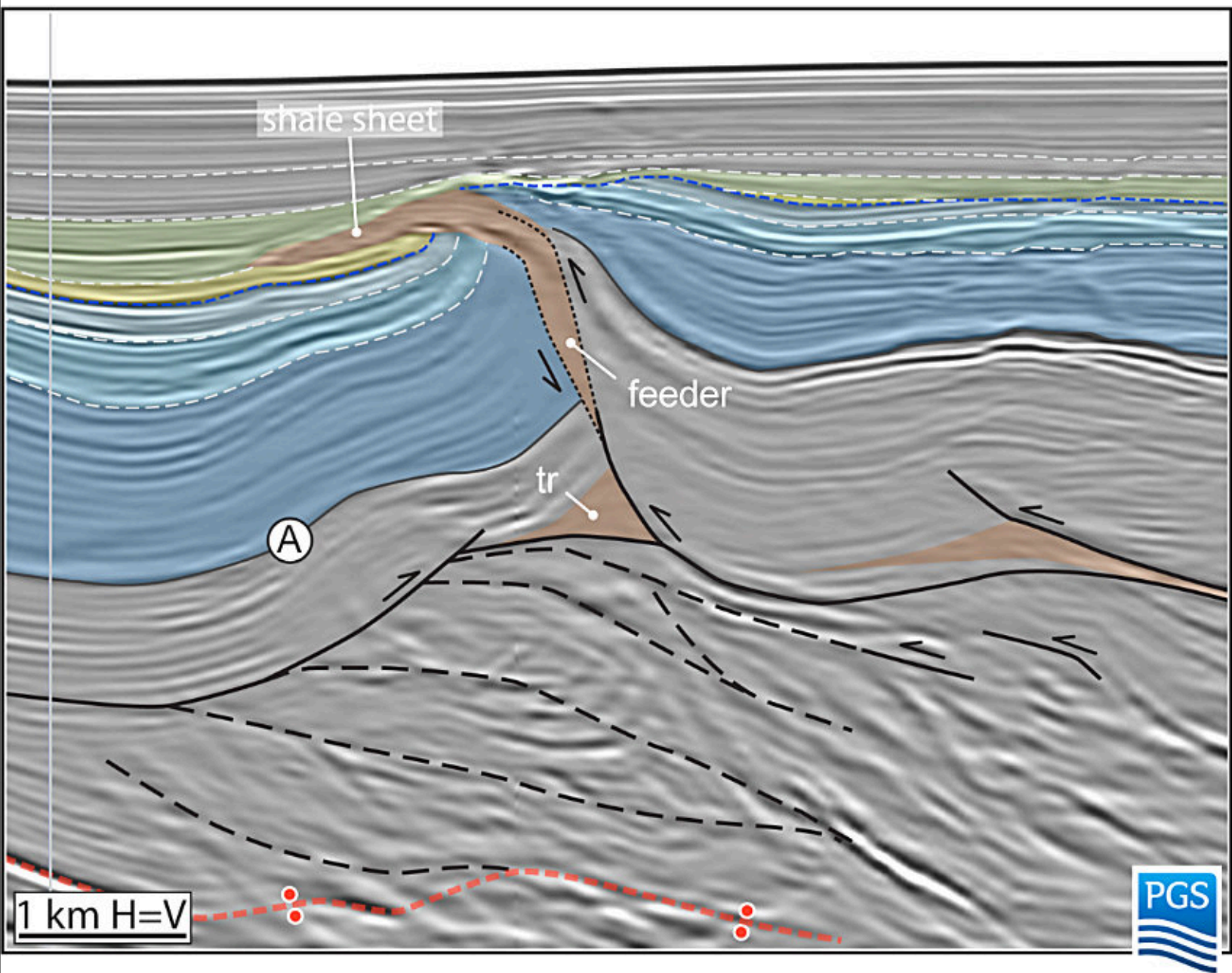


**ENERO**  
SUPLEMENTO  
**2025**



# MAYYA

REVISTA DE GEOCIENCIAS



ENERO  
SUPLEMENTO  
2025



# MAYAYA

## REVISTA DE GEOCIENCIAS

ENERO  
SUPLEMENTO  
2025



# MAYAYA

## REVISTA DE GEOCIENCIAS

### Portada de la revista:

Ejemplo sísmico de arcillas móviles formando una lámina alóctona (“shale sheet”) en el noroeste del Golfo de México (cinturón plegado de East Breaks). Esta estructura se origina por la movilización de formaciones arcillosas de edad fini-Oligoceno (o probablemente Mioceno Inferior) durante un evento de acortamiento. El alimentador (“feeder”) de la lámina de arcillas corresponde con una zona de cizalla asociada a un cabalgamiento de alto ángulo. Se indican otras estructuras con arcillas móviles, como los dominios triangulares (etiqueta “tr”) a lo largo de despegues arcillosos. Obsérvese como las estructuras debidas al acortamiento, como pliegues asociados a cabalgamientos y los dúplex, se desarrollan desacoplados sobre una soldadura salina (“weld”) levemente plegada. Para una descripción detallada de estas estructuras puede verse la publicación de Soto y Hudec (2023) y la de Soto et al. (2024) para el contexto geológico y una descripción ampliada de las estructuras con arcillas móviles. Perfil sísmico PSDM extraído de un cubo sísmico “wide azimuth” propiedad de PGS. Imagen e interpretación por el **Dr. Juan Ignacio Soto**, Universidad de Granada, España.

### Referencias:

Soto, J. I., & Hudec, M. R. (2023). Mud volcanoes guided by thrusting in compressional settings. *Geology*, 51(8), 779-784. doi: 10.1130/G51235.1

Soto, J. I., Dooley, T. P., Hudec, M. R., Peel, F. J., & Apps, G. M. (2024). Shortening a mixed salt and mobile shale system: A case study from East Breaks, northwest Gulf of Mexico. *Interpretation*, 12(4), SF77-SF103. doi: 10.1190/int-2024-0049.1

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Revista de difusión y  
divulgación geocientífica.

**Portada de la revista:** Descripción y créditos en la página anterior.



# EDITORES



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

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

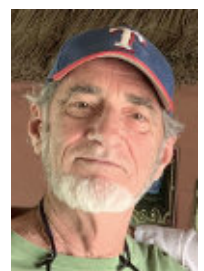
[luis.valencia.11@outlook.com](mailto:luis.valencia.11@outlook.com)



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

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

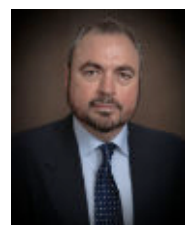
[bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu](mailto:bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu)



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

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

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



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

Correspondent member of the Academy of Engineering of Mexico.

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

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

# COLABORADORES



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

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

[geodoxo@gmail.com](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, México, 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)



**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)



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

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

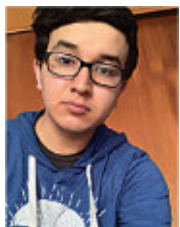
[ensilvacruz@gmail.com](mailto:ensilvacruz@gmail.com)



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

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

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



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

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

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

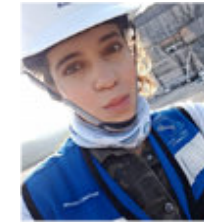


**Rafael Tenreiro Pérez**, se gradúa de ingeniero en geofísica de exploración de petróleo en 1974 en la Academia Estatal de Petróleo de Azerbaiyán, Master en Ciencias en Geología del Petróleo en la Universidad Politécnica CUJAE de la Habana en 1981 y Doctor en ciencias en Geofísica de Exploración la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

Tiene cuarenta y ocho años de experiencia en la industria petrolera en Cuba y en otros países fundamentalmente en la especialidad de exploración de yacimientos de petróleo y gas. Durante este tiempo transitó desde ingeniero geofísico de adquisición hasta Jefe de

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

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



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

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

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

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



**Rodolfo Rafael Avalos Alejandro** Es ingeniero geólogo por la Facultad de Ingeniería (2022), actualmente estudiante de la maestría en ciencias de la Tierra por el Instituto de Geociencias. Realizó su estancia profesional en la unidad minera Fresnillo (2019), yacimiento correspondiente con su trabajo de tesis. Su principal interés es el entender procesos geológicos de escala regional enfocados en la exploración de yacimientos minerales a partir

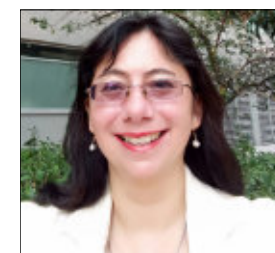
de análisis de Mineralogía Avanzada, estudiando variaciones en especies minerales, texturas, asociaciones, grados de cristalinidad, emulsiones por exsolución y elementos menores en solución sólida. Es divulgador científico centrado en la astronomía, historia de la ciencia y cultura desde 2015 en la plataforma Astro Camp MX, montañista entusiasta desde 2021 y fotógrafo de paisaje desde 2021.

[r.avalos@astrocamp.mx](mailto:r.avalos@astrocamp.mx)



**Dr. Alejandro Carrillo-Chávez.** Ingeniero Geólogo del Instituto Politécnico Nacional, Maestría en La Universidad de Cincinnati, y Doctorado en la Universidad de Wyoming. Inició su trabajo en el Instituto Mexicano del Petróleo y después inició vida académica en la Universidad Autónoma de Baja California Sur. En 1998 ingresó al a Unidad Investigación en Ciencias de la Tierra (UNICIT) UNAM, Campus Juriquilla (actual Centro de Geociencias). Su trabajo inicial fue sobre petrografía ígnea y metamórfica. En academia inició dando clases de petrología ígnea y metamórfica.

Actualmente es Tutor del Posgrado en Ciencias de la Tierra UNAM. Su maestría fue sobre yacimientos minerales metálicos y su doctorado sobre geoquímica ambiental. Actualmente sus líneas de investigación son: Metales Pesados en Medio Ambiente, Hidrogeoquímica, Geoquímica Isotópica de Metales Pesados e Hidrogeoquímica de Salmueras Petroleras. A la fecha es responsable de un Proyecto UNAM y CONAHCyT sobre Concentraciones de metales e isotopía estable de Zn y Hg en agua de lluvia, nieve y núcleos de hielo en glaciares mexicanos. [ambiente@geociencias.unam.mx](mailto:ambiente@geociencias.unam.mx)



La **Dra. Norma E. Olvera Fuentes**, estudió la carrera de Física en la Facultad de Ciencias, su Maestría en el Instituto de Física y su Doctorado en Ciencias de la Tierra, en el ICAYCC, UNAM. Sus líneas de investigación tanto en licenciatura como en maestría versaron sobre el problema cuántico de difracción espacio-temporal de Moshinsky para diversas geometrías.

Bajo la dirección del Dr. Carlos Gay, su investigación doctoral analizó por medio del uso de mapas cognitivos difusos los posibles impactos que el cambio climático puede tener sobre la vulnerabilidad hídrica de la ZMVM. Su tesis doctoral fue galardonada con el Primer Lugar del Primer Premio a la Investigación en Cambio Climático PINCC-UNAM, 2023.

Con casi 20 años de labor docente, ha impartido clases en la Facultad de Ciencias y en la Facultad

de Ingeniería de la UNAM, así como en la División de Ingeniería del Tecnológico de Monterrey, Campus Santa Fe. Institución que le otorgó la Presea por Excelencia Académica como profesora de Cátedra. Como escritora tiene publicados tres libros como única autora y 5 como coautora. El número de Impluvium Gestión Integral de Sequías, en el que el Dr. Gay y la Dra. Olvera son coautores de artículo, es referencia de consulta que el CENAPRED presento para su curso "Sequías: un reto en la reducción del riesgo", marzo del 2024.

Actualmente la Dra. Olvera es Investigadora Posdoctoral del Instituto de Ingeniería de la UNAM, miembro del Sistema Nacional de Investigadores e invitada como líder de opinión del periódico Excelsior.

[norma.olvera@atmosfera.unam.mx](mailto:norma.olvera@atmosfera.unam.mx)



# Lazos de colaboración y amistad con la **AAPG**



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

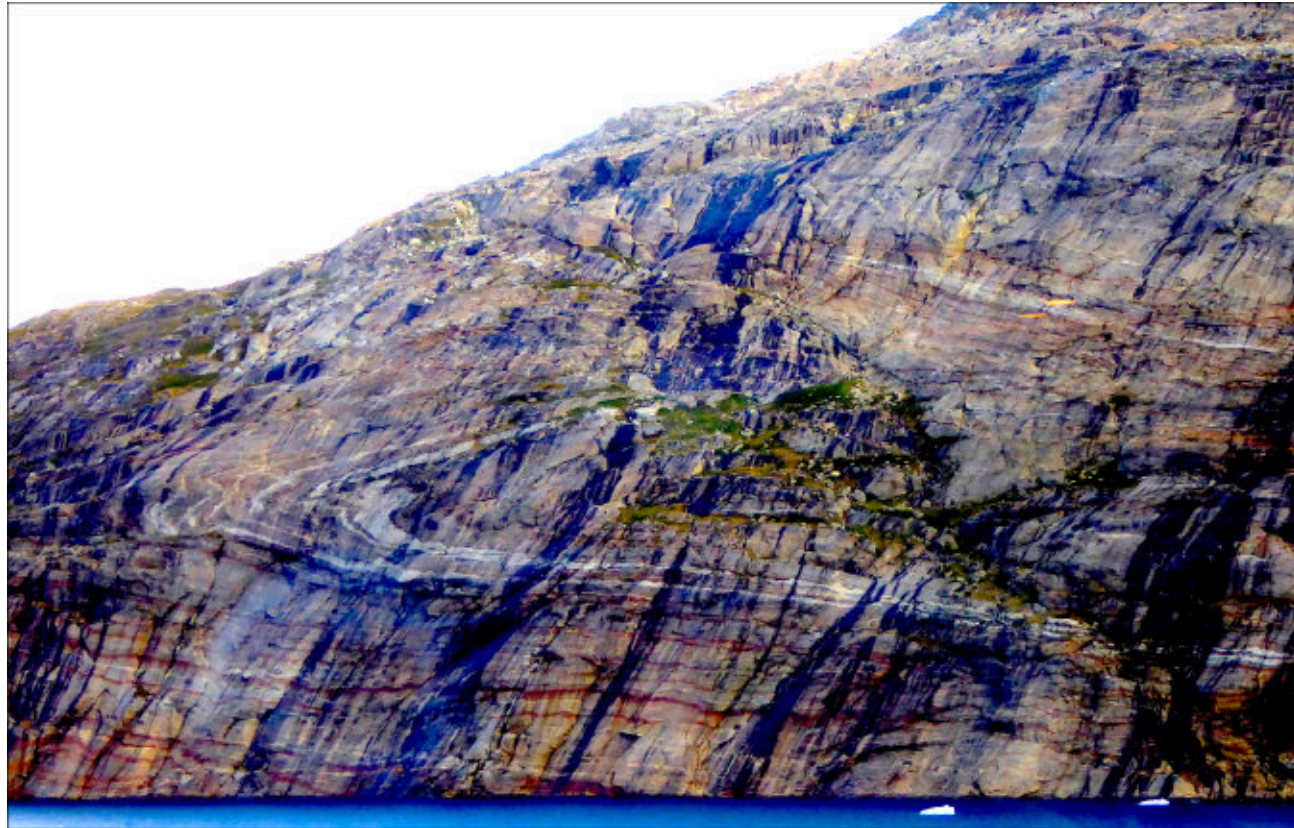
## Estimados Colegas

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

### Nuevo Canal Youtube de la Revista Maya de Geociencias

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

### Estimados colegas,

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

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



### Visítanos en Revista Maya de Geociencias

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





**ENERO  
SUPLEMENTO  
2025**

# EDICIÓN ESPECIAL XXI



## TABLA DE CONTENIDOS

### Sellos postales geológicos: ¿filatelia temática o patrimonio geológico-cultural?

*Jesús S. Porras M.*

### El Givetiano-Frasniano en la Sierra de Perija, Venezuela importancia paleontológica y paleogeográfica

*Jhonny E. Casas, Chris Berry, John M. Moody, Gavin Young.*

### Tiempo geológico y tiempo humano; el Tiempo del Universo y el Tiempo de la consciencia

*Salvador Ortuño Arzate*

### El potencial económico del Bloque de Yucatán en México, Guatemala y Belice

*Joshua H. Rosenfeld*

### Características geológicas de los principales yacimientos de hierro en México

*Corona-Esquivel, Rodolfo, Tritlla, Jordi y Levresse, Gilles*

### Sumario del potencial de cobre-oro de la República de Panamá

*Humberto Álvarez Sánchez y Martín Clark.*

## SELLOS POSTALES GEOLOGICOS: ¿FILATELIA TEMATICA O PATRIMONIO GEOLOGICO-CULTURAL?

Jesús S. Porras M.

Consultor Independiente



### INTRODUCCION

Los sellos postales, también conocidos como timbres o estampillas, son pequeñas etiquetas impresas, generalmente rectangulares, que se adhieren a cartas o paquetes para certificar el pago del franqueo. Más allá de su función práctica, destacan por presentar en sus anversos ilustraciones y diseños que abordan una inmensa variedad de temas, tantos y tan diversos que resultaría imposible enumerarlos por completo.

Entre los numerosos temas representados, destaca la Geología en todas sus expresiones. A lo largo de los años, se han emitido sellos dedicados a honrar a figuras científicas ilustres, conmemorar efemérides relacionadas con las geociencias y destacar fenómenos naturales o hitos históricos. También se han utilizado para ilustrar accidentes geográficos, parques naturales, paisajes emblemáticos, volcanes, dinosaurios, bestias prehistóricas, fósiles, rocas y minerales. Asimismo, incluyen representaciones de mapas, actividades relacionadas con la energía nuclear, petrolera y geotérmica, la minería, monumentos petreos y la arqueología. Un área particularmente significativa es la emisión de sellos diseñados para promover la educación y sensibilización sobre las geociencias y los riesgos geológicos.

Por su extraordinaria diversidad temática, belleza visual e importancia cultural, científica e histórica, los sellos postales con motivos geológicos son altamente valorados tanto por el público general como por coleccionistas y entusiastas de las ciencias de la Tierra. Estas estampillas no solo reflejan la riqueza del conocimiento geológico, sino

que también actúan como poderosos vehículos de comunicación, que conectan a la humanidad con la naturaleza, la ciencia y su historia.

### HISTORIA Y ANTECEDENTES

Desde su invención en 1840 en el Reino Unido y aunque los sellos postales adhesivos se popularizaron rápidamente a nivel mundial- ya en 1860 estaban presentes en más de 90 países- y la Unión Postal Universal se estableció en 1874, el primer sello con temática geológica no fue emitido sino hasta 1904. Este acontecimiento, que se produjo en Noruega, marcó el inicio de una nueva era en la representación de las ciencias de la Tierra en el mundo de la filatelia.

Fue un sello que representaba el Glaciar Svartisen, el segundo más grande del país. Este sello no solo destacó un accidente geográfico, sino que también marcó un hito al incluir un motivo claramente vinculado a la geología y las ciencias de la Tierra en una estampilla postal.

Se reporta sin embargo que, en 1897, en Terranova (Canadá), se emitió una estampilla dedicada a actividades mineras, una temática popular en ese entonces, junto con escenas de caza, pesca y tala, que predominaban en los sellos de la época. El sello, titulado "Minería: uno de los recursos de la colonia", fue el primero con motivo minero emitido en el mundo (Fig. 1).

Ya en 1891, en Tierra del Fuego, Argentina, el ingeniero de minas rumano Julius Popper, había emitido una estampilla de carácter privado, no oficializada y local, con la imagen de un mazo minero, una etiqueta del territorio Tierra del Fuego y la letra "P" de su apellido semi-oculta (Fig. 1).

También se conoce de un set de sellos postales mexicanos emitidos en 1899 con las imágenes de las cataratas Juanacatlán y el volcán Popocatepetl, los cuales representan los primeros paisajes representados en estampillas por ese país.



Fig 1. De izquierda a derecha: sellos geológicos pioneros de Canadá (1897, actividades mineras); Argentina (1891, minería) y México (1899, volcán Popocatepetl)

En 1930, continuando la misma línea del género geográfico de paisajes, el país escandinavo publica sellos del Cabo Norte, un promontorio rocoso de 307 m de altura considerado el punto más septentrional de Europa. Suiza en 1934 emite una serie controversial y definitiva de modernas postales tipografiadas, monocromáticas, de paisajes alpinos, entre los que se incluyen cataratas, picos, lagos, glaciares, desfiladeros y acantilados la cuales reemplazan las ediciones tradicionales anteriores en el formato, diseños y tipo de papel. Estos sellos son notables porque, por primera vez, cada denominación de una serie definitiva suiza llevó un diseño diferente. En 1936, Suiza repitió y amplió esta serie de paisajes en miniatura a nueve sellos que muestran las características físicas del país (<http://www.rpastamps.org/presentations/switzerlandpanorama.pdf>) (Fig. 2)



Fig 2. Serie de estampillas de paisajes alpinos emitida por Suiza (1936)

Desde entonces, muchos países han seguido esta tradición, utilizando sus sellos para ilustrar temas geológicos y geocientíficos de relevancia local o global, convirtiendo estas pequeñas piezas en testimonios culturales y científicos.

En 1933, Argentina emitió un sello por el 50º aniversario de la fundación de la ciudad de La Plata en el cual se observa, en primer plano, al diputado Dr. Dardo Rocha y en el fondo y a la derecha, al Museo de Historia Natural de La Plata, el cual alberga una de las colecciones paleontológicas y antropológicas más importantes de Sudamérica (Miñana et al., 2021; López, 1998)

El Servicio Postal de Estados Unidos emite en 1934, una serie de estampillas escénicas de sus principales parques nacionales (Gran Cañón, Yellowstone, Yosemite, Acadia, Crater Lake, Zion, etc). Los primeros sellos conmemorativos relacionados con la Paleontología y la Paleoantropología se emitieron en 1936 en Ecuador, para conmemorar el centenario del viaje de Charles Darwin a las Islas Galápagos.

Incluyendo la temática de la geografía dentro de la filatelia geológica, existen evidencias de sellos postales con imágenes de mapas publicados en EEUU (1895), Alemania (1906, 1917, 1921). Antes de la II Guerra Mundial, se publicaron atlas de sellos en Chicago (1933) y Viena (1935) y Leipzig (Alemania, 1941) (Konecny et al., 2014)

India fue el primer país en emitir en 1951, una estampilla de fósiles, de dos “elefantes prehistóricos”, en conmemoración del centenario del Servicio Geológico de la India (Vartak et al., 2017). Ya, en 1922, en Estados Unidos se había emitido la primera tarjeta postal con animales prehistóricos, lo cual constituyó, muy probablemente, el primer artículo filatélico relacionado con la Paleontología (Astudillo-Pombo H., 2011; Vartak et al., 2017).

A finales de los 50's y en la década de los 60's, aparecen en Europa Central, en Alemania y Suiza, países de larga tradición minera y geológica, las primeras tiradas de estampillas con impresiones de rocas y minerales y minería. Países africanos, cuya economía está basada casi exclusivamente en la extracción mineral han emitido una buena cantidad de sellos postales alusivos a la actividad, especialmente a partir de 1965 (Glover 1996, 2010)

Los primeros diseños simbolizando la energía del petróleo, carbón, gas y electricidad nuclear, junto con

representaciones estilizadas de estructuras geológicas, estratos y plataformas petroleras fueron publicadas en 1978.

Muchos países han emitido sellos postales para conmemorar eventos volcánicos importantes, como erupciones históricas o la creación de parques nacionales volcánicos. Se reconoce que el sello postal pionero con una imagen de un volcán o una erupción fue emitido en un país centroamericano, zona de importante actividad volcánica y una rica historia relacionada con este fenómeno natural. Desde allí más de 260 países han emitido estampillas sobre este tópico.

Las emisiones de sellos postales con temas geológicos han continuado a lo largo del tiempo en muchos países. Cada país sigue emitiendo sellos que reflejan su patrimonio geológico, geodiversidad, parques nacionales o sitios de interés científico. Países con recursos minerales destacados, regiones volcánicas o montañosas, riqueza fosilífera y paleontológica, o hallazgos fósiles importantes, publican permanentemente sellos alusivos.

#### FILATELIA TEMATICA

La filatelia temática es una forma de coleccionismo que organiza sellos postales según un tema específico. En lugar de centrarse en países o fechas, explora narrativas basadas en el contenido de los sellos, permitiendo a los coleccionistas combinar su pasión por el conocimiento con su interés por los sellos. Este enfoque fomenta la creatividad y el aprendizaje interdisciplinario, convirtiendo a los sellos en pequeñas ventanas al mundo cultural, histórico y científico.

La filatelia temática con énfasis en la geología se centra en sellos postales que ilustran aspectos relacionados con las ciencias de la Tierra. Este enfoque permite explorar la riqueza geológica del planeta y su impacto en la humanidad a través de diversos temas como minerales y rocas, fósiles y paleontología, volcanes y terremotos, mapas geológicos y paisajes geológicos entre muchos otros tópicos.

Este tipo de filatelia combina el coleccionismo con la divulgación científica, ofreciendo una forma única de aprender sobre la estructura, historia y dinámica de la Tierra y de los procesos que la modelan.

#### ALCANCE Y DISTRIBUCIÓN

Hay sellos postales de muchos países del mundo que presentan temas relacionados con la geología. Se habla de miles-o quizás millones de sellos emitidos, por más de 300 países. De minerales, paleontología y volcanes exclusivamente, se han publicado más de 200, 4000 y 14000 sellos diferentes, en ese mismo orden.

Solo en la 29ª edición del Congreso Geológico Internacional sobre Arcos de Islas celebrado en Kyoto en 1992, se imprimieron 18.000.000 de sellos conmemorativos, entregados como recuerdo a los participantes. El sello era de un mapa y perfil geológico superpuestos por un fósil de amonite (Kato et al., 2023).

Desde mediados del Siglo XX representan una manera de comunicación entre geocientíficos de todo el mundo, de divulgación del conocimiento científico y de difusión y anunciación de descubrimientos o hallazgos importantes al ciudadano común, o eventualmente interesado. En muchos casos tienen un valor histórico al conmemorar o representar fechas o personajes notables de las geociencias. Constituye uno de los más efectivos medios de enseñanza y divulgación universal.

Martínez y Guzmán (2022) destacan que los sellos postales acercan al público a biografías de personajes, y a otro público, más especializado, a continuar con análisis más profundos. También destacan su valor como material de consulta, mostrando que los descubrimientos son el resultado acumulado de esfuerzos, entre los que se incluye conocimientos, eventos, ensayos y errores, influenciados siempre por el contexto donde se desarrollaron.

#### USO y TEMAS

Los sellos postales se utilizan a menudo para conmemorar eventos geológicos importantes, exhibir características o paisajes geológicos significativos, destacar a geólogos o científicos famosos y promover la educación y la concienciación sobre geociencias. Algunos ejemplos de sellos relacionados con la geología incluyen temáticas como:

##### Paleontología, Fósiles y Bestias Prehistóricas

Los primeros sellos relacionados con la Paleontología y la Paleoantropología se emitieron en 1936 en Ecuador, conmemorando el centenario del viaje de Darwin a las Galápagos. Antes, en 1922, Estados Unidos emitió la primera tarjeta postal con animales prehistóricos,



posiblemente el primer artículo filatélico vinculado a la Paleontología. En 1951, India lanzó la primera estampilla de fósiles, representando elefantes prehistóricos, en honor al centenario de su Servicio Geológico.

Un año después, en septiembre de 1952, la República Francesa, emite un sello de correos conmemorativo del XIX Congreso Internacional de Geología, celebrado en Argelia, con la representación de un ejemplar de amonites jurásico de la especie *Berbericeras sekikensis*, del norte africano (Astudillo-Pombo, 2011).

El 15 de abril de 1958, la Autoridad de Correos de la República Popular de China publicó un conjunto de tres (3) estampillas conmemorativas de la "Paleontología de China" el cual incluía el trilobite *Kaolishania pustulosa* (Paleozoico), el dinosaurio *Lufengosaurus huenei* (Mesozoico), primer esqueleto completo de dinosaurio, encontrado y descrito por científicos chinos, y el gran ciervo *Sinomegaceros pachosteus* (Cenozoico) (Paleophilatelie, 2024; Miñana et al., 2021).

Lipps et al. (2022) mencionan que, desde esa fecha, más de 4000 sellos con fósiles, paleontólogos, museos y colecciones, han sido emitido por cerca de 200 países.

Las estampillas referidas a temas paleontológicos, categoría donde se incluyen fósiles, dinosaurios y bestias prehistóricas (Fig. 3), toma su auge en los 90's a raíz de la difusión de importantes hallazgos fosilíferos, la proliferación de películas y videojuegos sobre dinosaurios y al acceso a la información por medios alternativos y nuevas tecnologías, como la televisión por cable, la telefonía móvil (analógica y posteriormente digital) y el Internet. Miñana et al. (2021) menciona que, aunque los libros y películas sobre dinosaurios y animales extintos fueron comunes durante el siglo XX, el estreno de Jurassic Park en 1993 desató un fenómeno sin igual, potenciado por la globalización mediática y económica de la época.



Fig 3. Sellos postales representativos de la Paleontología. Incluye dinosaurios, bestias prehistóricas y fósiles.

A manera referencial y según datos extraídos del catálogo de Paleophilatelie.eu, unos 212 países de todo el mundo han emitido estampillas sobre este tema. Entre 1990 y 2024, más de 160 países y territorios emitieron casi 600 sellos postales oficiales relacionados directamente con la Paleontología, considerando dinosaurios, otros animales prehistóricos, fósiles de animales y plantas, sitios fosilíferos, museos y personajes destacados de la paleontología y paleoantropología (Fig. 4).

No incluyen en esta estadística aquellos sellos que, aunque están vinculados con la Paleontología, provienen de países que emiten un número excesivo de sellos anualmente, representan animales prehistóricos o fósiles sin conexión alguna con el país emisor, o contienen reconstrucciones inexactas de animales prehistóricos.

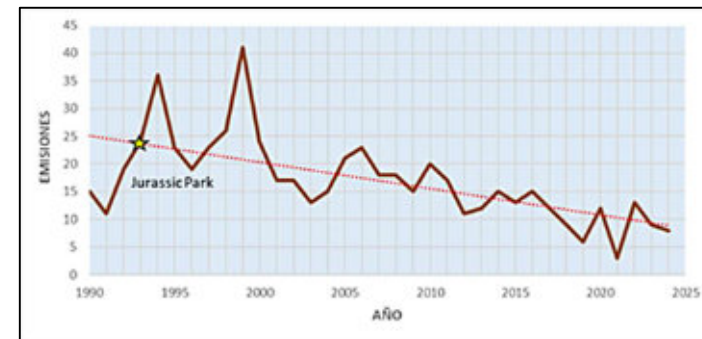


Fig 4. Sellos oficiales directamente relacionados con la paleontología: dinosaurios y otros animales prehistóricos, fósiles y paleontólogos célebres para el período 1990-2024 (fuente: <https://www.paleophilatelie.eu>)

A pesar de que se observa una merma en la emisión de sellos con relación a la década anterior, desde el año 2000, y hasta hoy, más de 350 estampillas sobre esta temática han sido emitidas en diversos países. Esto representa alrededor de 15 estampillas por año versus 25 estampillas por año de la década 1999-2000 (Fig. 4).

En la figura 5 se puede observar la emisión histórica de estampillas por países o territorios para ese mismo período. Destacan Argentina, Cuba, Perú, Guinea, Corea del Norte y Eslovenia con más de una docena de sellos emitidos.

Solo el servicio postal peruano, emitió entre los años en 1999 y 2022, más de 12 estampillas postales, conmemorativas, matasellos especiales y sobres de primer día de circulación, dedicados a la divulgación de especies fósiles relevantes y sitios paleontológicos singulares del Perú (Astudillo & Villaseca, 2022)

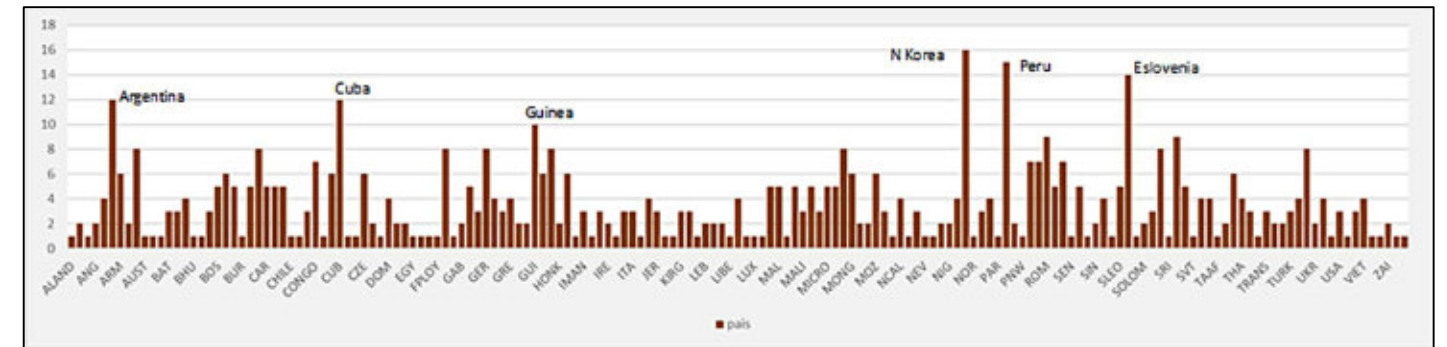


Fig 5. Histórico de sellos oficiales emitidos por países o territorio. Período 1990-2024 (fuente: <https://www.paleophilatelie.eu>)

### Minerales y Rocas

Las rocas y minerales han sido representadas en estampillas, por su belleza intrínseca, para reflejar, por un lado, el patrimonio natural de las naciones, y, por otro lado, para mostrar la riqueza y el poder económico, especialmente en aquellas naciones dependientes de estos recursos. Suelen emitirse en países con una rica tradición minera o geológica, destacando por su diseño elaborado y educativo (Fig. 6).

Las estampillas con ilustraciones de minerales y rocas son muchas y variadas. En la actualidad hay alrededor de 202 sellos que representan 101 minerales diferentes de 43 países referenciados (MineralStamps.com). Las más comunes suelen representar especímenes conocidos por su importancia científica, belleza o relevancia económica (Vartak et al. 2017; Glover 1996, 2010).



Fig 6. Estampillas representativas de minerales y yacimientos minerales. El ejemplo incluye imagen de cantera de mármol en extremo superior izquierdo y lámina petrográfica hacia el extremo superior de la derecha.

Entre ellos destacan el cuarzo y sus variedades amatista, citrino y cuarzo cristalino, debido a su atractivo visual y abundancia; minerales preciosos como el oro, la plata y el platino, por ser símbolos de riqueza y tradición minera. Se incluye en esta categoría las gemas y piedras preciosas y semipreciosas como esmeraldas, rubíes, granates, zafiros y ópalos, valoradas por su uso en joyería. Los diamantes son un tema frecuente y muy popular debido a su belleza, rareza y simbolismo. Las estampillas con diamantes suelen incluir diamantes en bruto, tallados, minas de diamantes, diamantes famosos o regiones productoras. Son, junto con las de imágenes del cuarzo, las estampillas más populares.

Minerales importantes en la minería y la industria, como la hematita, cobre, galena o calcita suelen ser tema de sellos postales, así como rocas emblemáticas que representan la riqueza geológica de ciertas regiones. Las zeolitas de la India han sido tema de colecciones postales de varios países (Vartak et al. 2019)

A finales de los años 50 y durante los 60, Alemania y Suiza emitieron las primeras estampillas con imágenes de rocas y minerales, reflejando su tradición minera y geológica. A partir de 1965, varios países africanos, con economías centradas en la minería, también lanzaron numerosos sellos alusivos a esta actividad (Glover, 1996, 2010)

En 1969, Alemania Oriental emitió una serie de sellos con imágenes que representaban minerales de la región de Harz. Los sellos incluían los minerales fluorita, galena, cuarzo ahumado, calcita, plata nativa y eritrina. La primera serie de minerales de España fue emitida tan solo entre los años 1994 y 1996 (Martínez, 2023)

Las estampillas de "fósiles minerales" como el ámbar, carbón o petrificaciones que combinan aspectos geológicos y paleontológicos, también son comunes.



Los meteoritos han sido catalogados en esta lista. Países como Angola, Argentina, Australia, Austria, Guyana, Sierra Leona, Rusia, Togo, República Centro Africana y Djibouti han emitido sellos con este motivo.

### Volcanes

Los sellos postales de esta categoría incluyen representaciones de volcanes o sus características, escenas relacionadas al estudio de los volcanes, de la actividad volcánica y procesos geológicos y de regiones y paisajes volcánicos como islas, atolones o cordilleras volcánicas. Llegan a resaltar emblemas o banderas de países que incluyan volcanes, y hasta construcciones resultantes de rocas o procesos volcánicos. Eventos volcánicos importantes, como erupciones devastadoras, o la creación de parques nacionales volcánicos, a menudo inspiran la emisión de sellos conmemorativos (Fig. 7).

Hay alrededor de 14.000 sellos postales en el mundo que muestran volcanes y sus características. El primero fue

emitido en Nicaragua en 1862 (<https://www.volcanostamps.com>).

Mudholkar et al. (2021) sugieren que el primer juego de sellos con un volcán fue publicado por El Salvador en 1867. Mostraba un volcán activo con 11 estrellas en semicírculo sobre el volcán representando las provincias salvadoreñas de la época. Desde entonces, unos 260 países han emitido sellos con motivos volcánicos.

Generalmente estos sellos son emitidos por países para destacar volcanes activos de sus territorios o su historia volcánica.

Entre los países pioneros en la emisión de estampillas sobre el tema están: Nueva Zelanda (1935, 1957, 1974, 1997, 1999), Nicaragua (1947), Rusia (1965), Japón (1935, 1936, 1939, 1998, 1945, 1952, 1966, 1976), Filipinas (1967), El Salvador (1967), Indonesia (1954, 1967, 1983), Islandia (1947, 2010) y Ecuador (1939, 1940) entre otros.



Fig 7. Sellos postales con representaciones de volcanes, actividades volcánicas y conmemorativos

El Correo Argentino (2014) ha emitido series de sellos conmemorativos sobre volcanes, con el objetivo de promover el conocimiento sobre estos fenómenos naturales y su importancia en la geografía del país. Monserrat (2005) emitió una serie de 9 estampillas por el 10º Aniversario de la erupción del Volcán La Soufrière y Grenada (2015) publicó una serie de 4 estampillas sobre volcanes.

Los dos tipos principales de vulcanismo, los asociados a límites de placas (subducción, dorsales) e intraplaca (hotspots) también ha sido objeto de ediciones postales en

varios países. En el primer caso, se conocen varias series de sellos de las erupciones volcánicas de Islandia emitidas por el gobierno de Islandia (1947, 2010), Dinamarca y las Naciones Unidas (2011). Las islas Hawaii, Yellowstone y las Azores son los mejores ejemplos de vulcanismo de hotspots. Emisiones de estampillas sobre estos icónicos lugares han sido comunes en el mundo filatélico.

Mudholkar et al. (2021 a,b) hacen una descripción de volcanes de acuerdo a su origen y contexto geológico. Documentan los sellos postales emitidos para cada tipo de vulcanismo.

### Minería, Metalurgia e Ingeniería

Las estampillas en minería y metalurgia suelen tener un gran valor histórico, cultural y educativo, ya que representan temas relacionados con recursos minerales, metales preciosos, técnicas de extracción, equipos de minería, procesamiento de minerales, yacimientos famosos y figuras importantes de la industria. Eventos mineros, conferencias y hasta universidades mineras han sido representadas en sellos postales (Fig. 8).



Fig 8. Sellos postales con representaciones de minería, explotación y actividades mineras.

Cioruta et al. (2019) hacen un recuento histórico de la filatelia sobre la minería en Rumania y reconocen dos aspectos como los más representados en los sellos: el industrial, de la exploración y evolución de la explotación y actividad minera, y la celebración de acontecimientos importantes como exposiciones o aniversarios (ejm. Día del Minero o la Minería, Día del Trabajador).

Las representaciones de minerales, y metales, más comunes son del oro, plata, cobre, hierro, carbón o piedras preciosas, aunque minerales y rocas de otras minas (sal, fosfatos, calizas, uranio, diamantes, bauxita) también suelen ser incluidos. Imágenes de yacimientos mineros famosos, como minas a cielo abierto o subterráneas, o regiones mineras han sido emitidas por diversos países. En Chile (1967) se emitieron estampillas conmemorativas de la mina de cobre Chuquibambilla, una de las más grandes del mundo y en Argentina (2013) una dedicada a la Mina Veladero en la Provincia de San Juan. Escenas de procesos metalúrgicos incluyendo fundiciones, hornos, molinos o equipos de extracción han sido también plasmados en sellos postales.

Habashi (2007) analiza la historia de la minería y la metalurgia en África a través de sellos emitidos por

Reflejan tanto la actividad minera como la historia natural de los países, de mucha tradición en esta área. Países como Chile, Perú, Sudáfrica, Canadá, China y Australia emiten frecuentemente estampillas relacionadas con la industria. La mayoría de los sellos postales sobre diamantes son emitidos por países donde se extraen diamantes (Botsuana, Tanzania, Ghana, Sudáfrica) y donde se cortan y distribuyen (Israel, Bélgica).

diversos países del continente a lo largo del tiempo. Estos sellos ilustran la evolución técnica de la industria minera africana, desde los métodos rudimentarios utilizados en la época faraónica hasta la incorporación de maquinaria moderna durante y después de la colonización.

Los sellos pueden conmemorar eventos mineros, como el día de la minería o de conferencias y congresos. Pueden mostrar retratos de científicos o ingenieros que han hecho contribuciones significativas en estos campos o conmemorar a las universidades mineras, como es el caso la Universidad de Minería y Tecnología de Friburgo en Alemania (1970). En Sudáfrica (1970) se emitieron estampillas para celebrar la producción de diamantes.

### Mapas Geológicos

Las estampillas con mapas geológicos son poco comunes. Están generalmente representadas por mapas geológicos históricos, mapas regionales o nacionales o mapas de recursos donde se resaltan áreas específicas ricas en minerales o recursos energéticos y su distribución, composición de minerales y rocas, u otras características geológicas, como montañas, volcanes y fallas, de un área o región en particular.



Hitos geológicos, Monumentos naturales, Geoparques

Las estampillas de esta categoría son representaciones de hitos o paisajes geológicos famosos, como parques nacionales, monumentos naturales o sitios patrimoniales conocidos por sus características geológicas únicas.

Suelen contener imágenes de paisajes costeros, glaciares, fluviales, desiertos, cavernas y volcanes. Algunos ejemplos notables son: el Gran Cañón, el Monte Everest, la Calzada de los Gigantes, el Monte Fuji, el Glaciar Perito Moreno, la Cueva de Altamira, el Flysh de Zumaia, las Torres del Payne, el Salto Angel, etc.

Son creados con propósitos educativos, de reconocimiento, conservacionistas y turísticos.

### Geografía, Cartografía y Mapas Geográficos

Estas estampillas suelen resaltar la importancia de la cartografía y la representación territorial en el contexto de la cultura y el desarrollo de los países por intermedio de imágenes de lugares, paisajes o elementos naturales destacados y mapas de diferente tipo, entre los que se distinguen mapas históricos, políticos y temáticos. El catálogo de Gilad Aharoni, una base de datos de cartofilia en la web, contiene 19245 estampillas principalmente de mapas políticos (<https://mapsonstampsdb.com/>)

Los mapas en estampillas lo utilizaron países pequeños, o poco conocidos, para llamar la atención de su existencia, carácter o ubicación. En otros casos se usaron como medio de propaganda ante reclamos territoriales (Stamp, 1966).

Los mapas históricos son representaciones de antiguas cartas geográficas, o mapas de exploradores famosos. Los mapas políticos resaltan los límites territoriales, provincias, estados o regiones destacadas de un país. Los mapas temáticos son ilustraciones relacionadas con recursos naturales, geología, climas, rutas marítimas, ferroviarias o comerciales o ciudades. Ilustran un tema específico (Fig. 9).

Muchos sellos incluyen detalles artísticos que hacen referencia a estilos cartográficos antiguos, como cartas náuticas, brújulas, escalas, coordenadas, o elementos decorativos típicos de la época de exploración. Otros incluyen elementos culturales o históricos del lugar que representan, como monumentos o figuras locales. Incluso

pueden llevar mensajes explícitos indicados a menudo con símbolos o imágenes (<https://atcoordinates.info>)



Fig. 9. Sellos postales con representaciones geográficas, cartográficas y mapas.

Los sellos postales con la representación de paisajes buscan visibilizar destinos turísticos y fomentar el cuidado, preservación y protección de la biodiversidad y de los ecosistemas. Las imágenes pueden incluir tanto entornos naturales como construidos y las representaciones pueden ser fotografías, pinturas o elementos modernos como fotografías aéreas o satelitales. Los sellos pueden representar lugares específicos, o generales, de un paisaje (Fig. 10).

En 1869, Estados Unidos introdujo los primeros sellos pictóricos con imágenes variadas de paisajes, fauna y flora, pinturas y escenas históricas, marcando un cambio respecto a los retratos tradicionales de personajes. Esta iniciativa inspiró a países como Borneo del Norte (1894), Guayana Británica, Nueva Zelanda y Tasmania (1898), que comenzaron a incluir paisajes y elementos naturales en sus diseños. Nueva Zelanda destacó con un sello del Aoraki/Monte Cook y flores alpinas, elegido mediante un concurso público (<https://teara.govt.nz/en/postage-stamp/14400/pictorial-stamp-1898>). En Irlanda, surgió un debate sobre la combinación de retratos de la realeza con paisajes en sus emisiones postales.

Desde 1993, el servicio postal de EE.UU. ha emitido series de estampillas destacando paisajes y maravillas naturales. En 2012, lanzó Earthscapes, celebrando los paisajes y la tecnología de captura mediante ortofotos e imágenes satelitales. (<https://atcoordinates.info/2024/01/22/maps-in-miniature-geography-on-postage-stamps/>)

Otro tipo de sellos son las estampillas conmemorativas, que pueden destacar la fundación u organización de un estado específico, o formar parte de grandes series dedicadas a varios estados. Sus diseños incluyen mapas, paisajes, banderas y símbolos oficiales como aves y flores estatales.



Fig. 10. Sellos postales con representaciones de diversos relieves, geoformas y paisajes

### Fechas Conmemorativas (Efemérides)

Las estampillas conmemorativas destacan eventos importantes, aniversarios o hitos históricos. Estas emisiones suelen marcar fechas significativas, además de aniversarios, incluyen descubrimientos científicos, figuras emblemáticas o eventos geológicos notables como erupciones volcánicas (ejm. Monte Santa Helena, Pompeya), sismos (Chile 1960, San Francisco 1906, Haití 2010), entre otros fenómenos naturales.

Pueden destacar eventos relacionados con la historia de la Tierra, como la formación de montañas, volcanes emblemáticos, fósiles importantes y eras geológicas.

Estas estampillas sirven para educar y resaltar la riqueza geológica de una región o del mundo.

### Energía O&G, Térmica y Nuclear

Las estampillas con temas de energía abarcan diversas fuentes y tecnologías relacionadas con la producción y el uso de energía. Algunos ejemplos incluyen representaciones de energías renovables (parques eólicos, paneles solares, hidroeléctricas y geotermia), energías fósiles (equipos y plataformas petroleras, minas de carbón y refinerías) y energía nuclear (reactores nucleares, tecnología, átomos y procesos atómicos) (Fig. 11).

Otras suelen incluir los avances tecnológicos en este tema: redes inteligentes, almacenamiento energético y eficiencia energética, emisiones o apuntan al impacto ambiental con estampillas que promueven la sostenibilidad y el uso responsable de recursos energéticos.



Fig. 11. Sellos postales con representaciones de actividades, equipos y plataformas de la industria petrolera

También están las estampillas conmemorativas, como la edición de 1978 diseñada por Peter Murdoch donde representa simbólicamente la energía asociada a los hidrocarburos, el carbón y nuclear, o como las que homenajean a Otto Hamn, descubridor de la fisión nuclear, emitidas en Angola (2001), Chad (1997), Dominica (1995) y Cuba (1994), o por el 25º aniversario de la OPEC (Qatar, 1985) por citar algunas.

En 2007, El Departamento Postal de la India emitió una serie de sellos sobre energía renovable que incluye: viento, agua, luz solar y calor geotérmico. Su enfoque fue hacia la sostenibilidad de estas fuentes de energía en países en desarrollo.



### Geólogos y Geocientíficos

Las estampillas que honran a geólogos, científicos o investigadores famosos rinden tributo a figuras clave en el campo de las ciencias de la Tierra (Fig. 12). Estas emisiones destacan a pioneros como James Hutton, Charles Lyell, Alfred Wegener, Marie Tharp, William Smith, Charles Darwin, Louis Agassiz, Florentino Ameghino o Mary Anning, de una larga lista. Charles Darwin e imágenes darwinianas han aparecido en sellos postales desde 1935, en Ecuador. Desde entonces, al menos sesenta países, y más de 100 sellos postales, se han emitido sobre este ilustre naturalista.



Fig 12. Sellos postales con representaciones de geólogos o científicos destacados en las geociencias.

Estos sellos pueden presentar retratos, logros o descubrimientos importantes de geólogos notables, así como mapas, diagramas geológicos o paisajes vinculados a sus descubrimientos, promoviendo el legado de estos científicos y la importancia de la geología.

### Educación en Geociencias

Los sellos para promover la educación y concientización sobre las geociencias también son regularmente emitidos por muchos países. Pueden llegar a un público amplio y diverso, despertando el interés por las ciencias de la Tierra y fomentando la curiosidad científica o también pueden utilizarse como material didáctico para enseñar conceptos geológicos de forma visual y atractiva.

Estos sellos pueden mostrar la importancia de la geología en la comprensión de la historia, los recursos y los peligros naturales de la Tierra, o promover la conservación y la sostenibilidad relacionadas con la geología y el medio ambiente.

Estas estampillas destacan la importancia de comprender la Tierra y sus procesos. Representan temas como:

- Geoformas y formaciones geológicas: explicando su origen y desarrollo.

- Ciclos de la Tierra: representaciones del ciclo del agua, de las rocas o el carbono.
- Patrimonio geológico: sitios importantes como el Gran Cañón, el Monte Everest, o parques geológicos.
- Geohazards: educación sobre fenómenos naturales: sismos, tsunamis, inundaciones y deslizamientos de tierras, y su mitigación.
- Cartografía y exploración: sellos que celebran mapas geológicos y la tecnología utilizada para estudiar la Tierra, como imágenes satelitales.

### Monumentos Pétreos

Los monumentos pétreos, estructuras construidas principalmente con piedra, también están representados en los sellos postales. Las estampillas de monumentos pétreos son altamente cotizadas por su belleza y valor histórico. Estos sellos suelen representar principalmente, ruinas arqueológicas de antiguas civilizaciones, monumentos religiosos como templos, catedrales y otros edificios religiosos, esculturas y estatuas y castillos y fortalezas.

Ejemplos de sellos con representaciones de esculturas talladas en piedra, como los moáis de la Isla de Pascua, Machu Pichu, las pirámides mayas o la ciudad fortificada en piedra de Cartagena de Indias en Colombia se presentan en la figura 13.



Fig 13. Estampillas con representaciones de monumentos pétreos de civilizaciones antiguas y construcciones notables.

**Otros: tectónica & terremotos, clima, medio ambiente, glaciares, cavernas y espeleología, arqueología.**

Hay muchos aspectos interesantes de la geología que, a pesar de su importancia, reciben menos atención en las estampillas ya que generalmente los sellos postales suelen

enfocarse en temas más conocidos y representativos. Esto se debe a su complejidad y especialización, menor interés para el público en general y poca prioridad de las oficinas postales.

Entre estos temas están:

**Tectónica de Placas y Magmatismo:** aunque se han emitido algunos sellos de terremotos y volcanes, sobre los procesos que dan origen a estos fenómenos, como la subducción o expansión del fondo oceánico suelen quedar en segundo plano (Fig. 14). Son pocas las estampillas que se han emitido sobre este particular.



Fig 14. Estampillas representativas de tectónica y deriva continental.

**Sismos y Terremotos:** son un tema recurrente en la filatelia y han sido representados en sellos conmemorativos de algún evento sísmico importante; en sellos sobre la concientización en riesgos sísmicos y la importancia de la prevención y en sellos con fines benéficos, para recaudar fondos para las zonas afectadas por un terremoto. Estampillas sobre tsunamis han sido emitidas por San Marino (2005), Bélgica (2005), Japón (1898-1990), China (2005), Sri Lanka (2005). Varias naciones, entre ellas Tailandia, Indonesia, Sri Lanka, China, Francia, San Marino, Bélgica y Eslovaquia, emitieron sellos conmemorativos del tsunami del Boxing Day de 2004.

**Metamorfismo:** rara vez son protagonistas en las estampillas. Generalmente se encuentran en la categoría de rocas y minerales o como parte de paisajes y formaciones geológicas resultantes del metamorfismo.

**Paleogeografía:** La reconstrucción de antiguos continentes y océanos, junto con los cambios climáticos a lo largo de la historia de la Tierra, son temas que han recibido escasa atención en la filatelia. Las pocas representaciones tratan de la reconstrucción de Pangea y otros supercontinentes, de deriva continental y tectónica de placas, de antiguos mares y océanos, como el Mar de Tetis y de épocas geológicas. En 1991, Suráfrica emitió un sello postal que muestra al geólogo local Dr. Alex L. du Toit,

autoridad en deriva continental y tectónica de placas, y sus reconstrucciones paleocontinentales.

**Riesgos Geológicos:** suelen ser tratados de forma general en las estampillas. Abordan fenómenos y desastres de gran impacto en la sociedad como terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas, deslizamientos de tierra, inundaciones, aludes, erosión costera, sequías etc. Estas emisiones no solo documentan eventos, sino que también fomentan la educación sobre los riesgos geológicos y la importancia de la preparación y la resiliencia ante estos fenómenos naturales. Imágenes de víctimas y daños pueden encontrarse en algunas postales (Rusia, 1921; Liechtenstein, 1927), otras han sido emitidas después de los desastres para recaudar fondos para los esfuerzos de rescate y ayuda (Nicaragua, 1932; Marruecos, 1960; Guatemala, 1976; Pakistán, 2005).

**Cambio Climático & Calentamiento Global:** es un tópico empleado en limitadas y recientes emisiones filatélicas para comunicar los efectos y consecuencias del cambio climático, su relación con los procesos geológicos, la subida del nivel del mar, la acidificación de los océanos, el calentamiento global y los fenómenos meteorológicos. Brunn (2017) destaca que el cambio climático y el calentamiento global son los temas más comunes en las estampillas emitidas por más de 80 países. Estas emisiones de sellos buscan aumentar la conciencia sobre problemas ambientales y abarcan una variedad de temas, como la deforestación de bosques tropicales, la destrucción de arrecifes de coral, la lluvia ácida, la desertificación, la conservación de la energía, las virtudes cívicas y la reducción de los glaciares.

**Espeleología:** las estampillas de este rubro destacan la exploración, conservación y riqueza de las cuevas y formaciones subterráneas (Fig. 15). Algunas temáticas comunes en estas emisiones incluyen representaciones de cuevas emblemáticas y famosas (Carlsbad y Mammoth, USA; Altamira, España; Lascaux, Francia), imágenes de ambientes y formas subterráneas y espeleotemas (estalactitas, estalagmitas, columnas, etc), biodiversidad (fauna y flora endémica), exploradores famosos, equipos y conservación. Se conocen emisiones de países como Lesoto (1968), Rumania (1952, 1975), Australia (2017), India (1932), Italia (1978) y Tailandia (1972), de una larga lista.

Curioso el caso de una oficina de correos, la única en el mundo, que en 1899 abrió sus puertas en la famosa



caverna Postojna (Eslovenia) y llegó a vender más de 13000 sellos en solo 3 horas.



Fig 15. Estampillas alusivas a cavernas y espeleología.

**Arqueología:** numerosos hallazgos arqueológicos están íntimamente ligados a procesos geológicos como la formación de suelos, la erosión y la sedimentación. No obstante, las estampillas postales suelen destacar los artefactos encontrados, como cerámicas, herramientas y joyas, mientras que el contexto geológico que permitió su descubrimiento recibe poca atención. Hay sellos que combinan la espeleología con la arqueología, mostrando cuevas que han preservado pinturas rupestres, fósiles o restos humanos antiguos, como los de las cuevas de Altamira (España), Lascaux y Rouffignac (Francia), Gorham's (Gibraltar), Los Tayos (Ecuador) y la Cueva del Oso y el León (Eslovenia).

## CONCLUSIONES

En resumen, los sellos postales con temas geológicos representan una valiosa herramienta para la divulgación científica y cultural, al combinar arte, historia y conocimiento en un formato accesible y educativo. A través de ellos, es posible destacar eventos geológicos, características naturales y figuras relevantes que han marcado la historia de nuestro planeta.

Además de celebrar el conocimiento geológico, los sellos postales contribuyen a acercar esta disciplina a un público más amplio, no necesariamente técnico, haciendo de la filatelia un medio histórico y comunicativo para promover el aprendizaje y la valoración de las ciencias de la Tierra.

## REFERENCIAS

Astudillo Pombo H., 2011. Los fósiles como motivo temático en la filatelia ibérica (<https://folklore-fosiles-ibericos.blogspot.com/2011/07/1.html>) Acceso 03/04/2024.

Astudillo Pombo H. y Villaseca Robertson A., 2022. Biodiversidad Paleontológica Peruana en las Estampillas Postales del Perú (1999-2022). Boletín del Museo Postal y Filatélico del Perú, Diciembre 2022, Ministerio de Cultura, p 33-37.

At These Coordinates

(<https://atcoordinates.info/2024/01/22/maps-in-miniature-geography-on-postage-stamps/>)

Brunn S. D., 2017. A Geopolitical and Geovisualization Challenge: Increasing the Awareness of Global Environmental Change through Postage Stamp Issues. *Natural Resources*, 2017, 8, 130-158. <https://doi.org/10.4236/nr.2017.83010>

Cioruța B., A. Pop A. L. Mirela Coman M., 2019. Reflections and Implications of Philately in the Promotion of Mining and Mineral Samples, Fossils and Gems in Romania (I): 1945-1960. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*, 21(3): 1-20, 2019; Article no. JGEESI.49156.

Gilad's Maps on Stamps (<https://mapsonstampsdb.com/>) acceso 12 dic 2024

Glover P., 1996. Minerals on stamps. *Geology Today*, Topics November-December 1996, pp 223-229.

Glover P., 2010. Minerals on postage stamps: A mix of art, history, economics and geography. *Geophysical Research Abstracts Vol. 12*, EGU2010-15149, 2010;

Kato H., Yajima M., and Yamada T., 2023. The 29th International Geological Congress, Kyoto (1992): Geocongress on island arcs, Episodes, Jan 2023, <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2022/022047>

Konecny M., Geryk E., Stampach R. and Stachon Z., 2014. Geography in philately. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. DOI 10.1088/1755-1315/18/1/012088

Lipps J.H., Vartak A., Van Eijden T., Rajshekhar C., Vaddadi S. and Vartak R., 2022. Paleontological postage stamps in art and education, [https://doi.org/10.1130/2021.1218\(25\)](https://doi.org/10.1130/2021.1218(25))

López G., 1998. La Paleontología Argentina y Sellos Postales, Fundación Museo La Plata, Revista Museo Nº 12, pp 31-36.

Martínez Reina M. y Guzmán Beltrán I., 2022, Sellos postales e historia de la ciencia: un ejemplo con Robert Koch. *Comunicación*, Número 47, Julio - diciembre 2022, pp 49-74. (<https://doi.org/10.18566/comunica.n47.a04>)

Mineral Stamps <http://mineralstamps.com/>

Miñana M., Fernández M. y Martinelli A., 2021. Los Dinosaurios y Otros Reptiles del Mesozoico como

Argumento Temático en la Filatelia de la Argentina. *Historia Natural, Tercera Serie, Volumen 11 (1) 2021/165-181.*

Mudholkar A.V., Vaddadi S. and Vartak A., 2021. Philately and Volcano, Part I. *Ananthapuri Stamp Bulletin/8 Vol. IV/Issue No.63/May 2021*, pp 7-12

Mudholkar A.V., Vaddadi S. and Vartak A., 2021. Philately and Volcano, Part II. *Ananthapuri Stamp Bulletin/8 Vol. IV/Issue No.64/June 2021*, pp 9-15.

Paleophilatelie.eu. The place where Paleontology and Paleoanthropology meets Philately (Web Site) <https://www.paleophilatelie.eu/index.html>

Stamp Community ([https://www.stampcommunity.org/topic.asp?TOPIC\\_ID=77947](https://www.stampcommunity.org/topic.asp?TOPIC_ID=77947))

Stamp D., 1966. Philatelic Cartography: A Critical Study of Maps on Stamps with Special Reference to the Commonwealth. *Geography Vol. 51, No. 3 (July 1966)*, pp. 179-197. Published By: Taylor & Francis, Ltd.

Stone H.F. Switzerland: a Panorama of its Stamps. Rochester Philatelic Association. <http://www.rpastamps.org/presentations/switzerlandapanorama.pdf>

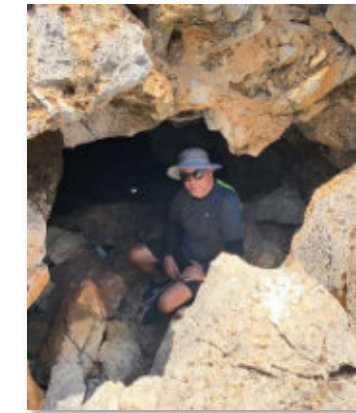
Vartak, A. V. (2012). Relevance of Philately in Earth Science and its Significance in Paleontology. *Journal of Geological Society of India*, 80(3), 447-447. Retrieved from <https://www.geosocindia.org/index.php/jgsi/article/view/57828>

Vartak R., Vartak A. , Rajshekhar Ch. and Vaddadi S., 2017, *Geosciences and Philately*, Proceedings of Seminar on Philately at Pune, p 31-37

Vartak R., Vaddadi S., Vartak A.V. and Rajshekhar C., 2019. Zeolites from Deccan Basalts and Philately- Part II. *Philagems International Bulltin No. 140*, January-March 2019, pp 7-16.

Volcano Stamps of the World <https://www.volcanostamps.com/chatboards>

## SOBRE EL AUTOR:



Jesús S. PORRAS M. es ingeniero geólogo de la Universidad de Oriente con Maestría en Ciencias Geológicas de la Universidad Central de Venezuela.

Posee más de 35 años de experiencia profesional en la industria petrolera donde ha desempeñado

diversos cargos en proyectos tanto de exploración como de desarrollo de reservorios convencionales y no convencionales.

Actualmente se desempeña como Geólogo Consultor Sr. liderando grupos de estudios integrados de yacimientos para operadoras nacionales e internacionales.

Tiene particular interés en temas de patrimonio geológico, geodiversidad y geoconservación, comunicación en geociencias, geología urbana y geoturismo.

Es miembro activo de diversas asociaciones profesionales y autor o coautor de más de 50 trabajos presentados en diferentes congresos geológicos nacionales e internacionales, simposios y revistas técnicas.



## EL GIVETIANO-FRASNIANO (DEVÓNICO TARDÍO) EN LA SIERRA DE PERIJA, VENEZUELA IMPORTANCIA PALEONTOLOGICA Y PALEOGEOGRAFICA

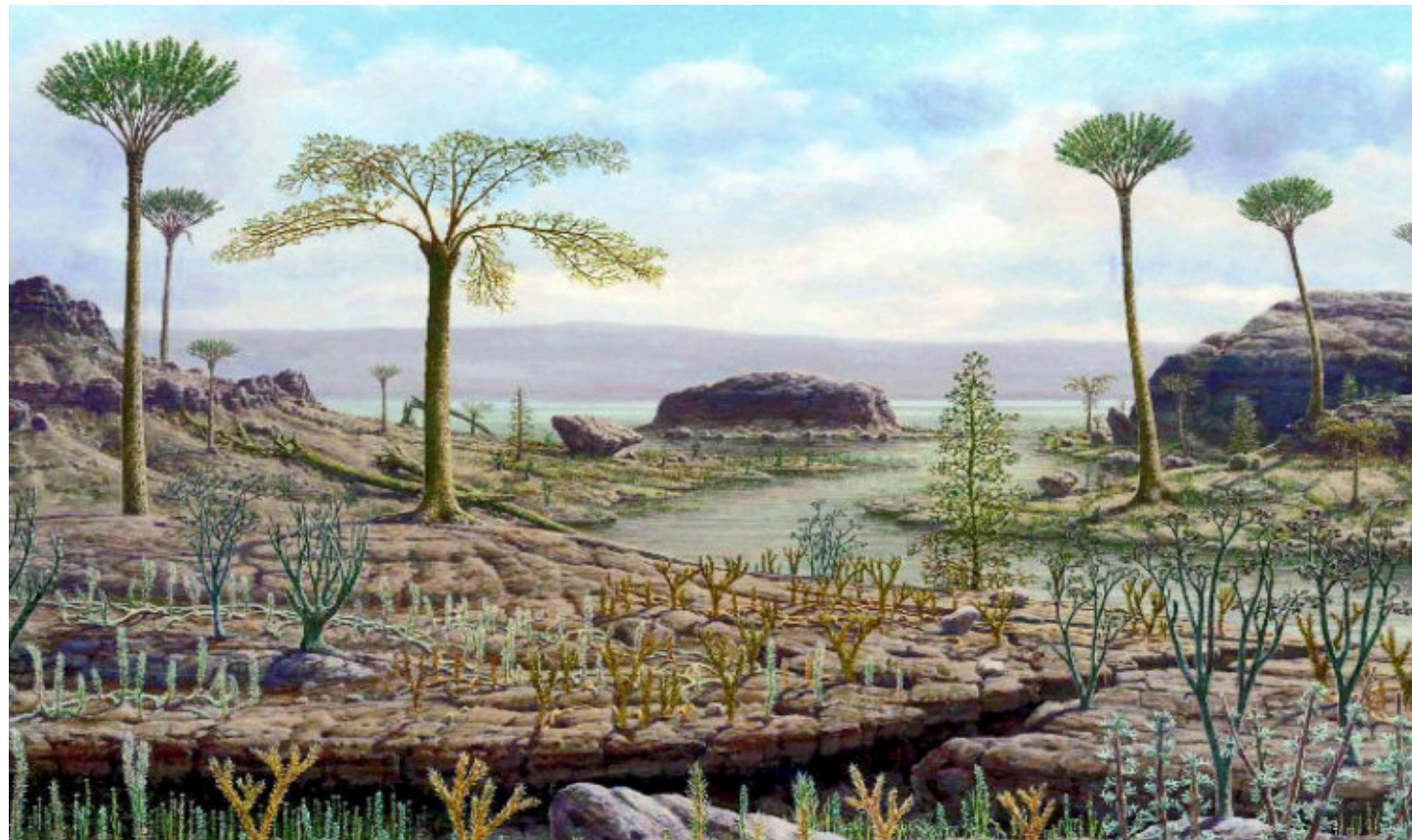
JHONNY E. CASAS<sup>1</sup>, CHRIS BERRY<sup>2</sup>, JOHN M. MOODY<sup>3</sup>, GAVIN YOUNG<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidad Central de Venezuela, Departamento de Petróleo, Caracas, Venezuela

<sup>2</sup>University of Cardiff, Department of Geology, UK

<sup>3</sup>Grayson College, Texas, USA

<sup>4</sup>Australian National University, Dept. of Geology, Canberra, Australia



<https://collembles.fr/en/origin-and-history/47-origin-of-springtails.html>

### INTRODUCCIÓN

La Sierra de Perijá constituye un sistema montañoso que, a lo largo de más de 200 km, divide a la cuenca del Lago de Maracaibo en Venezuela, del Valle César en Colombia. Las crestas de este sistema montañoso, cuyas alturas varían entre 800 y 3.750 m, están constituidas por espesas calizas cretácicas que le imparten una topografía característica.

Durante el Paleozoico-Mesozoico, la historia tectónica de la Sierra de Perijá presenta al menos cuatro grandes episodios tectónicos: Silúrico-Devónico temprano, Devónico tardío, Pérmico tardío-Triásico y Jurásico-Cretácico temprano, donde el único evento de metamorfismo regional ocurrió previo a la

sedimentación de una sucesión de estratos sedimentarios de edad devónica conocidos como Grupo Río Cachimí (Kellogg, 1984). El Grupo Río Cachimí está definido según González De Juana, Iturralde y Piccard (1980), como una gruesa sucesión sedimentaria devónica, subdividida en cuatro formaciones que en orden cronológico ascendente fueron denominadas: Los Guineos, Caño Grande, Caño del Oeste y Campo Chico.

Este trabajo presenta un resumen actualizado de la estratigrafía, edad y conjuntos paleontológicos descubiertos a lo largo de los últimos años en la Formación Campo Chico, los cuales han añadido abundante información y nuevas evidencias en la reconstrucción paleobotánica, paleofaunal y

paleogeográfica para el área norte del continente sudamericano durante el Givetiano-Frasniano.

### TRABAJOS PREVIOS

El primer trabajo publicado sobre las formaciones devónicas en la Sierra de Perijá de Venezuela, corresponde a Weisbord (1926), quien hizo una descripción paleontológica de especímenes recolectados en el Río Cachimí asignándolos al Devónico inferior-medio. Posteriormente, Liddle, Harris y Wells (1943), publican y emplean por primera vez el nombre de Serie del Río Cachimí para designar al conjunto de afloramientos devónicos de esa localidad, y pocos años después, Sutton (1946), cambia el nombre a Grupo Río Cachimí, denominación que subsiste como oficial, hasta el presente. En 1972, Bowen define una nueva formación añadiéndola como base del Grupo Río Cachimí (Formación Los Guineos), y describe detalladamente al resto de las formaciones devónicas del grupo.

Benedetto (1980, 1984), publica una serie de artículos de carácter principalmente paleontológico donde analiza detalladamente la fauna y la edad de las formaciones Caño Grande y Caño del Oeste, introduciendo además modificaciones en la nomenclatura estratigráfica e interpretando a la Formación Campo Chico y a la suprayacente Formación Caño del Noroeste, como un solo ciclo sedimentario ininterrumpido (a falta de evidencias de una discordancia entre ambas), y con el nombre de la primera, asignándole una edad devónica (Benedetto, 1980).

Edwards y Benedetto (1985), reportan dos géneros de plantas en la Formación Campo Chico, mientras que algunos años más tarde, Berry, Casas, Moody y Young (1987) y Berry, Casas y Moody (1992), estudian en detalle la geología y describen los primeros resultados de un estudio paleontológico de la formación.

Berry (1994, 2000), Berry y Edwards (1994, 1995, 1996a, 1996b, 1997), Berry y Stein (2000), y Berry y Gensel (2019), sistemáticamente describieron diferentes géneros y especies de plantas fósiles, contenidas en la formación.

Young, Moody y Casas (2000), discuten nuevos descubrimientos de vertebrados devónicos en la Formación Campo Chico y sus implicaciones para el contacto Gondwana-Euramérica, mientras Young y Moody (2002), publican una extensa descripción de los

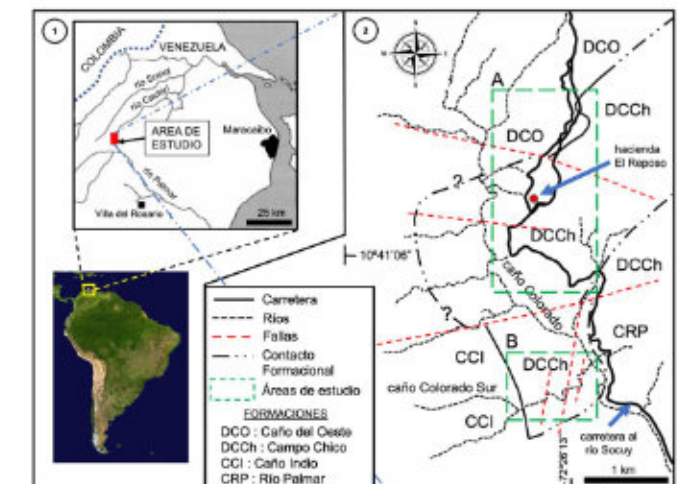
peces fósiles encontrados en la Formación Campo Chico, y discuten tanto las consideraciones filogenéticas como las afinidades de dichos elementos en un contexto paleogeográfico y paleotectónico. En años más recientes, Casas, Berry, Moody y Young (2022) publican una síntesis completa de la estratigrafía y paleontología de la Formación Campo Chico.

### MARCO GEOLÓGICO

#### Ubicación del área de estudio

La zona de estudio se encuentra ubicada unos 70 Km al oeste de la ciudad de Maracaibo (Figura 1.1), Estado Zulia, en el flanco oriental de la Sierra de Perijá, la cual es un sistema montañoso, que constituye un brazo o rama de la Cordillera Oriental Andina, al norte de Sudamérica, y a lo largo de la cual discurre la frontera entre Colombia y Venezuela.

Las mejores secciones estratigráficas de la Formación Campo Chico afloran dentro de los rectángulos resaltados en la Figura 1.2, principalmente a lo largo de los cortes de carretera que conducen al Río Socuy (bordeando el Caño Colorado), así como en afloramientos localizados dentro del Caño Colorado del Sur, tributario del mismo Caño Colorado.



**Figura 1.** Ubicación regional del área de estudio (1.1). Detalle de la ubicación (rectángulos segmentados) de los afloramientos analizados en la carretera que conduce al Río Socuy y a lo largo del Caño Colorado Sur (1.2).

### Estratigrafía Regional

González De Juana y otros (1980), mencionan al Grupo Río Cachimí, como una gruesa sucesión sedimentaria de edad devónica y de aproximadamente 2500 m de espesor, subdividida en cuatro formaciones que, de más viejo a más joven se denominan: Los Guineos, Caño



Grande, Caño del Oeste y Campo Chico. El conjunto según describen los mismos autores, suprayace en forma discordante un basamento granítico conocido como Granito de Lajas.

El Grupo Rio Cachiri es considerado en su conjunto por González De Juana y otros (1980), como una regresión sucesiva de ambientes que varían en líneas generales de marino a salobre. También los mismos autores, interpretan a la Formación Campo Chico (tope del grupo), como depositada en un ambiente subdeltaico, con invasiones marinas de poca importancia, e indican que, en base a determinaciones palinológicas, su edad es Devónico medio a superior, encontrándose a su vez, en forma discordante bajo formaciones del Paleozoico Superior (Formaciones Caño del Noroeste y Caño Indio).

Dentro del Grupo Rio Cachiri, Benedetto (1980) interpreta a la Formación Campo Chico como una sucesión de estratos depositada en un ambiente continental, que suprayace a la Formación Caño del Oeste (Givetiano) de origen marino e infrayace a la Formación Caño Indio (Pensilvaniense).

### Estratigrafía de la Formación Campo Chico

Los principales afloramientos de la Formación Campo Chico pueden encontrarse en la carretera hacia el Río Socuy (Figura 2), así como a lo largo del Caño Colorado del Sur. En general, la Formación Campo Chico, está compuesta principalmente de areniscas grises y blancas muy compactas, así como algunas areniscas rojizas muy oxidadas, limolitas grises verdosas, lutitas grises oscuras a verdosas y esporádicos carbones muy delgados y localizados, así como algunas capas de conglomerados de grano fino a medio.

Las areniscas muestran en sección fina estar compuestas en gran parte por granos de cuarzo (monocristalino, y más abundante en su forma policristalina), ftanita y fragmentos líticos, cementados por sílice y óxidos de hierro (Casas, Berry y Moody, 1990); con contactos entre granos de tipo recto y suturado, sin porosidad aparente, evidenciando la fuerte compactación sufrida (Figura 3).

Algunas escasas capas de calizas están presentes en la formación, y son de escala centimétrica, de color muy oscuro, fácilmente identificables visualmente, y de gran continuidad lateral, constituidas esencialmente de micrita, con abundantes ostrácodos y gran cantidad de pirita (Figura. 3).



Figura 2. Afloramientos del miembro inferior de la Formación Campo Chico en la carretera al Río Socuy.

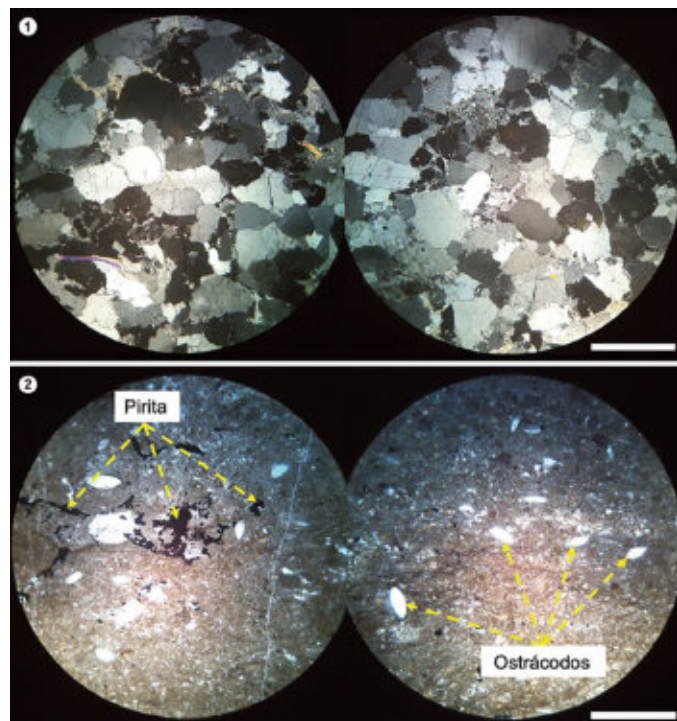


Figura 3. (3.1) Secciones finas de areniscas de grano medio del miembro inferior de la Formación Campo Chico mostrando contactos rectos y suturados entre granos (Nicoles-X). (3.2) Secciones finas de calizas micríticas del miembro superior, las cuales contienen fósiles de ostrácodos e importantes cantidades de pirita. Escala grafica= 1 mm.

**Miembro Inferior:** Los principales afloramientos del miembro inferior, pueden encontrarse en la carretera (tanto la nueva como la antigua) hacia el Río Socuy, donde muestran hacia la base, paquetes de areniscas grises que meteorizan a rojizo. Estos paquetes se presentan en forma de lentes con contactos erosivos y estructuras de canales, con acreción lateral marcada, donde es posible también reconocer tapones de arcilla que representan el abandono de dichos canales. Hacia

el tope, la sucesión presenta ciclos de lutitas espesas intercaladas con capas delgadas de areniscas de grano muy fino y limolitas (Casas, Moody y Young, 1992).

Estos afloramientos se encuentran en contacto de falla con sucesiones Carboníferas suprayacentes al sureste (Benedetto, 1984), y al norte y noroeste con una sucesión infrayacente de estratos también devónicos denominados formalmente como Formación Caño del Oeste. El contacto entre Campo Chico y Caño del Oeste puede ser observado en la antigua carretera al Río Socuy y se establece en la base de la primera capa de arenisca gris de unos dos metros de espesor, seguida de intercalaciones de lutitas grises con areniscas blancas y grises conglomeráticas conteniendo fragmentos de plantas y peces (Figura 4), lo cual contrasta notablemente con la litología infrayacente constituida por lutitas y limolitas pardas/grises oscuro, fosilíferas (conteniendo principalmente braquiópodos), asignadas a la Formación Caño del Oeste (Berry, Casas y Moody, 1997).

El rumbo de los estratos, en los afloramientos de la carretera, varían entre 30º y 70º azimuth, con buzamientos entre 10º y 40º hacia el sur, perturbados por algunas fallas normales de orientación general este-oeste, que muestran desplazamientos de pocos metros. Dentro del área de estudio, las secciones medidas en la carretera al Río Socuy, permitieron reconstruir una columna litológica continua, de más de 200 m de espesor, que corresponden en su mayor parte al Miembro Inferior de la formación.

En general, el miembro inferior de la Formación Campo Chico, está compuesto principalmente de areniscas grises y blancas muy compactas, así como algunas areniscas rojizas muy oxidadas, lutitas grises verdosas a amarillentas, algunas lutitas muy carbonosas, y esporádicos carbones muy delgados y localizados, así como algunas capas de conglomerados de grano fino a medio. Las areniscas muestran, en sección fina estar compuestas en gran parte por granos de cuarzo (monocristalino, y más abundante en su forma policristalina), ftanita y algunos fragmentos líticos, cementados por sílice y óxidos de hierro (Casas y otros, 1990), y con contactos entre granos de tipo recto y suturado (Figura 3).

**Miembro Superior:** El miembro superior de la Formación Campo Chico aflora tanto en la sección de Caño Colorado del Sur, como en la sección sur de la

carretera al Río Socuy, antes de llegar a la antigua Hacienda El Reposo. Consiste de capas gruesas de lutitas grises, limolitas verdosas piríticas y algunas sucesiones de areniscas de grano fino a medio. Hacia la base de la sucesión abundan las limolitas verdosas, en las cuales fueron encontrados varios niveles fosilíferos (Casas, Berry y Moody, 1992), constituidos por una numerosa acumulación de fragmentos de placas y escamas de peces (Figuras 4 y 5).

Inmediatamente sobre el nivel fosilífero anterior, aparecen dos delgadas capas de caliza gris oscura microcristalina, fácilmente identificables macroscópicamente y de gran continuidad lateral, constituidas esencialmente de micrita, con abundantes ostrácodos, restos de escamas de peces y pirita (Figura 3). Basado en los ostrácodos presentes, Casas y otros (2022), interpretaron que dichas calizas corresponden a sucesiones lacustres abiertas.

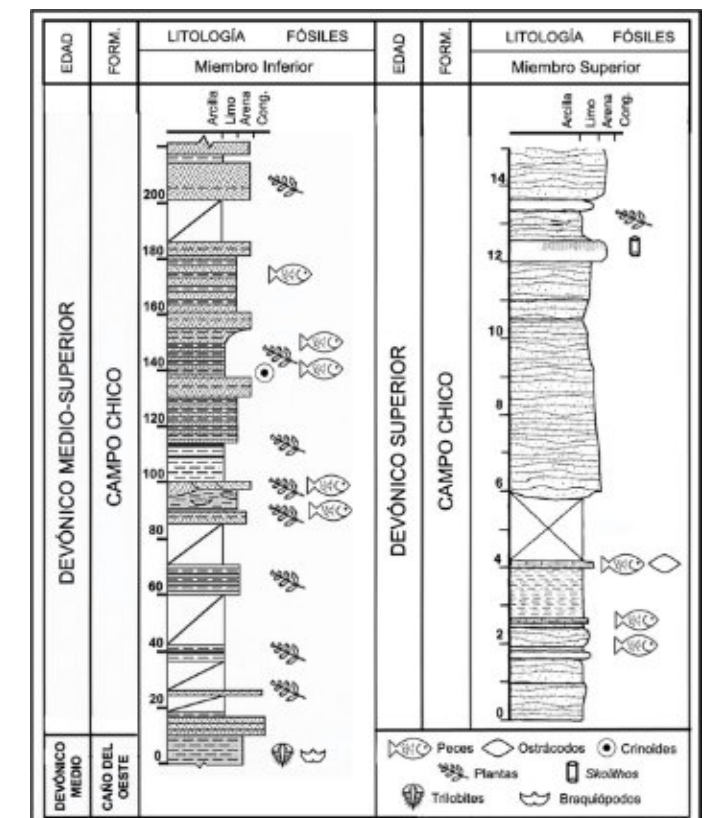


Figura 4. Columnas estratigráficas de la Formación Campo Chico. Miembro inferior (izquierda) a lo largo de la carretera al río Socuy. Parte del miembro superior (derecha) a lo largo del caño Colorado Sur. Modificado a partir de Casas y otros (1990, 1992) y Berry y otros (1997). Form: Formación; Cong: Conglomerado. Escala vertical en metros.

Esta sección fosilífera antes mencionada, constituye la base de la columna estratigráfica presente en el Caño



Colorado del Sur, cuya estructura es la de un gran anticlinal en forma de pliegue inclinado, con un flanco oeste buzando entre 15° y 20°, y un flanco este buzando entre 40° y 85° (Casas y otros, 2022). Hacia el tope de la sucesión, se observan fundamentalmente lutitas y limolitas grises verdosas y algunas areniscas de colores grises a verdosos, de grano fino a medio y normalmente masivas o con tenues laminaciones paralelas y rizaduras.



**Figura 5.** Nivel fosilífero de limolitas con abundantes fragmentos de placas y escamas de peces en Caño Colorado del Sur. De izquierda a derecha: G. Mosco, J. Moody y G. Young.

El contacto con la suprayacente Formación Caño Indio no pudo ser observado en afloramiento, y las evidencias de campo señalan la existencia de una marcada angularidad entre el rumbo de las capas de ambas formaciones, lo cual pudiera interpretarse como un contacto discordante o un contacto de falla (Casas y otros, 1992). En el lado colombiano de la Sierra de Perijá, la formación equivalente a Caño Indio, denominada Arenitas de Manaure (Pensilvánico) descansa también discordantemente sobre la Formación La Floresta, el equivalente aproximado al Grupo Rio Cachiri, en el lado venezolano (Pastor, Reyes, Cáceres, Sarmiento y Cramer, 2013).

En la sección del miembro superior, presente en la carretera al Rio Socuy pueden observarse una capa de arenisca completamente bioturbada por *Skolithos* (Figura 6). Esta capa fue utilizada como marcador para correlacionar con la sección presente en el Caño Colorado Sur, ya que adicionalmente, unos metros por arriba del nivel de *Skolithos*, es posible encontrar un horizonte con restos de plantas donde destaca el género *Archaeopteris*, que permitió corroborar la

correlación entre ambos afloramientos (Young y Moody, 2002).

La Formación Campo Chico en su conjunto, pero sobre todo en el miembro inferior, contiene una amplia variedad de plantas fósiles con diferentes grados de preservación donde se mencionan la presencia de numerosos géneros y especies, siendo éste el más diverso conjunto de plantas del Devónico de Gondwana reportado hasta la fecha (Berry 1993; 1997).

El espesor total de la Formación Campo Chico no es posible determinarlo con precisión, debido a la presencia de fallas importantes tanto en el tope de dicha formación como entre los dos miembros. Sin embargo, las secciones medidas entre Caño Colorado Sur y la carretera al Rio Socuy, pudieran permitir inferir un espesor que pudiera alcanzar fácilmente los 450 m.

#### AMBIENTE DE SEDIMENTACIÓN

La sucesión sedimentaria de la Formación Campo Chico es interpretada por numerosos autores (Casas y otros, 1990; Casas y otros, 1992; Berry y otros, 1997), como un gran ciclo, fundamentalmente continental marginal, compuesto por sucesiones de canales fluviales, distributarios, diques, abanicos de rotura, depósitos lacustres, pantanos, y ocasionales lagunas costeras con clara influencia marina. Esto está soportado por las estructuras sedimentarias, las asociaciones de facies y los ciclos de apilamiento observados (Berry, 1993; Berry y otros, 1997), así como por la presencia de numerosos horizontes con restos de plantas terrestres (principalmente en las capas de grano muy fino del miembro inferior, que incluyen delicadas microestructuras, cuya preservación indica el escaso transporte sufrido (Berry y otros, 1997).



**Figura 6.** Capa guía de arenisca de grano fino, completamente bioturbada por *Skolithos* (Miembro Superior).

La fauna de peces hallada en diversos niveles de la formación, también apoya el carácter predominante de aguas dulces en el ambiente sedimentario. En las capas ricas en restos de peces, ubicadas en ambos miembros, se encuentran huesos rotos, aleatoriamente orientados, indicando un cierto nivel de energía, sin embargo, los estratos donde los restos más comunes pertenecen al género *Bothriolepis*, ubicados en las capas del miembro superior, se presentan más articulados, sugiriendo un rápido enterramiento y condiciones de baja energía (Casas y otros, 2022).

Existen evidencias de pequeños y cortos pulsos salobres y marinos dentro de la sucesión estratigráfica, donde se menciona la identificación de algunos fragmentos de crinoides articulados, en un nivel 50 m por encima de la base de la sección, así como ejemplares del braquiópodo *Lingula* sp. (Berry y otros, 1997). En el miembro inferior, sobre la unidad de canales distributarios, se observa una sucesión con abundantes restos de plantas fósiles y láminas de carbón que sugieren condiciones de sedimentación tranquilas y desarrollo de pantanos. Sin embargo, en dichos horizontes inferiores, Young y Moody (2002), reportan una lutita rica en materia orgánica con escolecodontes, lo cual indicaría un corto pulso marino. Las sucesiones del miembro superior de Campo Chico, sin embargo, presentan en general ciclos granocrecientes los cuales son interpretados como repetidos avances de un posible frente deltáico, en una cuenca afectada por rápidos y cortos cambios relativos del nivel del mar, sin descartar que en esta evolución, sean posibles eventos de carácter autocíclico y no alocíclico.

La presencia localizada de calizas muy delgadas, en escala centimétrica, dentro del miembro superior, es interpretada como posibles sucesiones lacustres. Harvey (1999), analizando la presencia de acritarcos, en algunas capas del miembro superior, sugiere que la influencia marina se incrementa en dicho miembro con respecto al miembro inferior.

#### PALEONTOLOGÍA

##### Plantas

Berry (1993), describió en forma muy preliminar 19 especies de plantas, provenientes de 11 horizontes dentro de la Formación Campo Chico. Todo esto permitía visualizar ya en aquel momento, que el total de flora existente en esta pequeña área geográfica de la Sierra de Perijá, representada principalmente por la familia Cicadales y Psilofitales, pasaría a ser una

referencia a nivel mundial para la flora del Devónico medio-superior.

Del material posteriormente analizado en detalle y publicado a partir de esa fecha (1993), destacan en primer lugar los licófitos, los cuales tienen un importante componente en los ecosistemas terrestres primitivos devónicos, y el conjunto floral de Venezuela está frecuentemente dominado por ellos tanto en número de especies y nuevas especies, como en abundancia. Entre ellos destacan *Haskinsia sagittata* y *Haskinsia hastata* (Berry y Edwards, 1996a) y *Colpodexylon coloradoense* y *C. camptophyllum* (Berry y Edwards, 1995), los cuales forman densas acumulaciones en ciertos niveles estratigráficos de la Formación Campo Chico. También es de destacar el primer reporte para Sudamérica del licófito herbáceo *Leclercqia* cf. *complexa*, planta usualmente considerada como parte de Gondwana occidental (Berry, 1994).

Otro primer reporte para Sudamérica lo constituyó la publicación por Berry y Edwards (1994) del género zosterófilo *Serrulacaulis* cf. *furcatus*. Se descubrió, además del importante grupo de las Iridopteridales, un ejemplar que fue denominado *Anapaulia moodyi* (Berry y Edwards, 1996a), en honor de John Moody, su descubridor. Este género y especie también ha sido reportado por Prestianni y otros (2012), en el Devónico de Marruecos, lo cual enfatiza su afinidad Gondwana. Otra nueva especie también descrita a partir del material recolectado fue el pequeño licópsido *Gilboaphyton griersonii* (Berry y Edwards, 1997).

Un descubrimiento importante fue el cladoxilopsido arborescente *Wattieza casatii* (Berry, 2000; Berry y Casas, 2024), en honor de Jhonny E. Casas, uno de sus descubridores, y cuyo paratipo (parte y contraparte), se muestra en la Figura 7. *Wattieza* es muy importante porque constituye la evidencia más antigua de árboles en el record fósil de nuestro planeta hasta la fecha. Stein, Mannolini, Vanaller, Landing y Berry (2007), reportan espectaculares especímenes encontrados en el estado de Nueva York, mostrando la corona intacta de *Wattieza*. Esta evidencia permitió a dichos autores, la reconstrucción de un árbol de al menos 8 metros de altura, con un tronco principal y largas ramas a los lados.

Una nueva especie de Iridopteridaleano fue publicada en el 2000 como *Compsocradus laevigatus* por Berry y Stein (Figura 8).





Figura 7. Parte (1) y contraparte (2) de un sistema de ramas fértiles de *Wattieza casatii* (Berry, 2000).

Además, se descubrió una nueva progimnosperma aneurofitaleana (la primera reportada en Gondwana): *Tetraxylopteris reposana* y su abundante material permitió la más detallada descripción morfológica para esa especie hasta la fecha (Hammond y Berry, 2005). De una segunda temporada de campo en la sección de Caño Colorado Sur, se reportan dos especies de *Archaeopteris* en este caso provenientes del miembro superior (Young y Moody, 2002) y quedando a futuro su detallada descripción. La más reciente publicación a mencionar, corresponde a Berry y Gensel (2019), quienes publican un artículo describiendo *Sawdonia hippotheca*, una planta vascular, mejor conocida por su gran número de espinas. A futuro, quedan todavía muchas muestras con progimnospermas, así como otras plantas fósiles, por ser estudiadas y clasificadas.

#### Palinología

Análisis de los conjuntos de mioesporas efectuados por Harvey (1999, 2001) han provisto de dataciones precisas para los dos miembros de la Formación Campo Chico en el área de estudio. El ensamblaje de palinomorfos de la Formación Campo Chico, en la sección estudiada, permitió

encontrar diferencias verticales, donde el miembro inferior se muestra dominado por palinomorfos terrestres pobremente preservados, mientras que el miembro superior contiene esporas terrestres bien preservadas, así como palinomorfos marinos (acritarcos y quitinozoos).

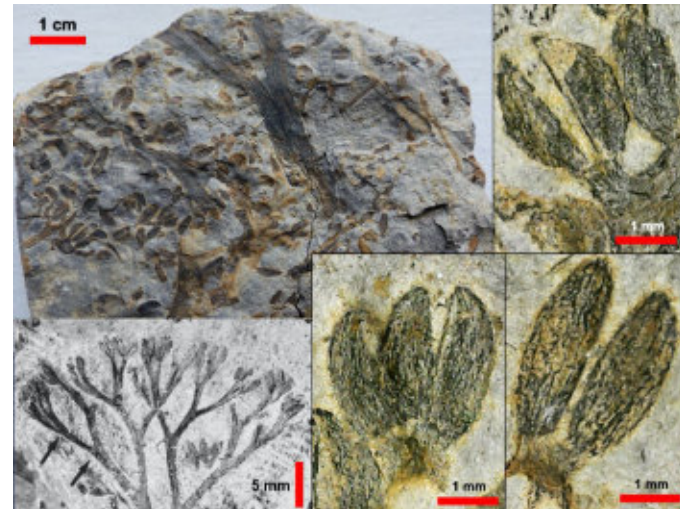


Figura 8. *Compsocradus laevigatus*. Arriba a la izquierda en muestra de mano. Abajo y a la derecha, detalle de los esporangios.

Las muestras analizadas por Harvey (2001), para el miembro inferior pertenecen al conjunto *lemurata-magnificus*, siguiendo el esquema de biozonas propuesto por Richardson y McGregor (1986), lo cual indica Givetiano medio-tardío. Adicionalmente, las muestras analizadas en las dos secciones correspondientes al miembro superior (tanto en caño Colorado Sur, como en la carretera al río Socuy) pertenecen a la asociación *ovalis-bulliferus*, indicando Frasniano temprano-medio (Richardson y McGregor, 1986). Esta datación está basada principalmente en la ocurrencia de abundantes *Verrucosporites bulliferus*, *Samarisporites triangulatus* y *Geminospora lemurata*.

#### Peces

Los restos de un grupo de peces (predominantemente placodermos) ha sido identificado tanto en capas del miembro superior como del miembro inferior de la Formación Campo Chico, caracterizándose por ser el primer registro fósil para Venezuela (y en algunos casos para Suramérica), de grandes grupos de peces devónicos de amplia distribución mundial: los placodermos antiárquidos, los filolépidos y los dipnoos. Tomados en su conjunto, el total de la fauna hallada comprende al menos nueve o diez taxones, de los

cuales cuatro son placodermos, dos o tres osteictios, un condictio y dos acantódidos.

Los estratos del miembro inferior de la formación, ubicados a lo largo de la carretera que conduce al Río Socuy, han proporcionado varias espinas, tanto in situ, como en cantos rodados, de un tiburón condictio elasmobranquio de aguas dulces (Young, 1982), identificado como *?Antarctilamna* gen. et sp. indet. El ejemplo mostrado en la Figura 9 (almacenado en la colección del Museo de Biología de la Universidad del Zulia (MBLUZ), Venezuela, bajo el número MBLUZ P-5), fue colectado in situ, en un estrato contentivo de gran cantidad de restos de plantas. También fueron halladas varias espinas de un pez acantódido asignado a *Machaeracanthus* sp. indet., así como espinas de otro acantódido indeterminado (Young y otros, 2000).

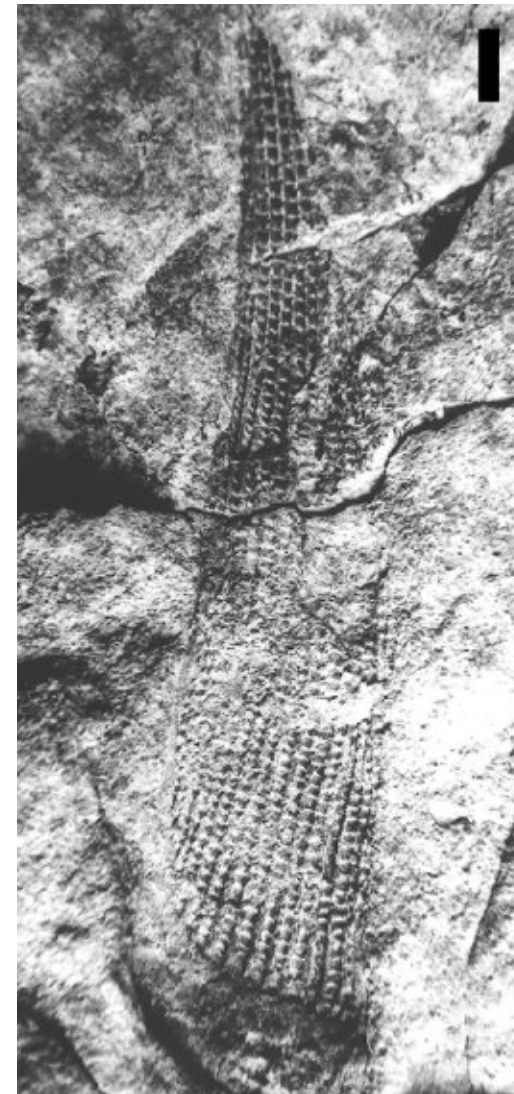


Figura 9. Fragmento de espina de tiburón condictio elasmobranquio de aguas dulces identificado como *?Antarctilamna* gen. et sp. indet. Escala grafica= 1 cm.

Cerca del contacto con la infrayacente Formación Caño del Oeste, y muy probablemente provenientes del miembro inferior de Campo Chico, han sido encontrados cantos rodados contentivos de restos de un *Phyllolepidae* gen. et sp. indet. (Berry y otros, 1997; Young y Moody, 2002). Los restos de este pez filolépido hallado en la Formación Campo Chico revelan afinidades con un género australiano y extienden la distribución geográfica de este grupo a la zona septentrional de Gondwana (Young y Moody, 2002).

Por otro lado, en las capas de la Formación Campo Chico correspondientes al Miembro Superior y ubicadas a lo largo del Caño Colorado del Sur, se han encontrado niveles fosilíferos con cientos de fragmentos de huesos y escamas, entre los que se han identificado placodermos antiárquidos (Young y Moody, 2002). En estos niveles, restos del género *Bothriolepis* son los más comunes, y donde se reportó una nueva especie: *Bothriolepis perija*, cuyo holotipo (Figura 10) también se encuentra almacenado en Museo de Biología de la Universidad del Zulia, bajo el número MBLUZ P-182 (Casas y otros, 2022).



Figura 10. Holotipo de *Bothriolepis perija*. Escala = 5 mm.

El resto de los ejemplares hallados, corresponden a asterolepidos antiárquidos que están representados por numerosos huesos y placas de un nuevo género y al menos dos especies, denominados *Venezuelepis antártica* y *Venezuelepis mingui*, ambos con afinidades filogenéticas con especies de la Antártida (Young y Moody, 2002). En estos mismos niveles estratigráficos, han sido encontradas también, algunas placas identificadas como un Ptyodontido gen. et sp. indet. (Young y Moody, 2002). Los mismos autores, también identificaron restos de al menos dos sarcopterigios



(*Osteolepido* gen. et sp. indet. y *Dipnoo* gen. et sp. indet.), siendo las placas dentarias y escamas de este último, los restos más antiguos de peces pulmonados reportados para Sudamérica, hogar todavía de uno de los tres géneros sobrevivientes (*Lepidosiren*) de peces pulmonados. Ejemplos de una placa dentaria y de una escama de un *Dipnoo* indeterminado (ejemplares almacenados en MBLUZ) se muestran en la Figura 11.1 y 11.2 respectivamente.

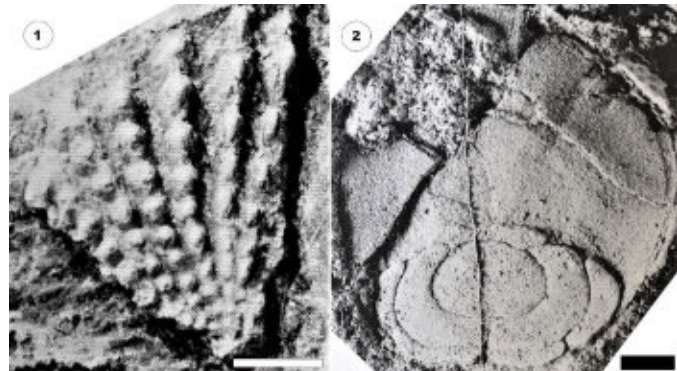


Figura 11. Placa dentaria (izquierda) y escama (derecha) de un *Dipnoo* gen. et sp. indet. Escalas graficas= 2 mm. Modificado de Young y Moody (2002).

#### EDAD DE LA FORMACION

El conjunto paleofloral descrito por Berry y otros (1992), en el miembro inferior de Campo Chico, sugiere una edad Givetiano tardío a Frasniano temprano. Esto coincide con la datación proporcionada por la asociación de restos de peces descrita hasta la fecha (Young y otros, 2000; Young y Moody, 2002). Análisis posteriores efectuados por Harvey (2001), han proporcionado mayor precisión en la datación. Por ejemplo, la sección inferior de la Formación Campo Chico expuesta en la carretera vieja al Rio Socuy, ha sido asignada, basada en la asociación de mioesporas, al Givetiano medio-tardío. La sección inferior también expuesta en la sección de carretera nueva, contiene elementos que la datan como Givetiano tardío a Frasniano temprano.

La asociación de mioesporas de la parte superior de Campo Chico, expuesta en el nuevo corte de carretera, indica Frasniano medio (Harvey, 1999), al igual que las muestras examinadas también de la parte superior de Campo Chico, pero ahora en la sección que aflora en Caño Colorado Sur. Por todo lo anterior, la edad de las secciones estudiadas en los afloramientos de la Formación Campo Chico a partir del análisis de mioesporas, abarcaría desde el Givetiano medio al Frasniano medio (Figura 12).

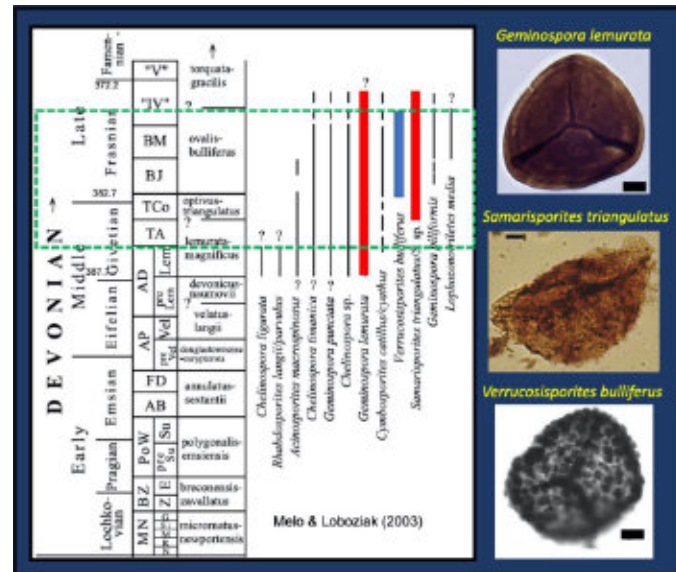


Figura 12. Asociación de mioesporas identificada en la Formación Campo Chico.

#### PALEOBIOGEOGRAFIA

##### Paleofitogeografía

El conjunto floral devónico, hallado en la Sierra de Perijá (Venezuela), presenta afinidad al hallado y descrito en el estado de Nueva York (USA), tanto en rangos taxonómicos altos como a nivel genérico. Esta comparación es particularmente similar en la flora de licófitos herbáceos (Hammond y Berry, 2005). En términos de diversidad, la distribución de la flora de la Formación Campo Chico a través del intervalo Givetiano-Frasniano y la similitud de su composición, con la existente en áreas del paleocontinente de Euramérica, (ej. área de Catskills, en el estado de New York), soportan el concepto de una vegetación predominantemente uniforme a nivel mundial (Hammond y Berry, 2005), en regiones dentro del mismo cinturón climático.

##### Paleobiogeografía

La fauna de peces fósiles descubierta en la Sierra de Perijá representa el primer registro para Suramérica de algunos de los grandes grupos de peces devónicos, y ocurre en un área donde previamente los invertebrados de la infrayacente Formación Caño del Oeste (Benedetto, 1984) y plantas fósiles devónicas de Campo Chico (Berry y otros, 1997; Casas y otros, 1990; Hammond y Berry, 2005), muestran una clara afinidad con la región este de Norteamérica. También del lado colombiano, Pastor y otros (2013), concluyen que la Formación La Floresta (equivalente a la parte inferior-media del Grupo Rio Cachiri en el lado venezolano), muestra una fauna de braquiópodos que permite inferir

un corredor, conectando Ecuador, Colombia y el noroeste de Venezuela, con México y el este de los Estados Unidos.

Young y otros (2000), describen cuatro grandes grupos de peces (filolépidos, placodermos antiárquidos, y los dipnoos o dipneustos) para la Formación Campo Chico (Givetiano medio-Frasniano medio), ampliamente distribuidos en muchos continentes, sin embargo, la presencia de elementos endémicos está representada por un tiburón antartilamnido (Casas y otros, 1992; Young y otros, 2000), y por un filolépido, indicando una clara afinidad Gondwana (Young 1982, 2003). Young (2003), señala que los filolépidos son un grupo clave para entender la compleja interacción de las faunas vertebradas no-marinas entre Gondwana y Euramérica ya que además presentan una bioestratigrafía y biogeografía muy clara, donde el grupo está muy bien documentado para el Givetiano-Frasniano únicamente en Gondwana y ya para el Frasniano aparece reportado en Euramérica. También los descubrimientos de peces devónicos, efectuados por Janvier y Villarroel (1998, 2000), en Colombia, apuntan a que las faunas descritas por dichos autores, reflejan similitud entre el margen noroeste de Gondwana y el margen sureste de Euramérica, pero resaltando los elementos de afinidad Gondwanica.

##### RELACIONES PALEOGEOGRÁFICAS GENERALES

Gran cantidad de reconstrucciones para el tiempo Devónico, muestran a los bloques continentales en dos grandes masas terrestres. En primer lugar, Gondwana, compuesto por Suramérica, África, Arabia, India, Australia y Antártida. Un segundo supercontinente al norte, compuesto por Euramérica, Groenlandia, la región Báltica y parte de Asia, denominado en su conjunto Laurasia.

Las unidades continentales existentes para el Devónico varían ampliamente dependiendo del criterio paleomagnético utilizado por cada autor. Por ejemplo, las interpretaciones paleogeográficas publicadas por Kent y Van der Voo (1990) y por Tait, Schatz, Bachtadse y Soffel (2000), muestran a Gondwana y Laurasia separadas por un amplio océano para el Devónico medio, mientras que por el contrario, la interpretación de Scotese y McKerrow (1990) y Boucot, Xu y Scotese (2013), los muestra muy cercanos. Young y Moody (2002), colocan a estas localidades continentales en cercana proximidad, basados en el patrón de distribución en tiempo y espacio de las faunas de peces

y paleoflora descritas para la Formación Campo Chico en Venezuela, así como para la Formación Cucho en Colombia, descrita por Janvier y Villarroel (1998). La ocurrencia de *Machaeracanthus* en Norteamérica podría ser otra pieza de evidencia según Young y Moody (2002), de un posible contacto o cierre del océano entre el noroeste de Gondwana y el este de Euramérica hacia finales del Frasniano.

Young y Moody (2002), concluyen que la Formación Campo Chico en la Sierra de Perijá, con su particular contenido de fauna fósil de peces, es biogeográficamente una extensión del margen norte de Gondwana. Young y otros (2000), establecen cierto endemismo para el Givetiano-Frasniano en cuanto a la fauna de peces hallada, lo que pareciera indicar la existencia de una persistente barrera marina entre Gondwana y Laurasia para este tiempo. Esta barrera pudo de igual manera no haber sido muy amplia, ya que las faunas de braquiópodos reportadas en los estratos devónicos de Venezuela (Formación Caño del Oeste) y el área este de los Estados Unidos (Nueva York) son muy similares, incluso a nivel de especies, tanto que hasta una yuxtaposición entre estas regiones había sido sugerida por Benedetto (1984), para el Givetiano inferior a medio.

La fauna de peces hallada en la Formación Campo Chico (Givetiano-Frasniano), ubicada en Venezuela y en la Formación Cucho (Frasniano) ubicada en Colombia, es muy similar en cuanto a que es dominada por placodermos y osteictios dentro de un amplio cinturón intertropical devónico, descrito por Janvier (2007), para el margen norte de Gondwana y el margen sureste de Euramérica, sugiriendo además intercambios faunales menores entre ambos continentes para finales del tiempo Frasniano.

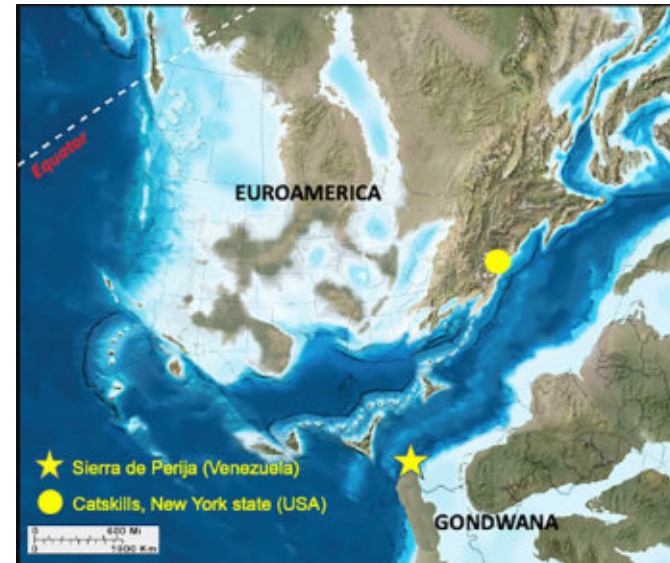
Como han señalado con anterioridad Young y otros (2000) y Young y Moody (2002), la dispersión selectiva de peces marinos marginales y posiblemente de agua dulce desde Gondwana hacia Euramérica requirió un contacto cercano o conexiones marinas en aguas muy poco profundas. entre las dos masas de tierra durante el Frasniano tardío o el Fameniense temprano. Los nuevos modelos tienden a considerar la existencia de un contacto más cercano entre Gondwana y Euramérica en el Devónico Tardío al nivel del actual este de Norteamérica y el noroeste de Suramérica (Janvier y Maisey, 2010).



Igualmente, los conjuntos de plantas descritos para Perijá y el estado de Nueva York, también muestran una clara afinidad, como ya se mencionó, tal vez debido a que la capacidad de colonizar grandes áreas, no fue detenida por la posible existencia de una estrecha barrera marina, que en cambio pudo haber impedido la migración de peces de agua dulce entre las dos masas continentales (Berry y otros, 1993; Young y otros, 2000; Young y Moody, 2003). Este escenario pudiera sugerir que las floras de ambas regiones fueron acumuladas en sistemas sedimentarios de latitud, condiciones ambientales y climáticas, similares.

Graficando las ocurrencias fosilíferas de Sierra de Perijá y Nueva York (Catskills), en la reconstrucción paleocontinental hecha por Boucot y otros (2013), para el tiempo Fameniano, se visualiza que las dos localidades estarían ubicadas en un cinturón de temperaturas cálidas y con posibles puentes terrestres entre el noroeste de Gondwana y el sureste de Euramérica. Estos puentes pueden haber sido intermitentes a partir del Frasniano, conectando ambos continentes ya para finales del Devónico (Hammond y Berry, 2005; Blakey, 2020), durante el tiempo Fameniano (Figura 13).

La alta complejidad tectónica del Paleozoico–Mesozoico en la Sierra de Perijá, ha llevado a algunos autores a sugerir que la estratigrafía en dicha región estaría compuesta por bloques alóctonos emplazados durante el Jurásico (Maze, 1984). Mas recientemente, Restrepo y Toussaint (2020) postulan la acreción hacia finales del Paleozoico, del bloque denominado Chibcha, sobre el cratón Amazónico perteneciente a Gondwana (la Formación Campo Chico se encuentra ubicada en la parte norte del denominado bloque Chibcha). Sin embargo, las afinidades biogeográficas de la mayor parte de la fauna de peces descritas en la Formación Campo Chico, excluyen un origen que no sea como parte de Gondwana, al menos durante el Givetiano medio–Frasniano medio. Análisis geoquímicos e isotópicos efectuados por Van der Leij, Spikings, Ulianov, Chiaradia y Mora (2016), parecieran confirmar que al menos las rocas ígneas y metamórficas que conforman el Paleozoico–Mesozoico del macizo Santander, Santa Marta, la Sierra de Perijá y los Andes de Mérida, son autóctonas de Gondwana.



**Figura 13.** Reconstrucción paleogeográfica para el Frasniano, mostrando la posible ubicación geográfica cercana entre la Sierra de Perijá (Gondwana), y el área de Catskills, Nueva York (Euroamérica), separadas por una estrecha barrera marina (modificado de Blakey, 2020).

### CONCLUSIONES

El estudio geológico detallado de los afloramientos presentes en el área de estudio, permitió definir a la Formación Campo Chico como un ciclo fluvio/deltaico de sedimentos, con rápidas y cortas incursiones marinas, sobre todo hacia la parte superior de la misma.

La edad de las secciones estudiadas en los afloramientos de la Formación Campo Chico a partir del análisis de mioesporas, permite delimitarla entre el Givetiano medio y el Frasniano medio.

El conjunto floral fósil devónico hallado en la Sierra de Perijá, es dominado por licófitos, tanto en número de especies como en abundancia, y es el más diverso, reportado hasta los momentos en los continentes que conformaron la antigua Gondwana. La importancia de estos descubrimientos viene realizada por la excelente preservación y diversidad que permite incrementar notablemente el conocimiento de las características morfológicas y la distribución de estas plantas, por lo que esta región se ha convertido en una de las localidades clásicas mundiales para el Devónico medio–superior.

La evidencia paleobotánica sugiere que para el tiempo de acumulación de las rocas que contienen estas plantas fósiles en Perijá, existía una relativamente libre migración de plantas desde y hacia la región ocupada por el actual estado de New York (USA). Este hecho

parece sugerir proximidad geográfica o climática entre ambas áreas durante al menos el tiempo Givetiano–Frasniano, es por ello que, bajo este escenario propuesto, las paleofloras de Perijá y New York, posiblemente pudieron ser depositadas en sistemas sedimentarios de latitudes similares, donde estos conjuntos florales pudieran representar dos ventanas en un continuo cinturón de vegetación, distribuido a lo largo de una extensa línea de costa hacia finales del Devónico.

La fauna de vertebrados fósiles encontrada y descrita a lo largo de los últimos 30 años en la Formación Campo Chico es dominada por placodermos, pero también incluye osteictios, condictios y acantódidos, donde la asociación es interpretada como Givetiano–Frasniano; constituyendo en su momento, la primera referencia de estos peces Devónicos, para Venezuela; y algunos de ellos, además, la primera referencia para Sudamérica.

### REFERENCIAS

- Benedetto, J. L.** (1980). Síntesis bioestratigráfica del Paleozoico tardío en la Sierra de Perijá, Venezuela. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 52, 827–839.
- Benedetto, J. L.** (1984). Les Brachiopodes Devoniens de la Sierra de Perijá (Venezuela): systematiques et implications paleographiques. *Biostratigraphie du Paleozoique*. Université de Bretagne Occidentale. <http://pi.lib.uchicago.edu/1001/cat/bib/890187>
- Berry, C. M.** (1993). *Devonian plant assemblage from Venezuela*. (Tesis Doctoral), University of Wales, Reino Unido.
- Berry, C. M., Casas, J. E. y Moody, J. M.** (1992). Diverse Devonian Plant assemblages from Venezuela. *Documents des Laboratoire de Géologie de Lyon*, 125, 29–42. [https://www.persee.fr/doc/geoly\\_0750-6635\\_1993\\_act\\_125\\_1\\_1546](https://www.persee.fr/doc/geoly_0750-6635_1993_act_125_1_1546)
- Berry, C. M., Casas, J. E., Moody, J. M. y Young, G.** (1997). Síntesis estratigráfica y paleontológica de la Formación Campo Chico (Devónico Medio–Superior), Sierra de Perijá. *Memorias del 8º Congreso Geológico Venezolano, Sociedad Venezolana de Geólogos Vol. 1* (pp. 125–132). Porlamar, Venezuela.
- Berry, C. M. y Edwards, D.** (1997). A new species of the lycopsid *Gilboaphyton* Arnold from the Devonian of Venezuela and New York State, with a revision of the closely related genus *Archaeosigillaria* Kidston. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 96(1), 47–70. [https://doi.org/10.1016/S0034-6667\(96\)00015-2](https://doi.org/10.1016/S0034-6667(96)00015-2)
- Berry, C. M. y Gensel, P.** (2019). Late Mid Devonian *Sawdonia* (Zosterophyllopsida) from Venezuela. *International Journal of Plant Sciences*, 180(6), 540–557. <https://doi.org/10.1086/702940>
- Berry, C.M. y Casas, J.E.** (2024) *Wattieza* - The World's Oldest Giant Cladoxylopsid Tree And The First Forests During Devonian Times. *Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*. Vol. LXXXIV, n.º 2, pp. 13-17 [https://acifiman.org/boletines\\_articulos/wattieza-the-worlds-oldest-giant-cladoxylopsid-tree-and-the-first-forests-during-devonian-times/](https://acifiman.org/boletines_articulos/wattieza-the-worlds-oldest-giant-cladoxylopsid-tree-and-the-first-forests-during-devonian-times/)
- Blakey, R. C.** (2008). Gondwana paleogeography from assembly to breakup - A 500 m.y. Odyssey. En C. R. Fielding, T. D. Frank y J. L. Isbell (Eds.), *Resolving the Late Paleozoic Ice Age in Time and Space* (pp. 1–28). *Geological Society of America Special Paper* 441. [https://doi.org/10.1130/2008.2441\(01\)](https://doi.org/10.1130/2008.2441(01))
- Blakey, R. C.** (2020). Deep Time Maps. Recuperado el 15 de octubre de 2021, <https://deeptimemaps.com/north-america/>
- Boucot, A. J.** (1985). Late Silurian–Early Devonian biogeography, provincialism, evolution and extinction. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 309(1138), 323–339. <https://doi.org/10.1098/rstb.1985.0089>
- Boucot, A. J., Xu, C. y Scotese, C.** (2013). Phanerozoic Paleoclimate: An Atlas of Lithologic Indicators of Climate. *SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology*, 11, 478 p.
- Casas, J. E., Berry, C. M. y Moody, J.** (1990). Estudio Paleontológico de la Formación Campo Chico (Devónico medio–superior). Maraven (Filial de Petróleos de Venezuela), Reporte Interno. Informe Técnico #10905. 20 p.
- Casas, J. E., Moody, J. M. y Young, G. C.** (1992). Vertebrados fósiles de la Formación Campo Chico (Devónico medio–superior). Maraven (Filial de Petróleos de Venezuela), Reporte Interno EPC-12.972, Caracas, 20 p.

El componente endémico de la fauna de peces, es de clara afinidad Gondwana, pero la existencia de elementos florales en común con Norteamérica, parece evidenciar una posible cercanía o cierre del océano entre el noroeste de Gondwana y el este de Euramérica, durante el tiempo Frasniano–Fameniano. La definitiva afinidad Gondwana podría interpretarse como indicio de la existencia de una estrecha pero persistente barrera marina que impidió la migración de los peces de agua dulce hacia Euramérica, al menos durante el tiempo de sedimentación de la Formación Campo Chico.



- Casas, J.E., Berry, C., Moody, J. y Young, G.** (2022). Formación Campo Chico, una increíble ventana a la flora y fauna fósil del Devónico (Givetiano–Frasniano) en la Sierra de Perijá, Venezuela. *PeAPA* 22 (1): 20–35.  
<http://dx.doi.org/10.5710/PEAPA.08.03.2022.401>
- Edwards, D. y Benedetto, J. L.** (1985). Two new species of herbaceous lycopods from the Devonian of Venezuela with comments on their taphonomy. *Palaeontology*, 28(3), 599–618.
- González de Juana, C., Iturralde, J. M. y Picard, X.** (1980). *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas* (pp. 124–126). Ediciones Foninves, Caracas.
- Hammond, S. y Berry, C. M.** (2005). A new species of Tetraxlopteris (Aneurophytales) from the Devonian of Venezuela. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 148(3), 275–303. <https://doi:10.1111/j.1095-8339.2005.00418.x>
- Harvey, C.** (1999). Middle and Upper Devonian palynology of the Sierra de Perijá, western Venezuela. *Palaeontological Association Newsletter* (abstracts), 42, 17–18.
- Harvey, C.** (2001). *Palynology and Coal Analysis of the Devonian Campo Chico Formation, Western Venezuela*. (Tesis Doctoral), University of Sheffield, Reino Unido, 205 p.
- Janvier, P.** (2007). The Devonian vertebrates of South America: Malvinokaffric fishes and Gondwana-Euramerica faunal interchange. En E. Díaz-Martínez y I. Rábano (Eds.), 4th European Meeting on the Palaeontology and Stratigraphy of Latin America. Cuadernos del Museo Geominero, Nº 8. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Janvier, P. y Villarroel, C.** (1998). Los peces Devónicos del Macizo de Floresta (Boyacá, Colombia). Consideraciones taxonómicas, bioestratigráficas, biogeográficas y ambientales. *Geología Colombiana*, 23, 3–18.  
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/geocol/article/view/31461>
- Janvier, P. y Villarroel, C.** (2000). Devonian vertebrates from Colombia. *Palaeontology*, 43, 729–763. <https://doi.org/10.1111/1475-4983.00147>
- Janvier, P. y Maisey, J.G.** (2010). The Devonian vertebrates of South America and their biogeographical relationships. En D. K. Elliott, J. G. Maisey, X. Yu & D. Miao (Eds.), *Morphology, Phylogeny and Paleobiogeography of Fossil Fishes*, (pp. 431–459). Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, Germany
- Kellogg, J.** (1984). Cenozoic tectonic history of the Sierra de Perijá, Venezuela-Colombia, and adjacent basins. *Geological Society of America*, 162, 239–261.
- Kent, V. y Van Der Voo, R.** (1990). Palaeozoic Palaeogeography from paleomagnetism of the Atlantic-bordering continents. En W. McKerrow y C. Scotese (Eds.), *Palaeozoic Palaeogeography and Biogeography* (pp. 49–56). *Geological Society Memoir* 12, London.
- Li, Z. X. y Powell, C. M.** (2001). An outline of the palaeogeographical evolution of the Australasian region since the beginning of the Neoproterozoic. *Earth Science Reviews*, 53, 237–277.
- Liddle, R. A., Harris, G. D. y Wells, J. W.** (1943). The Río Cachirí section in the Sierra de Perijá, Venezuela. *Bulletin of American Paleontology*, 27(108), 273–368.
- Maze, W.** (1984). Jurassic La Quinta Formation in the Sierra de Perijá, northwestern Venezuela: Geology and tectonic environment of red beds and volcanic rocks. *Geological Society of America*, 162, 263–282.
- Olive, S., Pradel, A., Martínez-Pérez, C., Janvier, P., Lamsdell, J. C., Gueriau, P., Rabet, N., Duranleau-Gagnon, P., Cárdenas-Rozo, A. L., Zapata, P. A. y Botella, H.** (2019). New insights into Late Devonian vertebrates and associated fauna from the Cucho Formation (Floresta massif, Colombia). *Journal of Vertebrate Paleontology*, 39(23), 1–19.
- Pastor, A., Reyes, J., Cáceres, C., Sarmiento, G. y Cramer, T.** (2013). Análisis estratigráfico de la sucesión del Devónico-Pérmico al oriente de Manaure y San José de Oriente (Serranía del Perijá, Colombia). *Geología Colombiana*, 38, 5–24.
- Prestianni, C., Meyer-Berthaud, B., Blanchard, R., Rücklin, M., Clément, G. y Gerrienne, P.** (2012). The Middle Devonian plant assemblage from Dechra Ait Abdallah (Central Morocco) revisited. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 179, 44–55.  
<https://doi:10.1016/j.revpalbo.2012.03.011>
- Restrepo, J. J. y Toussaint, J. F.** (2020). Tectonostratigraphic Terranes in Colombia: An Update. First Part: Continental Terranes. En J. Gómez y D. Mateus-Zabala (Eds.), *The Geology of Colombia, Volume 1 Proterozoic – Paleozoic* (pp. 37–63). *Servicio Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales* 35. <https://doi.org/10.32685/pub.esp.35.2019.03>
- Richardson, J. B. y McGregor, D. C.** (1986). Silurian and Devonian spore zones of the Old Red Sandstone Continent and adjacent regions. *Bulletin of Geological Survey of Canada*, 364, 1–79.
- Scotese, C.** (2003) Paleomap Project. Recuperado el 15 de octubre de 2021, <http://www.scotese.com/ldevclim.htm>
- Scotese, C. y McKerrow, W.** (1990). Revised world maps and introduction. En W. McKerrow y C. Scotese (Eds.), *Palaeozoic Palaeogeography and Biogeography* (pp. 1–21). *Geological Society Memoir*, 12, London.
- Stein, W. Mannolini, F., VanAller, L., Landing, E. y Berry, C.** (2007). Giant cladoxylopsid trees resolve the enigma of the Earth's earliest forest stumps at Gilboa. *Nature*, 446, 904–907.
- Sutton, F. A.** (1946). Geology of Maracaibo Basin, Venezuela. *American Association of Petroleum Geology*, 30(10), 1621–1741.

- Tait, J., Schatz, M., Bachtadse, V. y Soffel, H.** (2000). Palaeomagnetism and Palaeozoic paleogeography of Gondwana and European terranes. En W. Franke, V. Haak, O. Oncken y D. Tanner (Eds.), *Orogenic Processes: Quantification and Modelling in the Variscan Belt* (pp. 21–34). *Geological Society of London, Special Publication* 179, London.
- Van der Lelij, R., Spikings, R., Ulianov, A., Chiaradia, M. y Mora, A.** (2016). Palaeozoic to Early Jurassic history of the northwestern corner of Gondwana, and implications for the evolution of the Iapetus, Rheic and Pacific Oceans. *Gondwana Research*, 31, 271–294.
- Weisbord, N.** (1926). Venezuelan Devonian fossils. *Bulletin of American Paleontology*, 11(46), 223–268.
- Young, G. C.** (1982). Devonian sharks from South-eastern Australia and Antarctica. *Palaeontology*, 25(4), 817–843.
- Young, G. C.** (1993). Vertebrate Faunal Provinces in the Middle Palaeozoic. En J. Long (Ed.), *Palaeozoic Vertebrate Biostratigraphy and Biogeography* (pp. 293–323). Belhaven Press, London.
- Young, G. C.** (2003). North Gondwana mid-Palaeozoic connections with Euramerica and Asia: Devonian vertebrate evidence. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, 242, 169–185.
- Young, G. C., Burrow, C., Long, J. A., Turner, S. y Choo, B.** (2010). Devonian macrovertebrate assemblages and biogeography of East Gondwana (Australasia, Antarctica). *Palaeoworld*, 19, 55–74. <https://doi:10.1016/j.palwor.2009.11.005>
- Young, G. C. y Moody, J. M.** (2002). A Middle-Late Devonian fish fauna from the Sierra de Perijá, western Venezuela, South America. *Mitteilung Museum Naturkunde Berlin Geowiss Reihe*, 5, 155–206. <https://doi.org/10.1002/mmng.20020050111>
- Young, G. C., Moody, J. M. y Casas, J. E.** (2000). New discoveries of Devonian vertebrates from South America, and implications for Gondwana-Euramerica contact. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 331, 755–761.



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

**MSc. Jhonny E. Casas** Autor/Co-autor en 57 publicaciones para diferentes boletines y revistas técnicas, como: Bulletin of Canadian Petroleum Geology, Geophysics, The Leading Edge, Asociación Paleontológica Argentina, Paleontology, Journal of Petroleum Geology, y Caribbean Journal of Earth Sciences; incluyendo presentaciones en eventos técnicos: AAPG, SPE, CSPG-SEPM y Congresos Geológicos en Venezuela y Colombia, así como artículos históricos de exploración en la revista Explorer. Profesor de Geología del Petróleo en la Universidad Central de Venezuela (1996-2004). Profesor de materias de postgrado tales como: Estratigrafía Secuencial, Modelos de Facies y Análogos de afloramiento para la caracterización de yacimientos (2003-2024), en la misma universidad. Mentor en 11 tesis de maestría. Representante regional para la International Association of Sedimentologist (2020-2026) y ExDirector de Educación en la American Association of Petroleum Geologists (AAPG) para la región de Latinoamérica y del Caribe (2021-2023). Advisory Counselor para AAPG LACR (2023-2026).



[BerryCM@cardiff.ac.uk](mailto:BerryCM@cardiff.ac.uk)

**Dr. Christopher Berry** es un paleobotánico que se especializa en comprender la radiación temprana de los grandes grupos de plantas y el nacimiento de los ecosistemas forestales en el período Devónico, hace unos 380 millones de años. Esto se basa en la formación que recibió de la profesora Dianne Edwards, FRS y de Muriel Fairon-Demaret (Lieja, Bélgica). Su experiencia se basa en un apasionante programa de trabajo de campo en lugares tan variados como: Svalbard, Groenlandia, China, EE. UU., Venezuela, Colombia, Argentina, Europa; y una preparación de los fósiles recuperados, en los laboratorios de Cardiff. Sus publicaciones de más alto perfil, que versan sobre los primeros bosques fósiles y el crecimiento de los primeros árboles, han recibido publicidad mundial.





[themoldbones@earthlink.net](mailto:themoldbones@earthlink.net)

**John M. Moody** comenzó su interés por la paleontología cuando era un niño, en un pequeño pueblo de Texas, donde visitaba el lago Texoma y admiraba la riqueza de fósiles que lo rodeaba. Esto lo llevó a una larga carrera en geología a través de la cual fue pionero en el descubrimiento de fósiles nunca antes descritos en Venezuela, estableciendo un programa de geología en el museo de la Universidad del Zulia, asesorando a futuros líderes en el campo y teniendo al menos tres especies previamente desconocidas nombradas en su honor. También es un autor prolífico con 25 libros publicados de aventuras y misterio. Actualmente John enseña en Grayson College, Texas.



[gavinyoung51@gmail.com](mailto:gavinyoung51@gmail.com)

**Dr. Gavin Young**

Graduado en Geología en 1969, y con PhD en 1976; trabajó desde 1977 como geólogo/paleontólogo en BMR (más tarde Organización de Estudios Geológicos de Australia; AGSO). Llevó a cabo estudios geológicos y datación de estratos sedimentarios (bioestratigrafía) para apoyar la exploración de minerales e hidrocarburos en las cuencas sedimentarias terrestres de Australia. Esto incluyó una extensa geología de campo y recolección en toda Australia y en el extranjero (por ejemplo, América del Sur y del Norte, Europa, Rusia, Irán, Malasia, Vietnam, China). Fue investigador científico principal en AGSO 1989-1997. Regresó al Departamento de Geología de la ANU en 1997 como miembro visitante. Fue profesor visitante en el Muséum national d'Histoire Naturelle, París (1999), y en el Museum für Naturkunde, Berlín (2001-2003). Fue investigador del ARC en la Escuela de Investigación de Ciencias de la Tierra de la ANU 2007-2010. Mas recientemente, Gavin Young trabajo en el Departamento de Matemáticas Aplicadas de la ANU, Escuela de Investigación de Física, donde se utilizan instalaciones de escaneo XCT de alta resolución e impresión 3D para analizar la morfología interna de la caja del cerebro de los vertebrados fósiles australianos. Actualmente el Dr. Young se encuentra disfrutando su jubilación.

## El potencial económico del Bloque de Yucatán en México, Guatemala y Belice

**Joshua H. Rosenfeld**

Geólogo Independiente  
Granbury, Texas, EE.UU  
[jhrosenfeld@gmail.com](mailto:jhrosenfeld@gmail.com)

### Resumen

El Bloque de Yucatán es una microplaca continental que cubre 450,000 km<sup>2</sup> en el sur de México, el norte de Guatemala y el norte de Belice. Su zócalo cristalino está cubierto por una plataforma evaporítica/carbonatada de hasta seis km de espesor depositada desde el Jurásico Tardío hasta el Reciente. El margen sur del bloque se suturó contra la microplaca Chortis en el Cretácico Tardío y siguió siendo afectado por movimientos relativos sinestrales desde el Mioceno hasta el Reciente. El margen oriental de Yucatán se modificó en el Paleoceno por el movimiento transcurrente del Arco Cubano hacia el norte.

Ha habido muy poca sedimentación terrígena en Yucatán desde el Jurásico Medio por la falta de relieve local y el aislamiento de terrenos levantados desde la separación de América del Norte y Suramérica. Haciendo referencia a la geología económica, hay acumulaciones grandes de hidrocarburos al occidente del Bloque de Yucatán en las Tendencias Reforma y Campeche, y en la Cuenca de Macuspana. Se ha encontrado petróleo también al sur-occidente en la Faja Plegada de Chiapas y Guatemala (Sierra de Chiapas). Sin embargo, hasta la fecha se ha descubierto solamente un yacimiento comercial de aceite en el Bloque de Yucatán (el Campo Xan de Guatemala). La exploración para recursos metálicos se ha limitado a una pequeña área del zócalo cristalino expuesto en las Montañas Mayas de Belice.

A pesar del modesto éxito económico logrado hasta la fecha, es la opinión del autor que el potencial del Bloque de Yucatán no debe ser menospreciado porque los esfuerzos exploratorios han sido esporádicos y sin la tecnología idónea. Hay una clara necesidad de adquirir nuevos estudios de sísmica regional de alta calidad para revelar la configuración estructural y la arquitectura sedimentaria del bloque. Entre los numerosos factores geológicos que aun no han sido entendidos se mencionan los siguientes:

- 1) la geometría de las estructuras de *rift* (pilares y fosas) del Triásico-Jurásico.
- 2) la presencia y las geometrías de las cuencas de plataforma interna, con sus probables rocas generadoras y crecimientos calcáreos.
- 3) el paleoflujo de calor que afectaba la maduración orgánica.
- 4) los efectos adentro del bloque de la tectónica en sus márgenes, *e.g.*, basculamiento, compresión, movimientos transcurrentes y movimientos en masa.
- 5) los efectos del impacto meteorítico "Chicxulub" del límite Cretácico-Terciario.

Palabras Clave: *Yucatán, Chicxulub, Xan, Petróleo*

### Abstract

The Yucatan Block is a rifted continental microplate covering 450,000 km<sup>2</sup> of southern Mexico, northern Guatemala and Belize. The crystalline basement is mantled by a Late Jurassic through Recent carbonate/evaporite platform up to six km thick. The southern margin of the block was affected by Late Cretaceous suturing to the Chortis microplate followed by Miocene to Recent strike slip faulting. Its eastern margin was modified by Paleogene strike-slip against the Cuban Arc Terrane. The Yucatan Block has received very little terrigenous sedimentation since it was isolated from nearby landmasses by the Jurassic separation of North and South America.



There is major hydrocarbon production in Mexico from the area immediately west of the Yucatan Block in the Reforma Trend, Campeche Sound and the Macuspana Basin. Oil has also been found in the Sierra de Chiapas west and south of the block in Guatemala and Mexico; yet only one commercial oil accumulation has been found to date on the block itself, *i.e.* Xan Field in Guatemala. Mineral exploration has been limited to the small area of exposed basement in the Maya Mountains of Belize.

Based on current knowledge, it is the author's opinion that the economic potential of the Yucatan Block cannot be discounted. Hydrocarbon exploration has been sporadic and generally low-tech, and there is a clear need for high quality regional seismic data to reveal the area's structural configuration and sedimentary architecture. Among the many geological factors to be understood are:

- 1) the geometry of Triassic-Jurassic rift structures (horsts and graben).
- 2) the location and geometries of possible Jurassic and Cretaceous intraplateform hydrocarbon source basins, potential carbonate buildups, and structural traps within the evaporite/carbonate section.
- 3) paleo-heatflow as it affected organic maturation.
- 4) the effects within the block of tectonics along its margins (tilting, mass wasting and foreland bulging)
- 5) the effects of the Chicxulub K/T astrobleme.

Keywords: *Yucatán, Chicxulub, Xan, Petroleum*

## 1. Introducción

El Bloque de Yucatán cubre aproximadamente 450,000 km<sup>2</sup> sobre tierra y la plataforma continental de México, Guatemala y Belice (Figura 1). Desde finales del Paleozoico el bloque ha sido un elemento cratónico estable, cuyos márgenes han sido modificados extensamente desde su aislamiento en el Jurásico Temprano como una microplaca entre América del Sur y América del Norte. Desde el Jurásico Tardío, el Bloque de Yucatán ha sido cubierto por un espesor considerable de carbonatos (dolomía/caliza) y evaporitas (yeso/anhidrita) perteneciente a la Plataforma de Yucatán. La plataforma se extendió hacia el occidente hasta la posición actual de la Sierra de Chiapas y la Tendencia de Reforma. El margen sur del bloque fue comprimido contra el Bloque de Chortis en el Cretácico Tardío y algunos segmentos fueron desplazados al oriente entre el Mioceno y el Reciente por movimientos izquierdos en el sistema de fallas Motagua-Polochic. El margen oriental del bloque fue cercenado en el Paleógeno por movimientos izquierdos relacionados al desplazamiento hacia el norte del Arco Cubano y se encuentran fragmentos desplazados de Yucatán en el occidente de Cuba (Iturralde-Vinent, 1994).

Los eventos deformacionales que han tenido influencia sobre los recursos petrolíferos y metálicos de Yucatán incluyen:

- 1) el *rifting* desde el Triásico Tardío hasta el Jurásico Medio.
- 2) la colisión con Chortis en el Cretácico Tardío.
- 3) el impacto del asteroide (o cometa) en el límite cretácico-terciario (K/T).
- 4) el basculamiento de Yucatán hacia el occidente desde el Cretácico hasta el Neógeno.

Los episodios sedimentarios relacionados a estos

eventos tectónicos incluyen:

- 1) el depósito de capas rojas y arenas eólicas en el Jurásico Temprano y Medio.
- 2) la inundación marina en el Jurásico Tardío/Cretácico Temprano y la acumulación de carbonatos y evaporitas (principalmente yeso-anhidrita) desde el Jurásico Tardío hasta el Reciente.
- 3) los movimientos en masa, el fracturamiento y la formación de brechas en el límite K/T debido al impacto de Chicxulub.

A pesar de contar con una sección sedimentaria muy gruesa y la presencia de producción de aceite en Guatemala, la mayor parte del bloque de Yucatán no ha sido cubierta por líneas sísmicas regionales. Hay menos

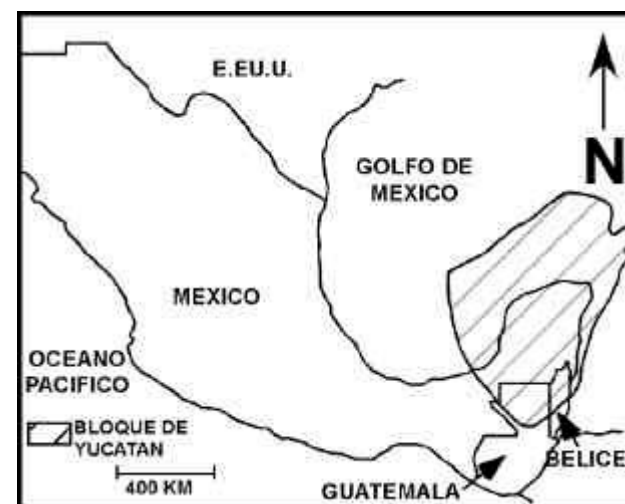


Figura 1. Mapa de localización del Bloque de Yucatán.

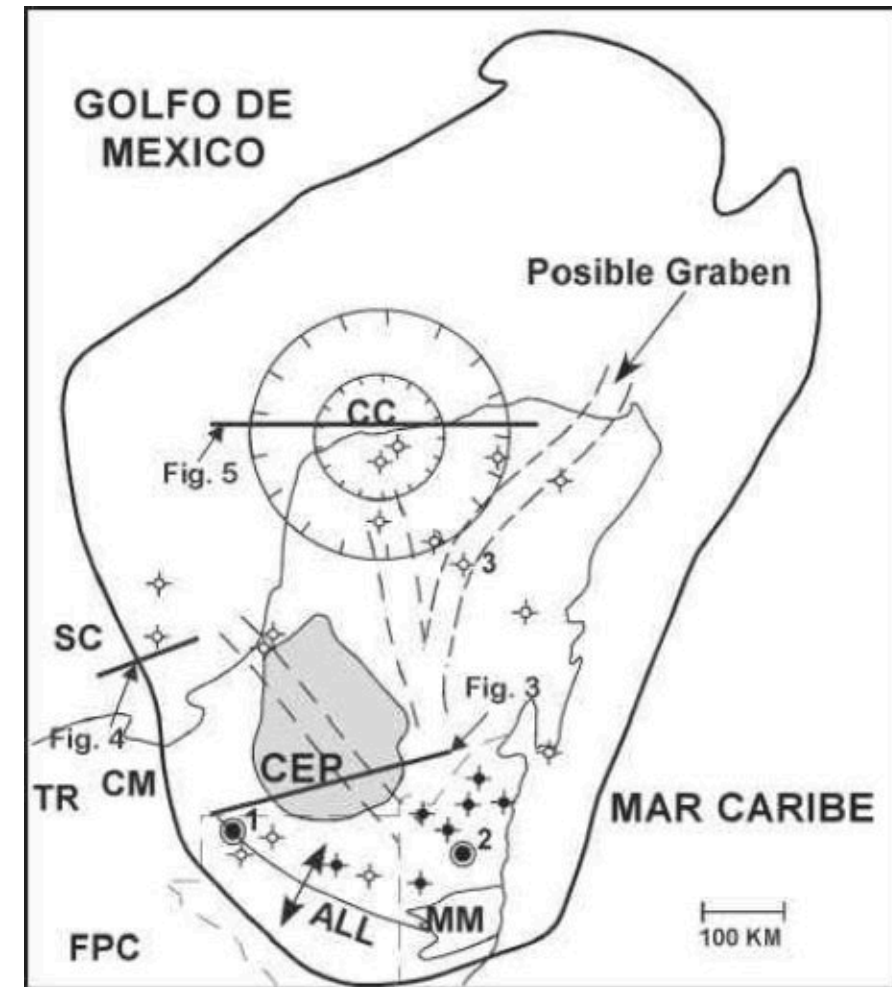


Figura 2. Elementos tectónicos y pozos relevantes a los recursos económicos en el Bloque Yucatán. ALL: Arco de la Libertad; CC: Gráter de Chicxulub; CEP: Cuenca de Entreplataforma; CM: Cuenca de Macuspana; FPC: Faja Plegada (Sierra) de Chiapas; MM: Montañas Mayas; SC: Sonda de Campeche; TR: Tendencia Reforma; 1: Campo Xan; 2: Pozo Eagle-1; 3: Pozo Yucatán-1. Círculo negro cruzado: Pozo con manifestaciones de hidrocarburos; Círculo blanco cruzado: Pozo sin información sobre manifestaciones de hidrocarburos.

de un pozo por cada 20,000 km<sup>2</sup> y éstos están irregularmente distribuidos y mayormente fueron perforados sin control sísmico (Figura 2). Desde la perspectiva económica, el Bloque de Yucatán es una de las áreas subexploradas más grandes y accesibles del mundo. El área tampoco se presta a la prospección minera debajo de los carbonatos superficiales, aunque algunos trabajos de reconocimiento han descubierto indicios subcomerciales de oro y estaño en el núcleo cristalino de las Montañas Mayas de Belice.

### 1.1. Hidrocarburos

La presencia de uno o más sistemas de hidrocarburos en el Bloque de Yucatán se conoce por ocurrencias de aceite en Guatemala y Belice. También las manifestaciones de aceite en Cuba occidental (Iturralde-Vinent, 1994) tienen relevancia para la existencia de sistemas petrole-

ros en Yucatán. ¿Cuáles son estos sistemas y cuánta área puedan cubrir? A continuación se mencionan algunas posibilidades.

#### 1.1.1. Sistema petrolífero relacionado al "rifting"

Perforaciones en México y Belice, y afloramientos en las Montañas Mayas indican que la corteza cristalina de Yucatán consiste de rocas graníticas, metasedimentarias y metavolcánicas pre-pensilvánicas. Encima de estas rocas cristalinas hay rocas sedimentarias, ligeramente metamorfoseadas, del Pensilvánico y Pérmico. Este conjunto corresponde a la zona interior de la Faja Plegada de Ouachita del norte de México y de los estados norteamericanos de Arkansas, Oklahoma y Texas denominado "Llanoria" por Flawn *et al.* (1961).

Debido a eventos postorogénicos relacionados a la apertura del Golfo de México y del Proto-Caribe, la corteza de Yucatán fue obviamente extendida, lo que permitió que en algunas áreas, como en el norte de



Guatemala, se acumularon de más de seis kilómetros de rocas sedimentarias.

Anomalías gravimétricas alineadas en Yucatán (López Ramos, 1973) sugieren que el zócalo cristalino fue afectado en la etapa de *rifting* por fallas normales formando así un terreno caracterizado por pilares y fosas. Los pilares erosionados pudieran haber sido fuentes del relleno terrígeno de las fosas (Formación Todos Santos) y de las areniscas eólicas del Oxfordiano en el Campo Ek-Balam y otros sitios de la Sonda de Campeche. Estas fosas también pudieron ser rutas preferidas para la transgresión marina que avanzó sobre Yucatán en el Jurásico Tardío y Cretácico Temprano. Los depósitos marinos “preplataforma” en las fosas deben ser areniscas y margas. Aunque pocos pozos en Yucatán han penetrado rocas jurásicas, una sección dolomítica de 36 metros de espesor, supuestamente jurásica, fue descrita por López Ramos (1973) a 3,140 m en el pozo Yucatán-1, dentro de un posible graben (Figura 2). Esta situación es análoga al contemporáneo y geográficamente cercano depósito de las formaciones Norphlet y Smackover, productoras importantes de petróleo en el Golfo de México adyacente a los Estados Unidos, depositadas durante el *rifting* y apertura del Golfo.

El potencial generador de los depósitos de la transgresión en Yucatán se confirma por el aceite del pozo Eagle-1 de Belice (Figura 2) cuyos biomarcadores

indican derivación de margas del Jurásico Superior o Cretácico Inferior (J. Zumberge, comunicación escrita).

Los objetivos exploratorios de este *play* serían las areniscas *sin-rift* y del *post-rift* temprano sobre los flancos y crestas de los pilares, y los carbonatos depositados durante y después de la inundación (Figura. 3).

#### 1.1.2. Sistema petrolero de la cuenca interna de plataforma

El Campo Xan se localiza en el Arco de La Libertad en la parte norte de Guatemala (Figura 2). Xan, con reservas originales de ~100 millones de barriles de aceite, produce desde una calcarenita dolomitizada del Turoniano a 2,300 m de profundidad. El yacimiento sobreyace a una roca generadora calcárea del Cenomaniano y está sellado por anhidrita. Inmediatamente al norte del Arco de La Libertad hay una anomalía gravimétrica negativa circular de ~200 km en diámetro (Figura 2). Esta amplia anomalía puede representar una cuenca de plataforma interna caracterizada por circulación restringida que pudiera haber permitido la acumulación de rocas generadoras en su parte central, rodeadas y traslapadas por arrecifes o bancos calcareníticos como el Campo Xan (Figura 3). El autor especula que esta cuenca puede ser del tipo “cabeza de res” formada por subsidencia de una zona amplia encima de una fosa mayor o *rift* abortado relacionado a la apertura del Golfo de México.

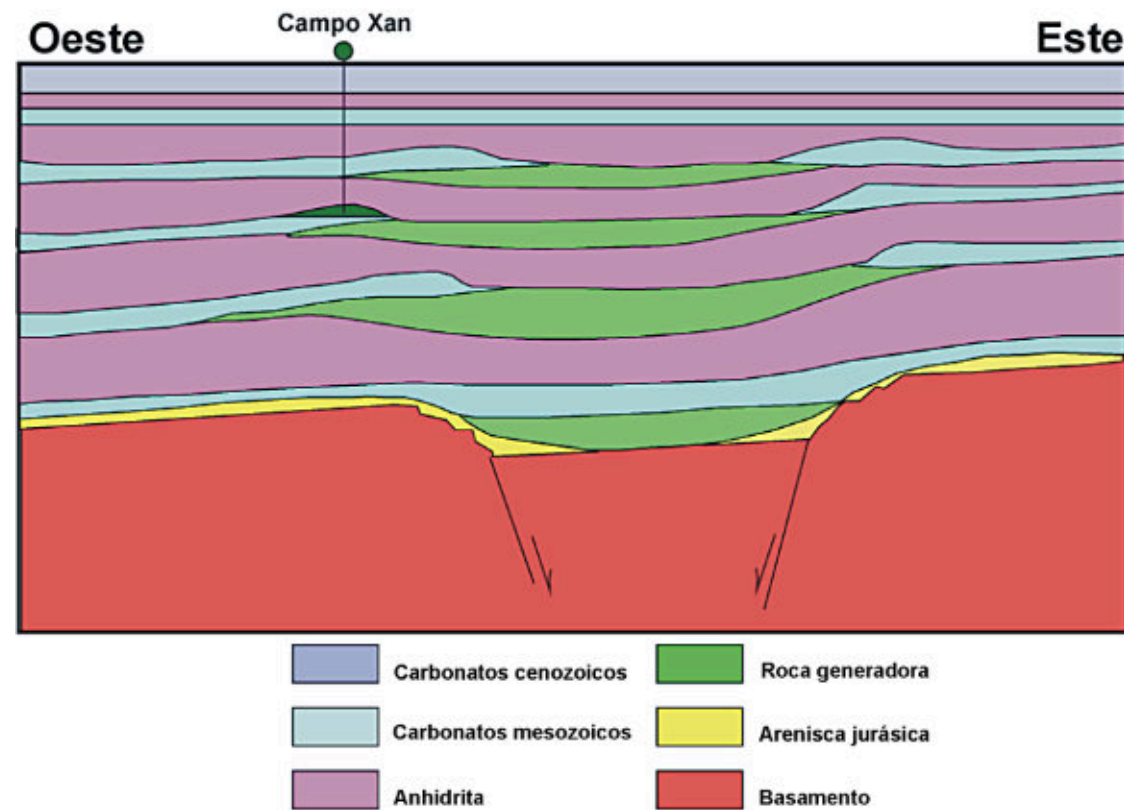


Figura 3. Sección longitudinal esquemática de la Cuenca Entreplataforma al norte del Arco de La Libertad.

La migración de hidrocarburos hubiera radiado desde el centro de esta cuenca a través de capas calcáreas permeables entre los niveles potentes y continuos de anhidrita. El basculamiento del Bloque de Yucatán hacia el occidente hubiera favorecido esta migración al oriente hacia una franja casi inexplorada de México, Guatemala y Belice. Esta migración de petróleo al oriente se confirma en el pozo Eagle-1 de Belice, donde hay aceite de 39 API a 600 m de profundidad en carbonatos del Cretácico Inferior. Otros pozos del norte de Belice también manifestaron aceite (Figura 2). Las rocas mesozoicas de Belice no son generadoras de hidrocarburos por no contar con suficiente soterramiento ni contenido orgánico. Por lo tanto, el aceite del Eagle-1 tuvo que migrar lateralmente desde una cocina localizada al occidente en México y/o Guatemala.

La Plataforma de Yucatán se caracteriza por niveles de carbonatos y anhidritas lateralmente extensos controlados por los cambios relativos del nivel de mar. En este ambiente, el Campo Xan no debe ser el único banco o arrecife carbonatado en la parte interna de la plataforma. El modelo propuesto aquí de una o más cuencas generadoras en la plataforma interna, rodeadas por bancos calcáreos, es similar a la geometría sedimentaria de algunos de los campos supergigantes de la Plataforma Árabe.

#### 1.1.3. Migración lateral de hidrocarburos desde el Golfo de México

La presencia de más de 30 mil millones de barriles de aceite de la Sonda de Campeche, y más de 10 billones de pies cúbicos de gas de la Cuenca de Macuspana, indica la generación de una carga masiva de hidrocarburos a lo largo del borde occidental del Bloque de Yucatán. El basculamiento de Yucatán hacia el occidente ha creado la geometría ideal para capturar los hidrocarburos que han pasado, o han sido vertidos, de las trampas del Pilar de Akal y la Cuenca de Macuspana. Es posible, entonces, que estos hidrocarburos hayan entrado por la orilla de la plataforma y hayan migrado hacia la plataforma interna para quedar atrapados en arrecifes, bancos de calcarenita, o acuíferos de porosidad entre sellos compuestos de gruesas capas de anhidrita (Figura 4).

#### 1.1.4. Sistemas petrolíferos relacionados al impacto K/T

El cráter K/T de Chicxulub (Figura 2), con un diámetro final estimado en hasta 300 km, es uno de los más grandes rasgos de impacto preservado en el mundo (Sharpton *et al.*, 1996). Se ha propuesto en forma convincente, que la brecha dolomítica K/T de la Sonda de Campeche, que almacena la mayor parte de su petróleo, se formó por el impacto (Grajales-Nishimura *et al.*, 2000). La posible presencia de un sistema petrolífero dentro del Bloque de Yucatán relacionado al impacto también debe ser considerada.

Se perforaron varios pozos en el área del cráter antes de 1970 (Lopez-Ramos, 1973). Algunos de ellos

penetraron rocas ígneas y brechas originadas por el impacto de Chicxulub (Sharpton *et al.*, 1996). Los pozos perforados fuera del cráter penetraron las típicas alternancias de carbonatos dolomíticos y anhidritas (Figura 5). Es difícil concebir algún sistema petrolífero en la parte central del cráter, pero las condiciones en sus alrededores pudieran haber sido aptas para la generación y acumulación de hidrocarburos.

#### 1.1.5. Generación de hidrocarburos

El pozo Yucatán-1 penetró rocas paleozoicas a la profundidad de 3,200 m. El bajo gradiente geotérmico en los carbonatos y anhidritas perforados probablemente no hubiera permitido la generación de hidrocarburos. Por eso, la existencia de hidrocarburos en el área dependería del calentamiento producido por el mismo impacto. Los impactos generan calor por los siguientes mecanismos:

1) el calor de la roca fundida por el impacto, más el alto gradiente geotérmico relacionado al levantamiento rápido por rebote de los niveles profundos de la litósfera (Figura 5).

2) la fricción interna del gran volumen de roca perturbada por el tren de ondas sísmicas de alta amplitud.

4) la fricción entre bloques desplazados durante el colapso del cráter inmediatamente después del impacto.

5) la redistribución de calor alrededor del cráter por amplios sistemas hidrotermales.

#### 1.1.6. Roca almacén

Las dolomías alrededor del cráter deben estar muy fracturadas sobre un área extensa debido al impacto, aumentando así su porosidad y permeabilidad.

#### 1.1.7. Trampas

El levantamiento del borde del cráter final y la rotación de los bloques fallados componen altos estructurales que conducen a la formación de trampas (Figura 5).

#### 1.1.8. Sellos

Las anhidritas deben constituir sellos internos entre las capas de dolomía fracturada. Los sellos laterales pueden ser fallas selladas por la roca mecánicamente molida, y hasta fundida (pseudotaquilita), por la fricción generada durante el desplazamiento rápido de enormes bloques desprendidos durante el colapso del cráter. Un buen sello encima de toda la sección mesozoica alrededor del cráter debe ser la brecha de impacto por haberse depositado en estado caliente, de manera similar a ignimbritas o tobas soldadas (Figura 5).

## 2. Minerales Metálicos

Se ha documentado la presencia de mineralización metálica en sitios de impacto. El caso más notable es del cráter precámbrico de Sudbury en Canadá, con 1,65 mil millones de toneladas métricas de mena con un promedio de 1,2% de níquel y 1,05% de cobre (Masaitis y Grieve,



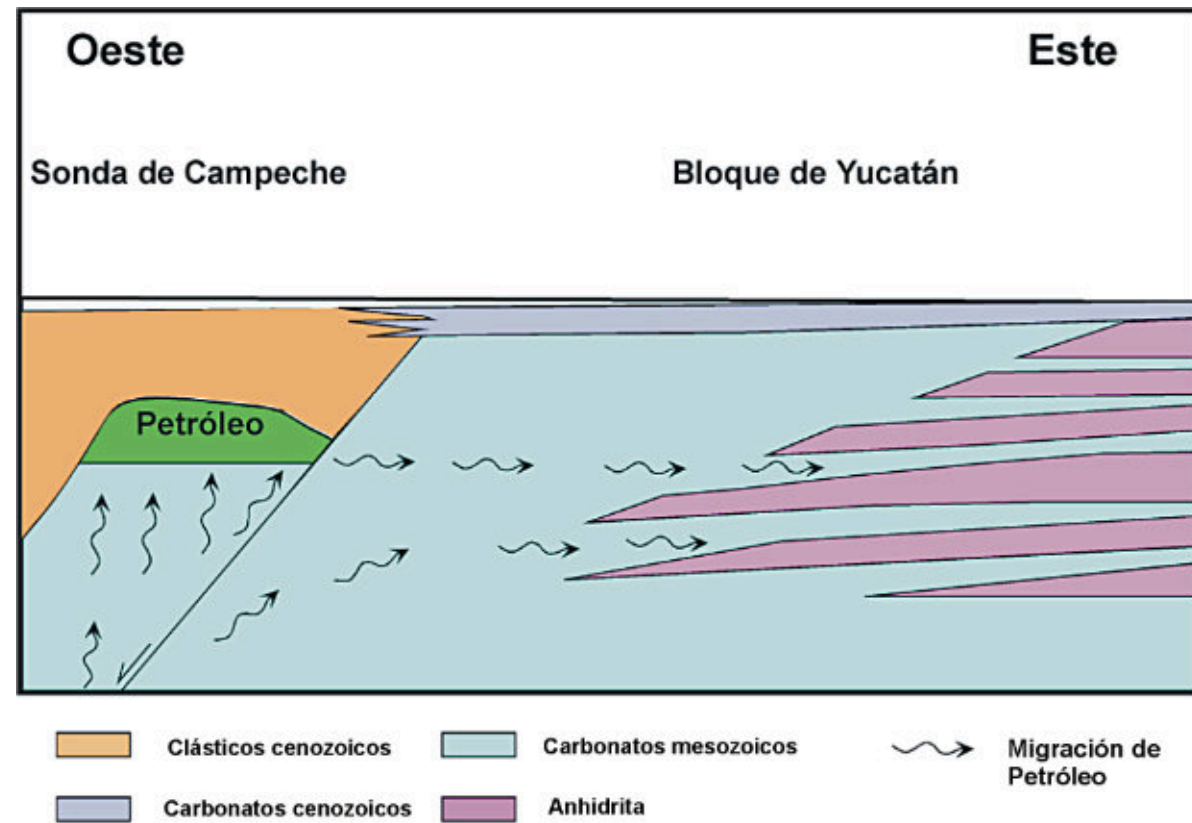


Figura 4. Sección longitudinal esquemática mostrando posibles rutas de migración desde la Sonda de Campeche hacia el Bloque de Yucatán.

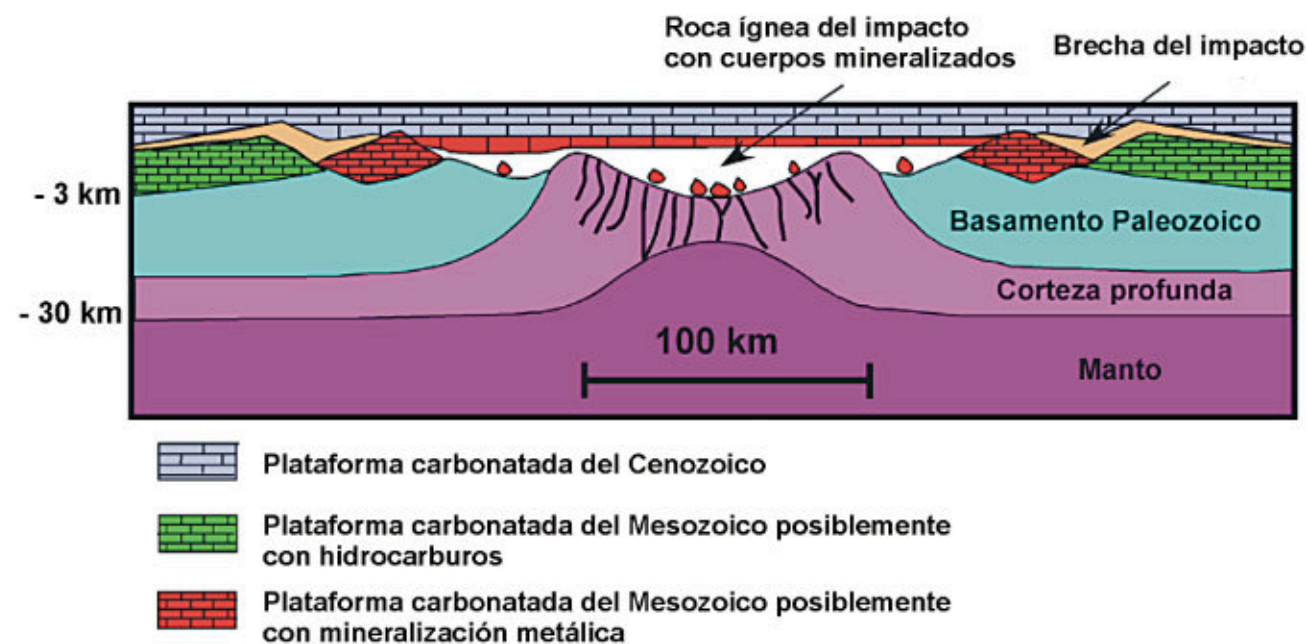


Figura 5. Sección longitudinal esquemática mostrando posibles recursos económicos relacionados al cráter de Chicxulub (adaptado de Sharpton et al., 1994).

1994). Los metales se encuentran en segregaciones de sulfuros que fueron inmiscibles dentro del magma generado por el impacto. De menor importancia en Sudbury es la mena hidrotermal en un carbonato delgado depositado dentro del cráter después del impacto. Este depósito contiene 6 millones de toneladas métricas con un promedio de 4.4% zinc, 1.4% cobre, y 1.2% plomo.

El cráter pre-erosional de Sudbury y el cráter enterrado de Chicxulub tienen tamaños similares y es posible que una cantidad de metal similar a la de Sudbury esté presente al nivel ígneo profundo de Chicxulub (Figura 5). En contraste con Sudbury, un recurso más extenso y somero en Chicxulub puede ser el producto de la mineralización hidrotermal en fracturas y mantos dentro de los gruesos carbonatos alrededor y encima del cráter. Los elementos de este sistema incluirían:

1) el levantamiento central de rocas sobrecalentadas de la corteza profunda (~25 km de profundidad) sobre un área de ~100 km de diámetro.

2) una caldera remanente en la parte central del impacto, llena de magma y roca caliente, sujeta al ingreso constante de agua oceánica desde la orilla marina del cráter.

3) una salmuera hidrotermal con alta concentración de cloruros derivados principalmente del agua marina, y de sulfuros derivados de los sulfatos del agua marina y de la anhidrita.

4) la convección profunda a través de abundantes fracturas formadas por el impacto y por el colapso subsiguiente de las paredes del cráter.

5) la lixiviación de iones metálicos por la salmuera desde las paredes del sistema hidrotermal para formar complejos metálicos solubles de cloruro y sulfuro.

6) la precipitación de sulfuros metálicos desde la salmuera al enfriarse y oxidarse en las partes distales del sistema hidrotermal.

7) la zonación metalogénica durante el enfriamiento del sistema.

El potencial económico de estos cuerpos mineralizados dependería de la profundidad de soterramiento actual y la factibilidad de conducir actividades mineras en este ambiente sujeto a fuertes flujos de agua subterránea.

### 3. Conclusiones

El Bloque de Yucatán es una provincia geológica compleja enmascarada por una plataforma carbonatada aparentemente sencilla. En realidad, el marco estructural y la arquitectura estratigráfica del Bloque de Yucatán son pobremente entendidos, pero la percepción de "simplicidad" ha llevado a muchos investigadores a concluir que las exploraciones llevadas a cabo hasta ahora son suficientes para revelar las características sobresalientes de la provincia.

En el lado positivo, se han documentado por lo menos dos distintos tipos de aceite generados dentro del

bloque; uno desde rocas generadoras de ambiente marino restringido del Cretácico Medio (Campo Xan), y el otro desde margas del Jurásico Superior a Cretácico Inferior (Eagle-1). Una cantidad mayor de hidrocarburos pudo haber migrado hacia el Bloque de Yucatán desde la Sonda de Campeche y la Cuenca de Macuspana.

El Bloque de Yucatán puede contener recursos importantes de petróleo y metales. Las condiciones superficiales dan poca ayuda al explorador. Al contrario, la superficie crea obstáculos debido a su geología monótona, las altas velocidades sísmicas, las cavernas someras, la topografía kárstica, el ambiente sensible, los abundantes sitios de importancia cultural, y la falta de infraestructura. En estas condiciones, el descubrimiento de recursos económicos requiere la cuidadosa aplicación de los métodos más avanzados de exploración.

### 4. Recomendaciones

1) Ensamblar, integrar e interpretar toda la información geológica, geofísica y geoquímica disponible sobre el Bloque de Yucatán en México, Guatemala y Belice.

2) Adquirir una malla abierta de información sísmica profunda para integrarla a los datos de campos potenciales y de pozo, con la meta de elaborar un marco regional actualizado.

3) Evaluar las muestras de pozos profundos planeados alrededor de Chicxulub con respecto a su relevancia económica, e incorporar estos datos al marco regional.

4) Conducir levantamientos electromagnéticos o de polarización inducida sobre la parte terrestre del cráter de Chicxulub para determinar la posible existencia de concentraciones metálicas.

5) Hacer estudios sísmicos detallados sobre áreas seleccionadas de potencial exploratorio.

6) Perforar los prospectos de petróleo y de metales.

### Agradecimientos

Muchos geocientíficos y empresas han gastado energía y recursos para proveer los datos e interpretaciones que apoyan el entendimiento actual del Bloque de Yucatán. Entre otros individuos, destacan las contribuciones de Ernesto López-Ramos, Francisco Viniegra, Antonio Camargo, Glen Penfield, Virgil Sharpton, Al Weidie y Richard Buffler.

Entre las compañías cuyas inversiones en la exploración de Yucatán han resultado en la adquisición de datos críticos son: Petróleos Mexicanos, Texaco, Amoco, Shell, Gulf, Phillips, Sohio, Esso, Marathon y Anschutz.

Este trabajo se ha beneficiado de las fructíferas discusiones con el Ing. Hector Palafox del Instituto Mexicano del Petróleo. Arthur Berman fue muy generoso con su tiempo y sus conocimientos durante la preparación del presente trabajo.



### Referencias Bibliográficas

- Flawn, P.T., Goldstein Jr., A., King, P.B., Weaver, C.E., 1961, The Ouachita System: Austin, Texas, The University of Texas, Publication no. 6120, 401 p.
- Grajales-Nishimura, J.M., Cedillo-Pardo, E., Rosales-Domínguez, C., Morán-Zenteno, D.J., Alvarez, W., Claeys, P., Ruíz-Morales, J., García-Hernández, J., Padilla-Avila, P., Sánchez-Ríos, A., 2000, Chicxulub impact: The origin of reservoir and seal facies in the southeastern Mexico oil fields: *Geology*, 28 (4), 307- 310.
- Iturralde-Vinent, M.A., 1994, Cuban Geology: A new plate tectonic synthesis: *Journal of Petroleum Geology*, 17 (1), 39-70.
- López-Ramos, E., 1973, Estudio Geológico de la Península de Yucatán: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 25 (1-3), 23-75.
- Masaitis, V.L., Grieve, R.A.F., 1994, The economic potential of terrestrial impact craters: *International Geology Review*, 36, 105-151.
- Sharpton, V.L., Marín, L.E., Schuraytz, B.C., 1994, The Chicxulub multiring impact basin: Evaluation of geophysical data, well logs, and drill core samples: Lunar and Planetary Institute, Contribution no. 825, 108-110.
- Sharpton, V.L., Marín, L.E., Carney, J.L., Lee, S., Ryder, G., Schuraytz, B.C., Sikora, P., Spudis, P.D., 1996, A model of the Chicxulub impact basin based on evaluation of geophysical data, well logs, and drill core samples: *Geological Society of America, Special Paper*, 307, 55-74.

### Nota del autor:

Este artículo fue publicado en 2004 en el Boletín de la Sociedad Geológica de México. Desde entonces se han descubierto dos campos de petróleo líquido en Belice (Spanish Lookout y Never Delay) y un campo de gas en Guatemala (Ocultún) todos sobre la Plataforma de Yucatán. Esto comprueba que hay sistema(s) de petróleo activo(s) en la plataforma que merece exploración en serio.



**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)

## Tiempo geológico y tiempo humano; el Tiempo del Universo y el Tiempo de la consciencia

Salvador Ortuño Arzate

*“Quid est ergo tempus? Si nemo ex me quaerat scio, si quaerenti explicare velim nescio.”*

“¿Qué es, por tanto, el tiempo? Si nadie me lo pregunta lo sé; si me lo preguntan y quiero explicarlo, ya no sé, lo ignoro.

**Agustín de Hipona**  
Confesiones, libro XI, cap. XIV.

“Para nosotros, físicos convencidos, el tiempo no es más que una ilusión, por persistente que parezca.”

**Albert Einstein**

**La Geología descubrió el tiempo inscrito en las rocas y lo introdujo en el pensamiento humano, en la filosofía, y en todas las ciencias.**

*Ἐγώ εἶμι*

### RESUMEN

Una noción que el hombre ha deseado vehementemente aprehender, y que ronda el más profundo enigma, es la del tiempo. ¿Pero, qué es el tiempo? Para el ser humano, a lo largo de la historia, el tiempo ha sido el fluir de los instantes, los días, los años... de su fugaz y conjeturada existencia en esta vida. Ésta es la percepción del tiempo en la consciencia humana. Pero, ¿sobre qué sustento material se podía fundamentar el fluir del tiempo? ¡Eureka, la Geología encontró su huella impresionante en las rocas! Los primeros geólogos se sintieron arrobados por tan inconmensurable evidencia de la temporalidad; y fueron construyendo su prodigioso calendario geológico. El siguiente paso no se dio en la Tierra, sino mirando al cielo, a las estrellas. En la postmodernidad la concepción del tiempo se nos ha revelado en la consciencia, por la Geología y la Cosmología. En este contexto, volaremos, a través este breve texto y del tiempo, tratando de escudriñar las relaciones intrínsecas entre estas concepciones de tan metafórico, pero excitante misterio.

### 1.- INTRODUCCIÓN

Desde que el hombre camina sobre la faz de la Tierra, sus reflexiones y pensamientos han estado dirigidos a entender su lugar en la eternidad, percibida como la abstracción del tiempo. Empero, el ser humano percibía el tiempo de sus días, en su consciencia, y lo anclaba en la inmensidad misteriosa e insondable del tiempo eterno y profundo, el cual presentía más allá de su entorno natural inmediato. Sin embargo, no sabía discernir qué es el tiempo absoluto; y se



puede considerar que, aun en la actualidad, el hombre aún no sabe qué es realmente este misterio.

Abordar el discernimiento, la comprensión del tiempo es problema aporístico, insalvable. Es complicadísimo encontrar caminos para abordar su análisis. El ser humano se mueve en el tiempo percibido por su consciencia, y lo “percibe” como experiencia de vida, tiempo real, tiempo externo, eternidad, etc. Desde las culturas clásicas se ha tratado de abordar el tiempo, desde Heráclito, Platón, Aristóteles, hasta Heidegger y Sartre. Finalmente, a lo largo de la historia humana, la comprensión del tiempo parece devenir siempre en una pavorosa aporía.

Durante el desarrollo del conocimiento humanístico-filosófico, y científico reciente se ha logrado concebir una noción renovada del espacio-tiempo, lo cual ha influido en la apreciación ontológica, o del ser, en el tiempo y su temporalidad. Las ciencias como la Geología, la Física moderna y la Cosmología han creado nuevas nociones conceptuales, sin ser concluyentes aún sobre el significado real de tiempo. La Geología ha descubierto el tiempo relativo grabado en las rocas, como la primera aproximación científica al enigma. La Cosmología, indirectamente, ha tratado de medir el tiempo entre los modelos matemáticos y la física de las galaxias. Sin embargo, a pesar de tales progresos, el anhelo humano - ontológico por comprender el tiempo, al parecer, no ha sido satisfecho.

## 2.- EL TIEMPO PERCIBIDO POR LA CONSCIENCIA; BREVE VISIÓN HISTÓRICA

### *Las nociones de tiempo durante la historia del pensamiento y la filosofía*

Percepciones humanas sobre el tiempo acaecen según la función de la consciencia a través de la percepción, generando la experiencia de la intuición. Las concepciones del tiempo en la Filosofía nacen de las intuiciones de la consciencia, ya que, epistemológicamente, no es posible efectuar aprehensiones verificables sobre tan singular objeto del conocimiento.

Desde los albores de las civilizaciones primigenias, durante las épocas de las culturas clásicas, el ser humano tenía explicaciones o discernimientos lógicos sobre el tiempo; éste era un ente insondable, pero presente y definiendo, o intuyendo, incluso su relación con el espacio (cf. Heráclito, Parménides o los atomistas griegos). En la cultura griega el tiempo, en general, es llamado Cronos (Χρονος); en hebreo es ‘Olam. En la literatura antigua siempre perviven referencias al tiempo primigenio. En la Biblia hebrea, el tiempo es tratado como una flecha con un inicio y un final de la historia, tanto humana como de la naturaleza. Similar significado tiene en los textos antiquísimos como *La Epopeya de Gilgamesh*, por ejemplo.

Desde la más remota antigüedad, el poeta Hesíodo plantea que el mundo surgió de una inmensa obscuridad que llamó Caos, en sus elementos formadores, a saber: Gea, Tártaro, Érebo, Eros y Nix. De la unión de Gea y Urano surgió Cronos, la entidad divina que sustentaba la existencia y el ordenamiento del cosmos<sup>1</sup>. Cronos (Χρονος, el tiempo), deviene, desde entonces, la más profunda y urgente problematización ontológica que enfrenta el ser humano.

<sup>1</sup> Hesíodo, 1978.- *Teogonía*. Versión de Paola Vianello de Córdoba. Bibliotheca Scriptorvm Graecorum et Romanorum Mexicana, UNAM.

Así, durante el periodo denominado de los presocráticos, los griegos comienzan a reflexionar más insistentemente sobre la naturaleza, el firmamento, los astros; y así intuyen que el cosmos, su entorno, estaba ordenado por leyes, conformando una historia cosmogónica infinita. Entre estos filósofos de la naturaleza, la obra de Heráclito (ca. 500 a. C.), destaca en esta búsqueda por explicar el Universo y el tiempo. Al parecer, la concepción de Heráclito sobre el tiempo corresponde a una noción de “fluidez”, de un ente que fluye. Al respecto, se hace alusión a la frase, del fragmento 91: “Uno no se puede bañar dos veces en el mismo río.” Es decir, todo corre, nada permanece. Entonces, “los que descienden a los mismos ríos, reciben aguas siempre nuevas.” (Fragmento 12)<sup>2</sup>. Esta noción del mundo significa que existe una transformación incesante de las cosas, de la materia y, por tanto, de la energía. El tiempo para Heráclito es el eterno devenir; un devenir lineal. En el devenir, el Logos (Λόγος) es la ley según la cual suceden todas las cosas (fragmento 1); “él gobierna el mundo”, (fragmento 72)<sup>3</sup>. Zenón de Elea, en sus aporías establece que: “la flecha, en el proceso de estar en movimiento, se encuentra en estado estacionario. Ésta es la consecuencia de suponer que el tiempo está compuesto de instantes.”<sup>4</sup>

Platón, en el *Timeo (Diálogos)*, exclama una bella metáfora del tiempo: “la imagen móvil de la eternidad.” Para Platón, “el tiempo...surgió con el Universo, simultáneamente.”<sup>5</sup> El tiempo es la eternidad, lo insondable. Y el mundo-cosmos es el Logos. Según Platón, “el demiurgo trató de hacer una especie de imitación móvil de la eternidad, la cual es el tiempo. La eternidad es inmóvil, es el permanecer en sí mismo; un eterno presente dado todo de una vez, pero el tiempo es movimiento, cambio; y se mueve porque al carecer de perfección, no puede permanecer en sí mismo. Pero el tiempo refleja la eternidad, que es su modelo...”<sup>6</sup>

Por otra parte, Aristóteles, quien elabora el primer análisis formal del tiempo, lo establece como sigue: “Pues esto es el tiempo: número del movimiento según lo anterior y lo posterior”, (...τοῦτο γὰρ ἐστὶν ὁ χρόνος, ἀριθμὸς κινήσεως τὸ πρότερον καὶ ὕστερον.”)<sup>7</sup> También, en su método, Aristóteles aduce que el pasado ya no existe, el futuro, aún no es; y el presente (el ahora, instante o el *vũv*, para Aristóteles) no existe tampoco, porque son instantes, como puntos, y los puntos no existen. Aristóteles aborda el tiempo, pero con relación al ser y al movimiento. El cambio (o movimiento) de los entes se da en el tiempo; y éste existe si hay movimiento. Cada consciencia percibe su propio tiempo a través del cambio en sí. La consciencia es la que ejerce el acto de medir el tiempo, compuesto de instantes. He aquí la pertinencia de la sentencia de Protágoras: “el hombre es la medida de todas las cosas” (Πάντων μέτρον ἄνθρωπος), es decir, las cosas son los entes que percibe la consciencia. El intelecto humano “lee” (*intelligit*), o percibe el tiempo en intención de cuantificarlo o medirlo. Asimismo, para Aristóteles, el tiempo y el espacio son continuos, ya que se estructuran en un antes y un después, en la infinitud del tiempo y del mundo (espacio).

<sup>2</sup> Brun, J., 1995.- *Los presocráticos*. Colección ¿Qué sé?, Publicaciones Cruz O.S. A. y Consejo Nacional para la Cultura y las Artes., pp.54.

<sup>3</sup> Brun, J., *Ibidem*, pp.49.

<sup>4</sup> Brun, J., *Ibidem*, pp.90.

<sup>5</sup> Platón, 1962.- *Timeo, Diálogos*. Ed. Porrúa, México., pp. 663-721.

<sup>6</sup> Ortiz G. J., 2016.- *Los Elementos del Concepto de Tiempo Aristotélico en la Teoría de la Relatividad*. Tesis doctoral. Universitat Abat Oliba CEU, Facultad de ciencias Sociales. pp. 24.

<sup>7</sup> Aristóteles, *Metafísica*, IV, II, 219 y ss.



En las *Confesiones*, Agustín de Hipona asienta un tratamiento filosófico sobre el tiempo. Su análisis le lleva a sostener la inexistencia del tiempo pasado y futuro, considerando como real existente sólo el presente. Asocia el tiempo al movimiento, del cual el tiempo es la medida. Establece que el tiempo es obra de Elohim y surge en el instante de la creación; siendo Elohim preexistente al tiempo y asimilado a la eternidad.<sup>8</sup> “Si el presente estuviera siempre presente, si no fuera a reunirse con el pasado, ya no sería tiempo, sería eternidad”<sup>9</sup>.

Después, durante el Renacimiento de las ideas, con Copérnico, Kepler, Descartes, Galileo y Newton, el conocimiento sobre la naturaleza y el sistema solar y sus planetas, permitirá iniciar un discernimiento más amplio sobre las nociones de tiempo. Y es, justamente, el descubrimiento de algunas leyes de la naturaleza y los procesos geológicos, que se comienza a discernir nuevas nociones sobre el tiempo humano, como parte ínfima del tiempo profundo del planeta y del cosmos.

Isaac Newton (1642-1727), en *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica (Principios Matemáticos de la Filosofía Natural)*, establece las nuevas relaciones entre la materia, su movimiento y las fuerzas físicas como la gravedad en los enunciados de sus cuatro leyes fundamentales. Newton percibe al espacio y al tiempo como entidades esenciales ontológicas (universales reales, objetivas y matemáticas), primigenias *per sé*, conteniendo toda la materia y la energía existentes. Considera también que: “el tiempo absoluto, verdadero y matemático, en sí y por su propia naturaleza, sin relación a nada externo, fluye uniformemente, y se lo nombra como duración. El tiempo relativo, aparente y vulgar es una medida sensible y exterior (precisa o desigual) de la duración mediante el movimiento, usada por la gente en lugar del verdadero tiempo: hora, día, mes y año, son medidas semejantes.”<sup>10</sup> Para Newton, hay dos tiempos: el absoluto o universal que lo contiene todo; y el tiempo relativo, el de la percepción de la consciencia y los eventos sucesorios de los entes y las cosas. Así, el tiempo que se mide (por la consciencia) es relativo, o subconjunto, al tiempo absoluto eterno y universal. Este tiempo absoluto preexiste a toda la materia. El tiempo absoluto es eternidad y el espacio absoluto es inmensidad, y por tanto en infinitud y continuidad. El cosmos posee un principio en el tiempo, sin embargo, no hay un principio del tiempo. Considera Newton que: “*Tempus et spatium sensorium Dei sunt.*” (“El tiempo y el espacio son atributos de Elohim”).

De esta manera, el tiempo y el espacio relativos (no el tiempo absoluto), para Newton, Kepler y la mecánica celeste clásica, son entidades medibles y que se relacionan con las variables de los fenómenos físicos de la naturaleza; y cuya expresión funcional son relaciones matemáticas. *Grosso modo*, este es el paradigma newtoniano-kepleriano que estableció la predictibilidad o retrodictibilidad científicas en la mecánica celeste y que influyó grandemente, hasta la actualidad, en la visión determinista de las ciencias naturales (caso de la Geología) y exactas (física, química y matemática). La naturaleza está siempre en armonía con sí misma, (“*Natura est semper sibi consona.*”).

Para Immanuel Kant (1724-1804), en su estética trascendental (doctrina de la sensibilidad, αἰσθητικός, sensible), parte de su *Crítica de la Razón Pura*, el tiempo y el espacio son esencias

<sup>8</sup> Agustín de Hipona, *Confesiones*; libro XI, 14-15.

<sup>9</sup> Agustín de Hipona, *Ibidem*, XI, 14-15.

<sup>10</sup> Newton, I., *Principios matemáticos de filosofía natural*. In Ortiz G. J., 2016.- *Los Elementos del Concepto de Tiempo Aristotélico en la Teoría de la Relatividad*. Tesis doctoral. Universitat Abat Oliba CEU, Facultad de ciencias Sociales. pp. 88.

a priori (conocimiento independiente de toda experiencia), o formas puras de la intuición sensible; mas no cualidades externas. El conocimiento puro es aquel al cual no se ha adicionado ningún conocimiento empírico. En la teoría trascendental el tiempo y el espacio integran las categorías y las ideas regulativas. En su visión epistemológica, tiempo y espacio corresponden a la teoría trascendental elemental. Tiempo y espacio, para Kant, son leyes de la consciencia, universales y necesarias. El tiempo para Kant es una intuición pura, en el sujeto cognoscente, que le permite los juicios sintéticos. Así, los fenómenos (φαινόμενον, lo que se manifiesta materialmente) y los núómenos (νοούμενον, lo que no se manifiesta materialmente) son percibidos por la consciencia. Son eventos *en sí* que tienen representación sólo en el espacio y en el tiempo.<sup>11</sup> La sensibilidad de la consciencia hace posible las intuiciones; y el entendimiento humano es la fuente de los conceptos. En el caso del tiempo, éste tiene la representatividad de una línea recta real (referida en números reales), e infinita y de sucesión. La percepción del tiempo se logra a través de relaciones temporales de los fenómenos, y las cuales se manifiestan por analogías, como la duración, sucesión y coexistencia. Este es el contexto de los excepcionales avances de diversas ciencias físicas, humanísticas y de la naturaleza, y donde se inscribe el nacimiento fundamental de la Geología y del descubrimiento del tiempo geológico.

Para Gottfried Leibniz, el tiempo es una relación de orden entre fenómenos sucesivos y, por su parte, el espacio es el orden entre fenómenos coexistentes. Es el modelo del tiempo relacional y basado en el orden, sea sucesorio de los eventos en el tiempo o co-existencial de las cosas. En cambio, para Georg Hegel (1770-1831), el tiempo es el Espíritu desplegándose.<sup>12</sup> Hegel, declara que el espacio y el tiempo constituyen un todo unido. Pero, “el verdadero presente es la eternidad.”<sup>13</sup>

Henri Bergson (1859-1941), filósofo francés, considera que el problema de dilucidar el tiempo, es el problema esencial de la metafísica u ontología. El tiempo es el problema toral de la filosofía. Bergson asume su postura filosófica *vis-à-vis* del tiempo, en el marco del impacto de la teoría de la relatividad especial de Einstein, al inicio del siglo XX. El tiempo para Bergson se materializa en duración real, la cual es movimiento y cambio constante, sin concatenación de momentos concretos. Propone la intuición como una forma de aprehensión de la realidad “en su pureza originaria, como duración continua, heterogénea y creadora, sin la mediación de símbolos que, por su carácter espacial, distorsionan la mencionada aprehensión.” El tiempo es una sucesión de instantes adheridos en una continuidad indivisible y lo cual constituye una duración verdadera.<sup>14</sup> La duración (*la durée*) es lo que cambia por naturaleza, y es sólo heterogeneidad. Bergson confirma su concepto de un tiempo universal: “una misma duración que abarca todas las duraciones y según la cual dos flujos -exteriores el uno con respecto al otro-, son simultáneos cuando ocupan la misma duración, al insertarse ambos en la duración de un tercero -que es el flujo de nuestro discurrir psicológico.”<sup>15</sup> Es en la *Evolución Creadora (L'Evolution Créatrice)*, su obra principal, donde Bergson despliega los conceptos sobre la

<sup>11</sup> Kant, E., 1987.- *Crítica de la razón pura*. Ed. Porrúa., pp. 42-57.

<sup>12</sup> Navarro, E. V., 2006.- *El tiempo a través del tiempo*. Athenea Digital, no. 9, 1-18.

<sup>13</sup> Hegel, W., F., 1997.- *Enciclopedia de las Ciencias Filosóficas*. Editorial Porrúa., pp. 162-163.

<sup>14</sup> Ortiz G. J., 2016.- *Los Elementos del Concepto de Tiempo Aristotélico en la Teoría de la Relatividad*. Tesis doctoral. Universitat Abat Oliba CEU, Facultad de ciencias Sociales. pp. 287-289.

<sup>15</sup> Ortiz G. J., *Ibidem*, pp. 293.



*durée* y sus implicaciones para el ser; la cual es sucesión, continuidad y constitución, creación e incesante novedad; esto es el tiempo.

De acuerdo con Gaston Bachelard (1884-1962), el tiempo percibido por la consciencia se compone de instantes; éstos conforman una duración, es decir, una adición de instantes. Expresa Bachelard: “*Le temps n’a qu’une réalité, celle de l’instant.*” Es decir, “el tiempo no es más que una realidad: la del instante.”<sup>16</sup>

Durante el siglo XIX y XX, son notables las obras de Friedrich Hegel, Martin Heidegger, Jean Paul Sartre y Jean Gitton, como la *Fenomenología del Espíritu (Phänomenologie des Geistes)*, *Ser y Tiempo (Sein und Zeit)*, *El Ser y la Nada (L’être et le Neant)*, y *Lo Absurdo y el Misterio*, respectivamente. Así, Heidegger menciona que “el tiempo es comprendido como una secuencia, como el “fluir” de los *ahoras*, como el curso del tiempo”.<sup>17</sup> Aunque, Heidegger, en realidad, se adhiere a la concepción aristotélica del tiempo.

Según Jean Paul Sartre (1905-1980), ni el pasado ni el futuro tienen existencia objetiva. Además, el presente sólo es “el límite de una división infinita, una suerte de punto sin dimensión...y, por tanto, no es en absoluto.”<sup>18</sup> “Un punto sin dimensión no es espacio, un instante sin duración no es tiempo.”<sup>19</sup>

Sin embargo, desde la antigüedad hasta la postmodernidad, la filosofía no ha podido resolver el problema de una explicación del tiempo. La ciencia, al parecer, sólo ha realizado algunas aproximaciones. Ésta solamente ha tratado de medir periodos de tiempo, como en el caso de la Geología y en la Cosmología; aunque solo por aproximaciones a veces erráticas, imprecisas y cambiantes.

### 3.- EL TIEMPO MANIFIESTO EN LOS PROCESOS GEOLÓGICOS Y COSMOLÓGICOS; EL CAMBIO DE LA MATERIA Y LA ENERGÍA

#### 3.1.- Tiempo Geológico: Absoluto y Relativo en Geología

Por otra parte, ya en el siglo XVII y principalmente durante el XVIII y XIX, la Tierra empieza a ser concebida como un planeta dinámico, que se inscribe en un espacio temporal infinito. El tiempo se vuelve infinito e intangible, cuya base conceptual fue constituida a partir de la concepción de las leyes y los procesos geológicos observados por los primeros naturalistas. Aunque estas ideas sobre el tiempo eran entonces aún incipientes, constituyeron un gran paso conceptual que influyó el desarrollo de las diferentes ciencias humanas y físicas durante los siglos XVIII y XIX. El estudio de las rocas, los estratos, las estructuras y los procesos geológicos que realizaron los pioneros naturalistas como James Hutton, Werner, Charles Lyell, Georges Cuvier, Éli de Beaumont, etcétera, fundamentaron la necesidad de concebir la

<sup>16</sup> Bachelard, G., 1965.- *L’intuition de l’instant. Introduction a la poétique de Bachelard.* Editions Denoël.

<sup>17</sup> Heidegger, M., 2009.- *Ser y Tiempo.* Editorial Trotta., pp. 434.

<sup>18</sup> Sartre, J. P., *L’être et le néant. Essai d’ontologie phénoménologique.* Tel Gallimard. Inicialmente en la Bibliothèque des Idées en 1943., pp.156-158.

<sup>19</sup> Comte-Sponville, A., 2001.- *¿Qué es el tiempo? Reflexiones sobre el presente, el pasado y el futuro.* Traducción de Pierre Jacomet. Editorial Andrés Bello., pp. 50.

existencia de un tiempo inmenso, a fin de poder explicar, e interpretar, tan significativos cambios en la fisonomía y los relieves de la Tierra, como la erosión modeladora del relieve terrestre, el transporte de sedimentos a las áreas marinas y oceánicas y la elevación de las cadenas montañosas para compensar la pérdida de los materiales erosionados. Además, los procesos geológicos perenes y cíclicos observados requerían ser insertos en grandes periodos de tiempo. Y la humanidad, y su concepto de tiempo humano quedaba, entonces, circunscrita a esa inmensidad de tiempo que la evolución de la Tierra evidenciaba de manera contundente.

#### **Las primeras investigaciones sobre el tiempo geológico: Hutton y Lyell**

James Hutton fue un agudo observador de la naturaleza, notablemente perceptivo, ya que escudriñó profundamente las rocas, estratos, fósiles y estructuras geológicas, tratando de interpretar y comprender los procesos que les dieron origen. Observó detenidamente los procesos naturales que actúan sobre la superficie de la Tierra, como la erosión, el transporte de sedimentos, el depósito, la actividad volcánica, etcétera. Hutton comprendía, o interpretaba, los cambios de la Tierra como los procesos en una máquina eterna, estableciéndose un equilibrio entre el desmantelamiento y erosión de las tierras continentales y montañas y las fuerzas dinámicas internas del planeta que elevaban las áreas erosionadas. Hutton expresó: “Desde lo alto de la montaña hasta la costa del mar...todo se haya en estado de cambio”.<sup>20</sup>

El descubrimiento de Hutton fue la ciclicidad de los procesos sobre la superficie del planeta, concluyendo que se necesitaban grandes lapsos de tiempo ilimitado para explicar estos procesos perenes sobre la faz de la Tierra; procesos que destruyen y construyen. En la Figura 1 se muestra una sección geológica estudiada por Hutton, en la que distinguió varios periodos de tiempo materializados en unidades de estratos y separados por discontinuidades; éstas, sin representación material. En la sección geológica, las rocas representaban inmensos periodos de tiempo.

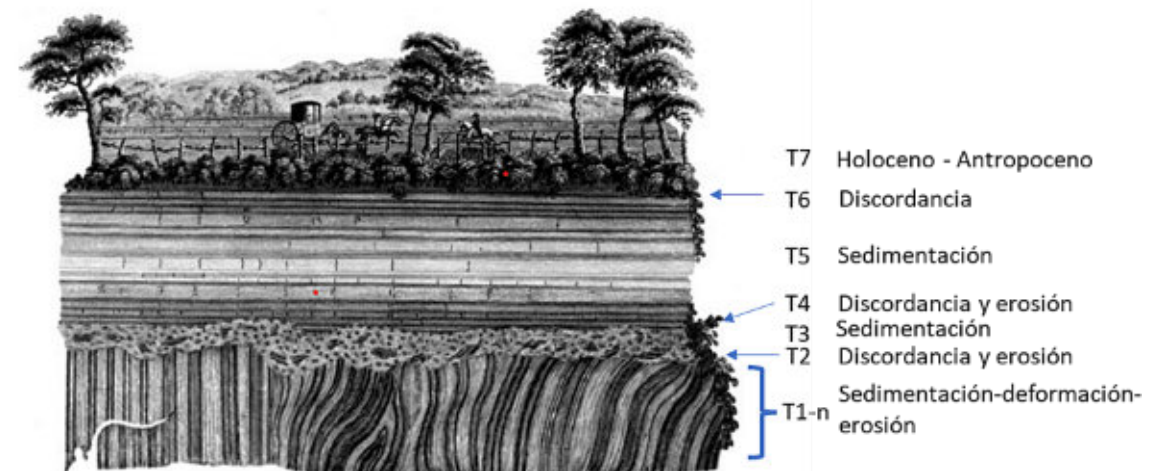


Figura 1.- Famoso grabado elaborado por John Clerk de Eldin, de la discordancia de Jedburgh, Escocia. (Cortesía de sir John Clerk de Penicuik, para la *Theory of the Earth* de Hutton. The Lost Drawings, scottish Academic Press

<sup>20</sup> Hutton, J., 1795.- *Theory of the Earth.* In Eicher, D. L., 1973.- El tiempo geológico. Col. Fundamentos de las ciencias de la Tierra. Ediciones Omega, S. A., pp. 5.



Limited, Edimburgo); in Gould, S. J. (2020), *La Flecha del Tiempo*. En la figura, T1 a T7, representan los tiempos geológicos de la serie estratigráfica.

Además, el mérito de Hutton fue haber intuido, discernido, el tiempo inmenso de la historia geológica de la Tierra; los episodios o periodos de tiempo necesarios para explicar e interpretar los procesos geológicos observados en el campo. Asimismo, Lyell y otros pioneros de la Geología como Cuvier y de Beaumont, demostraron racionalmente que la Tierra había experimentado innumerables episodios de transformación de sus relieves y formación de cadenas de montañas durante inmensos periodos o episodios de tiempo geológico.

Estos periodos de tiempo “registrado” en las rocas fueron llamados ciclos del tiempo; los cuales se deben identificar como episodios y periodos de tiempo, mas no como ciclos *sensu stricto*, o sea círculos repetitivos. Así, los diferentes episodios, o periodos, de tiempo de los acontecimientos geológicos son los tiempos relativos; y que, encadenados, conforman la historia geológica de la Tierra. Nicolaus Steno, por ejemplo, pensaba que “la repetición cíclica es una propiedad inherente del tiempo y los procesos naturales.”<sup>21</sup> La historia gira como un conjunto de ciclos sucesivos (ciclos o periodos del tiempo), pero cada “repetición” de ciclos es diferente; esto permite notar la inteligibilidad del tiempo, o sea que el tiempo transcurre, imponiendo así, una dirección a la historia natural (o filosofía de la naturaleza).” Se establece así las bases de la Geología histórica anclada en una noción de tiempo ilimitado, y que permitiría explicar los procesos geológicos en sucesiones relativas entre ellos, y como resultado de la dinámica natural de las leyes y fuerzas actuantes en la naturaleza. La Tabla del Tiempo Geológico, o Escala Cronoestratigráfica, es la representación de los episodios de tiempo geológico en diversas regiones fundamentados en “unidades roca”. Su encadenamiento vertical materializa la historia de la Tierra o Geología histórica. El gran “ciclo del tiempo geológico”, que va del Precámbrico al Holoceno esta subdividido en sub-ciclos en varios niveles escalares; señalando eones, eras, periodos, edades. Este gran ciclo del tiempo geológico mayor, no es el tiempo profundo, lineal, absoluto, eterno. Aquél es porción pequeña de éste.

El estudio del mundo natural (por la Geología), fue el fundamento del entendimiento inicial de las leyes naturales en el contexto temporal, sentando las bases galileanas de las ciencias modernas. Por ello, el tiempo geológico, llegó a ser la entidad infinita de los procesos geológicos, y de la vida, en la historia de la Tierra. Tanto Hutton como Lyell manifestaron que no había “ningún vestigio de un comienzo, ni perspectiva de un fin”<sup>22</sup>. “El concepto original de Lyell y Hutton consideraba una máquina mundial repitiendo sus ciclos una y otra vez indefinidamente, -una máquina que era, para todos los propósitos prácticos, eterna”<sup>23</sup>.

En la obra de Charles Lyell, *Principles of Geology*, se establecen cuatro significados de uniformidad: a.- la uniformidad de leyes; b.- la uniformidad de procesos geológicos (o actualismo); c.- la uniformidad de tasa o gradualismo; y d.- uniformidad de estado o no-progresismo. Esta uniformidad o actualismo en Geología implica que, de acuerdo a la entropía universal, la direccionalidad de los procesos geológicos es real, viene del pasado y va al futuro insondable. Lo mismo se puede asumir en el carácter progresivo de la historia de la vida, en sucesiones y etapas de faunas y floras contemporáneas, no en evolución, (“*Natura non facit*

<sup>21</sup> Gould, S. J., 2020. *La flecha y el ciclo del tiempo*. Ed. FCE., pp. 95.

<sup>22</sup> Eicher, D. L., 1973.- *El tiempo geológico*. Col. Fundamentos de las ciencias de la Tierra. Ediciones Omega, S. A., pp. 8.

<sup>23</sup> Eicher, D. L., *ibidem*, pp. 9.

*saltum*”, “la naturaleza no da saltos”). El registro fósil muestra una progresión de formas, no de evolución, pues no existen, en general, especies índice que funcionen como “eslabones”. Los ciclos de tiempo o periodos, son etapas repetitivas y uniformes de procesos geológicos materializados en secuencias cronoestratigráficas. Es decir, son unidades tiempo-roca, o cronoestratigráficas alternando con discordancias y hiatus sin registro temporal materializado. El entendimiento de la Tierra, por tanto, de la Geología, necesita comprender: el ciclo del tiempo manifiesto en los procesos o fenómenos geológicos; la noción de la línea del tiempo universal; la inserción del tiempo geológico en el tiempo lineal, universal y eterno.

Esta escala del tiempo geológico, representa dos perspectivas del tiempo. El tiempo “absoluto” y el tiempo relativo. Así, el tiempo “absoluto”, por convención, es el tiempo transcurrido de los diferentes acontecimientos geológicos que se cuantifica en años. Este tiempo mal llamado “absoluto”, en Geología, y cuantificado en millones de años, no es el tiempo universal, verdaderamente absoluto en sentido estricto. Tal cuantificación es medida a partir de los métodos de evaluación de las tasas de semidesintegración radioactiva de isótopos inestables que se encuentran en minerales y rocas de la corteza terrestre Y el tiempo relativo, edad relativa, o datación relativa, es la ubicación en la escala temporal geológica, o en una secuencia de tiempo de los acontecimientos geológicos y de las rocas relacionadas a estos eventos. Estos tiempos geológicos relativos y “absolutos” literalmente significan la edad relativa y “absoluta” de la Tierra.

### **La edad de la Tierra: La Escala del Tiempo Geológico**

Los métodos de datación geológica, relativa y “absoluta”, son complementarios para establecer las edades relativas y “absolutas”, respectivamente, de los acontecimientos geológicos y de sus ciclos o periodos de tiempo en que ocurrieron. Por tanto, la escala del tiempo geológico, o más propiamente, la Tabla Cronoestratigráfica del Tiempo se fundamenta en estos dos métodos de datación, relativa y absoluta. Ambos, correspondiendo al tiempo geológico llamado ciclo o periodo del tiempo geológico (relativo) *sensu stricto*; el cual se inscribe en el tiempo llamado tiempo universal absoluto *sensu stricto*, o flecha del tiempo, profundo e inconmensurable que no es posible medir geológicamente, ni aun astronómica o cosmológicamente. La concepción, aun elemental, de este tiempo, parece escapar completamente a la mente humana.

El entendimiento cabal de la Tierra, es decir, la Geología requiere imperiosamente: a.- comprender el ciclo (o los ciclos) del tiempo manifiesto en los procesos o fenómenos geológicos; b.- discernir o tener la intuición de la línea del tiempo, es decir el tiempo profundo y absoluto; c.- anclar, o referir, adecuadamente el tiempo geológico, o sea el ciclo del tiempo en el tiempo lineal, profundo, eterno.

En cuanto a las edades llamadas “absolutas” medidas por radiometría, fue Arthur Holmes quien realizó, a principio del siglo XX, varias mediciones de edades geológicas de minerales y rocas que contenían elementos radioactivos.<sup>24</sup> Los elementos utilizados para medir edades geológicas actualmente son, principalmente, el Uranio 238, Uranio 235, Torio 232, Rubidio 87, Potasio 40 y Carbono 14. Las edades medidas por datación radiométrica se las conoce como edades “absolutas”. Sin embargo, sólo representan edades en un ciclo de tiempo, el cual

<sup>24</sup> Eicher, D. L., *Ibidem*, pp. 18.



corresponde a un periodo o evento geológico relativo, y anclado en el seno del tiempo profundo absoluto (*sensu stricto*).

La Escala del tiempo geológico, o cronoestratigráfica (Tabla 1), representa aproximadamente 4,500 a 4,600 millones de años subdivididos en varias unidades cronológicas de tiempo, representadas por unidades de diferentes tallas.

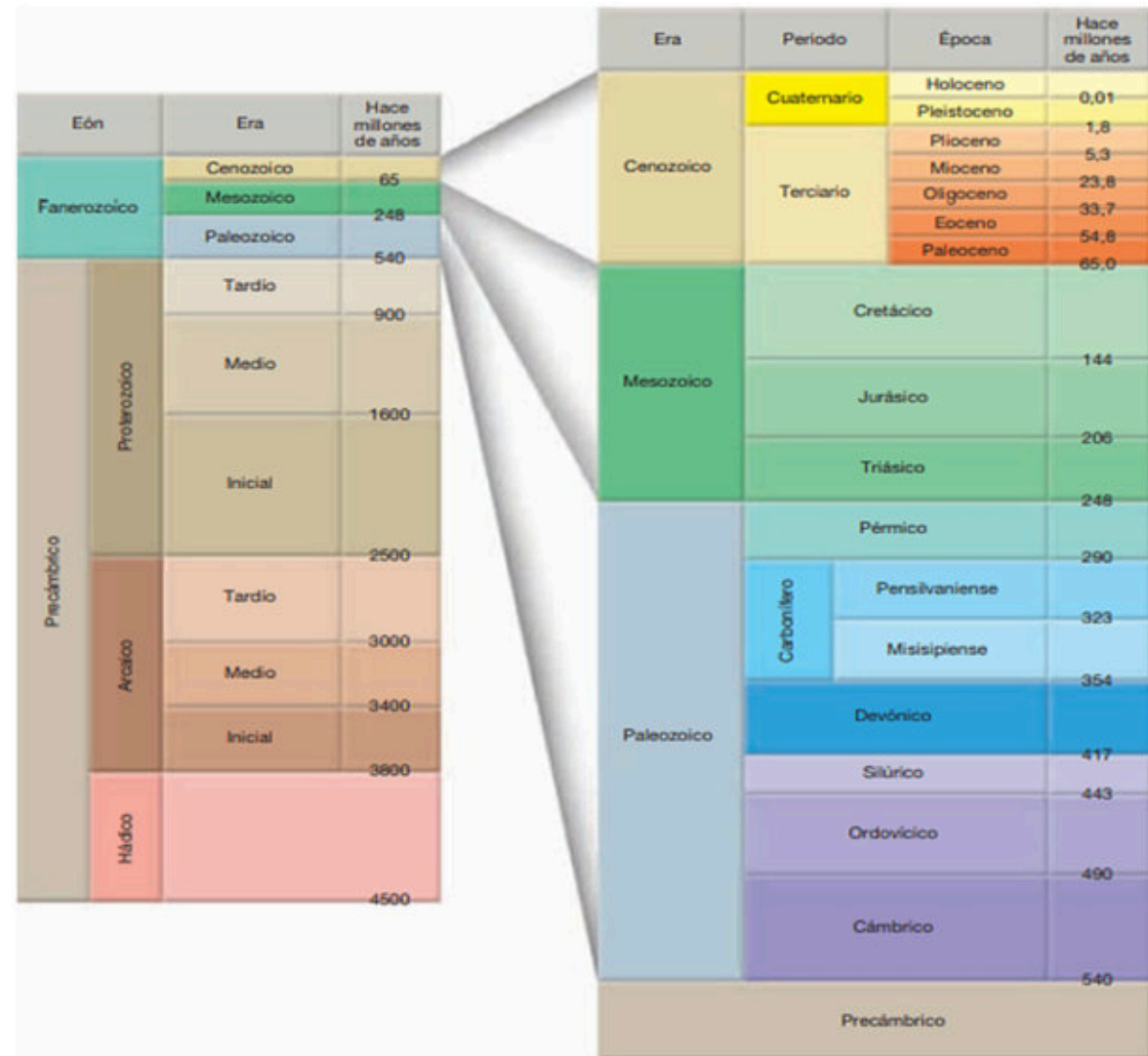


Tabla 1.- Escala del tiempo geológico. Los eones, eras y períodos son los tiempos relativos, establecidos según la datación relativa de unidades roca; las cifras son edades obtenidas por datación de elementos radiactivos. Fuente: *Ciencias de la Tierra*, por Tarbuck, E. J. y F. K. Lutgens, 2005, Ed. Pearson/Prentice-Hall.

Las unidades mayores son los eones, le siguen las eras, luego los periodos, después las épocas y las edades. Los eones son el Precámbrico y el Fanerozoico; las eras del Fanerozoico son el Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico. El Paleozoico se subdivide en siete periodos; el Mesozoico posee tres periodos y Cenozoico tiene tres periodos (cf. Tabla 1, anterior).

Se puede constatar que la escala del tiempo geológico presenta más detalle a partir del periodo Cámbrico, hace unos 541 millones de años, debido a que en este periodo comienzan a

aparecer las primeras formas de vida reconocibles a través de los restos fósiles conservados en las rocas, y que van a ser cada vez más numerosos hasta el Cenozoico. Estos 541 millones de años del Fanerozoico representan sólo cerca del 10% del tiempo geológico hasta ahora cuantificado. Como se observa en la tabla del tiempo geológico, todo el eón Precámbrico representa cerca de 4,000 millones de años sin vestigios apreciables de formas vivientes; y, en tiempo, este eón representa cerca del 90% de la edad de la Tierra; pero hasta ahora muy poco conocida.

En definitiva, al contrario de la noción aristotélica, el tiempo no es un “número”, sólo cuando se lo quiere “medir” y se le impone un número: la Geología impuso números al tiempo, y por ello, el tiempo geológico devino relativo: representa acontecimientos geológicos correlacionables y superpuestos en una escala temporal.

### 3.2- El Tiempo en la Cosmología

#### *El Tiempo y la relatividad; el nuevo paradigma*

En el marco de las ecuaciones de Maxwell, que satisfacen un principio de relatividad especial, para comprender las propiedades reales del mundo que vivimos fue necesaria la aportación de un principio adicional: la concepción como única entidad de un espacio-tiempo tetradimensional, el cual fue aportado por Hermann Minkowsky (1864-1909). Este principio fue enunciado en 1908 por Minkowsky: “En lo sucesivo, el espacio por sí mismo, y el tiempo por sí mismo, están condenados a desvanecerse en meras sombras; y sólo una especie de fusión entre los dos mantendrá una realidad independiente.”<sup>25</sup> En la representación del espacio-tiempo (tetradimensional, 3 dimensiones del espacio y 1 dimensión del tiempo) de la Figura 2, siguiente, cada punto de la imagen representa un suceso, es decir un punto en el espacio en un simple momento; un punto que tiene sólo una existencia instantánea. Tal figura representa toda la historia: pasado, presente y futuro. Así, una partícula que persiste en el tiempo, está representada por la línea, aquí denominada como *línea-de-universo*. Esta *línea-de-universo* puede ser recta o curva (si la partícula se mueve uniformemente, o y si se acelera, es decir, si se mueve no uniformemente, respectivamente), describe toda la historia de la existencia de la partícula<sup>26</sup>.

La visión del espacio-tiempo de Minkowski procede de la física experimental, es decir, de la realidad material. Para la física clásica, galileana-newtoniana, Einstein estableció que la representación gráfica del movimiento de una partícula se puede visualizar de dos formas: como una imagen dinámica del movimiento y como una imagen estática. En el primer caso sería una serie de sucesos, en un continuo unidimensional, en el espacio-tiempo, en el cual las posiciones de una partícula se visualizan en el paso del tiempo; la segunda, se puede representar el movimiento en una trayectoria curva en el continuo bidimensional espacio-tiempo (cf. Figura 2).

<sup>25</sup> Penrose, R., 1989.- *The Emperor's New Mind*. Oxford University Press. *La Nueva Mente del Emperador*. Edición en español de 1991, por Grijalbo Mondadori. Barcelona, España. pp. 250.

<sup>26</sup> Penrose, R., *Ibidem*, pp. 251.



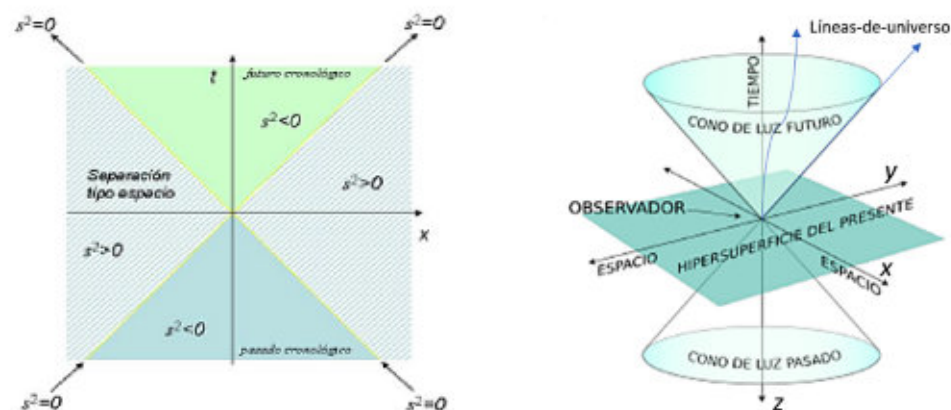


Figura 2. - Espacio bidimensional y tetradimensional de Minkowski (2 dimensiones en el primero (espacio en x e y tiempo), y 3 dimensiones espaciales y una temporal, en la segunda figura), in Ortiz, 2016.

En la relatividad el tiempo es distinto para cada observador y sistema de referencia (de coordenadas) en el espacio-tiempo, como una sola identidad. Por ello, en relatividad, los fenómenos se representan en un espacio-tiempo tetradimensional, o espacio de Minkowski; donde una partícula o un fotón (que cambia de coordenadas) y se desplaza en el espacio-tiempo, como un suceso desarrollado en un *cono de luz invariante*, o fenómeno causa-efecto.<sup>27</sup>

En este espacio-tiempo de Minkowski, un suceso visto por diferentes observadores en sistemas de referencia distintos. “El mundo de los sucesos es un continuo de cuatro dimensiones.”<sup>28</sup> El espacio y el tiempo son variables al pasar de un sistema de coordenadas a otro; empero, el intervalo espacio-temporal no varía de un sistema de coordenadas a otro, pero si existe variación entre los tiempos de los acontecimientos (o sea, hay relatividad de la simultaneidad) y existe variación en la distancia longitudinal entre ellos (relatividad de la longitud). Estas representaciones son factibles en el espacio de Minkowski. La línea vertical en este diagrama de Minkowski es la *línea-de-universo* o eje del tiempo *t* en el sistema de referencia *s*.

En la Figura 2, de la derecha, el pasado y el futuro de una partícula, o fotón, en O (origen u observador), cuya *línea-de-universo* es *t*, constituyen el *cono de luz* de O. Cualquier acontecimiento ocurrido dentro del cono de O tiene con respecto a O, una separación temporal según la cual en algún sistema alternativo S', ambos acontecimientos suceden en el mismo lugar, pero no en el mismo tiempo. Además, no hay ningún sistema alternativo S' en el cual sean simultáneos. El tiempo es, entonces, un conjunto de acontecimientos que se suceden en un mismo punto, y el espacio es el conjunto de los acontecimientos simultáneos.<sup>29</sup> Así, una *línea-universo* de una partícula o fotón persistentes en el espacio-tiempo; es un proceso que existe en sucesivos momentos; una historia que une las distintas posiciones en el espacio y en el tiempo, unidos en la entidad matemática-filosófica única espacio-tiempo.

En la imagen del espacio-tiempo de Minkowsky, la *línea-de-universo* de un fotón está representada como una línea recta inclinada a 45° de la vertical.<sup>30</sup> En la Figura 2, la magnitud de la coordenada *t* (TIEMPO) no describe el tiempo medido por un cronómetro preciso, salvo si está en reposo en el sistema de coordenadas con valores fijos de *x*, *y*, *z*, lo cual implica que el cronómetro tendría una *línea-de-universo* vertical en el diagrama<sup>31</sup>. Por ello, *t* (TIEMPO) es el tiempo para observadores en reposo con *líneas-de-universo* verticales. Para un observador en movimiento, la medición correcta estará sobre una línea diferente de la línea *t*, o TIEMPO, de la figura anterior.

Establecido lo anterior, “las invariantes geométricas del mapa universal de Minkowski no son, por tanto, más que la representación gráfica de relaciones también invariantes entre distancias, tiempos, velocidades, aceleraciones, fuerzas, masas, impulsos y energías de los puntos perceptibles, los cuales constituyen las leyes físicas absolutas de un Universo único que no depende de quién lo percibe.”<sup>32</sup>

En un campo gravitatorio de mayor intensidad, el tiempo transcurre más lentamente. Las propiedades geométricas del espacio-tiempo están condicionadas por la materia. Una definición del tiempo en Física, según Einstein es: “el tiempo de un evento es la indicación de un cronómetro inmediatamente vecino al evento.”<sup>33</sup> Por tanto, la concepción del tiempo según la relatividad general, concibe que el tiempo transcurre de manera diferencial para diferentes campos gravitatorios; a mayor curvatura del espacio-tiempo, el tiempo medido pasa más lentamente, es decir, ocurre la dilatación temporal del tiempo. La concepción del tiempo basada en la relatividad general, es completamente diferente a la concepción profunda “lineal” del tiempo humano. Según la teoría de la relatividad, la materia-energía determina las propiedades geométricas y gravitacionales del espacio-tiempo. Y en sí, se trata ya de un espacio-tiempo crono-geométrico. Así, todo cuerpo masivo situado en una curvatura del espacio-tiempo se desplaza con un movimiento acelerado determinado por tal curvatura<sup>34</sup>.

El tiempo, en la relatividad general, ya no es homogéneo ni uniforme, porque es intrínseco al espacio, a la materia-energía; los cuales son heterogéneos y dinámicos. También son relativas las mediciones del tiempo, ya que están subordinadas a los distintos campos gravitatorios. En la naturaleza ya no existen series temporales únicas; ni transcurre el tiempo con ritmos uniformes. Aunque, sin embargo, sí son posibles las relaciones de contemporaneidad entre distintas *líneas-de-universo* (cf. Minkowsky); y esta relación de contemporaneidad constituye la esencia fundamental del espacio-tiempo relativista. El tiempo relativista es sólo uno, en sentido topológico. De esta manera, la noción de simultaneidad, de la mecánica clásica, es sustituida por la de contemporaneidad del tiempo relativista<sup>35</sup>.

Según la famosa ecuación de Einstein  $E = mc^2$ , “la energía posee masa y la masa representa energía. En lugar de dos principios de conservación se tiene uno sólo: el de la conservación de

<sup>27</sup> Ortiz, G. J., 2016.- *Los Elementos del Concepto de Tiempo Aristotélico en la Teoría de la Relatividad*. Tesis doctoral. Universitat Abat Oliba CEU, Facultad de ciencias Sociales., pp. 246.

<sup>28</sup> Einstein, A., 1969.- *La física: Aventura del pensamiento*. Buenos Aires: Editorial Losada S. A., in Ortiz, G. J., *Ibidem*, pp.247.

<sup>29</sup> Ortiz G. J., *Ibidem*, pp. 248.

<sup>30</sup> Penrose, R., 1989.- *The Emperor's New Mind*. Oxford University Press. *La Nueva Mente del Emperador*. Edición en español de 1991, por Grijalbo Mondadori. Barcelona, España., pp. 251-252.

<sup>31</sup> Penrose, R., *Ibidem*, pp. 254.

<sup>32</sup> Sommer, H., 1979.- *Relatividad sin enigmas. Un enfoque racional*. Editorial Herder, pp.185, in Ortiz G. J., *Ibidem*, pp. 246.

<sup>33</sup> Einstein, A., 1956.- *La Relativité*. Petite Bibliothèque Payot, Éditions Gauthier-Villars, pp. 32-33.

<sup>34</sup> Ortiz G. J., *Ibidem*, pp. 234.

<sup>35</sup> Ortiz G. J., *Ibidem*, pp. 237.



la masa-energía.”<sup>36</sup> Según la ecuación de Einstein, “cuanto más se acerque la velocidad de un cuerpo a la velocidad de la luz, tanto más difícil será aumentarla... Todo aumento ulterior resulta imposible. Esta modificación introducida por la teoría de la relatividad no nos puede sorprender, ya que la velocidad de la luz es un límite insuperable para todas las velocidades. Ninguna fuerza finita, por grande que sea, puede causar un incremento de velocidad más allá de dicho límite. En lugar de la ley de la mecánica clásica que relaciona la fuerza con el cambio de velocidad aparece, en la relatividad, una ley más complicada.”<sup>37</sup>

Siendo que la relatividad especial niega la simultaneidad absoluta, la relatividad general negará la instantaneidad, en el marco del dinamismo que caracteriza al Universo en expansión y en permanente transformación, en un espacio-tiempo curvo, representado por la geometría no euclidiana de Riemann. En el Universo espacio-temporal de la relatividad general no existe la instantaneidad, tampoco existirá la simultaneidad absoluta. Así, la teoría de la relatividad general ha venido a reforzar la negación de la simultaneidad absoluta que implicó la teoría de la relatividad especial.<sup>38</sup>

En resumen, en la teoría de la relatividad, matemáticamente, la concepción del tiempo es una “coordenada” en el espacio tridimensional. Así, existirían cuatro coordenadas en el espacio-tiempo (que en realidad serían sistemas de referencia). Esta geometría tetradimensional constituye la noción del espacio-tiempo en cuatro dimensiones donde ocurren los acontecimientos de la realidad universal multiescalar, así como los fenómenos conceptuales y experimentales de la curvatura del espacio-tiempo y la *dilatación del tiempo*. Ahora el tiempo es una propiedad geométrica, siendo la distancia entre dos sucesos, según su velocidad relativa. El espacio le “dice” a la materia cómo debe moverse, y la materia le “dice” al espacio cómo debe curvarse (John Wheeler). Esto es, *grosso modo*, el tratamiento del espacio-tiempo en física teórica y experimental. Y a estas nociones se suma la *función de universo* y el *espacio de Hilbert* conformado por tensores, para explicar la presencia de la gravedad en la geometría del espacio-tiempo. Estos conceptos de Hilbert han permitido la construcción de una nueva visión cosmológica del Universo.

De la expansión del Universo se concibe la flecha del tiempo geométrica universal. Por tanto, los semiconos de Minkowski en dirección de la expansión son los futuros, donde se contiene la coordenada  $t$ , o flecha del tiempo universal; esta sería la flecha cosmológica del tiempo y debida la entropía que aumenta en dirección al futuro. El tiempo universal no tiene reversibilidad; el tiempo geológico y el humano, tampoco. El inicio del tiempo universal es  $t = 0$ ; y desde luego también el inicio del espacio-tiempo y de la materia. Empero, la incertidumbre es, todavía el tiempo; ya que el universo, según los diferentes modelos, puede ser cerrado, abierto o plano. Es decir, finalmente conocer cuándo y cómo, y cuánto es el tiempo, no es posible saberlo. Como este universo evolucionó, o evolucione, dependerá de la constante cosmológica, la cual es incierta conocer y cuantificar precisamente. También, se reconoce que el universo tiene una historia térmica (y la Tierra la tendría también). En resumen, según sea la evolución del Universo, para lo cual hay variados modelos, serán las características espaciales (o topológicas) del tiempo universal. Entonces, un *punto-instante* en el espacio-tiempo universal será un *aquí-ahora*, o un *hic et nunc*, único e irrepetible en toda la *eternidad-espacio*. El

<sup>36</sup> Einstein, A., 1969.- *La física: Aventura del pensamiento*. Buenos Aires: Editorial Losada S. A., in Ortíz, G. J., *Ibidem*, pp.171.

<sup>37</sup> Einstein, A., *Ibidem*, in Ortíz, G. J., *Ibidem*, pp.168-169.

<sup>38</sup> Ortíz G. J., *Ibidem*, pp. 244.

presente es un *prae-esse*, (en latín *prae*: delante, frente. Y *esse*: ser, existir, infinitivo de *sum*; soy existo). Un *Ἐγώ εἰμί*, (*Ego eimi*), “yo soy”, “yo existo”, en un *punto-instante* del Universo.

Y la luz, unida al espacio-tiempo, es *lux aeterna* (luz eterna) que viaja en el espacio-tiempo, y es tiempo también; pero los cuales no se comprenden aun en su naturaleza y profundidad. Y el tiempo universal (tiempo absoluto o flecha del tiempo universal entrópica), desde el inicio del espacio-tiempo hasta ahora, es espacio-tiempo-energía, desplegado en el fluir de instantes *ad infinitum*. El Universo posee una historia (tiempo transcurrido), por ello es asimétrico y posee dirección y sentido. Y, en dirección de la “flecha temporal”, la ley de la entropía lo hace irreversible, del pasado al futuro; al menos por ahora. Igualmente, la historia de la Tierra posee una flecha del tiempo que es irreversible. Al menos existen, por tanto, tres flechas de tiempo: la flecha termodinámica, del incremento de la entropía; la flecha psicológica de la consciencia (pasado, presente y futuro que experimenta el ser humano); y la flecha cosmológica, que refleja la expansión del Universo. Las tres flechas del tiempo tienen el mismo sentido.

### **Aproximación a la Edad del Universo**

La base material para tratar de “medir” el tiempo es la materia del Universo, aunque a partir de aproximaciones y medios indirectos. Las apreciaciones de la edad del Universo, desde el *Big Bang* hasta la actualidad, se fundamenta en modelos que se basan, a su vez, en los siguientes hechos o teorías cosmológicas:

a.- La Teoría de la expansión del Universo (efecto Doppler-Fizeau de la luz creando sus trazas espectrales desplazadas hacia altas longitudes de onda al alejarse). El corrimiento al rojo  $z$  se define como:  $z = \Delta\lambda/\lambda$ . En estas condiciones, la velocidad de alejamiento llega a ser:  $V = cz$ , donde  $c$  es la velocidad de la luz; y donde  $V$  es válida para velocidades menores a la de la luz.

b.- La singularidad, es decir, en el pasado las galaxias estaban muy próximas, en un Universo muy pequeño, muy denso y muy caliente. Según la relatividad general el universo tenía dimensión nula y densidad y temperatura infinitas. Este aspecto es sólo matemático, porque la física actual es incapaz de describir los fenómenos junto a este punto llamado singularidad.

c.- El Factor de escala es  $z + 1 = R_0/R_e$ ; donde:  $R_0$  es al factor de escala actual; y  $R(t)$  el del tiempo  $t$ ;  $R_e$  es el factor de la emisión de la luz estudiada. Si  $z = 1$ , entonces  $R_0/R_e = 2$ .

d.- Las constantes libres del modelo estándar; este modelo es un modelo del Universo obtenido a partir de las ecuaciones de Einstein, según diversas hipótesis simplificadas o pruebas: la radiación cosmológica de fondo; la expansión del Universo; y su composición química. Este modelo estándar funciona basado en tres constantes libres no calculadas, sino determinadas por observación: la constante de Hubble  $H_0$ , la constante cosmológica  $\Lambda$ , y la densidad del Universo  $\Omega_0$ . La constante de Hubble es la representación de la edad del Universo, ya que representa la relación entre la velocidad de escape de las galaxias y su distancia.

Por otra parte, la constante cosmológica  $\Lambda$ , introducida por Albert Einstein, existiría, si la velocidad de expansión del Universo se acrecienta, la cual estaría produciendo la repulsión de la materia; por tanto, sería contraria a la gravitación de la misma. La constante cosmológica  $\Lambda$  tiene especial importancia en la transformación tiempo de Hubble y la edad del Universo. Y la



densidad del Universo  $\Omega_0$  se relaciona con el factor de escala, y define la cantidad de materia para que el Universo continúe en expansión, y sea estático o se contraiga.

Así, con base en los argumentos teóricos precedentemente expuestos, de manera breve, se puede evaluar la edad del Universo según determinado modelo cosmológico, entre todos los posibles. La evaluación de la edad es dependiente de las hipótesis que se adopten: Universo vacío (Einstein), de densidad nula, o si está en expansión (según varios modelos de Friedman); las estimaciones de las velocidades cosmológicas; la determinación de distancias por la utilización de luminosidades absolutas estándar de fuentes estelares (v. gr. cefeidas); la luminosidad de galaxias (relación Tully-Fisher); supernovas, así como las estimaciones de la velocidad y la constante de Hubble  $H_0$  obtenidas de manera observacional sobre galaxias y supernovas.

Una aproximación a la edad del universo, por ejemplo, puede ser calculada a partir de  $H_0$ ,  $\Omega_0$  y  $\Lambda_0$ . Así, la estimación actual de la edad del Universo (Planck y WMAP) sería:  $\sim 13.8 \times 10^9$  años. Donde:  $H_0$  es la constante de Hubble;  $\Lambda$  es la constante cosmológica de Einstein; y  $\Omega_0$  es la densidad del universo. Los valores asignados a estos parámetros, se exponen en la siguiente tabla (cf. Edwin Hubble).

$H_0$ Cte de Hubble	$\Omega_{m0}$	$\Omega_{\Lambda 0}$	Edad ( $10^9$ años)
72	1.0	0.0	9.0
72	0.3	0.0	11.0
72	0.3	0.7	13.1
60	1.0	0.0	10.9
60	0.3	0.0	13.2
60	0.3	0.7	15.7

La edad de las estrellas más antiguas de nuestra galaxia (cúmulos globulares) es estimada en  $\sim 13$  mil millones de años. Es decir, todo modelo cosmológico que predice la edad del Universo menor a  $13 \times 10^9$  años está en conflicto con los modelos de evolución estelar; esto es justamente para el nuevo modelo estándar ( $H_0 = 68$ ;  $\Omega_0 = 0.31$ ;  $\Lambda_0 = 0.69$ ). El modelo estándar es el llamado Universo del “*Big Bang* caliente”; y el cual se fundamenta en tres pilares de observación: la expansión del Universo (escape de galaxias); la radiación cosmológica fósil de fondo de  $T = 3 \text{ K}^\circ$  (ó  $2.725 \text{ K}^\circ$ ); y la abundancia de los primeros elementos de la tabla periódica de Mendeleiev (Hidrógeno y Helio). Que a su vez se apoyan en una teoría: la Relatividad General; y en un Principio cosmológico: un Universo homogéneo e isótropo.

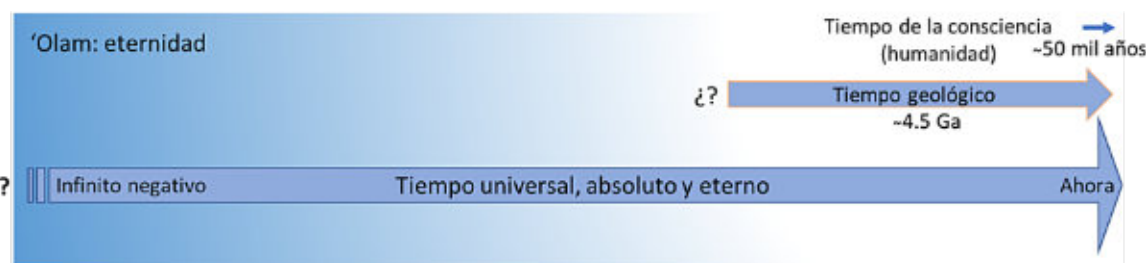


Figura 3.- Comparación “escalar” temporal del tiempo. El tiempo geológico sólo es una parte ínfima del tiempo universal; el tiempo humano es casi nada.

Finalmente, la edad del Universo, con todas las incertidumbres existentes como, la determinación de  $H_0$  (errores en las apreciaciones de velocidades cosmológicas y distancias de

evaluación de  $\Omega_0$ , que varían enormemente entre 0.2 y 20), y los errores en la evaluación de la constante cosmológica (si es que existe), representa sólo una aproximación conjetural e imprecisa. Existen diversas incertidumbres sobre varios parámetros. Empero, las ideas existentes sobre la edad del Universo, en general, cuentan con el consenso de la mayoría de los cosmólogos. Así, de manera general, la Figura 3 muestra las relaciones cualitativas entre las tres nociones del tiempo: el tiempo universal, el tiempo geológico y el tiempo humano.

Por tanto, actualmente con base en el valor posible de  $H_0 = 57 \pm 5 \text{ km.s}^{-1}.\text{Mpc}^{-1}$ ; en el marco del modelo estándar de Einstein-Sitter, la edad del Universo podría ser  $t_0 = \sim 11.4 \pm 1$  mil millones de años. Aunque, por otra parte, según mediciones procedentes de Hipparcos proveen una edad, para los conjuntos globulares de galaxias, de  $15 \pm 3$  mil millones de años. Esto no es concordante: que los objetos del Universo sean más antiguos que la propia edad del Universo. En las estimaciones de la edad del Universo, se espera que en el futuro se pueda mejorar la precisión de las medidas; y al parecer, las incertidumbres también proceden de la elección de los variados modelos cosmológicos sobre los que se desea fundamentar la estimación de la edad del Universo<sup>39</sup>.

#### 4.- EPÍLOGO CONCLUSIVO

En suma, la revolución intelectual sobre la edad de la Tierra fue obra de los geólogos, particularmente durante el siglo XVIII y XIX, que descubrieron que la Tierra y la vida en ella tenía una larga historia. Asimismo, la cosmología del siglo XX, con la teoría de la relatividad general y los descubrimientos astronómicos demostraron que el Universo también posee una infinita historia.

Las relaciones de tiempo, como reconocimientos en la consciencia, sólo son posibles desde lo que es permanente (caracterizado por relaciones de simultaneidad, de contemporaneidad, de sucesión), es decir, lo permanente es el substrato de la representación del tiempo. La determinación temporal es posible sólo en este substrato, que es la materialización de la existencia y la acción de los fenómenos físicos que han ocurrido en el mundo-cosmos. Este proceso de conocimiento (epistemológico) fue la esencia del reconocimiento del tiempo geológico, o de los periodos de tiempo geológico materializados en las rocas sedimentarias, el cual fue realizado por Hutton; ya que él reconoció objetos “permanentes” o “substratos” (rocas) en relaciones de simultaneidad, contemporaneidad, sucesión (o correlación estratigráfica). Esta fue la clave esencial del descubrimiento del tiempo objetivo (caracterizado por la persistencia) registrado en Geología, e inserto en el tiempo absoluto, universal (el tiempo infinito), que constituyó una revolución intelectual en el conocimiento humano sobre el mundo.

En el espacio-tiempo no hay simultaneidad absoluta, no hay “secciones transversales” que contengan todos los sucesos verdaderamente simultáneos<sup>40</sup>. Análogamente, en estratigrafía (sedimentología) no hay espacio-tiempos simultáneos o sedimentación simultánea correlacionable absolutamente en tiempo geológico, porque los acontecimientos geológicos ocurren en una superficie de tipo espacio-tiempo sobre la superficie de la Tierra. Y cada punto en esa superficie tipo espacio-tiempo (medio sedimentario), no habrá los mismos eventos

<sup>39</sup> Maratrey, J. P., 1999.- *L'age de l'universe*. Quasar 95, Club d'Astronomie de Valmondois. 12 p.

<sup>40</sup> Ortiz G. J., *Ibidem*, pp. 237.



sedimentarios simultáneos ni uniformistas (es decir, cada punto en esa superficie-tipo habrá infinidad de conos de luz (eventos) en el espacio de Minkowsky<sup>41</sup>). El pasado de la Tierra está registrado en las rocas y sus estructuras, las cuales son su memoria. En el mundo geológico hay tiempo pasado materializado en el registro de las rocas sedimentarias. El presente es la acción de los fenómenos geológicos; y el futuro de la Tierra todavía no existe. La Tierra y el Universo constituyen un problema científico y filosófico de infinitas consecuencias. El espacio-tiempo, y la materia-energía contenida en él, ha existido de menos infinito a más infinito  $(-\infty, \infty)$ ; mucho después, muy tarde, llegó el hombre y su consciencia a experimentar el mundo. Aun sin la existencia del ser humano, el espacio-tiempo, y el tiempo universal y absoluto, han existido y existirán *aeternaliter* (eternamente). Si el hombre (su consciencia) se situara en el espacio sideral (universo), ya no habría para él cuenta del tiempo (en días, meses años...), pero la profundidad del tiempo, siempre existiría. El tiempo es absoluto y universal, nuestra consciencia se pierde en él.

*Sensu stricto*, el tiempo no puede ser definido, puesto que cualquier concepto que se utilice para ello, será un "concepto" que presupone el tiempo. Por tanto, el tiempo no es un concepto, permanece como una intuición. No es el tiempo el que pasa, sino la existencia de lo transitorio lo que sucede o pasa en él; el tiempo no cambia, sólo su contenido (cf. Ortiz, 2016.)<sup>42</sup> Y pensando en el espacio-tiempo, universal, éste es inmutable, absoluto e infinito; y lo que cambia en el espacio-tiempo es su contenido: la materia, la energía, los fenómenos.

"Porque el tiempo sólo pasa: huye, es inaprensible, escapa al análisis y al pensamiento, y siempre perdura. ¿Cómo no habría de existir si resiste todo y nada le resiste? ¿Cómo no habría de existir, si contiene todo lo que existe? Ser, es ser en el tiempo; así, el tiempo precisa ser. Contiene todo, envuelve todo, devora todo: todo lo que ocurre, ocurre en el tiempo y nada, sin él, podría ser ni devenir. Es, exactamente, la condición de lo real."<sup>43</sup> Este mundo es el único que la consciencia "conoce", o al cual tiene acceso. "No hay un dominio en que lo *absurdo* y el *misterio* estén más próximos, más íntimamente ligados, que en la experiencia de ese flujo que nosotros creemos conocer, en el que discurre y se mide nuestra vida, y que llamamos simplemente: *tiempo*. Todos aquellos que, desde Platón hasta Heidegger, se han ocupado de la definición del tiempo han vuelto a encontrar las mismas dificultades."<sup>44</sup>

En la Física, y la ciencia en general, el tiempo es la base de los fenómenos representados en las ecuaciones matemáticas. Las ecuaciones son simétricas respecto al tiempo (cf. las ecuaciones de Newton, Hamilton, Maxwell, Dirac, Schrödinger, Einstein...). En ellas, el tiempo es reversible, puede ir hacia "atrás" o hacia el "devenir". Pero la irreversibilidad ontológica es la realidad del cosmos, del espacio-tiempo donde nuestro ser existe. En la realidad el "tiempo matemático" no tiene significación ontológica. Ergo: "no podemos meternos dos veces en el mismo río", permanece válido el *dictum* de Heráclito.

<sup>41</sup> Penrose, R., *Ibidem*, pp. 277.

<sup>42</sup> Ortiz G. J., *Ibidem*, pp. 156-160.

<sup>43</sup> Comte-Sponville, A., 2001.- *¿Qué es el tiempo? Reflexiones sobre el presente, el pasado y el futuro*. Editorial Andrés Bello. Traducción de Pierre Jacomet. Título de la edición original: *L'être-temps*, Ed. Presses Universitaires de France., pp.25.

<sup>44</sup> Guitton, J., 1991.- *Lo absurdo y el misterio*. EDICEP. Primera edición en francés en Desclée de Brouwer, en 1984, con el título: *L'absurde et le mystère*.

En fin, perviven varios conceptos o nociones del tiempo: el tiempo relativo de la Geología; los relojes biológicos; el tiempo tetradimensional de la física y Minkowski; el tiempo de la relatividad general de Einstein; el tiempo histórico humano; el tiempo de la consciencia; el tiempo en cosmología; el tiempo de la creación y el tiempo del fin en la enseñanza cristiana; el tiempo en filosofía; el tiempo de las horas de las tardes apacibles...etcétera. Finalmente, el tiempo no es más que una ilusión, *dixit* Einstein, para nuestra consciencia, pero es el reflejo de una entidad real sobre la cual reposa, y es, todo lo que existe en el maravilloso Universo; y en el cual hemos sido puestos.

"La gente como nosotros, quienes creen en la física, sabe que la distinción entre el pasado, el presente y el futuro, es sólo una ilusión obstinadamente persistente." Son las sabias palabras

de Alberto Einstein dirigidas en una carta escrita al hijo y la hermana de Michele Angelo Besso, el 21 de marzo de 1955. ¡Ah, enigma inconmensurable!

Ahora, al instante, este brevísimo y metafórico texto ha terminado, a causa del incremento de la entropía y porque el espacio-tiempo ha llegado a su fin.

#### Arte poética

Mirar el río hecho de tiempo y agua  
y recordar que el tiempo es otro río  
saber que nos perdemos como el río  
y que los rostros pasan como el agua.

Arte poética, fragmento,  
Jorge Luis Borges.

#### Salvador Ortuño Arzate, Semblanza sucinta



Actualmente es Comisionado de la Comisión Nacional de Hidrocarburos de México.

Profesor titular en la Escuela Militar de Ingenieros de la Rectoría del Ejército y la Fuerza Aérea; y en la Facultad de Ingeniería de la UNAM; en asignaturas de Ciencias de la Tierra; Consultor independiente en temas de Geología y exploración petrolera.

Ha sido investigador en el Instituto Mexicano del Petróleo por más de veinticinco años; y en el *Institut Français du Pétrole*, desempeñándose como investigador huésped ("*Visiteur scientifique*"), para el desarrollo de proyectos de investigación y uso de nuevas tecnologías de modelado geológico, caracterización de sistemas petroleros, métodos de exploración petrolera, yacimientos naturalmente fracturados y teledetección aeroespacial aplicada a la exploración de recursos petroleros.

Asimismo, ha publicado libros y artículos técnicos, v. gr. "*El Mundo del Petróleo*". FCE, 2009; "*La seguridad energética como elemento de la seguridad nacional*", "*Perspectivas petroleras de México*"; "*¿Cuándo se agotará el petróleo?*"; "*Campos maduros, retos difíciles*"; y "*Chicontepepec: dislate técnico y político*".

Ejerce la pintura al óleo, como reflejo de la maravilla estética de la naturaleza y la Geología del planeta.



## CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LOS PRINCIPALES YACIMIENTOS DE HIERRO EN MÉXICO

Corona-Esquivel, Rodolfo<sup>1</sup>, Tritlla, Jordi<sup>2</sup> y Levresse, Gilles<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 Ciudad de México

<sup>2</sup>Geólogo Consultor, Gemix, 17490 Llançà, Girona, Catalunya, España.

<sup>3</sup>Centro de Geociencias, Campus, Juriquilla, UNAM, Querétaro, Mexico

[rcorona@unam.mx](mailto:rcorona@unam.mx)

### INTRODUCCIÓN

El hierro es, fuera de toda discusión, uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre y de acuerdo a su origen sus yacimientos pueden ser sedimentarios, magmáticos o de reemplazo metasomático. En orden de importancia y de acuerdo con la magnitud de sus reservas, los depósitos de mineral de hierro que ocupan el primer lugar son los de tipo sedimentario. Éstos contienen las mayores reservas del mundo y están constituidos principalmente por hematita y magnetita. Casi en su totalidad son de edad precámbrica (~2,500 Ma), formando el tipo llamado *banded iron formation* (BIF) por su disposición en capas. Otros yacimientos de tipo sedimentario son los de hierro oolítico, los cuales alcanzan volúmenes considerables, estando constituidos por acumulaciones de hematita con textura oolítica a pisolítica.

A los de origen sedimentario siguen en importancia los yacimientos magmáticos, que se conocen también como de tipo *IOCG* (Iron Oxide Copper Gold deposits), *subtipo Kiruna* (o magnetita-apatita), debido a su yacimiento modelo en Kirunavaara (Suecia; Nystrom, J. O., 1985; Nystrom, J. O.; Henriquez, F; y Travisany, V., 1996). Éstos tienen una amplia distribución en espacio y tiempo, comprendiendo desde el Proterozoico hasta el Terciario. Por lo general, son de gran volumen (>500 millones de toneladas) y presentan texturas de enfriamiento rápido, similares a las de las rocas volcánicas. Se caracterizan por valores altos en tierras raras, ser pobres en Cr (<10 ppm), ricos en V (>1,000 ppm) y tener un bajo contenido de Ti (100-1,000 ppm). Se generan a partir de la inmiscibilidad de magmas mediante la separación de un líquido silicatado, que da origen a las rocas ígneas asociadas, y

otro rico en óxido de hierro y fósforo. En dicho proceso, los metales siderófilos mencionados se adhirieron a la fase metálica en mayor o menor proporción de acuerdo a su coeficiente de distribución (*partition coefficient*) metal-silicato.

Finalmente, los yacimientos de *reemplazo metasomático* o tipo *skarn*, estrechamente ligados a los de tipo magmático. Se presentan en ambientes geológicos variados que van desde el Precámbrico hasta el Paleógeno y Neógeno (Figura 1).

### YACIMIENTOS DE HIERRO EN MÉXICO

A diferencia de los anteriores, los yacimientos en México son de edades más recientes y de menor volumen y pueden ser divididos en dos grandes grupos: los del Norte y los del Suroeste de México (Figuras 2 y 3).

### YACIMIENTOS DEL NORTE DE MÉXICO

Los yacimientos del Norte de México presentan características comunes en cuanto a que están hospedados en rocas volcánicas félsicas de edad oligocénica, su mena es principalmente hematita y su origen indica ser magmático. A continuación se describen los más importantes (Figura 3).

#### Cerro de Mercado, Durango

El yacimiento de hierro Cerro de Mercado recibe este nombre en honor a su descubridor, el explorador español Ginés Vázquez de Mercado. Se localiza en el centro del estado de Durango, justo en el límite norte de la actual ciudad capital del mismo. Sus coordenadas geográficas son 24°02'48"N y 104°40'18"W y su altitud es de 1,980 msnm. Ha sido objeto de diversos estudios tanto de investigación como económicos (Lyons, 1988; Corona-Esquivel & Henríquez, 2004; Corona-Esquivel et al, 2007, 2009a). El yacimiento se localiza en la región centro-oriental de la provincia fisiográfica Sierra Madre Occidental. De igual forma, queda comprendido dentro de la secuencia volcánica más extensa y espectacular de México, denominada Faja Ignimbrítica Mexicana.

El laboreo minero actual cubre un área aproximadamente de 1.04 km<sup>2</sup>, en la cual se observan diferentes cuerpos de mena, los que de acuerdo a sus características se les ha denominado como mineral masivo, mineral pulverulento, brechas mineralizadas y cuerpos de rodados de Fe semiconsolidados, emplazados en una secuencia de rocas félsicas con edades comprendidas entre 32.1 a 28.3 Ma Oligoceno; (Corona-Esquivel et al, 2018). La mineralización principal está controlada por dos grandes estructuras de

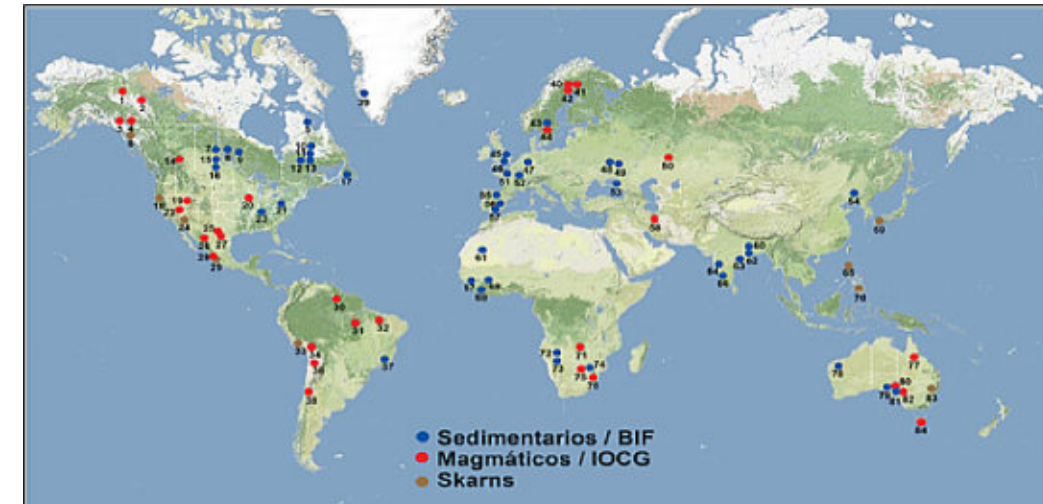


Figura 1. Yacimientos de hierro más importantes en el mundo.

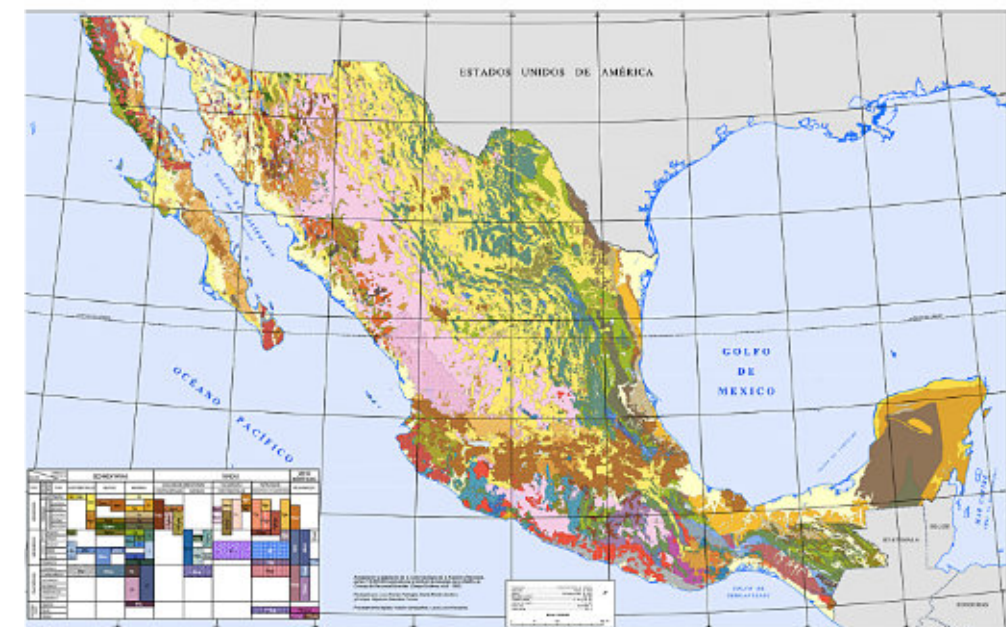


Figura 2. Mapa geológico de México en el que se advierte una mayor abundancia de rocas Fanerozoicas.



Figura 3. Principales yacimientos de hierro en México.



brechas de falla: una de ellas con una orientación N-S, aproximadamente de 1,200 m de longitud por 120 m de anchura en promedio, dentro de la cual han sido explotados intensamente los cuerpos de mineral conocidos como Oficinas-Talleres, Conejos y Marmaja. La otra estructura de brecha de falla tiene un rumbo NE-SW y una longitud aproximada de 950 m con una anchura de unos 50 m en su parte central y más de 70 m en su extremo nororiental. En ella, se localizan los cuerpos de mineral denominados Central y Oriente, y en el área adyacente al NW se encuentran los cuerpos El Pirul y Mesa de Torres.

La mineralogía de la mena consiste principalmente en hematita, magnetita y martita. En menor proporción, junto a la magnetita, aparecen como minerales primarios cristales euhedrales de piroxeno y apatita intercrecidos con la magnetita. También es frecuente encontrar cristales muy limpios de apatita en oquedades en el mineral de hierro, junto con calcedonia y pirofilita, posteriores al proceso principal de mineralización de hierro.

Las características de los cuerpos de mineral, tales como estructuras claramente intrusivas, contactos nítidos no reactivos con la roca encajonante, texturas magmáticas dentro de los cuerpos de magnetita y la ausencia de un metasomatismo evidente, indican que el origen del yacimiento de Cerro de Mercado está relacionado íntimamente con la extrusión de un magma de mena de hierro, dando lugar a la formación de los diferentes cuerpos principales del yacimiento (Figura 4).

#### **La Perla, Chihuahua**

El yacimiento de La Perla se localiza en la parte oriental del estado de Chihuahua; sus coordenadas geográficas son 28°18'51"N y 104°33'46"W y su altitud es de 1,558 msnm. El área se encuentra situada en la porción suoriental de la provincia fisiográfica de Cuencas y Sierras. Así mismo, queda incluida en la porción suoccidental de la denominada Provincia Geológica Chihuahuense, en la que afloran rocas del Cenozoico y Mesozoico, principalmente.

Pueden distinguirse dentro de la mina cuerpos de mineral masivo, mineral pulverulento, mineral silicificado y cuerpos de brecha, cuyos minerales principales son hematita, magnetita con pequeñas cantidades de apatita, cuarzo y calcita (Corona-Esquivel et al, 2009b). Las características morfológicas, estructurales, texturales, mineralógicas y de edad observadas en el yacimiento de La Perla señalan una gran similitud con las que se presentan en el yacimiento de Cerro de Mercado y también con las descritas en otros yacimientos de magnetita-apatita en el mundo, como es el caso de El Laco, en Chile, y Kirunavaara, en Suecia (Figura 5). Es de destacar la presencia de cuerpos pulverulentos estratificados, con presencia de palinomorfo de edad Oligoceno (Corona-Esquivel et al, 2010), con evidencias de recocimiento a alta temperatura, todo ello indicativo de un emplazamiento en superficie

mediante procesos extrusivos. Un hecho importante en este yacimiento, fueron sus estudios palinológicos en el mineral pulverulento, en los cuales se reconocieron granos de polen con edades de 32 Ma, iguales a la edad de formación del depósito. Estos estudios son los primeros que se realizan en su tipo, en cuanto a depósitos de hierro.

La edad del depósito, por su relación genética con las rocas volcánicas de la Formación La Perla en las que encajona es de  $31.8 \pm 0.5$  Ma (Oligoceno). Datos geológicos, mineralógicos y texturales, permiten postular un origen magmático para este yacimiento, el cual se habría originado a partir de un magma de hierro muy rico en volátiles (F, P, S).

#### **Hércules, Coahuila**

El distrito minero de Hércules se localiza en el extremo occidental del estado de Coahuila, cerca de los límites con el estado de Chihuahua, entre los paralelos 28°01'40" y 28°02'28"N y los meridianos 103°44'25" y 103°45'37"W, en terrenos pertenecientes al municipio de Sierra Mojada. Los primeros estudios geológicos fueron realizados en 1943 por Torres y Esteve.

Los yacimientos ferríferos de Hércules, junto con otros cuerpos minerales ubicados en la Sierra de Cruces, en Coahuila, representan el extremo sur de la denominada "Provincia Ferrífera del Norte de México"; así mismo, quedan comprendidos en la Provincia Fisiográfica de Cuencas y Sierras. La estructura geológica de mayor interés en la región, es el stock intrusivo de carácter subvolcánico que forma la Sierra de Cruces, presentando una forma burdamente circular. Los cuerpos ferríferos conocidos se encuentran emplazados en la periferia interna del stock intrusivo, particularmente en su porción NW (Hércules) y Oriente (Santa Elena). Las rocas intrusivas se encuentran afectando a formaciones sedimentarias marinas de edad mesozoica.

En el distrito ferrífero de Hércules se tienen identificados cinco cuerpos minerales principales y una serie de cuerpos pequeños que forman siete agrupamientos. Los cuerpos ferríferos consisten, en su mayoría, en mineral masivo de alta ley con predominio de hematita, magnetita subordinada y cantidades menores de pirita, calcopirita, pirrotita, bornita, yeso, cuarzo, calcita, apatita, limonita y titanita. La morfología de los cuerpos es irregular elongada y burdamente tabular con actitudes tendientes a la vertical. Su ubicación se encuentra íntimamente relacionada a estructuras de falla que representan el principal control en el depósito de la mineralización. Los cuerpos más importantes del distrito son: Prometeo, Teseo, Tíber-Elektra, Área Sama y Aceros (Figura 6.)

La roca encajonante consiste comúnmente en rocas ígneas porfídicas de composición sienítica. Los contactos del mineral con la roca encajonante son normalmente



Figura 4. Yacimiento de Cerro de Mercado, Durango.



Figura 5. Yacimiento La Perla, Chihuahua. La forma original del yacimiento fue la de una lente de 1,200 m de longitud por 700 m de anchura y aproximadamente 75 m de profundidad.

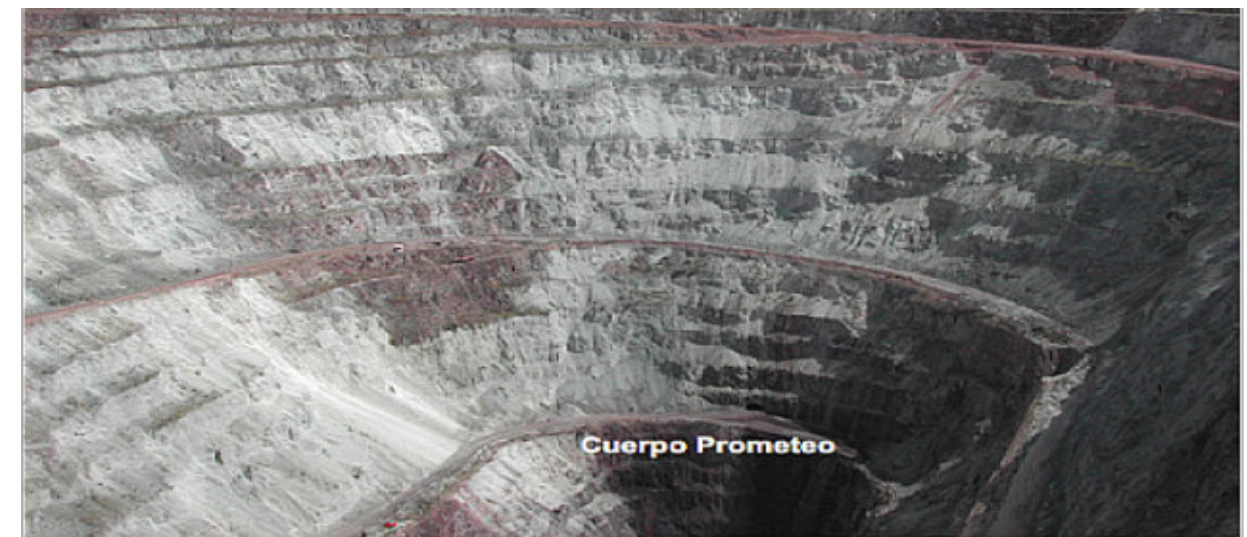


Figura 6. Cuerpo Prometeo en el distrito ferrífero de Hércules, estado de Coahuila.



abruptos. El mineral se presenta con textura compacta cristalina, en ocasiones bandeada con crustificación y oquedades; eventualmente, se presentan fragmentos brechoides de roca intrusiva.

Dataciones de K/Ar en roca total de algunas muestras de roca intrusiva del distrito Hércules, indican edades oligocénicas (Martínez-Bermudes et al, 1990), por lo tanto, se considera que la edad de la mineralización sea post-oligocénica, cuando menos parcialmente. En cuanto al origen, análisis isotópicos dan valores de -3.6 a +3.5 per mil de delta <sup>34</sup>S, indicando un origen magmático para el azufre de los sulfuros. En cuanto a las temperaturas de fraccionamiento isotópico del azufre, geotermómetros y geobarómetros auxiliares revelan que la mena principal de magnetita se formó entre 525 y 425°C bajo presiones cercanas a 500 bars. (Martínez-Bermudes et al, 1990).

**YACIMIENTOS DE LA PORCIÓN SUROCCIDENTAL DE MÉXICO**

Los yacimientos de la porción suroccidental de México están emplazados en la secuencia vulcanosedimentaria del Jurásico-Cretácico, siendo en edad del Cretácico Tardío-Terciario temprano. La mena consiste principalmente en magnetita. En cuanto al origen, unos depósitos son magmáticos y otros de reemplazo metasomático. Los más importantes son los siguientes: La Huerta, El Encino y Chanqueahil, en Jalisco; Peña Colorada y Cerro Náhuatl, en Colima; Aquila, Las Truchas y Los Pozos, en Michoacán; y Plutón, El Tibor y El Quelele, en Guerrero (Figura 7).

**La Huerta, Jalisco**

El yacimiento de hierro de La Huerta se localiza en la porción suroccidental del estado de Jalisco, entre las coordenadas geográficas 10°15'-19°35'N y 104°20'-104°45'W. En él afloran tanto rocas vulcanosedimentarias del Cretácico como rocas intrusivas

de composición granodiorítica del Cretácico Tardío-Terciario temprano. Estas secuencias forman parte del denominado "Terreno Guerrero", las que tectónicamente estuvieron relacionadas con la evolución de un arco de islas y fueron muy favorables para el depósito de yacimientos minerales metálicos, especialmente de hierro.

Los mapas aeromagnéticos del área realizados por el entonces Consejo de Recursos Minerales (actual Servicio Geológico Mexicano) indican fuertes anomalías que pudiesen corresponder a cuerpos de mineral de hierro no descubiertos; por otra parte, se conoce la existencia de varios prospectos para el mismo mineral tales como El Equipal, Villa Vieja, Paso Real, El Pedregal, El Pitero, La Campana, Comitancito y Las Pilas, entre otros, cuya mineralización se manifiesta en forma de cuerpos irregulares, tanto en el contacto entre calizas e intrusivos graníticos como incluidos en la secuencia vulcanosedimentaria.

Los cuerpos ferríferos consisten en magnetita masiva con una ley superior al 60% de Fe. Las características que presenta el mineral de hierro megascópicamente son: color negro a gris acerado, con estructura que puede ser compacta, masiva, o compacta con oquedades. Como minerales de ganga pueden presentarse pirita, calcita, clorita, epidota y cuarzo, encontrándose escasamente distribuidos en la masa mineral.

Por lo anterior, la importancia geológico-minera del área de La Huerta debe ser tomada en cuenta para la localización de nuevas reservas de mineral de hierro y otros minerales que pudiesen estar asociados (Figura 8).

**El Encino, Jalisco**

El depósito de mineral de hierro de El Encino se halla en el extremo suroccidental del estado de Jalisco, dentro del municipio de Pihuamo, a 40 km al oriente, en línea recta, de la ciudad de Colima. El área ha sido estudiada por Labarthe-Hernández y Rodríguez (1959), Piñeiro (1972).



Figura 7. Principales yacimientos de hierro en la porción SW de México.

La base de la columna litoestratigráfica del área la conforma la Formación Tecalitlán, que consiste en una gruesa secuencia de rocas volcánicas continentales de composición félsica a intermedia del Cretácico Inferior. Le sobreyacen, en discordancia angular, los depósitos volcanoclásticos marinos de la Formación El Encino, del Aptiano superior-Albiano inferior. Otra discordancia angular separa la Formación El Encino de la unidad suprayacente, que es la Formación Vallecitos, cuya parte inferior, denominada "miembro tobáceo", consiste en tobas, derrames lávicos y conglomerados con abundante celadonita.

Como intrusivos dentro de la secuencia del Cretácico, se hayan cuerpos de composición gabroica y granodiorítica, cuya edad es de 93.1 ± 4.7 Ma. Labarthe-Hernández y Rodríguez (1959), La mineralización en la mina de El Encino está emplazada siempre en el mismo nivel estratigráfico; esto es, en la parte superior del miembro inferior de la Formación El Encino. En este distrito minero existen tres intrusivos importantes: el cuerpo San Pascual, el cuerpo Número Uno y el cuerpo San Ramón. Todos ellos consisten en magnetita masiva con una ley promedio de 62.5% de Fe (Figura 9).

Las características que el mineral de hierro presenta megascópicamente son: color negro o pardo con estructura que puede ser compacta, masiva, bandeada o diseminada. Dicha mineralización se aloja en la unidad de composición tobácea a calcárea del miembro inferior de la Formación El Encino. Mineral diseminado cubre al mineral masivo con un espesor promedio de 25 m y leyes del 18 al 20% de hierro. Como minerales accesorios se tiene pirita, calcita, clorita, epidota, cuarzo, andradita, grosularia y apatita, encontrándose escasamente distribuidos en la masa mineral, con excepción de la apatita.

**Peña Colorada, Colima**

El yacimiento de mineral de hierro de Peña Colorada se localiza en el extremo noroccidental del estado de Colima, en el municipio de Minatitlán, internándose en el sur del estado de Jalisco, en el municipio de Cautitlán. Sus coordenadas geográficas son 19°23'N y 104°06'W, y su altitud media es del orden de los 1,200 msnm.

Los primeros trabajos de Peña Colorada, entonces conocido como prospecto El Mamey, fueron realizados por Aguilera (1914) y González Reyna (1939, 1956) quienes describieron la geología del área a nivel de reconocimiento. Fisiográficamente, el yacimiento se encuentra en la subprovincia de Las Cordilleras de la Sierra Madre del Sur.

Las rocas en donde se encuentran los cuerpos de mineral consisten en una secuencia vulcanosedimentaria de unos 360 m de espesor, del Cretácico, descrita como Formación

Tepalcatepec. De la base a la cima, los primeros 40 m corresponden a capas gruesas de caliza gris, muy compactadas. Sobre la unidad de calizas y en forma transicional se tiene aproximadamente 200 m de capas de espesor variable de derrames y tobas de composición andesítica. En su parte media superior se presentan lentes de caliza fosilífera y hacia la cima se encuentran horizontes de brechas constituidas por fragmentos angulosos de rocas volcánicas andesíticas y magnetita cementados por la toba (Corona-Esquivel y Henríquez, 2004, 2007, 2009c). Los 120 m superiores del yacimiento los constituyen capas de conglomerado que hacia la base son muy gruesas y contienen principalmente cantos de andesita y, en menor proporción, de caliza gris. La edad del depósito es de 65.3 ± 1.5 a 57.3 ± 2.1 Ma (Tritlla et al., 2003), correspondiente al Paleoceno basal.

Las obras actuales de explotación del yacimiento permiten diferenciar cuatro cuerpos principales de mineral, que son: (1) el cuerpo central o masivo, (2) el cuerpo inferior bandeado o segundo cuerpo de mineral diseminado, (3) los cuerpos masivos tabulares sub-verticales de La Chula, y (4) el cuerpo de brecha. Todos ellos están constituidos principalmente por magnetita y, en menor proporción, martita, hematita, pirita, piroxeno, clorita, apatita y carbonatos (Figura 10).

Figura 10. Vista panorámica del yacimiento de Peña Colorada. La secuencia vulcanosedimentaria tiene una disposición subhorizontal. Diques subverticales, de composición andesítica a dacítica, cortan a todas las rocas de la columna, incluyendo a los cuerpos de mineral.

**Cerro Náhuatl, Colima**

El depósito ferrífero de Cerro Náhuatl se localiza en el municipio de Coquimatlán, en el SE del estado de Colima (Figura 11). Su geología fue estudiada por el Consejo de Recursos Minerales en el año de 1961, por Arriaga-García (1962), Neilson (1969), y Estrada-Barraza y Villarreal-Celestino (1990). Su explotación se inició por la compañía minera Las Encinas, siendo sus reservas calculadas del orden de los 32 millones de toneladas.

La estructura geológica de este yacimiento corresponde a un anticlinal de orientación NW-SE, en cuyo núcleo se encuentra emplazado un gran intrusivo de composición diorítica a granodiorítica. El flanco suroccidental de la estructura expone a una secuencia sedimentaria marina de la Formación Madrid, constituida por calizas, calizas arcillosas y lutitas con algunas intercalaciones de tobas y derrames andesíticos.

Dentro de la secuencia se encuentran dos cuerpos principales de mena de hierro. Estos son estratiformes y están dispuestos en forma concordante entre andesita verde alterada y caliza recristalizada, y se localizan





Figura 8. Vista panorámica de los afloramientos de hierro en el área de La Huerta, Jalisco.



Figura 9. Vista panorámica del yacimiento El Encino, Jalisco.



Figura 10. Vista panorámica del yacimiento de Peña Colorada. La secuencia vulcanosedimentaria tiene una disposición subhorizontal. Diques subverticales, de composición andesítica a dacítica, cortan a todas las rocas de la columna, incluyendo a los cuerpos de mineral.

aproximadamente a 20 m del contacto intrusivo. El primer cuerpo, conocido como “Depósito Principal”, está orientado N60°W con inclinación hacia el SW, que varía de 55°, en su extremo suroriental, a 35°, en su porción media; tiene una longitud de 400 m y una anchura promedio de 35 m. El segundo cuerpo, denominado “Depósito Poniente”, presenta la misma orientación que el primero; sus dimensiones son 240 m de longitud y 15 m de anchura.

La mena de hierro está oxidada a hematita en la superficie. Localmente, tiene una textura masiva que consiste en pequeños octaedros de magnetita, de tamaño milimétrico. Otro tipo de mena de hierro dentro del distrito está formado por bandas de magnetita y bandas de color verdoso y blanco, de posible composición de cuarzo y clorita. Las bandas de magnetita varían en espesor de 9 a 3 mm; algunas son lenticulares hasta acunarse y todas ellas son muy semejantes en cuanto a textura y composición. Esta última consiste en cristales de magnetita de textura granular fina (<0.2 mm).

#### **Aquila, Michoacán**

El yacimiento de mineral de hierro de Aquila se localiza en el municipio de Coalcomán, estado de Michoacán, en el Cerro del Tenamaxtle, a 5 km al norte del poblado de Aquila y a 27.5 km en línea recta de la bahía de San Juan de Lima, en el litoral del Pacífico. Los datos más antiguos que se conocen sobre el yacimiento corresponden a reportes técnicos inéditos como los de Plate (1924), Jones (1933), Rodríguez (1959), y Labarthe-Hernández y Flores (1960).

Este depósito fue estudiado de manera formal por Whittier (1963), quien describe las rocas y estructuras del área del yacimiento. Tal autor menciona que los cuerpos de magnetita están emplazados en los márgenes del cuerpo intrusivo principal, una diorita de grano fino, y propone un modelo magmático para explicar el origen del yacimiento. Zárate (1998), en un informe para HYLSA, reporta reservas de 60 Mt con una ley de 45 – 50% de Fe (Figura 12).



Figura 11. Vista de los estratos de caliza reemplazados por mineral de hierro en el yacimiento de Cerro Náhuatl.



Figura 12. Yacimiento de Aquila, el color oscuro corresponde a uno de los cuerpos principales. Se aprecia también en color claro un dique que corta al mineral de hierro.



El yacimiento es estratiforme con una inclinación de 45 – 50°. En la parte superior del yacimiento se presentan calizas sin alteración ni recristalización y en la parte inferior se encuentran andesitas alteradas y rocas intrusivas de composición intermedia. El espesor del yacimiento varía desde unos pocos metros hasta alrededor de 30 m. En las primeras etapas de apertura del tajo, en noviembre de 1998, se observó en la mena estructuras y texturas de derrames de lava, estructuras de bloque y lavas cordadas, tubos de escape de gas de 2 cm de diámetro y 10 cm de longitud, mena escoriácea de magnetita, vesículas alineadas en la parte superior del derrame con pequeños octaedros de magnetita en las paredes interiores de algunas vesículas y texturas de flujo laminar. En la parte inferior del derrame se observaron dendritas prismáticas de magnetita con un crecimiento radial y dendritas en placas de magnetita con una distribución al azar. Se observó cristales de tamaño milimétrico de piroxeno (?) y algunos prismas de apatita. En este yacimiento no se han realizado estudios para conocer su edad; sin embargo, por similitud con los expuestos en la misma región, ésta se considera del Cretácico Tardío al Paleógeno.

**Las Truchas, Michoacán**

Dentro del distrito ferrífero de Las Truchas quedan incluidos varios cuerpos de mineral circundando a un intrusivo, los cuales se localizan en el municipio de Lázaro Cárdenas, Michoacán, a 2.5 km al oeste del poblado de La Mira. Queda comprendido dentro de las coordenadas

UTM: 1,994,000 a 2,000,000 latitud norte y 775,500 a 784,000 longitud oeste.

Desde 1905, el distrito ha sido objeto de varios estudios geológicos y geofísicos y a partir del año de 1976 se iniciaron las actividades siderúrgicas en la planta Lázaro Cárdenas - Las Truchas, S.A. de C.V. (SICARTSA). El distrito queda ubicado en la provincia fisiográfica perteneciente a la Sierra Madre del Sur, cuya litología en esta región corresponde a la secuencia vulcanosedimentaria denominada Terreno Guerrero, la cual incluye capas de caliza intercaladas con andesitas, andesitas porfídicas, tobas félsicas y brechas andesíticas. Afloran, además, rocas intrusivas de composición granodiorítica en el Cerro de Tapeixtle y a lo largo del arroyo de Las Truchas.

Los cuerpos de hierro del Distrito se presentan en forma de masas discontinuas en una superficie de 8 km de longitud por 4 km de anchura. Dichos cuerpos, en general, tienen forma lenticular con rumbos al NE y echados al SE con longitudes máximas de 600 m, espesores de 70 a 200 m y profundidades de 100 a 200 m. Los cuerpos más importantes se han denominado: El Volcán, El Mango, Sta. Clara, El Tubo, Acapulcan, Venado, Habillales y Ferrotepec (Figuras 13 y 14). El origen de los depósitos de Las Truchas ha sido motivo de controversia, confrontándose principalmente un modelo genético por metasomatismo de contacto versus uno magmático. Su edad, de acuerdo a su relación con la roca encajonante, es del Cretácico Tardío – Paleógeno.

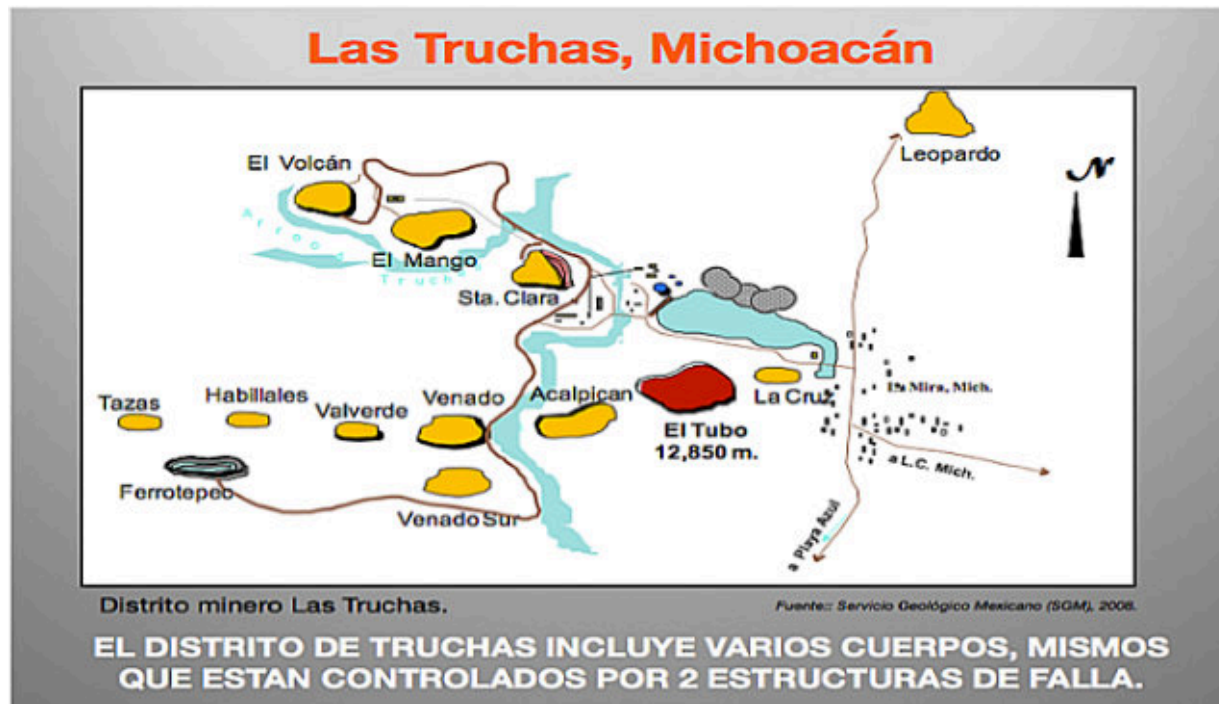


Figura 13. Croquis que muestra los cuerpos principales en el distrito minero Las Truchas.

Existen, además, muchos otros depósitos ferríferos poco conocidos o aún no estudiados, tales como: Llano Grande, Piedra Imán, El Chiflón, Comitancito, Las Chinitas, Las

Pesadas, Ojo de Agua, Ahijuyo, Sehuaya y Sta. Ma. Zaniza, entre otros.



Figura 14. Vista general del yacimiento El Volcán, dentro del Distrito Truchas.

**Referencias bibliográficas**

Aguilera, J.G., 1914, Informe de los criaderos de fierro del Mamey: Ciudad de México, Instituto Geológico de México, 14 p.

Alencaster, Gloria, 1986, Nuevo rudista (*Bivalvia-Hippuritacca*) del Cretácico Inferior de Pihuamo, Jalisco: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v. 47, núm. 1, p. 47-61.

Alencaster, Gloria, y Pantoja-Alor, Jerjes, 1986, *Coalcomana ramosa* (Boehm) (*Bivalvia-Hippuritacca*) del Albiano temprano del Cerro de Tuxpan, Jalisco: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v. 47, núm. 1, p. 33-46.

Alva-Valdivia, Luis, y Urrutia-Fucugauchi, Jaime, 1995, Rock magnetism and magnetic surveys in the iron ore deposit of El Encino, Mexico: Journal of South American Earth Sciences, v. 8, p. 209-220.

Arriaga-García Germán, 1962, Geología y génesis del yacimiento de fierro de Cerro Náhuatl, Coquimatlán, Col.: Ciudad de México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, tesis de licenciatura, 79 p. (inédita).

Buitrón, B.E., 1986, Gasterópodos del Cretácico (Aptiano tardío-Albiano temprano) del Cerro de Tuxpan, Jalisco: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v. 47, núm. 1, p. 17-32.

Consejo de Recursos Minerales., 1961, Monografía Gheológica-Minera del Estado de Colima.

Corona-Esquivel, Rodolfo, y Henríquez, Fernando, 2004, Modelo magmático del yacimiento de hierro Peña Colorada, Colima, y su relación con la exploración de otros yacimientos de hierro en México: Boletín del Instituto de Geología, núm. 113, p. 1-97.

Corona-Esquivel, R.; Tritlla, J.; Levresse, G. & Henriquez, F. (2007).- Presence of two Phanerozoic IOCG belts in México: geological framework and general characteristics. in C.J. Andrew et al. (ed.) "Digging Deeper", 1343-1346. ISBN [0-950989-4-4]

Corona-Esquivel, R.; Tritlla, J.; Henríquez, F.; Morales-Insunza, A.; Portugal, J.L.; Nava-Pérez, L. (2009a): Geología y mineralización del Yacimiento Peña Colorada, Colima. In: K. Clark, G.A. Salas-Pizá & Cubillas-Estrada (eds.) Geología Económica de México, 2nd Edición, pp 522-528. Servicio Geológico Mexicano. ISBN: 978-607-95292-1-5.

Corona-Esquivel, R.; Escudero-Chávez, M.; Henríquez, F.; Tritlla, J.; Morales-Insunza, A.; Ramírez-Lara, M.A.; Rodríguez-Elizarrarás, S.; Camprubi, A. (2009b): Geología y Mineralización del yacimiento de hierro La Perla, Chihuahua. In: K. Clark, G.A. Salas-Pizá & Cubillas-Estrada (eds.) Geología Económica de México, 2nd Edición, pp 412-418. Servicio Geológico Mexicano. ISBN: 978-607-95292-1-5.



Corona-Esquivel, R.; Tapia-Zúñiga, C.; Henríquez, F.; Tritlla, J.; Morales-Insunza, A.; Levresse, G.; Pérez-Flores, E. (2009c): Geología y mineralización del yacimiento de hierro de Cerro de Mercado, Durango. In: K. Clark, G.A. Salas-Pizá & Cubillas-Estrada (eds.) Geología Económica de México, 2nd Edición, pp 529-535. Servicio Geológico Mexicano. ISBN: 978-607-95292-1-5.

Corona-Esquivel, R., Martínez-Hernández, E., Henríquez, F., Nyström, J. O., & Tritlla, J. (2010). Palynologic evidence for iron-oxide ash fall at La Perla, an Oligocene Kiruna-type iron ore deposit in northern Mexico. *GFF*, 132(3-4), 173-181.

Corona-Esquivel, R., Levresse, G., Solé, J., Henríquez, F., & Pi, T. (2018). New age in the geological evolution of the Cerro de Mercado Iron Oxide Apatite deposit, Mexico: Implication in the Durango apatite standard (DAP) age variability. *Journal of South American Earth Sciences*, 88, 367-373.

Estrada-Barraza, Samuel, y Villarreal-Celestino, Bernardo, 1990, Las Encinas, in Ordóñez-Cortés, Jorge, ed., Minas mexicanas: Ciudad de México, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers (AIME), Sección México, tomo 5, cap. 6, p. 93-112.

González-Reyna, Jenaro, 1939, Los criaderos ferríferos de El Mamey, Col.: Revista de Industria (México), v. 5, núm. 26, p. 5-17.

-----1956, Riqueza minera y yacimientos minerales de México: Ciudad de México, Banco de México, p. 235-242.

Jones, C.C., 1933, Report on the Aquila iron property: Informe técnico, 69 p. (inédito).

Labarthe-Hernández, Guillermo, y Flores, J., 1960, Plano topográfico-geológico del yacimiento ferrífero de Aquila, Michoacán: Colima, Col., Las Encinas, informe técnico.

Labarthe-Hernández, Guillermo, y Rodríguez, A.B., 1959, Estudio geológico regional de la zona ferrífera de Pihuamo, Jal.: Colima, Col., Las Encinas, informe técnico.

Lyons, J. I. (1988). Volcanogenic iron oxide deposits, Cerro de Mercado and vicinity, Durango. *Economic Geology*, 83(8), 1886-1906.

Neilson, J.M., 1969, Geology of the Cerro Nahuatl iron ore deposits, Colima, Mexico: Geological Society of America Special Paper 121, p. 217-218 (resumen).

Pantoja-Alor, Jerjes, y Estrada-Barraza, Samuel, 1986, Estratigrafía de los alrededores de la Sierra Madre del Sur: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v. 44, núm. 1, p. 1-20.

Piñeiro, Fernando, 1972, descripción de las unidades litoestratigráficas de la Formación Tobas Encino, Pihuamo, Jalisco: Colima, Col., Las Encinas, informe técnico (inédito).

Plate, H.R., 1924, Report on the Aquila iron property: Informe técnico (inédito).

Rodríguez, A.I., 1959, Summary of Aquila iron ore deposit: informe técnico (inédito).

Tritlla, J., Camprubí, A., García, E. C., Esquivel, R. C., Iriondo, A., Martínez, S. S., ... & Puente, P. M. (2003). Estructura y edad del depósito de hierro de Peña Colorada (Colima): un posible equivalente fanerozoico de los depósitos de tipo IOCG. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 20(3), 182-201.

Whittier, D.A, 1963, Character and distribution of mineralization associated with magnetite bodies northeast of Aquila, Michoacán, Mexico: Tucson, University of Arizona, disertación doctoral, 123 p. (inédita).



**Rodolfo Corona Esquivel** es Doctor en Ciencias, Geología con más de 40 años de experiencia. Obtuvo su Título como Ingeniero Geólogo en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del Instituto Politécnico Nacional de México y su Maestría y Doctorado en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Inició su experiencia profesional en 1973, en el Consejo de Recursos Minerales colaborando en diversos proyectos de la República Mexicana. Posteriormente en 1979 trabajo con la Compañía Minera Carbonífera Río Escondido. A partir de 1980, presto sus servicios a Uranio Mexicano (URAMEX), para la interpretación geológica y cuantificación de reservas por uranio en México. En forma paralela durante 1981 y 1982, se incorporó a la compañía Exploración y Desarrollo de Recursos S.A. Desde 1983 a la fecha se encuentra adscrito al Instituto de Geología (UNAM), desarrollando diversos proyectos de investigación.

Dentro de actividades académicas ha sido profesor de varias asignaturas en la Escuela Nacional de Antropología e Historia y en la Escuela de Ciencias de la Tierra, IPN.

[rcoronae@gmail.com](mailto:rcoronae@gmail.com); [www.rodolfocorona.com](http://www.rodolfocorona.com)

<https://www.researchgate.net/profile/Rodolfo-Corona-Esquivel>



**Jordi Tritlla Cambra** (Ph.D.) is a senior geology and geochemistry consultant, with 35 years of experience.

Dr. Tritlla obtained his Ph.D. in 1994 at the Autonomous University of Barcelona (UAB, Spain) and a MSc on hydrogeology (Curso Internacional de Hidrología Subterránea) at the UPC-FCIHS (1998). His working experience include Senior Consultant at Repsol Exploration (Madrid, Spain); Research Scientist at Instituto de Geología / Centro de Geociencias (UNAM, México); Invited Professor at Université Henry Poincaré (now Université de Lorraine, Nancy, France); Research Fellow at the School of Earth and Environment (Leeds University, UK) and Assistant Professor at the University of Barcelona (Spain).

He has a broad experience in the study of ore deposits (MVT, SEDEX, VMS, IOCG, Skarns, Hg-Sb, ophiolites) and geofluids (oil, gas, brines), including paleofluid PVTx reconstruction (compressional and extensional settings); geothermal systems; and origin an occurrence of native hydrogen. During the last 11 years he has been mostly focused to study the pre-salt microbial carbonates off-shore Brazil and Angola, and their possible analogs worldwide.

Email: [gemix.earth@gmail.com](mailto:gemix.earth@gmail.com)

Webpage: <https://bit.ly/gemix-earth>

Researchgate : <https://www.researchgate.net/profile/Jordi-Tritlla>



El Dr. **Gilles Pierre Rene Levresse** se graduó de Doctorado en metalogenia en 2001, en el Instituto Politécnico de Lorena y el Centro de Investigación Petrográfica y Geoquímica de Nancy, Francia. El Dr Levresse ingresó en el Centro de Geociencias de la UNAM campus Querétaro con un contrato de posdoctorado en 2002 y es actualmente Investigador Titular C. El pertenece al Sistema Nacional de Investigadores con la máxima distinción. El impacto internacional de su labor se ve reconocido por la obtención del premio Barrick Joven Investigador por la Sociedad Geológica Aplicada (2007) por los resultados obtenidos en sus investigaciones de doctorado y de posdoctorado. Al ingresar al Centro de Geociencias, participó en la creación de un grupo de investigación sobre metalogenia y diagénesis en reservorios petroleros que se cristalizó con la creación y desarrollo del Laboratorio de Fluidos Corticales. Los trabajos realizados se caracterizan por integrar enfoques académicos e industriales (minero y petrolero), integrando observaciones y resultados a diferentes escalas, y desarrollando trabajos clásicos de geología y técnicas analíticas en desarrollo.

[glevresse@geociencias.unam.mx](mailto:glevresse@geociencias.unam.mx)

<https://www.researchgate.net/profile/Gilles-Levresse>



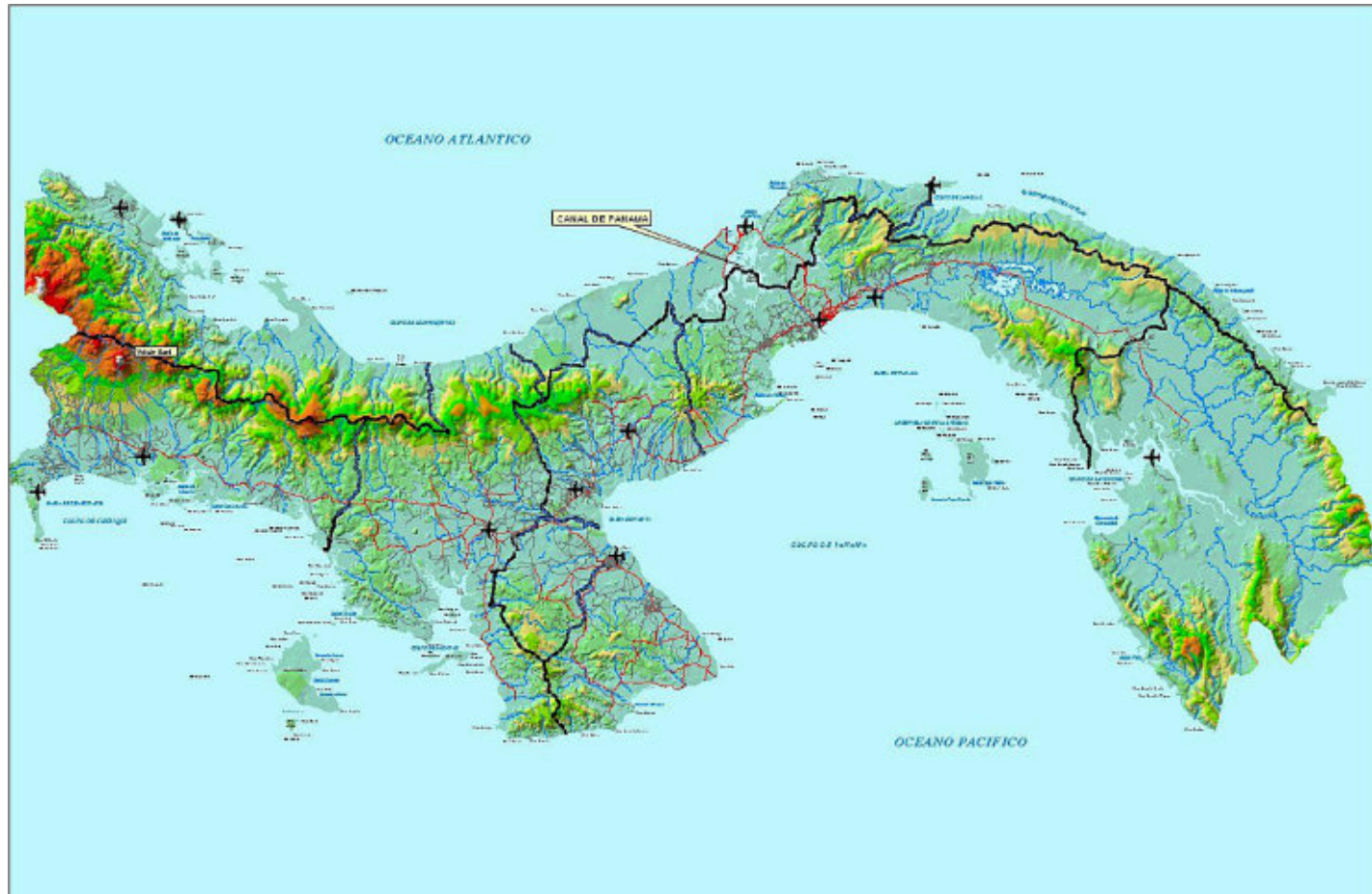
## SUMARIO DEL POTENCIAL DE COBRE-ORO DE LA REPÚBLICA DE PANAMÁ

**Humberto Álvarez Sánchez y Martín Clark**

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

Consultores independientes de Geología y Yacimientos minerales.

República de Panamá.



### 1. Introducción.

La República de Panamá está situada entre los océanos Pacífico y Atlántico. Limita al Este con Colombia y al Oeste con Costa Rica. La División político-administrativa es de 10 provincias. La extensión territorial es de 75,517 Km<sup>2</sup>. La mayor parte del territorio nacional está ocupado por la Cordillera Central o Tabasará. Esta cadena montañosa se divide en dos ramales hacia la mitad oriental del país. Al norte discurre en el margen de la costa atlántica, extendida por la Comarca de San Blas, hasta el puerto de Obaldía dentro de Panamá. La rama sur forma las montañas de las Serranías del Sapó, Jungurudó y Pirre, en la Provincia del Darién. La elevación máxima del país es el Volcán Barú de 3,152 m.s. n. m., próximo a la frontera con Costa Rica.

#### 1.1. Clima e hidrografía.

Panamá se encuentra plenamente en la zona intertropical, al norte del Ecuador terrestre. Por su carácter de territorio alargado y estrecho, en gran parte dividido por cordilleras orientadas según la dirección de su eje; su clima es típicamente orográfico con una afectación considerable de su régimen térmico que estratifica la temperatura con la elevación y modifica de forma notable el régimen pluviométrico general. De modo que, en términos generales, el país posee un clima lluvioso relativamente intenso con una media anual de 223,760 m<sup>3</sup> (Figura 1).

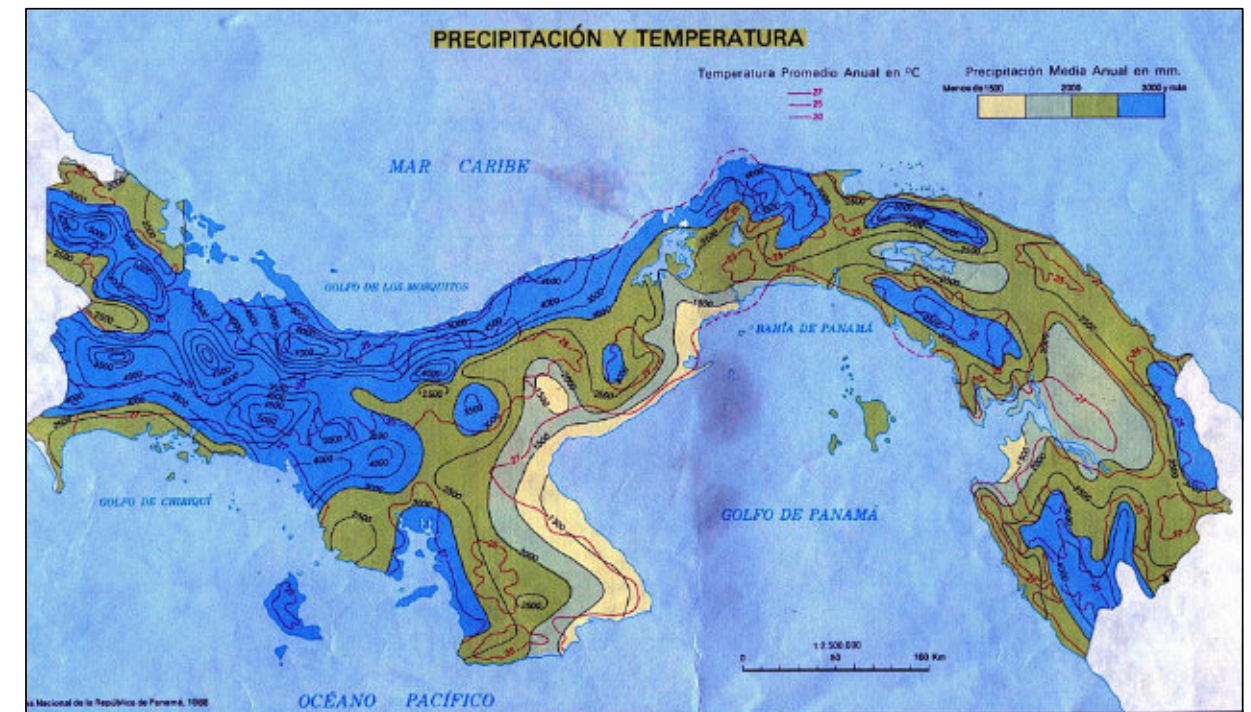


Figura.1. Mapa de isoyetas de la República de Panamá.

La época de lluvias se inicia en firme en el mes de abril y dura hasta diciembre. Los meses de septiembre, octubre y noviembre son los más lluviosos. La temporada seca se presenta en un período conocido como verano, entre enero y marzo. En consecuencia, en el país existe una red hidrográfica densa para sus dimensiones. Las cadenas de montañas favorecen el curso de unos 400 ríos y corrientes que se agrupan en 52 cuencas fluviales. El río más importante por su extensión es el Tuira (Provincia del Darién), con su afluente el Chucunaque, que fluye hacia el golfo de San Miguel, en la costa del océano Pacífico. A causa de las características del relieve y la situación geográfica de las cordilleras, los ríos de la vertiente caribe son cortos, a causa de su nacimiento de montañas próximas y paralelas al mar, con pendientes considerables y cauces rectos y orientados S-N. Los de la vertiente



pacífica, en cambio, son de mayor longitud y caudal, varios navegables y orientados en gran parte con rumbo meridional.

### 1.2. Comunicaciones.

La Republica de Panamá cuenta con un amplio desarrollo del transporte terrestre, vías de comunicación, tecnología digital y redes. Canal ampliado, Metrotrén, carreteras y vías secundarias que facilitan el transporte. Igualmente, un sistema de transporte aéreo nacional e internacional bien posicionado y soporte de aeropuertos regionales localizados en las áreas más sensitivas del país para aerolíneas domesticas de aviones y helicópteros. Igualmente existe un sistema de navegación con uso de embarcaciones diseñadas para atender la demanda de trasiego por mar, ríos o lagos.

El país está surcado por la Carretera Panamericana (Figura 2), uniendo las capitales centroamericanas y las principales ciudades de Panamá. Es la principal arteria vial de Panamá. Su extensión es de 731.96 km, desde Paso Canoas, en la frontera con Costa Rica hasta el poblado de Yaviza, en la Provincia de Darién. De la Carretera Panamericana parten hacia el norte numerosos ramales en su mayoría asfaltados, que conectan a poblados y pequeñas ciudades situadas en la cordillera (Boquete; Santa Fe; La Pintada y otros) o carreteras importantes como la autopista Panamá con el puerto de Colón, en la ribera caribe.



Figura.2. Mapa de carreteras de la Republica de Panamá.

### 1.3. Vegetación y parque nacionales.

La cobertura de vegetación en el país es muy desigual y los bosques tropicales lluviosos ocupan principalmente la cordillera central, hasta la cuenca del Canal de Panamá. A partir del meridiano del Canal, los bosques ocupan gran parte de la región de la provincia del Darién a causa de la escasa población de ese territorio.

Panamá ha sufrido una gran deforestación cuyos negativos efectos se destacan en la Península de Azuero, donde apenas restan pequeñas áreas de bosque en Cerro Hoya y la Serranía del Montuoso. Esta es la razón por la cual el Estado de Panamá, ha desarrollado una política destinada a la definición de áreas protegidas y parques nacionales (Figura 3).

### 1.4. Cubrimiento cartográfico y satelital.

El mapa topográfico nacional de Panamá a 1:50,000 se deriva del Servicio Cartográfico de la Marina de USA. El proceso de actualización sistemática de éste material terminó y continúa en la actualidad por el Instituto Tommy

Guardia, que no posee los recursos necesarios. Por otra parte, la situación demográfica, urbanística y vial se ha transformado y, además grandes regiones del país nunca cumplieron las condiciones de calidad para esta escala.

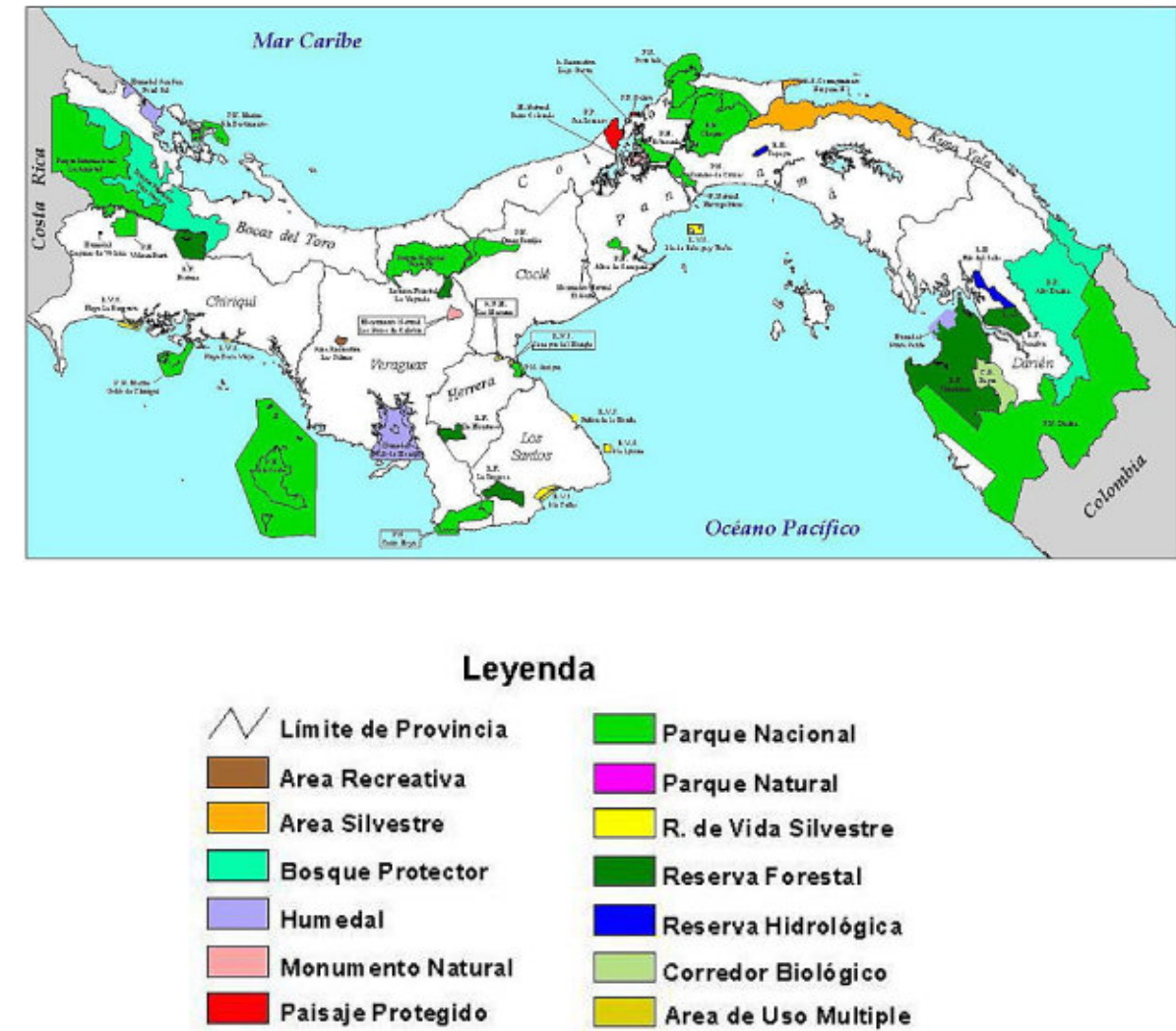


Figura.3. Mapa de Parques Nacionales de la República de Panamá (fuente: Dirección Nacional de Patrimonio. Ministerio de Ambiente).

No obstante, las hojas con una calidad aceptable para los efectos de la exploración ocupan la mayor parte de la mitad occidental del país (Figura 4), considerada al oeste del Canal de Panamá. La base topográfica se encuentra en formatos discretos, compuesta de placas de acetato a razón de 7-10 placas por Hoja 1: 50,000. El sistema cartográfico cuenta con una red de triangulación básica de 1er y 2do orden (Figura 5).

Materiales fotográficos útiles para la exploración y la detección lejana se encuentran disponibles en varios formatos y provenientes de diferentes épocas. El país se encuentra casi completamente cubierto por fotos aéreas pancromáticas estereoscópicas en B/N, a escala 1.50, 000 y 1:25, 000. Las imágenes de los satélites LANDSAT MSS y TM (Figura 6) cubren la totalidad del país; así como *Spot Image* provenientes de NOAA, USGS, y otras agencias internacionales de Estados Unidos, el Reino Unido y Canadá. Modelos de Elevación Digital (DEM) e Imágenes ortorectificadas (ORI) de Intermap Technologies existen; con un cubrimiento aproximado de 66 placas con una extensión de 7.5 minutos de latitud-longitud, cada placa. Materiales fotográficos de cobertura aérea y satelital de Infrared, cubren parte del territorio de Panamá y pueden adquirirse mediante compra.



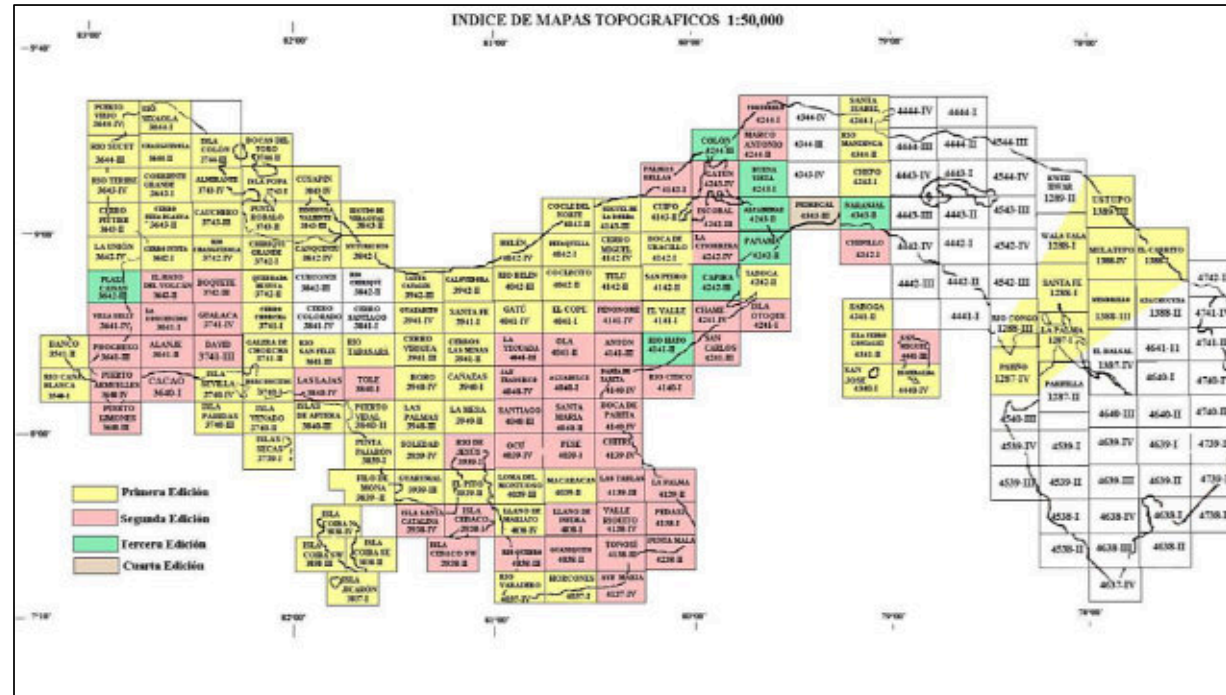


Figura.4. Cubrimiento topográfico a la escala 1.50, 000 de la Republica de Panamá.



Figura.5. Red Básica de triangulación de la República de Panamá.

### 1.5. Marco legal de la minería en Panamá.

La administración de todo lo concerniente a Minería metálica y no metálica en Panamá se encuentra bajo la **Dirección Nacional de Recursos Minerales (DNRM)**; adscrita al Viceministerio de Comercio Interior; uno de los tres viceministerios bajo la autoridad del Ministro de Comercio e Industrias. La DNRM es una dependencia especializada del Ministerio de Comercio e Industrias creada mediante el Decreto Ley N.º 23 de 22 de agosto de 1963 y reformada a través del Decreto de Gabinete N.º 225 de 16 de julio de 1969, el Decreto de Gabinete N.º 404 de 27 de diciembre de 1970 y el Decreto Ley N.º 6 de 15 de febrero de 2006.

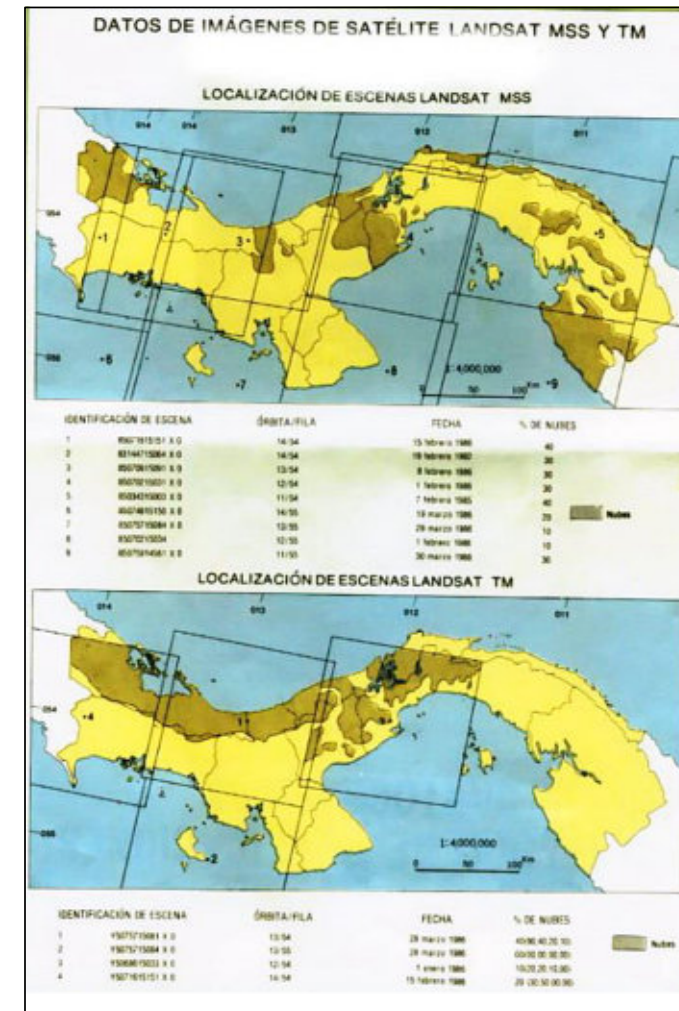


Figura.6. Cubrimiento de fotos satelitales LANDSAT de la Republica de Panamá.

Es el organismo de ejecución técnica y administrativa de la política nacional de aprovechamiento y conservación de los recursos minerales. El país cuenta con un **Código de Recursos Minerales**. A lo largo del tiempo ha sufrido diversas modificaciones. La más reciente ocurrió en el año 2013, mediante un Dialogo Nacional Para la Explotación Responsables de los Recursos Mineros, realizado en Panamá en agosto del año 2013.

El sistema actual de trámite y otorgamiento de las solicitudes de “Exploración y Explotación”, bajo el **régimen de Concesión**, se somete a una revisión técnica pormenorizada, con el objeto de agilizar los trámites, extremadamente lentos y deficientes por muchos años.

El registro del Ministerio de Comercio e Industrias (MCI) sobre solicitudes de exploración para minerales metálicos contiene un total de 142 solicitudes, las cuales están en diferentes etapas de proceso de revisión y 18 solicitudes en estado de elegibilidad para **Contrato con la Nación**. Existen, además, 15 contratos aprobados, aunque solo 4 están vigentes. 3 Contratos de extracción y 1 contrato de beneficio y transporte.

Las concesiones otorgadas que son derogadas, de acuerdo con el Código Minero de Panamá, pasan directamente al régimen de **Reservas Mineras**. Una Reserva Minera es una “**reserva para el futuro**”. Sin embargo, al situarse en ese estatus las áreas quedan retenidas por el Estado sin que puedan adquirirse para nuevas investigaciones, a menos que se produzca una negociación. Dentro de estas **reservas** existen propiedades con estudios y con informaciones disponibles con la capacidad de estimular el interés de empresas con capacidad técnica y económica suficiente para desarrollar exploraciones.



### 1.5.1. Requisitos para solicitar concesiones para la exploración de metálicos.

La documentación destinada a la solicitud de una de concesión minera, se rige por el Artículo 150 del Código Minero de Panamá y debe satisfacer los siguientes puntos:

- Poder y Solicitud por abogados y firmados por representante legal.
- Pacto Social de la empresa solicitante en conformidad con requisitos del Registro Público.
- Original del Certificado del Registro Público sobre la personería jurídica, los directores y dignatarios y la representación legal de la sociedad.
- Mapas y planos del área donde se encuentra la concesión solicitada.
- Informe de **Descripción de Zonas** preparado por ingeniero acreditado al efecto.
- Declaración Jurada de que trata el Artículo 151 del Código de Recursos Minerales.
- Referencias Financieras de la empresa solicitante.
- Listado del personal técnico y hojas de vida.
- Programa de trabajos y presupuestos para el primer año y los años posteriores.
- Declaración de las razones por las cuales sería conveniente conceder la concesión.
- Carta y recibo de pago de la cuota inicial para la solicitud de concesión.

Los anteriores requisitos se definen en los Artículos 3, 6, 18, 19, 20, 150, 151, 168, 271 y concordantes con el Código de Recursos Minerales y las Leyes que los adicionan, complementan y modifican. Si dentro de las operaciones definidas para el primer año de operaciones se contemplan trincheras o perforaciones, de acuerdo con el Decreto 123 del Ministerio de Ambiente, será necesario presentar un Estudio de Impacto Ambiental Categoría I o II.

### 1.6. Cámara Minera de Panamá.

La Cámara Minera de Panamá (CAMIPA), se fundó en 1990, por un grupo de empresarios, con el propósito de fortalecer la actividad minera de Panamá, impulsar el crecimiento socio-económico del país y defender los intereses colectivos de sus asociados. Su estructura es democrática, no política y defensora del sistema de economía de mercado. Agrupa a empresas nacionales y extranjeras del sector minero metálico, de agregados para la construcción (no metálicos) y aquellas que brindan servicios a las empresas mineras y mantienen vínculos con el sector, como es el caso de empresas de energía, suplidores de equipo y servicios, aseguradoras y bufetes de abogados, entre otras.

## 2. Origen del potencial minero de Panamá

La República de Panamá, posee un potencial minero privilegiado respecto a las dimensiones de su territorio. Esta cualidad para el desarrollo de una industria minera basada en metales básicos y preciosos y los minerales no-metálicos; se ve aumentada por su excepcional posición geográfica y también por sus cuantiosos y variados recursos naturales. Las ventajas comparativas de Panamá en este sentido son tan importantes, que fueron capaces de sostener el notable ímpetu de exploración que tuvo como escenario las provincias centrales y occidentales en 1992-94 y parte de 1996, a pesar de deficiencias de su sistema burocrático y falta de información geológica generalizada de alto nivel.

Las condiciones determinantes para tal situación en gran medida excepcional para América Central y Sur son de carácter geográfico-económicas y geológicas. Entre ellas:

### 2.1. Geográfico-económicas.

Panamá es reconocida como un ventajoso centro de negocios en Latinoamérica y de parte de las primeras potencias económicas mundiales, poseedora de un sistema financiero y bancario estable y competitivo. Estas condiciones permiten generar un favorable ambiente para la inversión extranjera. Durante los últimos 10 años la

economía de Panamá ha experimentado un crecimiento económico medio del 8% y las proyecciones de cara al futuro establecen escenarios del 6-7% que colocarían a Panamá como la segunda economía de la región.

En resumen:

- Situación geográfica privilegiada y prácticamente única, posesionada entre los dos océanos, escenarios del mayor intercambio comercial y desarrollo industrial de la época moderna, comunicados por una vía navegable de menos de 90 km de longitud.
- Red de puertos dotados de tecnología avanzada para la recepción y exportación de todo tipo mercancías.
- Centro financiero y de comercio internacional.
- Nivel de desarrollo económico y social ventajoso en comparación con la mayor parte de las economías de América Latina.
- Red aceptable de comunicaciones e infraestructura material suficiente para una primera fase del desarrollo de una industria minera.
- Estabilidad política, ausencia de conflictos bélicos y tradición comercial.

### 2.2. Geológicas.

La composición de su geología, configurada por un arco volcánico con una ventajosa combinación de geografía montañosa y llanuras intercomunicadas y una estructura tectónica relativamente simple; ha permitido revelar un vasto subsuelo enriquecido con importantes yacimientos minerales, algunos de clase mundial, cuya extracción forma parte de una política de Estado en respaldo a la actividad minera que busca el desarrollo integral de los pueblos que circundan los proyectos mineros.

### 2.3. En resumen:

- Existencia demostrada de yacimientos metálicos de valor económico de Cu, Mo, Au, Ag, y otras posibilidades complementarias aun no suficientemente investigadas para Pb-Cu-Zn polimetálicos; sustentadas por un ambiente geológico de alta favorabilidad, extendido en la casi totalidad del territorio.
- Panamá es uno de los pocos países de la Tierra que posee dos yacimientos de Cobre-Pórfido de clase mundial separados por unos 100 Km.
- A juzgar por el tipo de ambiente e historia geológica y las características de su estructura tectónica, el potencial minero de Panamá puede aún aumentar considerablemente, por el descubrimiento de nuevos tipos de depósitos y otros grupos y asociaciones de metales que no se han investigado.

La nueva era de la minería en Panamá acaba de iniciar en este 2019. La puesta en operaciones de Minera Panamá, S. A. del yacimiento de Cu-Mo y oro de clase mundial de Petaquilla, operada por la empresa canadiense First Quantum Mineral Ltd., es un complejo minero que incluye un Puerto Internacional, una termoeléctrica de 300 MW, una planta de procesos, 3 tajos de mina activos, una línea de transmisión eléctrica de 250km, una presa de relaves, una carretera asfaltada y restantes instalaciones de mina. Solo este megaproyecto minero, con una producción estimada en 350,000 Ton/año de concentrado de cobre es uno de los proyectos en explotación mayores en AL, rendirá a Panamá ingresos por exportación de metales por el orden de más de \$2,000 millones anuales, comparables a los que se espera aporte el Canal Ampliado al año 2025, equivalentes a un 7% del Producto Interno Bruto Nacional.

Otros proyectos conocidos, como Mina de Remance; Mina Santa Rosa (ambas en la Provincia de Veraguas y el yacimiento Cerro Quema, en apertura de mina en la región de Tonosí de la Provincia de Los Santos, península de Azuero, todos de oro, solo por mencionar algunos de los prospectos mineros importantes en desarrollo; son una muestra de la escala en materia minera; en el comienzo de una potente industria minera en la República de Panamá (Figura 7).



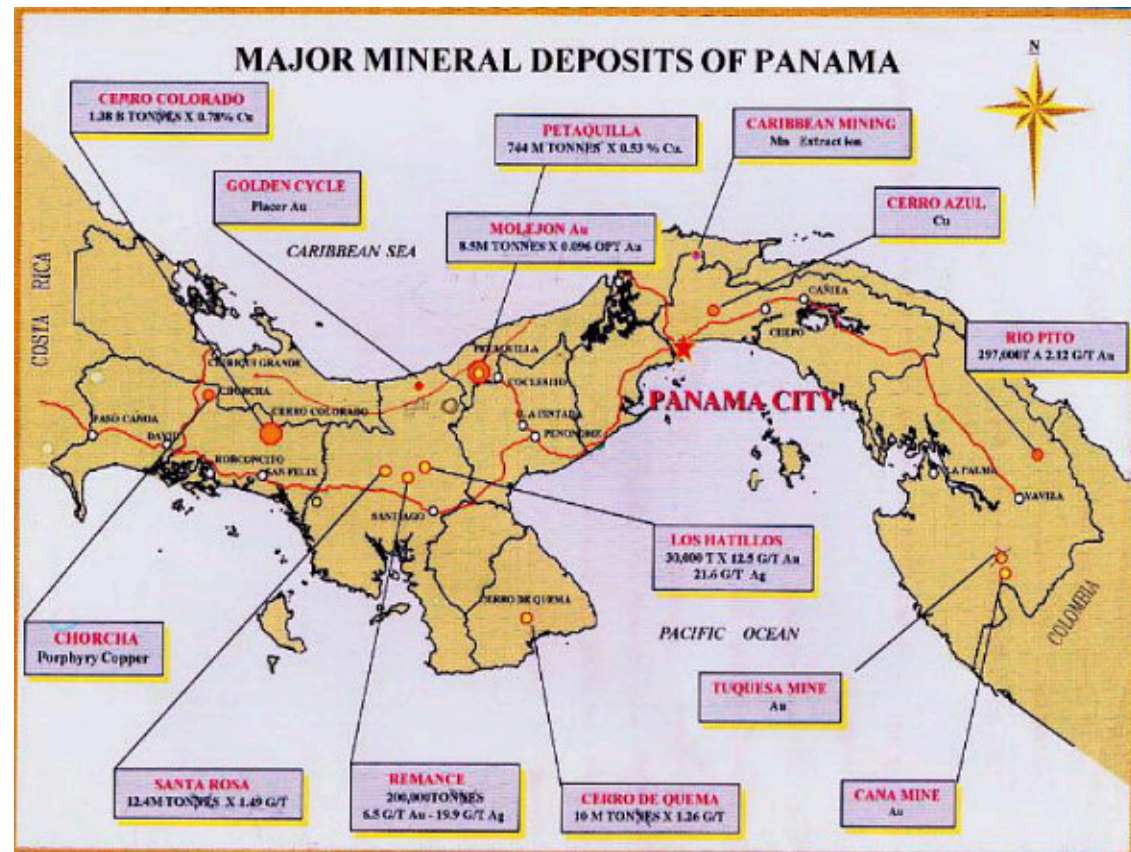


Figura.7. Distribución de depósitos minerales notables en Panamá. (Según B. Price, 1995)

### 3. Datos básicos de la geología y metalogía de Panamá

#### 3.1. Estructura geológica y tectónica.

El Arco Primitivo, producto de la subducción de la Placa Cocos bajo la Placa Caribe, a lo largo de la Fosa de América Central debuta en el Cretácico Superior. Al SW de Costa Rica y Panamá, fue edificado sobre corteza oceánica (Weyl, 1980). La sección basal de edad Cretácico Superior y Paleoceno cubre parte del istmo en la Península de Azuero y en el Darién. Sobre estos complejos yace un edificio volcánico potente, con facies vulcanoclásticas marinas y gruesos paquetes de andesitas subaéreas (Formación Cañazas), cortados por numerosas intrusiones intravolcánicas y subvolcánicas de composición ácida a intermedia y el emplazamiento de batolitos, stocks y complejos de diques (Kesler, 1977, Figura 8). En la geología de Panamá no se conocen macizos metamórficos regionales, excepto en la Península de Azuero, en el techo ofiolítico de basaltos con grado bajo, apenas de anfibolitas epidóticas (corteza oceánica). Otras zonas metamórficas se limitan a las aureolas térmicas de las intrusiones ácidas de cierta importancia.

Kesler (*ibid.*) presentaron un esquema evolutivo del plutonismo. El magmatismo intrusivo se inició hace 70-60 millones de años (final del Campaniano y Maastrichtiano), con el emplazamiento de batolitos dioríticos y cuarzo-dioríticos de Azuero sin relación conocida con la mineralización de tipo Cu-pórfido (Kesler *et al.*, 1977). El magmatismo alcalino es más tardío y comenzó a finales del Paleoceno y comienzos del Eoceno (50 Ma). Los dos últimos periodos de actividad volcánica en el oeste de Panamá ocurrieron en el Mioceno medio y Pleistoceno. La litología de los plutones Ca-K es granodiorítica dominante; pero incluye fases cuarzo-monzoníticas y cuarzo-dioríticas. Los intrusivos porfiríticos son abundantes y los depósitos de cobre-pórfido, incluyendo los de Cerro Petaquilla y Cerro Colorado se correlacionan con la clase calco-alcalina. Las rocas volcánicas adyacentes en interacción con el proceso de emplazamiento de estos plutones, resultaron controladoras de depósitos epitermales de oro-plata, como Cerro Quema, Molejón, Santa Rosa y otros.

Por consiguiente, la pila volcánica del arco panameño muestra una zonación evolutiva normal. En la base se encuentran toleítas, transicionales hacia el complejo principal calco-alcalino. Hacia la sección culminante se encuentran ignimbritas del Mioceno-Plioceno (Formación La Yeguada) con afinidad shoshonítica.

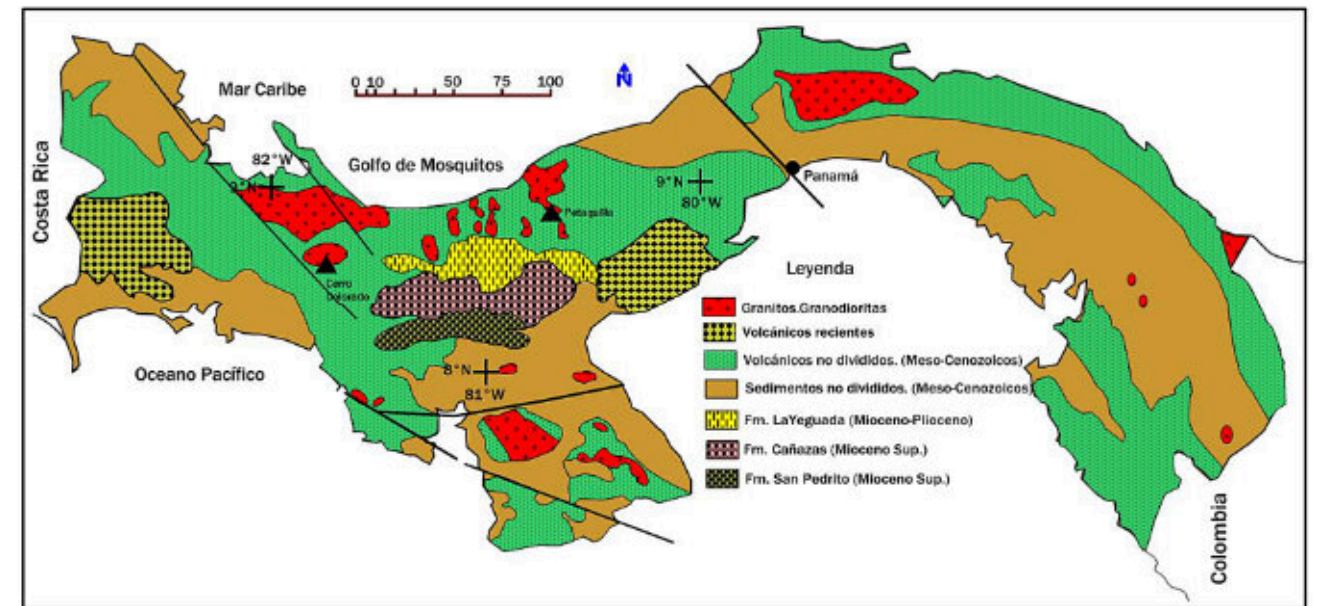


Figura.8. Croquis geológico de la República de Panamá (según Kesler, 1977) con la representación de los principales complejos del arco volcánico panameño.

De esta actividad en gran parte subaérea se conservan los volcanes Barú y El Valle bien conservados y activos durante periodos históricamente registrados y menos conservados como La Yeguada. Basaltos póstumos muy recientes a menudo cubren los volcánicos más antiguos o los cortan con diques, a menudo potentes y abundantes. Este escenario ocupa un vasto territorio que desde la Cordillera de Talamanca en Costa Rica se une con la Cordillera del Tabasará (o central) y hacia el este, el Arco Volcánico aflora separado en dos cadenas: Las montañas de San Blas en el Norte, con el batolito granodiorítico de Río Pito de Edad Paleógeno y la Cordillera del Darién en el Sur, cuya Serranía del Pirre, contiene uno de los más ricos yacimientos de oro de la historia minera americana, el famoso Santo Espíritu de Cana.

Los plegamientos Paleógeno-Mioceno deformaron los complejos volcánicos suavemente, en estructuras braquiformes y con rareza de plegamiento lineal (*e. g.* Región de Changuinola). Gran parte de las secciones del arco volcánico, sobre todo la superior, presentan deformaciones de bloque donde gran parte de las coladas de lava y capas de tobas yacen en posición horizontal, a manera de pequeños altiplanos suavemente basculados. Este tipo de yacencias se observan de forma típica en las zonas de propagación de la Formación La Yeguada.

No obstante esta relativa ausencia de grandes y complejas estructuras de plegamiento; las estructuras regionales de Panamá, reveladas tanto por los estudios de campo como por las imágenes satelitales, revelan un amplio sistema de alineaciones tectónicas con rumbos conjugados NE y NW. Uno de estos sistemas (NW) tiene una prominente expresión en las Penínsulas de Azuero y Soná (sistemas de fallas Torio y otras de igual rumbo). Del mismo modo, se detectan comúnmente numerosas estructuras circulares con rasgos de calderas volcánicas colapsadas e intrusiones probablemente no descubiertas por el corte de erosión actual, cráteres bien conservados como los Volcanes Barú y El Valle y estructuras de anillo como La Galera de Chorcha y otras. Un ejemplo es el sistema de calderas llamado San Félix con otras calderas más pequeñas periféricas llamadas Chichica y Algarrobo.

Los sistemas de fallas regionales conjugadas, las estructuras de caldera y otras circulares, la secuencia del edificio volcánico, desplegado desde las toleítas de la base hasta las facies shoshoníticas del tope, los estadios de



magmatismo plutónico calco-alcalinos, extensos y bien desarrollados; convierten a Panamá en un excelente escenario para la exploración minera y el hallazgo de importantes depósitos comerciales que se añadan a los ya descubiertos.

Dos ejemplos notorios de los resultados geológicos de la combinación del magmatismo con la intensa fracturación, como agente del aumento de la permeabilidad del medio, son el depósito de cobre pórfido virgen de Cerro Colorado, con reservas próximas a 1.38 mil millones toneladas con grado de 0.78% de cobre, y Petaquilla con reservas probadas y probables combinadas de 1.40 mil millones toneladas con 0.52% de cobre, 0.12 gr./ton de Oro, 0.0145 de MoS<sub>2</sub> y 1,32 gr./ton de Plata. Estos resultados demuestran que se trata de dos depósitos de clase mundial, separados por una distancia de solo 146 km (Figura 21).

Además de estas importantes reservas, hasta hoy no se ha prestado atención al potencial de sulfuros masivos (tipo Kuroko). En varias regiones numerosos campos anómalos de Cu-Zn-Pb, asociados a secuencias félsicas y máficas a intermedias, de edad Eoceno-Oligoceno, constituyen un ambiente típico para mineralización de sulfuros masivos. En sentido general, la mineralización sulfúrica masiva no se ha investigado en Panamá. Este no es el único caso de tipos de depósito que no son sistemáticamente buscados y quizá por una concepción insuficiente de los ambientes geológicos huéspedes.

En Panamá, Álvarez Sánchez (1998) separó una zonación de la mineralización por su potencial minero y los modelos de depósito, mediante la generalización de una gran cantidad de información dispersa (véase las Tabla 1 y 2).

Tabla.1. Zonación del Potencial Minero (según Álvarez Sánchez, 1998. PN-0114. IADB)

Zona	Extensión	Fases magmáticas	Rasgos	Potencial
<b>Tabasará</b>	Cordillera Central y sus contrafuertes, hasta el Canal de Panamá.	Vulcanismo principal (Kr-Pg). Intrusivos Ca-Alk tipo Petaquilla. Vulcanismo Final (facies shoshoníticas. Ignimbritas).	Secuencia principal del Arco. Estructuras vulcano-tectónicas bien conservadas. Fallas conjugadas NE-NW. Extensas zonas de alteración hidrotermales. Correlación, espacial y genética con el ambiente. Buena correspondencia geoquímica con índices de mineralización.	Cobre-Pórfido. Epitermales de baja y media sulfidación. ¿Kuroko? Tipo Maar y otros asociados con aparatos y calderas. ¿SEDEX? vulcanógenos. Especialización Metalogénica. Cu-Mo-Au y Cu-Au.
<b>Tabasará Norte</b>	Premontaña costera del Norte		Faja aurífera del Norte. Margaja, Molinete. Zapatero. Concepción, y otros.	Cobre-Pórfido. Epitermales. Especialización Metalogénica. Au. Placeres de Au.
<b>Tabasará Sur</b>	Premontaña del Sur	Sección media del Arco. Formación Cañazas.	Faja aurífera del Sur. Remance. Santa Rosa. Los Hatillos, y otras.	Epitermales. Tipo Maar. Especialización Metalogénica. Au.
<b>Chitré</b>	Llanuras y premontañas de Chitré; Veraguas	Cuencas IntraArco rellenas de sedimentos terrígeno-calcáreos (G.Macaracas), sobre sedimentos vulcanógenos (Gs.Tonosí y Changuinola).	Insuficiencia de manifestaciones minerales metálicas y de anomalías geoquímicas. Premisas de mineralización por analogía con cuencas similares.	Estratiformes Zn-Pb (clásticos; terrígeno-carbonato hospedados). ¿Carlín?
	Montañas de la Parte Central de	Zócalo ofiolítico Arco primitivo (Kr)	Correlación espacial de campos anómalos con	Brechas epitermales con sulfidación superior.

<b>Las Tablas</b>	Azuero y sus contrafuertes Norteños	Intrusivos toleíticos (Kr tardío) Volcánicos básicos-medios con grandes intrusiones polifásicas (El Montuoso y Valle Riquito).	intrusivos. Especialización metalogénica Au-Cu, con Fe y Mn.	Sulfuros masivos. Depósitos de venas y diseminados.
<b>Tonosí</b>	Limitada al Norte por la Falla Lobaina-San Rafael en la Península de Soná y Falla Río Torio, en Azuero.	Volcánicos básicos del G. Majé con rocas de afinidad ofiolítica y metamorfismo de tipo oceánico (G.E). Intrusiones de gabros olivínicos y cuerpos de picritas, diabasas.	. Sistema de fallas regionales NW de tipo "tear fault". Indicios de una actividad metalogénica con la presencia de Ni, Mo, Cu, Mn, ±Au.	Premisas de ambiente favorables para el desarrollo de depósitos correspondientes al ambiente ofiolítico y de transición. ¿PGE ?

Tabla.2. Ambientes geológicos y modelos de mineralización (según Álvarez Sánchez, 1998. PN-0114. IADB).

Región	Modelo de depósito	Ejemplo	Trabajos realizados	Ambiente
<b>Región Tabasará</b>				
Occidental	Pórfido de Cobre	Cerro Chorcha	Retículas geoquímicas. Mapeo. Perforación	Alto Plutón q-diorítico
Centro Occidental	¿Venas Epitermales Bonanzas Oro-Plata de fuente termal?	Chamí	Retículas geoquímicas. Mapeo. Perforación	Caldera
Centro Occidental	Vetas polimetálicas?. Vetas epitermales tipo Creede?	Guamy	Retículas geoquímicas. Mapeo	Flanco de un Cu-Pórfido. Flujos Andesita-dacita
Centro septentrional	Venas epitermales auríferas. Oro diseminado	Cricamola	Retículas geoquímicas. Mapeo	Andesito-dacitas. Dioritas. ¿Back-Arc?
Central	Stockwork aurífero Tipo Maar	Santa Rosa; Alto La Mina	Mina en Explotación	Arco de Islas frontal. Diatrema Maarica
Central	Cobre-Pórfido	Cerro Colorado	Estudio de factibilidad	Arco Volcánico Secuencia Cal-Alk-Shoshonita? Plutón Escopeta
Oriental	Cobre-Pórfido (Cu-Au-Mo)	Petaquilla	Estudio de factibilidad	Arco Volcánico-Back-Arc. Plutón Petaquilla Ca-Alk
Oriental	Brechas de cuarzo epitermal	Molejón	Retículas geoquímicas. Mapeo. Perforación	Arco Volcánico-Back-Arc. Plutón Petaquilla Ca-Alk
Central	Stockwork silíceo Cu-Mo. Horfels en tobas.	Cristal	Retículas geoquímicas. Geofísica Mapeo. Perforación	Arco Volcánico. Flujos Andesita-basalto. Plutón Diorítico Río Chico. Calk-Alk.
Occidental	¿Sedex vulcanógeno? Campos anómalos de Cu-Pb-Zn.	Cascajal (No se conocen ejemplos)	Retículas geoquímicas. Mapeo.	Arco Volcánico. Sección superior. Flujos Andesita-basalto. Riolita. Ca-Alk.
<b>Región Azuero</b>				
Sur	¿Complejo de Diatrema? Sistema Epitermal con Sulfuración superior.	Cerro Quema	Deposito cubicado	Arco Volcánico; sección inferior-media. Dacitas-Andesitas horbléndicas. Toleita →Ca-Alk



#### 4. Cinturones de oro de Panamá. Ejemplo de depósitos de oro.

Los cinturones de oro de Panamá, son una continuación del **Cinturón de Oro de Mesoamérica** (Figura 9), dentro de cuyo extenso dominio se encuentran numerosos yacimientos en producción con decenas de millones de onzas de metal. Se trata de depósitos de vetas de baja, media y alta sulfuración, con una potencia media de las vetas entre 1 a 6 metros y un grado de oro de 5 a 10 gr/ton. El tamaño mediano de las minas en funcionamiento es 3 millones de onzas de oro y en expansión.



Figura. 9. Extensiones del Cinturón de Oro de América Central.

A la altura de Costa Rica se destaca una división en dos ramas, una septentrional que puede considerarse como la principal y rama norte que representa la continuidad del cinturón sin interrupciones. La rama norte en Panamá se une, por lo visto sin interrupciones, con la Cordillera de Talamanca en Costa Rica, hacia la Provincia de Bocas del Toro y continúa hacia el este a lo largo de la costa del Caribe, en un estrecho territorio del piedemonte de la Cordillera del Tabasará (o central), determinando el **Cinturón de Oro del Norte**; una región tradicional de minería del oro desde los primeros episodios de la colonización española, iniciado en 1502, con la llegada del Almirante Colón a la costa atlántica de la actual provincia de Veraguas. En esta franja son conocidas numerosas manifestaciones auríferas y depósitos con mineralización epitermal en vetas cuarzo-epidota, como parecen ser las minas de Margaja, Molinete, Zapatero, Bejuco, explotadas desde el mismo descubrimiento y la actual mina de Molejón, en explotación. Esta mineralización aparece íntimamente vinculada a mineralización Cu-pórfido (Petaquilla; Oro del Norte; Santa Lucía) y se extiende con pocas soluciones de continuidad y en la misma situación geográfica relativa, hasta la frontera con Colombia (Río Pito).

El **Cinturón de oro del Sur** se extiende por la parte media del istmo donde ocurren los conocidos depósitos epitermales de Mina Santa Rosa (tipo Maar); Los Hatillos, Mina Romance (cuarzo de vetas) y otras muy numerosas manifestaciones según un eje E-W; hasta las manifestaciones de Capira y se extiende, con áreas poco conocidas, hasta la provincia de Darién; localidad del famoso yacimiento de Santo Espíritu de Cana (brecha pipe), rico productor de millones de onzas de oro.

Entre los dos cinturones principales, en una posición intermedia y hacia la vertiente sur de la Cordillera Central, se destaca un cinturón de cobre (depósito de Cerro Colorado, de clase mundial), Cerro Chorchá y vetas polimetálicas con oro (como en Guaní). Un ramal de esta franja central-meridional se prolonga hacia la península de Azuero, conectando con el depósito de oro de Cerro Quema.

La edad de formación de los depósitos auríferos de ambos cinturones se considera geológicamente muy joven, con inicio en el Eoceno bajo régimen de subducción (vulcanismo Ca-K) continuando hasta el Oligo-Mioceno (bajo régimen de compresión y fracturación), incluso prolongándose hasta el Mioceno tardío y hasta el Plioceno (bajo régimen de extensión y levantamiento del arco).

#### 4.1. Mina Santa Rosa.

El yacimiento se encuentra 1 kilómetro al Sur del Poblado de Cañazas y 25 kilómetros al Norte de Santiago de Veraguas. Entre 1985 y 1989 Freeport Exploration Co., ejecutó una exploración para delimitar dos depósitos de 11 millones de toneladas con ley de 1.6gr/ton (0.047 oz/ton). En 1994 un programa complementario de perforación estableció reservas de 22.6 millones de toneladas con contenido medio de oro de 1.24 gr/ton (0.035 oz/ton). De esta reserva, se calculó un volumen explotable de 8.9 millones de toneladas a 1.5 gr/ton, definida como minable.

La unidad que controla la mineralización es la Formación Cañazas (Paleoceno-Eoceno), compuesta de flujos máficos y secuencias de vulcanoclásticos intermedios a félsicos. Los cuerpos de menas auríferas se hospedan en las Tobas Santa Rosa, de composición ácida a intermedia, altamente porosas y permeables; mientras que las andesitas estériles de cobertura son, en gran medida, impermeables. La sección mineralizada incluye paquetes compuestos de bombas y clastos de cenizas de dimensiones hasta métricas, cementados por tobas lapilíticas y litoclasticas con variadas estructuras sin-sedimentarias, inconformidades angulares, repetición de ciclos eruptivos y de fragmentación de brechas. El depósito yace en una estructura circular de tipo caldera, de unos 3 kilómetros de diámetro. La abundancia de brechas explosivas y huellas de escapes eruptivos enriquecidos en gases a través de aguas de escasa profundidad, piroclastos de tendencia máfica a félsica mezclados con productos epiclásticos de cráter, productos de derrumbes y restantes numerosas evidencias de erupciones freato-magmáticas; indican un ambiente de tipo Maar.

La mineralización ocurre principalmente en las zonas silicificadas de alteración y consiste en electrum, libre o encapsulado en pirita. El electrum fue precedido por trazas de pirrotita+pirita, marcasita y arsenopirita y cantidades menores de acanthita, plata rubí y seleniuros de plata. En la ganga se observan sulfuros de metales básicos, calcita, adularia y barita.

La silicificación es la alteración más importante y contiene adularia, pirita diseminada y oro. Alrededor de ella, se desarrolla una zona de kaolinita-montmorillonita-carbonato-clorita; extendida hacia el exterior. Los núcleos de sílice alcanzan desde 10 a 100 metros de espesor o más y los anillos de alteración arcillosa centenas de metros hacia el exterior. La alteración carbonática, compuesta de siderita, magnesita, dolomita y calcita, se encuentra más externa. La zona propilítica externa igualmente se extiende centenas de metros alrededor. Las zonas de alteración descrita apenas se extienden hacia el interior de las andesitas del techo, por distancias muy cortas.

#### 4.2. Mina Cana.

La Mina Cana se encuentra en una concesión de 14.000 ha, situada en el corregimiento de Boca de Cupe, Distrito de Pinogana, Provincia de Darién, en la vertiente oriental de la Serranía del Pirre, al NE de Altos de Nique y al NW del Cerro Setetule. El límite Sur de la concesión corre paralelo a la frontera entre Panamá y Colombia. La región posee clima tropical húmedo con precipitaciones superiores a los 2,500 mm/año y está cubierta por una selva tropical.

Al campamento de Mina Cana puede accederse por avión desde la ciudad de Panamá. Aledaño existe una pista de una extensión aproximada de 400 m, para aviones pequeños. Alternativamente se puede acceder por carretera, hasta el pueblo de Yaviza, localizado en el Río Chucunaque, afluente derecho del Río Tuíra; al final del trazado de la Carretera Panamericana. De Yaviza a El Real, el viaje se hace en canoa. Un



terraplén de 52 Km. accesible solamente en el periodo seco, enlaza el campamento de Cana y la localidad de El Real, sobre el Tuira.

Los primeros trabajos mineros datan de los tiempos precolombinos, realizados por mineros españoles. En el final del siglo 17 y principios del 18 los españoles se concentraron sobre Espíritu Santo. Por informaciones que se conservan de la época, la explotación constituyó una verdadera bonanza. El minado de Espíritu Santo al parecer fue una operación "open pit" de poca profundidad con galerías complementarias laboreadas desde la excavación principal, destinadas a la explotación de estructuras de brechas volcánicas.

El conocimiento relativamente moderno de la propiedad comienza por campañas realizadas por Freeport, Texas Gulf, Gold Fields y Souh África, en los años 70 y 80. A partir de estas fechas los trabajos de exploración por redes regulares, mapeo geológico, perforación y excavaciones se desarrollaron en un área relativamente pequeña de cerca de 400ha.

La Mina Cana ocupa una posición geológica singular en las estructuras regionales. La Cordillera de Jungurudó de rumbo WNW, se extiende al encuentro del ramal de la Serranía del Pirre, con rumbo NNW. El ángulo entre ellas es de  $\pm 30^\circ$ , coincidente con las fallas regionales Río Jaque (Serranía de Jungurudo) y la Falla Sambú (que comienza en la Serranía del Pirre). Este modelo se reproduce en la meso y microfracturación con evidente influencia en los patrones de mineralización, ejerciendo un control dominante sobre como y donde se localizan las mineralizaciones. Un elemento destacado en este sistema volcánico son las chimeneas de brecha localizadas en los cruces de los sistemas de fractura, identificadas como localizadoras de "bonanzas" auríferas, tal como es conocido en Espíritu Santo.

En términos generales en las montañas de Jungurudó y Pirre se desarrolla el llamado Grupo Playa Venado (¿Cretácico superior?), compuesto por las Formaciones Playa Venado (ninguna Formación puede tener el mismo nombre del Grupo), y las Formaciones Punta Sabana y Caobanera. La litología de Playa Venado, consiste de basaltos (pillow lavas), diabasas y cuarzdioritas, granodioritas, dioritas y sienitas, indicadas como la Formación Mamón del Grupo Colón de posible edad paleogénica. Se trata de una composición aparentemente muy similar a la parte central de la Península de Azuero. Es posible, aunque sin suficiente base para afirmarlo, que estos terrenos representen una zona de transición entre el zócalo ofiolítico y la secuencia normal calco-alcalina del arco volcánico de la Cordillera del Tabasará.

Un complejo denominado Andesitas Antiguas (hasta dacitas) se compone de variedades porfiríticas y de brecha, correspondientes a un pila volcánica intermedia de edad supuesta Cretácico-Paleógeno. La edad es supuesta, no fundamentada ni por fauna ni por métodos absolutos y se basa en analogías con los equivalentes de Panamá occidental. Las rocas evidentemente más antiguas son latitas porfídicas de grano fino fuertemente alteradas, compuestas por 65-80% de feldespato y fenocristales de horblenda. La latita esta cortada por una roca algo más máfica de grano grueso, con más de 80% de fenocristales de horblenda-feldespato en una masa fanerítica. Los volcánicos posteriores a las intrusiones se componen de flujos piroclásticos ácidos a medios, apreciables en el Cerro San José, en forma de un testigo erosivo.

El vulcanismo póstumo se destacó en forma de flujos de basaltos y aglomerados aflorados en el curso del Río Cana. La edad de los basaltos se desconoce, pero se presume que se trata de los basaltos "post-ignimbríticos" del occidente del país de edad probable Plioceno -Cuaternario.

En el área no se han destacado tectónica de plegamiento de alguna consideración. Solo una estructura vulcano-tectónica fracturada constituye un patrón relevante en la localidad. Las lavas y piroclastos del complejo andesítico forman la base de esta estructura, probablemente los restos de un estrato-volcán.

Las rocas del distrito de Cana muestran una intensa alteración supergénica tropical al igual que las encajantes de la mineralización. Las alteraciones hipogénicas corresponden a las condiciones de temperatura-presión para este campo mineral. Las rocas, en el halo externo, presentan clorita-epidota con contenido variable de pirita, representativa probablemente de alteración temprana no necesariamente relacionada con la deposición de oro. Más cerca a los "targets", aparece carbonato, en cuyo caso ya se trata de verdadera propilita. En la misma roca mineralizada se observa "argilización avanzada", con metasomatismo arcilloso

(caolín) con pirita, brechas hidrotermales con pirita y otras alteraciones deutéricas. No se ha reportado (aunque no se excluye la posibilidad de su presencia) de alteraciones tales como feldespatización, desarrollo de mica, etc. En la masa de las menas y en las salbandas se destacan propilita, silicificación, carbonatización con pirita acompañante, sumados a los minerales de mena propiamente dichos: calcopirita, galena, esfalerita y oro libre o mezclado con los sulfuros.

Sobre la base de los estudios de Giles (1984), Ruiz-Williams (1990), Grahan (1991) y Kittredge (1992) se han distinguido las siguientes estructuras de los cuerpos minerales y las zonas de anomalías principales.

Chimeneas de brecha: un ejemplo sobresaliente es el de Espíritu Santo de Cana, en forma de conducto de probable origen explosivo. La mineralización de alta ley ocurre en una columna de brecha en forma triangular de 45 x 35 x 25 m en el plano del rumbo E-NE en la intersección de una probable falla de tensión NE con una zona de cizalla NW en el contacto de un pequeño plug de horblenda hasta el nivel de 200 m. El conducto esta a  $70^\circ$  al SW a lo largo de esta intersección. El oro asociado a los sulfuros de metales ocurre en la andesita y en el pórfido de horblenda. La ganga de la masa mineralizada esta compuesta de cuarzo, calcita y pirita con oro libre distribuido en el interior de la masa; una asociación típica de muchas menas hidrotermales de baja temperatura. La restante parte metálica se compone de sulfuros de cobre, plomo y zinc (calcopirita, galena, esfalerita) con el oro distribuido en el interior de los sulfuros o en adherencias libres en los granos de los sulfuros.

Venas paralelas (sheeted veins): Se trata de numerosas venas de dimensiones variables que ocupan zonas cizalladas y brechosas de elevada permeabilidad. El ejemplo es Mina Norte, donde venas individuales tienen un grado de hasta 0.3 onz/ton de oro con valores probables aun mayores. Las venas tienen un halo de baja mineralización que, probablemente sea posible explotar económicamente mediante extracción a cielo abierto y sometidas al proceso de "heap leaching".

Oro diseminado: Probablemente controlado por fracturación o stockworks en los flujos de cenizas tardíos. Un ejemplo es el Cerro de San Juan con menas de un promedio de 0.05 oz/ton de Au. Probablemente económicas mediante minado a cielo abierto y tratamiento con "heap leaching".

Placer: Existente en valles estrechos en el Río Cana (14,000 oz Au). Muchas indicaciones de alto potencial se localizan por muestreos a lo largo de valles maduros. Cuatro depósitos son conocidos en la propiedad.

#### **Producción y recursos.**

Espíritu Santo produjo más de **1 x 10<sup>6</sup> oz**, entre 3-4 oz/ton, en un volumen de 280,000 ton estimadas hasta 270 m. A esa profundidad se reportó una caída. Sin embargo no existe demostración contradictoria de la continuación de la mineralización. La intensa oxidación superficial de la estructura enriquece solamente de 80 a 100 m, donde la mayor parte del cuerpo mineral de alta ley (> de 5 onzas) se cree que posee su base. Las altas leyes de oro, mayores de una onza, sugieren la posibilidad de un enriquecimiento secundario, reportado a profundidades de 200 a 250 m, donde un promedio de **1.3 onzas**, se mantuvo en un bloque con un corte de 1 onza por debajo de los 270 m. Es interesante el dato sobre el estrechamiento del conducto sobre el nivel de 50 metros, minado durante el periodo español con ley excedente de **12 onzas/ton**.

Uno de los objetivos actuales de la explotación; sería la extracción de un tonelaje cercano al millón, de alta ley de mineralizaron con rango de 0.25 a 0,7/ton localizadas dentro del conducto de brecha hidrotermal. De hecho la mineralización de oro en conductos de brecha y en vetas asociadas a las zonas de fracturación que controlan a los conductos, pueden extenderse mas de cinco kilómetros hacia el Norte, a través de los arroyos Escucha y Ruido Limón, en las cabeceras del Río Tuira.



### 4.3. Mina Molejón.

El depósito de Molejón se encuentra a 56 Km. al NW de la ciudad de Penonomé, y al Sur del gran depósito de Petaquilla (Figura 10), con una reserva de 8 millones de toneladas y ley de 2.22 g/ton (Steffen, Robertson y Kirsten, 1995).

El Batolito Petaquilla, y los stocks y plutones similares asociados, al oeste y sur, dominan la geología de la región con enjambres de diques de pórfido cuarzo-feldespáticos que cortan las andesitas hospederas de mineralización aurífera epitermal (Molejón y Mestizo). Los volcánicos anfitriones del Plutón (y de los depósitos), consisten de andesitas predominantes y sus diferenciados, progresivamente más félsicos; de edad Oligoceno Medio ( $36.4 \pm 2$  m.a; K-Ar; Kesler, 1977). La tectónica regional muestra el típico sistema conjugado de fallas mutuamente cortantes NW-SE, que se intersecan en la vecindad del depósito de Molejón.

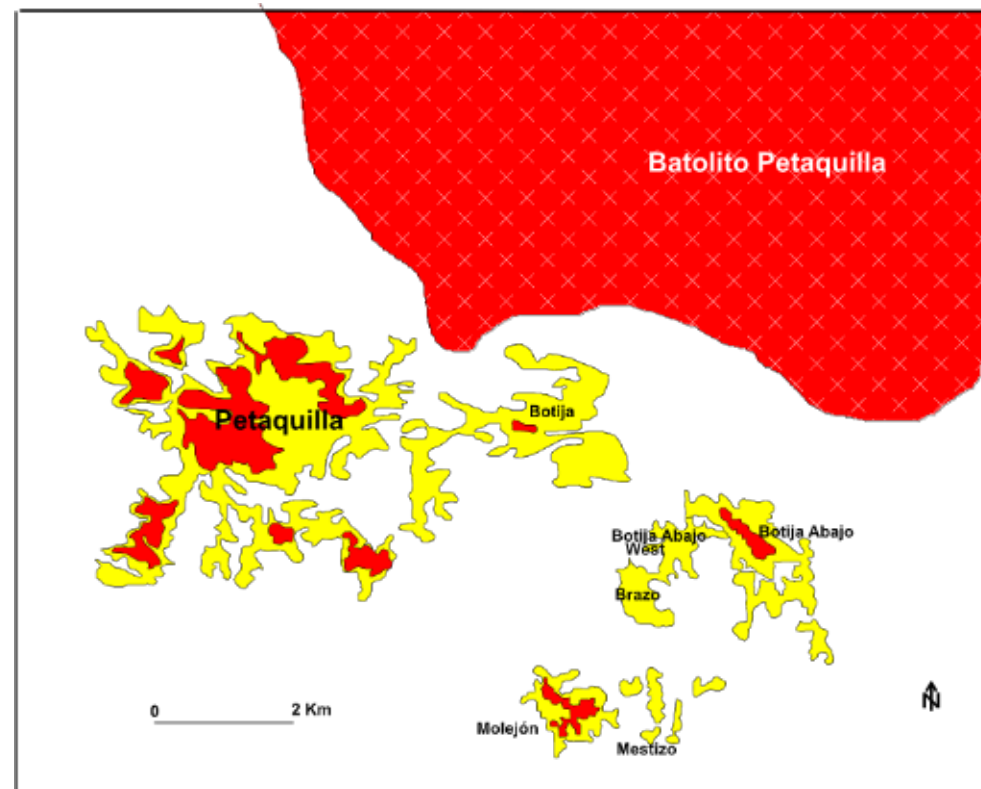


Figura.10. Situación del depósito Molejón y su satélite Mestizo, respecto a los depósitos de Cu-pórfido principales y al plutón de Petaquilla; delineados por las anomalías (esquemáticas) de oro en suelo.

#### Geología del depósito Molejón.

Molejón recuerda muchos detalles de otros depósitos y prospectos de Panamá, con una edad equivalente y similar ambiente estratigráfico y petrológico; por ejemplo, el complejo epitermal de venas del prospecto Chamí (B. Price, 1995).

En Molejón se observa un sistema epitermal de alto nivel con un control determinante de fracturas y estructuras circulares, en un patrón simple de fracturas cruzadas que permeabilizó su substrato (Figura 11). Las aerofotos y las observaciones de terreno muestran tendencias lineales, enfatizadas por las prominentes crestas de sílica, a veces similares a hogbacks (Figura 12) y valles fluviales rectilíneos (como Quebrada Molejonosa) orientados por zonas débiles estrechas. Son todos los elementos visibles de la estructura de este depósito. Las fallas limitantes de bloques también muestran estilos strike-slip sobre un complejo andesítico (lavas y piroclastos) y, de lugar a lugar, existen diques de pórfidos de composición similar o más ácidos.

Precisamente leyes de oro importantes, están asociadas con zonas de fractura con brechas de cuarzo-carbonato y zonas adyacentes alteradas dentro de estos diques. La disposición de las vetas sugiere que las soluciones

hidrotermales tomaron ventaja, de los sistemas y también, parcialmente, de las fracturas E-W más antiguas, reactivadas probablemente durante el levantamiento regional del arco volcánico. Este control peculiar se ha observado en otras propiedades exploradas, por ejemplo, Cerro Quema, Oro del Norte y otros.

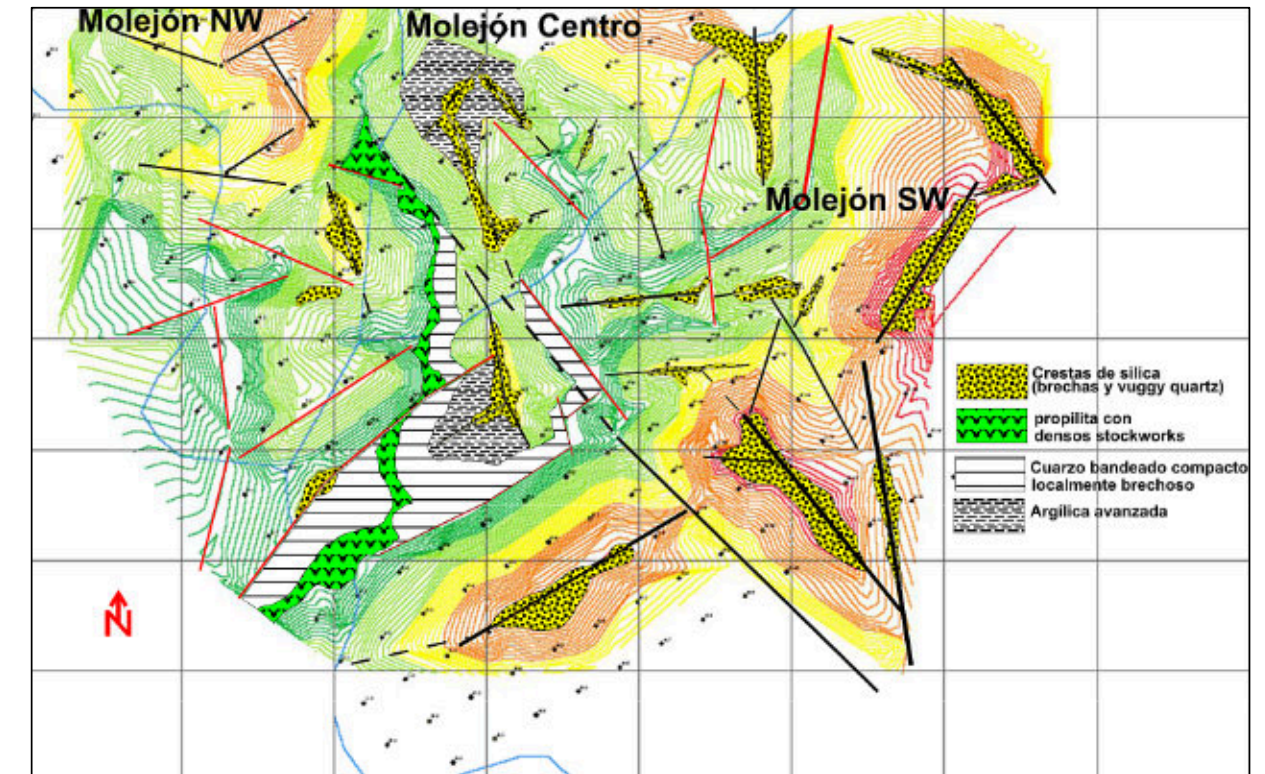


Figura.11. Croquis de la estructura de Molejón. Se muestra el control direccional de crestas de cuarzo y zonas selectas con la zonación de alteraciones.

En la dirección E-W, Molejón muestra diferencias significativas que definen tres bloques o sectores. La causa posible de la fragmentación puede ser el desplazamiento vertical diferenciado por las fallas; por cuya razón ciertos bloques pueden mostrar segmentos de la columna hidrotermal que, también, contienen leyes variables de mineralización.

En Molejón NW, las crestas silíceas están profundamente diseccionadas, el eluvio es más profundo y los afloramientos andesíticos son escasos, abundan los afloramientos de cuarzo bandeado grueso (a veces con notables fenómenos de disolución meteórica) en contacto con brechas hidrotermales y masivos stockworks cortados por gruesas venas de cuarzo más tardío.

En la sección baja de Molejón Centro afloran frecuentes flujos andesíticos propilíticos, cortados por gruesas vetas de cuarzo y diques cuarzo-feldespáticos, indicadores de un nivel bajo del complejo hidrotermal, probablemente a causa de elevación entre fallas. Stockworks de venas de cuarzo cortan densamente las secciones de cuarzo bandeado y de estructura esquelética. Una especie de "pseudo-packstone" abunda con la textura acentuada por pérdida del cuarzo granular y consiguiente aumento de las láminas de cuarzo compacto. Invariablemente ocurren óxidos de pirita en impregnaciones difusas y numerosas dendritas de manganeso. Algunas venas tienen las características propias originales, y otras muestran redepositación parietal de cuarzo. Frecuentes fracturas aparecen rellenas de caolín no meteórico. Granos de oro visibles se encuentran en los lavados de batea (Figura 13), a diferencia de Molejón NW donde el oro visible es una rareza.





Figura.12. Cuarzo en gruesas bandas aflorados a lo largo del desarrollo de la Quebrada Molejonosa. (Molejón SE).

En Molejón SE, al parecer, se aprecia un nivel menos profundo de erosión. Las crestas de sílice se muestran conservadas, notablemente alineadas y acompañadas de gruesas (ocasionalmente métricas) brechas de cuarzo con sulfuros oxidados. En las profundas quebradas aparecen cuarzoes masivos y bandeados con las bandas basculadas por desplazamiento tectónico. Las razones que parecen apropiadas para sugerir un nivel menos profundo del corte de erosión, independientemente de su valor en oro, son las siguientes:

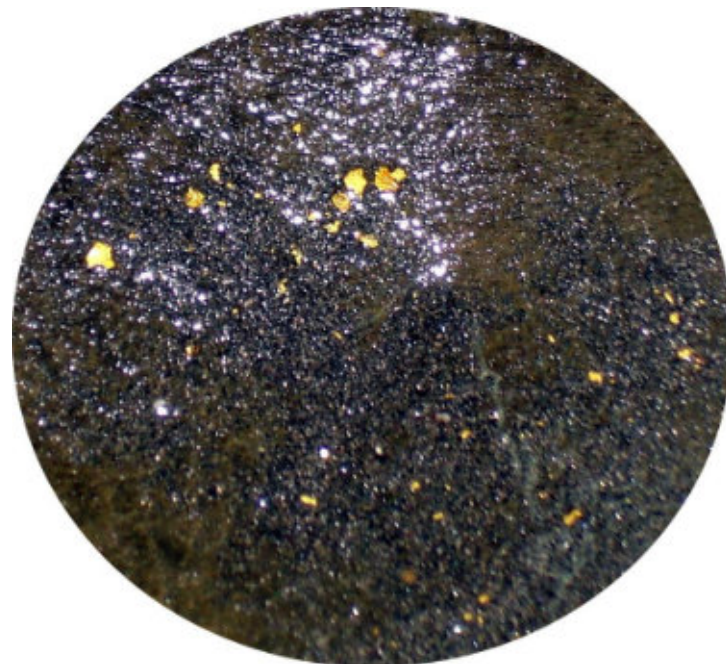


Figura.13. Sedimento de batea, al Este de Molejón SE; prácticamente dentro del Campo Mestizo. Obsérvese el tamaño de los granos.

- Abundancia de brechas de cuarzo recementadas por cuarzo compacto granular y cuarzo poroso (vuggy) con aspecto de “sinter fumarólico” (Figura 14).
- Brechas de cuarzo recementadas de dimensiones métricas.
- Cuarzo con espacios cavernosos rellenos por sinter y cuarzo friable.
- Brechas de calcedonia de estructura bandeada, fracturadas y recementadas con cuarzo de grano fino.
- Abundancia de geodas y drusas.
- Conservación de estructuras masivas con aspecto de cuarzo residual.

La diferencia notable entre Molejón NW y SE, fue señalada en el pasado por lavadores con años de experiencia en la localidad y consiste en que los concentrados de batea de oro grueso, son exclusivos de Molejón SE. En Molejón NW los granos visibles de oro son raros y muy finos (quizá en parte producto de aglutinación de polvo). En efecto; en el Campo Mestizo; más al Este de Molejón SE, la presencia de oro grueso (incluso pepitas) puede indicar diferencias en la profundidad del corte de erosión o, el desplazamiento vertical de las fallas o, las diferencias en los parámetros de temperatura y composición de las soluciones. La zona de Mestizo fue durante mucho tiempo un sitio de lavaderos de oro de los residentes, desde la época de Mitsui y sin duda es una prolongación de Molejón en el sentido de espacio y control.



Figura.14. Afloramiento en la sección más alta de una cresta de sílice. La sílice presenta características de sinter con inclusiones terrosas (Molejón SE).

Molejón se vincula estrechamente con el ambiente geológico de la premontaña del Caribe, más que con la estructura de la Cordillera Central propiamente dicha. Esta faja geológica más próxima a la costa Caribe contiene numerosas intrusiones calco alcalinas con un nivel de afloramiento variable y sin duda constituye una provincia metalogénica específica de oro epitermal genéticamente vinculada y coetánea con la mineralización de cobre-pórfido.

Por otra parte, la relación de Molejón con el sistema de Cu-pórfido del Plutón de Petaquilla (36 Ma) no ofrece dudas y las características de Molejón coinciden en general con el modelo para epitermales de Columbia Británica presentado por Panteleyev y Schroeter (1986) que supone la continuidad transicional entre el pórfido de Cu y los niveles de fuente termal.

En la actualidad la explotación se encuentra detenida y la mina en mantenimiento por parte del Gobierno de Panamá. Se encuentran en marcha diferentes negociaciones para recomenzar las operaciones después de



solucionar diversos litigios existentes. Las instalaciones de la mina pueden encontrarse operativas en poco tiempo para un arranque de operaciones (Figura 15).



Figura.15. Instalaciones de proceso en la Mina Molejón y presa de relaves.

#### 4.4. Deposito de Cerro Quema.

##### Situación e Historia.

El Depósito de Cerro Quema se encuentra en la Provincia de Los Santos, en la región meridional de la Península de Azuero, al SW de la Ciudad de Las Tablas. La mineralización fue reconocida por primera vez en el área de Cerro Quema en 1967 por un programa de las Naciones Unidas (Proyecto Minero de Azuero; realizado por Swedish Geological International). Los geólogos de Swedish detectaron contenidos anómalos de cobre en una muestra de sedimento de corriente y calcocita en roca en la proximidad del hoy deposito de Quemita. No obstante el potencial para oro de esta manifestación no fue reconocido. Geólogos de una compañía panameña realizaron un reconocimiento en la región en 1986 y realizaron un muestreo con resultados anómalos de oro. Este fue el inicio de una gran actividad de exploración por cuya causa fue descubierto el campo mineral de Cerro Quema. Cerro Quema se encuentra emplazado en una cresta de relieve prominente (Figura 16) hacia cuyos flancos se encuentran dos sistemas fluviales, el Río Quema hacia el norte y la Quebrada Quema, afluente del primero. El acceso a la localidad es moderadamente bueno.

##### Geología.

Los depósitos en el campo mineral Cerro Quema se controlan geológicamente dentro de un cinturón de unos 10 km, extendido en dirección submeridional (Figura 17). En la región predomina un complejo vulcanógeno sedimentario de edad Cretácico Superior. La unidad de mayor extensión es la Formación Ocú; integrada por turbiditas terrígenas, calizas pelágicas, lavas porfídicas de composición andesítica y domos dacíticos emplazados en un ambiente submarino. Los flujos andesíticos hasta dacíticos porfiríticos y piroclásticos son ricos en horblenda y se enmarcan por sedimentos epiclásticos de composición andesítica; compuestos por ritmos sedimentarios (turbiditas), localmente intercalados con margas impuras y chert. Esta secuencia se sumerge hacia el sur a 40° 60°, sin invertirse. Intercalados con los epiclásticos, hacia el sur afloran basaltos y diabasas fuertemente cizallados. La mineralización primaria conocida está constituida por una disseminación de pirita y calcopirita y por stockworks poco desarrollados de barita, cuarzo, pirita, calcopirita con trazas de galena y esfalerita.



Figura.16. Cresta desmontada en el deposito de La Pava, en el extremo occidental.

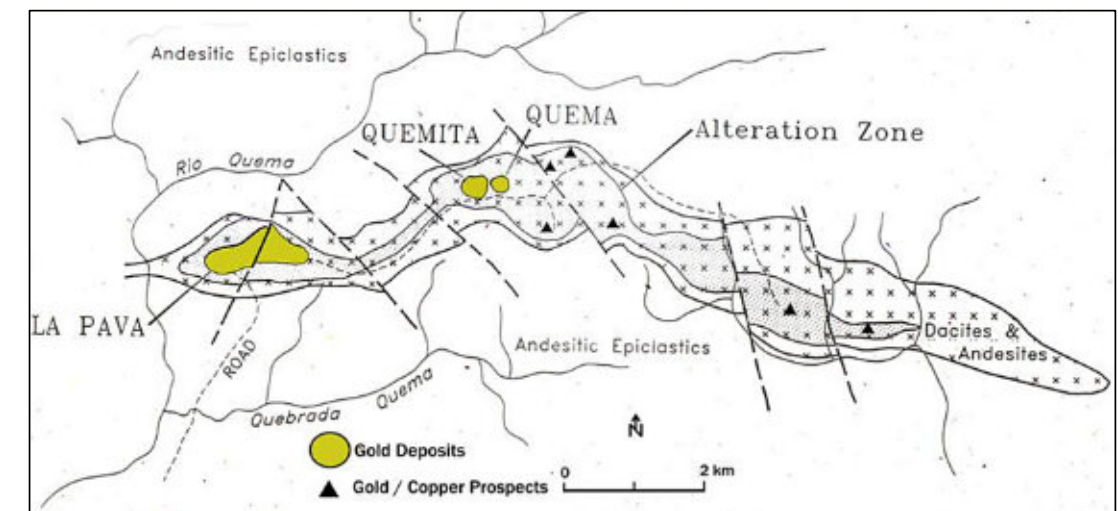


Figura.17. Cuerpos minerales enriquecidos en oro zonas meteorizadas y sitios con mineralización de cobre oro (Según Torrey y Keenan, 1994).

La mineralización se encuentra encajada en los domos volcánicos de composición dacítica de la Formación Ocú. Estas características se establecieron claramente en el Yacimiento Cerro Quema. La mineralización de oro propia del yacimiento se concentra predominantemente en las zonas con alteración silícica con posterior alteración supergénica. El Au se encuentra en forma de granos disseminados, submicroscópicos.



Se considera que existe enriquecimiento en cobre a causa de la precipitación de sulfuros secundarios de cobre controlados por fracturas, hacia la profundidad de las zonas de oxidación generadas por el proceso supergénico.

#### Alteraciones.

El proceso de concentración de oro en este depósito guarda una relación bastante directa con los procesos de alteración. Primero hipogénicos durante la formación de las mezclas de cobre-oro y a continuación la concentración del oro en los niveles más superficiales producto de la meteorización en las condiciones de clima tropical.

Alteración silícica-pirítica. Es la alteración más significativa. Se destaca en la superficie por rocas agrietadas y brechosas con cuarzo vuggy, rica en sílice y óxidos de hierro. Esta masa oxidada, llamada cubierta lixiviada alcanza una profundidad de 150 m. Por debajo de la zona de oxidación la pirita lleva a componer un 35% de la roca. La zona de alteración contiene alunita, didkita, cuarzo, pirofilita, barita, illita-esmectita, illita, caolinita, apatito y rutilo. Conjunto indicador de acumulación con PH y azufre bajo.

El oro generalmente se acumula en la zona de esta clase de alteración, con ley de 0.5 g/t cutoff). El oro con rango de 0.2 a 0.7g/t yace en las brechas piriticas en La Pava.

La alteración silicea-pirítica forma el núcleo de los depósitos, rodeados a su vez por masas de arcilla, formando una chapa no mineralizada sobre roca mineralizada de 5 a 20 m de espesor.

Dentro de la zona de sílice-pirita y localmente cortando la zona de arcilla adyacente en el lado sur de La Pava, ocurren vetas tardías de calcopirita de yacencia abrupta con halos blancos de sílice vuggy. Estos parecen estar asociados con fracturas tardías durante un evento de brechamiento importante. En esta área, una zona restringida de mineralización de cobre supergénico de alto grado está presente inmediatamente debajo de la interfaz de oxidación asociada con la mineralización de oro en el rango de 0.5 a 2.5g / t.

Otras alteraciones son la arcilla-pirita destacada por illite, kaolinite and hematite que de rareza contiene oro y la alteración propilítica, en las márgenes exteriores de los depósitos, formando característicamente una roca verde que contiene clorita, calcita, siderita, halloysita, laumontita, hematita e illita. En La Pava, bloques con fallas de alteración propilítica se superponen a zonas más profundas de arcilla y pirita de sílice.

Si bien las alteraciones observadas en esta región (silícica, arcillítica y propilítica) coinciden con el modelo de depósito epitermal de alta sulfuración, existen ciertas diferencias con el modelo teórico, a causa de que el emplazamiento en domos dacíticos intruídos en una secuencia de sedimentos marinos apunta a una formación de la mineralización en ambiente submarino.

#### Reservas.

Los depósitos con reservas estimadas son Cerro Quema, Cerro Quemita y La Pava. Las investigaciones realizadas hasta 1994, apoyadas en un programa de perforación a diamante demuestran un recurso de  $1 \times 10^6$  toneladas con una ley media de 1,26 g/t de oro (Torrey y Keenan, 1994) delimitada en rocas oxidadas, donde el oro ha experimentado un enriquecimiento supergénico, característico de las menas de este yacimiento.

### 5. Cinturones de cobre de Panamá. Ejemplos de depósitos de cobre.

#### 5.1. Cerro Chorchá.

El depósito Cerro Chorchá se encuentra en el interior de la concesión Chorchá de 24,359 ha; situada a 290 kilómetros al oeste de la ciudad de Panamá dentro de los distritos de San Lorenzo y Gualaca, provincia de Chiriquí y el distrito de Chiriquí Grande en la provincia de Bocas del Toro. El terreno de la propiedad es muy accidentado con elevación entre 600 a 2,238 m. s. n. m; en lo alto de la "Sierra Tabasara" en la División Continental.

Una carretera pavimentada de Chiriquí a Chiriquí Grande cruza la parte occidental de la concesión, pero el acceso a la zona mineralizada solo es posible mediante helicóptero desde una base en Mali, cerca de Chiriquí Grande, o por senderos de montaña desde el asentamiento de Bocas de Soloy.

#### Descubrimiento.

El depósito de Cerro Chorchá fue descubierto por Asarco Ltd., en 1969 (Figura 18), coincidente con el descubrimiento de Cerro Colorado, 30 km al este. La zona mineralizada conocida en la actualidad denominada Zona Guariviara, fue descubierta por Asarco durante un programa regional de exploración de sedimentos de arroyos. A esta zona se sumaron en la misma campaña, mineralización adicional en el área de Río Jusó y se determinaron otros seis objetivos secundarios.

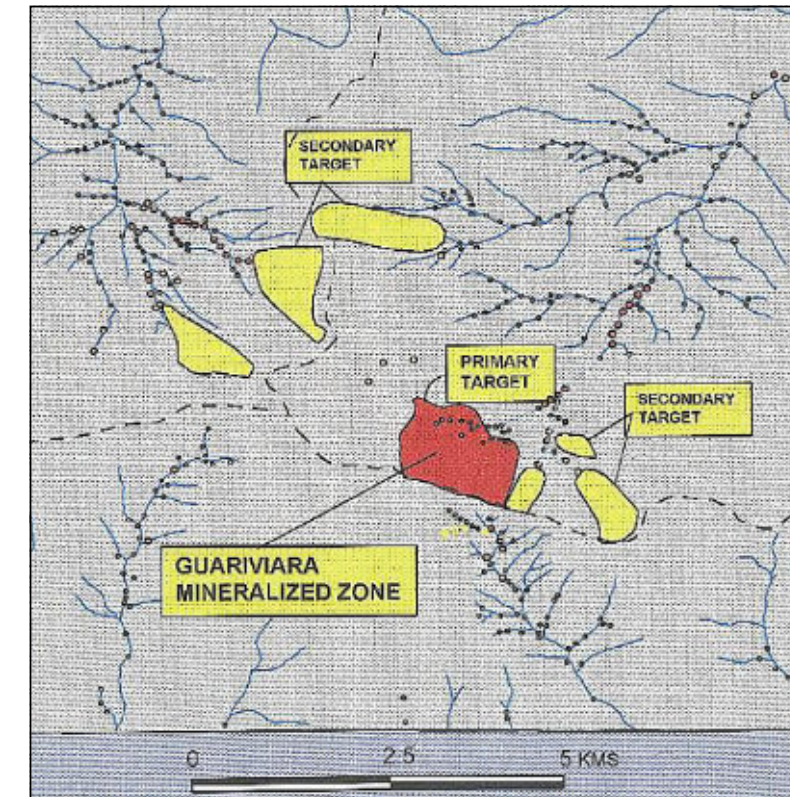


Figura.18. Croquis de la Zona Guariviara descubierta por Asarco en 1969.

La cartografía inicial de la Zona Guariviara identificó una zona de 20 metros de ancho con bandas de calcopirita y magnetita en un pórfido teñido de cobre azul verdoso. Para 1971, el muestreo de rocas en pozos había rastreado la mineralización en un área de **900 metros por 100 metros**. La exploración realizada por Asarco fuera de esta zona resultó en el descubrimiento de zonas de vetas con mineralización de cobre en andesitas cerca de la unión del río Hornito y el río Chiriquí. En 1976, Asarco intentó perforar la zona de Guariviara, pero las negociaciones para mejorar los términos finales del acuerdo de concesión fracasaron y la propiedad fue abandonada por Asarco.

#### Geología.

La mineralización de cobre de la Zona Guariviara se encuentra dentro de un complejo intrusivo con diorita, cuarzodiorita y granodiorita (Figura 19). La mineralización actualmente conocida se encuentra asociada a la fase de diorita de cuarzo, pero la anomalía geoquímica se extiende sobre las fases vecinas, hecho que sugiere una extensión adicional de la mineralización. Numerosos tipos de diques posteriores, incluido el pórfido de cuarzo-feldespato, también tienen la misma orientación de la anomalía principal que tiende a confirmar un fuerte control



estructural. La intrusión inalterada (en Brazo Sur, la rama sur del río Guariviara) es de color gris a verdoso de composición cuarzo-diorita (sin feldespato-K), con los máficos reemplazados por clorita. Actinolita secundaria está presente y son comunes las densas agrupaciones de magnetita, como se observa en Cerro Garnucha, al este de la Zona Guariviara. Numerosos tipos de diques emplazados posteriores al cuerpo principal porfídico, entre ellos los de cuarzo-feldespato, se orientan con rumbo NW y NE al parecer ejerciendo control de la mineralización.

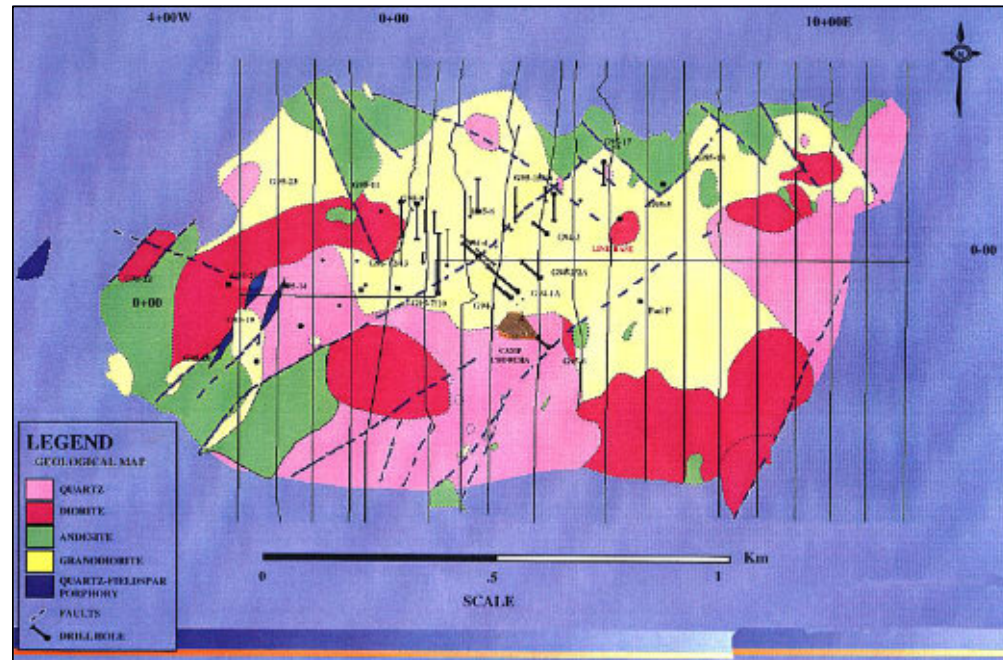


Figura.19. Mapa geológico de la zona central del depósito de Cerro Chorchá. Parte central. Zona Guariviara.

En la parte central de la red de estudio la intrusión mineralizada contiene un denso stockwork de vetas de cuarzo, de hasta 10 metros de potencia o mayores, con calcopirita, pirita y magnetita y pequeñas cantidades de bornita, covellita y malaquita. El stockwork (Figura 20) ha elevado los valores de cobre y oro en gran medida. Se ha sospechado que una falla importante de rumbo NE corta a través del centro de la cuadrícula y realiza un control importante de la mineralización. Hacia el margen del stockwork la intrusión se observa alterada con un feldespato de color azulado y calcopirita porfídica asociada con fracturas, con menor contenido de oro. Estos objetos mineralizados en estilo stockwork asociados a fallas y masas de rocas intrusivas alteradas, conjuntamente constituyen la Zona Guariviara.

Las venas de Brazo Sur son de cuarzo vuggy, con masas gruesas de esfalerita y calcopirita y niveles elevados de plomo, plata y cadmio. Las rocas adyacentes reflejan esta zonación lejos del cobre y oro central en Quebrada Cobre. La mineralización de metales base puede tratarse como resultado de una etapa de actividad tardía.

**Reservas.**

Mine Reserves Associates Inc. (AMA), realizó en 1995 una estimación preliminar de recursos basada en las perforaciones realizadas hasta la fecha. 25 pozos contenían 3,308 intervalos de ensayo de muestra dentro de los 5,254 metros totales perforados (Figura 20). A partir de la base de datos y de una base topográfica digitalizada, un análisis geoestadístico de la información del ensayo y un modelo de depósito computarizado, se estimó un recurso geológico (Tabla 3).

Barry Price (1995), basado en mediciones parciales de perforación hasta ese año y en el mapeo de contornos de rocas mineralizadas, considera los recursos geológicos dentro de la zona de Guariviara en 115 millones de toneladas. El grado considerado de cobre para esta evaluación pasó de 0,50% a 0,60%. Sin embargo, este autor

afirma que la Zona de Guariviara es un objetivo económico con recursos de alrededor de 200 millones de toneladas con una ley considerada del 0,65%, según el conocimiento actual.

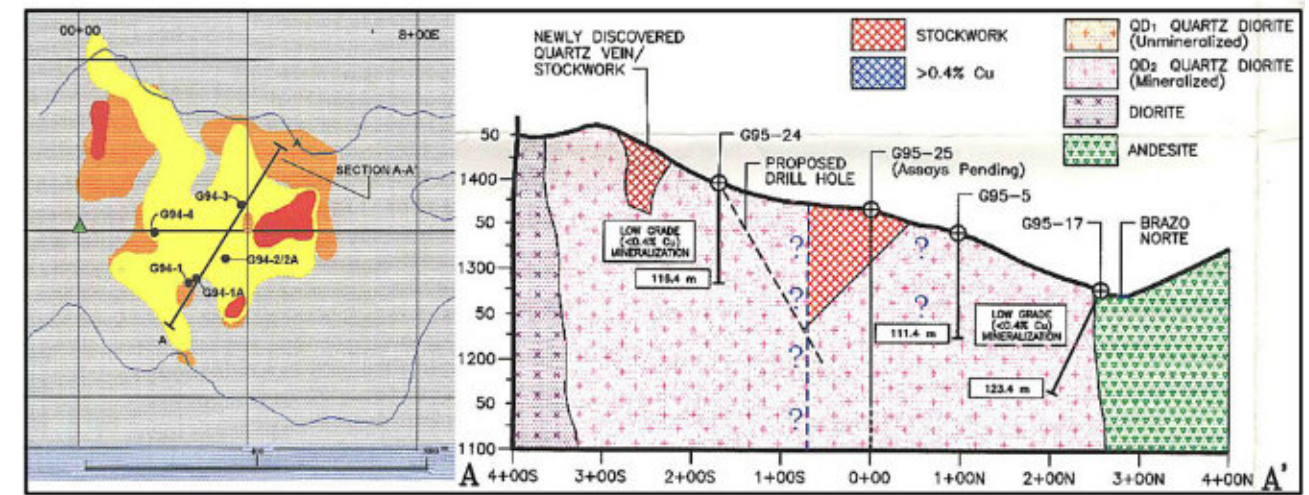


Figura.20. Perfil geológico por la Zona Guariviara con intersecciones del stockwork enriquecido.

Tabla. 3. Parámetros para el cálculo de reservas realizado por AMIA.

Dimensiones E_W	378,000E	380,000E
Dimensiones N-S	955,000N	957,000N
Elevación	1,000 m	1,750 m
Grid	50 x 50	
Número de columnas	40 x 50 m	
Altura de los benches	10 m	
Número de benches	75	

MRA describió una serie de categorías, incluyendo "óxido", "mixto" y "sulfuro", y se incluyeron valores de corte de 0.00%, 0.2.0% y 0.40%. El recurso total se calculó de la siguiente manera:

Tabla. 4. Geological Resources (Según AMA, 1995)

Cutoff	Tonnes	Cu %/,*	Au&it
0.20	265,874,000	0.493	0.057
0.40	161,332,000	0.617	0.075

Tabla.5 .Geological Resources (según Price, 1995)

Zone	Length m	Wide m	Depth m	Ton Millions
Stockwork	250	200	250	33
Porphyry zone	300	200	200	32
Holes 13-14	250	250	250	16.5
Holes 15-16-17	200	200	200	16
Holes 19 a 21	150	300	300	18
Total				115

Assumed specific gravity in 2.65.



### Potencial económico.

El depósito de pórfido de cobre y oro Chorcha representa el tercer depósito de pórfido más importante en Panamá en la actualidad. La ubicación relativamente aislada, y el terreno y el clima difíciles, se compensan en parte por el tamaño potencial del depósito, los grados de oro mejorados en la zona de almacenamiento y la presencia de una zona pequeña pero significativa de enriquecimiento de cobre supergénico.

Los 26 pozos de perforación hasta la fecha han delineado la mineralización en un área de aproximadamente 1,000 metros por 500 metros en superficie, y a una profundidad de 300 metros debajo de la superficie (donde las condiciones de perforación lo han permitido). Se concluye que la propiedad Chorcha tiene una buena oportunidad de alcanzar un tonelaje y grado económicos, y es digna de un importante programa de exploración y desarrollo continuo.

### 5.2. Cerro Colorado.

#### Historia.

Las primeras referencias que se tienen sobre mineralización en la región se remontan al año de 1936 en el informe preparado por Sinclair Oil Co. (1991). En 1955, se inician los trabajos de exploración, identificándose la existencia de una zona con mineralización de sulfuros de cobre, con una reserva estimada especulativa, de 100 millones de toneladas de mena (Cerro Colorado) (Stewart, 1957). Un gossan aflorado sobre la porción oxidada del depósito, visto como un área sin árboles y su expresión de superficie oxidada probablemente le dio a la montaña y al depósito el nombre de "Cerro Colorado".

#### Situación y acceso.

El depósito de Cerro Colorado se encuentra sobre el Divisor Continental, a una altura de aproximadamente 1200 metros, a 25 kilómetros al norte de San Félix, provincia de Chiriquí y a 10 kilómetros al norte del asentamiento de Chami.

#### Geología Regional.

El depósito se produce dentro y en la periferia de un grupo de cuerpos intrusivos porfiríticos y faneríticos de alto nivel que cortan en forma cruzada una gruesa pila de rocas volcánicas terciarias, principalmente andesíticas y sub-aéreas. (A. H. Clark *et al.*, 1977). En profundidad, las vulcanitas pueden ser tan antiguas como el Cretácico temprano o medio; La unidad volcánica más joven (después de la traquiandesita mineral) es el plioceno medio (2,98 millones de años). (Price, 1994, Chamí Project).

Los eventos volcánicos e intrusivos mencionados están mejor estudiados precisamente en la región de Cerro Colorado. Las potentes coladas de lavas andesíticas en esa región, de carácter subaéreo, se han asignado al Grupo Chichica del Paleógeno Temprano. Dataciones de edad absoluta de estas andesitas, realizadas en el Río Escopeta, indican una Edad de 29.9 - 2.2 Ma. (Oligoceno Superior-Mioceno Inferior). La pila volcánica fue subsecuentemente atravesada por los productos de varios eventos magmáticos escasamente separados en el tiempo; desde traquiandesitas hasta diques y stocks ácidos de edad 3.3-7.5 m.a. Una unidad de traquiandesitas representa la última fase de intrusión magmática en la región de Cerro Colorado, datada en 2.98 Ma (Plioceno Medio) la cual se asigna a la Formación Laguna.

La mineralización hipogénica consiste en calcopirita, bornita, pirita y molibdenita. Las venas tardías de esfalerita-galena-dolomita son comunes en toda la zona mineralizada, extendiéndose también hacia la granodiorita Escopeta fresca. La molibdenita se presenta principalmente en stringers y veinlets en las dos rocas huésped y como disseminaciones en la granodiorita. Otros minerales accesorios para las venas son anhidrita, flogopita, epidota, dolomita y pirofilita. La anhidrita está asociada con la zona de alteración filica y da lugar al yeso sobre la capa freática.

La edad de la mineralización está entre 3 y 7 millones de años; La edad del emplazamiento original de la mineralización puede ser de 5 a 6 millones de años, seguida de la oxidación y el enriquecimiento de supergenes por un período adicional de 2 a 3 millones de años.

En la superficie, la zona "mineral" es un área ovoide de aproximadamente 300 metros por 500 metros. Se dice que las dimensiones generales del cuerpo perfiladas por la perforación son 1500 metros x 2500 metros. El fondo del depósito no se ha definido, ya que la mineralización en el hoyo más profundo continúa a una profundidad de 100 metros bajo el nivel del mar.

Según los resultados de los estudios de Pavonia S. A., la geología de la intrusión y mineralización se expresó en las siguientes etapas.

1. Las rocas porfiríticas mineralizadas emplazadas; como intrusivos de grano fino con sulfuros finamente disseminados, principalmente bornita. Esta mineralización se extendió una corta distancia (100 metros) hacia la andesita huésped.

2. Se emplazaron intrusiones de la serie "Monzonita de Cuarzo". Este grupo incluye una amplia variedad de fases que incluyen latitas, monzonitas de cuarzo, granodioritas y felsitas. La fase de granodiorita forma una gran intrusión (el Batolito de Escopeta) al noreste del depósito; los otros tipos intrusivos ocurren como cuerpos de lentes más pequeños a de forma irregular.

3. Se introdujeron cuerpos de pórfido de cuarzo en la parte central del depósito. Estos cuerpos también son de forma irregular y no persisten en la profundidad.

Todos los intrusivos contienen cantidades significativas de cobre original, que van desde 0.05% en las porfiritas de cuarzo hasta 0.4 -0.7% en las "porfiritas de mena". Una segunda fase de mineralización como vetas y disseminaciones afectó solo la parte central del cuerpo principal de Monzonita de Cuarzo. Esto fue acompañado por silicificación.

Los eventos intrusivos posteriores al mineral son:

4. Los diques de riolita posteriores al mineral ocurren como cuerpos anchos que cortan las intrusiones mineralizadas. Estos tienen fenocristales de biotita frescos en una matriz alterada.

5. La fase intrusiva ígnea final de las traquiandesitas leucocráticas y predominantemente ignimbríticas cubrió originalmente gran parte del área. La erosión reciente pleistocénica ha dejado restos al sudeste y oeste del depósito.

#### Alteraciones.

Kents (1975) afirma que, en contraste con la mayoría de los depósitos de pórfido de cobre, no se pueden reconocer bien definidos de los conjuntos de alteración hidrotermal típicos; ya que los efectos de alteración son irregulares y están relacionados con el tipo de roca huésped. Los halos de sericita-clorita formados en las unidades andesíticas, la silicificación controlada por fractura acompañó la segunda etapa de mineralización y la alteración filica es característica de los diques de riolita post-mineral. Sin embargo, Issigonis (1974) describe la alteración del "K-silicato" (K-feldespatos + Flogopita + Pirita) en el núcleo del depósito, seguido de la alteración "filica" (sericita-cuarzo-anhidrita-pirita-calcita), "Argillic" (alteración illita, dolomita (siderita) y pirita menor) y alteración "propilítica" (clorita y calcita). Un límite lixiviado y oxidado (ahora estéril) alcanzó profundidades de 150 metros en áreas más altas. Debajo de esto hay una zona gruesa de enriquecimiento de sulfuro supergénico que forma un tonelaje considerable de mineral potencial en exceso de 1% de cobre.



### Recursos.

Se han hecho muchas estimaciones de tonelaje y grado de recursos; Varios estudios de factibilidad han presentado categorías de reserva vinculadas a diferentes grados de corte. La cifra citada más recientemente es una reserva "extraíble" de 1,4 mil millones de toneladas con una ley de 0,78% de cobre, basada en una ley de corte de 0,40%. Se informa que los metales preciosos contenidos son 3 millones de onzas de oro y 226 millones de onzas de plata, (grados estimados de 0.002 oz / ton y 0.16 oz / ton respectivamente). Se dice que las reservas geológicas son 4,48 mil millones de toneladas de 0,45% de cobre con un grado de corte cero. Se conocen al menos otras dos zonas de concentraciones de mineralización de Cu-Mo en el pórfido de feldespato de cuarzo y en la granodiorita dentro de un radio de 1 kilómetro del depósito principal. (Issigonis, 1982).

En 1972, Pavonia S.A. se convirtió en una subsidiaria de propiedad absoluta de Canadian Javelin, y las perforaciones tenían reservas mejor definidas, ahora estimadas en alrededor de 125 millones de toneladas de 0.80 a 1.0% de cobre en una zona de 7,500 pies de largo por 200 a 2500 pies de espesor formando un manto en el lado sur de Cerro Colorado. Se sabía que la mineralización se extendía hasta el lado norte de la montaña, como lo indica la perforación diamantina. Un estudio de factibilidad realizado por Technical Economists Ltd. de Toronto indicó que el desarrollo debería ser rentable, con una producción inicial y una tasa de molienda de 30.000 toneladas por día.

Para 1974, la exploración adicional en Cerro Colorado había llevado a un estimado de reservas geológicas de 2.2 mil millones de toneladas con una ley de 0.80% de cobre, con un número de áreas enriquecidas localmente que contenían 1.1% de cobre.

Para 1976, la Revisión Anual de Minería estimó que las reservas en Cerro Colorado eran de al menos 2,000 millones de toneladas de mineral "probado" con un promedio de 0.61% de cobre, 0.015% de molibdeno, 0.002 oz/tonelada de oro y 0.15 oz/tonelada de plata. También se estima un adicional de 1.000 millones de toneladas de mineral "legalizado" y 1.000 millones de toneladas de mineral "posible".

La planificación del desarrollo incluía una concentradora para un tratamiento inicial de 80.000 ton/día, elevándose a 160.000 t/día. Una fundición con una capacidad de 2.100 toneladas de cobre por día. Un túnel de suministro de agua de 6,2 km. Una planta de energía alimentada con petróleo en la costa atlántica. La mejora y continuación de la carretera de San Félix que pasaría de la mina a la terminal de aguas profundas en la costa atlántica, y una mano de obra de construcción de 3.500 personas, traducible en una plantilla de producción permanente de 2.000 trabajadores.

### Propiedad.

La concesión para la minería en Cerro Colorado está vencida y los derechos pertenecen al Estado Panameño a través de la Corporación de Desarrollo Minero Cerro Colorado (CODEMIN).

### 6. Conclusión.

Un apretado repaso del potencial minero de la República de Panamá, demuestra en el país un potencial extraordinario de metales básicos y preciosos para un territorio relativamente pequeño, que puede proyectar a Panamá como una de las primeras plazas mundiales de la explotación de materias primas minerales. Si el estado de Panamá se decide a desarrollar una industria minera basada en sus excepcionales recursos, el país puede convertirse en algunos decenios en una de las primeras potencias mundiales en esta rama de la economía.

**Nota:** Los autores de la presenta compilación son ingenieros geólogos y de minas con más de 25 años de experiencia en la exploración de depósitos de minerales básicos y preciosos en más de 14 países de tres continentes.

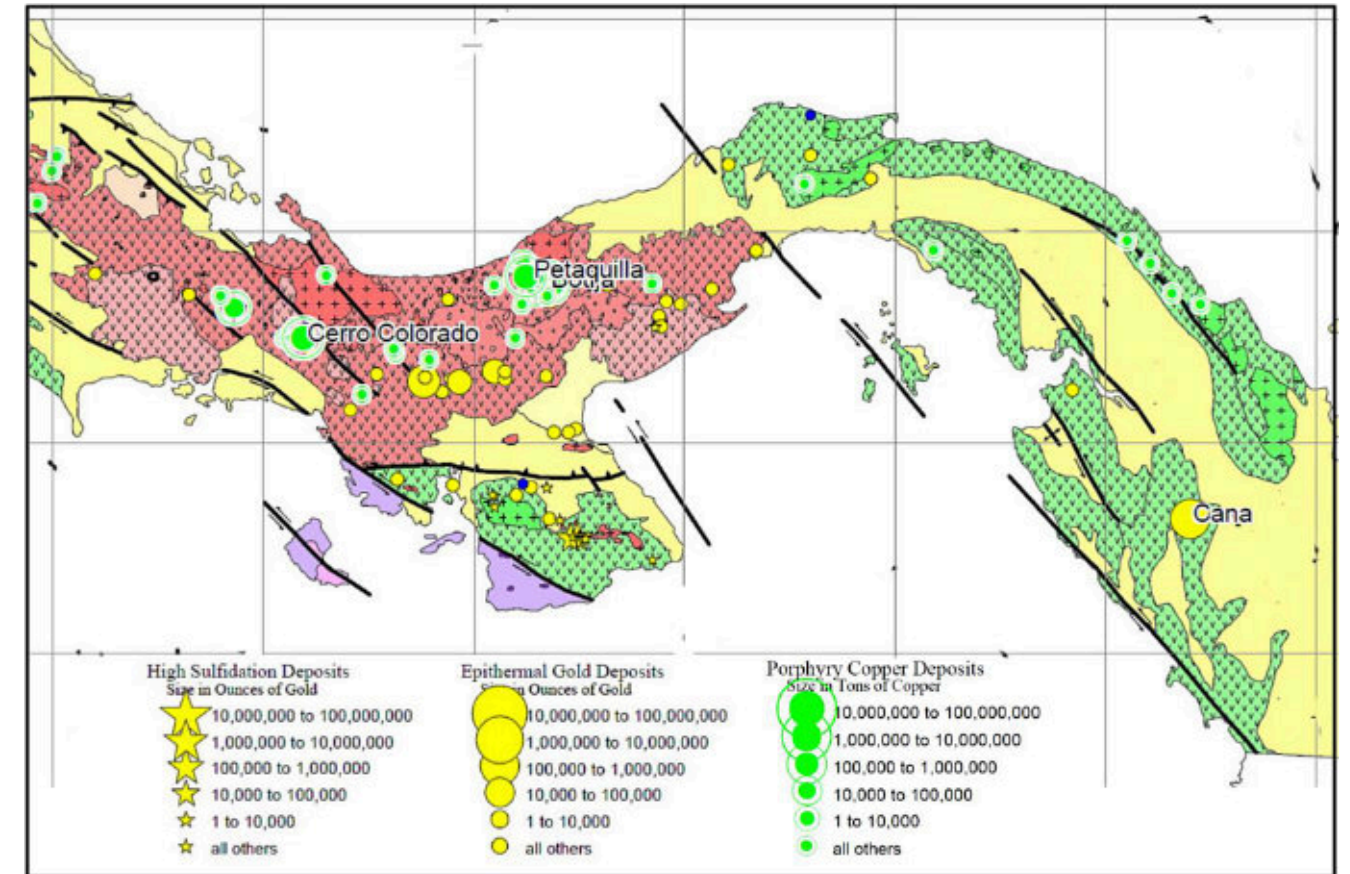


Figura.21. Mapa metalogénico de Panamá que muestra la agrupación de depósitos de oro colocados en fajas en el centro y en el Norte (modificado de Carl Nelson, 2000).

### Bibliografía.

- Adrian Resources Ltd.,** 1994, Summary of the Petaquilla Project, Panama. *Unpublished company promotional brochure dated June 1, 1994.*
- Allen, G. J.,** 1993, Qualifying Report on the Chami Project. *Keaton Resources, Ltd. Progress Report.*
- Álvarez Sánchez, H.,** 1994, Reconocimiento geológico y argumentación de perforaciones en el Sector de Cerro Mosquito. Proyecto Chamí. *Geotec, S. A., para Independence Resources.*
- Álvarez Sánchez, H.,** 1994, Draft geological report for Cristal Project. *Geotec, S. A., para Independence Resources.*
- Álvarez Sánchez, H., Clark Quesada, M., et al.,** 1995, Summary of Panamanian Projects. *Geotec, S. A. Progress Report for MinAmerica Corp. 135 pags.*
- Álvarez Sánchez, H. & Gómez, A.,** 1998, El ambiente geológico del depósito Cerro Colorado y sus vínculos con las manifestaciones que lo rodean. *Estudio de compilación bajo el patrocinio de MinaAmerica Corp. 68 Pags. Marzo de 1998.*
- Álvarez Sánchez, H.,** 1998, Proyecto Mina Cana. Informe geológico de exploración y proyecto de operaciones. *Informe Privado para Sociedad de Inversiones IXTAPA, S. A.*
- Álvarez-Sánchez, H.,** 1999, Programa de apoyo para el desarrollo sostenible del sector minero de la República de Panamá (PN-0114): Diseño y términos de referencia. Componente mapeo e información geológica, gestión ambiental minera y cultural. *Banco Interamericano de Desarrollo. Washington D.C. Ministro de Comercio e Industrias. República de Panamá. 370 paginas.*
- Álvarez Sánchez, H., & Clark Quesada, M.,** 2002, Land Status Summaries. Chiriquí-Veraguas. Azuero Peninsula. *Private Report for MinAmerica Corp.*



**Álvarez Sánchez, H., & Clark Quesada, M.**, 2002, Land Status Summaries. Cerro Caballo. Las Minas. Cerro Bruja. *Private Report for Pardini & Associates*. 7 Figs. 28 Pags. September 25, 2002.

**Álvarez Sánchez, H., & Clark Quesada, M.**, 2002, Cerro Chorchá. Summary Report. *Private Report for Pardini & Associates*. 24 Figs. 69 Pags.

**Anónimo**, 1987, Proyecto Inventario Minero. Informe Final Parte II: Mapeo geoquímico en tres sectores de Panamá. *Swedish Geological International*. 34 pags. 8 Appendices, 58 Figs.

**Anónimo**, 1991, Geología y ocurrencias de minerales en tres sectores de Panamá. Informe Final del proyecto de Inventario Minero. *DGM. Minist. De Comercio e Industria. República de Panamá. Swedish Geol. International*.

**Anónimo**, 1991, The Mining Sector of Panama. *Ministry of Commerce and Industry. Mineral Resources Department*.

**Barat, F., Mercier de Lépinay, B., Sosson, M., Müller, C.**, 2014 in Press, Transition from the Farallon Plate subduction to the collision between South and Central America: Geological evolution of the Panama Isthmus. *Tectonophysics*. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2014.03.008>).

**Bowell, R. J.**, 1993, The mobility of gold in tropical rain-forest soils. *Economic Geology*, Vol. 88, pp. 999-1016.

**Clark, A. H., et al.**, 1977, Potassium-Argon Age of the Cerro Colorado Porphyry Copper Deposit, Panama. *Economic Geology*, Vol. 72, pp. 1154-1158.

**Corral, I., Griera, A., Gómez-Grass, D., Corbella, M., and Cardellach, E.**, 2010, Geochemical evolution of the Panamanian Cretaceous-Paleogene volcanic arc: Insights from the Azuero Peninsula, SW Panama. *GEOGACETA*, 49, 2010.

**Ferencic, A.**, 1970, Porphyry copper mineralization in Panama. *Mineralium Deposita*, Vol. 5, pp. 383-389.

**Geotec, S. A.**, 1995, Summary ARLO Resources 1995. *Chorchá, Río Liri and other properties*.

**Geotec, S. A.**, 1995, Chorchá Concession. Results of 1995 Program. *Private Report for MinAmerica Corp.*

**Glanville, R., and Price, B.**, 1996, Geological Summary Report and valuation of the Chorchá Copper Deposits. Chiriquí and Bocas del Toro Provinces. Republic of Panamá. *Ross Glanville & Associates L. T. D., and B. J. Price Geological Consultants Inc. August 15, 1996. 36 pags. 30 Figs.*

**Hollister, V. F.**, Editor, 1991, Case Histories of Mineral Discoveries, No. 11., Discovery of Porphyry Copper Mineralization at Cerro Petaquilla. *Part III, pp. 39-40.*

**Issigonis, M. J.**, 1982, Two stages of alteration and Cu-Mo mineralization at Cerro Colorado, Panama. *Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy, Section B., Vol. 91, November 1982, pp. B219-223.*

**Johnson, M. D., Bikerman, D., and Russell, M.**, ?, Mina Santa Rosa. *Greenstone Resources (Manuscript)*.

**Jomphe, R. & Price, B.**, 1997, Pitaloza Gold Property. Santa Clara Concession, Herrera Province, Republic of Panamá. Geological Report. *For Sundown Holdings Ltd. 44 Pags. September 15, 1997.*

**Kesler, S. E., Sutter, J. F., Issigonis, M., Jones, L. M., and Walker, R. L.**, 1977, Evolution of porphyritic copper mineralization in a oceanic island arc: Panamá. *Economic Geology*. Vol. 77, 1977, pp 1142-1153.

**Kesler, S. E., Levy, E., Martín F., C.**, 1990, Metallogenic evolution of the Caribbean region. *The Geology of North America. Vol H. The Caribbean Region. The geol. Soc. of America. Chapter 18.*

**Malone, G. B., and S. Richard S.**, 1987, Caldera-related gold mineralization of the El Limon Mining District, western Nicaragua. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol 33., pp. 217-222.

**Montoya, D. E., Noble, D. C., Eyzaguirre, V. R., and DesRosiers, D. E.**, 1995, Sandstone-hosted gold deposits. *MJ*, 1995.

**Muntean, J. L., et al.**, 1990, Evolution of the Monte Negro Acid-Sulfate Au-Ag Deposit, Pueblo Viejo, Dominican Republic: Important Factors in Grade Development. *Economic Geology*, Vol 85, pp. 1738-1758.

**Nelson C., & Arauz C., A.**, 1992, Depósitos de metales preciosos de gran tonelaje en la región del Caribe. *Rev. Geol. Amér. Central*. 14. pp. 39-57.

**Nelson E. C.**, 2000, Metallogenic Map of Central America and the Caribbean Basin. 1:4,000,000.

**Nelson E., C.**, 2001, Gold mineralization in dome field of the Veraguas Belt, Panamá. *Society of Economic Geology. SPP* 8.

**Nelson E., C.**, 2011, Geology and Mineral Deposits of Caribbean Basin. 1: 2,500,000.

**Pretto, A.**, 1990, Río Tuquesa-Río Mogue. Annual Report. (*Resultados de oro*). *Paminexco*.

**Price, B. J.**, 1994, Geological Summary Report on the Chami Gold Property (Cerro Colorado Area). *Private Report for Independence Resources Inc.*

**Price, B. J.**, 1994, Compilation of Panamanian Mineral properties. *Private report for Independence Resources Inc.*

**Price, B. J.**, 1995, Geological Summary Report on the Cristal Copper-Gold Porphyry Prospect. Panamá. *Private Report for MinAmerica Corporation*.

**Price, B. J.**, 1995, Geological Summary Report. *Private Report for ARLO Resources L. T. D. 49 pags., 30 Figs. September 1995.*

**Price, B. J.**, 1995, Geological Summary Report for ARLO Resources L. T. D, Chiriquí and Veraguas Provinces. *Private Report. 54 pags., 16 Figs. May 1995.*

**Price, B. J.**, 1995, Geological Compilation, Oro del Norte and Santa Lucía Concessions. Petaquilla area. *Private Report for Adrian Resources Ltd. 16 Figs. 37 Pags. May 1995.*

**Price, B. J.**, 1996, The Cerro Colorado Porphyry Copper Deposit. Geological Summary Report. August 15, 1996.

**Price, B. J.**, 1996, Geology of the Guaymí Concession. Provinces of Chiriquí and Bocas del Toro, Republic of Panamá. *Private Report for MinAmerica Corp. 30 Figs. 37 Pags. February 1, 1996.*

**Portugal, E.**, 2005, Molejón Project. Field work progress Report No. 1. *Petaquilla Minerals L.T. D. Molejon Camp. 13 April. 2015.*

**Redwood, S. D.**, ?, Metallogenesis and Arc Evolution of Panamá and NW Colombia. *Unpublished text.*

**Roberts, R. J. and Irving, E. M.**, 1957, Mineral Deposits of Central America. *USGS Bulletin 1034.*

**Scott, D.**, ?, Panamá Gold. Promising deposits in Central America. *Greenstone Resources and Boliden Canada.*

**Sillitoe, R. H., et al.**, 1984, Gold Deposits and Hydrothermal Eruption Breccias associated with a Maar Volcano at Wau, Papua New Guinea. *Economic Geology*, Vol. 79, pp. 638-655.

**Steffen Robertson & Kirsten Inc.**, 1995, Molejón Deposit. Mine Design Report. *Report for Teck Corporation.*

**Torrey, C. and Keenan, J.**, 1994, Cerro Quema Project Panamá. *Private Report. 22 pag.*

**Tourtlot, E. B., and Vine, J. D.**, 1976, Copper deposits in sedimentary and volcanogenic rocks. *Geo. Survey. Profess. Paper 907C.*

**UNDP**, 1969, Results of detailed investigations in the Azuero Peninsula. Panamá. *Proyecto Minero de Azuero. Administración de Recursos Minerales. United Nations Development Program.*

**UNDP**, 1972, Proyecto Minero. Fase II. Panamá. Geología general de la región oriental y occidental. *Informe Técnico No. 1. 43 pags.*

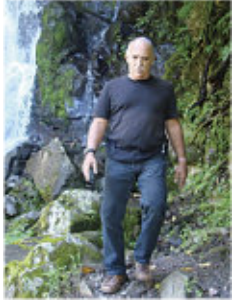
**Vergara, R.**, 2002, Segunda Ebullición y su relación con la formación de stockwork y brechas hidrotermales. *Seminario de Pórfidos Cupríferos. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geología.*

**Wallace, A. B.**, 1979, Possible signatures of buried porphyry copper deposits in Middle to Late Tertiary Volcanic Rocks of Western Nevada. *Fifth IAGOD Quadrennial Symposium, pp. 69-76.*

**Wargo, J. G.**, 1979, La próxima etapa de exploración de los yacimientos de oro de Tipo Carlin. *Mining Engin. V. 31. No. 9. pp. 1321-1323.*

**White, D. C.**, 1994, Geology and mineralization of the Santa Rosa gold deposits, Panamá. *Mining Engineer. 346, April 1994.*





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

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

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

# 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 Geosciencias.**



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.

Instituto Nacional de Geoquímica (México). <https://www.inageq.com/>



Sociedad Venezolana de Historia de las Geociencias.  
SVHGc@yahoo.com



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

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



Geología Médica

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



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/>



GeoLatinas

<https://geolatinas.org/>



Sociedad Dominicana de Geología

<http://sodogeo.org/>

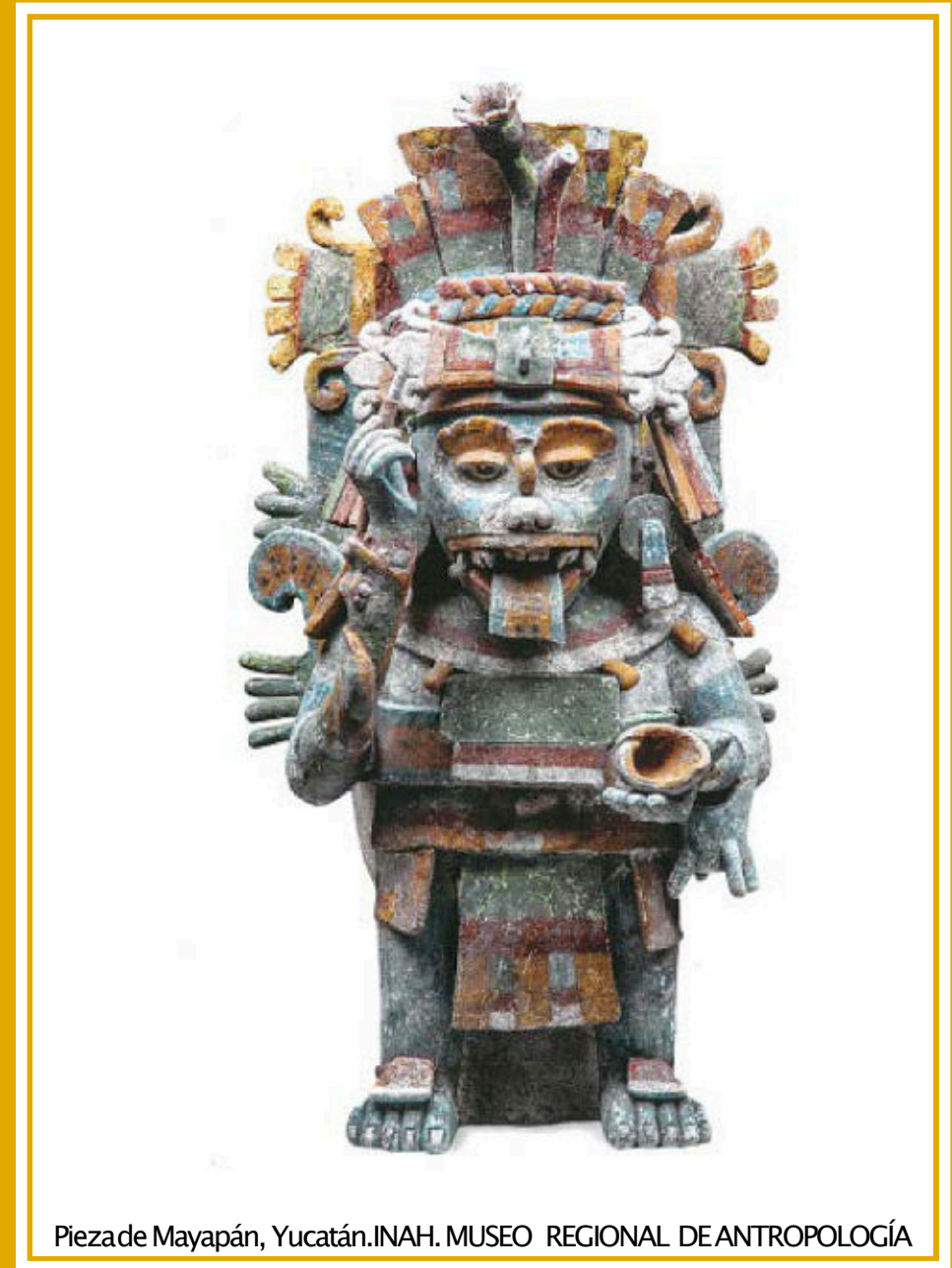


Universidad Tecnológica del Cibao Oriental, República Dominicana

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



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



Piezade Mayapán, Yucatán. INAH. MUSEO REGIONAL DE ANTROPOLOGÍA

¿QUIERES COLABORAR CON NOSOTROS?

ENVÍANOS UN CORREO A:

[luis.valencia.11@outlook.com](mailto:luis.valencia.11@outlook.com); [bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu](mailto:bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu)