las cuales se inscriben, fundamentalmente, en los siguientes aspectos:

- En Cartografía Geológica: para la actualización cartográfica (homogeneización y síntesis de la información preexistente); en apoyo a la cartografía de reconocimiento a la escala 1/200,000; en la planeación de las campañas de terreno; como complemento a la interpretación fotogeológica y a la geofísica; como apoyo en regiones sin cartografía actualizada y de difícil acceso, etcétera.
- En Cartografía Estructural: para el reconocimiento de estructuras de deformación (fallas, fracturas, estructuras plegadas); para la cartografía y discernimiento de lineamientos regionales, los cuales definen los marcos geodinámico y cinemático de los grandes conjuntos morfoestructurales.

Con relación a la exploración petrolera, los métodos de la teledetección integrados a otras técnicas geológicas constituyen una herramienta fundamental en el análisis de cuencas petroleras. Esto se debe a la gran variedad de medios

desarrollados por la Teledetección, la cantidad de datos disponibles, la optimización de la resolución radiométrica y espacial, así como a la creciente capacidad del procesado digital, que actualmente es posible.

En el ámbito de la revolución científico-técnica contemporánea, la geología puede, "desde ahora, contar con un aliado: el satélite, que no ve todo, pero que tiene el ojo puesto en todo", (Cervelle y Chorowicz, 1986)<sup>8</sup>.

Así, la metodología implementada en este estudio, combinando datos de campo, fotogeología e información de satélite, ha permitido la elaboración de una carta geológica teleanalítica a la escalad 1/250,000.

#### Adquisición de Datos

En este estudio se han utilizado los documentos cartográficos y bibliográficos siguientes:

- Las fotografías aéreas pancromáticas a la escala 1/50,000 y 1/70,000, que cubren la casi totalidad del sector estudiado. Estas fueron tomadas en las siguientes fechas: marzo 1976, marzo 1977 y marzo-abril 1980.
- Una escena LANDSAT MSS registrada el 23 de mayo de 1973 (*Path 026 y Row 047*). Las coordenadas del centro de la imagen son 18° 52' y 97° 06'. La resolución geométrica es de 80 m (79 x 57 m). El nivel de corrección es 8. Además de ésta, fueron utilizadas otras imágenes LANDSAT MSS para interpretaciones paralelas. La escena LANDSAT empleada, se manejó en los formatos cinta magnética CCT (*Computer Compatible Tape*) y una composición en color (sin tratamiento) en falso color a la escala 1/500,000. La superficie cubierta es de 180 km<sup>2</sup>. La información de la escena LANDSAT está contenida en las bandas 4 a 7, que cubren el intervalo espectral de 500 a 1 100 nanómetros.
- Documentos cartográficos y bibliográficos disponibles actualmente; en particular las cartas geológicas de Petróleos Mexicanos y las editadas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).
- Los resultados del trabajo de verificación de campo, esencialmente secciones estratigráficas y estructurales.

#### El Tratamiento Digital de los Datos

El tratamiento de los datos satelitarios fue realizado en el Laboratorio de Geología, Servicio de Teledetección de la *Société Nationale Elf-Aquitaine (Production)*. Para los diferentes tratamientos se utilizó el equipo de trabajo siguiente:

- El sistema HP-9 000;
- Un lector de cintas 1600/6250 BPI;
- Un sistema de tratamiento de imágenes Pericolor 2001 de la Sociedad MS 2I;
- Un restituidor láser SCITEX;
- Un paquete de tratamiento de imágenes de la Sociedad CP-IMAGE de CISI-INGENIERIE conectado al sistema HP-9 000;
- Un restituidor de imágenes tipo impresora en color.

Los tratamientos efectuados son de dos categorías: los de rutina o estándar y los específicos. Los diferentes tratamientos fueron seleccionados en función de los problemas por resolver y de los objetivos previamente definidos.

#### Tratamientos Estándar

Los tratamientos de este tipo que se aplicaron a las imágenes LANDSAT MSS fueron los siguientes:

**Lectura de la Cinta Magnética:** Se utilizó el programa de lectura de formato BIP2 (*Bytes Interspersed by Two*), cuya densidad corresponde a 6 250 BPI. El resultado del tratamiento fue la obtención de cuatro archivos-imagen (canales 4, 5, 6 y 7) de 185 km<sup>2</sup>, cuyas dimensiones de pixel son 79 m en altura (líneas) y 57 m de largo (columnas). Los números de líneas y de columnas son respectivamente de 2 340 y de 3 228. Los parámetros de la toma de imagen son: ángulo de elevación del Sol 61° y el azimut solar de 80°.

**Delineamiento de la Imagen:** Este se efectuó sobre la imagen en bruto (sin tratamiento) para eliminar las líneas horizontales debidas a defectos de los captores en el momento de la toma. El método consiste en reajustar cada captor sobre la media y la varianza de la totalidad de la imagen. Para ello, se requiere localizar la repartición del lineado calculando separadamente los parámetros estadísticos de los datos proporcionados por los captores. Esta operación de delineamiento se realizó separadamente para obtener las imágenes delineadas, visiblemente mejoradas.

**Cálculo de los Parámetros Estadísticos de la Imagen:** Los cálculos estadísticos fueron realizados para preparar el análisis en componentes principales. Los cálculos efectuados para los canales 4, 5 y 7 son: media, varianza, desviación estándar,

el mínimo y el máximo, media y varianza por clases, coeficientes de correlación y matriz de covarianza (Tabla 1). De estos resultados, se puede constatar la decorrelación entre los canales 4 y 7, así como en los 5 y 7. Por otro lado, los valores radiométricos fluctúan entre 0 y 80, las medias para los canales citados oscilan entre 20 y 37. También fueron calculados los histogramas para los cuatro canales (figuras 5a y 5b). Las formas de los histogramas son disimétricas para los canales 4 y 5, y de campana de Gauss para los canales 6 y 7. Finalmente la covarianza entre canales es baja.

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS CALCULADOS					
Canal	Media	Varianza	Desviación	Mínimo	Máximo
4	37.55	95.60	9.77	3.00	127
5	33.96	195.39	13.97	0.00	127
7	21.58	37.40	6.11	0.00	63

MATRIZ DE CORRELACIÓN			
CANALES	4	5	7
4	1.000	0.951	0.186
5	0.951	1.000	0.240
7	0.186	0.240	1.000

MATRIZ DE COVARIANZA			
CANALES	4	5	7
4	95.60	129.91	11.09
5	129.91	195.39	20.55
7	11.09	20.55	37.40

Tabla 1.- Parámetros de cálculo de variables estadísticas, de correlación y de covarianza.

**Optimización de la Dinámica:** Este tratamiento se aplicó para mejorar el contraste tonal de la imagen y consiste en una repartición de los valores radiométricos (extensión del histograma sobre la totalidad de tonos de gris, esto es, 256 valores). El tratamiento es un conjunto de operaciones de interpolación lineal por clase, es decir, se han estudiado los histogramas para definir los límites entre los que debían hacerse las interpolaciones. Los límites inferiores fueron establecidos a 0 y los superiores a 255 para los cuatro canales. El resultado visual es una imagen mejorada en la cantidad de tonos de gris, con los cuales los objetos geológicos aparecen mejor contrastados. Las imágenes así obtenidas, han sido utilizadas para construir las composiciones de color para la interpretación geológica.

**Imágenes en Composiciones de Color:** En esta etapa, se construyó una composición en color a partir de los canales 4, 5 y 7, porque entre ellos existe una importante decorrelación. La asignación de colores fue azul al canal 4, verde al canal 5 y rojo al canal 7. Además, gracias a la buena definición litoestratigráfica y geomorfológica de los canales 4 y 5, se pudieron utilizar éstos para la identificación de ciertos conjuntos sedimentarios silíceoclasticos.

#### Tratamientos Específicos

Estos procesos tienen por objeto mejorar o seleccionar la información para las interpretaciones de los objetos geológicos (búsqueda de contrastes, de direcciones lineamentarias, etcétera). Entre los tratamientos específicos utilizados, los más importantes para la extracción de la información lineamentaria son los descritos a continuación.

**Corrección Geométrica:** El procedimiento efectúa una corrección de la rotación de la Tierra, la corrección del hiper-muestreo radiométrico en columnas y la corrección de escalas. El resultado de estas correcciones es, para cada canal tratado, una imagen que presenta la impresión del relieve. Estas imágenes se utilizaron para componer los pares pseudo-estereoscópicos para el estudio teleanalítico.

**Análisis de Componentes Principales:** Puesto que los canales 4, 5, 6 y 7 de la imagen de trabajo contienen informaciones comunes, pero también ciertas particularidades, conviene seleccionar y hacer resaltar las informaciones específicas. Para ello, el análisis en componentes principales fue fundamental para decorrelacionar las informaciones y generar otras imágenes para cada componente. Los datos (imagen) son condensados y repartidos en tres ejes, entre los cuales no existe



correlación. Cada componente contiene entonces informaciones independientes unas de otras. Para este análisis en componentes principales, la noción de información es utilizada en sentido estadístico (como función de la varianza). Por medio del análisis estadístico se puede establecer la decorrelación de las informaciones, pero a condición de que las imágenes obedezcan una tendencia gaussiana y así poder considerar la independencia de las informaciones (poblaciones en sentido estadístico). De esta manera el análisis en componentes principales permite generar canales "ficticios", sin correlación entre sí, especialmente útil en el caso de los datos multispectrales de alta correlación de LANDSAT MSS, (cf. Figura 4).

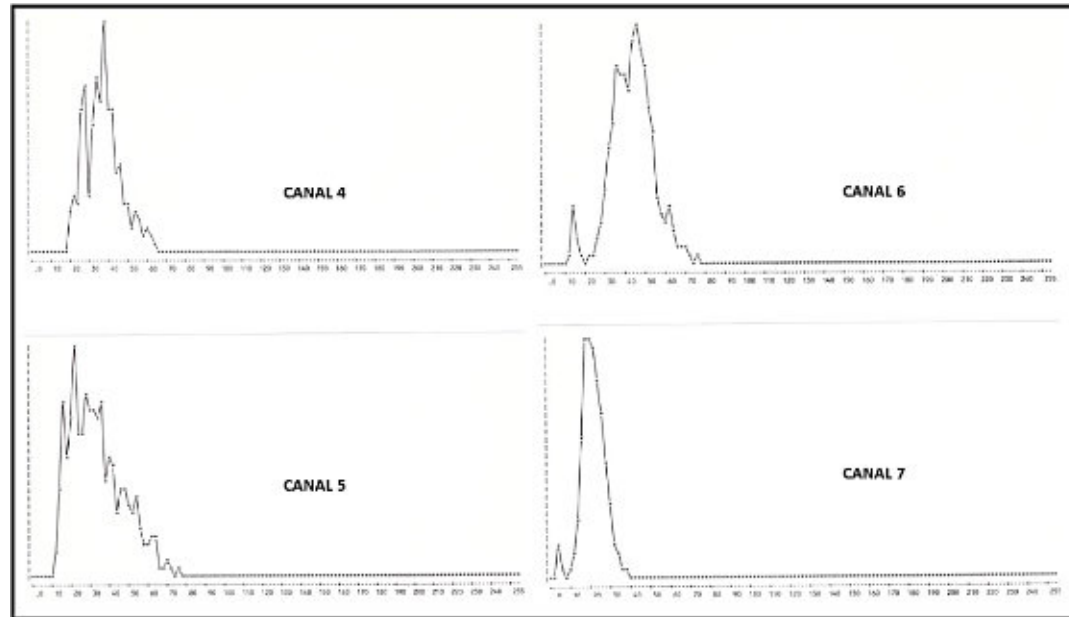


Figura 4.- Histograma de los canales 4, 5, 6 y 7, de la imagen Landsat MSS.

El método requiere el cálculo de varios parámetros estadísticos: media y covarianza de cada canal, matriz de correlación, valores y vectores propios, y finalmente los valores de las componentes principales. Para el cálculo de estos últimos fueron seleccionadas varias zonas dentro de las imágenes tratadas utilizando los cuatro canales. Entre las componentes principales calculadas, solamente la primera y la segunda fueron utilizadas para la definición litológica general y para la estructura lineamentaria. La tercera componente expresa el ruido radiométrico que, de esta manera, ha sido separado de los otros canales. Así, a partir del análisis en componentes principales se construyeron varias composiciones en color, de las cuales, las más importantes fueron las constituidas por los canales 4, 5, CP1 y 5, 7, CP1; la asignación de colores fue azul, verde y rojo, respectivamente.

**Optimización Local del Contraste:** Este tratamiento ha sido aplicado para mejorar localmente el contraste. El método consiste en aumentar las diferencias entre píxeles vecinos, sin que la forma general del histograma sea modificada. El resultado de este tratamiento fue la obtención de imágenes de los canales 4, 5 y 7, con una definición más nítida de los caracteres litológicos de la parte occidental del área de estudio. Las imágenes así generadas fueron utilizadas en la composición de color definitiva para el análisis lineamentario.

**El Filtrado:** Este tiene por objeto evidenciar los elementos direccionales, por medio de la aplicación de filtros de convolución. Un filtro es un operador matemático materializado como una "ventana o matriz desplazable", que se aplica a los valores contenidos en la vecindad de un píxel. Los valores calculados por el operador del filtro (parámetros estadísticos: media, desviación estándar u otros como gradiente, derivadas, etcétera), son ponderados por los coeficientes del filtro y después son asignados al píxel central. El método de filtros, según la composición de la matriz, permite la observación de las estructuras de la imagen, es decir, hace resaltar los elementos lineamentarios en ciertas direcciones preferenciales, ya sea exagerando o atenuándolas con relación a otras que pudieran enmascararlas. Para agrupar los elementos lineamentarios según criterios de direcciones, fueron aplicados varios filtros direccionales en sectores previamente seleccionados en la imagen de base. Las direcciones interesantes a evidenciar, según el marco estructural de la región, fueron N 45° para los sistemas de fracturación perpendiculares a las estructuras principales, y N 135° que

corresponden a los grandes lineamientos o estructuras mayores. Otras direcciones de elementos lineamentarios fueron igualmente investigadas.

Las direcciones generales norte-sur, este-oeste, noroeste-sureste y suroeste-noreste de elementos direccionales, también se obtuvieron por la aplicación de filtros de convolución de tipo lineal. Entre los filtros lineales, se utilizaron filtros de derivadas direccionales cuya matriz fue del tipo general:

$$\begin{matrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{matrix}, \text{ con: } P = 4; \text{ y } T = 128.$$

donde: P, es el Factor de ponderación; y T, es la Constante aditiva.

Estas derivadas realzan las transiciones radiométricas en una dirección determinada, cada 45°. Así, fueron utilizadas las derivadas norte, noreste, este, sureste, sur, suroeste, oeste y noroeste. Otro tipo de filtros direccionales utilizados son los laplacianos; éstos realzan las transiciones radiométricas en todas las direcciones; de ellos se emplearon los filtros de realce, erosión, media, etcétera. Diferentes filtros especiales como el Kirsch, Robert, Sobel y Gradiente, fueron igualmente utilizados para discernir direcciones; para su aplicación, los parámetros "P" y "T", así como los coeficientes de los filtros, fueron modificados para la optimización de los resultados. En resumen, los diferentes filtros probados permitieron discernir las direcciones de los elementos lineamentarios. En las Figuras 5 y 6, se muestran dos imágenes filtradas de salida, así como sus respectivas interpretaciones. Los datos obtenidos por medio del filtrado fueron utilizados después para la construcción de la carta estructural teleanalítica general.

**Método de los Cocientes:** Este método se fundamenta en la noción de reflectancia (diferencias de reflectancia entre bandas espectrales). El procedimiento se utilizó para minimizar los efectos de la sombra y de la vegetación en las imágenes. El tratamiento permite establecer la relación píxel a píxel de dos imágenes (canales), en un nivel de corrección geométrica similar para realizar su comparación. En este trabajo, se establecieron las relaciones entre los diferentes canales 4, 5, 6 y 7. Entre éstos, sólo las relaciones 7/6, 7/4 y 5/4 permitieron la generación de imágenes utilizables en la interpretación, en particular la de la estructuración de las series calcáreas. En otras relaciones de cocientes la interpretación fue poco eficaz.

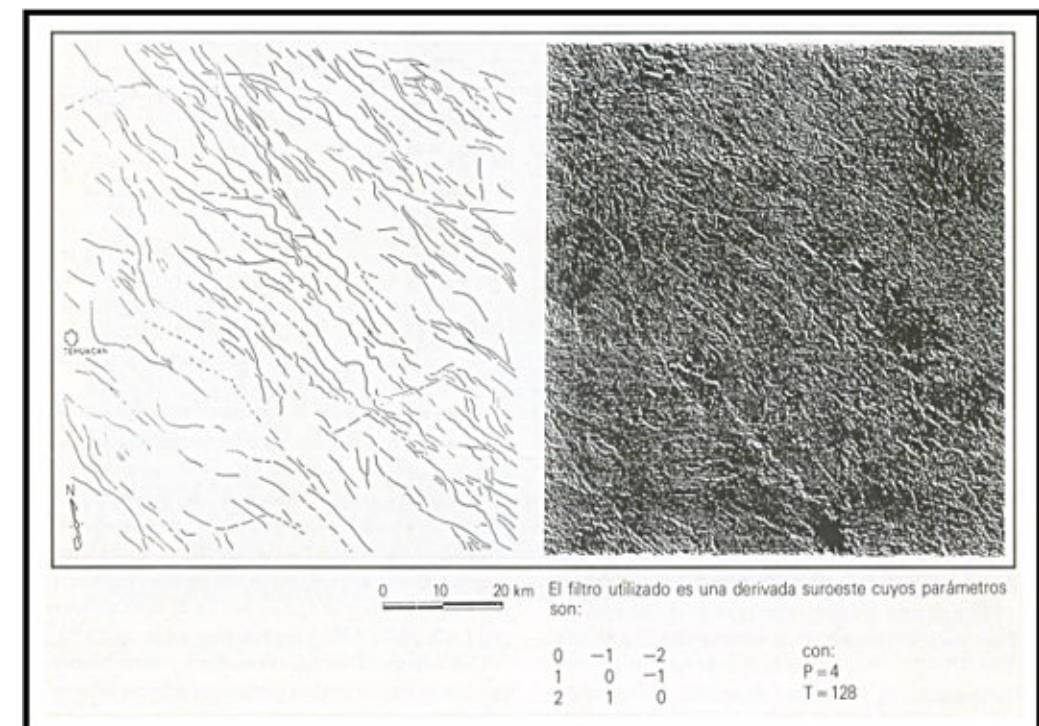
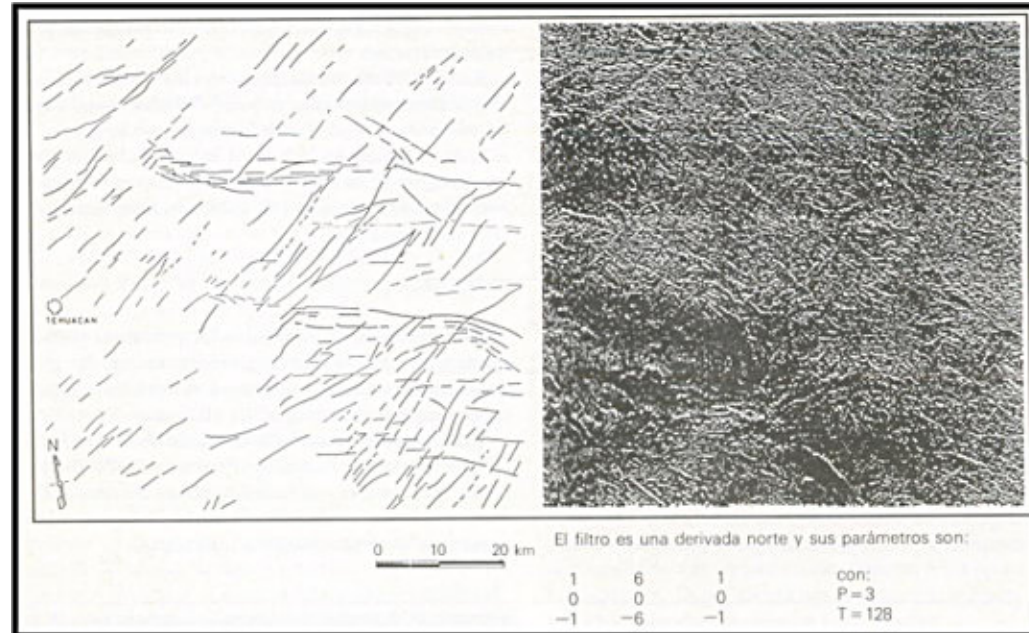
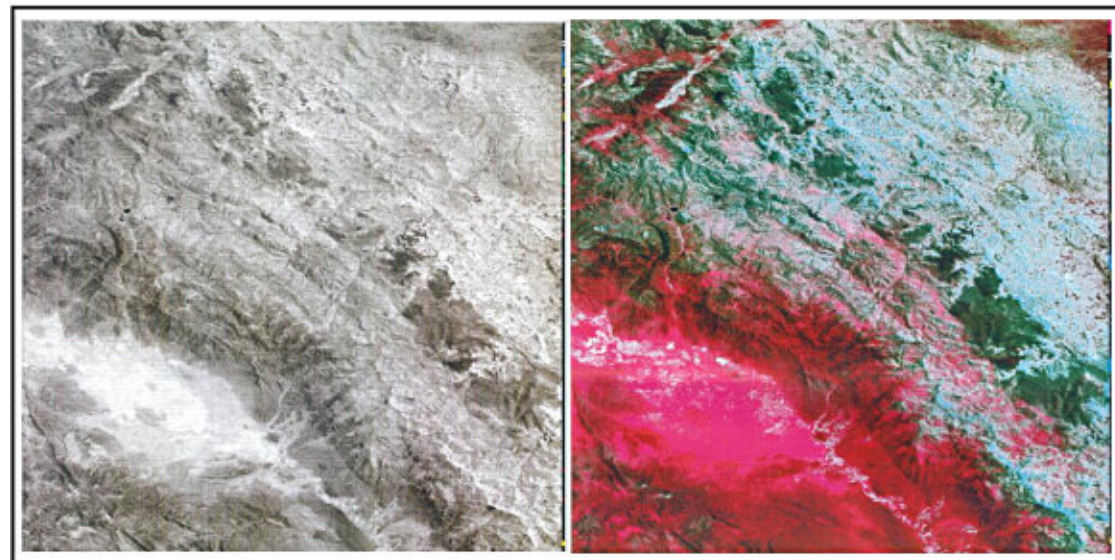


Figura 5.- Interpretación de alineamientos noroeste – sureste de la imagen filtrada en derivada suroeste. A la derecha, la imagen filtrada de la porción occidental del área de estudio.

*La Restitución:* Después de haber realizado los diferentes tratamientos numéricos descritos anteriormente, los diversos archivos-imagen se obtuvieron por impresora color o en restituidor tipo SCITEX láser. Las imágenes tratadas fueron visualizadas en pantalla de la estación de trabajo Pericolor 2001, y finalmente obtenidas en salida de impresora de color (Figura 7). Estos documentos se utilizaron en la interpretación paralela a la de las imágenes restituidas. Por medio del restituidor SCITEX se obtuvieron en papel fotográfico las imágenes de base para la interpretación, éstas son las siguientes: a) Composición en color de la escena entera, que conlleva los tratamientos estándar, a la escala 1/500,000 (Figuras 8 y 9); b) Imagen tratada de la escena entera en el canal 7 a la escala 1/500,000; c) Imagen de la región de estudio seleccionada a partir de la escena entera y que presenta los tratamientos estándar y específicos; escala 1/250,000 (Figura 9). Esta última imagen constituye el documento de base para la interpretación teleanalítica. La escena LANDSAT entera utilizada en este estudio se muestra en la Figura 8 y la ventana de trabajo del sector de estudio en la Figura 9.

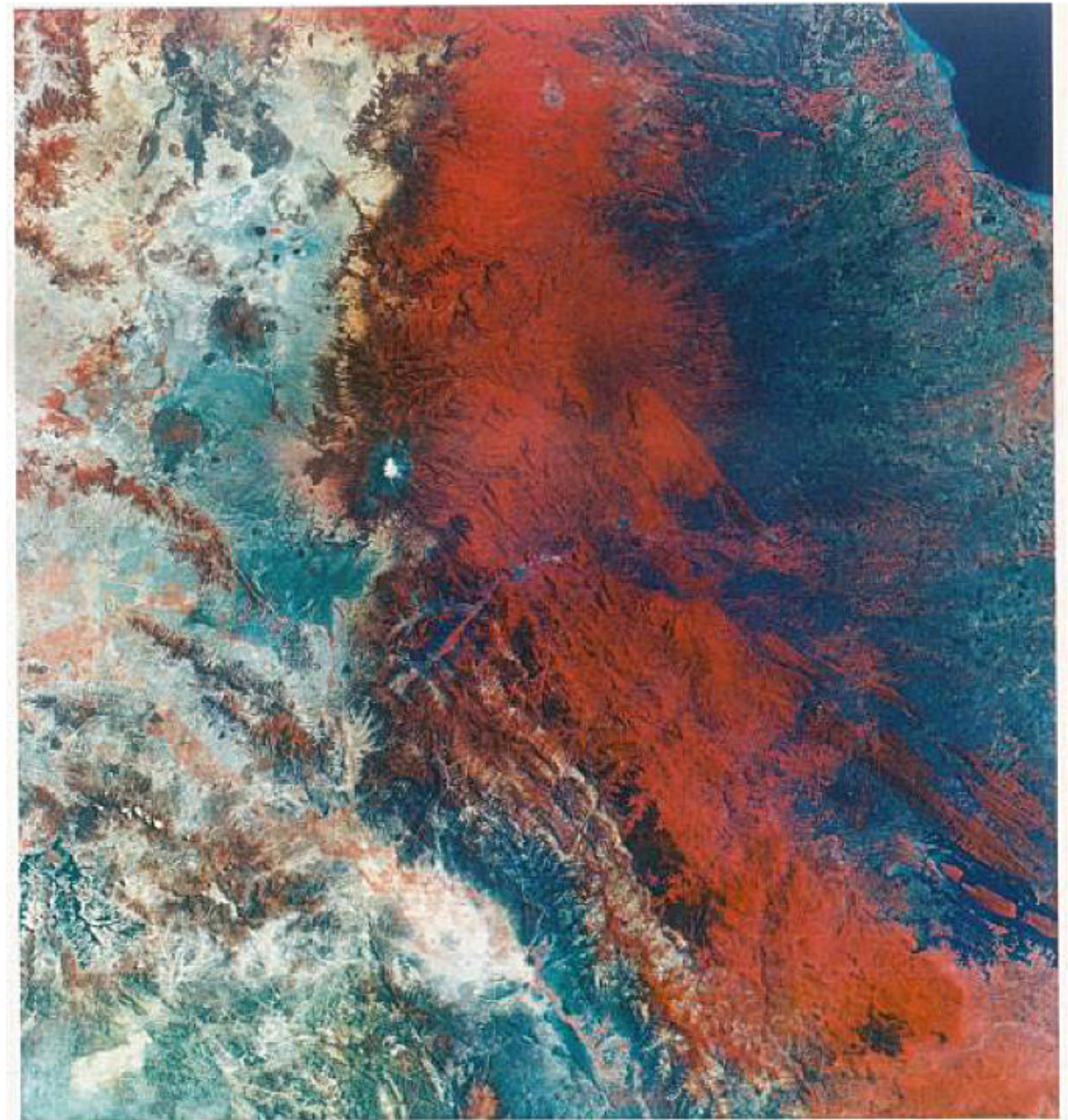


**Figura 6.-** Interpretación de alineamientos este – oeste y suroeste – noreste de la imagen filtrada en derivada norte. Y a la derecha, imagen filtrada del mismo sector occidental.



**Figura 7.-** Tratamientos digitales en un área específica de la imagen satelital. En la fotografía de la izquierda se muestra un filtrado de derivada norte; y en la fotografía de la derecha, una combinación de canales en falso color. Los diferentes tratamientos digitales a las imágenes tienen la finalidad de discernir diferencias litológicas y estructurales entre las unidades estratigráficas.

*El Proceso de Teleanálisis:* La estrategia teleanalítica fue definida en función de los objetivos propuestos, así como de las características de la imagen disponible y de las particularidades de la región de estudio. El método teleanalítico se basó en la interpretación fotogeológica y de imágenes de satélite. Así, la utilización de fotografías aéreas permitió la elaboración de una carta geológico-estructural detallada (incluso al nivel de las unidades litoestratigráficas). Por otra parte, la imagen LANDSAT proporcionó la visión de conjunto de la configuración estructural regional. Los dos procedimientos o tipos de datos son complementarios; las regiones cubiertas por los datos fotogeológicos y por los de satélite (imagen LANDSAT MSS) se presentan en la Figura 10.



**Figura 8.-** Composición en color (canal 4 en azul; canal 5 en verde y canal 7 en rojo), de la escena Landsat MSS (1306 16231), tomada el 25 de mayo de 1973 en la región Tehuacán – Córdoba.

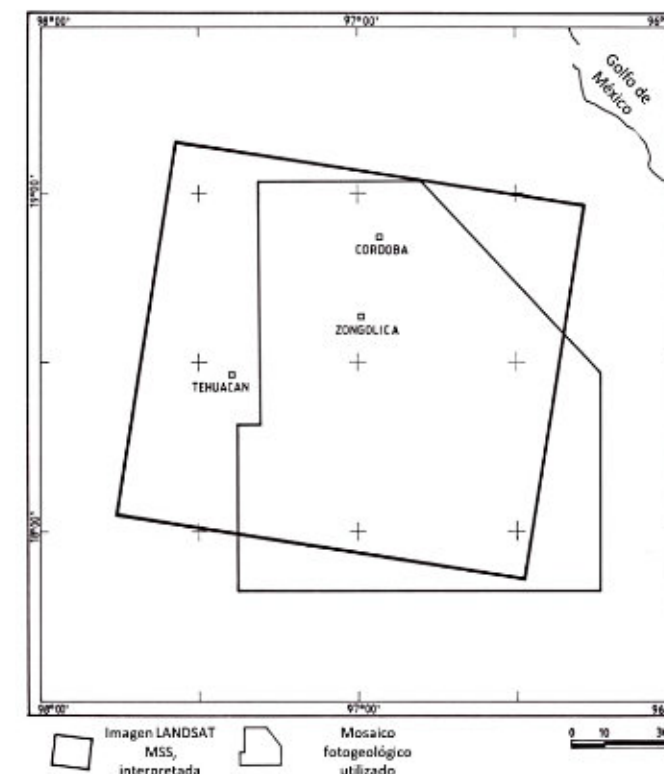


**Figura 9.-** Composición en color de la región Tehuacán – Córdoba, Veracruz de la región seleccionada de la imagen Landsat total, para el estudio analítico.

Con relación al método teleanalítico y, como primer paso, se efectuó el análisis preliminar sobre la imagen inicial, mismo que permitió prever las posibilidades y los niveles de intervención, tanto en la etapa de campo como en los tratamientos numéricos realizados. En laboratorio, el análisis de las imágenes tratadas se realizó sobre pares pseudoestereoscópicos de diferentes canales o composiciones de color, mientras que las imágenes restituidas en impresora se utilizaron para interpretación en paralelo. La identificación de los elementos lineamentarios (alineamientos y lineamientos materializados por fracturas o fallas) fue fácilmente realizada, en particular en la parte occidental de la región. De esta manera, fueron identificados y cartografiados los cabalgamientos y las fallas inversas de dirección general noroeste-sureste, así como los accidentes de dirección sensiblemente ortogonales a éstos. Lo anterior fue igualmente posible para los sistemas de fracturación superpuestos.

Otros objetos geológicos, como las trazas y las formaciones litológicas, son poco discernibles en las imágenes. Sólo se han diferenciado los grandes conjuntos litológicos, es decir, los de las rocas metamórficas del basamento, los de los cinturones sedimentarios metamorizados, los de las rocas sedimentarias carbonatadas, siliceoclásticas o sus variaciones, el de las rocas volcánicas y el de los depósitos aluviales.

Para la diferenciación e identificación precisas de las unidades litológicas, la existencia de la cubierta vegetal en gran parte de la región constituyó un obstáculo mayor. Otra dificultad fue la baja resolución espacial de la imagen tratada. En esta tarea, la consulta de los documentos cartográficos preexistentes fue fundamental.



**Figura 10.-** Cobertura de los datos fotogeológicos (fotografías aéreas) y de satélite del área de estudio.

Para tratar de resolver estos problemas, se marcó especial énfasis en la interpretación fotogeológica y en la verificación de campo (secciones estructurales y columnas estratigráficas). En resumen, la metodología establecida permitió la realización de la Carta Estructural Teleanalítica a partir de la imagen LANDSAT MSS, así como la elaboración de la Carta Geológica Regional de Zongolica con base en el conjunto de datos: de satélite, fotogeológicos, de campo y de la cartografía preexistente.

## ESTRUCTURACION REGIONAL A PARTIR DEL TELEANALISIS

### *Descripción de los Datos Estructurales y Lineamentarios*

En la carta estructural teleanalítica (Figura 11), será descrita la configuración estructural, primero en la región de la Sierra de Acatlán y después, en el sector de la Cuenca de Zongolica. Para esta última, así como el modelo sedimentario y de paleofacias, permitió distinguir tres sectores tectono-sedimentarios, el análisis lineamentario confirmó esta diferenciación en tres sectores o dominios morfoestructurales, cuyo estilo estructural les es característico.

Por otra parte, los elementos estructurales revelados por el análisis fotogeológico y por la interpretación de la imagen LANDSAT MSS fueron clasificados en tres categorías: las fracturas o diaclasas, las fallas y los lineamientos:

a). Las fracturas son las estructuras de deformación de pequeñas dimensiones y que integran los sistemas de fracturación; b), Las fallas corresponden a las estructuras de deformación materializadas por líneas o alineamientos que manifiestan desplazamientos, interrupciones de trazas estratigráficas o de las discontinuidades litológicas; c), Los lineamientos, que son alineamientos estructurales de varias decenas o centenas de kilómetros de longitud, que corresponden a accidentes de la corteza terrestre, y expresados en la superficie del terreno. Éstos se manifiestan durante largos periodos de tiempo (Hobbs, 1904)<sup>15</sup>. Los lineamientos son, por lo tanto, accidentes profundos y de gran extensión. La cartografía de los lineamientos es el sólo dominio de la Teledetección. Estas estructuras no son adecuadamente identificadas a nivel del afloramiento. A este respecto y para el estudio de la región de Orizaba, Córdoba y Zongolica, la resolución de la imagen LANDSAT MSS utilizada fue fundamental para cartografiar el sistema lineamentario.

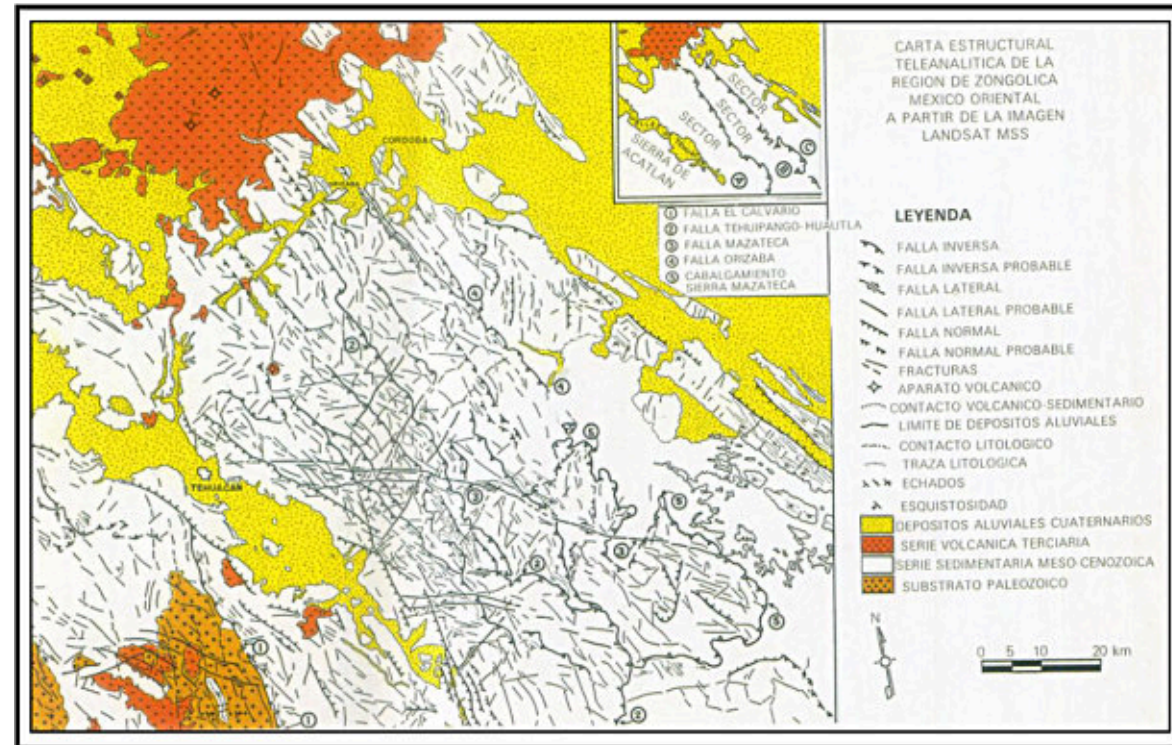


Figura 11.- Carta de configuración estructural de la región de estudio, en los tres sectores que la Constituyen..

La mayor parte de los lineamientos cartografiados se asimilan a fallas inversas y cabalgamientos. Estos caracteres forman la estructuración de la serie mesozoica de la cuenca. Los sistemas de fracturación y las fallas secundarias completan el cuadro estructural de la región. La interpretación de la imagen LANDSAT MSS permitió elaborar una carta estructural teleanalítica, reproducida en la Figura 11, que presenta la estructuración de la Sierra de Acatlán y la de los tres sectores que constituyen la Cuenca de Zongolica, objeto particular de este estudio. Una descripción breve se presenta a continuación.

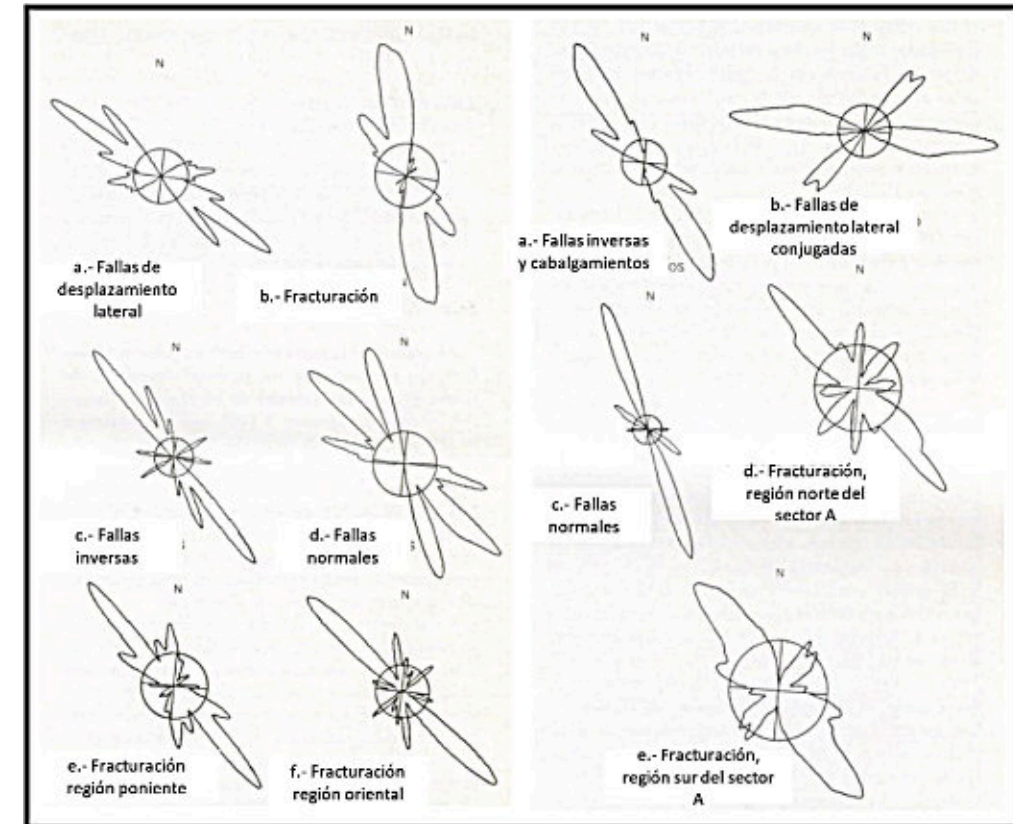
#### Elementos Lineamentarios en la Sierra de Acatlán

En esta región aflora el substrato paleozoico y una serie sedimentaria que representa el Jurásico Medio-Cretácico Superior. La descripción estructural del basamento y de la serie sedimentaria se presenta separadamente.

#### El Basamento de Acatlán

La carta estructural teleanalítica muestra, en el basamento paleozoico de Acatlán, un sistema formado de dos grupos de direcciones conjugadas: N 80-85° y N 115-130°. Otras direcciones son N 165-180° y N 140-150°. La repartición estadística de las direcciones estructurales se presenta en las Figuras 12 y 13. Las direcciones N 80-85° y N 115-130° constituyen un sistema de fallas conjugadas de varios kilómetros de longitud. Las otras direcciones representan un sistema superpuesto al sistema conjugado y sus longitudes son más cortas. Las fallas de desplazamiento lateral del sistema conjugado, según los datos del terreno, podrían representar desplazamientos de cierta importancia. Estas fallas afectan los planos de esquistosidad del basamento y sus direcciones varían entre N 165-170°, siendo sus echados de 30 a 60° hacia el noreste. Estas estructuras son paralelas a las de edad herciniana (ciclo orogénico del Devónico al Pérmico), (Ortega, 1978)<sup>26</sup>.

Respecto a las direcciones del sistema de fracturación (N 165-180°, N 140-150°, etcétera), se constató que éste es tan importante como el sistema conjugado, puesto que presenta fracturas de varios kilómetros de longitud, las cuales afectan los esquistos, gneises y series de areniscas del basamento paleozoico, además de que se disponen, en general, paralelas a los planos de esquistosidad de edad devónica-pérmica.



Figuras 12.- Diagramas de probabilidad de direcciones de los alineamientos en la Sierra de Acatlán. Alineamientos presentes en el basamento (a y b), y en la cubierta sedimentaria (c, d, e, f). Figura 13.- Y, a la derecha, diagrama de probabilidad de direcciones de alineamientos en el sector A.

#### Cubierta Sedimentaria del Basamento de Acatlán

En la cubierta sedimentaria se verificó la presencia de una dirección principal de los elementos lineamentarios: la N 140° a N 150°. Otras direcciones secundarias de menor importancia, también fueron identificadas (Figuras 11 y 12). El primer conjunto de estructuras, de dirección general N 140-150° con variaciones de aproximadamente 15°, representa en el terreno, fallas inversas, fracturas y ejes de pliegues. Entre las fallas inversas, la más importante es la que constituye el frente de un ligero "décollement" o despegue de la serie sedimentaria mesozoica sobre el basamento de Acatlán. Este frente de cabalgamiento tiene una longitud de más de 40 km (Falla El Calvario). Su prolongación septentrional afecta solamente la serie sedimentaria mesozoica, teniendo una orientación general noroeste-sureste (Figura 11). Por otro lado, las fallas normales, con ciertas variaciones azimutales, se identifican en el mismo grupo direccional (N 115°, N 130-145° y N 160-170°). Por su parte, las fracturas constituyen un complicado sistema de fracturación, donde la orientación predominante se aproxima a la del sistema de direcciones conjugadas observado en el basamento, así como a la dirección de las fallas inversas de su cubierta sedimentaria. Otras direcciones de fracturación como N 125°, N 140-150°, N 175°, etcétera, se pueden asociar a las direcciones principales antes mencionadas, (Figuras 11 y 12 c-f).

#### Elementos Lineamentarios de la Cuenca Occidental (llamada de Zongolica)

Para la descripción de la estructuración de la cuenca, se adopta la división tripartida mencionada anteriormente. Esta es confirmada, en el contexto estructural, por estilos estructurales particulares caracterizando cada sector.

#### Sector A (Occidental)

El análisis de la carta teleanalítica pone de manifiesto la presencia de un sistema compuesto de cuatro grupos direccionales de los elementos lineamentarios. La dirección N 120° que se aproxima a N 150°, representa la dirección dominante. Las direcciones N 35-55° y N 100-110°, constituyen un sistema conjugado. Un cuarto grupo, de dirección N

130° a N 160°, también se manifiesta en el área. Finalmente, otras direcciones intermediarias y de carácter secundario, se superponen a las direcciones principales. El análisis estadístico de estos grupos direccionales se presenta en la Figura 13.

En el terreno, el sistema de elementos lineales se materializa por importantes lineamientos y accidentes de extensión kilométrica. Así, la dirección N 120-150° corresponde a un conjunto de fallas inversas y cabalgamientos de disposición subparalela. Entre los cabalgamientos tectónicos, el más importante es el frontal Tehuipango-Huautla, que limita tectónicamente al sector A del B cabalgado. Este importante lineamiento tiene más de 100 km de longitud, separando dos dominios (sectores A y B), cuyo estilo estructural es diferente, además delimitando dos provincias paleogeográficas particularmente distintas. Los otros cabalgamientos paralelos, situados en la parte posterior del frente del cabalgamiento Tehuipango-Huautla, presentan dimensiones importantes del orden de 60 a 90 km; y hacia la porción más occidental del sector A, los lineamientos se manifiestan como fallas inversas de dimensiones más modestas, (Figura 11).

Por otro lado, el par de direcciones conjugadas N 100-110° y N 35-55° está materializado por un sistema conjugado de fallas de desgarramiento lateral sinistral-dextral, que se superpone al sistema de cabalgamientos (Figura 11 y carta geológica de la Figura 2). El sistema conjugado se extiende hacia el este, más allá de los límites del sector A. Las fallas conjugadas tienen longitudes que sobrepasan los 20 km, afectando la serie litológica del sector A. Esta deformación se manifiesta por una intensa foliación, desplazamientos horizontales significativos, estructuras replegadas y desgarres, los que se asocian a complejos sistemas de fracturación. Por otra parte, el sistema de fallas conjugadas que afectan las series sedimentarias, se acompaña de estructuras y texturas cataclásticas o claramente dinamometamórficas. Así, el conjunto milonítico conformado, caracteriza la mayor parte del sector A en su porción central y meridional (Figura 13 y carta geológica general).

Finalmente, el último grupo, de dirección general 130° a N 160°, se manifiesta por fracturas muy marcadas en el complejo dinamometamórfico (J-Kch) o por fallas normales, cuyas longitudes sobrepasan la veintena de kilómetros. Estas fallas definen los límites del Valle Terciario de Tehuacán (Figuras 2 y 11) y se asocian a la presencia de rocas volcánicas del Neógeno.

### El Sector B (Central)

En esta parte de la cuenca se identificaron tres grupos direccionales de elementos lineamentarios: el primero de dirección general N 140°, el segundo correspondiente al par de direcciones conjugadas N 35-55° y N 100-110-120°, así como otras direcciones intermedias (Figura 14). El primer grupo está constituido por una serie de fallas inversas que se transforman, a veces, en verdaderos cabalgamientos que afectan la serie sedimentaria del Jurásico-Cretácico. Es importante agregar que las estructuras plegadas (anticlinales y sinclinales recostados), se alinean con esta misma dirección. En este grupo direccional se distingue el cabalgamiento frontal de la Falla Orizaba, separando el sector B del C oriental, y cuya continuidad meridional define el cabalgamiento Sierra Mazateca (Figura 11). Este cabalgamiento constituye una *napa* tectónica de más de 100 km de longitud y está representada por la serie carbonatada de la Formación Orizaba del Albiense-Cenomaniense.

El sistema de direcciones conjugadas se materializa por fallas o fracturas de desgarramiento lateral, cuyo desplazamiento horizontal no es importante, a excepción de la Falla Mazateca (falla lateral sinistral). Ésta presenta desplazamientos significativos del sector A al B, así como ejes estructurales cortados o dislocados. La longitud de estos lineamientos sobrepasa los 50 km (Figuras 2 y 11). Los sistemas de fallas normales presentan varias direcciones que son a menudo paralelas o subparalelas a las de las fallas inversas (Figuras 11 y 14).

Por último, un sistema de fracturas, de menor importancia, se superpone a los sistemas principales. Este sistema de fracturas se presenta sobre todo en la serie carbonatada cabalgante (el conjunto KOr, de las series de la Formación Orizaba, delimitado por el cabalgamiento de la Falla Mazateca). Su dirección principal es N 140° (Figuras 14 d y e).

### Sector C (Oriental)

En este sector los elementos lineamentarios están poco desarrollados, sin embargo, se pudieron diferenciar tres grupos: el primero de dirección N 135-140°, el segundo de N 50° y, finalmente, el que se orienta a N 10° (Figura 15). El primer grupo se manifiesta por algunas fallas inversas, pero sobre todo por normales, así como por los ejes de estructuras plegadas (anticlinal de la Sierra Tlalcuiloltecatl). Las fallas normales conforman estrechas cuencas en el conjunto

geomorfológico calcáreo, siendo su disposición paralela a las direcciones de las fallas inversas. Estos accidentes estructurales son de dimensiones reducidas (Figura 11).

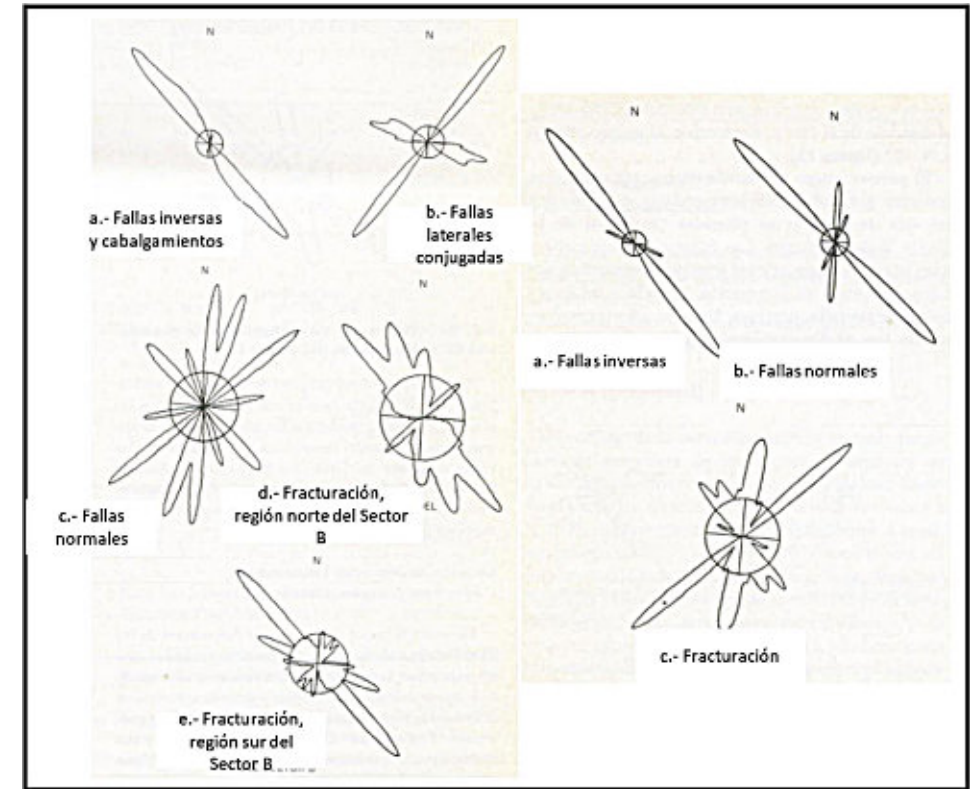


Figura 14.- Diagramas de probabilidad de direcciones de alineamientos del sector B; incisos a hasta e. Figura 15.- Diagrama de probabilidad de direcciones de alineamientos del sector C; incisos a hasta c, en la imagen derecha.

El segundo y tercer grupos corresponden a un sistema de fracturación que es normal, u oblicuo, a los planos de estratificación y a los estructurales. El sistema de fracturación caracteriza particularmente las rocas calcáreas del Cretácico Superior (fundamentalmente de la Formación Guzmantla, KG), donde se presentan también algunas fallas normales de orientaciones variadas (Figura 15).

### Conjuntos de Direcciones Lineamentarias y Estructuras Asociadas; Síntesis

Después de haber presentado la descripción de los datos teleanalíticos, se hace necesario proponer una síntesis sobre la evolución cinemática de la cuenca. La metodología permitió distinguir las direcciones principales a las cuales se asocian las estructuras geológicas. Estos grupos direccionales principales y sus estructuras asociadas se presentan en la Tabla 2, por cada sector de la cuenca. En esta misma se definen, en una cronología relativa, los eventos tectónicos que caracterizan las diferentes direcciones y sus estructuras asociadas. Tal cronología comprende, primeramente, una fase distensiva o apertura de la cuenca mesozoica jurásica, actuando sobre el paisaje hercyniano precedente; en segundo lugar, una deformación comprensiva (*sensu stricto*) que origina el cierre de la cuenca y que es seguida de una etapa de tipo transpresivo, para finalmente presentarse una fase de deformación distensiva, ya durante el Paleógeno. Esta cronología relativa, propuesta preliminarmente, se describe en la parte destinada a la interpretación cinemática.

### Interpretación Cinemática General de los Datos Lineamentarios

A partir del análisis de los elementos lineamentarios presentado anteriormente, así como del agrupamiento de direcciones principales, se puede proponer una cronología relativa de las etapas de evolución estructural de la cuenca. En esta evolución se distinguen, por tanto, tres etapas: • La fase de apertura de la cuenca-rift, ligada a la estructuración prejurásica del substrato; • La fase de deformación compresiva, que se puede situar entre el fin del Cretácico y el Paleoceno. En esta fase de deformación se identificaron dos períodos: uno compresivo (s.s.) y otro transpresivo. • La fase distensiva,

manifiesta durante el Paleógeno Tardío (Oligoceno). Cada fase se caracteriza por una geometría cinemática particular. Esta cronología relativa se describe a continuación.

ESTRUCTURAS	SIERRA DE ACATLÁN		ÁREA ORIZABA-ZONGOLICA			ELEMENTOS TECTÓNICOS
	Basamento	Cubierta sedimentaria	A	B	C	
*Fallas normales *Fracturación		{ N 115° N 130-145° N 160-170° }	{ N 130-160° N 30-40° N 120-150° }	{ N 20° N 50° N 130-140° }	{ N 135-140° }	Paleógeno final Deformación distensiva
*Sistemas conjugados fallas de desgarre *Fracturación *Esquistosidad de rocas dinamometamórficas *Cabalgamientos *Fallas inversas *Estructuras plegadas	{ N 80-85° N 115-130° } { N 125-130° N 140-150° N 165-180° }	{ N 125° N 140-150° N 175° }	{ N 35-55° N 100-110° } N 130-160° N 130-160°	{ N 35-55° N 100-120° }		Cretácico terminal-Paleoceno Deformación transpresiva
		{ N 140-150° N 140-150° N 140-150° }	{ N 120-150° N 120-150° N 120-150° }	{ N 140° N 140° N 140° }	{ N 135-140° N 135-140° N 135-140° }	Deformación compresiva
	N 165-170° ? N 165-180° ?					Jurásico inferior Medio Fase distensiva Apertura rift
*Fracturación *Esquistosidad	{ N 165-180° N 140-150° N 165-170° }					Herencia hercyniana

**Tabla 2.-** Síntesis de las direcciones de lineamientos y las estructuras tectónicas asociadas, obtenidas a partir del análisis de campo, de fotografías aéreas y de imágenes de satélite. **Tabla 2.-** Síntesis de las direcciones de lineamientos y las estructuras tectónicas asociadas, obtenidas a partir del análisis de campo, de fotografías aéreas y de imágenes de satélite.

**Apertura de la Cuenca y Estructuración Precedente al Pre-Jurásico Tardío**

Las estructuras tectónicas paleozoicas del basamento (la esquistosidad y foliación de direcciones N 165° a N 170°), así como la distribución paleogeográfica de las facies durante el Jurásico-Cretácico (según reportes internos de Pemex y Ortuño y Delfaud, 1989<sup>27</sup>), permiten pensar que la estructuración distensiva que controló la apertura de la cuenca de la región de Zongolica y Sierra Mazateca, correspondía a una dirección general norte-sur a N 170°. De esta manera, la cuenca, o surco central, tenía una orientación conforme a la dinámica de apertura de la rama meridional del Golfo de México (es decir, la prolongación hacia la Cuenca de Chiapas, en proceso de apertura rift en el Jurásico).

Parece evidente, por tanto, la hipótesis según la cual las estructuras antiguas paleozoicas fueron reactivadas, a excepción de ciertas variaciones locales, durante la apertura de la cuenca el área Zongolica-Huautla (Sierra Mazateca), y en el transcurso de sus fases cretácicas y terciarias. Las direcciones lineamentarias norte-sur a N 160° que caracterizan la estructuración actual serían, de este modo, la herencia de las direcciones preexistentes del basamento paleozoico y de las manifestadas por distensión tectónica, durante la apertura de la cuenca. La probable cinemática de apertura de la cuenca-rift se esquematiza en la Figura 16.

**Fase de Compresión Tectónica del Cretácico Tardío terminal Paleoceno**

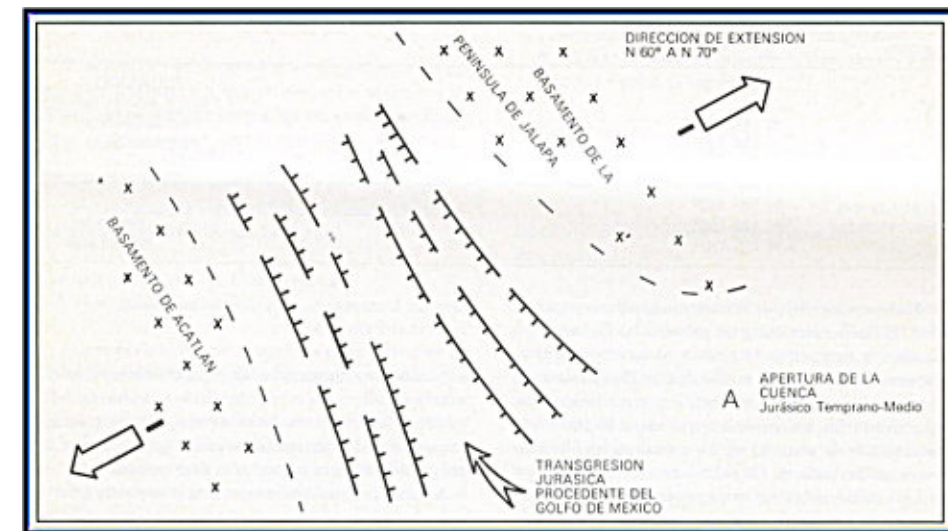
La fase de compresión tectónica, de edad Cretácico Tardío terminal-Paleoceno, marcó indeleble y profundamente la serie sedimentaria de la cuenca. Así, los grandes lineamientos y estructuras plegadas que la caracterizan, testifican esta importante fase compresiva. Y a partir del análisis lineamentario, se puede inferir la evolución tectónico-estructural siguiente: primeramente, un sistema de estructuras plegadas, cerradas y recostadas, que evolucionan después en grandes fallas inversas y cabalgamientos; finalmente, superpuesto a estas estructuras, un sistema de fallas de desplazamiento lateral de direcciones conjugadas. La evolución cinemática vería aparecer sucesivamente las estructuras plegadas, las fallas inversas, los cabalgamientos y, por último, el sistema conjugado de fallas de desplazamiento o desgarre lateral, así como el avance de las napas tectónicas hacia el este-noreste (es decir, el cabalgamiento de la Falla Mazateca).

Por otra parte, la Falla El Calvario se puede asimilar a la misma cinemática de fallas inversas y cabalgamientos tectónicos. La geometría cinemática de esta fase se muestra en la Figura 17. La dirección general de la compresión durante esta fase de deformación sería N 60-65°. La etapa paroxismal de la deformación compresiva (quizás un periodo de deformación transpresiva), sería la causa de la formación del sistema de fallas laterales y del conjunto de rocas dinamometamórficas del sector A. Esta fase es difícil de reconocer en el basamento paleozoico de Acatlán. Por otra parte, con base en el análisis, se puso de manifiesto que la porción septentrional del sector A presenta un acortamiento menos importante con relación a su porción meridional. Esta última es muy estrecha, y se caracteriza por una serie sedimentaria muy deformada e incluso la presencia de rocas cataclásticas y dinamometamórficas (Figuras 2 y 11). Estructuralmente, la porción septentrional se caracteriza por la presencia de pliegues menos cerrados y una deformación no tan severa. La observación de esta geometría proporciona una idea sobre la magnitud del acortamiento de la serie sedimentaria en el sector A (en particular en su porción meridional). La deformación tectónica que afecta a la serie sedimentaria de este sector, hizo aparecer los niveles estratigráficos jurásico neocomianos en la porción sur, además del complejo de rocas metamórficas, mientras que, en su porción septentrional, permanecieron en niveles más profundos en subsuelo.

Por último, es posible pensar que la deformación más intensa en la porción meridional de la cuenca sea la responsable de la formación de las entidades cataclástico-dinamometamórficas del sector A, del sistema de fallas conjugadas sobrepuesto (manifiesto en los sectores A y B), así como de la napa de cabalgamiento excepcional de la Sierra Mazateca (Figura 11 y carta geológica). El avance de esta napa tectónica podría estar en relación directa, o ser el producto de la fase paroxismal de la deformación compresiva (orogenia del Cretácico-Paleógeno en este sector).

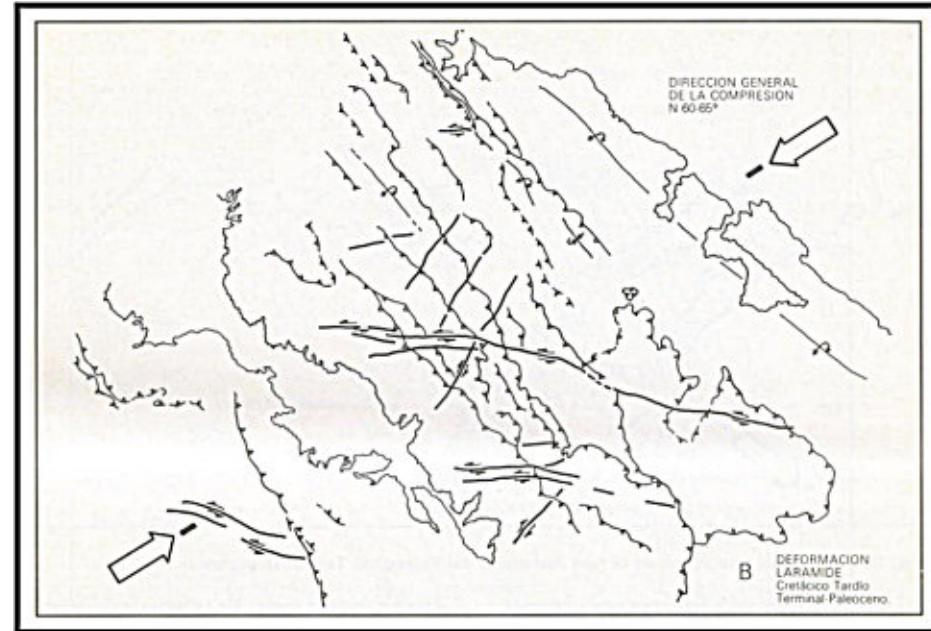
**Fase Tectónica Distensiva del Paleógeno Tardío.**

Esta fase originó el sistema de fallas normales que conforman o limitan el Valle cenozoico de Tehuacán. Esta tafrogénesis fue acompañada de una sedimentación siliceoclástica continental en el valle, durante el Eoceno Tardío-Oligoceno. Los sistemas de fallas normales son contemporáneos a los depósitos. Estas estructuras se desarrollaron, con algunas variaciones azimutales, sobre la traza de los accidentes de la fase compresiva del Cretácico-Paleoceno. Las fallas normales cortan, por tanto, las estructuras plegadas en la Sierra de Acatlán o la serie dinamometamórfica del sector A (Figuras 11 y 18).

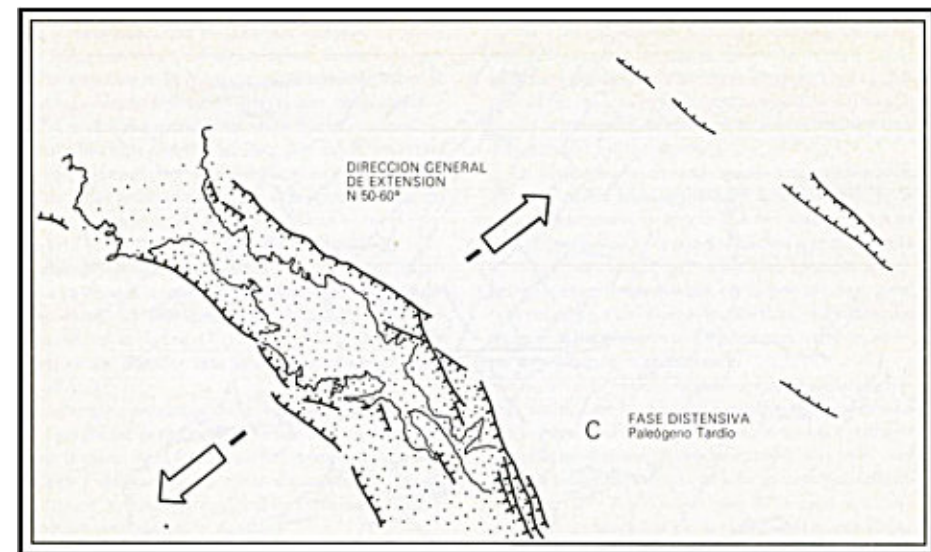


**Figura 16.-** contexto cinemático de la apertura de la cuenca mesozoica durante el Jurásico Temprano medio.

Esta fase tectónica distensiva se caracterizó por una actividad volcánica basalto-andesítica durante el Neógeno. Por otro lado, los sistemas de fallas normales del sector C (oriental) presentan las mismas direcciones que los del Valle de Tehuacán, sin embargo, los del sector C son más tardíos puesto que afectan los depósitos del Neógeno. A pesar de ello, la cinemática implicada podría ser sensiblemente la misma para el conjunto de la cuenca durante la fase distensiva. También, es probable que una permutación ligera en la dirección de esfuerzos distensivos se haya operado para dar lugar a una geometría más o menos heterogénea al valle. Los esfuerzos pudieron ser, por tanto, durante una primera etapa, en extensión perpendicular y, en una segunda, oblicuos a los bordes del valle (Figuras 11 y 18).



**Figura 17.-** Contexto cinemático de la fase de deformación compresiva durante el Cretácico (Mestrichtiano) – Paleoceno.



**Figura 18.-** Contexto tectónico distensivo de apertura de la cuenca cenozoica del área de Tehuacán durante el Paleógeno Tardío (Oligoceno).

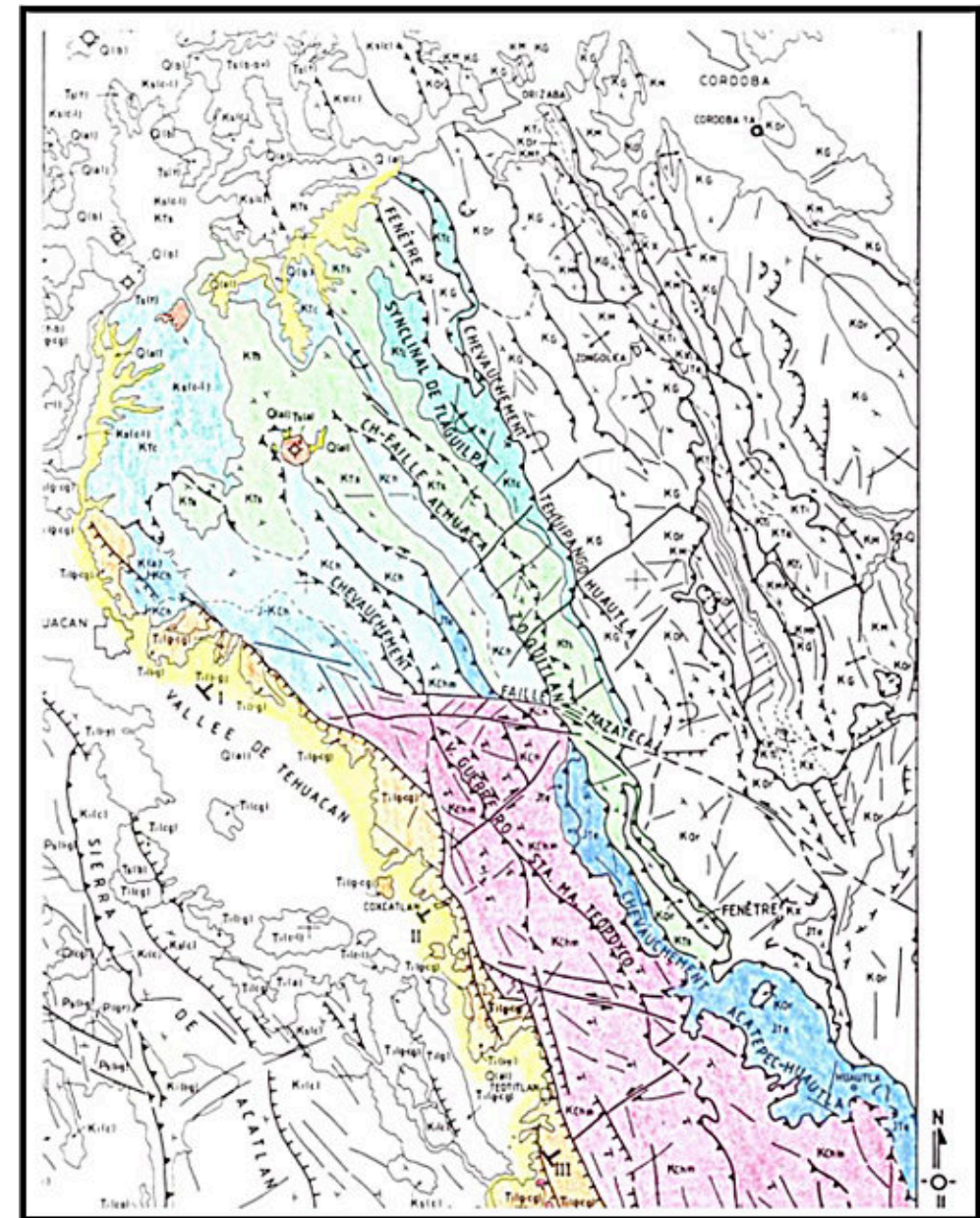
**SIGNIFICACION DE LAS ESTRUCTURAS LINEAMENTARIAS EN LA ESTRUCTURACION TECTÓNICA DE LAS SIERRAS DE ZONGOLICA, MAZATECA Y DE TEHUACÁN-CÓRDOBA**

El estudio de las imágenes de satélite, en paralelo con los datos fotogeológicos y de campo, permitió evidenciar y cartografiar la compleja estructuración de la serie mesozoica de la cuenca. Para la realización de esta cartografía, los datos cartográficos y bibliográficos preexistentes fueron determinantes.

La estructuración de la serie mesozoica presenta características particulares para cada sector de la cuenca, definiendo, además, para cada uno de ellos, un estilo estructural propio. Todo ello como producto de la zonificación de la acción del esfuerzo tectónico sobre la distribución del orógeno y sus particulares litoestratigrafías. Así, su acortamiento tectónico será diferente para cada uno de los sectores identificados. De manera sucinta se describen los caracteres estructurales por sector, en los siguientes párrafos.

**Sector A**

Su serie litoestratigráfica, de edad Titoniense Coniaciense, se encuentra muy deformada y, hacia su porción meridional, presenta características cataclástico-metamórficas. Las estructuras de deformación de la serie mesozoica son las estructuras plegadas, recostadas, las estructuras de esquistosidad, los complejos sistemas de fracturación, así como las diferentes discontinuidades tectónicas; éstas son las fallas inversas, los cabalgamientos, las fallas de desgarre lateral y las fallas normales (Figura 19 y secciones geológicas de las Figuras 20, 22 y 24). Las estructuras plegadas y recostadas caracterizan la porción noroeste del sector. Éstas se manifiestan sobre todo en la serie albiano-cenomaniana (Formaciones Tamaulipas Superior y Tecamalucan; cf. Figura 19). Un ejemplo de estas estructuras es el sinclinal de Tlanguilpa.



**Figura 19.-** Estructuras tectónicas del Sector A.

Hacia el sur del sector, las estructuras de deformación como la esquistosidad, las estructuras cataclásticas y dinamometamórficas (milonitas, s.l.), constituyen las estructuras predominantes. De esta manera, la porción meridional del sector A presenta, fundamentalmente, unidades dinamometamórficas. En lo referente a las discontinuidades tectónicas, el sector está marcado por una serie de accidentes de disposición subparalela, cuya dirección general es N 135°. Estas estructuras representan cabalgamientos de varias decenas de kilómetros de longitud y de vergencia general

hacia el noreste. La mayor parte de estos cabalgamientos tienen enraizamientos axiales en sus extremidades noroccidentales, modificándose después, en estructuras plegadas y recostadas. Los cabalgamientos principales son las fallas Alhuaca-Zoquitlán, Acatepec-Huautla y Vicente Guerrero-Santa María Teopoxco. Otras estructuras fundamentales en el sector son las fallas de desplazamiento lateral de direcciones conjugadas, que se superponen al sistema de fallas inversas y cabalgamientos. Entre las fallas de desgarre lateral, la más importante es el lineamiento denominado Falla Mazateca, el cual atraviesa las fronteras orientales del sector A (Figura 19).

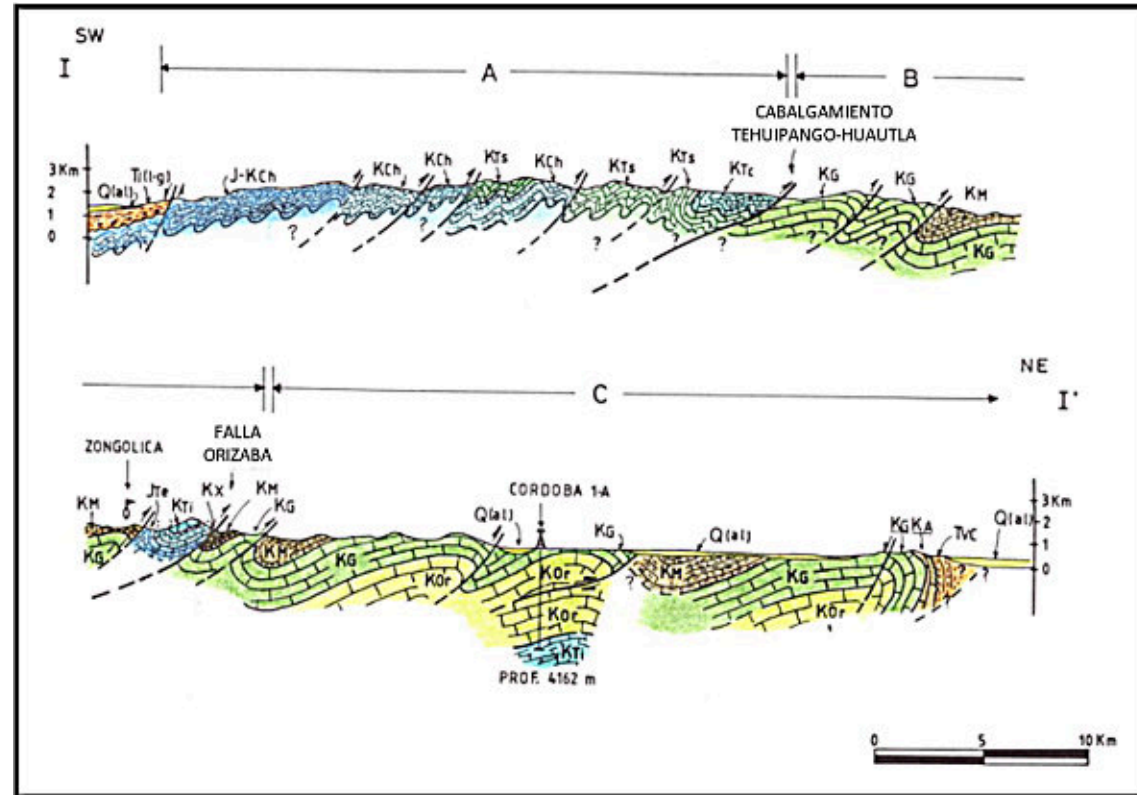


Figura 20.- Sección geológica general I-I'; a partir del caminamiento sobre el terreno, en los tres sectores de la Sierra de Zongolica.

Otro lineamiento significativo es el que constituye el límite oriental del sector A, éste es el cabalgamiento Tehuipango-Huautla, el cual tiene una longitud de más de 100 km, de dirección general N 135° y vergencia al noreste (Figura 19). La Falla Tehuipango-Huautla pone en contacto la serie del sector A (alóctono), con la del B (autóctono). Estas dos entidades litotectónicas pertenecen a dominios paleogeográficos diferentes; la reconstitución de la continuidad cronoestratigráfica entre alóctono y autóctono, no es posible. El accidente correspondería, por lo tanto, a un "charrriage", (o cabalgamiento tectónico de gran amplitud, de una decena a centena de kilómetros, aproximadamente), cuyo frente de erosión materializa la Falla Tehuipango-Huautla (Figura 19). La serie sedimentaria del sector A aparece así, como una entidad litotectónica que cabalga sobre la serie sedimentaria del sector B central.

Por otro lado, detrás del frente de erosión del "charrriage" se forman dos ventanas tectónicas: al norte la de Ciudad Mendoza, donde el autoctóno corresponde a la serie de la Formación Guzmantla del sector B; y en el sur la de Zoquitlán-Coyomeapan, donde el autóctono corresponde a la serie carbonatada de plataforma interna de la Formación Orizaba (sector B); y el alóctono, a la serie de la Formación Tamaulipas Superior (sector A; cf. Figura 19 y carta geológica). Otras estructuras de disyunción son las fallas normales, que se presentan en la porción occidental del sector y cortan o afectan sobre todo la serie dinamo-metamórfica. El sistema de fallas normales forma el borde oriental del Valle de Tehuacán. Por tanto, en síntesis, la estructuración del sector es el resultado de la fase de deformación del Cretácico Tardío terminal-Paleógeno: en su porción septentrional, la serie sedimentaria plegada y en la porción meridional, la serie siliceoclástico-dinamometamórfica. Esta última franja o serie sedimentaria es la más estrecha y afectada por la deformación tectónica actuante sobre este sector; donde también la deformación tectónica fue más intensa; incluso, con la generación de deformación cataclástica quizá ocurrida en niveles estructurales más profundos.

**Sector B**

La franja o parte central de la cuenca, o sector B, se caracteriza por la presencia de varias estructuras plegadas, a menudo recostadas, de fallas inversas y cabalgamientos. Las estructuras, ya sean de plegamiento o de disyunción, se orientan de forma subparalela (dirección general N 150°) y presentan vergencia hacia el noreste. Esta estructuración marca la serie del Titoniense-Maestrichtiense (Figura 21 y secciones geológicas de las Figuras 20, 22 y 24).

Las estructuras de plegamiento más importantes son el Anticlinal de Atlahuilco, de Zongolica y el de Atexcatitla. Éstas son anticlinas recostadas que se terminan a menudo en pliegues-falla. Las fallas inversas afectan la serie sedimentaria y caracterizan sobre todo la parte septentrional del sector central. Las principales son las fallas de Tepexilotla-Temaxcalpa, Texhuacán-Tequila y Chicomuselo (Figura 21). Por otra parte, la Falla Orizaba, frontera entre los sectores B y C, constituye un cabalgamiento importante cuya longitud sobrepasa los 50 km.

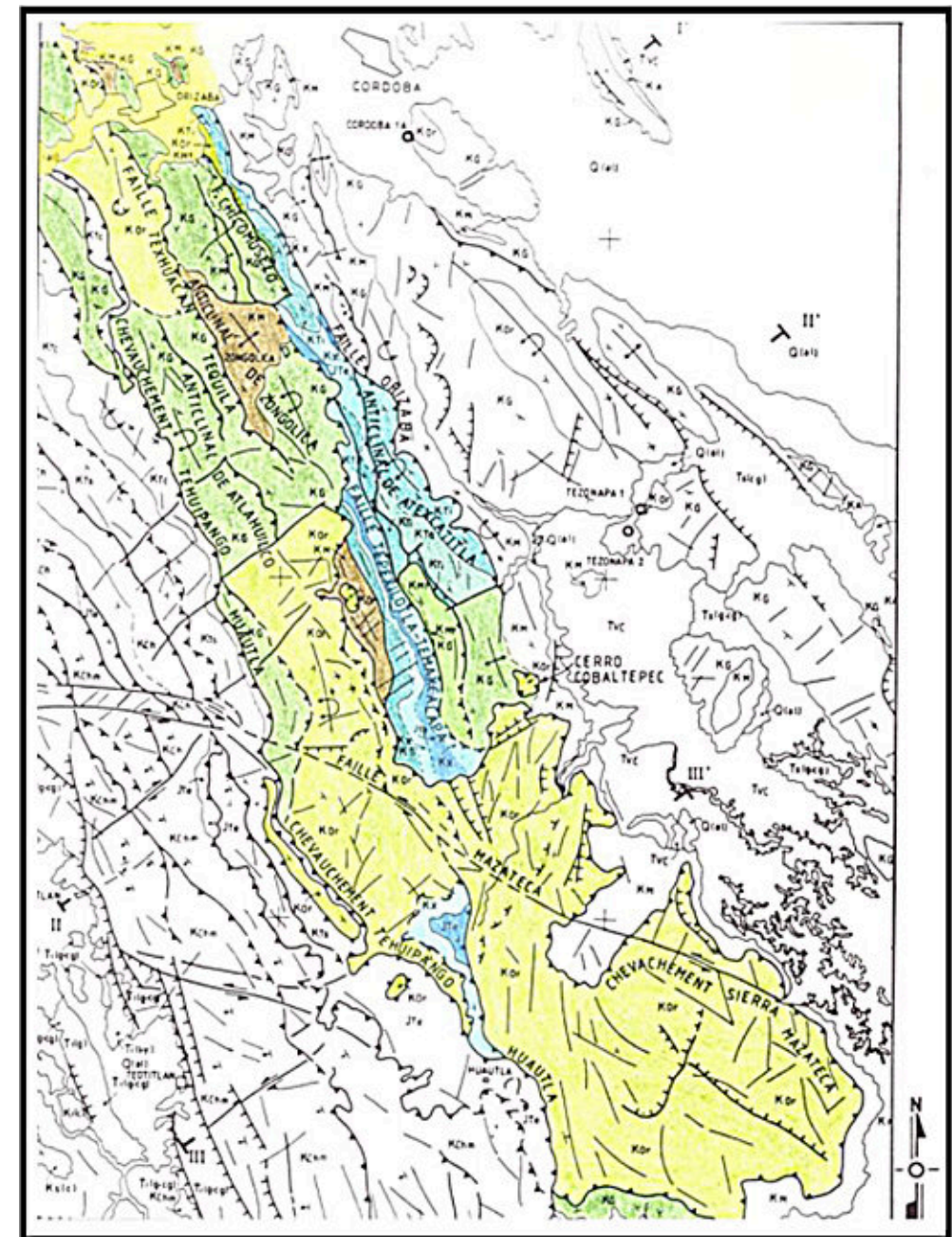


Figura 21.- Estructuras tectónicas que caracterizan al Sector B.



Otra estructura tectónica importante del sector es la *napa* tectónica de cabalgamiento de la Sierra Mazateca, constituida por la serie carbonatada del Albiense-Cenomaniense. Este cabalgamiento constituye un alóctono de dimensiones kilométricas y sobreyace, tectónicamente, a la serie sedimentaria del sector C. Finalmente, la *napa* tectónica de la Sierra Mazateca es atravesada por el lineamiento de la falla de desgarre lateral del mismo nombre. Otros accidentes menores se sitúan al interior de la *napa*, sobre todo fallas inversas y cabalgamientos, fallas normales, así como ciertos "klippes" tectónicos (v. gr. Cerro Cobaltepec).

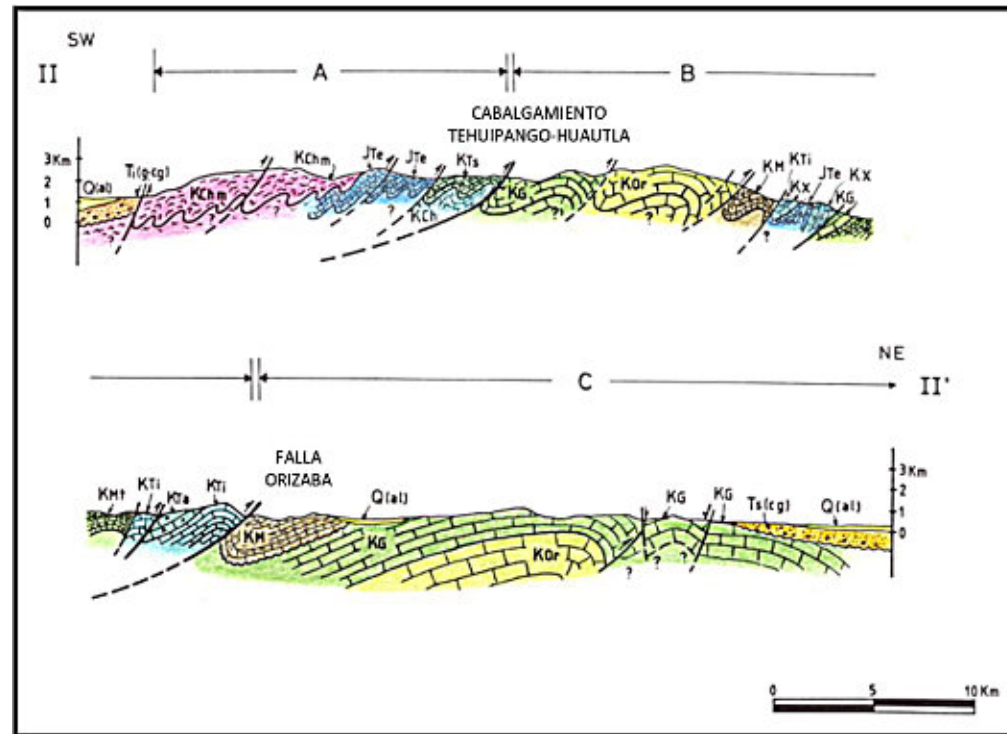


Figura 22.- Sección geológica II – II', elaborada a partir del caminamiento geológico sobre el terreno, atravesando los tres sectores de la sierra (A, B y C). Las secciones geológicas se construyeron solo a partir de datos de campo e interpretación de la imagen satelital.

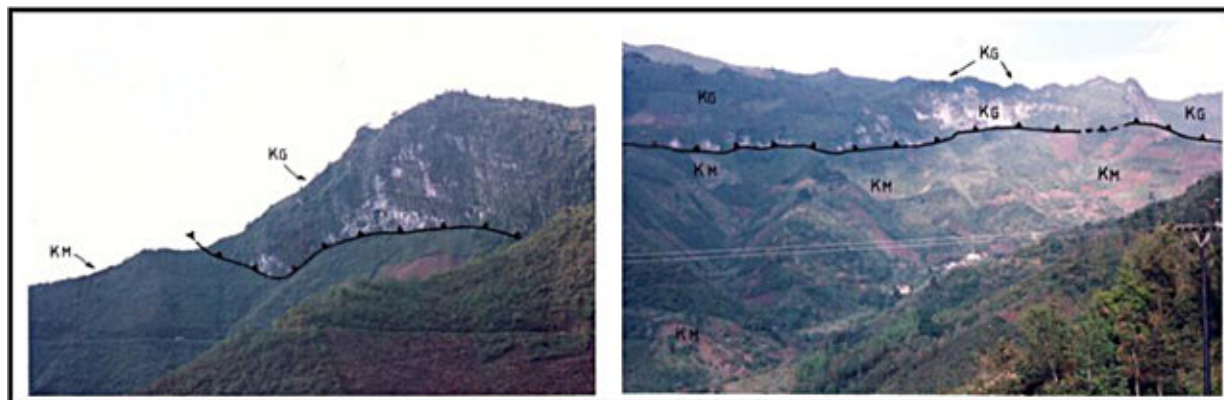


Figura 23.- Panorama de la Sierra de Zongolica; vista hacia el SO. La fotografía de la izquierda muestra el cabalgamiento tectónico Tequila-Teihuacan. La serie carbonatada de la Formación Guzmantla KG (Coniaciano-Santoniano), cabalga las series flysch de la Formación Méndez KM (Maestrichtiano). La fotografía de la derecha corresponde al panorama de la falla Tequila. La serie carbonatada de la Formación Orizaba KOR, cabalga las series sedimentarias de la Formación Méndez.

### Sector C

En este sector la deformación es menos intensa. Así, las estructuras de deformación corresponden a anticlinales recostados, fallas inversas y fallas normales (Figura 24 y secciones geológicas de las Figuras 20, 22 y 25). Las estructuras plegadas más importantes son el Anticlinal de la Sierra Tlacuiloltécatl, el de la Sierra de Acatlán, Veracruz., y los de la Presa Miguel Alemán. Estos anticlinales se terminan a menudo por pliegues-falla y sus planos se inclinan hacia el suroeste. Las

fallas inversas se manifiestan principalmente en subsuelo y ponen en contacto las diferentes series carbonatadas de plataforma interna del sector (pertenecientes al mismo dominio paleogeográfico). Finalmente, las fallas normales del sector, afectan la serie carbonatada en una dirección noroeste-sureste. Estas dibujan los límites de la estructura mesozoica que se profundiza bajo la serie sedimentaria cenozoica de la planicie costera del Golfo de México. En la Figura 23, es posible apreciar las ingentes cabalgaduras tectónicas materializadas por las rocas carbonatadas de las Formaciones Guzmantla y Orizaba (Coniaciano-Santoniano y Albiano-Cenomaniense, respectivamente) sobre las series flysch de la Formación Méndez del Cretácico terminal.; ubicadas en los límites entre el sector B y el sector C.

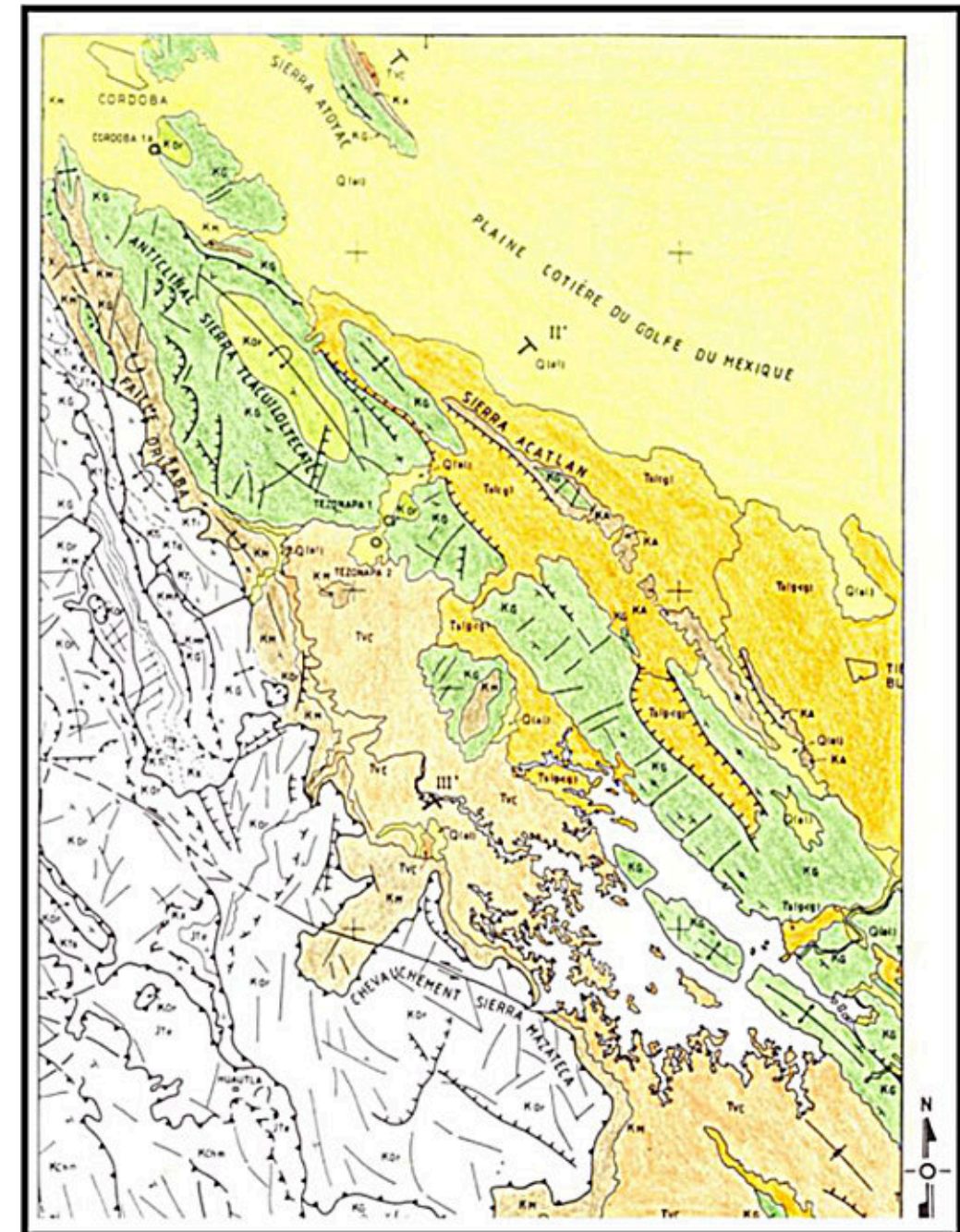


Figura 24.- Estructuras tectónicas caracterizando el Sector C. En este sector se encuentra representada la serie litoestratigráfica de la unidad paleogeográfica denominada Plataforma de Córdoba, desarrollada durante en Albiense-Senoniense; y cuya extensión se prolonga hacia el subsuelo, bajo las series sedimentarias del Paleógeno y Neógeno. Esta prolongación de la plataforma carbonatada constituye el sistema petrolero del Frente Tectónico Sepultado en la Cuenca de Veracruz.

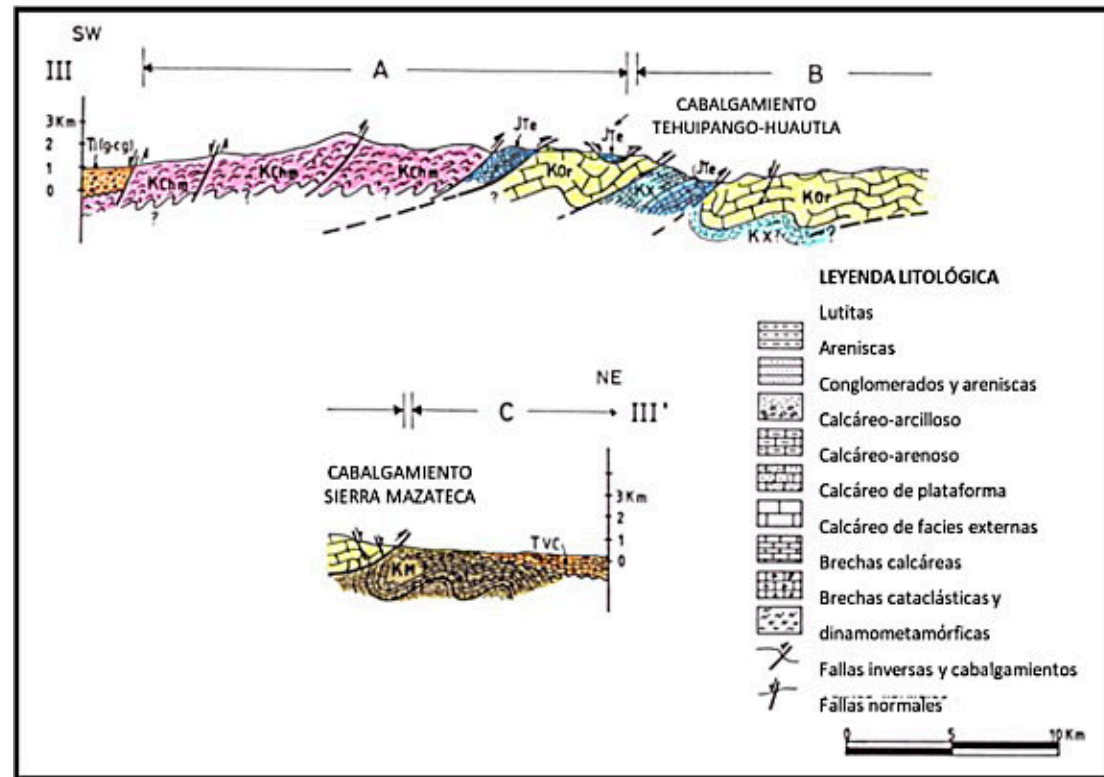


Figura 25.- Sección geológica III – III'. La leyenda litológica es aplicable a las secciones geológicas anteriores de los tres sectores.

Con el análisis de las cartas de los tres sectores A, B y C, así como de las secciones geológicas presentadas, se concluye la discusión de los efectos tectónicos en los estilos estructurales que caracterizan a esta región de la Sierra Madre Oriental, diferenciada localmente como las sierras de Zongolica, Tlacuiloltecatl y Mazateca.

## CONCLUSIONES

Para este estudio, se contó con cuatro tipos de información: las fotografías aéreas, las imágenes LANDSAT MSS, los datos de campo, así como las cartas geológicas preexistentes. A partir de estos datos se realizó la interpretación de alineamientos en dos niveles: fotogeológico y teleanalítico. El primero permitió efectuar un análisis de detalle de los elementos estructurales, así como de la distribución de las unidades litoestratigráficas. El segundo nivel proporciona una visión de conjunto, sintética, de la estructuración lineamentaria. La identificación de los alineamientos hacia los diferentes elementos estructurales (lineamientos, fallas, cabalgamientos y sistemas de fracturación), ha sido realizada de acuerdo a los datos de campo y, en particular, los de la cronoestratigrafía de las series sedimentarias aportados por los diversos estudios realizados anteriormente.

La metodología adoptada permite proponer una carta estructural teleanalítica y un modelo cinemático de la evolución tectónico-estructural de la cuenca. El modelo propone tres fases mayores de deformación tectónica, las cuales han sido situadas cronológicamente. También, a partir de los datos, se propone una carta geológica de la región de Tehuacán, Orizaba, Zongolica y Córdoba. Así, la metodología teleanalítica adoptada mostró ser apropiada para el estudio sintético-regional de la cuenca. En el futuro, este enfoque metodológico podrá ser complementado con mejores medios de la Teledetección aeroespacial, cronoestratigráficos, por análisis estructurales, tectónicos y de microtectónica de detalle.

## RECONOCIMIENTOS

Deseamos hacer patente nuestro agradecimiento al *Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale*, por la cesión de los datos de LANDSAT MSS utilizados. De la misma manera, expresamos nuestro reconocimiento al *Laboratoire de Géologie, Service de Télédétection de la Société Nationale Elf-Aquitaine (Production), de Pau*, Francia, por las facilidades y el apoyo otorgados para la realización de este estudio geológico integral.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Becerra, A. H.: "Estudio Bioestratigráfico del Mesozoico del Área de Coyomeapan"; Instituto Mexicano del Petróleo, Proyecto C-1061, Informe Interno Inédito (1980).
- Bonet, M. F.: "Microfacies Cretácicas de la Región de Córdoba-Orizaba"; Instituto Mexicano del Petróleo, Subdirección de Tecnología de Exploración, Seminario sobre la Exploración Petrolera, Mesa Redonda núm. 4, 24 pp. (1969).
- Böse, E.: "Geología de los Alrededores de Orizaba, con un Perfil de la Vertiente Oriental de la Mesa Central de México"; Bol. 13, Instituto Geológico de México, 52 pp. (1899).
- Burckhardt, C.: "Etude Synthétique Sur le Mésozoïque Mexicain"; Soc. Paleont. Suisse Mem., vol. 49 et 50, 280 pp., 11 tab. y 32 figs. (1930).
- Carrasco, V. B.: "Estratigrafía de unas Lavas Almohadillas y Rocas Sedimentarias del Cretácico Inferior en Tehuacán, Pue."; Nota Técnica, Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, vol. X, núm. 3, pp. 78-82 (1978).
- Carrasco, V. B.; Flores, V. y Godoy, D.: "Tobas del Cretácico Inferior del Área de Fortín-Zongolica, Edo. de Ver."; Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, vol. VII, núm. 4, pp. 7-27 (1975).
- Castro, M. J. T.; Ruiz, P. y De la Torre, G.: "Estudio Estratigráfico del Mesozoico del Área de Córdoba, Ver.; Parte II, Estratigrafía del Subsuelo"; Instituto Mexicano del Petróleo, Subdirección de Tecnología de Exploración, Informe Técnico Inédito, 82 pp. (1972).
- Cervelle, B. et Chorowicz, J.: "La Télédétection des Ressources Minérales"; La Recherche, núm. 174, vol. 17, pP. 152-162, 6 figs. (1986).
- Charleston, S.: "Prospecto Río Santo Domingo, Oax.", Pemex. I. G. Z. P. R. 160, Reporte Interno Inédito (1978).
- Flores, J. V. R.: "Estudio Estratigráfico del Jurásico Superior en la Sierra Madre Oriental, entre Teotitlán, Oax., y Zongolica, Ver."; I. G. P. R. 60, Pemex, Reporte Interno Inédito (1969).
- Flores, J. V. R.: "Estudio Estratigráfico del Jurásico Superior en la Sierra Madre Oriental, entre Teotitlán, Oax., y Zongolica, Ver."; I. G. P. R. 66, Pemex, Reporte Interno Inédito (1970).
- Godoy, D.: "Prospecto Huautla-Coyomeapan"; Pemex, Reporte Interno Inédito (1971).
- Godoy, D.: "Prospecto Valle Nacional-Río Cajones, Oax.-Ver."; I. G. Z. P. R. 121, Pemex, Reporte Interno Inédito (1973).
- Godoy, D.: "Prospecto Río Manso-La Trinidad, Oax."; I. G. Z. P. R. 128, Pemex, Reporte Interno Inédito (1975).
- Hobbs, W. H.: "Lineament of the Atlantic Border Region", Bull. Geol. Soc. Amer., vol. 15 (1904).
- Holguin, Q. N. R.: "Estudio Geoquímico de Hidrocarburos y Rocas de la Cuenca Terciaria de Veracruz y Plataforma Mesozoica de Córdoba"; Instituto Mexicano del Petróleo, Subdirección de Tecnología de Exploración, Informe Técnico Inédito C-1091, 54 pp. (1981).
- Lin, H. L.: "Prospecto Chichahuaxtla"; Pemex, Reporte Interno Inédito (1979).
- López, R. J. M.: "Geología a lo largo de la Carretera Cristóbal Colón entre Oaxaca, Oax. y México, D. F."; Excursión C-15B, XX Congr. Geol. Int. (1956).
- Martínez, E. R. y Gallo, I. P.: "Estratigrafía de las Rocas del Cretácico Superior del Prospecto Mulato Betania, Área Córdoba-Tuxtepec"; Instituto Mexicano del Petróleo, Subdirección de Tecnología de Exploración, Proyecto C-1062, Inédito (1979).
- Martínez, R.: "La Cartographie des Bassins Pétroliers par Traitement Numérique d'Image: Exemple du Bassin de Chihuahua (Mexique)"; These Doctorat en Sciences, Université de Nice, Sophia Antipolis, 408 pp., (1989).
- Mena, R. E.: "Reporte Técnico Interno"; Pemex, México (inédito) (1957).

22. Mena, R. E.: "El Jurásico Marino de la Región de Córdoba"; Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol., vol. 12, no. 7 y 8, pp. 243-252 (1960).
23. Mena, R. E.: "Geología y Posibilidades Petrolíferas del Jurásico Marino en la Región de Córdoba, Ver."; Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol., vol. 14, no. 3 y 4, pp. 77-84 (1962).
24. Menes, S. L.: "Estudio Sedimentológico del Jurásico Superior, Área Fortín-Jalapa-Zongolica"; Pemex, Reporte Interno Inédito, (1977).
25. Menes, S. L.: "Estudio Estratigráfico Sedimentológico del Cretácico Medio y Superior del Prospecto Tezonapa"; Pemex, Reporte Interno Inédito (1980).
26. Ortega, F. G.: "Estratigrafía del Complejo Acatlán en la Mixteca Baja, Estados de Puebla y Oaxaca"; Universidad Nacional Autónoma de México., Revista Instituto de Geología, vol. II, núm. 2 pp. 112-131 (1978).
27. Ortuño, A. S. et Delfaud, J.: "La Sédimentation Mésozoïque dans le Bassin de Zongolica (Mexique Central)"; Colloque A. S. F., Paris, France (1989).
28. Ortuño, A. S.: "Contribution de la Sédimentologie et la Télédétection a la Reconstitution de l'évolution du Bassin de Zongolica (Mexique Centro-oriental). Place dans la Dynamique du Couple Golfe du Mexique/Système Cordillerain"; Thèse Doctorat en Sciences, Université de Pau et des Pays de l'Adour, France, 289 pp. (1991).
29. Ortuño, A. S., Xavier, J. P. y Delfaud, J.: "Análisis Tectónico-Estructural de la Cuenca de Zongolica a Partir de Imágenes de Satélite Landsat MSS", Revista del Instituto Mexicano del Petróleo. Vol. XXIV, no. 1, enero-marzo, (1992).
30. Pacheco, C. G. y Ortiz, A. U.: "Estudio Tectónico-Estructural de Tehuacán-Córdoba"; Instituto Mexicano del Petróleo, Subdirección de Tecnología de Exploración, Proyecto C-1161, Inédito (1983).
31. Pimentel, A.: "Prospecto Coyomeapan"; I. G. Z. P. R. 141, Pemex, Reporte Interno Inédito (1976).
32. Quinteros, C. J. R.: "Estudio Geológico de Actualización del Prospecto Teotitlán", Pemex., Reporte Interno Inédito (1984).
33. Rodríguez-Torres, R.: "Geología Metamórfica del Área de Acatlán, Estado de Puebla"; Soc. Geol. Mex. Libro Guía de la Excursión a Oaxaca, México, pp. 51-54 (1970).
34. Tarango, G.: "Estudio Geológico de Detalle Estratigráfico de las Formaciones del Cretácico Medio y Superior que afloran en el Área de Córdoba, Ver."; I. G. Z. P. R. 88, Pemex, Reporte Interno Inédito (1971).
35. Tarango, G.: "Estudio Geológico de Detalle Estratigráfico del Prospecto Tecamachalco"; Pemex, Reporte Interno Inédito, (1973).
36. Toriz, J. G.: "Estudio Geológico de Detalle Estructural del Prospecto Nogales"; Pemex, Reporte Interno Inédito (1982).
37. Toriz, J. G.: "Prospecto Tehuipango"; I. G. Z. P. R. 228, Pemex, Reporte Interno Inédito (1983).
38. Toriz, J. G.: "Estudio Geológico de Actualización del Prospecto Chapulco-Atzompa"; Pemex, Reporte Interno Inédito (1984).
39. Vázquez, E. A.: "Estudio Geológico del Prospecto Calipa", I. G. Z. P. R. 148, Pemex, Reporte Interno Inédito (1977).
40. Viniestra, O. F.: "Geología del Macizo de Teziutlán y de la Cuenca Cenozoica de Veracruz"; Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol, vol. 17, nos. 7-12, pp. 101-163 (1965).
41. Viniestra, O. F. y Olivares M. R.: "Notas sobre la Geología de la Cuenca de Veracruz"; Pemex, Reporte Interno Inédito (1956).
42. Yu, Z.: "Reconnaissance Automatique des Formes Appliquée a la Géologie Structurale"; These Doctorat en Sciences, Université de Nice et E. N. S. P. M., 210 pp. (1987).

43. Zozaya, R. S.: "Estudio Geológico de Detalle Estructural del Prospecto Cosolapa-Acatlán"; Pemex, Reporte Interno Inédito, (1981).
44. Zozaya, R. S.: "Estudio Geológico de Detalle Estructural del Prospecto La Quebradora"; Pemex, Informe Interno Inédito, (1982).



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

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

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

# 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.

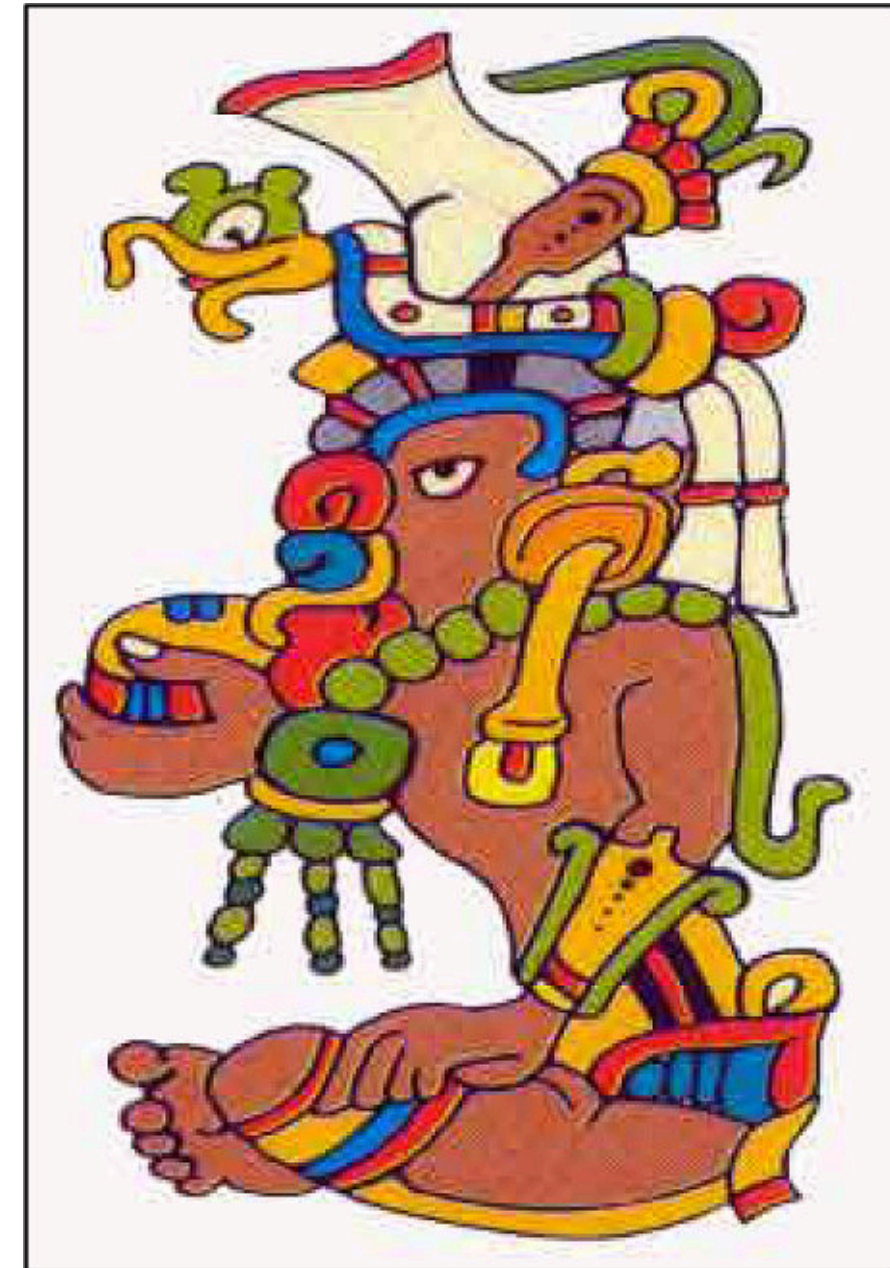
Por favor envíen sus observaciones, comentarios y sugerencias a cualquiera de los Editores de la Revista Maya de Geociencias.

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.

# Fort Worth, Texas, Museo de Ciencia e Historia

**Haz click en la imagen**



## La casa del GPS

<https://spaceplace.nasa.gov/gps/en/>

<https://www.gps.gov/applications/marine/>

<https://education.nationalgeographic.org/resource/gps/>

<https://trakkitgps.com/how-gps-works/>

<https://novatel.com/support/knowledge-and-learning/what-is-gps-gnss>

<https://www.scienceabc.com/innovation/how-gps-global-positioning-system-works-satellite-smartphone.html>

[https://www.youtube.com/watch?v=FU\\_pY2sTwTA](https://www.youtube.com/watch?v=FU_pY2sTwTA)

<https://www.youtube.com/watch?v=mX0BxKunW-c>

<https://www.youtube.com/watch?v=8tL-UBNsCv8>

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



[https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fhikinggpszone.com%2Fwhat-is-gps-waypoints-a-guide-on-how-gps-works%2F&psig=AOvVaw223XtlyIP\\_9wwE2GqCARNu&ust=1675621149614000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjRxqFwoTCLDv66y9\\_PwCFQAAAAAdAAAAABAQ](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fhikinggpszone.com%2Fwhat-is-gps-waypoints-a-guide-on-how-gps-works%2F&psig=AOvVaw223XtlyIP_9wwE2GqCARNu&ust=1675621149614000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjRxqFwoTCLDv66y9_PwCFQAAAAAdAAAAABAQ)

El Instituto Politécnico Nacional a través de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Ciencias de la Tierra, invita a la

# MAESTRÍA EN GEOCIENCIAS Y ADMINISTRACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

## LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

- Geología Petrolera
- Geología Minera
- Riesgo Geológico
- Administración de Hidrocarburos
- Administración de Energía

## FECHAS IMPORTANTES

- Registro: 1 al 4 de junio 2023
- Examen: 9 de junio 2023
- Inicio de clases: 28 de agosto 2023

# Inscripciones Abiertas

INFORMES



[esiatic.ipn.mx/posgrado](http://esiatic.ipn.mx/posgrado)



[esiatic\\_posgrado@ipn.mx](mailto:esiatic_posgrado@ipn.mx)



## SIMPOSIO ESIA CIENCIAS DE LA TIERRA

La Organización Politécnica Estudiantil de Geociencias (OPEG) hace la más cordial invitación a la Comunidad Estudiantil y Docente de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura (ESIA) Unidad Ticomán, y a su público general nacional e internacional, a su próximo magno evento, el "5<sup>to</sup> Quinto Simposium en Ciencias de la Tierra: ¡Hacia una visión integral en las Ciencias de la Tierra 🌍! Del 22 al 26 de Mayo ¡No faltes !



Instituto Politécnico Nacional  
Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura  
Unidad Ticomán "Ciencias de la Tierra"



**Del 22 al 26**  
**mayo 2023**

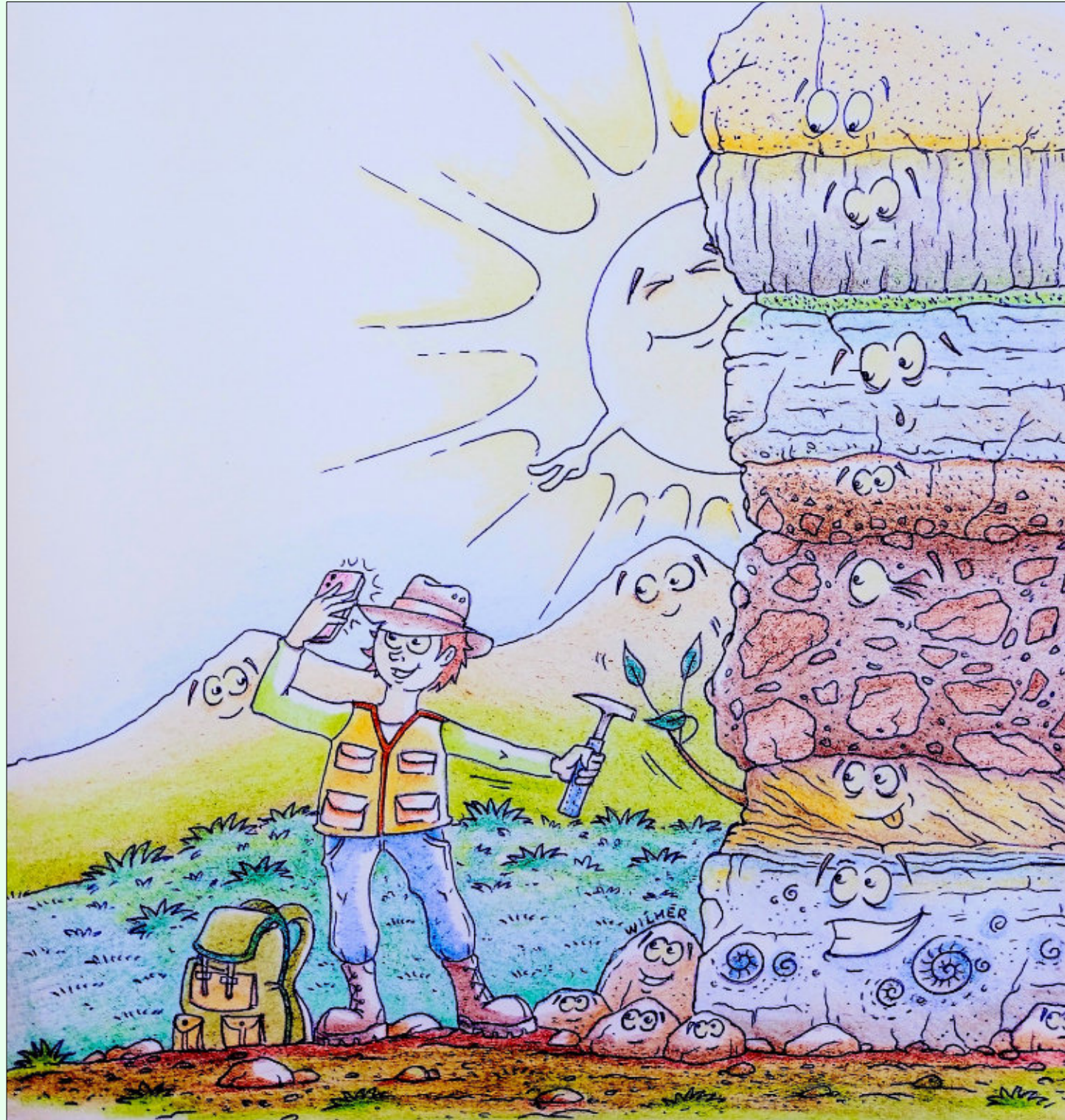
**5<sup>to</sup>**  
**Simposium**  
EN CIENCIAS DE LA TIERRA

“Hacia una visión integral en las Ciencias de la Tierra”

📍 ESIA TICOMAN

**Organización Politécnica Estudiantil de Geociencias (OPEG)**

## CONCURSO DE FOTOGRAFÍA GEOLÓGICA 2023



Por Wilmer Pérez Gil ([wilmerperezgil5@gmail.com](mailto:wilmerperezgil5@gmail.com))

## CONCURSO DE FOTOGRAFÍA GEOLÓGICA 2023

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

### BASES:

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

### PREMIOS:

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

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

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

# GEOLOGICAL PHOTOGRAPHY CONTEST 2023

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

## RULES:

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

## PRIZES:

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

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

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

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

\* Prizes and associated expenses will be provided by the Corporación

**GeoLatinas** involucra a las y los científicos 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 en nuestro canal de YouTube.:** <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](#).

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

geolatinasinsto  
@geolatinas\_por\_mexico  
eGeoLatinas





Transmisión

**LIVE**

El Comité de Educación y Divulgación de GeoLatinas presenta:

# GeoSeminarios

Abril 2023

**19 de Abril**

**Dra. María del Pilar Ortega L.**  
Investigadora de Restauración de Suelos y Geobiología  
Universidad Nacional Autónoma de México

GeoSeminario:  
Restauración del Geopatrimonio en el campus de la Ciudad Universitaria de la UNAM: el caso del Geopedregal



**26 de Abril**

**Candidata de Dra. Dulce María Rosas**  
Profesora y Asesora de Desarrollo Rural  
Tecnológico Nacional de México

GeoSeminario:  
Las ciencias de la Tierra en la conservación de los bosques y el agua



**28 de Abril**

**M.C. Alejandra Lara A.**  
Docente y consultora de Urbanismo  
Universidad Nacional Autónoma de México

GeoSeminario-tesis:  
Participación ciudadana de las mujeres con discapacidad en el espacio público de la CDMX



**24 de Mayo**

**Dra. Alejandra Iboya Domic R.**  
Asistente de Investigación de Profesor  
Universidad Estatal de Pennsylvania

GeoSeminario:  
Precipitation variability, vegetation turnover, and anthropogenic disturbance over the last millennium in the Atacama highlands of northern Chile (19°S)



Escanéame o da click!

[in](#) [f](#) [t](#) [i](#) @GeoLatinas



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



**2023**

# MED - GEO

MÉXICO

10th International Conference on Medical Geology

**MONTERREY, NL. MEXICO**  
August 6-9 th

Visit us at:  
**medgeomx.com**




# Día de la Tierra - Earth Day



<https://www.un.org/es/observances/earth-day>



# Caverna del arte

## DONDE PONGO EL OJO, PONGO...

(Autora: Soco Uribe)

Habíamos decidido hacer ese viaje, sin importar las consecuencias. Imaginábamos que dicha montaña sería el lugar donde, con mayor certeza, capturaríamos a nuestra presa; sin embargo, debido al riesgo, tendríamos que equiparnos muy bien para llegar hasta ella y dar en el blanco. Aunque, lo más importante y lo más difícil sería poder hacerlo de un solo disparo. Nuestra ambición por tenerla era desmedida. También, sabíamos que no sería una presa fácil ya que permanecía en constante custodia.

Por largo tiempo, estudiamos el momento y el lugar más adecuado para tomarla por sorpresa; cuando el Sol se estuviera ocultando pero que, al mismo tiempo, aún hubiese un poco de luz para evitar equivocaciones. Además, sería mejor encontrarla sola, sin testigos. Era lo más conveniente para nosotros, pues así evitaríamos que alguno de ellos pudiese truncar nuestros planes.

Esa mañana, estuvimos preparando nuestras mejores herramientas, con mirillas de gran alcance que previamente habíamos limpiado y dejado impecablemente calibradas. Tomamos nuestras mochilas, armas y víveres, pues no sabíamos si en un solo día alcanzaríamos nuestra meta.

Iniciamos nuestra gran travesía. Caminamos durante un par de horas, entre pinos, álamos, arces y arbustos con flores coloridas, tan sólo para llegar a la base de la montaña donde supuestamente, en su cima, encontraríamos a nuestra presa.

En seguida, comenzamos a subir esa pendiente llena de color. Posteriormente, la excitación se hacía cada vez mayor y aunque deseábamos apurar nuestro paso, era imposible. El tiempo que llevábamos caminando cuesta arriba, minaba nuestras fuerzas y no era para menos. Mientras más ascendíamos, acercándonos a la parte más alta de la montaña, el bosque se hacía más espeso dificultándonos el camino.

Mientras tanto, recordábamos la macabra historia de nuestra presa quien había escapado a un previo ataque de cazadores furtivos. Aunque, a decir verdad, nosotros éramos parecidos a ellos. La diferencia estribaba en que nosotros queríamos inmortalizarla mediante métodos diferentes.

Por fin, la divisamos, estábamos tan cerca de ella que no era necesario colocar los cañones de largo alcance. Estaba sola, completamente sola. De pronto, nos encontramos a un par de metros de distancia y... ¡disparamos!

Por fortuna, en ese preciso instante volteó hacia nosotros, mostrándonos el lado diestro de su cabeza. ¡Ese era nuestro gran objetivo y dimos en el blanco!

De inmediato, un guardabosques nos tomó del brazo y dijo:  
-¡Me alegra que estén enterados de que se prohíbe sacar fotos con flash! Saben, esta águila ha sufrido mucho, perdió el ojo izquierdo por un disparo con rifle de largo alcance que le propinaron unos cazadores clandestinos. Gracias a nuestros cuidados, aún sigue viva.

**LA VIDA.**

**La vida es como deshojar una margarita.  
Un continuo... ¿me quiere, no me quiere?**



**Fotografía de Soco Uribe.**



**Soco Uribe**

Mexicana, geóloga de profesión, egresada de la UNAM, quien desde hace más de veinte años escribe por placer para dar, a sus lectores, libre acceso a la acústica de su corazón. Pretende propagar el sonido de sus letras y, de esta forma, hacer emerger los sentimientos más profundos del lector y hacerlo vibrar.

**Fotografías de Luis Haghenbeck.**





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

## Torres del Paine, National Park, Chile.

**Torres del Paine National Park** (Spanish: Parque Nacional Torres del Paine)[3] is a national park encompassing mountains, glaciers, lakes, and rivers in southern Chilean Patagonia. The Cordillera del Paine is the centerpiece of the park. It lies in a transition area between the Magellanic subpolar forests and the Patagonian Steppes. The park is located 112 km (70 mi) north of Puerto Natales and 312 km (194 mi) north of Punta Arenas. The park borders Bernardo O'Higgins National Park to the west and the Los Glaciares National Park to the north in Argentine territory. Paine means "blue" in the native Tehuelche (Aonikenk) language and is pronounced PIE-neh, while Torres means "towers".[4] It was established as a National Park in 1959.

<https://www.earthmagazine.org/article/travels-geology-exploring-icon-patagonia-chiles-torres-del-paine-national-park>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Torres\\_del\\_Paine\\_National\\_Park](https://en.wikipedia.org/wiki/Torres_del_Paine_National_Park)

<https://worldlyadventurer.com/torres-del-paine-national-park/>

<https://national-parks.org/chile/torres-del-paine>

<https://www.chile.travel/en/where-to-go/destination/torres-del-paine/>

<https://lastorres.com/en/torres-del-paine/patagonia/>

<https://www.conaf.cl/parques/parque-nacional-torres-del-paine/>

<https://www.nationalgeographic.com/travel/article/torres-del-paine-national-park-photos>

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/>

### 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/>



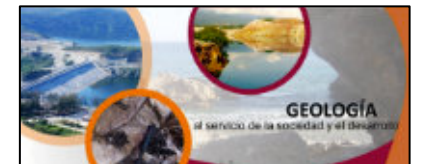
### Sociedad Geológica de España

<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