

**ABRIL**  
**SUPLEMENTO**  
**2025**



# MAYA

**REVISTA DE GEOCIENCIAS**





# MAYA

## REVISTA DE GEOCIENCIAS

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

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

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

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

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

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

**Portada de la revista:** Sepur Formation outcrop (Guatemala) showing the intense soft sediment deformation beneath an undisturbed layer. Photo by **Jorge Romero.**

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

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

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

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

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

Revista de difusión y  
divulgación geocientífica.

# EDITORES



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

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

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



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

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

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



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

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

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



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

Correspondent member of the Academy of Engineering of Mexico.

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

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

# COLABORADORES



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

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, Mexico, Colombia, Reino Unido, Turquía y España. Su especialidad es la sedimentología marina de aguas profundas. Actualmente realiza investigación en

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

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



**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)



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

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

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



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

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

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

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



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

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

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

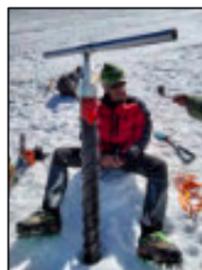
[gleon.laura@gmail.com](mailto:gleon.laura@gmail.com)



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

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

[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 Petroleo 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 inicio dando clases de petrología ígnea y metamórfica.

Actualmente es Tutor del Posgrado en Ciencias de la Tierra UNAM. Su maestría fue sobre yacimientos minerales metálicos y su doctorado sobre geoquímica ambiental. Actualmente sus líneas de investigación son: Metales Pesados en Medio Ambiente, Hidrogeoquímica, Geoquímica Isotópica de Metales Pesados e Hidrogeoquímica de Salmueras Petroleras. A la fecha es responsable de un Proyecto UNAM 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.

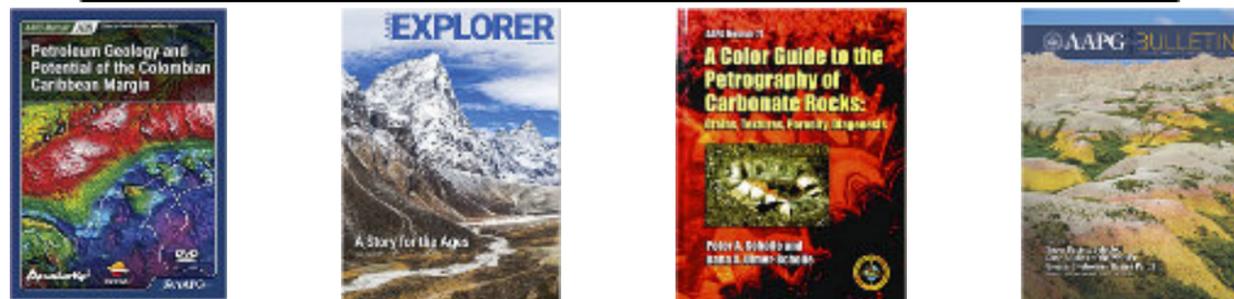
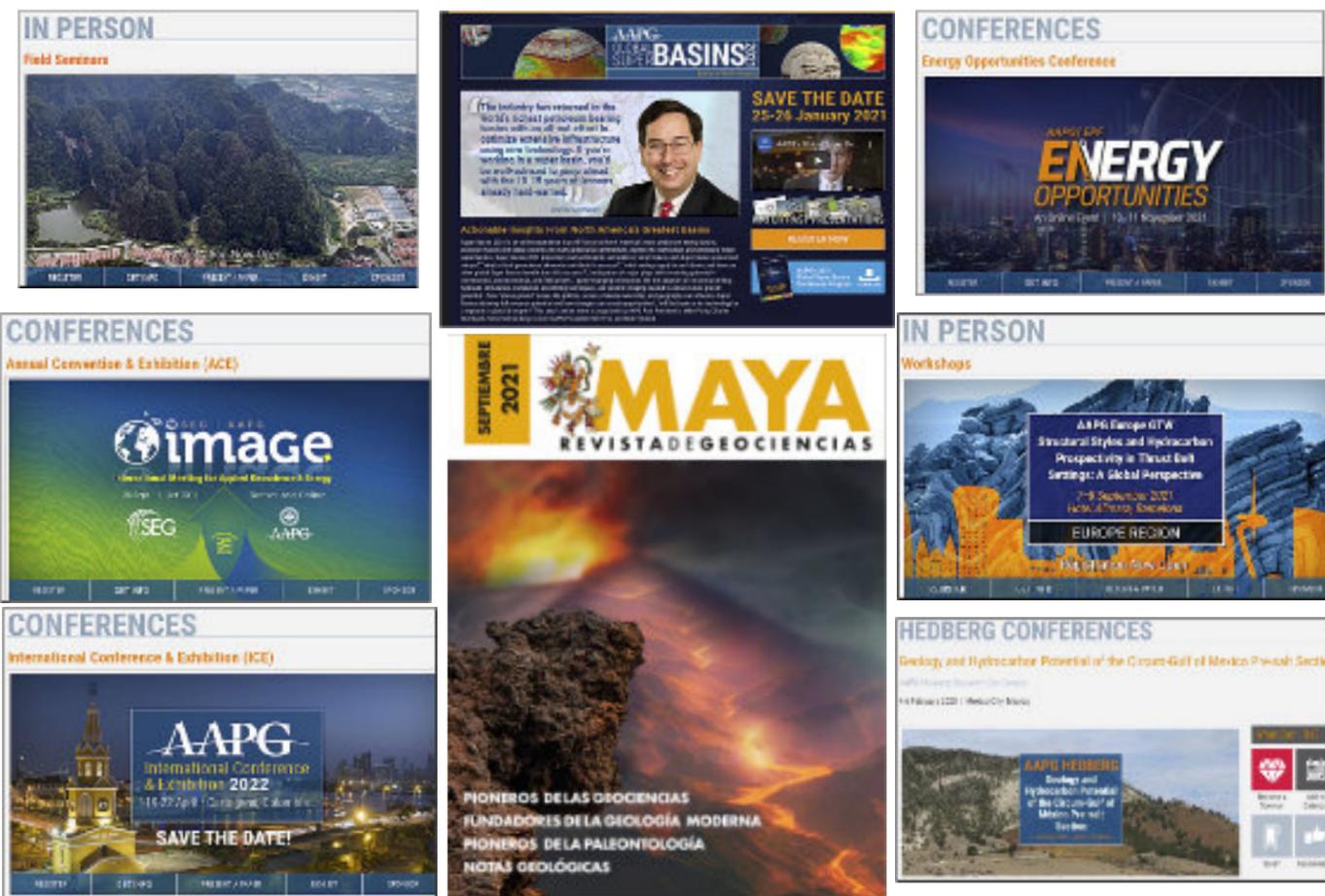
Con casi 20 años de labor docente, ha impartido clases en la Facultad de Ciencias y en la Facultad

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**



## 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>



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/>

**ABRIL**  
**SUPLEMENTO**  
**2025**

# EDICIÓN ESPECIAL XXII



**Metales Pesados: De las Estrellas a su Mesa**

*Alejandro Carrillo-Chávez, Carolina Muñoz Torres*

**Biogeopatrimonio del pedregal remanente 176 del campus de Ciudad Universitaria de la UNAM**

*Itzel Analí Sánchez-Aguilar, María del Pilar Ortega-Larrocea, Marie-Noëlle Guilbaud.*

**Progress on revision of Belize's Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy**

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

**El diamante “El Libertador” o “Bolivar”. La historia de Barrabás**

*Marianto Castro Mora*

**Régimen y contaminación por arsénico de las aguas subterráneas en México: el karst de Zimapán, Hidalgo, México**

*Leslie F. Molerio-León*

**Filamentos microbianos fósiles en las formaciones del límite K/Pg en Cuba occidental**

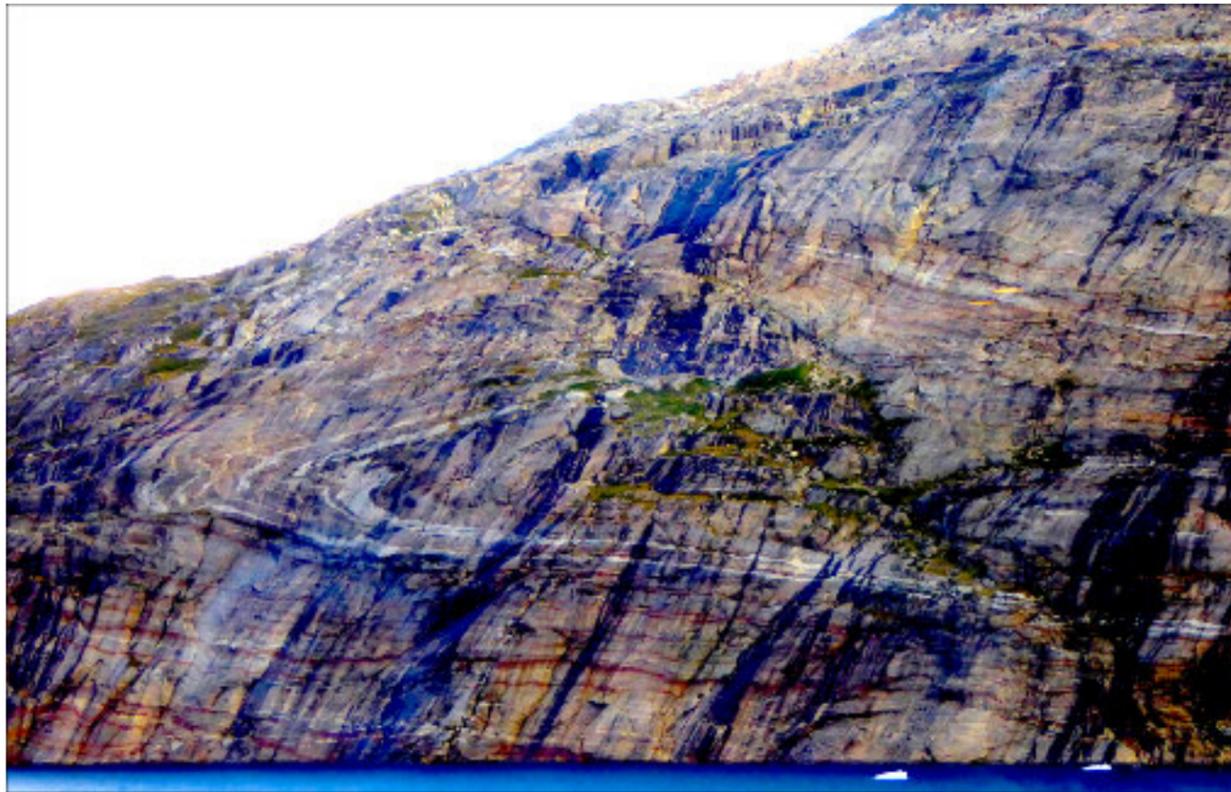
*Andrzej Pszczółkowski*

**El Horror de Hubble**

*Rafael Avalos Alejandre*

**Glaciares y su entorno: Estado actual - Conferencias Magistrales - 2025**

**Primer Coloquio Queretano de Estudios Interdisciplinarios del Suelo - Memorias - 2024**



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

## Metales Pesados: De las Estrellas a su Mesa

Alejandro Carrillo-Chávez\*, Carolina Muñoz Torres

Centro de Geociencias UNAM, Campus Juriquilla. Blvd. Juriquilla 3001, Juriquilla, Querétaro, 76230 México

\*Correo electrónico: [ambiente@geociencias.unam.mx](mailto:ambiente@geociencias.unam.mx)

### Resumen

Los modelos astronómicos modernos indican que los metales pesados se forman en los núcleos de estrellas gigantes, en explosiones de supernovas y en colisiones de estrellas de neutrones. El polvo cósmico expulsado de esas explosiones forma nebulosas planetarias que inician un proceso de acreción, formación de nuevas estrellas y discos proto-planetarios que formarán, en parte, planetas rocosos con núcleos metálicos. Nuestro planeta Tierra se estratificó en un núcleo metálico (Hierro y Níquel básicamente, pero con muchos otros metales en menores concentraciones), un manto rocoso rico en Fe, Al, Mg, O y Si y una corteza rocosa rica en Al, Fe, Si, O, Ca, Na. La diferencia de densidades y flujo calorífico generó una tectónica de placas que, mediante procesos geoquímicos transporta metales desde el manto y hasta la corteza terrestre, donde se acumulan en yacimientos minerales metálicos. El desarrollo histórico, la industria y economía moderna de la humanidad se basan en gran parte en la extracción y proceso de metales. Actualmente dependemos en un gran porcentaje de los metales pesados para nuestra vida diaria, por ejemplo, algunos metales pesados son elementos traza esenciales en procesos metabólicos de plantas, animales y de nosotros mismos. La extracción sin control de los metales, ha alterado ciclos y concentraciones naturales de estos en el medio ambiente (agua, suelo y aire). Consecuentemente ha habido graves casos de desastres antropogénicos de contaminación por metales pesados. La geoquímica médica es una línea de investigación relativamente nueva que investiga los efectos positivos y negativos de metales pesados en nuestra dieta diaria. Se sabe que algunos metales pesados son necesarios en nuestros alimentos para tener una plena salud física y mental. Literalmente los metales pesados se forman en las estrellas y los disfrutamos en nuestra mesa.

### Introducción

Registros históricos indican que hace unos 6,000 años el ser humano ya sabía trabajar algunos metales; primero utilizó el cobre (Edad del Cobre), después descubrió estaño

y que combinándolo con cobre se obtenía un metal superior en calidad, el bronce (Edad del Bronce) y posteriormente utilizó ampliamente el hierro (Edad del Hierro), y en menor escala, pero muy apreciados y valorados, también aprendió a extraer y trabajar el oro y plata. Relatos bíblicos, y de otros libros antiguos, indican que el oro y la plata se trabajan muy bien hace 4,000 años. Desde hace unos 500 años antes de la era común (ac) y hasta los 1,700 de nuestra era, la química antigua, o alquimia, descubre otros elementos y se empiezan a hacer experimentos y compuestos con ideas de transformar elementos, intentos frustrados de transmutaciones a oro. Pero no fue sino hasta mediados de 1,700's que Antonio Lavoisier funda las bases de la química moderna, con experimentos bien desarrollados, para conocer compuestos y aislar elementos. A mediados y finales de 1,800's Dmitri Mendeléyev realiza una categorización y agrupación de los elementos conocidos en ese tiempo por medio de características químicas similares. Una verdadera obra maestra, que en la educación media nos enseñan, la famosa Tabla Periódica de los Elementos, ahora completa con elementos que no conoció Mendeléyev, pero que de alguna manera predijo algunas de sus propiedades químicas. Durante miles de años, cobre, bronce y hierro se utilizaron para la industria bélica (lanzas, espadas, flechas, escudos, armaduras, etc) y para herramientas básicas (hachas, arados, etc.) Pero, no fue sino hasta el inicio de la Revolución Industrial en Europa (1760-1840) que se empieza a dar un uso industrial a los metales transformándolos en máquinas, calderas, pistones, rieles de ferrocarril, máquinas de vapor, etc. Es decir, el nacimiento de la industria de la transformación de metales y aleaciones. A finales del siglo XIX y principios del siglo XX (1880 – 1910) esta industria se acelera de manera impresionante con el uso de petróleo y derivados como combustible y lubricantes para mover motores de todos los tamaños, desde motores pequeños para motocicletas hasta motores enormes de barcos, trenes y aviones. Todo esto motivado, básica y lamentablemente, por los conflictos bélicos. A la fecha, 2022 toda la actividad industrial, agrícola, extracción, construcción, comunicaciones, etc., del ser humano depende de los recursos naturales de la Tierra, principalmente de los metales. Un ejemplo lo tenemos en nuestras manos, un teléfono celular o tableta o una computadora moderna, que contienen en sus componentes unos 70 a 75 elementos, de los cuales unos 60 a 68 son metales. Lamentablemente, muchos de los conflictos bélicos en este tiempo son para controlar algún territorio rico en algunos metales muy bien valorados por la industria moderna. Este artículo tiene por objetivo presentar una breve descripción sobre: 1) los procesos astro-químicos, como la nucleosíntesis, para explicar la formación de los

metales pesados en estrellas de diferente tipo; 2) describir como se acumularon metales pesados en polvo cósmico (quizás material reciclado de varios ciclos estelares de formación y explosión de estrellas), y como este polvo formó un sistema planetario (una estrella central, planetas rocosos y gaseosos, y cuerpos más pequeños rocosos, metálicos, de hielo, etc., orbitando la estrella); 3) como se han acumulado estos metales en nuestro planeta Tierra; 4) como explotamos y usamos los metales en la sociedad moderna; 5) como hemos creado un des-balance en las contracciones normales de metales en agua, suelo y aire (contaminación ambiental por metales); y 6) como algunos metales son parte del metabolismo vegetal, animal y humano (elementos traza esenciales en nuestro cuerpo), y como un exceso o déficit de metales en agua y alimentos puede causar graves problemas de salud. Literalmente haremos un recorrido desde las Estrellas y hasta su Mesa.

### Estrellas Formadoras de Metales – Procesos de Nucleosíntesis

Las estrellas son las verdaderas fábricas de todos los elementos que hay en nuestro planeta. De hecho, un caso interesante es el Helio, un gas raro no muy abundante en la tierra, pero que fue descubierto en el Sol, nuestra estrella, en 1868. Desde entonces se descubrieron principalmente Hidrógeno (92%), Helio (7.8 %), Oxígeno (0.061%); Carbono (0.03%), Nitrógeno (0.0084%), y pequeñas trazas de Neón, Hierro, Azufre, Magnesio y Sílice en el Sol, nuestra estrella. Estos descubrimientos se realizaron gracias a técnicas de espectroscopia y espectrometría, técnicas que analizan y miden el color o el espectro que genera un elemento bajo ciertas condiciones. Mediante esas técnicas, ahora sabemos que la composición química promedio del universo que nos rodea es de: Hidrógeno en un 74%, Helio en un 24% y todo los demás 90 elementos naturales solo un 2%.

Por otro lado, nuestro planeta Tierra tiene la siguiente composición promedio: Fe 32%, Oxígeno 32%, Sílice 15%, Magnesio 14%, Azufre 3%, y el resto de todos los demás elementos de la tabla periódica solo un 3%. Una simple comparación entre la composición química del Sol, el Universo y la Tierra, indica que la Tierra es una verdadera anomalía química en el Universo. Es decir, la composición química de la Tierra es muy diferente a todo el universo, y a excepción del Fe y Mg, no se ha detectado ningún otro metal en el Sol, de los que existen en nuestro planeta y usamos en nuestra vida diaria. Las preguntas, por tanto, son; ¿Como se forman los metales en el universo?, y ¿como se acumularon de manera anómala los metales en nuestro planeta, la Tierra?

La astroquímica es una ciencia compuesta por la química, astronomía y física. Trabaja con modelos\* de "nucleosíntesis estelar", definida como "el conjunto de reacciones nucleares que tienen lugar en las estrellas y que son responsables de la creación de elementos químicos, algunos de ellos desde sus orígenes durante el Big Bang: como el hidrógeno, el helio y el litio". Estos modelos se están refinando conforme se descubre más sobre nuestro fascinante universo.

*\*Un Modelo es una representación de la realidad en escala y con muchas simplificaciones y basados en datos, pero haciendo muchas suposiciones. Un modelo es siempre imperfecto y una sobre-simplificación, pero muy útil.*

Muchos telescopios en la Tierra y algunos en orbitas terrestres o solares recaban una enorme cantidad de datos (color, temperatura, movimiento, cambios, espectros en todas las longitudes de onda, etc.) sobre las estrellas, las galaxias, supernovas, y recientemente fusión de estrellas de neutrones y ondas gravitacionales, tanto en nuestra galaxia "Vía Láctea" como también en los confines del universo observable. Instrumentos como el telescopio "Hubble" nos han maravillado por más de 30 años con imágenes del universo. Ahora, toda la mira está en el telescopio espacial "James Webb" con su prometedor alcance hacia el pasado cósmico. A continuación se expone un resumen del modelo de la "nucleosíntesis estelar":

- 1. Big-Bang (Gran Explosión Original).** Los procesos dominantes son: fusión nuclear para formar elementos adicionando protones y neutrones a un núcleo estable. Se forman las partículas elementales (neutrones, protones y electrones) y átomos de Hidrógeno (número atómico o número de protones en el núcleo, 1), Helio (número atómico 2) y posiblemente Litio (número atómico 3).
- 2. Núcleos de estrellas como el sol y más grandes.** Los procesos dominantes son: Cadena Protón-Neutrón, Proceso Triple-Alfa, y Ciclo C-N-O. Se forman los elementos Helio (2), Litio (3), Berilio (4), Carbono (6), Nitrógeno (7) y Oxígeno (8), y muy posiblemente otros.
- 3. Núcleos de estrellas masivas** de 1 a 3 mil veces más grandes que el sol en diámetro (gigantes rojas y súper-gigantes rojas). Los procesos dominantes son: "Quema" de oxígeno y sílice, proceso alfa o captura de una partícula alfa (núcleo de Helio). Se forman metales como Sodio (11), Magnesio (12), Aluminio (13), Calcio (20) y hasta Hierro (26) u otros similares.
- 4) Explosiones de Supernovas.** Los procesos dominantes en esta etapa son: Proceso de rápida "r" captura de neutrones en una semilla de Níquel (28), se forman

metales mas pesados que Fe y Zn. Y el proceso lento (“s” de slow en ingles) de captura neutrones. Se forman metales de transición como Ni(28), Cobre (29), Zn (30), Plata (47), Oro (79) y otros metales de número atómico entre 31 y 80.

**5) Fusión de Estrellas de Neutrones** (las explosiones mas grandes que se han detectado en el universo, y quizás fusión de hoyos negros), quizás son responsables de metales mas pesados en nuestra Tierra. Los procesos que se llevan a cabo en esta etapa aun no se conocen bien. Pero seguramente se entenderán detalles de la formación de elementos de la serie de los Actínidos: Torio (90), Uranio (92), Neptunio (93), Plutonio (94) y demás elementos radiactivos, inestables y de vida muy corta (la lista va en el Ununocio,118). Una vez formados los metales por procesos de enormes explosiones, difíciles de imaginar, en donde las condiciones son de muy alta temperatura y presión, prácticamente imposibles de reproducir en experimentos científicos en la Tierra, las nebulosas protoplanetarias constituyen la siguiente etapa para la acumulación (enriquecimiento) de metales en ciertas zonas de las galaxias.

#### Nebulosas Protoplanetarias

El 5 de Julio de 1054, algunos astrónomos chinos y árabes reportaron una estrella muy brillante que no se había observado en el cielo antes, una “Estrella Nueva o Nova en Latín”. Según los registros históricos, esta estrella “Nova”, fue notoria a la luz del día durante 23 días, y visible, y muy brillante, en cielo nocturno durante 653 noches. Después de ese tiempo la “Estrella Nova” se desvaneció de la misma manera que apareció. Actualmente solo es visible bajo un telescopio mediano y se observa como una mancha difusa o nebulosa. No fue sino hasta el año de 1731 que el astrónomo ingles John Bevis apunto su telescopio hacia el

punto que indicaban los registros de 1054 de los chinos y árabes, que la “Nebulosa del Cangrejo” fue descubierta. Esta nebulosa esta situada a una distancia de aproximadamente 6,300 años luz\* de la Tierra y ubicada en la constelación del Tauro, la nebulosa tiene un diámetro de seis años luz y su velocidad de expansión es de 1,500 km/s. El centro de la nebulosa contiene un “pulsar” o estrella de neutrones súper densa, llamado “Pulsar del Cangrejo”, que gira sobre sí misma a 30 revoluciones por segundo, emitiendo pulsos de radiación que van desde los rayos gamma a las ondas de radio. El descubrimiento de esta nebulosa produjo la primera evidencia de que las explosiones de estrellas masivas (gigantes y súper-gigantes) producen los que ahora se conoce como “explosiones de supernovas”, y como remanente queda una estrella de neutrones súper-densa o pulsar, y material expulsado, o nebulosa rodeando al pulsar. Y es precisamente aquí donde se forman metales pesados y se acumulan en el material que rodea a la estrella de neutrones. Este material rico en metales es expulsado y la nebulosa interactúa con otro material bajo la influencia de enormes fuerzas electromagnéticas y gravitacionales para formar nebulosas protoplanetarias, es decir criaderos de nuevos sistemas planetarios con la formación de una estrella (o varias estrellas – sistemas de estrellas múltiples) al centro y material solido rocoso-gaseoso girando en orbita a la(s) estrella(s), un sistema planetario en formación. A la fecha se han catalogado una gran cantidad de nebulosas planetarias y polvo cósmico considerados como criaderos de estrellas, y potencialmente sistemas planetarios.

\* Año Luz: Distancia que equivalente a al recorrido de la Luz viajando a una velocidad de 300,000 kilómetros por segundo.



Figura 1. Nebulosa del Cangrejo, remanente de la “Supernova” observada en 1054. En el centro existe un “pulsar” o estrella de neutrones girando 30 veces por segundo. El material expulsado contiene metales pesados. Imagen de NASA compuesta por varias fotografías en diferentes longitudes de onda (multi-espectral); <https://apod.nasa.gov/apod/ap220304.html>).

#### Formación de planetas rocosos enriquecidos en metales

Un modelo para la formación de planetas rocosos ricos en metales como el nuestro es: 1) Acumulación de hidrógeno, helio y otros elementos en el disco protoplanetario bajo la acción de poderosas fuerzas electromagnéticas y gravitacionales generadas por el mismo material en movimiento; 2) 99.9 % de la masa del disco protoplanetario esta en la estrella central (estrella rica en Hidrógeno y Helio); 3) menos del 0.1% de la masa se distribuyo en: Planetas Rocosos, Planetas Gaseosos, Planetas Enanos, Satélites, Asteroides y Cometas; 4) La Tierra (planeta pequeño rocoso) dejo escapar grandes cantidades de hidrógeno y helio y acumuló Fe, O, Si, Mg, S y todos los demás elementos con ayuda del bombardeo de una gran cantidad de planetesimales o pequeños cuerpos sólidos rocosos y enriquecidos en metales en el disco protoplanetario. Un excelente ejemplo de uno de estos planetesimales metálicos que quedo en orbita solar es el asteroide 16Psique (16P, 16Psyche en ingles). 16P, descubierto en 1852, mide 226 kilómetros de diámetro y se localiza a unos 370 millones de kilómetros de nuestro hogar, situado en el cinturón de asteroides entre los



Figura 2. Imagen artística basada en fotografías reales de 16P tomadas por la NASA. La Misión NASA 16P enviara una sonda espacial en Agosto del 2022. Se planea que la sonda llegara en 2026 a 16P y lo orbitara durante dos años tomando gran cantidad de información.

#### Tierra; “Anomalía Química” en el Universo

Nuestro hermoso Planeta Tierra es también un “outlier” o anomalía química en el universo con: 1) una composición química, 2) estructura interna, 3) material solido, liquido y gaseoso, 4) dinámica interna y externa, 5) una constante interacción entre los medios sólidos, líquidos y gaseosos, y 6) con ciclos bien definidos. Todo esto y mucho mas hacen de nuestro planeta una verdadera “aguja del pajar”, o un pequeño diamante en 10 toneladas de roca. De hecho,

planetas Marte y Júpiter. 16P es una rareza o anomalía química (un total “outlier”) porque está compuesto básicamente de hierro y níquel, y quizás muchos otros metales en menos del 2 o 1% del total. Una teoría afirma que este asteroide fue el núcleo metálico de un antiguo planeta del sistema solar que tenía el tamaño de Marte y perdió todas sus capas exteriores, hace miles de millones de años por colisiones con otros cuerpos. Algunas estimaciones indican que el valor económico total de todos los metales de 16P, podría superar los US\$10,000 cuatrillones. Teniendo en cuenta que el valor de la economía global en 2019 era de US\$142 billones de acuerdo al portal de datos alemán “Statista”, podría decirse que los minerales de 16P valen unas 70.000 veces más. Por supuesto, esto es un sueño del ser humano, el minado espacial, aun es un muy lejano sueño. De hecho, ya hay una misión NASA programada para lanzar un robot explorador a 16P en agosto de este año (2022), para llegar a 16P en 2026 y durante dos años orbitarlo y enviar información (básicamente sobre su composición química) muy valiosa a la Tierra

NASA y otros centros de investigación por todo el mundo están enfocando la mira en planetas similares a la tierra en otros lugares de nuestra galaxia y hay quienes quieren ir mas allá (la búsqueda de exoplanetas\*).

\*(Nota: Para Octubre de 2021 se habían confirmado 4,852 exoplanetas en 3.586 sistemas, 800 de los cuales tienen más de un planeta, pero estas cifras crecen constantemente).

Mencionamos en la Introducción que la composición química general de la Tierra es de Fe 32%, O 30%, Si 15%, Mg 14%, S 3%, y el resto de los elementos 3%. Es decir, solo 3% para los otros 87 elementos (más de 65 metales). Analicemos brevemente la estructura interna de la Tierra para conocer y entender la distribución en composición y condiciones de las diferentes capas de la Tierra. En general tenemos: 1) un núcleo interno sólido constituido por Fe (80% aprox), Ni (5.8%) y Azufre (4.5%), y quizás muchos otros metales en concentraciones de traza (menos a 1% o fracciones más pequeñas), con un radio de 1,200 km; 2) un núcleo externo, siguiente capa de Fe, Ni y S y trazas de otros metales, todos fundidos con 2,300 km de espesor; 3) la capa del manto rocoso de unos 2,800 km de espesor constituido por Sílice 21%, Oxígeno 44%, Magnesio 23%, Hierro 5.8%, Calcio 2.3%, Aluminio 2.2% y trazas de otros metales y elementos en general. Estos elementos se



Figura 3. Nuestro Planeta Tierra, una verdadera anomalía química (y bioquímica) en el universo. Apodado por los astronautas como la "Canica Azul" (Blue Marble). Fotografía NASA tomada por astronautas de la Misión Apolo 17 en 1972.

### Yacimientos Minerales Metálicos en la Tierra

La composición química general de la corteza continental es: oxígeno (46.6%), sílice (27.7%), aluminio (8.1%), el hierro (5.0%), calcio (3.6%), sodio (2.8%), potasio (2.6%) y magnesio (2.3%). En promedio, metales como cobre, zinc, cadmio, estaño, y otros están en cantidades de mg/kg en rocas y suelos de la corteza. Metales como oro, plata, platino, mercurio, se encuentran en concentraciones de mg/kg (partes por millón) o fracciones. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la dinámica de la corteza, asociada a las dinámicas del manto externo de la Tierra (Litósfera Terrestre, la capa sólida más externa de la Tierra); y de la Astenósfera (capa del manto superior con condiciones plásticas) ubicado por debajo de la Litósfera,

combinan en silicatos metálicos (Al, Fe, Mg, Ca) en fases minerales muy interesantes y que aun estamos descubriendo. Investigaciones recientes indican que podría haber cantidades importantes de agua atrapada en el manto a alta presión y temperatura que tiende a fugarse hacia zonas de menor presión. Finalmente tenemos una delgada capa, en comparación con las otras, y la cual llamamos corteza de la Tierra con un espesor de 6 a unos 50 km. Pero, es aquí en la corteza en donde se desarrolla toda la dinámica de la Tierra para enriquecer metales en zonas con características muy particulares, los llamados Yacimientos Minerales Metálicos, que explotamos desde hace miles de años y en particular durante los últimos 500 años por unos cuantos metales, pero en la actualidad explotamos más de 65 metales para prácticamente todas nuestras actividades modernas.

juegan un papel fundamental para transportar metales en solución en agua a muy alta temperatura, y bajo condiciones de acidez desde el manto superior. El agua del manto superior combinada con azufre, cloro y metales, forma compuestos sulfurosos y clorados de metales. Este es el reino de la Metalogenia o Yacimientos Minerales, línea de investigación que tiene el objetivo de explorar y explotar yacimientos metálicos con fines económicos. La tectónica de placas terrestres controla, de manera general, la distribución de los yacimientos minerales metálicos (YMM) en la Tierra. Un YMM es definido como la concentración anómala de uno o varios metales enriquecidos varios órdenes de magnitud a su promedio en la corteza terrestre, y localizados en una área

relativamente pequeña, otra anomalía química, ahora en la corteza de la Tierra. Existe toda una especialidad para clasificar e investigar los diferentes yacimientos metálicos, entre los más importantes tipos de YMM tenemos: vetas metálicas hidrotermales, sulfuros masivos, pórfidos cupríferos-auríferos, yacimientos diseminados, yacimientos de placer, etc. Aquí solamente mencionaremos que la necesidad de usar metales en la industria y economía nos ha conducido a explotar concentraciones de Cu o Zn en el rango de 2-5% (unos 20

a 50 kg por cada tonelada de roca), y metales como oro o platino en concentraciones de 1 mg/kg (1 gramo de oro o platino por cada tonelada de roca). El que una mina opere económicamente depende de la oferta y la demanda del metal o metales explotados. El precio de metales y acciones de empresas mineras se compran y venden todos los días en las Bolsas de Valores de todo el mundo. Somos una sociedad moderna que dependemos de los metales en gran manera, y nuestra necesidad de metales aumenta día con día.

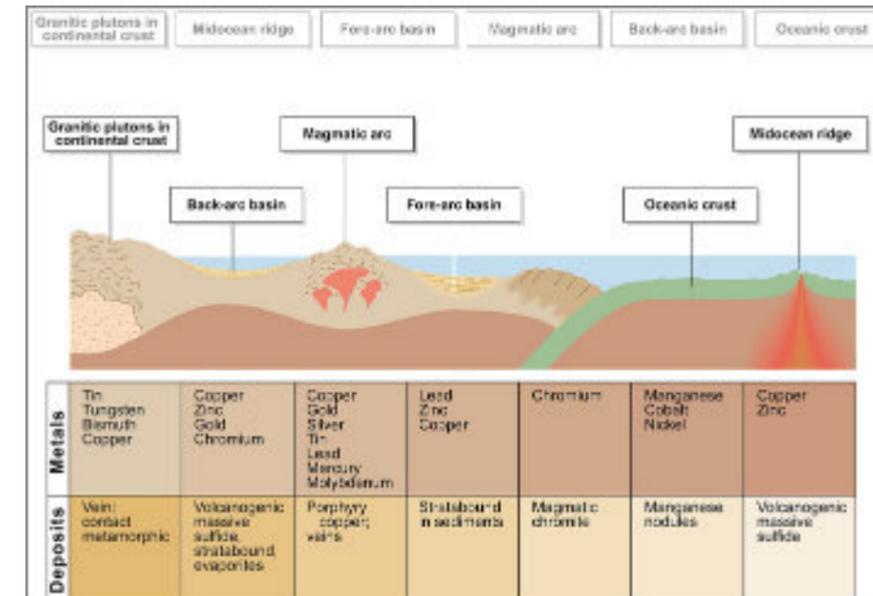


Figura 4. Diagrama esquemático que relaciona el marco tectónico (tectónica de placas) con los diferentes yacimientos minerales metálicos. Tomado de Skinner and Porter, 1987.

### Metales, Industria Extractiva, Transformadora, y Economía Mundial

Mencionamos anteriormente que la economía mundial de los metales extraídos y procesados en 2019 alcanzó los US\$142 Billones. A la fecha se explotan enormes yacimientos de oro en sistemas pórfidos cupro-auríferos con leyes de 1 gr/ton o menos, pero con explotaciones diarias de miles de toneladas. Minado de plata, cobre, zinc, estaño, antimonio, por mencionar algunos metales, esta en máximos históricos. Y que podemos decir del litio, mineral de moda, o de las Tierras Raras, si, los lantánidos que hace 40 años se consideraban simplemente "raros" y ahora son parte fundamental de la electrónica moderna, desde nuestros teléfonos celulares y hasta la tecnología espacial. De la industria extractiva de metales pasamos a la industria transformadora: componentes eléctricos y electrónicos, aleaciones más ligeras y resistentes, conductores, industria automotriz, baterías para autos eléctricos, componentes para celdas fotovoltaicas y para turbinas aerogeneradores, transporte desde bicicletas hasta la estación espacial y el telescopio espacial Webb, etc., la lista es prácticamente interminable. Estos son

algunos ejemplos de la industria de los metales y nuestra dependencia tecnológica y económica en tiempos modernos. Sin embargo, toda esta industria de metales no ha sido gratis, de hecho estamos pagando un precio muy alto como humanidad, el precio es el aumento de metales en agua que bebemos, suelo que cultivamos y aire que bebemos; si la contaminación ambiental por metales.

### Geoquímica Ambiental de Metales

La Geoquímica Ambiental es la parte de la geología y de la química que cuantifica, evalúa y determina si una zona en la Tierra tiene exceso de metales derivados de fuentes naturales y/o fuentes antropogénicas y que pueden afectar a la vegetación, animales y ser humano. Además, la Geoquímica Ambiental estudia los procesos que controlan las reacciones agua-roca, liberación, transporte y acumulación de un metal en diferentes medios: agua, suelo, vegetación. Lamentablemente, como humanidad siempre aprendemos a la mala, es decir después de un desastre ambiental empezamos a preguntarnos "¿qué es lo que pasó y por qué pasó?".

Las investigaciones de Geoquímica Ambiental empezaron desde la década de los 1960's y solo después de casos lamentables como: Minamata en Japón, Love Canal y Summitville en EUA, y muchos otros en todo el mundo. Describiremos brevemente estos tres casos de desastres ambientales y contaminación por metales. La bahía del Minamata, localizada en la ciudad de Kumamoto, isla de Kyushu de Japón, en la cual operaba la compañía Chisso Corporation, que entre 1932 y 1968 vertieron en esa bahía unas 27 toneladas de compuestos de mercurio. Resultado de ese vertimiento: más de 2,500 personas empezaron a sufrir de un desorden neurotóxico llamado la "Enfermedad de Minamata", cuyos síntomas son, alteración sensorial en manos y pies, deterioro de los sentidos de la vista y el oído, degeneraciones del sistema nervioso, des-coordinación en el movimiento de las partes del cuerpo, debilidad, movimientos involuntarios, desmayos, ceguera, y en casos extremos, parálisis y hasta la muerte, todo por causa de que el metilmercurio arrojado a la bahía había entrado en la cadena alimenticia a través de la ingestión de pescado y de marisco contaminado. La planta química Chisso Corporation fue cerrada y se inició una profunda investigación de las causas y la ruta del mercurio hasta el ser humano, y se iniciaron programas de remediación y limpieza. A la fecha la bahía de Minamata esta limpia de mercurio y en la ciudad de Minamata se estableció, desde 1978, el Instituto de Nacional de la Enfermedad de Minamata, institución de investigación de alto nivel para estudiar los efectos de mercurio en sistemas orgánicos, incluido el ser humano. Teniendo en cuenta los efectos sobre la salud humana del mercurio, se aprobó el Convenio de Minamata, que sirvió de base para que se expidiera la Ley 1658 de 2013, por medio de la cual se establecen estrictas normas para la comercialización y el uso de mercurio (prácticamente prohibición de uso de mercurio).

Segundo caso; la zona de "Love Canal", esta es una localidad situada en Niagara Falls (Nueva York). Esta zona protagonizó uno de los mayores desastres ambientales que se conocen. Esta zona urbana se construyó encima de un antiguo basurero de residuos industriales altamente tóxicos que acabó contaminando sus aguas y suelo. ¿Qué ocurrió exactamente? El empresario William T. Love comenzó en 1894 la construcción de un canal que uniría el Lago Ontario con el río Niágara. La obra quedó a medio construir por la falta de recursos. Entre 1942 y 1952, la zanja cavada para el canal se convirtió en un vertedero de basura cuando la empresa "Hooker Chemical" depositó 20.000 toneladas de productos químicos tóxicos en ella. En el año de 1953 la Junta de Educación de Niagara Falls expropió por un dólar simbólico los terrenos para construir el barrio de Love Canal. La empresa química advirtió de los

peligros de edificar sobre aquellos terrenos, renunciando a toda responsabilidad por los daños futuros debido a la presencia de los productos químicos enterrados. Pese a ello, el gobierno local consideró suficiente sellar el vertedero con varias capas de arcilla y tierra. Pero se equivocaron. La construcción de la zona urbana se completó. Los desechos tóxicos escaparon al ser lixiviados por el agua de lluvia, haciendo que los productos químicos enterrados se filtraran al canal. Durante los años siguientes, los vecinos advirtieron la presencia de líquidos de color oscuro y malos olores saliendo de las alcantarillas, así como problemas respiratorios, de fertilidad, taras genéticas, numerosos casos de cáncer, y la contaminación de las aguas del río Niágara. No fue hasta la primavera de 1977, que la Agencia de Protección Ambiental (EPA) comenzó a estudiar los problemas de Love Canal, y un año después el Departamento Estatal de Salud de Nueva York ordenó al Departamento de Salud del Condado restringir el acceso al área, e iniciar estudios de salud financiados por el propio Estado. Los resultados mostraron la presencia de 200 sustancias químicas contaminantes en el agua, algunas de ellas ricas en metales pesados. Finalmente, en 1980 el "Love Canal" se reconoció como zona catastrófica por la EPA y se financiaron programas de re-remediación ambiental (limpieza). A la fecha la zona esta deshabitada, pero los niveles de contaminación son muy bajos.

Finalmente tenemos el caso de la mina de Summitville, Colorado. Esta mina de oro y plata esta ubicada en el condado de Rio Grande, Colorado, en la montaña Rocallosas a unos 40 km al sur de Del Norte. Este lugar es recordado por el daño ambiental causado en la década de 1980's por el drenaje ácido de minas y la lixiviación de metales pesados a arroyos locales y finalmente al río Alamosa. La extracción de oro y plata comenzó en Summitville alrededor de 1870 mediante minería clásica de túneles y socavones. Pero, después de varios dueños, en 1986 se iniciaron operaciones a tajo abierto por la Summitville Consolidated Mining Corporation. El sitio fue abandonado en 1992. De manera natural existía en el sitio mineralizado drenaje ácido de rocas (reacción de oxidación y disolución de la Pirita (sulfuro de hierro) que libera Fe en solución y ácido sulfúrico. Este ácido sulfúrico acidifica el agua y mas metales entran en solución. El drenaje natural del sitio siempre había tenido arroyos ácidos y metales en solución. Pero las labores de minería, especialmente desde las operaciones a tajo abierto, aumentaron considerablemente el proceso de drenaje ácido de minas y lixiviación de metales pesados hasta el río Alamosa y el valle. Los elementos liberados al medio ambiente son cobre, manganeso, zinc, plomo, níquel, aluminio y fierro. La Agencia de protección ambiental de los EUA (US-EPA) tomó control del sitio en diciembre de

1992. Finalmente el sitio fue colocado en la Lista de Prioridades Nacionales de sitios "Superfund" o súper-financiamiento para control y remediación en mayo de 1994.

Como se ha mencionado anteriormente, la minería de metales es una de las mayores industrias actualmente, soporte de la economía, tecnología en todos los aspectos, desarrollo social y hasta la tecnología espacial. Sin embargo, el precio que estamos pagando es muy alto. Los residuos de la minería se consideran los mayores residuos por volumen al momento (jales y terreros mineros). Hemos alterado significativamente los ciclos naturales de metales en el medio ambiente: agua que bebemos, suelo



Figura 5. Mina del Cañón Bingham en Utah, es la mina mas grande del mundo (tajo abierto) con una profundidad de mas de 1,200 m y 4 km de diámetro. Esta mina ha producido unos 17 millones de toneladas de cobre, pero ha dejado cientos de millones de toneladas de residuos mineros (jales mineros) potencialmente ricos en metales y metaloides. Fotografía: Alejandro Carrillo.

### Geoquímica Médica

La grave contaminación por mercurio, otros metales y sustancias derivados de la industria y su consecuente impacto en la salud del ser humano en Minamata, Love Canal, Summitville y muchos otros sitios, detonó la investigación a nivel mundial sobre el efecto de metales (y otras sustancias) en plantas animales y finalmente en el ser humano. Esta línea de investigación, relativamente nueva, sobre la relación entre metales y otra sustancias y la salud humana es conocida como la Geoquímica Médica. Algunas enfermedades que se relacionan con altos contenidos de ciertos elementos en la ingesta humana son: 1) Fluorosis (exceso de Flúor en agua), mas de 43 millones de personas sufren este problema en China y otros millones en todo el planeta; 2) Desorden por deficiencia de Iódo, mas de mil millones de personas

que cultivamos y aire que respiramos. Y si bien, necesitamos algunos metales en nuestras funciones metabólicas (fierro en sangre, calcio en huesos, zinc en algunas glándulas, etc.), un exceso o déficit de metales en nuestra ingesta puede conducir a graves problemas de salud. Y por supuesto, hay metales que no tienen ninguna función metabólica en el ser humano, pero que existen en el medio ambiente, principalmente por aporte antropogénico, que causan muy graves problemas de salud. A raíz de esta relación entre metales y otros elementos y la salud humana, es que surgió hace unas décadas la rama de la Geoquímica Médica, encargada de investigar el papel que juegan los metales en procesos metabólicos en el ser humano.

padecen este mal a nivel mundial; 3) Exceso de arsénico, toxico y cancerígeno. Casos bien documentados en Taiwan, Chile, Argentina, México, China, Bangladesh e India; 4) Muchas otras enfermedades atribuidas a déficit o exceso de metales como fierro, cobre, aluminio, titanio, mercurio, etc. No hay duda de que la vieja frase "somos lo que comemos" es mas cierta ahora que nunca. Y la industria moderna ha alterado los ciclos naturales de metales y otros elementos en el medio ambiente, a saber, agua que bebemos, suelo que cultivamos y aire que respiramos. Recientemente (últimos 20 años) se ha iniciado el mapeo de elementos en zonas rurales, urbanas e industriales, junto a el desarrollo estadístico de índices de contaminación ambiental a fin de conocer concentraciones naturales vs antropogénicas (afectadas por el ser humano) en suelo, agua y aire.

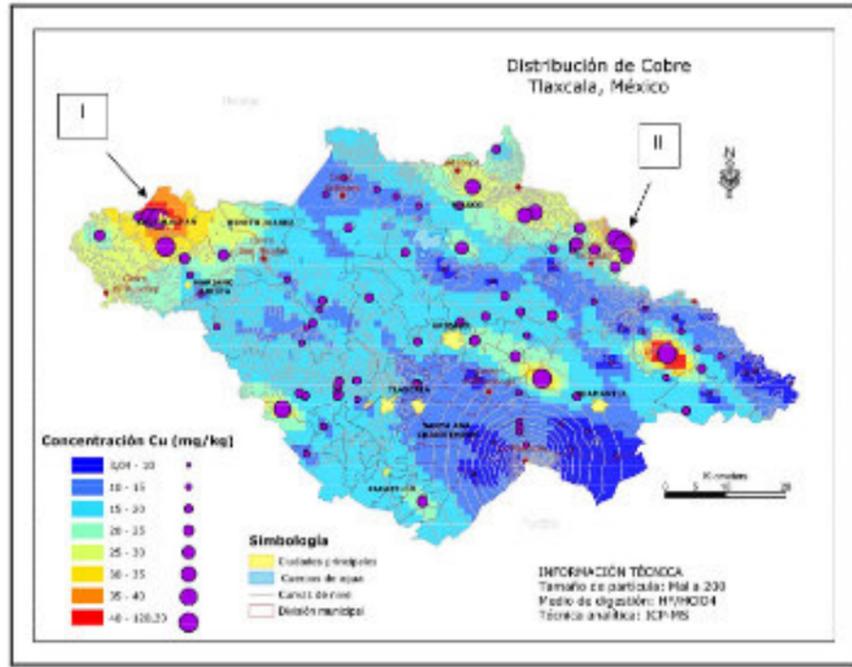


Figura 6. Mapa de Distribución de cobre en suelo (30 cm) del estado de Tlaxcala. Atlas Geoquímico del Estado de Tlaxcala, Carrillo Chávez y otros 2007.

**De las Estrellas a su Mesa**

Finalmente llegamos a los metales en nuestra mesa (alimentos y bebidas). Los principales elementos en nuestra dieta diaria son por supuesto carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, todos estos en forma de agua (el agua debe de tener unos 200 mg/l de Ca, Na, K, Mg, carbonato, sulfato y cloro); complejas proteínas, grasas, hidratos de carbono y vitaminas. Estos son llamados elementos mayores esenciales y se encuentran en todos los alimentos

que ingerimos. Pero también existen los elementos trazas esenciales, es decir, elementos esenciales en procesos metabólicos de nuestro cuerpo pero que se encuentran en concentraciones muy bajas y que requieren de un perfecto balance para que nuestro organismo funcione correctamente. La Tabla 1 muestra la relación entre algunos metales y metaloides (As y Se) como nutrientes esenciales traza en nuestro metabolismo y sus efectos por deficiencia y/o exceso en la dieta en alimentos y/o bebidas.

Elemento	Prom. Cuerpo	Año reconocido	Función	Efectos/def.
Fe	60 mg/kg	Siglo XVII	Transporta O2 en sang.	Anemia
Cu	1.0	1928	Cu + Fe, enzimas	Anemia, prob. Huesos, colest.
Zn	33	1934	Metabol.	Prob. de crecimiento
As	18	1977	desconocido	desconocido
Cd	0.7	1977	desconocido	desconocido
Cr	0.03	1959	Insulina	Diabetes
Se	---	1957	Enzimas, Se + metales	Problemas de Corazón

Tabla 1. Relación entre elementos traza esenciales, su concentración promedio en nuestro cuerpo, su función metabólica y efectos por déficit y/o exceso en nuestra dieta.

Ademas de las funciones indicadas en la Tabla 1, se están encontrando otras funciones metabólicas de metales en nuestro organismo, por ejemplo, como el cobre es fundamental en funciones cerebrales-sinápticas. También se esta descubriendo y estudiando la relación de nanopartículas de oro en funciones neuronales. De hecho, la relación entre metales traza y funciones metabólicas es una línea de investigación muy reciente. Algunos ejemplos de investigaciones sobre metales pesados y alimentos y bebidas son: a) metales pesados en suelos, uvas y vino; b) cadmio, cobre y plomo en diferentes tipos de queso; c) metales pesados en diferentes cosechas, etc. En fin, esta línea de investigación de metales pesados en nuestros alimentos y su efecto benéfico o perjudicial sigue avanzando a grandes pasos conforme se avanza también en los métodos de instrumentación química analítica.

**Conclusiones**

Los metales pesados son parte fundamental de nuestra vida cotidiana, los usamos en muchos aspectos de nuestra vida. La industria moderna y la economía mundial dependen en gran manera de los metales pesados y sus aleaciones y aplicaciones en nuevos materiales. También se esta descubriendo que algunos metales pesados tienen funciones metabólicas en diferentes organismos (plantas y animales), y en nuestro propio cuerpo. Pero también un efecto tóxico cuando existe un desbalance en su ingesta (déficit y/o exceso). Todos recordamos la fortaleza de "Popeye" al comer sus espinacas ricas en hierro, pero ahora se esta descubriendo que muchas otras plantas son excelentes fuentes de hierro, cobre, zinc, y otros metales esenciales traza en nuestro organismo.

Por otro lado, la astroquímica descubre detalles de la formación de estos metales pesados en explosiones estelares de proporciones fuera de nuestra imaginación. Después viene la evolución de nebulosas planetarias y formación de planetas similares a nuestra Tierra. La astronomía moderna se enfoca en parte a la búsqueda y caracterización de exoplanetas. Sin embargo, por el momento y por mucho tiempo por delante, solo tenemos

nuestro hermoso Planeta Tierra, una anomalía química y bioquímica en el universo que nos provee de los metales pesados para nuestra industria y para alimentarnos, literalmente nuestro planeta tiene los Metales Pesados formados en las estrellas y dispuestos en nuestra mesa.

**Biografía**

A. Carrillo-Chávez, J. Calzada Mendoza, O. Morton Bermea, E. Alvarez Hernández, A. Delgado, R. Ortiz, E. Socorro Soto, I. Navarro de León, 2007. Atlas Geoquímico del estado de Tlaxcala. Proyecto de Fondos Mixtos (FOMIX). Clave Clave TLAX-2002-C01-1981

Astronomy Today, 2013, Chaisson, E. and McMillan S. 8th Edition, Pearson Education. Earth: An Introduction to Physical Geology, 2013. Tarbuck, Lutgens and Tasa, 11th Edition. Pearson Education, 876 p. <https://www.mining-technology.com/projects/bingham/>

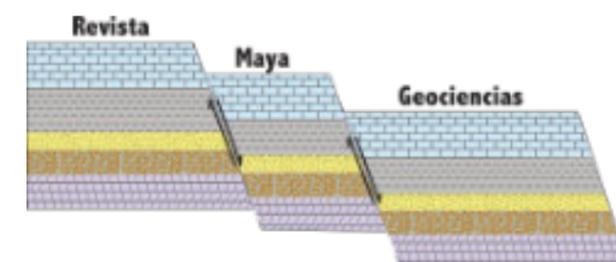
[www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

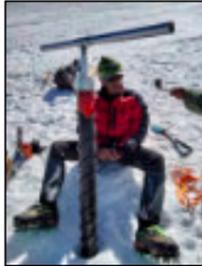
Ibrahim, E. 2004. Cadmiun, Copper and Lead in some kinds of Chesses, Benha Vet.Med.J., Vol.15, p. 55-64.

Prabhat Kumar Raia, Sang Soo Leeb, Ming Zhangc, Yiu Fai Tsangd, Ki-Hyun Kime, 2019. Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management. Environmental International, Elsevier, Vol. 125, p. 365-385  
Physical Geology, 1987, B. J. Skinner and S. C. Porter, John Wiley & Sons, New York, 750 p.

R. Finkelman, W. Oren, G. Plumlee and O. Selinus. 2018. Applications of Geochemistry to Medical Geology. Environmental Geochemistry Ch. 17, Elsevier, p. 435 -465.

Orescain, V., Katunar, A., Kutle, A. and Valkovic, V., 2008. Heavy Metlas in Soil, Grape and Wine, J. of Trace and Miroprobe Techniques, V, 21, Issue 2, p. 171 – 180.





**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 a la Unidad de Investigación en Ciencias de la Tierra (UNICIT) UNAM, Campus Juriquilla (actual Centro de Geociencias). Su trabajo inicial fue sobre petrografía ígnea y metamórfica. En academia inició dando clases de petrología ígnea y metamórfica.

Actualmente es Tutor del Posgrado en Ciencias de la Tierra UNAM. Su maestría fue sobre yacimientos minerales metálicos y su doctorado sobre geoquímica ambiental. Actualmente sus líneas de investigación son: Metales Pesados en Medio Ambiente, Hidrogeoquímica, Geoquímica Isotópica de Metales Pesados e Hidrogeoquímica de Salmueras Petroleras. A la fecha es responsable de un Proyecto UNAM 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)



**M. en C. María Carolina Muñoz Torres**  
Técnico Académico Titular B, Centro de Geociencias UNAM, Campus Juriquilla

Carolina tiene una Maestría en Ciencias Ambientales y una Especialidad en Técnicas Instrumentales. Es Responsable Analítica del Laboratorio de Geoquímica Ambiental del Centro de Geociencias, Campus UNAM Juriquilla. Se especializa en análisis de agua por las técnicas de ICP-OES y HPLC. Participa en proyectos de investigación, en los cuales apoya en diversas actividades. Carolina está involucrada de forma activa en numerosas actividades de difusión y divulgación de la ciencia, tanto como participante como organizadora. Ella es parte de un grupo de académicos del CGEO que llevan a cabo el Taller de Ciencia para Jóvenes desde el 2009 a la fecha, y el Taller de Ciencia para Profesores. A ello hay que añadir la organización y participación en la primera versión de la Semana de la Tierra, ferias y exposiciones de ciencia. Del mismo modo ha acudido a la sierra a compartir con niños y profesores de lugares de difícil acceso su pasión por la ciencia. Pasión que se ve reflejada en múltiples talleres de ciencia, seminarios y charlas de divulgación. Colabora activamente en Proyectos sobre metales pesados con el Dr. Alejandro Carrillo en el Centro de Geociencias UNAM, Campus Juriquilla. [caromt@geociencias.unam.mx](mailto:caromt@geociencias.unam.mx)

## BIOGEOPATRIMONIO DEL PEDREGAL REMANENTE TLALI (NO. 176) DEL CAMPUS DE CIUDAD UNIVERSITARIA DE LA UNAM

**Itzel Analí Sánchez-Aguilar<sup>1</sup>, María del Pilar Ortega-Larrocea<sup>2\*</sup>, Marie-Noëlle Guilbaud<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

<sup>2</sup> Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

<sup>3</sup> Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

### INTRODUCCIÓN

El vulcanismo monogenético en México predomina en la Faja Volcánica Trans-Mexicana (FVTM), la cual se caracteriza por ser una provincia volcánica activa y de mayor complejidad en el país. Se estima que la FVTM comprende más de 3000 pequeños volcanes monogenéticos que se forman en una sola erupción, en comparación con unos 20 volcanes poligenéticos que se forman a lo largo de miles de años (Siebe, 2009).

Uno de los volcanes monogenéticos en México más joven y de mayor relevancia en cuanto a la geodiversidad y el patrimonio (natural, cultural y geológico) es el volcán Xitle (1700 a.p.) ubicado al Sur de la Cuenca de México (Fig. 1), el cual forma parte del Campo Volcánico Sierra Chichinautzin (CVSC) (Siebe, 2009; Guilbaud et al. 2021). El edificio volcánico está conformado por un pequeño cono de escoria de 140 m de altura y 500 m de ancho (Delgado et al., 1999; Siebe, 2009).

El derrame lávico cubrió un área aproximada de 80 km<sup>2</sup> en dirección noroeste del volcán, dejando un campo de lavas basálticas con una superficie heterogénea conocido como Pedregal de San Ángel, el cual creó un nuevo ambiente que permitió el surgimiento de un ecosistema único designado como matorral xerófilo de *Pittocaulon praecox* (Rzedowski, 1954; Cano-Santana y Meave, 1996).

Dentro del campus de Ciudad Universitaria (CU) de la Universidad Nacional Autónoma de México, se encuentra una parte del ecosistema del Pedregal resguardado en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA). Este espacio en CU corresponde a un ecosistema fragmentado en el que se ha duplicado su superficie de protección desde el acuerdo de 1983, es decir, pasó de tener 124 ha a 264 ha (SEREPSA, 2025). Sin embargo, se encuentra fuertemente presionado debido al crecimiento urbano y, por ende, a diversas actividades antropogénicas.

Lo anterior ha dado como resultado espacios de pedregales remanentes actualmente designados como pedregales remanentes de manejo especial, ubicados fuera de las zonas núcleo y de amortiguamiento de la REPSA, que se encuentran expuestos a diversas amenazas pero que albergan características geobiológicas con un gran valor; por ello, nace el proyecto Geopedregal en el año 2013 (Gaceta UNAM, 2018; Instituto de Geología UNAM, 2025) como el primer pedregal restaurado con una propuesta de Geoeducación y conservación del Geo-Biopatrimonio en el campus (Guilbaud et al., 2021). Vinculado al proyecto Geopedregal surge la propuesta de crear una Red de Geosenderos Universitaria (ReGeU) con el fin de contribuir a la divulgación y su conservación (Gaceta UNAM, 2022).

El presente estudio tiene como objetivo caracterizar la geo-bio diversidad del pedregal remanente que nombramos *Tlali* ("tierra" en náhuatl) y corresponde al número 176 en el acuerdo de SEREPSA (2025), el cual se ubica cerca del Instituto de Astronomía en CU. Así mismo, analizamos sus atributos para su integración como uno de los puntos de visita de la primer Red denominada Pedregales de Ciencias de la Tierra.

## MATERIALES Y MÉTODOS

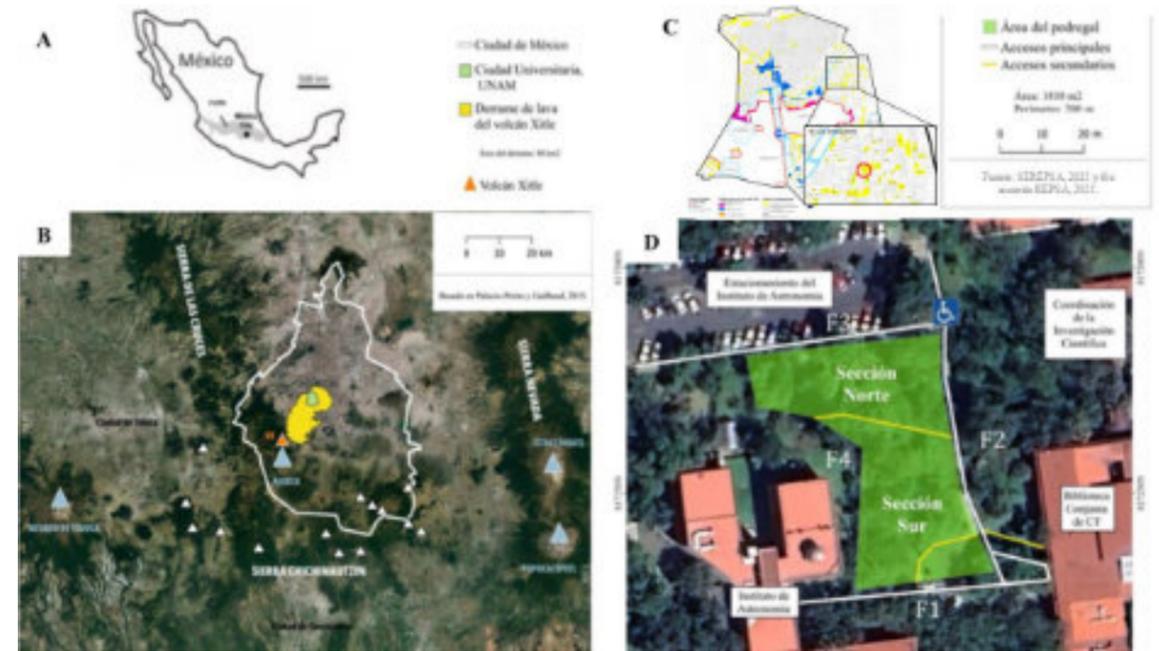
### Sitio de estudio

El pedregal remanente seleccionado en este estudio se ubica cerca del Instituto de Astronomía y colinda con el estacionamiento de dicho Instituto, así como con otros edificios, como la Biblioteca Conjunta de las Ciencias de la Tierra, la DGBSDI y la Coordinación de la Investigación Científica. Denominamos este espacio *Tlali* que significa tierra en náhuatl. Tiene las coordenadas de 481363.2 y 2136972.9 ITRF2008 (México-UTM). Con base en el Sexto Acuerdo REPSA 2025 y el Mapa de rezonificación y delimitación de la REPSA, este pedregal remanente es el no. 176 de los 380 pedregales remanentes identificados por la SEREPSA (2025).

En la región predomina un clima templado subhúmedo con régimen de lluvias en verano y una precipitación promedio anual de 833 mm (Castillo et al., 2007). Se distinguen dos épocas bien definidas: la época de lluvias la cual se presenta entre los meses de junio a octubre y la época seca que se presenta de noviembre a mayo (Castillo et al., 2007).

Las lavas del Xitle son morfológicamente peculiares dentro de la FVTM, debido a que el contexto de subducción continental favorece la erupción de lavas con mayor contenido en sílice y mayor viscosidad (Palacio y Guilbaud, 2015). En el derrame del Xitle predominan lavas de tipo pahoehoe, que se caracterizan por su baja viscosidad y presentan superficies lisas, localmente encordadas, con cortezas duras y flexibles capaces de sufrir mucho estiramiento y distorsión sin fracturarse. Además, su interior es rico en burbujas o vesículas cuyas formas son esferoides (MacDonald, 1953). Los flujos de este tipo de lava suelen ser en tipo de lóbulos, los cuales se caracterizan por ser pequeños paquetes de lava que se distinguen por presentar una cierta distribución de vesículas y cristales (Self et al., 1998). También dan paso a la formación de geoformas que poseen características particulares en cuanto a tamaño, forma y topografía y entre las cuales destacan túmulos, skylights, lava rise, oquedades, hondonadas, cuevas, tubos de lava, lavas cordadas, entre otros.

Asimismo, la lava sólida forma un terreno con una alta heterogeneidad morfológica que ha dado lugar a una gran variedad de ambientes locales (microambientes) con diversas condiciones de suelo, humedad, temperatura, exposición al viento y al sol (Peralta-Higuera y Prado-Molina, 2009; Castellanos et al., 2017) que originaron la gran diversidad de formas de vida que alberga la Reserva. Castillo et al. (2007) establece siete microambientes: planos, oquedades, promontorios/túmulos, cuevas, grietas, paredes y hondonadas.



**Fig. 1** A. Localización de la FVTM en la República Mexicana. B. Localización del volcán Xitle (VX, triángulo anaranjado) y el área de su derrame (polígono de color amarillo). Los triángulos blancos muestran los volcanes que conforman a la Sierra Chichinautzin; mientras que los polígonos de color azul corresponden a los principales estratovolcanes de la FVTM (Modificado de Guilbaud et al., 2021). C. Mapa de rezonificación y delimitación de la REPSA en donde se muestran los pedregales remanentes en color amarillo (SEREPSA, 2025). D. Ubicación del sitio de estudio: pedregal remanente no.176 en CU, el cual colinda con el Instituto de Astronomía de la UNAM, la Coordinación de la Investigación Científica y la Biblioteca Conjunta de Ciencias de la Tierra.

### Descripción de la geobiodiversidad

Para la descripción de la geodiversidad se estudiaron las geoformas más representativas, es decir, las que tienen mayores dimensiones y/o tienen estructuras únicas y relevantes. Para cada una de estas se elaboró una breve descripción con las características principales como número de grietas, presencia o ausencia de lavas cordadas, inclinación, vesicularidad, entre otras, y se tomaron medidas de altura, longitud y profundidad (en el caso de grietas y cuevas). Una vez obtenidas las medidas, se realizaron esquemas basados en la metodología de Walker (1991) en donde se representaron y describieron las características principales de cada geoforma.

Por otra parte, para la descripción de las especies vegetales por temporada

(seca de noviembre a mayo, lluviosa de junio a octubre del año 2023-24), el pedregal se dividió en estratos arbóreo y herbáceo para posteriormente, realizar un conteo y listado de las especies presentes en toda el área y perímetro del sitio. Asimismo, se realizó la identificación taxonómica de la costra biológica (líquenes cortícolas y saxícolas).

### Identificación de amenazas y servicios ecosistémicos

Las amenazas son los factores de presión, perturbación, disturbio, que aumentan el riesgo de que el ecosistema cambie su trayectoria. Las zonas de vulnerabilidad y los riesgos que se pueden desencadenar por dichas amenazas se identificaron con base en el Atlas de Riesgos de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (Zambrano et al., 2016).

Este último enlista las siguientes: reducción del pedregal, creación de límites y caminos, presencia sistemática de personas, vandalismo, fragmentación del ecosistema, extracción de flora y fauna nativa, introducción de flora exótica, acumulación de residuos de construcción y residuos sólidos, incendios, contaminación lumínica, sonora y visual.

Para la identificación de servicios ecosistémicos se empleó la clasificación de *Servicios Ecosistémicos del Pedregal de San Ángel* de Nava-López et al. (2009), la cual establece cuatro categorías: provisión, soporte, regulación y culturales.

### Caracterización de microambientes

Se emplearon cuatro sensores digitales marca HOBO®, los cuales permiten hacer mediciones de tres variables: temperatura, humedad relativa y luminosidad.

Se emplearon parámetros cualitativos (tamaño, ubicación, características geológicas y de biodiversidad) para colocar los sensores en las geoformas y microambientes más relevantes del sitio. Los sensores se colocaron en los microambientes durante un periodo de ocho días para cada temporada del ecosistema (seca y lluviosa).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización de la geodiversidad

Una característica del área de estudio es la superficie irregular que presenta, pues se encuentra conformada por bloques de roca de diferentes dimensiones que no presentan un patrón regular en su disposición, lo que puede deberse a la confluencia de distintos flujos de lava.

El pedregal remanente cuenta con diversas geoformas entre las cuales se identificaron estructuras como lavas

cordadas, grietas, túmulos, planos, laderas, cuevas y una pared. Sin embargo, entre las geoformas principales se designaron 3 túmulos y la pared artificial (Fig. 2).

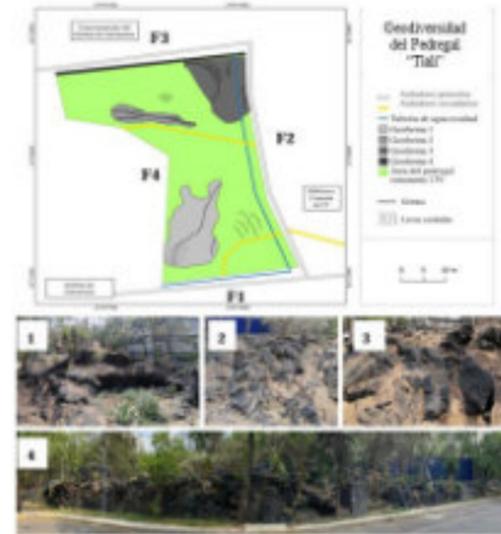


Fig. 2 Principales geoformas identificadas en el pedregal remanente Tlali. Las imágenes 1, 2 y 3 corresponden a los túmulos; mientras que la imagen 4 corresponde a la pared artificial.

**Túmulo 1:** El túmulo está dividido por una grieta axial que separa dos bloques de roca. En la grieta se encuentran establecidos ejemplares de *Yucca elephantine*.

En el perfil de la Fig. 3A, se puede apreciar mejor la grieta axial que se formó por la inflación de la lava que conforme iba creciendo, se iba enfriando, provocando un agrietamiento del lóbulo que conforma la estructura y así la hendidura de las dos laderas ubicadas de cada lado (A y B). La ladera A presenta una inclinación de 9° mientras que la ladera B tiene una inclinación de 68°.

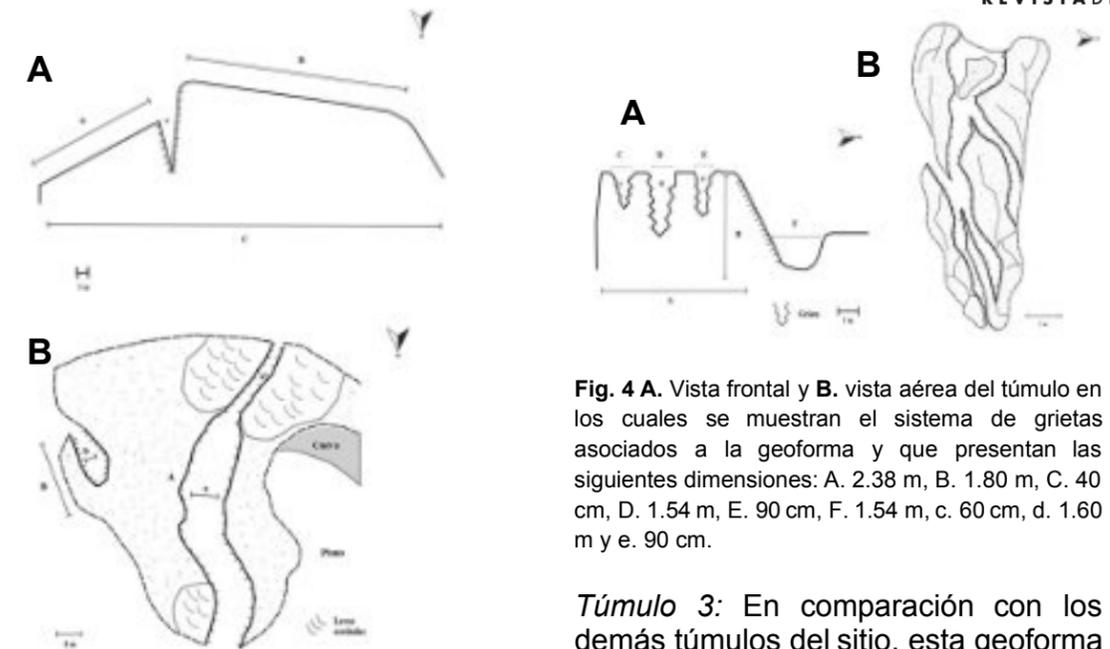


Fig. 3 A. Perfil del túmulo 2 (vista frontal) presente en la sección Sur del pedregal remanente 176 con las siguientes dimensiones: A. 6 m, B. 11 m y c. 80 cm. B. Vista aérea del túmulo 02 (vista aérea) presente en la sección Sur del PR 176 el cual presenta las siguientes dimensiones: A. 10.8 m, B. 5.30 m, a. 8 - 36 cm y b. 60 cm.

**Túmulo 2:** La estructura presenta una grieta principal con profundidad de 1.60 m, una longitud de aproximadamente 12 m y un ancho de 1.54 m; además, presenta 2 grietas secundarias de longitudes y profundidades menores (Fig. 4). Es importante mencionar que dentro de estas grietas se encuentran establecidos individuos de tepozán que no superan los 2 metros de altura. De igual forma, lo que destaca de esta geoforma es la pared que conforma una ladera de 2.90 cm de altura y 1.54 cm de ancho, con una inclinación de 60°.

La superficie de la roca de la pared que conforma la ladera se distingue por presentar un patrón de estrías que dan indicios sobre la dinámica de la colada de lava y se pueden observar algunas fracturas entre las cuales se propicia la acumulación de suelo y el posterior establecimiento de vegetación como musgos y helechos.

Fig. 4 A. Vista frontal y B. vista aérea del túmulo en los cuales se muestran el sistema de grietas asociados a la geoforma y que presentan las siguientes dimensiones: A. 2.38 m, B. 1.80 m, C. 40 cm, D. 1.54 m, E. 90 cm, F. 1.54 m, c. 60 cm, d. 1.60 m y e. 90 cm.

**Túmulo 3:** En comparación con los demás túmulos del sitio, esta geoforma no presenta límites bien definidos y se encuentra conformado por bloques de lava de diferentes dimensiones que en su mayoría presentan lavas cordadas y estrías. Tiene una longitud de aproximadamente 10 m de largo y presenta un sistema de grietas entre las cuales destacan principalmente dos por sus dimensiones, las cuales se encuentran en las zonas laterales de la geoforma (Fig. 5).

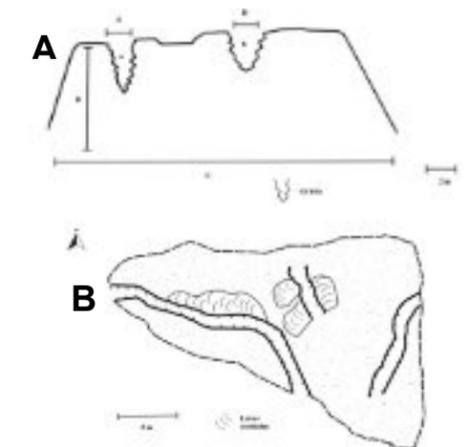


Fig. 5 A. Vista frontal y B. vista aérea del túmulo con las siguientes dimensiones: el cual tiene las siguientes medidas: A. 40 cm, B. 45 cm, C. ~10 m, D. 1.30 m, a. 80 cm y b. 32 cm.

**Pared artificial:** La pared de roca basáltica mide 33 m de largo y tiene una altura variable de aproximadamente 2.40 m. Una de sus características más visibles es la presencia de vesículas, que son



### Caracterización de microambientes

El microambiente que registró las mayores temperaturas fue el promontorio/ladera de la sección norte (con una temperatura máxima de 60 °C en la temporada seca) localizado en la sección norte debido a que se encuentra mayor área de roca; mientras que la pared de roca registró las temperaturas más bajas, por lo que la diferencia entre ambos microambientes es de 30 °C. De forma general, en ambas secciones los promontorios son los que presentan los registros de temperaturas más altas. Por otro lado, el plano presentó los niveles más altos de luminosidad, esto debido a la ausencia de estrato arbóreo. y, por ende, de un área mayor de roca que se encuentra expuesta a la luz solar directa.

En cuanto a las cuevas identificadas en el pedregal, en conjunto con la pared, presentan porcentajes de humedad relativa similares durante la temporada de lluvias, con diferencias del 5% - 10%; no obstante, las cuevas registraron 23 °C, esto es 6 °C más en comparación con las temperaturas registradas en la pared rocosa (con una temperatura máxima de 17 °C) durante ambas temporadas. Las condiciones de humedad, temperatura y luminosidad obtenidas en la pared se deben a la orientación S-N en la que se encuentra, por lo que la incidencia solar que recibe es menor en comparación con los demás microambientes y únicamente algunas zonas del noreste reciben más cantidad de radiación solar durante el día. Además, en el perímetro del andador principal que colinda con el estacionamiento del Instituto de Astronomía se encuentran árboles como tepozán, fresnos, tronadora y casuarinas que intervienen en la cantidad de radiación solar que recibe y las temperaturas que registra la pared; por ello, en esta geoforma destaca la presencia de costra biológica.

### Identificación de amenazas

- Acumulación de residuos inorgánicos: destaca la presencia de botellas de plástico y de bebidas alcohólicas, por lo que se infiere que el pedregal remanente se utiliza como un *spot* para el consumo de dichas bebidas.
- Acumulación de residuos de jardinería y cascajo, los cuales han empleado para rellenar cuevas y grietas, invisibilizando dichas geoformas, además de cambiar las condiciones de suelo, temperatura, humedad y vegetación.
- Presencia sistemática de personas: en ocasiones utilizan algunas zonas del sitio como espacios recreativos y que, como consecuencia han favorecido la creación de caminos secundarios y el posterior establecimiento de especies exóticas.

### Identificación de servicios ecosistémicos

#### Regulación

Polinización: se reportaron avistamientos de polinizadores como colibríes, mariposas, escarabajos, abejas y abejorros. Además de que el florecimiento de *Manfreda brachystachya* indica la polinización por murciélagos en el pedregal remanente *Tlali*.

Infiltración del agua: de acuerdo con Nava et al. (2009), el sustrato de roca basáltica del pedregal tiene un grado de permeabilidad de medio a alto, lo que permite inferir que esta área puede ser una zona de recarga para los mantos freáticos. Este fenómeno pudo confirmarse durante la época de lluvias en donde fue posible observar la filtración de agua desde la corteza superior de la pared hasta algunas zonas del núcleo; lo anterior debido a la porosidad que poseen las rocas.

Regulación de la temperatura: un estudio realizado por Barradas et al. (1999) concluyó que el ecosistema del Pedregal puede funcionar como un importante regulador microclimático, ya que es un disipador de calor y fuente de humedad en la estación de lluvias cuando el clima es cálido, y viceversa en la estación seca cuando el clima es frío. Estas características son relevantes sobre todo porque permiten que en el pedregal *Tlali* haya una disipación del calor que se genera como producto del estacionamiento que se encuentra enfrente de éste.

Calidad del aire: El pedregal *Tlali* mitiga los efectos causados por la emisión de contaminantes atmosféricos que provienen de los automóviles que diariamente utilizan el estacionamiento del Instituto de Astronomía. La abundancia de individuos de *Buddleja cordata* en el sitio de estudio contribuyen a la captura de contaminantes atmosféricos como el carbono en su superficie foliar (Mendoza, 2015).

#### Soporte

Ciclo de nutrientes y cadenas tróficas: se identificaron de manera indirecta al menos tres niveles tróficos en el que se encuentran especies vegetales que fungen como productores primarios, insectos, aves, lagartijas, mamíferos como ardillones de roca (*Ostospermophilus variegatus*) que forman parte del grupo de los consumidores primarios y secundarios.

Formación de suelo: la costra biológica y especies del estrato arbóreo contribuyen a la formación del suelo, estos últimos al producir hojarasca contribuyen a la pedogénesis.

#### -Provisión

Refugio de la biodiversidad de especies vegetales y animales, tanto nativas como exóticas.

Recursos genéticos: el pedregal alberga una gran cantidad de recursos genéticos representados en su biodiversidad pues se han registrado más de 40 especies vegetales (nativas y exóticas), y especies de fauna. En las especies vegetales el mayor número de ejemplares pertenecen a la familia Commelinaceae y Asteraceae; además de dos especies de orquídeas.

#### Culturales

Dentro de este tipo de servicio ecosistémico se contempla la investigación científica, recreación, belleza escénica, herencia cultural y salud mental. Este pedregal remanente ha sido objeto de estudio por primera vez para este trabajo. Asimismo, durante la caracterización del pedregal se observó esporádicamente a personas que se detenían a contemplar algunos de los elementos del sitio (belleza escénica) y personal tanto del instituto de Astronomía como de la Biblioteca Conjunta de Ciencias de la Tierra, usan algunas zonas para descansar, alimentarse o responder llamadas (recreación).

### CONCLUSIONES

La pared es el microambiente que presenta la mayor diversidad vegetal pues presenta especies del estrato arbóreo y herbáceo; así como costra biológica en la que destacan líquenes y cianobacterias.

Las principales especies exóticas del estrato herbáceo que requieren mayor atención y manejo pertenecen a la familia de las gramíneas como el pasto kikuyo, que poco a poco va cambiando el paisaje del pedregal e invisibilizando las geoformas. Lo anterior está relacionado con el relleno y acumulación de residuos tanto orgánicos como inorgánicos, lo cual es la principal amenaza del pedregal *Tlali*, seguida del uso del sitio como *spot* para el consumo de bebidas

alcohólicas y la falta de mantenimiento por parte del personal de jardinería.

El sitio cuenta con atributos que permiten considerarlo un geosítio apto para realizar actividades científicas, educativas y de divulgación sobre el biogeopatrimonio en CU, ya que tiene andadores principales que están adaptados para el acceso a personas con discapacidad motriz. Además, el túmulo 1 y la pared artificial visualmente son los más llamativos tanto en biodiversidad como en geodiversidad.

Finalmente, el pedregal remanente "Tlali" es un sitio resiliente frente a las actividades antropicas dentro del campus de Ciudad Universitaria que aún alberga características únicas del ecosistema del que proviene y presentan un grado de perturbación menor en comparación con el resto del área donde se ubica el sitio. Por lo tanto, es viable y deseable su integración al proyecto de la Red de Geosenderos Universitaria.

### Agradecimientos

Este proyecto estuvo financiado por el proyecto DGAPA-PAMIPE PE115024 y colateralmente por los proyectos DGAPA PAPIIT IT201422 y CONAHCYT (actualmente SECIHTI), proyecto no. CBF2023-2024-1049. Inicio como parte de un taller de investigación en la Licenciatura en Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ciencias, UNAM.

Se agradece al P. de Biol. Emmanuel Zeno Lira por su apoyo en la identificación taxonómica del estrato arbóreo y herbáceo presente en el sitio de estudio, a la Mtra. en C. B. María Fernanda Martínez Báez Téllez por su apoyo en la identificación de la costra biológica presente en el sitio de estudio y al Mtro. en C. Néstor Tunal y a la Bióloga Amanda Alejo Viderique por su apoyo en la colocación y obtención de datos de los sensores HOBO utilizados en este trabajo.

### REFERENCIAS

Alva A. K. (2019). Líquenes Saxícolas como bioindicadores de contaminación atmosférica en la Ciudad Universitaria, UNAM. Tesis de Licenciatura. pp. 24-35.

Barradas V., A. Tejeda-Martínez, E. Jáuregui. (1999). Energy balance measurements in a suburban vegetated area in Mexico City. *Atmospheric Environment*, 33: 4109-4113.

Búrquez A., Eguarte, L. y Martínez del Río, C. (s.f.) Polinización en el Pedregal de San Ángel, México: *Manfreda brachystachya* y *Mirabilis jalapa*. Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. *Ecología, Historia Natural y Manejo*. pp.283-292.

Búrquez A., Eguarte L. E. y Martínez del Río C. (1994). Polinización en el Pedregal de San Ángel, México: *Manfreda brachystachya* y *Mirabilis jalapa*. Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. *Ecología, Historia Natural y Manejo*. pp. 283-292.

Camarena P. (2008). Guía para identificar y distinguir las plantas nativas y las plantas exóticas del Pedregal de San Ángel. SEREPSA, UNAM. pp.36-60. En: SEREPSA (2008). Manual de procedimientos del Programa de Adopción de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (PROREPSA).

Cano-Santana Z. (2009). Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. UNAM. pp. 1-491.

Cano-Santana, Z. y Meave J. (1996). Sucesión primaria en derrames volcánicos: el caso del Xitle. *Ciencias*. 41. pp.58-68.

Castellanos I., García N. y Cano-Santana Z. (2017). Procesos físicos del suelo en la reserva ecológica del Pedregal de San Ángel de Ciudad Universitaria: atributos para su conservación. *Terra Latinoamericana*. 35 (1). pp. 51-64.

Castillo S., Martínez O. Y., Romero R. M., Guadarrama P., Núñez O., Sánchez G. I., Meave J. (2007). La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Aspectos Florísticos y Ecológicos. UNAM. pp.1-294.

Eguarte L. (1983). Biología floral de *Manfreda brachystachya* (Cav.) Rose en el Pedregal de San Ángel México, D.F. Tesis de Licenciatura, UNAM. México.

Eguarte, L. y Búrquez, A. (1987). Reproductive Ecology of *Manfreda brachystachya*, an iteroparous Species of Agavaceae. *The Southwestern Naturalist*. 32(2). pp.169-178.

Gaceta UNAM (2013). Acuerdo para rehabilitar el pedregal de CU. 9 mayo 2013. pp. 16. [http://www.repsa.unam.mx/documentos/GacetaUNAM\\_2013-05-09.pdf](http://www.repsa.unam.mx/documentos/GacetaUNAM_2013-05-09.pdf)

Gaceta UNAM (2022). <https://www.gaceta.unam.mx/crean-red-de-geosenderos-en-cu/>

Gaceta UNAM. (2018). Imágenes de rehabilitación y amortiguamiento del Geopedregal. 7 de junio 2018. <https://www.gaceta.unam.mx/imagenes-de-la-rehabilitacion-y-amortiguamiento-del-geopedregal/>

Guilbaud, M.-N., Ortega-Larrocea, M.d.P., Cram, S., Pastrana, A. (2021). Volcano Geoheritage, Mexico City: Raising Awareness of Natural Hazards and Environmental Sustainability in Active Volcanic Areas. *Geoheritage* 13, 6. <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00525-9>.

Instituto de Geología. (2025). El Geopedregal. <https://www.geologia.unam.mx/contenido/geopedregal>

Lot A. y Cano-Santana. (2009). Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. UNAM. pp. 1-491.

MacDonald G. (1953). Pahoehoe, AA, and Block Lava. *American Journal of Science*, vol. 251. pp. 196-191.

Mendoza J. A. (2015). Evaluación de contaminantes foliares y producción de biomasa aérea en *Buddleja cordata* Kunth en la Ciudad Universitaria de la UNAM, México D.F. pp. 1-70.

Nava-López M., Jujnovsky J., Salinas-Galicia R., Álvarez-Sánchez J. y Almeida-Leñero L. (2009). Servicios ecosistémicos. pp. 51-60. En: Lot A. y Cano-Santana. (2009). Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. UNAM. pp. 1-491.

Palacio P. J., Guilbaud M. (2015). Patrimonio natural de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel y áreas cercanas: sitios de interés geológico y geomorfológico al sur de la Cuenca de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 67, 2, pp. 227-244.

Peralta-Higuera A. y Pardo-Molina J. (2009). Los límites y la cartografía. Pp.27-42. En: Lot A. y Cano-Santana. (2009). Biodiversidad del ecosistema en el Pedregal de San Ángel. UNAM. pp.1-491

Programa de Servicio Social de la REPSA (2013). Mapa de Mitigación de Pedregales de la SEREPSA. pp. 1-10.

Rangel V. M. (2003). Aislamiento de hongos micorrízicos de orquídeas terrestres de la reserva "El Pedregal de San Ángel". Tesis de licenciatura. pp. 1-116.

Rzedowski, J. (1954). Vegetación del Pedregal de San Ángel. Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. *Ecología, Historia Natural y Manejo*. pp.9-66.

Self, S., Keszthelyi, L. & Thordarson, T. (1998). The Importance of Pahoehoe. *Earth Planet*, 26, pp.81-110.

SEREPSA (2025). Comunicado: Se duplica la superficie original de protección ecológica de Ciudad Universitaria, UNAM. 12 de marzo 2025. <http://www.repsa.unam.mx/index.php/programas/cse/compar/comunicado-250312>

Siebe, C. (2009). La erupción del volcán Xitle y las lavas del Pedregal hace 1670 +/-35 años AP y sus implicaciones. pp. 43-49. En: Lot A. y Self, S.,

Vergnolle S. y Mangan M. (2000). Hawaiian and Strombolian eruptions. *Encyclopedia of Volcanoes* H. Sigurdsson, Editorial Academic Press. pp.447-494.

Walker G. (1991). Structure and origin by injection of lava under surface crust, of tumuli, "lava rises", "lava-rise pits", and "lava-inflation clefts" in Hawaii. *Bull Volcanol*. 53. Pp.546-558.

Walker, G. P. L. (2009). The endogenous growth of pahoehoe lava lobes and morphology of lava-rise edges, *Studies in Volcanology: The Legacy of George Walker*, T. Thordarson, S. Self, G. Larsen, S. K. Rowland, Á. Höskuldsson. pp. 17-32.

Zambrano, L., Rodríguez, S., Pérez, M., Gil, G., Camarena, P., & Lot, A. (2016). Atlas de Riesgos. Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 6-51.



**Lic. Itzel Analí Sánchez Aguilar.**

Facultad de Ciencias, UNAM

itzana.sag@gmail.com

Egresada de la licenciatura en Ciencias de la Tierra con área de especialidad en Ciencias Ambientales en la Facultad de Ciencias de la UNAM. Obtuvo su título con mención honorífica con la tesis titulada "Biogeopatrimonio del Pedregal Remanente 176 del Campus de Ciudad Universitaria de la UNAM". Ha colaborado en actividades de divulgación realizadas en el proyecto Geopedregal y recientemente se integró en el grupo de colaboradores del proyecto CONAHCYT-1049 ("Proyecto Geocity: Geopatrimonio del sur de la Ciudad de México y su relación con aspectos biológicos y socioculturales").



**Dra. María del Pilar Ortega Larrocea**

Instituto de Geología, UNAM. Restauración ecológica

mpol@geologia.unam.mx

María del Pilar Ortega Larrocea nació en la Ciudad de México en 1969, donde estudió la licenciatura, maestría y doctorado en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México; además, obtuvo un doctorado en cotutela con la Universidad Paul Sabatier en Toulouse, Francia. Se incorporó como investigadora en el Departamento de Edafología del Instituto de Geología de la UNAM en el año 2002. A partir de ese momento, se dedicó a la restauración de suelos degradados con microorganismos benéficos. En sus tesis desarrolló el tema de micorrizas arbusculares en plantas en peligro de extinción y el impacto de las micorrizas en cultivos de maíz en suelos regados con aguas residuales. Extendió su interés en las micorrizas de orquídeas nacionales creando una línea de conservación de orquídeas mexicanas propagadas de manera simbiótica. Recientemente, se ha decantado también por otras micorrizas y otros microorganismos colonizadores de las rocas. Los microcosmos, la restauración de pedregales y su trabajo en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel son su pasión, siendo el proyecto Geopedregal el mejor ejemplo de más de diez años de imparable labor en el primer geosítio restaurado dentro del campus de la CU.

**Dra. Marie-Noëlle Guilbaud**

Instituto de Geofísica, UNAM. Vulcanología

marie@igeofisica.unam.mx

La Dra. Marie-Noëlle Guilbaud es investigadora Titular B del Departamento de Vulcanología en el Instituto de Geofísica de la UNAM. Tiene el nivel 2 en el SNI y el nivel C en el PRIDE. Obtuvo su doctorado con una tesis titulada "El origen de las texturas de lavas basálticas" en la Open University en Inglaterra en 2006, y realizó dos estancias posdoctorales en la UNAM (2006-2010). Integró el Instituto de Geofísica en abril del 2010. Ha publicado 35 artículos científicos y 4 capítulos de libro, además de 5 guías de excursión, sobre el vulcanismo monogenético en México y especialmente los volcanes de la Ciudad de México y su interés por el geopatrimonio. Regularmente da clases sobre el vulcanismo y el geopatrimonio en la Facultad de Ciencias y en el Posgrado en Ciencias de la Tierra en la UNAM. Ha colaborado con el proyecto Geopedregal desde el año 2018 y es la responsable técnica del proyecto CONAHCYT-1049 ("Proyecto Geocity: Geopatrimonio del sur de la Ciudad de México y su relación con aspectos biológicos y socioculturales") y el proyecto ECOS Nord 321145 ("Construcción del sentido a través del patrimonio natural").

## Progress on revision of Belize's Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy

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

Geosciences, Auburn University, Auburn, Alabama 36849 USA

### Abstract

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

### Introduction

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

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

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

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

In southern Belize, colonial geologist C. G. Dixon (1957) described the main stratigraphic units in that area (i.e., the Belize basin). Strata above the Toledo were not discussed by Dixon, but Nair (1987) produced a government report in which he first proposed and named the youngest stratigraphic unit in the basin, the Belize Formation<sup>1</sup>, which lies above the Toledo and is subsurface only. Perhaps owing to subsequent interest in exploration drilling in southern Belize, the subsurface stratigraphy of southern Belize was reviewed in substantial detail by Edward Purdy and two other geologists (Purdy et al. (2003).

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

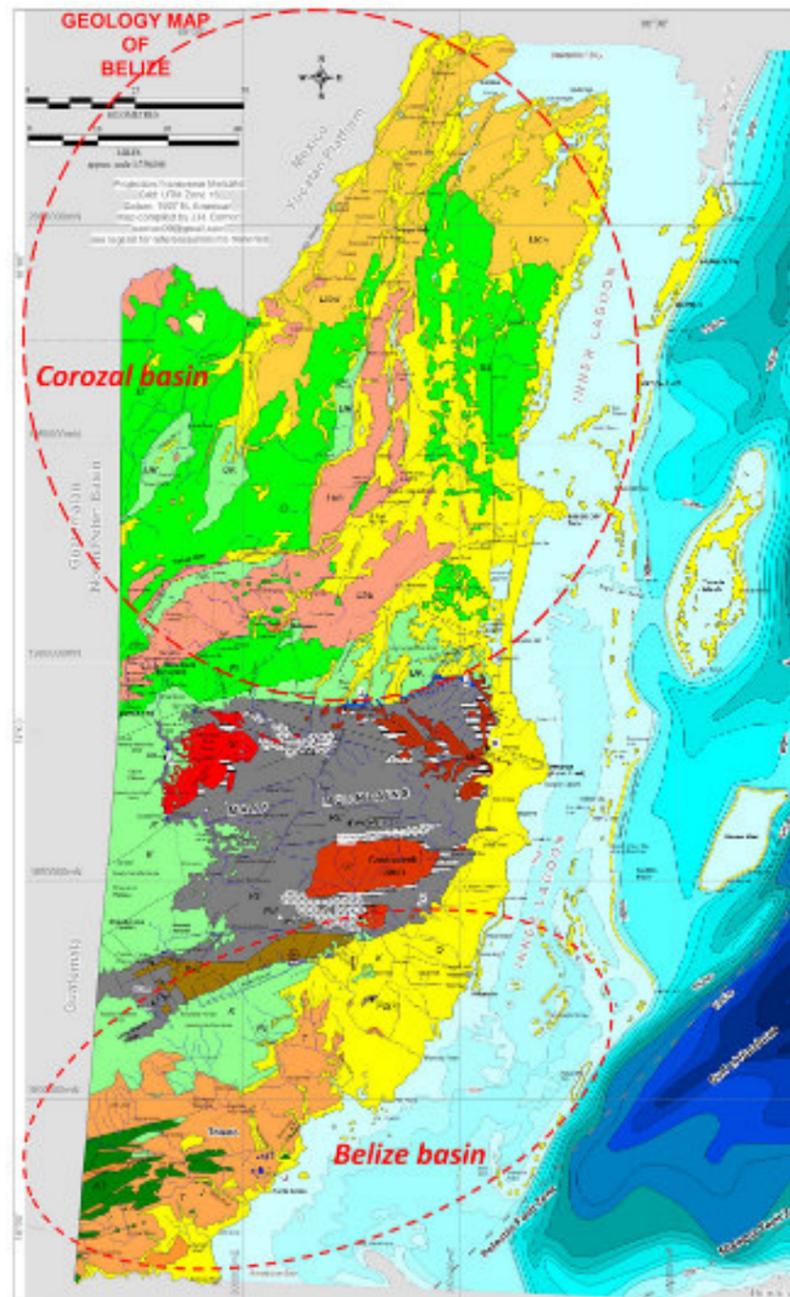


Figure 1 - Geological map of Belize by Jean Cornec (2015); used with permission. The approximate, schematic outlines of the two basins, Corozal and Belize, have been added by us to this map. Ages shown on this map are those of Cornec, and are not the same as the revised ages noted in the present report.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

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

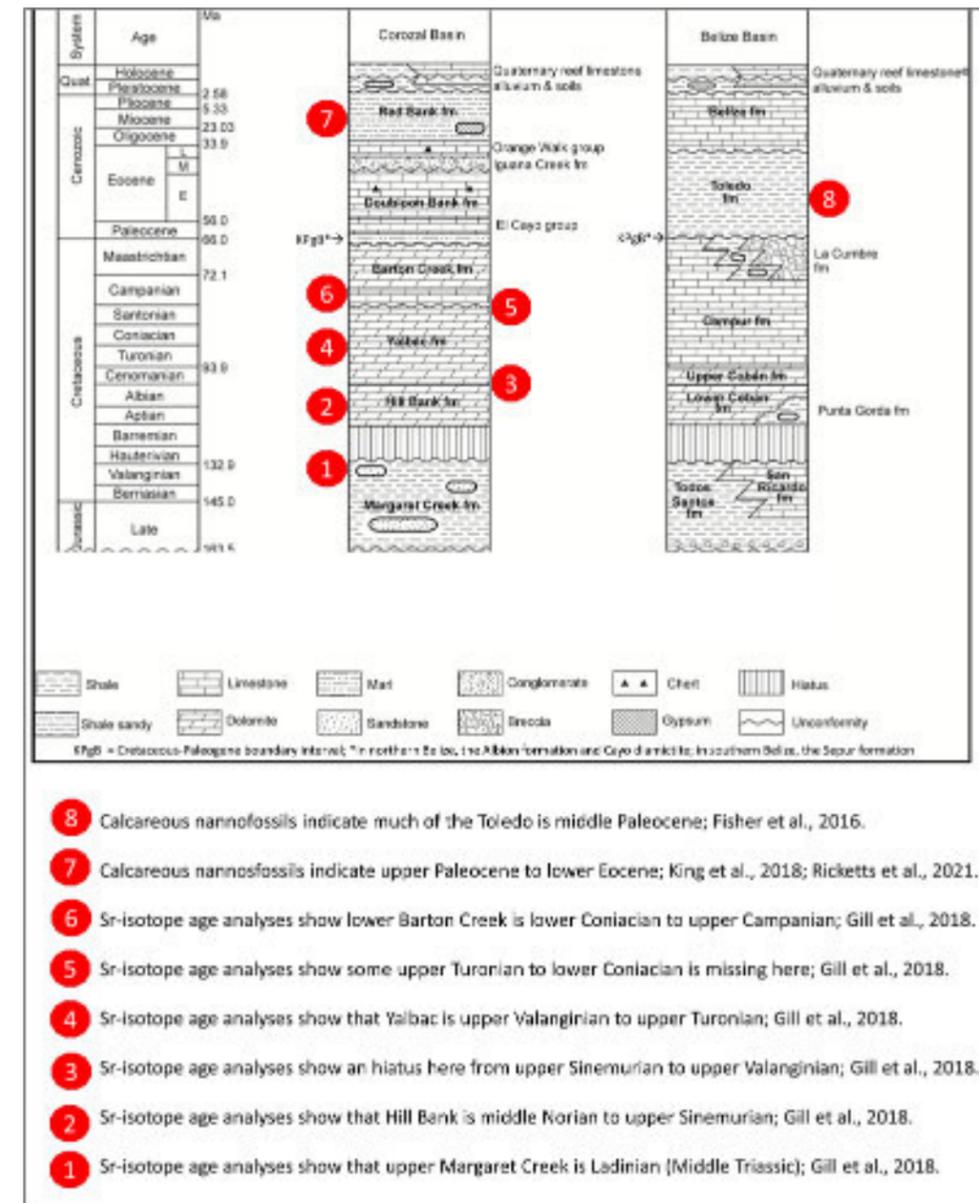


Figure 2. Chronostratigraphy and correlated informal lithostratigraphy of northern Belize (Corozal basin) and southern Belize (Belize basin) according to previous workers. Bulleted points (red dots) with numbers indicate the stratigraphic level where new age determinations have been made. Corresponding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

**Chronostratigraphic analysis**

The following are some major discrepancies that we have discovered in the previously accepted chronostratigraphic relationships, which are bulleted in Figure 2. Regarding the Corozal basin, King's graduate student Karena Gill (Gill, 2017; Gill et al., 2018) used strontium-ratio analysis of proprietary drill cuttings to establish the actual age range of the subsurface-only Yalbac and Hill Bank formations (the method used follows that described in McArthur et al., 2001; 2012). The clastic and carbonate Hill Bank formation was found to be middle Norian (Upper Triassic) to upper Sinemurian (Lower Jurassic), and the Yalbac was found to be upper Valanginian (Lower Cretaceous) to upper Turonian (Upper Cretaceous). A previously unknown hiatus (i.e., disconformity) between the Yalbac and Hill Bank formations<sup>2</sup> spanning approximately 60 million years (upper Sinemurian to upper Valanginian) was thus revealed by Gill et al. (2018). Further, a carbonate bed<sup>3</sup> from the upper part of the Margaret Creek formation was found to be Middle Triassic (Ladinian; Gill et al., 2018), which suggests that yet another hiatus may exist between the Hill Bank and Margaret Creek. Gill et al. (2018) also presented strontium-isotopic evidence that the basal part of the Barton Creek formation is lower Coniacian. Thus, a relatively small stratigraphic break (disconformity) between the Yalbac and the overlying Barton Creek formations, as had been suggested by previous work, was found to span only a small part of the upper Turonian to lower Coniacian. In younger strata of northern Belize, King's graduate student Sandor Ricketts (King et al., 2018; Ricketts, 2020; Ricketts et al., 2021) reported index calcareous nannofossils that confirmed a late Paleocene to early Eocene (lower Thanetian to upper Ypresian) assemblage for the Red Bank group of northern Belize. Of special importance in the present report is the age of the base of the Red Bank, which was established by Ricketts (2020) and Ricketts et al. (2021) using drill cuttings as being upper Paleocene (specifically, lower Thanetian). Previously, the Red Bank was thought to range from Miocene to Pliocene (Flores, 1952a; Cornec, 2015). Table 1 reviews the new age determinations for northern Belize stratigraphic units.

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

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

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

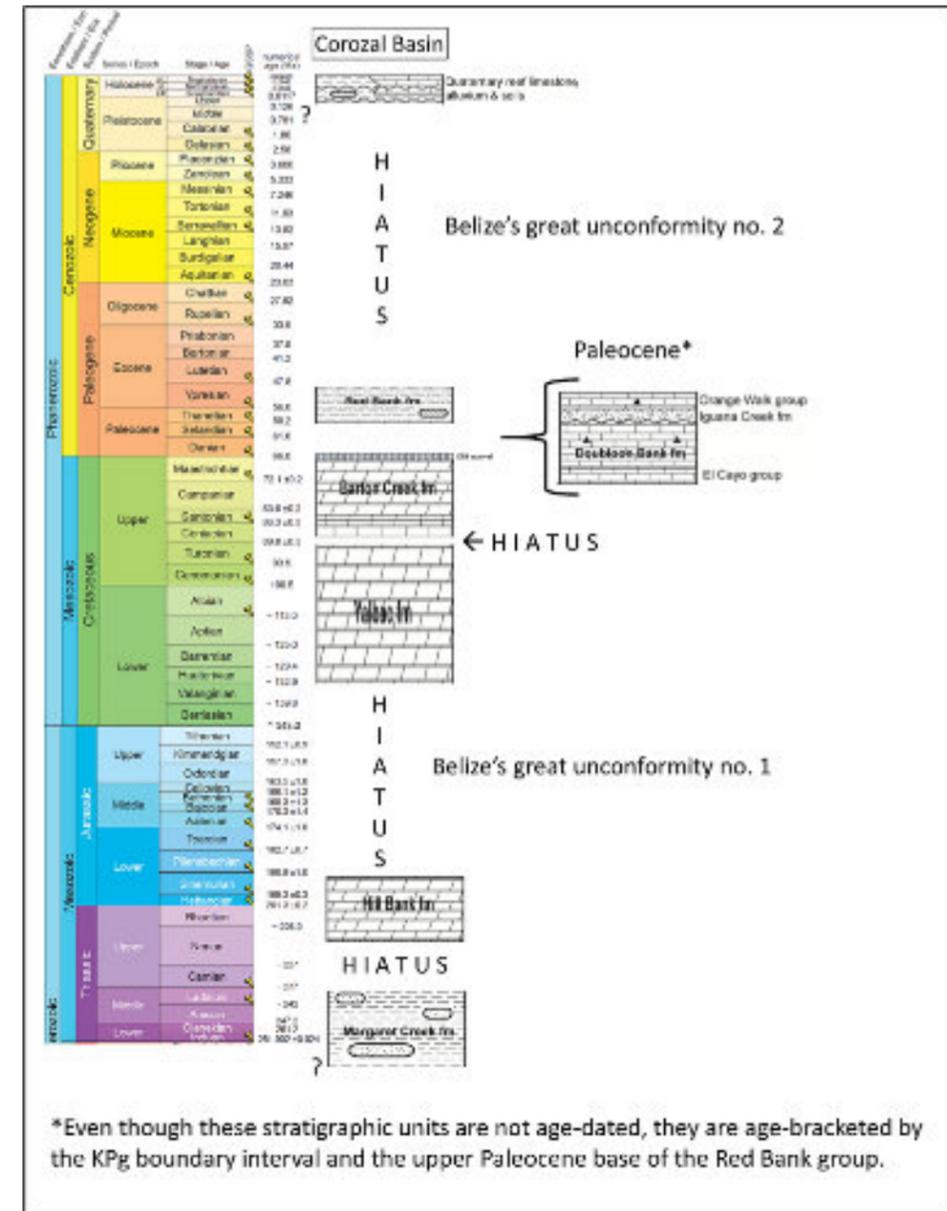


Figure 3. Revised correlation of the global chronostratigraphic chart and the informal lithostratigraphy of northern Belize (Corozal basin), as described in the present report. The segment of the global chronostratigraphic chart shown here is from the current version of the *International Chronostratigraphic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

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

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

#### Belize's informal lithostratigraphy

The following is a brief summary of lithostratigraphic research that has been published by King and Petruny or by King and his Belizean graduate students. The order below follows the informal<sup>4</sup> stratigraphic units of, first, the Corozal basin of northern Belize, and then the southern Belize basin. This section emphasizes the new findings regarding Belize's lithostratigraphy since the days of Flores' and Dixon's reports.

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

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

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

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

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

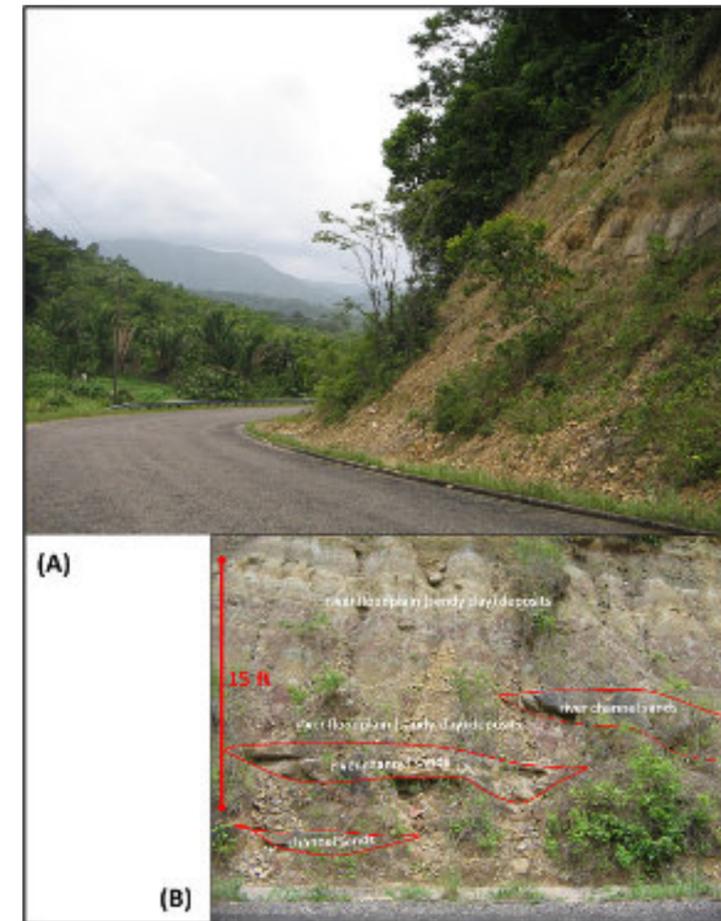


Figure 4. Outcrops of the Margaret Creek formation on the Hummingbird highway near the village of St. Margaret. Image (A) shows an outcrop that is near the original 'type locality' of Flores (1952a) for the Margaret Creek formation, looking northwest. Image (B), from another part of the same outcrop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

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



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

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

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

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

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

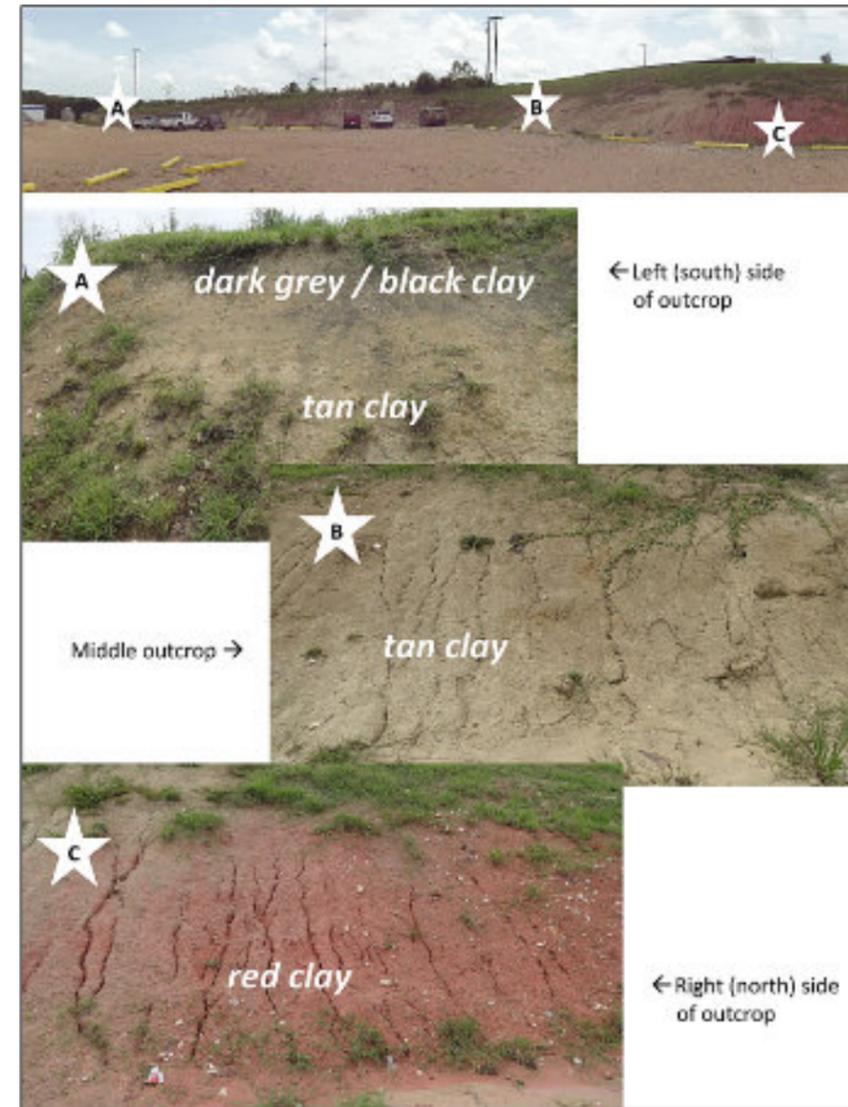


Figure 6. Outcrop (with three close-up views) of some of the estuarine clay facies of the Red Bank group, which are exposed in the parking lot of Western Dairies restaurant, Spanish Lookout, Belize. Stars indicate where the close-up views (A), (B), and (C) were obtained. Close-up views show the lateral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

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

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

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



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

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

#### Future work

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

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

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

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

#### Acknowledgements

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

#### References

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

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



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

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



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

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



## EL DIAMANTE “EL LIBERTADOR” O “BOLIVAR”. La historia de Barrabás

**Mariato Castro Mora**

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

En 1942, el venezolano Jaime Teófilo Huckson (conocido como Barrabás), descubrió el diamante más grande encontrado hasta ese momento en Venezuela, conocido como “El Libertador” o “Bolívar”. Este venezolano de apellido inglés debido al origen de sus padres, quienes llegaron a Venezuela procedentes de Trinidad y Tobago, realizó el histórico descubrimiento de un diamante de 154 qt que fue encontrado en el sitio denominado Surukún, estado Bolívar. El diamante fue tallado por Harry Winston y dividido en 39, 80, 18, 12 y 8,93 quilates cada pieza; y un corte marquesa de 1,44 quilates.



**Jaime Teófilo Huckson “Barrabás”. Foto tomada del Blog de Américo Fernández, Octubre, 2015**

### ANTECEDENTES

Las zonas diamantíferas venezolanas se encuentran situadas en el estado Bolívar, en la parte noreste y en la Gran Sabana. Los diamantes fueron descubiertos en Venezuela en la parte noreste del estado Bolívar en el año 1902. Desde entonces, hubo una producción esporádica y limitada hasta 1913. En 1915, se descubrieron yacimientos diamantíferos en el río Paragua y río Caroní. La primera empresa diamantífera, conocida como “Compañía Anónima El Pao”, comenzó a operar en esos años y se mantuvo operativa hasta 1943.

El descubrimiento de las riquezas diamantíferas en el área de la Gran Sabana, se debe al doctor Lucas Fernández Peña, que llegó a la zona en el año de 1924 y se estableció a 20 Km. de la frontera con el Brasil en el cerro Acurimá, cerca del río Uairén y fundó el pueblo de Santa Elena de Uairén en 1927.



**Doctor Lucas Fernández Peña. Foto cortesía de la familia Fernández.**

La explotación minera de la Gran Sabana tomó auge en 1931, cuando el doctor Fernández Peña descubrió oro y diamantes en las inmediaciones del cerro Paratepuy, en las cercanías del cerro Surukum, a 40 Km al oeste de Santa Elena de Uairén. Este hecho, despertó un gran interés tanto por parte del gobierno nacional como de los particulares.

Otros autores indican que alrededor de 1927, colonos habrían llegado a la Gran Sabana y que en 1930, se había iniciado la explotación de diamantes con la colaboración brasileña. Si bien se produjo una considerable actividad minera en las áreas de Paratepuy y Río Surukun, la producción fue limitada. Poco a poco, se explotaron otros yacimientos de diamantes en la parte alta del río Caroní (Santa Teresa, Agua Negra, Salva La Patria, El Vale y El Polaco). Sin embargo, la producción fue limitada e inconstante hasta 1942.

En 1942, la recuperación de un cristal de diamante de 154 quilates, el más grande encontrado en Venezuela y conocido como “El Libertador” o “Bolívar”, generó un intenso interés y se desató una fiebre de diamantes. Ese mismo año, se descubrieron áreas diamantíferas adicionales en río Icabaru, río Uaiparu, Guari y otros ríos y quebradas.

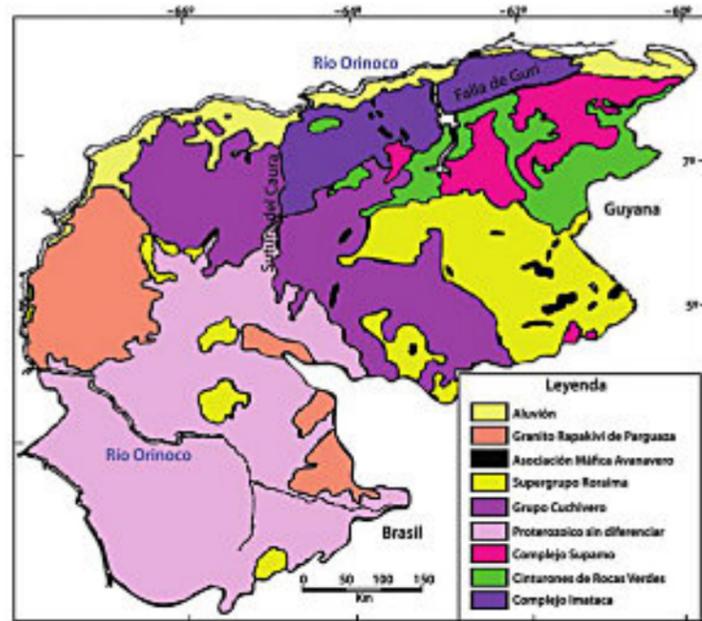
En los años siguientes, se explotaron otras áreas: en la Gran Sabana, Uriman, Capaura y Avequí en 1943; Cinco Ranchos en 1950; y en los campos del alto Paragua: El Casabe, Manare, Oris, Asa y Chiguao en 1954. La introducción de operaciones mineras mecanizadas en masa aumentó drásticamente la producción de diamantes venezolanos. En 1961 se explotaron las áreas diamantíferas del bajo Caroní (Caruachi, Playa Blanca, Río Claro y Merey). En 1963, se introdujo el método práctico de barcazas mecanizadas para la extracción de oro y diamantes, conocidas localmente como chupadoras, que también dio como resultado un aumento considerable de la producción. En 1968, comenzó la explotación de los ricos depósitos de San Salvador de Paul y las áreas cercanas de río Parupa, seguidos por los depósitos diamantíferos más importantes de Guianiamo en 1970. Guianiamo por sí solo produjo el 85% del total de diamantes de calidad gema extraídos en Venezuela durante el período 1970 - 1978. Entre los años 1978 - 1988, la producción de diamantes allí aumentó de manera constante. Actualmente no se dispone de cifras confiables de producción de diamantes en las últimas décadas.

**MARCO GEOLOGICO**

En Venezuela todos los distritos diamantíferos se relacionan íntimamente con la Formación Roraima, una extensa unidad Precámbrica constituida por conglomerados, areniscas lutitas y cuerpos de diabasas, que ocupa gran parte de la región sur del país. Muy probablemente la fuente de diamantes esté directamente asociada con conglomerados basales de esa formación.

En términos generales, se pueden reconocer tres tipos principales de depósitos diamantíferos aluvionales:

- Los sedimentos y concentraciones secundarias en los lechos de los ríos y quebradas.
- Los aluviones de planadas bajas y los antiguos cursos de los ríos.
- Los aluviones de terrazas.



Ubicación de las provincias Pre-Cámbricas en el escudo de Guayana.

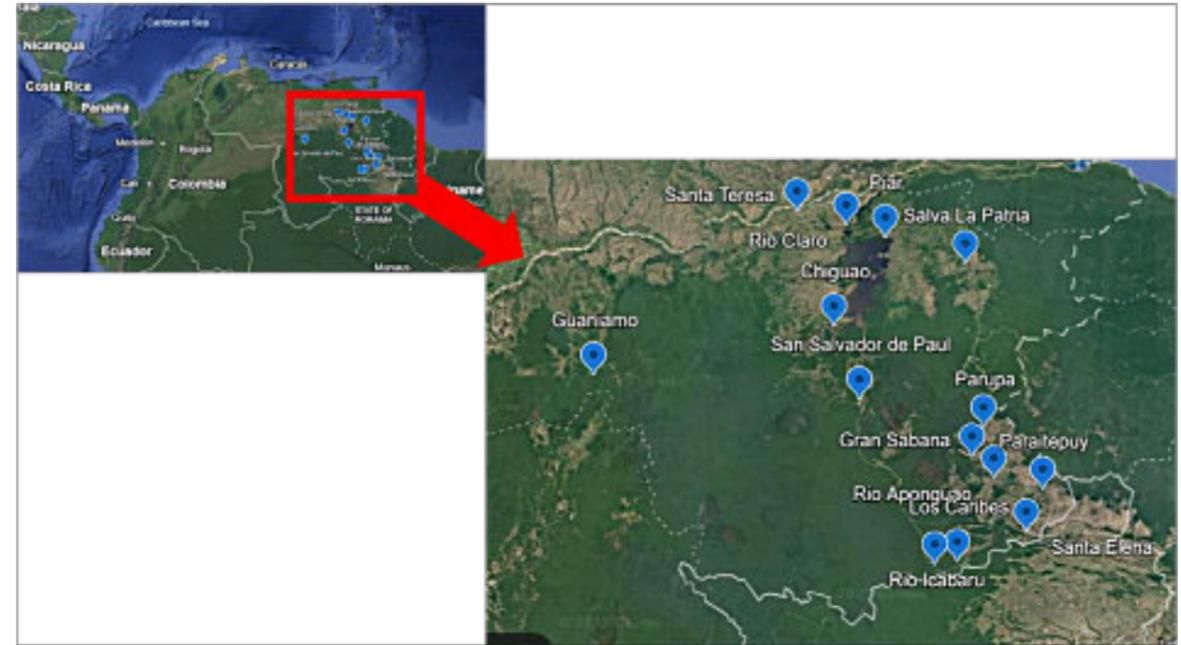
Tomado y modificado de Sidder & Mendoza (1995).

De todos estos tipos de aluviones, los que más se han trabajado en Venezuela, son los asociados con los ríos y quebradas. Es muy probable que la razón de esto sea la cercanía a fuentes de agua. De acuerdo a las experiencias mineras en Guayana, los aluviones que más se han destacado por su riqueza diamantífera son los de tipo de planadas y antiguos cursos de los ríos, tal como sucede en San Salvador de Paúl y en Guainiamo.

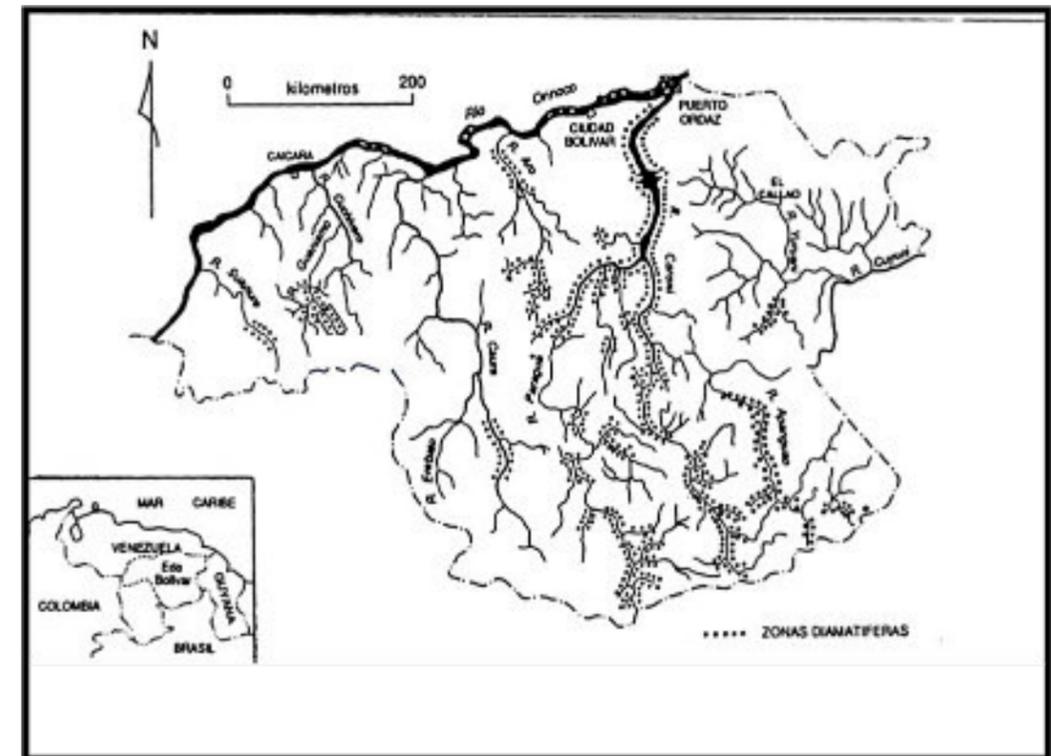
Con respecto a los depósitos asociados a los aluviones de terrazas, poco se ha hecho para explorar esas extensas zonas tan comunes en muchos de los grandes ríos del estado Bolívar.

La zona del río Caroní ocupa el lecho y los bancos aledaños al río Caroní. Es uno de los drenajes más importantes desde el punto de vista de aluviones diamantíferos, así como sus principales tributarios. La concentración de diamantes aumenta al entrar a los valles del Grupo Roraima y su presencia continúa hasta la desembocadura del río Antabare y los raudales de Tuyucay. Esta zona se divide a su vez en Bajo, Medio y Alto Caroní. La zona del Bajo Caroní comprende Caruachi, Playa Blanca, Ancho Caroní, Río Claro, El Mery, Caroní, Piar, Paviche, El Pao, San Pedro de las Bocas, Manare y El Perro. Las áreas más importantes son río Claro y Caruachi, localizadas aproximadamente 70 km de Ciudad Bolívar; la zona del Caroní Medio está conformada por El Caroní, San Salvador de Paúl, Chiguao, Asa, Caparo, Parupa, Guacharaca, entre otras. Finalmente, la zona del Alto Caroní se subdivide a su vez, en tres áreas: a) la oriental, con La Gran Sabana, Santa Elena, Kukenán, Guara y río Apongua; b) la central, con La Hoyada, El

Polaco donde se descubre el diamante “El Libertador” o “Bolívar”, Surukún, Santa Teresa, Aguas Negras, Salva La Patria, El Valle y Paraitepui; y e) la occidental, con Caroní, río Icabarú y Los Caribes. También se suman a esta zona, Sabanita de Antabarí, La Candelaria y Juan Ramón como representantes de la pequeña minería.



Ubicación de las localidades enunciadas en el texto



Zonas Diamantíferas Venezolanas basado en Añez, 1985



Foto del valle del Río Surukun, donde se puede apreciar al fondo el Tepuy de Chirikayén. Gráfica tomada de Andrew F. E. Neild



Mina El Polaco. Gráfica tomada del Blog de Alfredo Cedeño, Septiembre 2011

#### LA HISTORIA DE BARRABAS

Venezuela cuenta con muchos enigmas e historias de riquezas que pocos conocen, entre ellas destaca la de Barrabás. Alrededor de su origen hay varios relatos interesantes.

Jaime Teófilo Huckson nace en Venezuela en el año 1917. Sus padres llegaron desde Trinidad y Tobago al país buscando nuevas oportunidades, por lo que fueron acogidos en El Callao, ciudad fundada a mediados del siglo XIX por venezolanos, africanos, antillanos, ingleses, brasileños, franceses y españoles atraídos por el oro. Es de hacer notar que en muchos escritos aparece su apellido como Hudson cuando en realidad es Huckson. Jaime, desde muy pequeño, fue apodado como el personaje bíblico que fue salvado de la crucifixión "Barrabás", pero no se conoce el motivo de este apodo.



El Callao es la ciudad capital del municipio El Callao en el estado Bolívar, sur de Venezuela. La ciudad fue fundada a mediados del siglo XIX. La mina de oro de El Callao, que en su día fue una de las minas de oro más ricas del mundo, entró en funcionamiento en 1871. Debido a las minas de oro de la zona, el número real de habitantes puede ser cinco veces mayor que el total oficial de alrededor de 25.000.

Jaime Huckson "Barrabás" se dedicó a la búsqueda de minerales como medio de vida. En la mañana del 10 de octubre de 1942 vivió la mayor sorpresa de su vida. "Barrabás", "Támbara" y su compañero de faena, "el indio Soler" trabajaban en la mina "El Polaco", ubicada a orillas de la carretera que comunica a Santa Elena de Uairén con Icabarú. Ese día estaban lavando el material desechado por otros mineros en una desviación del río Surukun cuando se realizó el hallazgo del diamante, según la versión de Américo Fernández, cronista del estado Bolívar. No obstante, según el diario Panorama, de Maracaibo, estado Zulia, el minero encontró el diamante en estado natural mientras removía suelo en un hueco que se formó debajo de un árbol de guama.

No se conoce cuál es la historia fidedigna, solo que, ese día "Barrabás" sostuvo un diamante que pesaba 154 quilates (31 gramos), hasta el momento es el más grande que se ha encontrado en Venezuela. La memoria popular se debate en recordar al diamante como una pieza del tamaño de una cebolla pequeña, un trompo o una pera.

Ante el gran descubrimiento, "Barrabás" decidió viajar a Caracas animado por el abogado Matías Carrasco. El minero emprendió el viaje desde el estado Bolívar hasta Caracas, la capital, a más de 586 kilómetros de distancia, para no ser acorralado por estafadores. El minero pensaba solicitar al Banco Central de Venezuela que resguardara el diamante hasta conocer su valor. Los directivos del Banco Central informaron al presidente de Venezuela, de ese entonces, General Isaías Medina Angarita, y este insistió en conocer al minero que encontró el diamante. Jaime Huckson visitó el palacio de gobierno. El diamante se denominó con el nombre de "Diamante El Libertador" o "Bolívar", pero en el estado Bolívar, el pueblo ya lo llamaba "El diamante de Barrabás" o simplemente "Diamante Barrabás", como sigue ocurriendo hasta el momento.



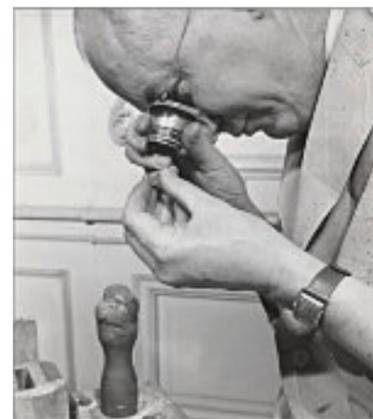
**Presidente de Venezuela, General Isaiás Medina Angarita, 1941. Foto tomada de Wikimedia.**

El encuentro entre el minero y el presidente no despertó tanto interés en la prensa local como el tamaño del diamante, por lo que la noticia fue replicada por agencias internacionales. Casi de inmediato, la Casa Harry Winston, propiedad del joyero hijo de inmigrantes ucranianos emigrados a New York, gestionó su adquisición.



**Foto de Harry Winston tomada de FrenchBlueDiamond, Marzo 2024**

Luego de comprar “el diamante Barrabás”, Winston encargó la transformación de este, al experto gemólogo Adrian Grasselli, quien estudió la roca durante dos meses antes de tocarla para dividirla.



**El experto gemólogo Adrian Grasselli, quien talló el “Diamante Bolívar” en las oficinas de Harry Winston en New York. Foto tomada de la Biblioteca Pública de Boston.**



**Harry Winston, New York. Foto tomada de Yelp**

El diamante de Barrabás fue calificado como un diamante tipo “D”: incoloro, químicamente puro y estructuralmente perfecto, por lo que constituyen apenas un 1 o 2% de todos los diamantes naturales. De acuerdo con el Diccionario de Gemas y Gemología, publicado el año 2000 por Mohsen Manutchehr-Danai, el diamante se cortó en cuatro partes: de tres partes se obtuvieron 39, 80, 18, 12 y 8,93 quilates cada uno; y de la última parte, un corte marquesa de 1,44 quilates.

El brillante de mayor tamaño (39,80 quilates) conservó el nombre de "Libertador" y fue vendido por la casa Winston en 1946 a May Bonfils Stanton, heredera de la fortuna del diario Denver Post; y vuelto a recuperar en el año 1960, en una subasta tras la muerte de la compradora.



**May Bonfils Stanton, heredera de la fortuna del diario Denver Post. Foto tomada de Liberator Diamond, 2025**

Múltiples mitos surgieron detrás del diamante venezolano. Ninguna pudo ser confirmada, pero hay relatos interesantes a su alrededor. Se dice que una de las tres piezas principales del diamante fue comprado por Richard Burton, quien se lo obsequio a la actriz Elizabeth Taylor. Se comenta que la actriz la usó en un baile en el Principado de Mónaco y que años más tarde vendió la joya para donar el dinero a una construcción

de un hospital en Botswana. Otros comentan que el diamante venezolano forma parte de las joyas de la fallecida Reina Isabel II de Inglaterra.



**Su Alteza Real Grace de Mónaco, Elizabeth Taylor y Richard Burton (1972). Foto tomada de Reddit.**

El monto de la compra, así como la cantidad de dinero recibida por “Barrabás”, varían de un relato a otro. Lo único coincidente para las fuentes, es que Harry Winston hizo un gran negocio y Jaime Huckson se quedó con una misera parte del valor. El día que Jaime “Barrabás” Huckson regresó a “El Polaco”, según cuentan, traía en sus manos una pequeña fortuna producto de la venta del diamante, unos 200,000 Bolívares aproximadamente 59,000 USD\$ para la época. Luego de dos días de fiestas en prostíbulos de la zona minera y donde se dice que hasta brindó champaña y repartió dinero a los amigos, Jaime “Barrabás” Huckson estaba como al principio, sin un céntimo. Pasada la resaca, siguió buscando la fortuna en las minas, malviviendo en casas improvisadas con madera o latas, hasta que el cuerpo le dijo que ya no podía con ese trabajo. A partir de los años 60, se dedicó a gestionar un prostíbulo llamado “La Orchila”, en el pueblo de Icabarú. Luego, se mudó a la calle El Dorado de Tumeremo, capital del municipio Sifontes, donde abrió otro negocio al que bautizó “La Fortuna” en el cual se vendían cervezas y botellas de ron. Luego de encontrar el diamante, la vida de Jaime “Barrabás” Huckson no fue la misma. Le invitaban a fiestas, a visitar familias, a comer en casa de desconocidos, lo persiguieron periodistas, pero su clase social y sus orígenes permanecieron inalterables.

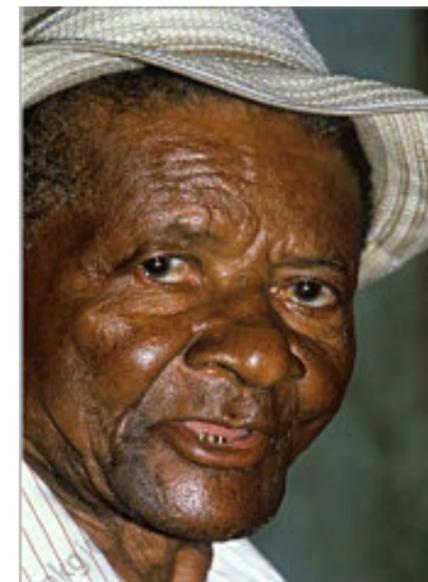


**Jaime ‘Barrabás’ Huckson en su negocio “La Fortuna”. Foto colección de Eric Vandeville**



**Entre la leyenda y la realidad. Recorte de periódico. Tomado de Morillo, Blog del Domingo 15 de Agosto del 2010.**

Corría el año 1988, cuando el geólogo venezolano Manuel Méndez Tepedino tenía 18 años de edad y en la mañana de ese día le presentaron a “Barrabás”. Se encontraba en El Callao, de camino a la Gran Sabana. Nesin Benaim, considerado el decano de los geólogos del sur de Venezuela y amigo de su familia, tomó a “Manuelito” del brazo y le dijo: “Mirá muchacho, este es “Barrabás”. Dale la mano, conócelo, que es parte de la historia minera de este país”. A Manuel le pareció que la euforia de Benaim no se correspondía con el aspecto de aquel hombre con apodo bíblico. Miró a su padre, el académico Manuel Méndez Arocha, y este le hizo un ademán para que se acercara a saludar al hombre. “Barrabás” se tomó el último trago de la cerveza y se volteó a saludar a “Manuelito” (diminutivo para diferenciarlo de su padre) con una sonrisa cansada de repetir durante años la misma historia que, aunque lo hizo célebre, no llegó a sacarlo de la pobreza: él encontró el diamante más grande de Venezuela y uno de los más grandes del mundo.



**Jaime Huckson “Barrabás”. Foto colección de Eric Vandeville**

En el año 1988, quienes tuvieron la oportunidad de conocer personalmente a “Barrabás”, lo describen como un hombre que tenía poco más de 70 años, llevaba sombrero, una camisa casi transparente producto

de los años de uso y alpargatas en los pies. Pero a pesar de los años, era un hombre fuerte, fibroso, alto (de casi dos metros) y con la piel curtida por las duras jornadas de la minería a cielo abierto.



Jaime Huckson "Barrabás", foto tomada en Venezuela el 1 de Febrero de 1991. (Foto de Eric Vandeville / Gamma-Rapho vía Getty Images)

La historia del más famoso minero de Venezuela acaba el 1 de junio de 1992, en una pequeña casa con paredes de bahareque (barro), techo de palma y piso de tierra en la calle El Dorado, cuando lo sorprende un infarto fulminante en la más completa pobreza. Hoy en día, en la calle El Dorado se encuentra la Plaza La Mina, cuya figura central es un hombre con barba, bajito, de sombrerito, con pala, batea, suruca y perro que se supone es "Barrabás". Sin embargo, Pedro Vallés, nativo de Tumeremo, no lo reconoce como tal. La población se pregunta quien fue el escultor, pues no supo representar a Jaime Huckson "Barrabás".



Artículo de William Flores. Tomado de SPP, Publicación semanal del 30 de Septiembre al 6 de Octubre de 2024

Debemos reconocer su gran descubrimiento en la mina "El Polaco", que no solo puso a Venezuela en el radar de la minería de diamantes a nivel mundial, sino que también simbolizó el vasto potencial que aún yacía oculto en las profundidades de Guaniamo.

**AGRADECIMIENTOS**

Todo mi agradecimiento para Elizabeth Hernández y Omar Colmenares por el tiempo brindado en revisar el borrador de esta publicación.

**REFERENCIAS**

AÑEZ, G. 1985. **Exploración y evaluación de posibles depósitos diamantíferos en el Distrito Cedeño del Estado Bolívar.** Memoria I del Simposio Amazónico, Ministerio de Energía y Minas, Boletín de Geología, Publicación Especial Número 10, , Caracas, Venezuela, pp. 443 – 463.

"Barrabás", la historia del diamante más grande encontrado en Venezuela. <https://actualidad.rt.com/actualidad/282094-barrabas-diamante-encontrado-venezuela>

BBC Mundo 2014. **Imágenes de los diamantes venezolanos.** [https://www.bbc.com/mundo/economia/2009/05/090523\\_0453\\_galeria\\_diamantes\\_venezuela\\_irm](https://www.bbc.com/mundo/economia/2009/05/090523_0453_galeria_diamantes_venezuela_irm)

Boston Public Library. Boston Herald Traveler. **Cleaving the Libertador New York - Adrian Grasselli, who did the cleaving in the office of Harry Winston.** <https://www.digitalcommonwealth.org/search/commonwealth:r7820q47k>

CASTRO MORA, M. 2020. **Bibliographic References of Diamond Deposits in Venezuela.** <https://mariantoc.github.io/minerals.html#Biblio>

CEDEÑO, A. 2011. **Mina El Polaco.** Blog, septiembre 25, 2011. <https://textosyfotos.blogspot.com/2011/09/mina-el-polaco.html>

**Código Geológico de Venezuela 1997.** PDVSA INTEVEP

FERNANDEZ, A. 2015. **Barrabás de Buscador de diamantes a vendedor de aguardiente.** Octubre 2015. <https://ciudadbolivar1966.blogspot.com/2015/10/barrabas-de-buscador-de-diamantes.html>

FLORES, W. 2024. **El Diamante de "Barrabás" lo hizo famoso y millonario por un día.** SPP, Publicación semanal del 30 de Septiembre al 6 de Octubre de 2024

**Léxico Estratigráfico de Venezuela.** Dirección General Sectorial de SERVIGEOMIN, Dirección de Geología, Ministerio de Energía y Minas, República de Venezuela. Versión digital revisada de Agosto 2021, 1251 p. <https://www.academia.edu/96551124/LEXICO ESTRATIGRAFICO DE VENEZUELA VERSION DIGITAL>

**Liberator Diamond 2025.** Internet Stones.com. <https://internetstones.com/liberator-diamond-famous-jewelry.html>

MARTINEZ, M. 2018. **Lo llaman Barrabás y es el diamante más grande hallado en Venezuela.** El Ciudadano.com. <https://www.elciudadano.com/tendencias/lo-llaman-barrabas-y-es-el-diamante-mas-grande-hallado-en-venezuela/07/20/>

MORILLO, M. 2010. **Las crónicas de la frontera.** Blog, Domingo 15 de Agosto de 2010. <https://lascronicasdelafrontera.blogspot.com/2010/08/barrabas.html>

NAVARRO, E. J. 2018. **"Barrabás": La historia del diamante más grande encontrado en Venezuela.** RT Noticias, Julio 2018. <https://actualidad.rt.com/actualidad/282094-barrabas-diamante-encontrado-venezuela>

PASARRELLA, M. A. 2024. **El diamante de Barrabas, lo hizo famoso y millonario por un día.** Noticias SPP, Septiembre 2024. <https://soloparapoliticos.info/el-diamante-de-barrabas-lo-hizo-famoso-y-millonario-por-un-dia/>

PESTANA, A. 2021. **La historia de Barrabás: el diamante venezolano más grande de la historia (y que, al parecer, lo tiene la reina Isabel II).** OceanDrive, Venezuela, Agosto 2021. <https://oceandrive.com.ve/joyas-y-relojes/la-historia-de-barrabas-el-diamante-venezolano-mas-grande-de-la-historia-y-que-al-parecer-lo-tiene-la-reina-isabel-ii/>

SIDDLER G.B. & MENDOZA V. 1995. **Geology of the Venezuelan Guayana shield and its relation to the geology of the entire Guayana shield.** U.S. Geological Survey Bulletin 2124, B1-B41

THEMELIS, T. 1997. **Diamonds from Venezuela.** GemLab Report. November 1997. <https://orchid.ganoksin.com/t/gemlab-report-diamonds-from-venezuela/3347>



**Marianto Castro** es graduada en la Universidad Central de Venezuela en el año 1980; Master en Geología Sedimentaria en la misma universidad en 1983; Especialización en nannoplancton calcáreo en el programa Lagoven – Total CFP Burdeos, Francia - Centro Nacional de Investigación Científica, Orleans, Francia en 1989; Especialización en Proyectos de Gerencia de Ingeniería en el año 1997 en la Universidad Católica Andrés Bello.

Veintidós años de experiencia en la industria petrolera venezolana trabajando para Lagoven S.A. en el laboratorio de geología; Intevep S.A. como estratígrafo y encargada del Código Geológico de Venezuela; y Petróleos de Venezuela S. A. formando parte del equipo de trabajo de la Gerencia del Conocimiento.

Profesora en la Facultad de Ciencias, Escuela de Geoquímica de la Universidad Central de Venezuela

Diecinueve años de experiencia en Canadá en empresas mineras de exploración y en el sector financiero trabajando para Crystallex International Corporation, geólogo asistente del vicepresidente de exploración; U308Corp, gerente técnico de la base de datos y encargada de control de calidad de las muestras y Marrelli Support Services Inc., como oficial para el cumplimiento de pago o devolución de impuestos; revisión de documentación por parte del Gobierno de Canadá y revisión de reportes financieros a ser presentados por pequeñas empresas mineras (exploración) ante las autoridades competentes en Canadá.

Actualmente, consultor independiente; representante por Venezuela ante la Comisión Norteamericana de Estratigrafía y miembro de la Sociedad de Historia de las Geociencias en Venezuela.

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

## RÉGIMEN Y CONTAMINACIÓN POR ARSÉNICO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN MÉXICO: EL KARST DE ZIMAPÁN, HIDALGO, MÉXICO

Leslie F. Molerio-León  
INVERSIONES GAMMA, S.A.  
E-mail: [especialistaprincipal@gmail.com](mailto:especialistaprincipal@gmail.com)

### RESUMEN

Se comentan los resultados de un estudio preliminar sobre el karst de Zimapán y la contaminación por arsénico en las aguas terrestres destacando la restricción que el desconocimiento de la hidrodinámica del karst local impone a la gestión del saneamiento de fuentes naturales de aportes de arsénico.

### PALABRAS CLAVE

*Arsénico, contaminación, karst, Zimapán*

### ABSTRACT

The results of a preliminary study on Zimapán's karst and arsenic contamination is summarized emphasizing the restrictions that the poor knowledge of the local karst hydrodynamics imposes to the sanitation management of the natural sources of Arsenic

### KEY WORDS

*Arsenic, contamination, karst, Zimapán*

### INTRODUCCIÓN

Los efectos del arsénico sobre la salud de las personas pueden ser muy variados, pero el problema más representativo es el Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE). La enfermedad se caracteriza por producir lesiones en la piel y alteraciones sistémicas cancerosas y no cancerosas, luego de un período variable de exposición a concentraciones mayores de 0,01 mg/L en agua de consumo diario (Toujague y Molerio, 2013). A ello se une el excesivo calor de las zonas tropicales y subtropicales. Estos dos factores hacen que los adultos contraigan lesiones irreversibles que les incapacitan para el trabajo y que, ocasionalmente, les puede provocar la muerte. Los primeros síntomas suelen aparecer entre la pubertad y la edad adulta, aunque pueden emerger en edad escolar.

Las principales rutas de exposición de las personas al arsénico son la ingesta y la inhalación. El arsénico es acumulable en el organismo por exposición crónica y superados ciertos niveles de concentración puede ocasionar alteraciones de la piel (relajamiento de los capilares cutáneos y la dilatación de los mismos), lesiones dérmicas (neoplasias de piel), vasculopatías periféricas ("enfermedad del pie negro"), además de enfermedades respiratorias; neurológicas (neuropatías periféricas), cardiovasculares y diversos tipos de cáncer (pulmón, rincón, hígado, vejiga y de piel). Además, personas que ingieren de forma prolongada arsénico inorgánico, vía agua de bebida, pueden presentar hiperqueratosis palmo-plantar cuya manifestación principal es la pigmentación de la piel y callosidades localizadas en las palmas de las manos y pies.

Algunos estudios de toxicidad del arsénico indican que muchas de las normas actuales basadas en las guías de la OMS son muy altas, y plantean la necesidad de reevaluar los valores límites basándose en estudios epidemiológicos; por ejemplo, en Argentina se estima que el límite se debe reducir de 0,05 mg/l a 0,01 mg/l. En otros casos, podrían aumentarse dichos valores de acuerdo con las condiciones regionales. En América Latina ha podido apreciarse que, a niveles similares de arsénico en diferentes condiciones (climatológicas, de nutrición y otros), el nivel de afectación es diferente.

Según Armienta et al. (1995), en 1992 se detectó por vez primera presencia de arsénico (As) en las aguas subterráneas destinadas al consumo de la población de Zimapán, Estado de Hidalgo, México (Fig. 1). Las causas de ello son (Fig. 2): a) fuentes naturales, a partir de la oxidación de los minerales de arsénico presentes en las zonas de mineralización del acuífero calizo, con concentraciones de hasta 1 mg/L; b) lixiviación y arrastre de los depósitos de jales, con concentraciones de hasta 0,44 mg/L; c) fallout (inmisiones) y deposición en suelos con concentraciones de hasta 1500 mg/L y d) lixiviación de las fundidoras y beneficiadoras con concentraciones reportadas de hasta 0,53 mg/L en aguas y de 4000 mg/L en suelos. La normativa mexicana NOM-127-SSA1-1994 establece una tolerancia de hasta 0,05 mg/L para las aguas potables<sup>1</sup>. El baño con aguas que contengan arsénico está prohibido si las concentraciones superan los 0,5 mg/L.

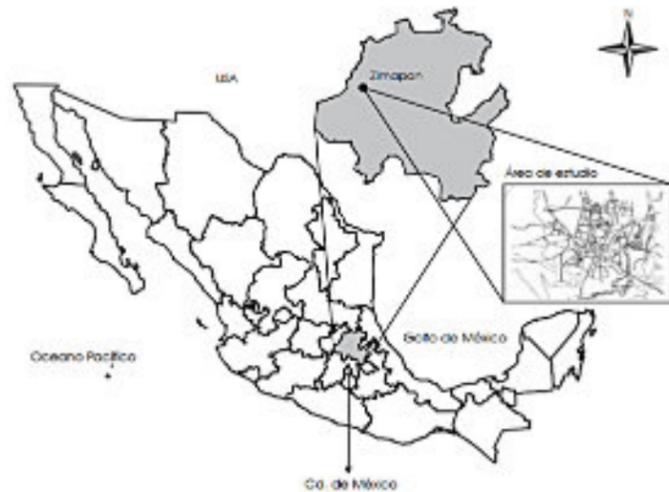


Fig. 1. Localización del área de estudio (Armienta et al., 1995).

Desde entonces, se han emprendido numerosas acciones de investigación y se han solicitado actuaciones políticas<sup>2</sup> sin que, hasta el momento, haya logrado revertirse la situación de calidad de las aguas terrestres, principalmente subterráneas.

La situación es de gravedad ya que, precisamente, las aguas subterráneas constituyen la única fuente de abastecimiento de agua para uso doméstico en el territorio y provienen básicamente; a) de un acuífero carbonatado de flujo difuso, escalonado en diferentes niveles y con diferentes fuentes de acumulación y transporte de arsénico y otros metales asociados, como plomo, hierro, vanadio, entre otros y b) de un acuífero somero, asociado a los depósitos aluviales de las terrazas de los ríos y que reciben aguas contaminadas de los jales (productos de relaves mineros).

La presencia de As y el complejo de metales asociados en las aguas subterráneas es básicamente geogénica; es decir, producto de las interacciones agua-roca que provocan la lixiviación de minerales cuando se dan las condiciones químicas y físicas adecuadas, de manera que están asociados a los procesos de concentración y migración de los minerales en el sistema geológico e hidrológico y se incorporan de manera diferenciada al ciclo hidrológico. Por otra parte, las acciones

<sup>1</sup> NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, Agua para Uso y Consumo Humano, Límites Permisibles de la Calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

<sup>2</sup> PUNTO DE ACUERDO, RELATIVO AL RIESGO AMBIENTAL Y DE SALUD POR LA PRESENCIA DE ARSÉNICO Y FLUORUROS EN LOS ACUÍFEROS DE ZIMAPÁN, HIDALGO, QUE PRESENTA EL DIPUTADO JESÚS SERRANO LORA A NOMBRE DEL GRUPO PARLAMENTARIO MORENA.

<https://www.google.com.mx/search?q=PUNTO+DE+ACUERDO%2C+RELATIVO+AL+RIESGO+AMBIENTAL+Y+DE+SALUD+POR+LA+PRESENCIA+DE+ARS%3C%89NICO+Y+FLUORUROS+EN+LOS+ACUIFEROS+DE+ZIMAP%3C%81N%2C+HIDALGO%2C+QUE+PRESENTA+EL+DIPUTADO+JES%3C%9AS+SERRANO+LORA+A+NOMBRE+DEL+GRUPO+PARLAMENTARIO+MORENA.&oq=PUNTO+DE+ACUERDO%2C+RELATIVO+AL+RIESGO+AMBIENTAL+Y+DE+SALUD+POR+LA+PRESENCIA+DE+ARS%3C%89NICO+Y+FLUORUROS+EN+LOS+ACUIFEROS+DE+ZIMAP%3C%81N%2C+HIDALGO%2C+QUE+PRESENTA+EL+DIPUTADO+JES%3C%9AS+SERRANO+LORA+A+NOMBRE+DEL+GRUPO+PARLAMENTARIO+MORENA.&qs=chrome..69157.2147140j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

antrópicas conducen a la alteración del equilibrio natural y a la concentración en niveles no deseados o que pueden producir contaminación en sitios no previstos o inadecuados.

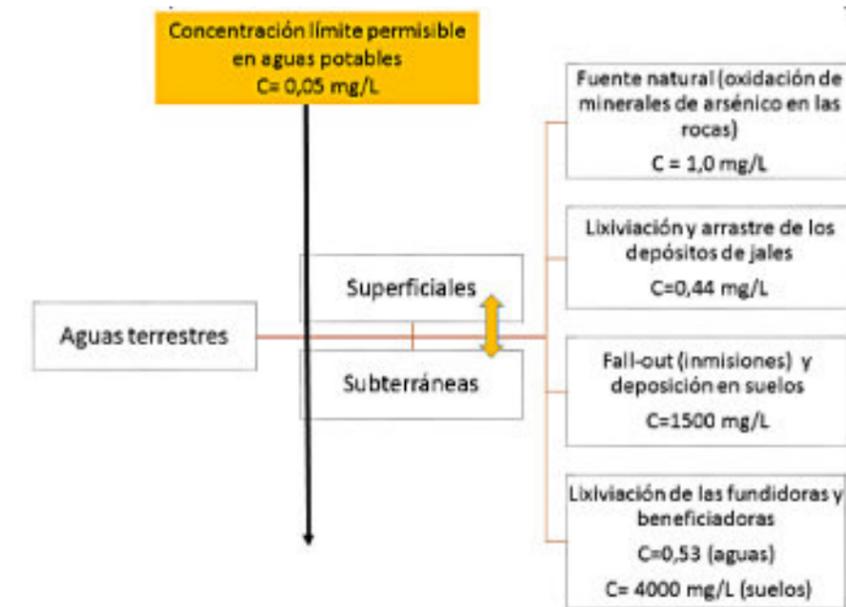


Fig. 2. Causas locales de la contaminación de las aguas terrestres por arsénico (se señalan las detectadas en cada cuadro de las fuentes, resumido de Armienta et al., 1995 y García, 1997).

## EL ENTORNO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO

La Sierra Madre Oriental en Hidalgo está compuesta por un apilamiento de rocas mesozoicas (principalmente calizas y lutitas) plegadas durante la Orogenia Larámida (Cretácico-Paleógeno). Esta estructura favorece la formación de sistemas cársicos en las calizas competentes (como la Formación El Doctor), mientras que las lutitas actúan como barreras impermeables.

El acuífero Zimapán se encuentra en el límite de las provincias fisiográficas de la Sierra Madre Oriental, que abarca principalmente las porciones norte y centro del Estado de Hidalgo (Fig. 3), constituida por rocas del Mesozoico, plegadas y cortadas por profundos cañones, como los de los ríos Moctezuma, Tolimán y Amajac, así como por sierras altas muy abruptas, con alturas que varían entre 1750 y 2750 metros sobre el nivel del mar (Fig. 4) orientadas NW-SE y la Mesa Central, que abarca una parte del municipio de Zimapán, constituida por una planicie de pendiente suave y relieve ondulado (Fig. 5) en el que se alternan crestas y depresiones (CONAGUA, 2015). El acuífero está limitado por otros sistemas acuíferos interiores al norte el acuífero Huasteca Potosina en los estados de San Luis Potosí y Querétaro; al noroeste con el acuífero Tolimán; al oeste con el acuífero Moctezuma y al suroeste con el acuífero Valle de Cadereyta, en el estado de Querétaro y, Huichapan-Tecozautla, y al sur y al este con los acuíferos Ixmiquilpan y Orizatlán, estos tres últimos en el propio estado de Hidalgo (Fig. 6).

Las unidades estratigráficas presentes son las siguientes (INEGI, 2010; DOF, 2015; CONAGUA, 2015):

**Formación El Doctor** (denominada por algunos autores Calizas El Doctor). Calizas relativamente puras de textura variada, dividida en dos facies litológicamente distintas. La primera de ellas se caracteriza por ser de color gris claro a crema, en capas muy potentes, con o sin lentes de pedernal, algunas intercalaciones de dolomita y capas delgadas de lutita (el Banco de Ixmiquilpan, en facies Cerro Ladrón); y la segunda que consiste de capas más delgadas, también con intercalaciones de lutita, donde las capas son de menor espesor (facies en la cantera Muhi de Zimapán). A esta unidad se le ha asignado una edad del Albiano-Cenomaniano en base a su fauna de microfósiles, ammonites, equinodermos y

peces, cuyos cuerpos fueron sepultados en el fondo de una cuenca marina, bajo condiciones de poca oxigenación y, posiblemente, alta salinidad y aflora en la parte centro- septentrional del área, con una potencia de 900 m. que se adelgazan lateralmente (Segertsom, 1962; González-Rodríguez et al., 2009). La parte superior de la unidad se corresponde con la **Fm Tamaulipas** (Fig. 7).

Las aguas subterráneas de este sistema son las que se explotan preferentemente mediante pozos de compleja construcción debido a las intercalaciones con rocas de diferente acuosidad. Las aguas someras en la misma unidad se explotan preferentemente por norias.

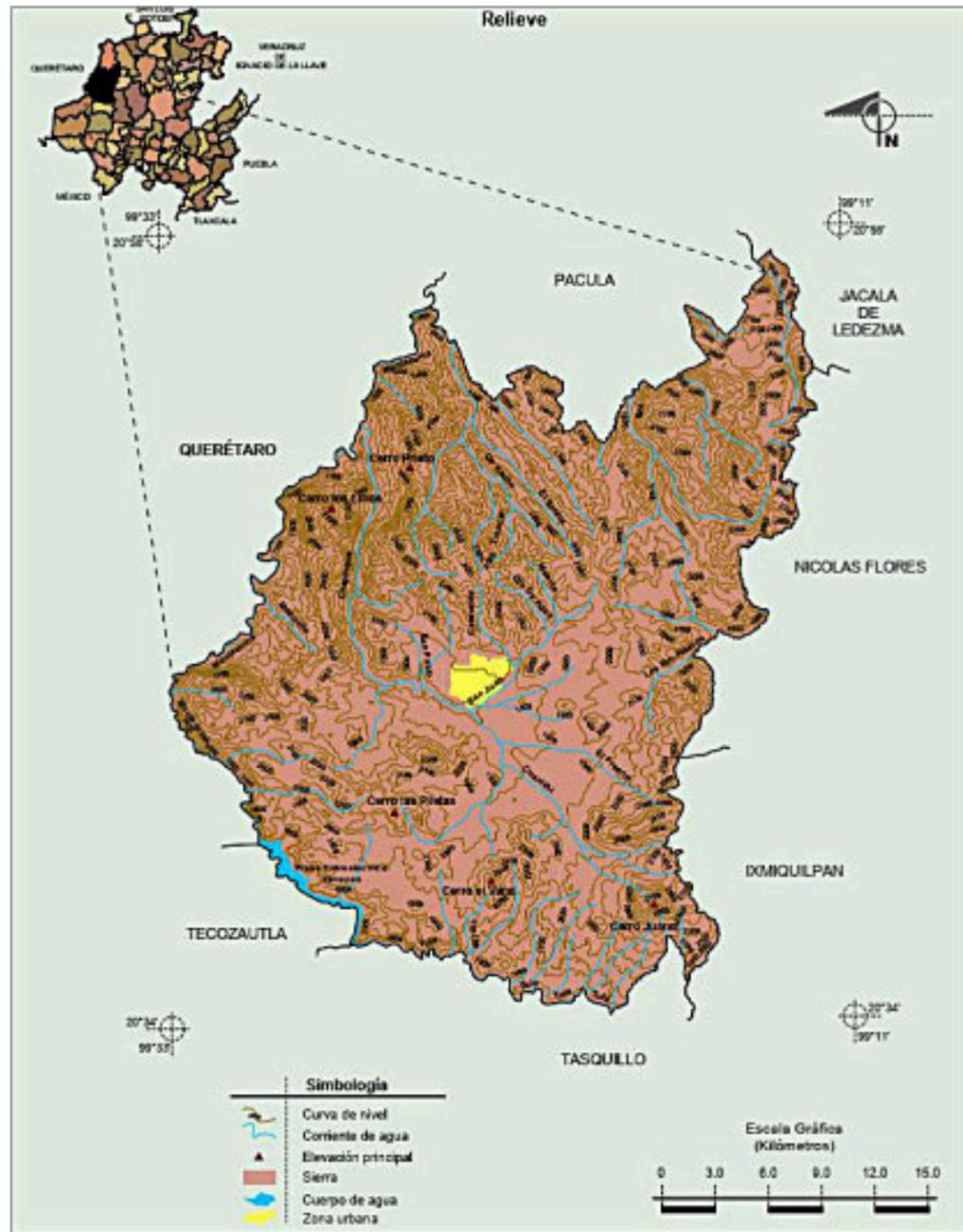


Fig. 4. Cañones fluviales excavados en rocas carbonatadas en la zona montañosa de la parte media de la cuenca (Cañón del río Tula, Foto del autor).



Fig. 5. Relieve ondulado de las zonas interiores del acuífero Zimapán (Foto del autor).

Fig. 3. Localización del acuífero en el Estado de Hidalgo y relieve general del terreno (INEGI, 2010).

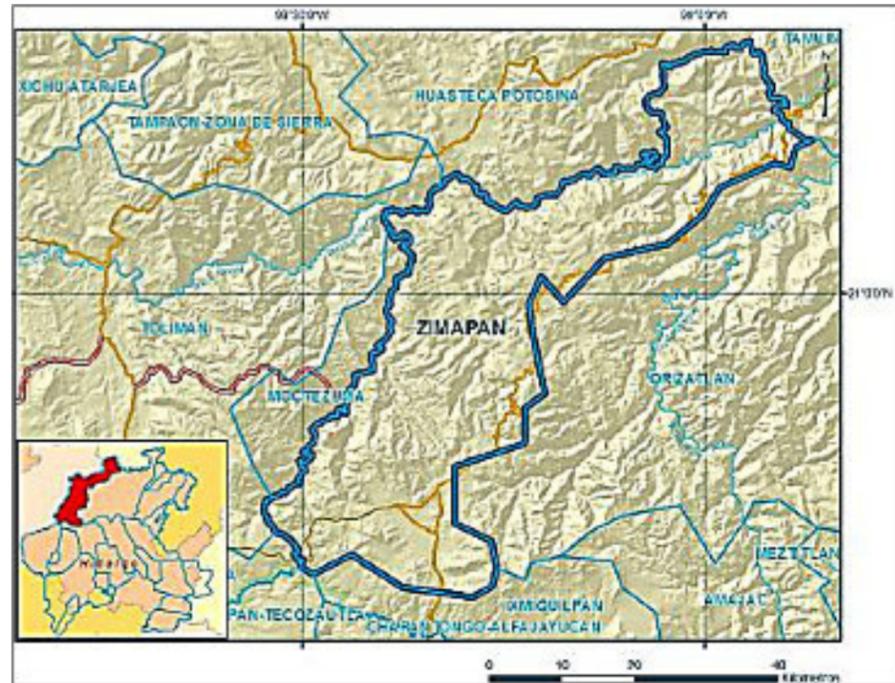


Fig. 6. Límites del acuífero Zimapán (CONAGUA, 2015)



Fig. 7. Pliegues de tipo chevron de calizas con intercalaciones de pedernal de la Formación Tamaulipas en las márgenes del río Tolimán (Foto Corona-Esquivel y Sánchez-Loyo, 2023).

Las **Fms El Doctor, Tamabra, El Abra y Tamaulipas** son aparentemente sincrónicas y se consideran representativas de ambientes peri-arrecifales (González-Rodríguez, 2009). Estos autores opinan que La formación El Abra es una secuencia arrecifal y de plataforma interna sinónima de El Doctor en el estado de Hidalgo, particularmente referida a la facies Cerro Ladrón. Según ellos, Tamabra comprende depósitos de pie de talud con bioclastos de rudistas que podrían ser equivalentes en edad a El Doctor/Abra si se demuestra contemporaneidad, siendo portadora de elementos fósiles transportados desde arrecife y plataforma, pertenecientes al Cretácico medio. Tamaulipas suprayace a la formación Huayacocotla y subyace a las formaciones Soyatal-Mexcala-Méndez en el noroccidente. Es correlacionable mediante microfósiles con las formaciones El Abra, Tamabra y Cuesta del Cura.

**Formación Soyatal.** Esta formación, conformada por calizas arcillosas de color gris oscuro en capas de espesor mediano a delgado, compactas, con intercalaciones de arcilla y sin pedernal, yace sobre las calizas El Doctor en la parte norte de la zona, aparentemente con discordancia angular. La localidad tipo de esta formación muestra conglomerados calcáreos, capas de caliza de grano más fino y lutita calcárea. A esta unidad se le asigna una edad del Turoniano. Soyatal es una secuencia marina tipo flysch de lutitas, margas y calizas alternadas con estratos formados por pliegues sinsedimentarios y estructuras nodulares.

**Formación Mezcala.** Esta unidad se encuentra suprayaciendo a la Formación Soyatal, y está formada por capas interestratificadas de lutita, limolita calcárea, margas con areniscas y delgadas capas de calizas. La edad de la Formación Mezcala puede ser equivalente a la de la parte superior de la Formación Soyatal, siendo ésta del Conaciano-Santoniano. Sus afloramientos se encuentran principalmente en las proximidades de Mixquiahuala.

**Grupo El Morro.** Este grupo está compuesto por rocas de diverso origen y estructura. Conglomerados calizos bien cementados y con una matriz rojiza, que suprayacen a las rocas marinas con gran discordancia angular y erosiva. El grupo también comprende lavas y tobas andesíticas y basálticas, intercaladas localmente con los conglomerados que afloran en la zona de Zimapán. A esta unidad de origen continental, le corresponde una edad del Eoceno Superior y Oligoceno Inferior; su espesor máximo encontrado es en las inmediaciones del distrito minero de Zimapán, alcanzando los 400 metros, aunque en algunas localidades es probable que no sobrepase unas cuantas decenas de metros.

**Formación Tarango.** Esta formación está constituida por depósitos de clásticos aluviales y lacustres, con intercalaciones de tobas, brechas y derrames de basalto. Está ampliamente expuesta en toda el área sur de la zona del acuífero. Su máximo espesor, observado en restos de terrazas altas en las cercanías de Ixmiquilpan y Tasquillo, es superior a los 400 metros, acuñándose hacia los flancos de las colinas y montañas. Por correlación estratigráfica, se determinó que esta formación pertenece al Plioceno Superior.

**Depósitos Clásticos del Pleistoceno y Reciente.** Dentro de esta unidad se incluyen limos, arcillas, arenas y aluviones de origen fluvial, aluviones con material clástico, cenizas volcánicas, conglomerados, depósitos de talud y otros materiales derivados de rocas preexistentes. El espesor de estos depósitos es reducido, siendo generalmente del orden de decenas de metros. Algunos de los afloramientos de estos depósitos se encuentran en las proximidades de Ixmiquilpan (Fig. 8).



Fig. 8. Terrazas aluviales pleistocenas (Foto del autor).

Los principales elementos geológicos estructurales de la región están representados por anticlinales, sinclinales, fallas, fracturas y estructuras volcánicas. Estos elementos estructurales se aprecian en la parte norte de la entidad, en donde las rocas del Mesozoico que se encontraban cubiertas por el mar, fueron deformadas por efectos tectónicos de la Orogenia Larámida, primero las rocas fueron plegadas y falladas por fuerzas de compresión y posteriormente por fallamiento de extensión que actuaron entre fines del Cretácico y principios del Paleógeno-Neógeno, este tipo de fallamiento fue acompañado de fracturamiento y dio lugar a la formación de profundas cañadas (Fig. 9).

Las rocas que constituyen los acuíferos poco o muy localmente productivos se corresponden con la **Fm Soyatal** (Turoniano), compuesta por calizas arcillosas de color gris oscuro en capas de espesor mediano a delgado, compactas, con intercalaciones de arcilla y sin pedernal, que suprayace parcialmente a las calizas El Doctor en aparente discordancia angular. Sobre Fm Soyatal se encuentran los materiales terrígenos interestratificados de lutita, limolita calcárea, margas con areniscas y delgadas capas de calizas de la **Fm Mexcala** (Fig. 9).

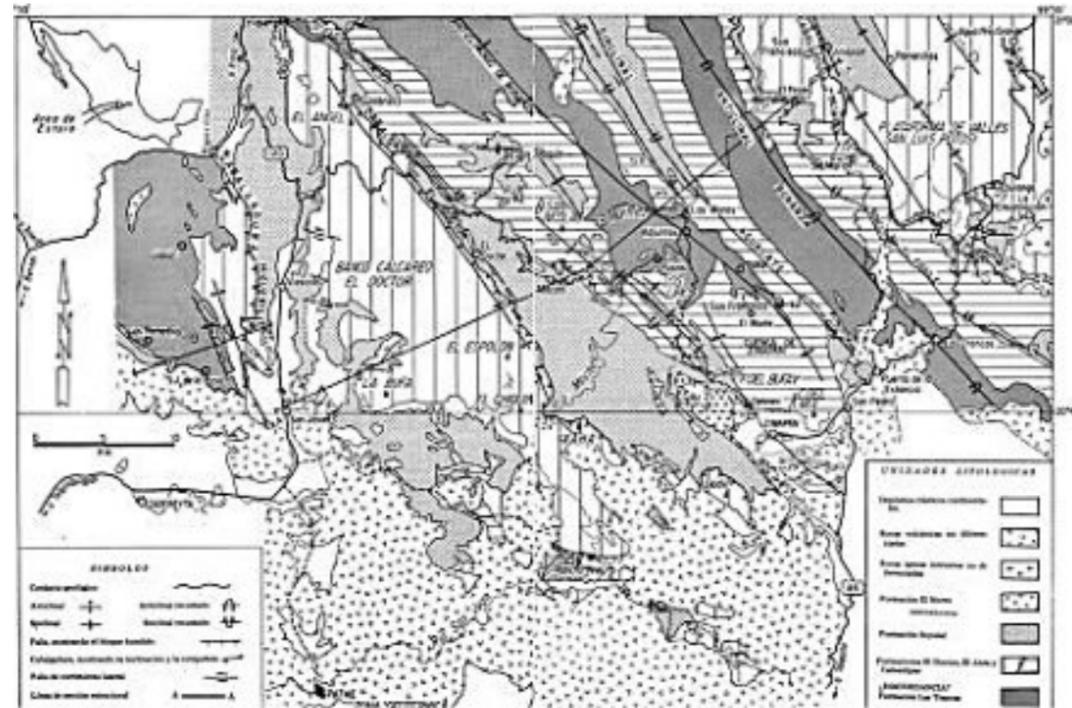


Fig. 9. Mapa geológico general del área de estudio (Corona-Esquivel y Sánchez-Loyo, 2023).

## LOS SISTEMAS ACUÍFEROS

Dominan dos sistemas de flujo subterráneo. Uno, el **sistema acuífero cársico**, de flujo difuso, libre, heterogéneo y anisotrópico, donde las aguas yacen a profundidad variable pero que llega a alcanzar el centenar de metros. El sistema está poco estudiado, pero constituye la fuente natural más importante de Arsénico en las aguas subterráneas.

Las rocas acuíferas pertenecen básicamente a las formaciones El Doctor, Tamaulipas y Tarango, que constituye la fuente de agua subterránea aprovechada por la mayoría de las captaciones existentes dentro de la zona. Las formas cársicas y paleocársicas se desarrollan preferentemente en rocas de estas unidades. Las rocas están densamente fracturadas y carsificadas, dominando en ello el patrón de agrietamiento que, a su vez, condiciona el desarrollo de las zonas altamente transmisivas. *“La dirección de flujo para la Formación el Doctor es de NE-SW descendiendo de la porción occidental de la Cabalgadura y para la Formación Tamaulipas Superior es de NW-SE proveniente de las calizas flanqueadas por las barreras laterales y norte de las formaciones Soyatal y Trancas. Las rocas cretácicas y jurásicas forman estructuras muy deformadas, cuyo plegamiento, fallamiento y erosión afectan la continuidad de las calizas acuíferas y controlan la*

*circulación del agua subterránea”* (DOF, 2015) y descargan mediante manantiales de flujo concentrado de nivel de base. La unidad es altamente productiva y descansa, cabalgando, sobre la Fm Soyatal, que actúa regionalmente como base de menor permeabilidad y de muy baja productividad. Este acuífero es también muy heterogéneo y de transmisividad variable (DOF, 2015).

El otro acuífero dominante es de tipo granular, clave 1301, y también es de tipo libre, de flujo difuso, heterogéneo, de transmisividad variable, pero en general, isótropo. Este acuífero está constituido por materiales aluviales de extensión lateral reducida y espesor máximo de 150 a 200 metros en la parte baja del valle. DOF (2015) considera que *“en las inmediaciones de las corrientes superficiales, los materiales aluviales constituyen acuíferos de reducida extensión y espesor, los cuales funcionan como acuíferos libres y a su vez como fuentes de recarga de la Formación Tarango. En las partes bajas de la zona, esta formación y los depósitos aluviales están hidráulicamente intercomunicados; en cambio, es probable que en las partes altas aquellos depósitos formen acuíferos colgados”*.

Las aguas subterráneas yacen a profundidades muy variables, en dependencia del control litológico y estructural. Así, en los aluviones y las rocas aluvio-coluviales de Fm Tarango, que se captan en norias las aguas se encuentran entre 1 y 5 metros de profundidad, en obras en los cauces y planos de inundación, las aguas yacen a profundidades mayores, que pueden llegar hasta la veintena de metros. Ya en el acuífero, las profundidades pueden llegar a los 100 metros.

De acuerdo con CONAGUA (2015) las equipotenciales bordean el valle con elevación de 900 msnm, y se concentran en su parte oeste con una elevación de 1660 msnm en las inmediaciones del río. Las líneas de flujo tienen una dirección de norte a sur en la porción noroeste del valle, y de sur a norte en la parte sureste. La componente principal de las líneas de flujo es de este a oeste, esto debido a las características hidrogeológicas más favorables de las rocas volcánicas, que permiten la infiltración y por tanto la recarga de agua subterránea. Una componente al sureste del valle con cota piezométrica de 2000 msnm y que tiene una dirección de flujo hacia el noroeste, muestra una entrada de agua subterránea importante, el gradiente hidráulico condicionado por la topografía a su vez es condicionado por la baja permeabilidad y por un espesor que no es superior a los 100 m en los bordes del valle y que se incrementa hasta 200 en la parte central al sur de la ciudad de Zimapan (Fig. 10). La dirección de flujo para la Formación el Doctor es de NE-SW descendiendo de la porción occidental de la Cabalgadura y para la Formación Tamaulipas Superior es de NW-SE proveniente de las calizas flanqueadas por las barreras laterales y norte de las formaciones Soyatal y Trancas.

Las transmisividades son muy bajas, según los escasos datos de ensayos de caudal disponible y no sobrepasan los 5 m<sup>2</sup>/día. Ello lleva, en general, a una productividad muy baja del acuífero y a que pozos con rendimientos superiores a los 50 lps no sean comunes. Excepciones, sin embargo, se han encontrado, como el caso del pozo El Muhi, al noreste de Zimapan, con 190 m de profundidad y la otra al noroeste, Pozo Detzani (Fig. 11). Durante nuestra campaña, el abatimiento en este pozo era de 37 m, con un caudal de 22 lps pero con una muy baja calidad de las aguas (con presencia de As, F, Pb y un sistemático incremento de Cl).

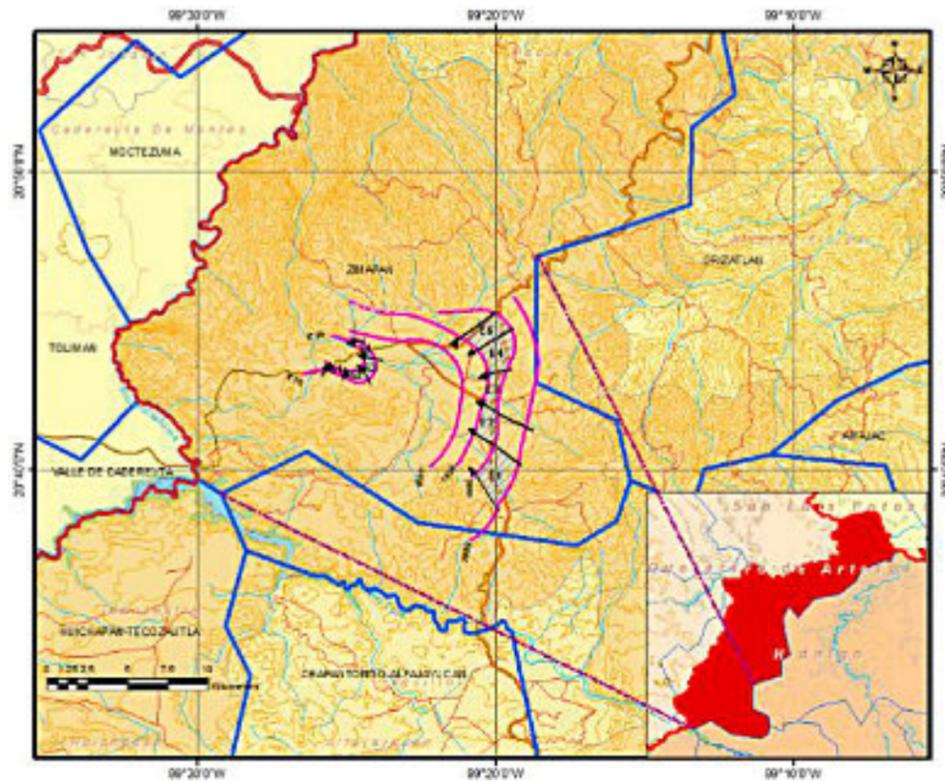


Fig. 10. Piezometría general del acuífero Zimapán (CONAGUA, 2015)



Fig. 11. Detalle del brocal y ductos de bombeo de uno de los pozos profundos de abastecimiento a la ciudad de Zimapán (Fotos del autor).

**KARST Y PALEOKARST**

El karst está reportado en publicaciones aisladas, pero, en general, muy poco estudiado. Existen algunas informaciones de sistemas de cavidades exploradas publicados por la Unión Mexicana de Agrupaciones Espeleológicas (UMAEE) pero que no contienen mucha información geológica o hidrogeológica (Bernal et al., 1990; Miguel –Nieto, 2013; Veni, 1985, 2021;

Mendoza y Miguel-Nieto, 2020, 2021). La Formación El Doctor es famosa en México por albergar sistemas cársticos (cuevas, sótanos y ríos subterráneos) en regiones de los estados de Querétaro, Hidalgo y San Luis Potosí.

Sistemas de cuevas verticales, llamadas Sótanos en México, algunas de notable profundidad e incluso de apreciable desarrollo horizontal, funcionan como vías de recarga natural de las aguas subterráneas desde cotas cercanas a los 3000 m, como los Sótanos de La Laguna<sup>3</sup>, el Perro Vivo, El Encanto (-187 m; Fig. 12), de Beltrán (-87 m; Fig. 13), Resumidero de Justina Vite (-150 m y 425 m de longitud publicados), la Caverna de San Bartolo Tututepec (437 m de desarrollo horizontal publicado), La Palmilla (-146 m), Los Paranoicos (-108 m), P. 106 (-106 m), de Molina (-105), Rojo Profundo (-104 m).

A unos 15 km al noreste de Zimapán (coordenadas aproximadas: 20.75°N, 99.38°W) se halla la Cueva de los Riscos, predominantemente horizontal, el Sótano de Tolimán, una sima con caída libre de aproximadamente 180 m, en las cercanías del pueblo de Tolimán, a 30 km al sur de Zimapán, las Grutas de Xoxafi y el Sistema Huapalcalco. Los cañones fluviales donde se encuentra la Presa Zimapán y el Cañón del Infiernillo –en Fm Taraíses– exhiben en sus acantilados cuevas horizontales, de drenaje convergente o de sapeamiento lateral muy poco exploradas.

Las Grutas de Tolantongo son un caso de karst hidrotermal donde alternan fuente de aguas calientes y frías (Veni, 1985, 2021, com.pers. 2023). Según este autor, se trata de un manantial cárstico hidrotermal que descarga unos 8 m<sup>3</sup>/s, de la cueva emisiva principal y los restantes de descargas difusas. La temperatura es de 40°C debida a la circulación de hasta 2,2 km de profundidad de aguas originalmente con 83°C en el Sinclinal Chalmita, paulatinamente enfriadas en su ascenso a la superficie por la mezcla adicional con aguas no termales. Los límites de ese sistema acuífero no están claros y se observa un notable desbalance entre la recarga y la descarga de las aguas subterráneas. Fenómenos de karst hidrotermal y de formas combinadas de karst epi e hipogénético son comunes en México, asociadas, particularmente, a la litología y estructura geológica de los carbonatos que constituyen la Sierra Madre Oriental como es el clásico ejemplo del karst de Cuatro Ciénegas, al norte, en Coahuila (Piccini et al., 2007).

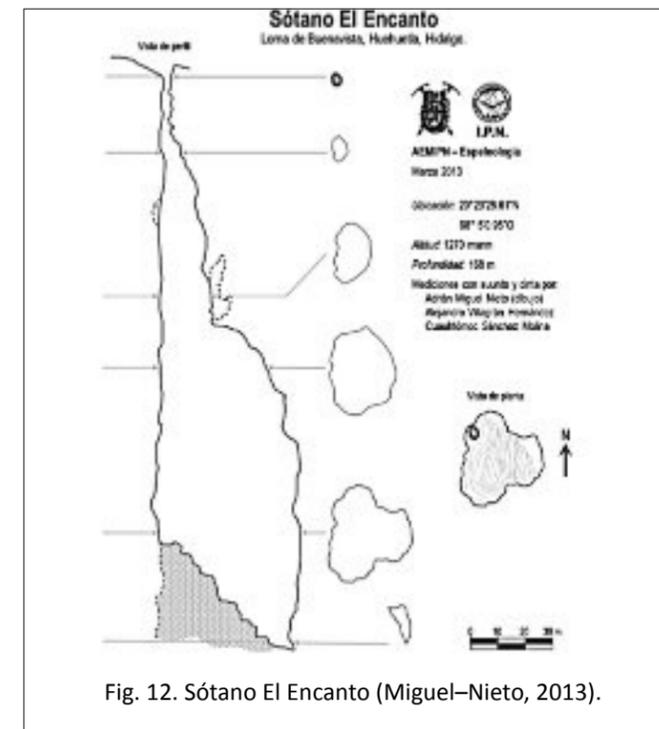


Fig. 12. Sótano El Encanto (Miguel–Nieto, 2013).

<sup>3</sup> Los datos de profundidad y longitud es muy probable que estén desactualizados, pero no se han encontrado referencias o topografías más recientes de las cavidades mencionadas

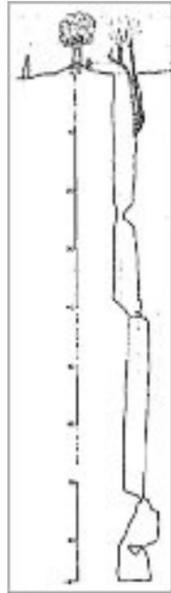


Fig. 13. Sótano de Beltrán (Mendoza y Miguel-Nieto).

En la Fm Soyatal se encuentra la Cueva de la Esperanza, un sistema semi-horizontal con depósitos arcillosos que desarrolla un karst en capas, en un corte de lutitas y margas con intercalaciones de calizas y en Fm Tamaulipas se desarrollan las pequeñas Grutas de Xoxafi, de importancia arqueológica.

#### EL PROBLEMA Y LA APROXIMACIÓN A LAS SOLUCIONES DE LA CONTAMINACIÓN POR ARSÉNICO

La contaminación de las aguas terrestres y o suelos por arsénico es un problema mundial, por lo que existe una abundantísima literatura sobre la geoquímica del arsénico y sus productos y numerosas tecnologías, bien probadas, para su remoción y la solución en los medios involucrados (suelos y aguas). Las limitaciones de su aplicación son de tipo político, conceptual y financiero. El tema político es de obligada consideración puesto que es un serio problema de salud en muchas localidades y se requiere de la voluntad de los gobiernos para velar por la calidad de las aguas contaminadas por arsénico que provienen de la minería y la industria. Disponer de un aparato de vigilancia fuerte, preparado y honesto, es fundamental. El problema conceptual, amplio, es derivado de las investigaciones de base y el monitoreo ambiental, en el sentido que se requieren de inversiones adecuadas para identificar las fuentes, los focos específicos de descarga de aguas con arsénico y el conocimiento del régimen hidrológico y la vigilancia ambiental. El tema financiero es transversal, pues se requiere de soporte para diseñar, programar, ejecutar las investigaciones y las soluciones correspondientes.

No pocos investigadores han dedicado un gran esfuerzo de investigación y a la solución de los problemas de contaminación por arsénico en las aguas terrestres de la cuenca de Zimapán, por lo que el conocimiento adquirido en el área no es una restricción (Armienta y Rodríguez, 1995, 1996; Armienta et al., 1997; Méndez, 2001; Pérez et al. 2003; Castro, 2006; Núñez et al., 2010; Aragón-Sulik, et al., 2015; Macedo et al., 2017), como tampoco en otros sitios de México (Quintana, 2007), en el Valle del Rift (Rango et al., 2013) o en Cuba (Toujague y Molerio, 2013; Molerio y Toujague, 2014; Molerio, 2018).

Zimapán es conocido por ser uno de los focos de contaminación por arsénico (As) más graves en México, con niveles que históricamente han superado los límites permitidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (10 µg/L). La contaminación proviene de fuentes naturales y antropogénicas, y su presencia en formaciones cársicas (calizas) complica su gestión.

Principales focos de contaminación por arsénico en Zimapán son:

- Residuos mineros históricos derivados de la minería de plata, plomo y zinc (activa desde el siglo XIX hasta 1990) en las minas "El Monte" y "Lomo de Toro";, así como depósitos de jales (residuos mineros) con altas concentraciones de arsénico (hasta 1,000 mg/kg) que afectan los acuíferos y el río Zimapán por lixiviación de arsénico (Fig. 14).



Fig. 14. Depósitos de jales en los alrededores de Zimapán (Foto del autor).

- La Presa Zimapán (Embalse Fernando Hiriart Balderrama), donde existe una acumulación de sedimentos con arsénico proveniente de la cuenca del río Zimapán, con niveles de hasta 300 µg/L en agua superficial (superando 30 veces el límite de la OMS)
- Las aguas subterráneas de los acuíferos cársicos, que constituyen una fuente geológica natural asociada a los carbonatos de la Formación El Doctor que contienen minerales arsenopirita y realgar, que liberan arsénico al agua subterránea por oxidación y se identifican en pozos de las comunidades El Muhí, Taxhidó y Toxhi. Los tenores de arsénico en las aguas subterráneas, dependiendo de la temporada, oscilan entre 50-500 µg/L
- Suelos agrícolas están afectados por riego con agua contaminada por arsénico que se acumula en cultivos como maíz y frijol

Las alternativas de mejoramiento de la calidad de las aguas han pasado por las siguientes tecnologías y métodos:

1. Inversión en plantas potabilizadoras con tecnología de ósmosis inversa como en las comunidades de El Muhí y Toxhi o filtros de adsorción con óxidos de hierro y aluminio, que han logrado reducir el arsénico a <10 µg/L en agua tratada. Esta tecnología exhibe, obviamente, un alto costo de mantenimiento y dependencia de energía eléctrica (Fig. 15)
2. La contención de jales mineros mediante cubiertas geosintéticas en depósitos de relaves o barreras reactivas con hierro para inmovilizar arsénico que han logrado una reducción parcial de la lixiviación, pero persisten fugas en épocas de lluvia
3. La implementación de un sistema de monitoreo y alerta temprana implementados por la Comisión Nacional del Agua (CNA) y la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) que miden arsénico en agua periódicamente
4. Establecimiento de programas de educación ambiental que conducen a una sensibilización comunitaria para evitar consumo de agua no tratada.
5. Alternativas de solución para el abastecimiento de agua potable mediante la adecuada exploración hidrogeológica para la proyección y construcción de pozos profundos en acuíferos no contaminados, como el de Tula

6. Evaluación integral de la problemática de la gestión de los recursos hídricos locales y regionales para identificar y resolver los eventuales conflictos por sobreexplotación de las aguas

Nuestras investigaciones en la región se orientan a mejorar los modelos de gestión basados en análisis de la hidrodinámica del proceso de adquisición de la composición química y la calidad de las aguas, la relación hidráulica y geoquímica entre los diferentes paquetes de rocas carbonatadas y las relaciones hidráulicas entre los diferentes complejos de rocas y, particularmente el papel de karst y del paleokarst.



Fig. 15. Planta potabilizadora para eliminación de arsénico Dra. María Aurora Arrieta Hernández en Zimapán (Foto del autor).

Las calizas de la Formación El Doctor son un foco crítico de contaminación natural por arsénico debido a su naturaleza geológica. Pero el desarrollo del karst sobre sistemas que por sí mismos son heterogéneos y anisotrópicos complica en extremo la gestión del recurso hídrico. El conocimiento de los límites de los sistemas locales de flujo que integran todo el dominio de flujo vertical y horizontal es imprescindible para reducir la incertidumbre en la evaluación y protección del recurso y de los consumidores.

El karst exhibe serias limitaciones para su descontaminación por métodos tradicionales (Harper y Wikham, 1992; Wasay et al., 1996), en el caso de Zimapán se conoce que el propio proceso de carsificación activo en la actualidad produce una oxidación natural de sulfuros en zonas de como en la Cueva de los Riscos, que libera arsénico al agua. Aclarar el control geológico en el origen y migración del arsénico es fundamental para cualquier medida de saneamiento y protección del acuífero. Definir el modo de propagación y las formas en que las diferentes especies de compuestos de As aparecen, en dependencia de su movilidad geoquímica es casi el primer paso para definir su propagación y evaluar la posibilidad de la atenuación del problema. Experiencias relevantes, sin embargo, en otras regiones cársticas se han mostrado los beneficios de la adsorción in situ, basados en la inyección de materiales adsorbentes, como hidróxidos de hierro en zonas de flujo preferencial para retener arsénico, el uso de Barreras Reactivas Permeables (PRB) en zanjas con mezclas de hierro granular y carbón activado para interceptar flujos contaminados y la gestión de la recarga.

#### NOTA FINAL

Aunque se han logrado avances, la contaminación por arsénico en Zimapán sigue siendo un problema crítico, agravado por la complejidad geológica de las formaciones cársticas. La solución requiere enfoques multidisciplinarios que combinen tecnología, políticas públicas y participación comunitaria. La aplicación de tecnologías innovadoras, como el uso de nanopartículas de hierro para adsorber arsénico en acuíferos, la fitorremediación con plantas como *Pteris vittata*

(helecho que acumula arsénico) en nada separados de la gestión integral de los recursos hídricos con un enfoque de coordinación entre autoridades políticas, la academia, las compañías mineras y las comunidades pero, sobre todo, un vuelco intenso al conocimiento del karst local; sobre todo, para la cartografía de las redes de flujo subterráneo, las capacidades de autodepuración y el mapeo de zonas cársticas con mayor riesgo de liberación natural de arsénico.

La descontaminación de arsénico en acuíferos cársticos ha sido abordada en varios países, especialmente en regiones con alta dependencia de aguas subterráneas e hidrogeología dominada por el karst (Croacia, Eslovenia, Cataluña, País Vasco, Yunnan y Guizhou, en China, Florida y Texas, en Estados Unidos, Drackensberg en Sudáfrica y Queensland, en Australia, entre otros). Las experiencias en la India, aunque no se trata de terrenos cársticos son referentes de la descontaminación de arsénico. En México, la descontaminación de arsénico en acuíferos cársticos es un desafío crítico debido a la complejidad hidrogeológica de estos sistemas (porosidad secundaria, flujos rápidos y alta vulnerabilidad a la contaminación). Aunque los casos documentados específicamente en ambientes cársticos son limitados, existen experiencias relevantes en acuíferos contaminados por arsénico, tanto de origen geogénico como antropogénico, que pueden extrapolarse a contextos cársticos. Antecedentes importantes son las investigaciones sobre movilidad de arsénico en acuíferos cársticos de Yucatán, vinculando geoquímica y flujos subterráneos (Rodríguez Meléndez, 2018), el desarrollo de nanocompuestos de óxido de hierro para remoción de arsénico en aguas subterráneas, probados en laboratorio, la evaluación de riesgos en acuíferos cársticos en Yucatán (Torres et al., 2014). El monitoreo con IoT (Internet of Things, Internet de las Cosas) y el uso de modelos predictivos es particularmente robusto.

Indudablemente, México cuenta con experiencia en descontaminación de arsénico en acuíferos aluviales y volcánicos, pero su aplicación en sistemas cársticos es incipiente. La combinación de **adsorción in situ, gestión de la recarga y tecnologías de monitoreo inteligente** (IoT + modelos predictivos) podría ser clave. Proyectos colaborativos entre academia, gobierno y comunidades locales son esenciales para escalar soluciones en regiones cársticas como Yucatán, donde el arsénico aún no es un problema masivo, pero que requiere prevención adecuada.

#### RECONOCIMIENTOS

Por su amable cooperación en esta investigación deseamos expresar nuestro agradecimiento a los siguientes amigos, y colegas Martín Díaz, Oscar Escolero, Enrique García Rivero, Susana Gómez, Ismael Herrera Revilla, Juan A. Montañón Hirose, Víctor Hugo Peña Ponce, Mónica Ponce, George Veni, Germán Yañez, Enrique León y Pedro Jiménez y a las siguientes instituciones: Gobierno Local del Estado de Hidalgo, Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas de la Universidad Nacional Autónoma de México (IIMAS-UNAM), Unión Mexicana de Agrupaciones speleológicas (UMAE), la Association for Mexican Cave Studies (AMCS).

#### REFERENCIAS

- Aragón-Sulik, Manuel, Oscar Escolero Fuentes, Susana Navarro Mendoza, Margarito Ortiz Guzmán (2015): **Distribución geográfica de arsénico en acuífero de los Valles Centrales de Oaxaca, México**. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, XXXVI (1), Ene-Abr 2015:102-110
- Arrieta, M. A. y C., R. Rodríguez (1995): **Evaluación de Riesgo Ambiental debido a la presencia de Arsénico en Zimapán, Hidalgo**. Memoria final. Instituto de Geofísica UNAM, Fund. Mapfre, España, 42:
- Arrieta, M. A. y C., R. Rodríguez (1996): **Arsénico en el valle de Zimapán (México). Problemática ambiental**. Mapfre Seguridad 63. Tercer Trimestre 1996:33-43
- Arrieta, M.A., R. Rodríguez, N. Cisneros, A. Aguayo, O. Cruz y G. Villaseñor (1995): **Procesos geoquímicos del Arsénico en Zimapán, Hidalgo**. <https://www.ugm.org.mx/publicaciones/geos/pdf/geos95-2/sesiones-regulares/GH-15-2.pdf>

Armienta, M. A. Rodríguez, R. Aguayo, A. Cisneros, N. Villaseñor, G. Y O. Cruz. (1997): **Arsenic contamination of groundwater at Zimapán, Mexico**. J. Hydrogeology 5: 39-46

Bernal, Rocío; Alejandro Carrillo; Alberto Monterrubio; Ricardo Salas (1990): **Estudio espeleológico de la zona de La Laguna, Hidalgo**. Mundos Subterráneos, UMAE, Agosto, (1): 22-30

Castro de Esparza, M.L. (2006): **Remoción del arsénico en el agua para bebida y biorremediación de suelos**. International Congress Mexico City, 20-24 June 2006, Natural Arsenic in Groundwaters of Latin America, 20:

CONAGUA (2015): **Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea**. Diario Oficial de la Federación, abril 20, 24:

Corona-Esquivel, Rodolfo, Ubaldo Sanchez-Loyo (2023): **Reconocimiento geológico del área El Espíritu, Distrito Minero de Zimapán, estado de Hidalgo, México. (parte I)**. XXXV Convención Internacional de Minería, Acapulco, Guerrero, México, 18:

DOF (2015): **Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de aguas nacionales subterráneas del Acuífero Zimapán, Clave 1301, en el estado de Hidalgo, Región Hidrológico-Administrativa Golfo Norte**. Secretaría de Gobernación, Diario Oficial de la Nación, DOF: 14/08/2015

García, Alonso (1997): **Distribución y especiación del arsénico en sedimentos fluviales del río Coliman en Zimapán, Hgo.** UNA, 74:

González-Rodríguez, Katia Adriana, Consuelo Cuevas-Cardona, Jesús Martín Castillo-Cerón [Eds] (2009): **Los fósiles del estado de Hidalgo**. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 103:

Harper, T. R. Y N. W. Kinham (1992): **Removal of arsenic from wastewater using chemical precipitation methods**. Water Environ. Res. 64:200-203.

INEGI (2010): **Compendio de información geográfica municipal 2010, Zimapán, Hidalgo**. Inst. Nac. Estadística y Geografía, México, 10:

Macedo-Cruz, Antonia, Villegas-Romero, Isidro, Carrillo-González, Rogelio y Torres-Bautista (2017): **Contaminación por metales pesados de aguas superficiales en la microcuenca de Zimapán** in/, Hidalgo Daniel F. Pérez, E. Figueroa, L. Godínez, J. Rocha (eds.) **Ciencias de la Química y Agronomía Handbook**, Texcoco de Mora, México, 2017.

Méndez, M. (2001): **Fraccionamiento de arsénico en jales de Zimapán, Hgo.** Tesis de Maestría (Ciencias de la Tierra). Instituto de Geología, UNAM. México.

Mendoza Contreras, Susana Alejandra y Adrián Miguel-Nieto (2020): **30 Años de exploración y topografía espeleológica en el IPN**. Mundos Subterráneos, UMAE (30):53-64

Mendoza Contreras, S.A. y A. Miguel-Nieto (2021): **30 Años de exploración y topografía espeleológica en el IPN**. XIV Congreso Nacional Mexicano de Espeleología. Reseña y Memorias. Mundos Subterráneos, UMAE (31):32

Miguel-Nieto, Adrián (2013): **Exploración del Sótano El Encanto en Huehuetla, Hidalgo**. Mundos Subterráneos, Agosto, UMAE (24):96-102

Molerio León, L.F. (2018): **Proyecto de descontaminación de Arsénico en las aguas terrestres de Zimapán, Edo. Hidalgo (para el gobierno del Edo. de Hidalgo)**.

Molerio León, L.F., R. Toujague de la Rosa (2002): **Factores de control y variabilidad de la contaminación por arsénico en las aguas terrestres de Mina Delita y su área de influencia**. Instituto de Geofísica y Astronomía, Reporte de Investigación, La Habana, 14:

Molerio León, L.F.; R. Toujague de la Rosa (2004): **Arsenic in a hard rock aquifer: multivariate optimization of the groundwater monitoring network**. 32<sup>nd</sup> Internatl. Geol. Congr. <http://www.alhsud.com>, 9:

Núñez Benítez, Julián, Luis Enrique Ortiz Hernández, Xavier Font Cisteró, Manuel Viladevall Sole (2010): **Arsénico en aguas de uso potable y control de calidad de las aguas subterráneas en Zimapán, Hidalgo; México**. XV Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos. Sociedad Geológica del Perú, Pub. Esp. N° 9 (2010), Cusco p. 96-100

Pérez Moreno, F., F. Prieto García, A. Rojas Hernández, C. A. Galán Vidal, Y. Marmolejo Santillán, C. Romo Gómez, A. Castañeda Ovando, J. A. Rodríguez Ávila y E. Barrado Esteban (2003): **Caracterización química de aguas subterráneas en pozos y un distribuidor de agua de Zimapán, Estado de Hidalgo, México**. Hidrobiológica 13 (2): 95-102

Piccini L., P. Forti, I. Giulivo, M. Mecchia (2007): **The polygenetic caves of Cuatro Ciénegas (Coahuila, Mexico): Morphology and speleogenesis**. International Journal of Speleology, 36 (2), 83-92. Bologna (Italy).

Quintana Martínez, E. C. (2007): **Comportamiento de la contaminación por Plomo, Niquel, Vanadio, Arsenico, Cromo y Hierro en la Cuenca del Rio Conchos**. Univ. Chihuahua, 63:

Rango, T., A. Vengosh, G. Dwyer, G. Bianchini (2013): **Mobilization of arsenic and other naturally occurring contaminants in groundwater of the Main Ethiopian Rift aquifers**. [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), [www.elsevier.com/locate/watres](http://www.elsevier.com/locate/watres)

Rodríguez Meléndez, Hugo (2018): **Síntesis de óxido de grafeno para la remoción de arsénico en agua**. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Coahuila,

Segerstrom, Kenneth (1962): **Geology of South-central Hidalgo and Northeastern Mexico, Mexico. Geologic Investigations in Mexico**. Geological Survey Bulletin 1104-C. United States Government Printing Office, Washington, 162:

Torres Díaz, María Concepción, Yanet Yahaira Basulto Solís, Jorge Cortés Esquivel, Karla García Uitz, Ángel Koh Sosa, Franklin Puerto Romero, Julia Guadalupe Pacheco Ávila (2014): **Evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo de contaminación del Agua subterránea en Yucatán**. Ecosistemas y recursos agropecuarios, 1(3):189-203

Toujague de la Rosa, R. y L.F. Molerio León (2013): **Análisis multivariado de la contaminación por arsénico en las aguas subterráneas de mina Delita, Cuba**. Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo; Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente. Año 13, No.24, 2012 ISSN-1683-8904, La Habana, 9: <http://ama.redciencia.cu/articulos.php?sid=91529a91e366de61e4ac7b8e3f27fb89>

Veni, George (1985): **Origins of termal waters in Grutas de Tolantongo, Hidalgo, Mexico**. NSS Bull. 47(1);

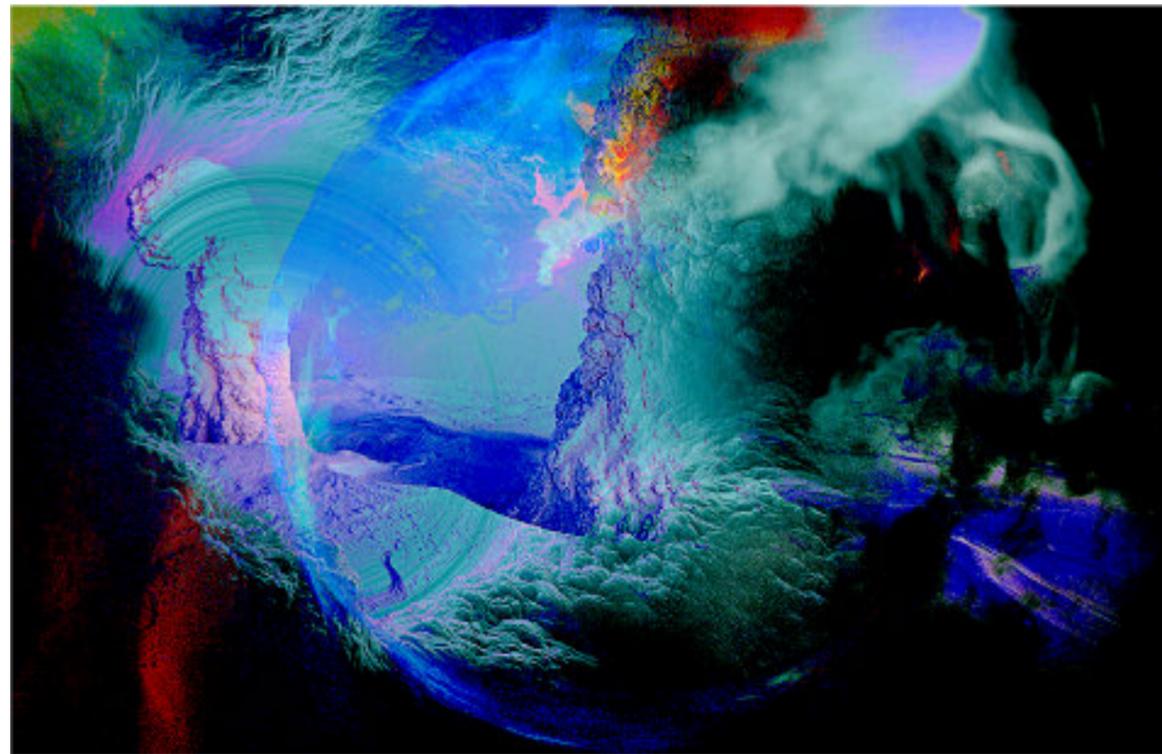
Veni, George (2021): **Cave Research in Mexico: A Proposal for Partnerships with The US National Cave and Karst Research Institute**. XIV Congreso Nacional Mexicano de Espeleología. Reseña y Memorias. Mundos Subterráneos, UMAE (31):19

Wasay, A. S. Haron, J. Uchiumi, A. Y S. Tokunaga (1996): **Removal of arsenite and arsenate ions from aqueous solution by basic yttrium carbonate**. Water. Res. 30: 1143-1148

Marzo 17/2025



**LESLIE F. MOLERIO LEÓN.** Geólogo de Yacimientos Minerales e Hidrogeólogo-Hidrotécnico, cubano, MSc. en Hidrología Isotópica con pre y posgrados y docencia en universidades y centros de Investigación europeos y latinoamericanos. Ex-Director del Servicio Hidrogeológico de la República de Cuba y del Centro de Hidrología y Calidad de las Aguas, Consultor Ambiental, Especialista Principal en Proyectos e Ingeniería (INVERSIONES GAMMA, S.A.), Especialista en Obras Subterráneas y Auditor Ambiental titulado. Experto para agencias de Naciones Unidas, del sistema interamericano y consultoras internacionales de varios países. Con 57 años de vida laboral activa, ha participado en unos 490 proyectos de su especialidad en 50 países. Autor o coautor de unos 370 artículos científicos y de 19 libros de su especialidad.



**Nunca sabremos el valor del agua hasta que el pozo esté seco.**

*Thomas Fuller*

## Filamentos microbianos fósiles en las formaciones del límite K/Pg en Cuba occidental

**Andrzej Pszczółkowski**

*Profesor retirado del Instituto de Ciencias Geológicas, Academia de Ciencias de Polonia.*

[pszczolkowski@yahoo.com](mailto:pszczolkowski@yahoo.com)

### Introducción

La posible relación de las formaciones Cacarajícara (Hatten, 1957) y Peñalver (Brönnimann y Rigassi, 1963) con un impacto del asteroide o bólido fue sugerida – aunque no comprobada - durante dos últimas décadas del siglo XX (Pszczółkowski, 1986; Pszczółkowski et al., 1992; Pszczółkowski, 1999). Actualmente, ambas formaciones se consideran como los depósitos vinculados al impacto

meteorítico ocurrido en el límite K/Pg (Takayama et al., 2000; Molina et al., 2002; Tada et al., 2003, Goto et al., 2008; García Lavin et al., 2013). El impacto mencionado fue reconocido en la península de Yucatán (estructura Chicxulub en Méjico – Hildebrand et al., 1991). La posición paleogeográfica de las formaciones K/Pg de Cuba occidental fue reconstruida (Pszczółkowski, 1999, fig. 20; Takayama et al., 2000, fig. 3; Tada et al., 2003, fig. 3; Goto et al., 2008, fig. 1; Cobiella et al., 2015, fig. 17; Arenillas et al., 2016, fig. 1B), la penúltima propuesta siendo la más rigurosa. La ocurrencia de los filamentos microbianos en las formaciones Cacarajícara y Peñalver no fue reportada en los trabajos publicados. El objetivo de la contribución presente es caracterizar los filamentos microbianos fósiles que ocurren en ambas formaciones.

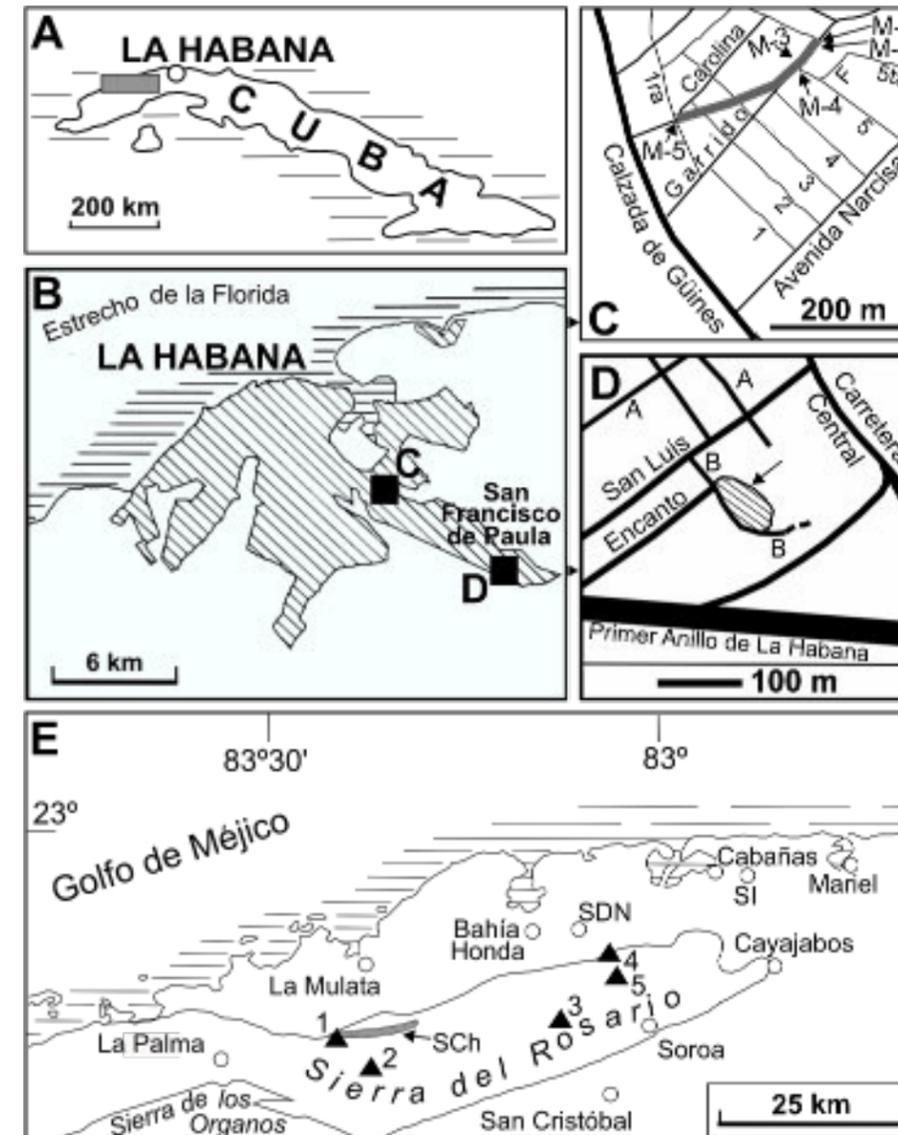
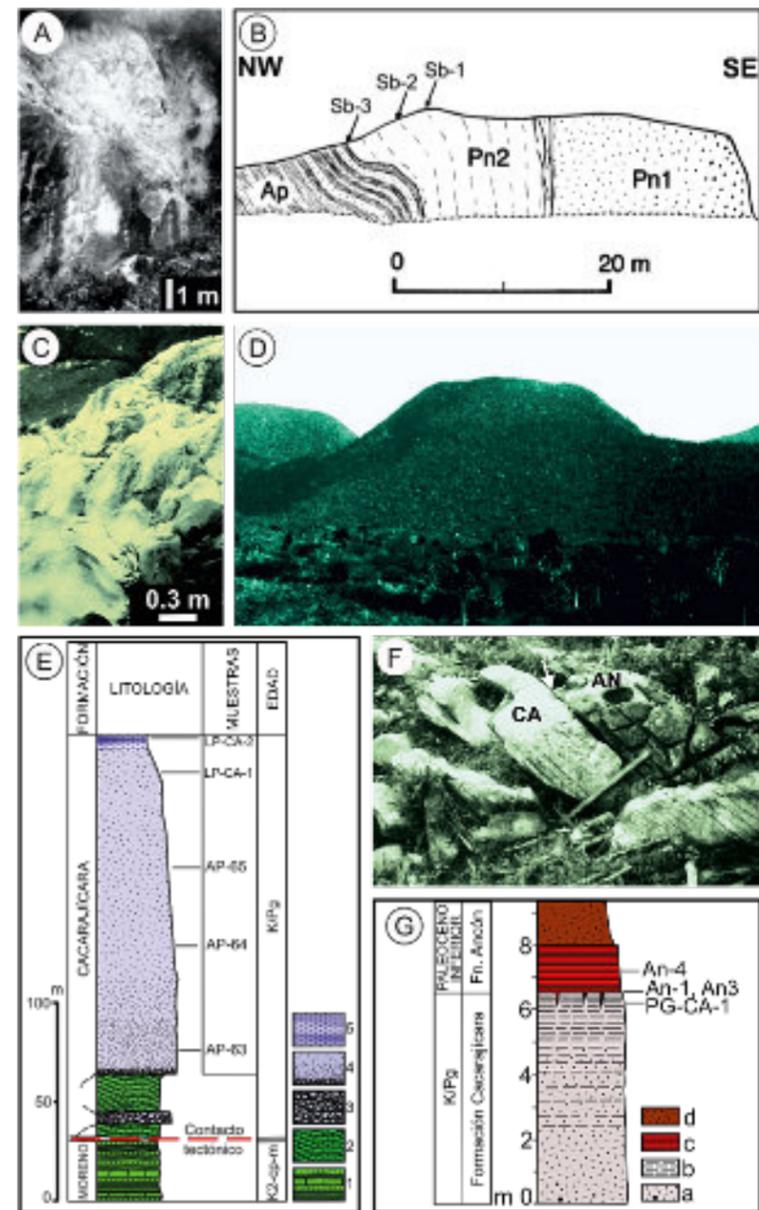


Fig. 1. A – Mapa generalizado de Cuba – la inserción presenta la ubicación del área indicado en Fig. 1E; B – El mapa esquemático de la Ciudad de La Habana y localización de los afloramientos estudiados de la Formación Peñalver: (C) Reparto Carolina (barrio San Miguel del Padrón), (D) Reparto Encanto (barrio San Francisco de Paula); C – la ubicación de las muestras (M-1 hasta M-5) tomadas a lo largo del corte trazado entre las calles Garrido y Carolina (Reparto Carolina); D – Ubicación del afloramiento de La Formación Peñalver (la flecha) en el Reparto Encanto, Barrio San Francisco de Paula; E – El mapa de ubicación de los cortes estudiados de la Formación Cacarajícara en la Sierra del Rosario (Cordillera de Guaniguanico, Cuba occidental): 1 – el corte tipo cerca de San Juan de Sagua (extremo occidental de Sierra Chiquita); 2 – muestra 6P-273 - el afloramiento al sur de Sierra Chiquita; 3 – el corte La Piedra de Genaro; 4 – el corte Lomas de Polier; 5 – muestra AP-47 (afloramiento Los Hoyos); SCH – Sierra Chiquita, SDN – San Diego de Nuñez, SI – Santa Isabel.

**Cortes y afloramientos estudiados**

La Formación Peñalver fue investigada en dos cortes ubicados en la Ciudad de La Habana (Fig. 1B-D): 1 – Reparto Carolina (barrio San Miguel del Padrón) y 2 – Reparto Encanto (barrio San Francisco de Paula). El corte del reparto Encanto fue descrito por Brönnimann y Rigassi (1963) bajo el nombre Reparto San Pedro. La Formación Cacarajícara fue estudiada en varias localidades de la Sierra del Rosario (Pszczółkowski, 1978, 1994). Aquí se tomaron en cuenta los cortes y afloramientos señalados en la Figura 1E.



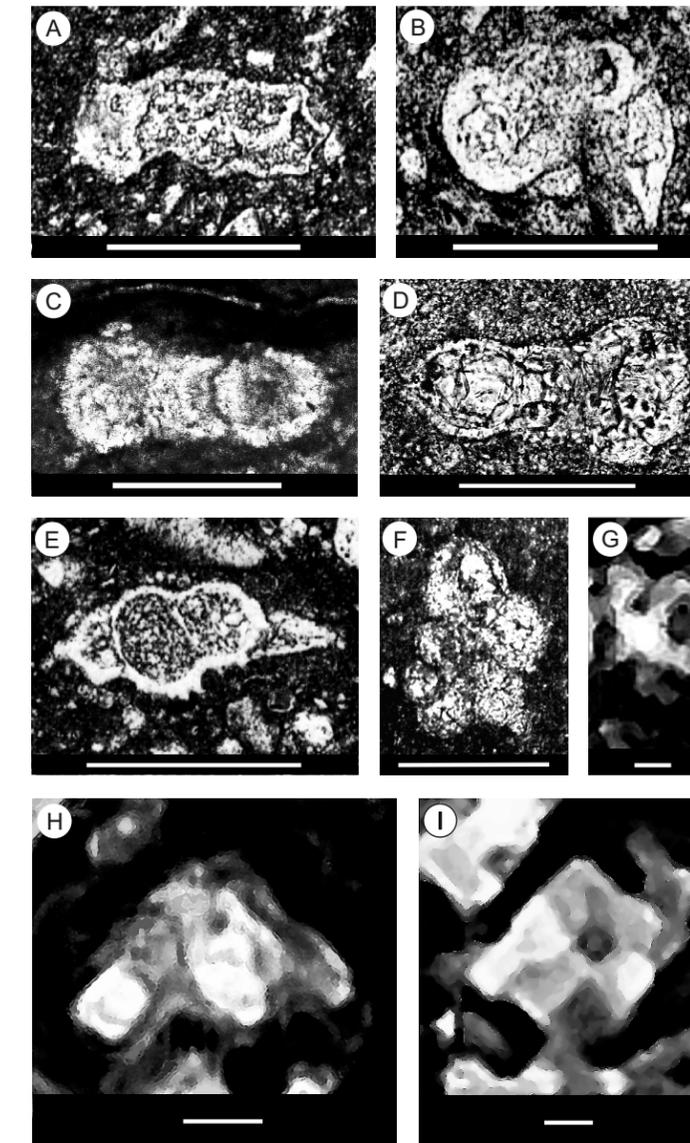
El corte La Piedra de Genaro (Fig. 2G) fue estudiado ya en 1990/1991 (Pszczółkowski et al., 1992; Pszczółkowski, 1994). La biomicrita roja de la Formación Ancón contiene foraminíferos planctónicos con *Praemurica* cf. *uncinata* (Bolli) y *Parasubbotina pseudobulloides* (Plummer) que indican la Zona P2 del Paleoceno (Daniano según Berggren y Pearson, 2005).

**Los foraminíferos planctónicos y nanofosiles calcáreos de las formaciones Cacarajícara y Peñalver**

Pszczółkowski (1986) y Gil González et al. (2009) han reportado varios taxones de foraminíferos planctónicos de

Fig. 2. A – Afloramiento de la Formación Peñalver ubicado en el reparto Carolina (barrio San Miguel del Padrón, Ciudad de la Habana); B – Afloramiento de las formaciones Peñalver y Apolo en el reparto Encanto (calles Encanto # B, barrio San Francisco de Paula de la Ciudad de La Habana): Pn1 – calcirudita y calcarenita en la parte inferior de la Fn. Peñalver, Pn2 – calcilutita de la parte superior de la misma formación, Ap – Formación Apolo (Paleoceno), Sb-1 hasta Sb-3 - muestras; C – Calcarenita masiva de la Formación Cacarajícara expuesta en el corte de las Lomas de Polier (Sierra del Rosario); D – La Sierra Chiquita en la parte occidental de la Sierra del Rosario: consiste en las calizas clásticas de la Formación Cacarajícara; E – La columna estratigráfica expuesta en el corte de las Lomas de Polier: 1 – sedimentos clásticos y calizas de la Formación Moreno del Campaniano-Maastrichtiano (K2-cp-m), 2–5 Formación Cacarajícara: 2 - silicitas en la parte inferior de la formación (probablemente bloques grandes), 3 – brecha, 4 – calcirudita y calcarenita, 5 – calcilutita; F – El corte expuesto en la localidad La Piedra de Genaro (Sierra del Rosario): CA - Formación Cacarajícara (parte más alta), AN – Formación Ancón, la parte más inferior (el martillo - 50 cm de largo); la flecha indica el contacto de ambas formaciones; G – columna litoestratigráfica del corte La Piedra de Genaro: a – calcarenita de grano grueso a medio, b – calcarenita de grano fino y de estratificación horizontal, c – biomicrita roja, d – caliza arenosa, An-1, An-3, An-4: las muestras tomadas de la Formación Ancón.

la Formación Cacarajícara, pero sin figurarlos. Aquí se presentan tres taxones - *Abathomphalus mayaroensis* (Bolli) – Fig. 3A, *Plummerita hantkeninoides* (Brönnimann) – Fig. 3B y *Plummerita reicheli* (Brönnimann) – Fig. 3C, así como, los nanofósiles *Micula* cf. *murus* (Martini) Bukry (Fig. 3H) y *Micula staurophora* (Gardet) Stradner (Fig. 3I). Brönnimann y Rigassi (1963), Takayama et al. (2000) y Díaz Otero et al. (2001) reportaron varios foraminíferos planctónicos de la Formación Peñalver, pero solamente un ejemplar del *Abathomphalus mayaroensis* ha sido figurado (Díaz Otero et al., 2001, fig. 4). Aquí se exponen: *Plummerita reicheli* (Brönnimann) - Fig. 3D, F y *Plummerita hantkeninoides* (Brönnimann) – Fig. 3E. Además, el nanofosil *Micula prinsii* Perch-Nielsen del corte Reparto Encanto (La Habana) también está figurado (Fig. 3G).



**Filamentos microbicos**

Los filamentos microbicos ocurren en las calcarenitas y calcilutitas de las formaciones Cacarajícara y Peñalver. En el corte Lomas de Polier (Fig. 2E) estos filamentos aparecen en la muestra AP-63, cerca de 160 m por debajo del tope de la Formación Cacarajícara. Los filamentos uniseriales y los ramificados ocurren entre los clastos (en calcarenita) y en matriz de calcilutita. Además, los filamentos a menudo llenan las cámaras de foraminíferos. No son raros los bio- y litoclastos parcialmente - o por completo - „sustituidos” por estos filamentos microbicos. Incluso algunas esférulas son llenas de filamentos uniseriales y ramificados (Fig. 5G-H). Los filamentos más grandes sobrepasan a 200 µm de longitud (Fig. 4A y Fig. 5I), mientras que los más pequeños no llegan a 10 µm (Fig.

Fig. 3. A – Algunos foraminíferos planctónicos y nanofósiles calcáreos de las formaciones Cacarajícara y Peñalver (A-F, barra=100 µm; G-I, barra=1 µm): A - *Abathomphalus mayaroensis* (Bolli), muestra/sección delgada LP-CA-2, Formación Cacarajícara, el corte Lomas de Polier; B - *Plummerita hantkeninoides* (Brönnimann), muestra/sección delgada LP-CA-2; C - *Plummerita reicheli* (Brönnimann), muestra/sección delgada CP-67d, Formación Cacarajícara, el corte tipo; D - *Plummerita reicheli* (Brönnimann), muestra/sección delgada Sb-1, Formación Peñalver, Reparto Encanto, barrio San Francisco de Paula, Ciudad de La Habana; E - *Plummerita hantkeninoides* (Brönnimann), muestra/sección delgada M-3, Formación Peñalver, Reparto Carolina, barrio San Miguel del Padrón, Ciudad de La Habana; F - *Plummerita reicheli* (Brönnimann), muestra/sección delgada Sb-3, Formación Peñalver, Reparto Encanto, barrio San Francisco de Paula, Ciudad de La Habana; G – *Micula prinsii* Perch-Nielsen, muestra/sección delgada Sb-3, Formación Peñalver, Reparto Encanto, barrio San Francisco de Paula, Ciudad de La Habana; H – *Micula* cf. *murus* (Martini) Bukry, muestra/sección delgada CP-67e, Formación Cacarajícara, el corte tipo; I - *Micula staurophora* (Gardet) Stradner, Formación Cacarajícara, muestra/sección delgada LP-CA-2, el corte Lomas de Polier, Sierra del Rosario.

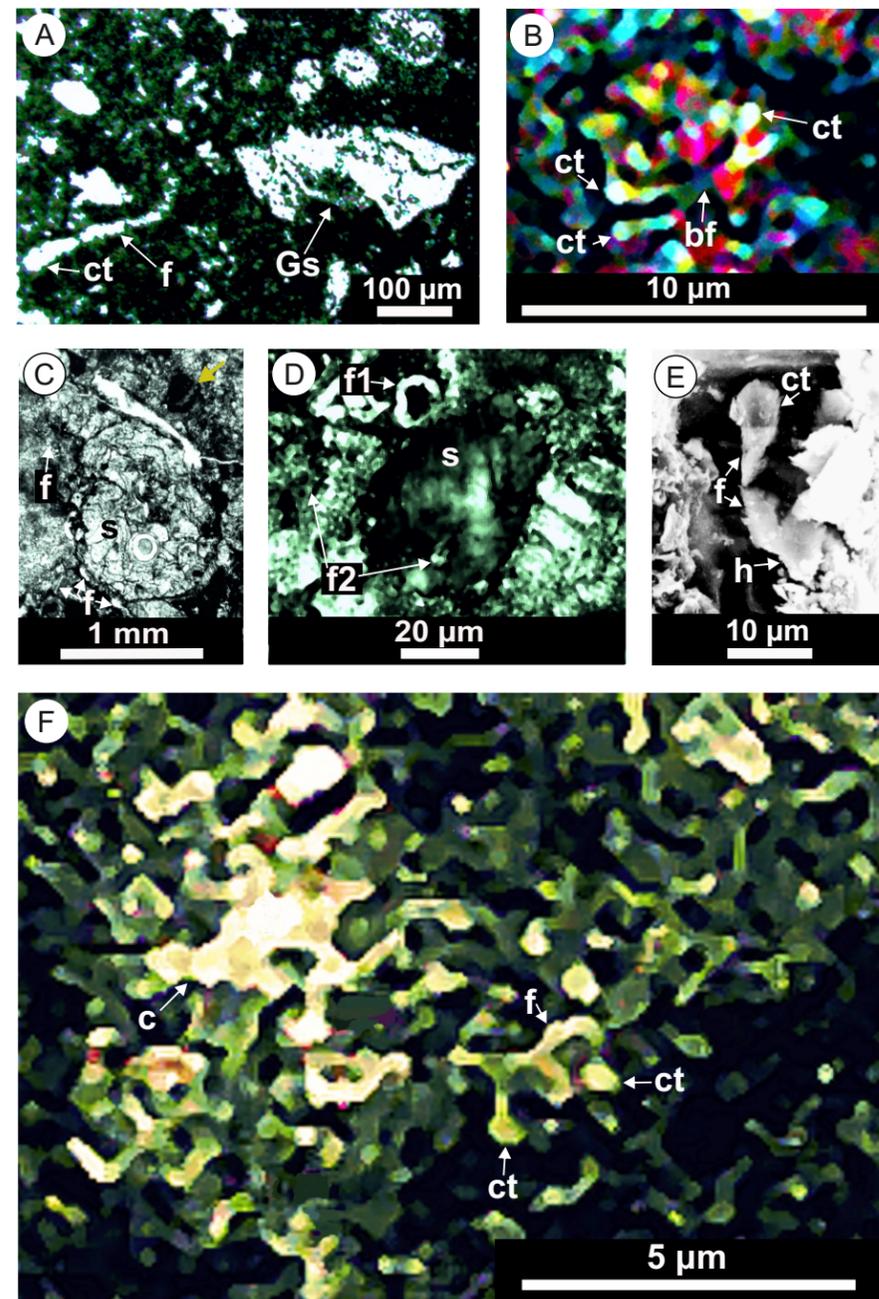


Fig. 4. Filamentos microbicos de la Formación Cacarajícara (Sierra del Rosario): A – El filamento uniserial grande (235  $\mu\text{m}$  de longitud y 15  $\mu\text{m}$  de ancho), (ct) célula terminal (apical) cerca de 30  $\mu\text{m}$  de ancho, (Gs) *Globotruncanita stuarti* (de Lapparent) redepositada de las capas del Campaniano-Maastrichtiano (muestra/sección delgada LP-CA-2, el corte de Lomas de Polier); B – (bf) Principal (o basal) filamento de una estructura estructura microbica y filamentos microbicos (en forma de araña de luces) cerca de 5,2  $\mu\text{m}$  de longitud, (ct) células terminales de algunos filamentos secundarios (muestra/sección delgada AP-47, Los Hoyos); C – (f) Filamentos uniseriales, 12-24  $\mu\text{m}$  de ancho, situados cerca de una esférula espumosa de calcita (s) 1,7 mm de longitud y 1 mm de ancho. La flecha amarilla indica una esférula negra más pequeña (332  $\mu\text{m}$  de longitud), muestra/sección delgada 6P-273; D – estructura microbica y filamentos microbicos que ocurren próximos a una esférula negra (s) 42  $\mu\text{m}$  de ancho: (f1) filamento uniserial semicircular cerca de 16  $\mu\text{m}$  de longitud y hasta 3,5  $\mu\text{m}$  de ancho, (f2) numerosos filamentos ramificados 0,8-1,5  $\mu\text{m}$  de ancho (muestra/sección delgada AP-64, el corte de Lomas de Polier); E – (f) Filamento uniserial (24x4  $\mu\text{m}$ ), ligeramente dañado en su parte media, (ct) célula terminal (apical), (h) célula basal (para adherir el filamento a otro objeto – “holdfast”), muestra/sección delgada PG-CA-1, el corte La Piedra de Genaro, la imagen del microscopio electrónico – un fragmento aumentado, de color falso); F – Densa red de los filamentos ramificados (muestra /sección delgada CP-67e, el corte tipo, la luz polarizada): (f) filamento principal, (ct) células terminales (apicales), (c) cemento calcáreo concentrado a lo largo de los filamentos.

5E y Fig. 5J: f3) y son muy delgados (0,06-0,3  $\mu\text{m}$  de ancho). En la parte alta de la Formación Cacarajícara (calcilutita) ocurren los filamentos ramificados que forman una densa red microbica (Fig. 4F). A veces se observan las agrupaciones redondas de los filamentos finos (Fig. 5C).

Los filamentos microbicos (Figuras 4 y 5) se interpretan como las bacterias. Los más grandes pueden representar a las cianobacterias (Fig. 4A, E; Fig. 5B y 5I), mientras que los filamentos más pequeños corresponden a varias bacterias, por el momento sin posibilidad de indicar su afinidad sistemática con los taxones contemporáneos (Figuras: 4C-D y 5A, 5D-E). Se puede especular que algunos filamentos ramificados (Fig. 4B y F, Fig. 5F) también pertenecían a cianobacterias (¿Nostocales?). El filamento de forma cónica (Fig. 5J – f1) es similar a algunos taxones de la familia Rivulariaceae Kützinger ex Bornet et Flahault. En

general, las bacterias fósiles de las formaciones Cacarajícara y Peñalver empezaron su actividad después de la deposición de calcarenitas y calcilutitas. Aunque residan en los depósitos formados durante el evento del límite K/Pg, estos filamentos microbicos pertenecen ya al Paleoceno más bajo (Daniano). Sus actividades fueron más prolongadas que el proceso de sedimentación de ambas formaciones. Lo atestiguan las generaciones sucesivas de los filamentos, así como, los clastos “sustituídos” por las bacterias y los frecuentes bioclastos con microperforaciones de origen microbico.

Para obtener más información se pueden aprovechar los resultados publicados por Arenillas et al. (2016) sobre el límite K/Pg en el corte Moncada (Sierra de los Órganos). La Formación Moncada fue definida como una entezona estéril (Arenillas et al., 2016, fig. 2). En la Figura 5H de

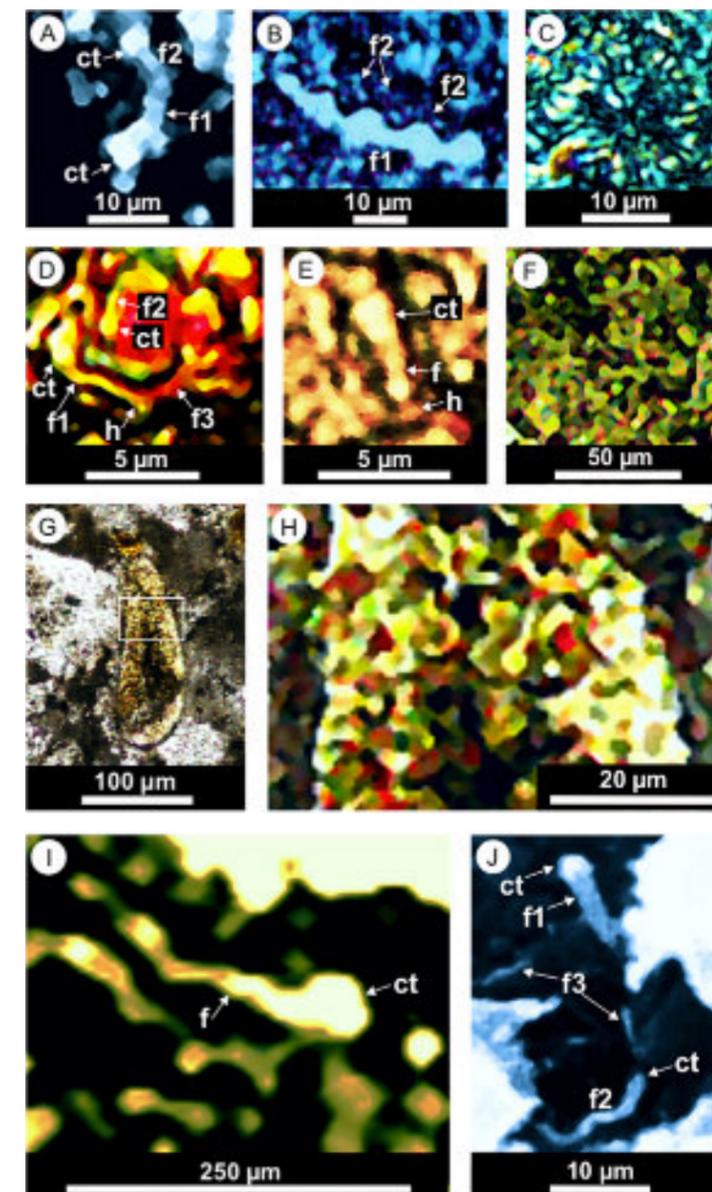


Fig. 5. Filamentos microbicos en la Formación Peñalver expuesta en el Reparto Encanto (barrio San Francisco de Paula) y el Reparto Carolina (barrio San Miguel del Padrón), Ciudad de La Habana: A – (f1) Filamento 2,5  $\mu\text{m}$  de ancho, (f2) filamento 1,5  $\mu\text{m}$  de ancho, (ct) células terminales (apicales) de ambos filamentos (4,7 y 3,8  $\mu\text{m}$  de ancho), muestra/sección delgada Sb-3, la vista normal; B – (f1) espirilo grande cerca de 38  $\mu\text{m}$  de longitud y 2,6-3,4  $\mu\text{m}$  de ancho, (f2) filamentos 0,5-1,7  $\mu\text{m}$  de ancho (muestra/sección delgada Sb-2, Reparto Encanto), la vista normal; C – Agrupación redonda 14,6  $\mu\text{m}$  de diámetro de los filamentos finos (muestra/sección delgada Sb-2, la luz polarizada); D – (f1) filamento uniserial cerca de 5  $\mu\text{m}$  de longitud, (ct) célula terminal en parte cubierta por otro filamento, (h) célula terminal basal (“holdfast”), (f2) filamento ramificado (muestra/ sección delgada Sb-3, Reparto Encanto), la luz polarizada; E – (f) filamento uniserial cerca de 4  $\mu\text{m}$  de longitud: (ct) célula terminal 1,5  $\mu\text{m}$  de ancho, (h) célula basal (muestra/sección delgada Sb-3); F - Filamentos ramificados 2,6-5,6  $\mu\text{m}$  de ancho dentro de la cámara de un foraminifero planctónico. Los filamentos se coronan con las células terminales más grandes (muestra/sección delgada M-1A, Reparto Carolina), la luz polarizada; G – Esférula en forma de una bola alargada 183  $\mu\text{m}$  de longitud llena de filamentos microbicos (el rectángulo indica el fragmento aumentado en Fig. 5H), muestra/sección delgada M-1A, Reparto Carolina; H – Filamentos 1,3-1,5  $\mu\text{m}$  de ancho que ocurren dentro de la esférula; I – (f) filamento uniserial cerca de 186  $\mu\text{m}$  de longitud, (ct) célula terminal (muestra/sección delgada M-4, Reparto Carolina); J - Filamentos uniseriales con preservada delicada envoltura (la imagen del microscopio electrónico – un fragmento aumentado, de color falso): (f1) filamento uniserial de forma cónica, (f2) filamento uniserial 1,4  $\mu\text{m}$  de ancho, (f3) filamento uniserial 0,7-0,9  $\mu\text{m}$  de ancho, (ct) células terminales (muestra/sección delgada M-5, Reparto Carolina).

Arenillas et al. (2016) se observan los filamentos microbicos (alrededor de un grano de cuarzo) en la parte superior de la Formación Moncada. Además, en la unidad litológica UMU-1 este preservada una densa red de los filamentos ramificados 0,6-3,4 µm de ancho (Arenillas et al., 2016, figuras 5J y 5K, cuando aumentadas y mejoradas). La unidad UMU-1 representa "la Arcilla del Límite K/T" y una parte de la Subzona Hedbergella holmdelensis, abarcando cerca de 6 mil años del Daniano basal (Arenillas et al., 2016). La ocurrencia de los filamentos microbicos en esta unidad permite suponer que las condiciones (paleo)ambientales para las bacterias fuesen favorables (o permisibles) también en las zonas marinas más profundas. Las formaciones Cacarájicara y Peñalver han sido depositadas al sureste de la Formación Moncada (Cobiella et al., 2015).

Las bacterias continuaron sus actividades en las formaciones Cacarájicara y Peñalver hasta la cementación completa de los depósitos más finos de ambas unidades estratigráficas. Dicho proceso fue finalizado en el Daniano, antes de la zona P2.

#### Referencias

Arenillas, I., Arz, J.A., Grajales-Nishimura, J.M., Meléndez, A. y Rojas-Consuegra, R. 2016. The Chicxulub impact is synchronous with the planktonic foraminifera mass extinction at the Cretaceous/Paleogene boundary: new evidence from the Moncada section, Cuba. *Geologica Acta*, 14 (1): 35-51.

Berggren, W.A. y Pearson, P.N. 2005. A revised tropical to subtropical Paleogene planktonic foraminiferal zonation. *Foraminiferal Research*, 35(4): 279-298.

Brönnimann, P. y Rigassi, D. 1963. Contribution to the geology and paleontology of the area of the city of La Habana, Cuba and its surroundings. *Eclogae geologicae Helveticae*, 56: 193-480.

Cobiella-Reguera, J.L., Cruz-Gámez, E.M., Blanco-Bustamante, S., Pérez-Estrada, L., Gil-González, S. y Pedraza-Rozón, Y. 2015. Cretaceous-Paleogene boundary deposits and paleogeography in western and central Cuba. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 32 (1): 156-176.

Díaz Otero, C., Iturralde-Vinent, M. y García Delgado, D. 2001. Evidencias del "coctel" paleontológico del límite Cretácico-Terciario en Cuba occidental. *Taller Internacional*

*sobre eventos en el límite K/T, Memorias Geomin 2001: 24-30; La Habana (ISBN 959-7117-10-X).*

Díaz Otero, C., Arz, J.A., Arenillas, I., Molina, E. y Corona, N. 2003. Nuevas consideraciones sobre la edad de la Formación Vía Blanca. *V Congreso de Geología y Minería, Geología regional, Memorias Geomin 2003: 109-115. La Habana, ISBN 959-7117-11-8.*

García Lavin, Y.W., García Delgado, D.E., Cobiella Reguera, J.L., Blanco Bustamante, S. 2013. Formaciones clásticas-carbonatadas del límite Cretácico/Paleógeno en Cuba occidental. [www.monografias.com-geografia](http://www.monografias.com-geografia) (Publicado: mayo 12, 2013).

Gil González, S., García Delgado, D.E., Díaz Otero, C. y Blanco Bustamante, S. 2009. Formaciones del Maastrichtiano Superior en Cuba occidental y central. Composición bioclástica y litofacies. *Memorias III Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, La Habana.*

Goto, K., Tada, R., Tajika, E., Iturralde-Vinent, M.A., Matsui, T., Yamamoto, S., Nakano, Y., Oji, T., Kiyokawa, S., García Delgado, D., Díaz Otero, C. y Rojas Consuegra, R. 2008. Lateral lithological and compositional variations of the Cretaceous/Tertiary deep-sea tsunami deposits in northwestern Cuba. *Cretaceous Research*, 29: 217-236.

Hatten, C.W. 1957. Geologic report on Sierra de los Organos (inédito). *Ministerio de Industrias (antes: Fondo Geológico), La Habana.*

Hildebrand, A.R., Penfield, G.T., Kring, D.A., Pilkington, M., Camargo, A., Jacobsen, S.B. y Boynton, W.V. 1991. Chicxulub cráter: a posible Cretaceous/Tertiary boundary impact cráter on the Yucatán Peninsula, Mexico. *Geology*, 19: 867-871.

Molina, E., Arenillas, J.I., Arz, J.A., Díaz, C., García, D., Meléndez, A. y Rojas, R. 2002. Micropaleontología, Cronoestratigrafía y Sedimentología del límite Cretácico/Terciario en el NO de Cuba. *Geogaceta*, 32: 287-290.

Pszczółkowski, A. 1978. Geosynclinal sequences of the Cordillera de Guaniguanico in western Cuba: their lithostratigraphy, facies development, and paleogeography. *Acta Geologica Polonica*, 28: 1-96.

Pszczółkowski, A. 1986. Megacapas del Maestrichtiano en Cuba occidental y central. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences (Earth Sciences)*, 34 (1): 81-94.

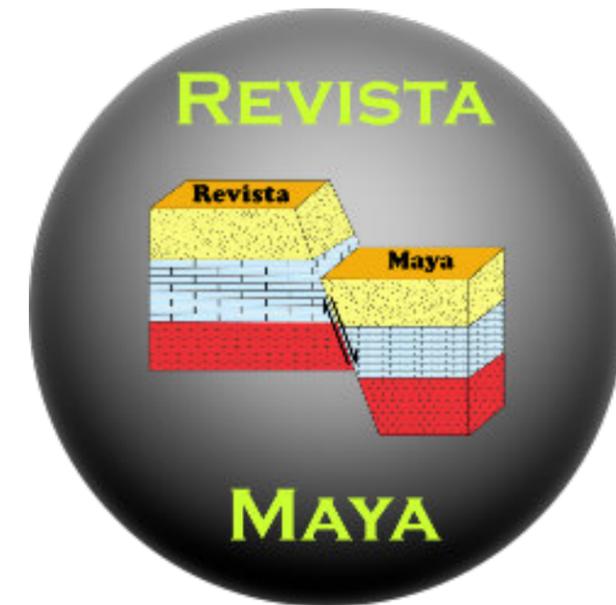
Pszczółkowski, A. 1994. Lithostratigraphy of Mesozoic and Palaeogene rocks of Sierra del Rosario, Western Cuba. *Studia Geologica Polonica*, 105: 39-66.

Pszczółkowski, A. 1999. The exposed passive margin of North America in western Cuba. In: *Caribbean Basins. Sedimentary Basins of the World, 4*, edited by P. Mann (Series Editor: K.J. Hsü), pp. 93-121.

Pszczółkowski, A., García, D. y Pérez, E. 1992. Late Maastrichtian foraminifers, glass fragments and evidence for violent erosion near the K/T boundary in Western Cuba. *13th Caribbean Geological Conference (13a Conferencia Geológica del Caribe), Pinar del Río, Cuba, Agosto 10-14, 1992. Programa y resúmenes*, p. 127.

Tada, R., Iturralde-Vinent, M.A., Matsui, T., Tajika, E., Oji, T., Goto, K., Nakano, Y., Takayama, H., Yamamoto, S., Kiyokawa, S., Toyoda, K., García-Delgado, D., Díaz-Otero, C., and Rojas-Consuegra, R. 2003. K/T boundary deposits in the Paleo-western Caribbean basin, in C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede, eds., *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics: AAPG Memoir 79*, p. 582-604.

Takayama, H., Tada, R., Matsui, T., Iturralde-Vinent, M.A., Oji, T., Tajika, E., Kiyokawa, S., García, D., Okada, H., Hasegawa, T. y Toyoda, K. 2000. Origin of the Peñalver Formation in northwestern Cuba and its relations to K/T boundary impact event. *Sedimentary Geology*, 135: 295-320.



## EL HORROR DE HUBBLE

Por: Rafael Avalos Alejandre

Una noche hace algunas semanas a horas poco sanas, pero convenientemente silenciosas para estar despierto, me encontraba redactando un documento de divulgación sobre cómo el Caos puede aparecer en sistemas físicos naturales aparentemente no relacionados entre ellos, a diferentes escalas, inclusive dentro de fenómenos que se describen con ecuaciones deterministas. Cómo comportamientos supuestamente “bien” definidos, junto con sus modelos matemáticos, podían desencadenar efectos caóticos.

*¿Puede el aleteo de una mariposa en Brasil provocar un tornado en Texas? Es el llamado Efecto Mariposa.*

Poco sabía en el momento, que el Caos estaba por llegar a mi puerta... o, más bien, justo afuera de ella.

### [Parte 1: El horror de lo familiar]

Sin aviso previo, como suele ocurrir en estas situaciones, una serie de murmullos de muchas personas comenzó a sonar fuera de casa. No eran lo suficientemente fuertes como para entender lo que decían, pero tampoco lo suficientemente tenues como para ignorarlos. No sonaban amables. No sonaban congruentes. Tampoco sonaban familiares.

Los músculos de mi espalda comenzaron a tensarse y varios escenarios aparecieron por mi mente. Ninguno real, todos posibles. El hecho de sentir la responsabilidad de cuidar a personas importantes para mí, que dormían plácida y pacíficamente, solo amplificó esa sensación.

Ese miedo.

La bomba del refrigerador comenzó a sonar, como un ruido blanco que enturbiaba, aún más, aquellas voces. Ahora no podía ni siquiera distinguir de forma clara *las voces del refrigerador*.

Las ramas de los árboles del jardín sonaron al obedecer a algunas suaves rachas de viento. O, mejor dicho, comencé a notar el sonido de las ramas del jardín, así como la bomba del refrigerador y los vehículos que pasaban a varias calles de distancia. Sonidos normales y cotidianos que, bajo este contexto, me inquietaban. Me estorbaban. Volvían inciertas las voces de fondo y me impedían aún más entender lo que ocurría.

Antes de que pudiera siquiera decidir ponerme algo de calzado para salir a revisar, noté los reflejos de luces rojas intermitentes acercándose por la calle, torretas de una ambulancia que se detuvo a no más de dos casas de distancia. A los pocos minutos, el ruido se detuvo y el ambiguo ambiente regresó a la calma, pero yo no.

Intenté volver a trabajar y a concentrarme, pero no pude. Noté que podía percibir el más tenue sonido y todo sonaba distinto, como si hubiera sido trasladado a otro lugar donde cualquier cosa podía salir de cualquier lado. Ya sin ningún motivo tangible, el mismo lugar donde vivía se sentía frío y ajeno.

Me levanté, tomé mi cámara y, en un intento de capturar la sensación poco familiar de este lugar y de este momento, aún con miedo, tomé una foto.



Intenté capturar lo ambiguo que un lugar normal y familiar puede sentirse, bajo circunstancias ligeramente distintas.

Investigando días después supe que, en esa sensación de poca familiaridad, en mi muy específica situación de obscuridad y miedo a la mezcla de cierto ruido y cierto silencio, nunca estuve solo.

En 2003, se lanzó un sitio web tipo foro público que constaba de temáticas bajo las cuales uno podía compartir contenido propio; principalmente en la forma de comentarios e imágenes.

4chan se convirtió, a lo largo de varios años, en el nodo central de una serie de subculturas del internet, centrándose en la difusión de información políticamente incorrecta, activismo y contenido de naturaleza ambigua o perturbadora.

Dentro de las muchas temáticas que se han viralizado en 4chan, una recientemente popular, fue la de los *backrooms*, o cuartos traseros. Sin dar mayor detalle, en el hilo se invitaba a los visitantes a publicar imágenes inquietantes que simplemente se sintieran... raras.



La mayoría de las imágenes constaban de lugares cotidianos vacíos. Vacíos de muebles, vacíos de gente o vacíos de luz. Muchos de estos lugares dan la familiar sensación de que podríamos haber estado en ellos, o en algunos muy parecidos, y que nunca los notamos.



Nunca nos damos cuenta de ellos, a menos de que haya algún rasgo fuera de lo normal. La ausencia de luz, de gente o de mobiliario. La sensación de que estamos en algún establecimiento después de su horario de cierre, o inclusive ya estando abandonado, sensación explotada —y monetizada— por la creciente y exitosa tendencia de los llamados *exploradores urbanos*. La duda sobre qué podría haber tras las esquinas o las ventanas que aparecen en la imagen. La familiaridad de lo que se nos muestra y la inquietud de lo que no está.

Mi fotografía cumplía perfectamente con las condiciones con las que estas imágenes transmitían las mismas sensaciones, o muy parecidas.

Estos lugares paradójicamente cotidianos y extraños, acogedores y amenazantes, reciben un nombre específico: *espacios liminales*.

Los espacios liminales fueron definidos como lugares cotidianos de transición. Lugares donde uno pasa y pone atención a todo, menos al lugar mismo. Lugares que fungen como conexiones entre otros, como el puente que conecta a la estación de metro con la acera o el pasillo que lleva de tu habitación al comedor. Estos sitios tienen la capacidad de producir las más extrañas sensaciones en nosotros, si tienen cualquier aspecto ligeramente distinto, y si ocurre que nosotros les ponemos atención.

Mi pequeña crisis de miedo, alimentada por una parte real y otra mental, así como estas imágenes, que transmiten sensaciones tanto en lo que muestran como en lo que no muestran se alimentan de un conocido fenómeno psicológico que provoca efectos extraños en las personas que lo experimentan: *el valle inquietante*.

Cualquier cosa claramente distinta de algo real, o natural, puede ser conceptualizada por nuestra mente como tal, como una caricatura, y no generarnos mayor inquietud. Asimismo, cosas que se asemejen mucho a sus contrapartes reales, suelen causarnos admiración y mentalmente son, igualmente, aceptadas.

El meollo recae en aquellas cosas que intentan asemejarse a otras y se acercan, pero no lo suficiente. Esa semejanza a algo real aunada a la falta de familiaridad es lo que nos incomoda tanto porque, desde lo más profundo de nuestro cerebro reptiliano, notamos que hay algo mal. Algo *disonante*. A su vez, es lo que hace que no podamos dejar de observar. Nos genera curiosidad a la vez que rechazo.



Los espacios liminales no sólo son físicos, también podemos estar en un espacio liminal emocional, que nos genera la misma ansiedad por los mismos motivos, como la transición de nuestros estudios a nuestra vida laboral o el proceso de la salida de una relación amorosa. Otro ejemplo, en casos de estrés y ansiedad muy comunes experimentados por mujeres, es la transición entre la concepción y la maternidad: el embarazo.

Parece ser que la *liminalidad* es una cualidad que podemos encontrar en casi cualquier aspecto de la vida, pero sólo si abrimos nuestra percepción para sentirla, por voluntad propia, o forzada a nuestra mente, ya sea por cosas incómodamente mal hechas, por imágenes de lugares vacíos en 4chan o por barullo fuera de casa a altas horas de la madrugada.

La liminalidad no es cuantificable ni tangible. Es algo que sólo existe porque, y cuando, la podemos sentir.

### [Parte 2: El horror de Hubble]

A finales del siglo XVIII, William Herschel registró estrellas visibles con su telescopio, en todas las direcciones y dibujó un mapa: el mapa de Herschel. Este era el registro de todo el Universo visible, sus estrellas y nuestro lugar en él. Sabíamos en qué dirección y a qué distancia estaba cualquier objeto. Era el mapa de nuestro hogar.

Durante la década de los veinte del siglo pasado, el astrónomo estadounidense Edwin Hubble utilizó estrellas variables cefeidas para calcular la distancia a un conocido objeto en la bóveda celeste.

Las variables cefeidas son un tipo de estrellas jóvenes pulsantes que crecen y se comprimen, se calientan y se enfrían en una rítmica respiración. La astrónoma Henrietta Swann-Leavitt descubrió en 1912 que el regular tiempo que le toma a estas estrellas una oscilación completa —una respiración— está íntimamente conectado con su masa y tamaño.

Hubble aplicó este principio.

Identificó estrellas variables en el cúmulo, estimó sus tamaños y calculó la distancia a la que estas estrellas debían estar. El resultado fue una de las mayores revoluciones en la astronomía moderna.

Hubble calculó poco más de novecientos mil años luz de distancia a esa *cosa* que, por mucho, se salía de nuestro familiar mapa. ¿Era otro universo? Era otra galaxia.

Hoy, con técnicas mejoradas sabemos que la gran galaxia de Andrómeda está a más de dos millones de años luz de distancia.

Este cálculo expandió el tamaño del cosmos que concebíamos a una nueva escala en la que nuestra Vía Láctea dejó de ser todo lo que había. No había duda, Andrómeda era un objeto muy externo y lejano a nuestra galaxia. Inclusive era más grande. Nuestro tamaño, nuestro lugar y hasta nuestra importancia se tambalearon al perder sus sólidos cimientos en el cálculo de tal abismo, inimaginablemente más grande de lo que siempre conocimos. Nos enfrentábamos, por primera vez, a la idea del *espacio profundo*.

En ese nuevo y frío vacío intergaláctico volvió a resonar la eterna pregunta de la humanidad: habiendo tantos nuevos posibles hogares de seres que ni la biología moderna termina de dilucidar, habiendo tantas posibilidades: ¿estaremos solos? ¿tendremos compañeros inimaginablemente lejos o todo lo que vemos es una fría burla del Universo destinada a que, pasivamente, la contemplemos por estar imposiblemente lejos?

¿Qué sería peor?

En palabras del escritor estadounidense Arthur C. Clarke:

*"Sólo caben dos posibilidades: o estamos solos o no lo estamos. Ambas son igualmente aterradoras."*

Casi al mismo tiempo, nuestro propio concepto físico de certidumbre se derrumbó, paradójicamente, por las escalas más pequeñas. En ellas observamos, durante el desarrollo de la teoría de la mecánica cuántica, cómo la probabilidad se materializaba como una variable objetivamente real. Era el Caos de la incertidumbre apareciendo frente al Orden de nuestro tan acogedor determinismo. El mismo Einstein se opuso a esta idea:

*"Dios no juega a los dados."*

Tanto los cimientos de nuestro lugar en el Universo como aquellos de nuestro propio concepto de certidumbre se ablandaron por esta sucesión de desarrollos científicos, a un ritmo mayor que la capacidad de nuestra consciencia para alcanzarlos y permitirnos manejar estos nuevos significados. Como el ave fénix, renació un nuevo tipo de miedo, alimentado de incertidumbres y órdenes de magnitud. Este nuevo miedo existencial era, paradójicamente, una reencarnación del sentimiento más crudo y más antiguo codificado en nuestro ADN. Tal vez, el más humano:

¿Podemos tener vecinos que existan en tamaños, tiempos y órdenes de magnitud para los que ni nuestra ciencia, ni nuestra consciencia ni nuestra existencia significan nada? ¿O sería el Universo un infinito y frío abismo sin obligación de ser alcanzable ni explicable para nosotros?

Las artes casi inmediatamente adoptaron y articularon de mejor forma estas cuestiones y estas inquietudes, cuyo uso en la ficción originó un todo un género nuevo en la literatura: el horror cósmico. Su mayor exponente aún nos viene a la cabeza al pronunciar estas palabras:

*"La emoción más antigua de la humanidad es el miedo, y el más fuerte y antiguo tipo de miedo es el miedo a lo desconocido."*

*-H. P. Lovecraft*

Lovecraft creó toda una mitología en diversos cuentos, representada en sus "Dioses Primordiales\*". Seres tan terriblemente poderosos e indiferentes a nosotros que el simple hecho de volvernos semiconscientes de sus

existencias e implicaciones era capaz de terminar con nuestra sanidad y llevarnos a la locura, como les ocurrió a numerosos personajes de sus historias.

Otros autores, como Stephen King retomaron la temática. Podemos ver en "The Mist" (2007) cómo una densa niebla se traga a una tienda llena de gente como tú y como yo, resguardados momentáneamente en una pequeña isla de cotidianidad, representada por los artículos de la tienda, esperando lo inevitable y sin poder hacer nada al respecto que no empeore la situación. Sólo recuerda el final de la película... *ouch!*



El juego Amnesia: The Dark Descent (2010) retoma al horror cósmico en la forma de un extravagante "orbe" descubierto en África durante una expedición del barón Alexander de Brennenburg, a inicios del siglo XIX. De forma similar, nuestro protagonista Daniel despierta en el castillo de Brennenburg sin recuerdos de su pasado, sólo con una nota que se escribió a sí mismo antes de envenenarse para provocarse una permanente amnesia. En la nota se explica a sí mismo que no podía soportar la memoria de lo que hizo a otras personas junto al barón, después de su retorno de África, y se instruye a descender a lo más profundo del castillo para asesinar a Alexander. Daniel termina su propia nota con la advertencia de que una "pesadilla viviente" guardiana del orbe lo está persiguiendo y que no existe forma de defenderse, así que cuando el castillo comienza a sangrar, sólo puede correr. *La única forma de salvarse... es avanzando.*



Hasta los griegos clásicos personificaban al absoluto horror en un monstruo primordial.

La Hidra, la Quimera, el monstruo marino Cetus (no, no es el Kraken, Hollywood te mintió... porque Hollywood miente), el perro guardián de Hades: Cerbero, el temible León de Nemea y el dragón guardián del jardín de las hespérides: Ladón, entre muchos otros, son todos hijos de Tifón, el monstruo absoluto cuya

estatura sobrepasa las nubes, que es capaz de hacer a los Dioses del Olimpo temblar y cuya respiración y caminar se traduce en erupciones volcánicas y terremotos para nosotros.

Todos los monstruos son Verdaderos. Todos son Reales, en mayúsculas. En términos de la Realidad y la Verdad que incluyen a la experiencia y a la consciencia. Todos Son, con "S" mayúscula.

Todos existen como distintos avatares del Caos, de la incertidumbre que nunca podremos controlar, pero que podemos sentir desde lo más profundo de nuestro ser en cada sonido que no identificamos, en cada sombra que no reconocemos, en lo que podría estar allá afuera. En la ansiedad de no saber ni poder controlar qué va a pasar y en la inconsciente sombra Junguiana que cobija a aquello indeseable que todos guardamos dentro de nosotros mismos, pero que preferimos negar.

### [Parte 3: El horror del abismo]

Durante nuestros campamentos astronómicos, muchas personas experimentan algo inesperado al asomarse por un telescopio a la enormidad del espacio exterior. Una agri dulce mezcla de maravilla, ansiedad e incomodidad.

Comentarios del tipo:

—¡Ya lo vi! ¡Es Júpiter! Es inmenso y gigantesco, pero yo lo veo pequeño y frágil. *Aislado.*

—Es caótico; tiene tormentas y huracanes, pero se ve tan... *quieto.*

—Está tan lejos, pero siento que puedo casi tocarlo.

—*Casi puedo tomarlo...*



Júpiter, tal como Cthulhu, luce dormido. Parece inmutable a nuestros tiempos y a nuestras ideas. No podemos hacer nada con él ni hacerle nada a él, salvo contemplarlo. Y sólo se trata de un cercano planeta en nuestro propio Sistema Solar.

Alejarnos de nuestras islas de confort cotidiano y asomarnos a estas imponentes realidades con el simple hecho de ver un cielo despejado estrellado, o al asomarnos a un telescopio, rodeados de la fría negrura de un bosque oscuro es incómodo. Requiere ciertas virtudes. Requiere curiosidad y disposición. Requiere valentía y eso es porque:

*El espacio exterior es el máximo espacio liminal físico.*

Liminal proviene de la raíz etimológica latina *limen*, que significa frontera. Es la misma raíz de la que proviene la palabra límite. El espacio exterior es el máximo límite, es la máxima transición física. Es la última frontera.

Al igual que un pasillo o una escalinata, nadie concibe al espacio como algo que conquistar. Es espacio. Es vacío. Es un corredor. Es un pasadizo entre lo que somos capaces de hacer actualmente y nuestro potencial, en el que hemos resuelto los problemas y los defectos que nos afligen hoy. Es la frontera.

Es la transición que nos llevará a los verdaderos logros:

Volver a pisar la Luna.

Terraformar a Marte.

Abandonar el Sistema Solar.

Conquistar la galaxia.

El espacio representa físicamente nuestros más grandes miedos, obstáculos y debilidades por superar y, por ese motivo, cada logro en él conlleva una batalla ganada por nuestra pequeñez, por nuestra humanidad y por nuestra fragilidad. Por nuestra mortalidad.

Y ese es exactamente el punto.

*Nuestra propia vida es el máximo espacio liminal existencial, ya que la vida es una constante transición entre nuestro nacimiento y nuestra muerte.*

La vida es un pasillo que recorreremos de espaldas, sólo pudiendo mirar aquello ya recorrido, a un ritmo que no podemos detener, sin haberlo pedido y sin controlar aquello con lo que nos vamos a tropezar, con la única certeza de que se va a acabar, pero ignorantes a cuándo, dónde y cómo será, y a lo que vendrá después.

Esa niebla que nos abraza a cada paso, a cada tic-tac del reloj, es incómoda. Es paralizante y emocionalmente demandante. Es mentalmente exhaustiva y, parafraseando lo que Lovecraft atinadamente articuló, preferimos regresar a la seguridad de nuestra ignorancia y evitar, en lo posible, explorarla de forma consciente. Preferimos vivir como si fuéramos permanentes. En el cuento de Pinocho, ese abismo es el vientre de la ballena del que debemos rescatar al potencial contenido en nuestros genes —representado por Gepeto— para dejar de ser de madera y convertirnos en *niños de verdad*. Es el abismo de Nietzsche que nos mira cuando nos atrevemos a mirarlo a él.

Paradójicamente, sólo la incertidumbre es transformativa y sólo en ella existe el potencial.

Solo el Caos puede dar a luz, o materializar (de *mater*, madre), tal y como narran los relatos bíblicos que se origina todo a partir del Caos tomando forma, *materializándose*, mediante la palabra.

Sólo en la incertidumbre de un espacio liminal físico, emocional, metafórico o existencial es que podemos trascender lo que somos y alcanzar aquello que podemos Ser. Sólo navegando al otro lado es que encontramos una mejor versión de nosotros mismos. Nuevas capacidades, más sabiduría, mejores personas a nuestro alrededor, una mejor vida y un nuevo e inquietante pasillo frío que atravesar.

Vivir es atravesar esa inevitable niebla. Vivir es caminar hacia la liminal incertidumbre de lo que llamamos futuro, con visión a lo que llamamos pasado, a paso firme —aunque a veces no tanto— sobre lo que llamamos presente. Vivir es confiar y también es avanzar y explorar aun cuando desconfiamos. Vivir es atreverse a averiguar qué ocurre en nuestra puerta, y manejar la respuesta que aparezca. Vivir es salir de la comodidad y atreverse a tocar un poco *más allá*.

**Atravesar la liminalidad para encontrar significado es el camino del héroe.**

Vivir conscientemente es de valientes, así que acompáñame. Vamos a acampar para ver las estrellas.

Asómate al telescopio... si te atreves.

Иди и смотри. (*Ven y mira, Revelación 6:1-17*)



**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)



# Glaciares y su entorno: estado actual

21 MARZO 2025 | 9:00 a 18:00 h.

## Conferencias magistrales

- **Michael Zemp**, Responsable del World Glacier Monitoring Service
- **Rodolfo Iturraspe**, Coordinador del GTNH-LAC y PHI

PROGRAMA



2025  
Año Internacional  
de la Conservación  
de los Glaciares

Auditorio Tlayólotl - Dr. Ismael Herrera Revilla  
Transmisión en vivo @GeofisicaUNAM



# Programa

09:00-09:30 INAUGURACIÓN			
09:30-09:40	Michael Zemp et al.	INTO THE INTERNATIONAL YEAR OF GLACIERS' PRESERVATION 2025 - PERSPECTIVES FROM THE WORLD GLACIER MONITORING SERVICE	WGMS, UZH
09:40-10:00	Laura Imburgia	LOS GLACIARES EN EL INFORME ANUAL DEL AGUA	UNESCO
10:00-10:20	Lorenzo Vazquez-Selem y Oscar Mena-Montes	GLACIACIONES DEL PLEISTOCENO TERMINAL Y EL HOLOCENO EN MÉXICO: ESTADO DEL CONOCIMIENTO	IGG
10:20-10:40	Hugo Delgado Granados et al.	70 AÑOS DE MONITOREO DE GLACIARES DE MEXICO	IGEF, UASLP, SECIHTI, CCTUV
10:40-11:00	Víctor H. Soto Molina et al.	GEOMORFOLOGÍA PARA GLACIAR TRAS LA RETRACCIÓN DEL GLACIAR NORTE DEL PICO DE ORIZABA	CCTUV, IGEF
11:00-11:20	Alejandro Carrillo Chávez et al.	DOS DÉCADAS DE MONITOREO DE CONCENTRACION DE METALES PESADOS EN GLACIARES DE MEXICO	IGEO, ICAYCC
11:20-11:40	Mariana E. Espinosa-Blas et al.	ESTIMACIÓN DE LA COBERTURA DE NIEVE EFÍMERA Y SU EQUIVALENTE EN AGUA EN LA SIERRA DE SAN PEDRO MÁRTIR, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO.	UABC, CICESE, SDSU
11:40-12:00 RECESO			
12:00-12:20	Daniela Calvo Ramos et al.	ANÁLISIS DE MICROPLÁSTICOS EN HIELO Y AGUA GLACIAR: EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN EN MONTAÑAS DE PERÚ Y BOLIVIA.	IGEO, UVM
12:20-12:40	Wilmer Sanchez	VARIABILIDAD ESTACIONAL DEL CARBONO NEGRO DURANTE UNA DÉCADA EN LOS GLACIARES DE LA CORDILLERA BLANCA, PERÚ	UNASAM
12:40-13:00	Junior Figueroa Miranda et al.	MAPEO DE LA COBERTURA GLACIAR EN LA CORDILLERA BLANCA MEDIANTE EL ALGORITMO DE CLASIFICACIÓN RANDOM FOREST EN IMÁGENES RADAR.	UNASAM
13:00-13:20	Aditya Mishra et al.	GLACIER DYNAMICS IN RESPONSE TO CLIMATE CHANGE, MADHYAMA HESHWAR WATERSHED (MANDAKINI BASIN), UTTARAKHAND, CENTRAL HIMALAYA	HNBGU, IITM, IGEO
13:20-13:40	Jose Manuel Herrera Nizama et al.	ASPECTOS GEOLÓGICOS CLAVES EN LA GENERACIÓN DE PROCESOS DE DRENAJE ÁCIDO DE ROCA EN LA ZONA SUR OCCIDENTAL DE LA CORDILLERA BLANCA	INAIGEM
13:40-15:00 COMIDA			
15:00-15:20	Rodolfo Iturraspe	CAMBIOS EN LAS ALTAS CUMBRES DE AMÉRICA LATINA QUE COMPROMETEN LAS RESERVAS DE AGUA DE LA CRIÓSFERA	ICPA
15:20-15:40	Patricia Margarita Valdespino Castillo et al.	BIODIVERSIDAD OCULTA: TAPETES MICROBIANOS ANTÁRTICOS	IGEO, AMEA
15:40-16:00	Bárbara Beatriz Moguel Rodríguez	DES HIELO, PERMAFROST Y FIRMA DE ADN	UDLAP
16:00-16:20	Socorro Lozano-García et al.	EL REGISTRO PALEOECOLÓGICO DE NAHUALAC, UN SITIO ARQUEOLÓGICO DE ALTURA EN EL IZTACCIHUATL: DINÁMICA Y EVOLUCIÓN DEL PAISAJE.	IGF
16:20-17:20 CARTELES			
17:20-17:40	Carlos Manuel Welsh Rodriguez et al.	ESCENARIOS DE CALENTAMIENTO GLOBAL EN EL GLACIAR JAMAPA	CCTUV, ICAYCC
17:40-18:00	Kenji Yoshikawa et al.	THERMAL STATE OF PERMAFROST IN THE HIGH MOUNTAINS OF MEXICO AND THERMAL INTERACTIONS OF GLACIERS WITH PERMAFROST	UAF, CCTUV, IGEF, Club Brujos, UCM

# CARTELES

Jorge Ángel Arano Robledo, Víctor H. Soto Molina	AVANCES EN LA RECONSTRUCCIÓN DE LA COBERTURA DE PERMAFROST EN EL VOLCÁN COFRE DE PEROTE, DURANTE EL ÚLTIMO MÁXIMO DE PERMAFROST	CCTUV
Daniela Kristell Calvo Ramos et al.	ISÓTOPOS DE ZINCO Y SU USO COMO TRAZADORES EN EL MEDIO AMBIENTE DE NIEVE DE ALTA MONTAÑA EN MÉXICO (IZTACCIHUATL Y CITLALTÉPETL)	IGEO
Jorge Cortés Ramos et al.	REVISIÓN DEL ÁREA GLACIADA DEL VOLCÁN CITLALTÉPETL: IMPLICACIONES PARA LA CARACTERIZACIÓN REGIONAL Y CLIMÁTICA DE LOS GLACIARES MEXICANOS	CICESE, IGEF
Juan Carlos De Jesús Rojas et al.	RECONSTRUCCIÓN GLACIAR DE LAS EVIDENCIAS DEL ÚLTIMO MÁXIMO GLACIAL (UMG) EN EL VOLCÁN LA MALINCHE, TLAXCALA-PUEBLA.	IGG, UCM
Isis Maharaj Rincon Callejas, Víctor H. Soto-Molina	ESTUDIO DE LA SEGURIDAD HÍDRICA EN LAS PRINCIPALES LOCALIDADES HIDRO-DEPENDIENTES DEL GLACIAR NORTE DEL PICO DE ORIZABA	CCTUV
Oscar Mena Montes, Lorenzo Vazquez Selem	EXTENSIÓN DE LOS GLACIARES DEL IZTACCIHUATL ENTRE 1960-2024 A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES DE GOOGLE EARTH	IGG
María Esther Nava Bringas et al.	ECOSISTEMA DE ALTA MONTAÑA: ESTADO ACTUAL DEL BOSQUE DEL VALLE DE PEROTE	CCTUV
Jorge Alberto Neyra Jáuregui	LA FLORA PERIGLACIAR DEL MÉXICO CENTRAL: ALGUNAS SINGULARIDADES Y NOTAS SOBRE CIERTAS DE SUS ESPECIES.	INVESTIGADOR INDEPENDIENTE
Guillermo Ontiveros-González et al.	CARBONO NEGRO EN NIEVE, AGUA Y HIELO GLACIAR, GLACIARES DE MEXICO, PERU Y BOLIVIA	IGEF, IGEO

## SIMPOSIO

### Glaciares y su entorno: estado actual

**Organizado como parte de los eventos del Año Internacional de los Glaciares (2025) y el día declarado “Día Mundial de los Glaciares” (21 de marzo) por la UNESCO.**

**Sede: Instituto de Geofísica, UNAM, CdMex**

**Comité Organizador:** Hugo Delgado Granados, Alejandro Carrillo-Chávez, Jorge Cortés, Pablo Lepe, Miguel Rubio, Victor Soto, Eric Vázquez y Lorenzo Vázquez-Selem.

UNAM, Universidad Veracruzana, UNESCO, Academia Mexicana de Ciencias, CICESE, Agencia Mexicana de Estudios Antárticos

### Resúmenes de Ponencias (oral y posters)

**Avances en la reconstrucción de la cobertura de permafrost en el volcán Cofre de Perote, durante el Último Máximo de Permafrost**

Jorge Ángel Arano-Robledo<sup>\*1</sup>, Víctor Soto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Geografía, Universidad Veracruzana, Mx

<sup>2</sup>Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana, Mx

\*Autor de correspondencia: [jorge.aranor@gmail.com](mailto:jorge.aranor@gmail.com)

El planeta oscila entre períodos fríos (glaciares) y cálidos (interglaciares) que originan cambios de clima cíclicos, los cuales generan el avance y retroceso de masas de hielo continentales en el hemisferio norte, así como en relieves montañosos de zonas intertropicales; sin embargo, también favorecen el desarrollo de permafrost a una altitud menor que en la actualidad. Al último periodo de máxima extensión se le conoce como Último Máximo de Permafrost (UMP, ~20 mil años AP). Este evento climático influyó en la modelación del relieve en la alta montaña del país, donde cumbres de 3,000 msnm pudieron potencialmente desarrollar permafrost, y por lo tanto, influir en la evolución de la montaña debido a la estabilidad geomorfológica que brinda el permafrost dada su acción cementante. Puesto que el volcán Cofre de Perote presentó su última actividad volcánica hace ~200 mil años AP, es posible interpretar el relieve actual en paralelo con estudios paleoclimáticos para reconstruir la cobertura que alcanzó el permafrost durante el UMP. Actualmente se cuentan con 10 de 12 meses muestreados de la temperatura del suelo y aire a distinta

profundidad y altitud, que en complemento con información climática existente y el ajuste a valores correspondientes al UMP, se pretende construir un modelo geoestadístico correlacionando temperatura y altitud para estimar la extensión y profundidad del permafrost en dicha temporalidad. A partir de esto, se podrá comprender el papel del permafrost en la estabilidad y evolución geomorfológica de las laderas del Cofre de Perote, así como realizar una aproximación a potenciales riesgos geomorfológicos a los que estaría expuesta la población e infraestructura circundante.

**Análisis de microplásticos en hielo y agua glaciario: Evaluación de la contaminación en montañas de Perú y Bolivia**

Daniela K. Calvo-Ramos<sup>1\*</sup>, Alejandro Carrillo-Chávez<sup>1</sup>, Regina Goque<sup>2</sup>, Itzamna Zaknite Flores-Ocampo<sup>3</sup>, Luisa Rueda-Garzon<sup>1</sup> y Guillermo Ontiveros-González<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Inst. de Geociencias, UNAM, Campus Juriquilla.

<sup>2</sup>Universidad del Valle de México, Campus Querétaro.

<sup>3</sup>Inst. de Geología, UNAM, CU CdMex.

\*[dcalvo@geociencias.unam.mx](mailto:dcalvo@geociencias.unam.mx)

Los microplásticos son partículas con un tamaño menor a 5 mm derivadas de la degradación de plásticos. Debido a la inadecuada gestión de desechos, los microplásticos terminan en cuerpos de agua, suelos y aire, infiltrándose en todos los ecosistemas y penetrando en la cadena trófica. En este estudio, se analizaron los residuos sólidos contenidos en muestras de nieve y agua glaciario de montañas de Perú y Bolivia utilizando las técnicas de microscopía óptica y espectroscopía infrarroja (IR) para identificar la presencia de microplásticos y los polímeros que los constituyen. El análisis espectroscópico reveló la presencia de varios tipos de plásticos incluidos celofán, estireno acrilonitrilo, poliacrilato de etilo, poliacrilonitrilo y etilvinilacetato. Estos hallazgos demuestran la extendida contaminación por microplásticos en regiones montañosas remotas, resaltando la necesidad de medidas de gestión de residuos más efectivas.

**Isótopos estables de zinc y su uso como trazadores en el medio ambiente de nieve de alta montaña en México (Iztaccihuatl y Pico de Orizaba)**

Daniela K. Calvo-Ramos<sup>1</sup>, Mike Pribil<sup>2</sup>, Rocío García<sup>3</sup>, Carolina Muñoz-Torres<sup>1</sup> y Alejandro Carrillo-Chávez<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Inst. de Geociencias, UNAM, Campus Juriquilla.

<sup>2</sup>United States Geological Survey, USGS, Denver, Colorado, EUA

<sup>3</sup>Inst. de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, CU, CdMex.

\*Autor de correspondencia: [ambiente@geociencias.unam.mx](mailto:ambiente@geociencias.unam.mx)

Desde hace unos 6,000 años hemos usado metales como Cu, Fe, Zn entre otros. Desde la revolución industrial (1700's) aumentamos considerablemente el uso y cantidad de metales en procesos industriales. Pero en los últimos 40 años el número de metales usados en la tecnología moderna ronda los 68 (un buen ejemplo son nuestros dispositivos móviles). Por otro lado, algunos metales como: Ca, Mg, Fe, Cu, Zn (entre otros) son básicos en procesos metabólicos de plantas, animales, incluso el ser humano. Durante los

últimos años se ha investigado el sistema isotópico de los metales de transición para comprender cuestiones importantes como el rastreo de fuentes y destinos de contaminantes metálicos y el desarrollo de firmas biológicas de isótopos. Los isótopos de Zn y la relación Isotópica entre <sup>66</sup>Zn y <sup>64</sup>Zn nos sirve como trazador ambiental para determinar el origen de Zn: antropogénico u origen natural. El Zn es uno de los metales más minados y utilizados por el ser humano y tiene una función metabólica enzimática muy importante en organismos superiores, incluyendo al ser humano. En el ser humano y otros organismos, el Zn debe de estar en un balance, es decir, exceso o déficit de Zn en el organismo puede producir mal funcionamiento metabólico. En el centro de México existe un importante desarrollo industrial y es importante cuantificar los isótopos estables de Zn ( $\delta^{66}\text{Zn}$ ) nieve de alta montaña de México con la finalidad de encontrar la concentración y fuente del Zn (ambiental o antropogénica).

**Dos décadas de monitoreo de metales pesados en nieve, agua y hielo glaciario en altas montañas de México**

Alejandro Carrillo-Chávez<sup>1</sup>, Carolina Muñoz Torres<sup>1</sup>, Daniela Calvo<sup>1</sup>, Luisa Rueda<sup>1</sup>, Rocío García<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Inst. Geociencias, UNAM Campus Juriquilla.

<sup>2</sup>Inst. de C. de la Atmósfera y C.C. UNAM, CU.

\*Autor de correspondencia: [ambiente@geociencias.unam.mx](mailto:ambiente@geociencias.unam.mx)

En las últimas dos décadas, el análisis de la concentración de metales pesados en hielo glaciario, nieve y agua de las altas montañas de México ha proporcionado información fundamental sobre la deposición atmosférica, los efectos del cambio climático y las fuentes de contaminación. Se presenta un análisis de las tendencias en 2 décadas (2006 a 2025) en la acumulación de metales, centrándose en: Zn, Cr, Fe, Ni, Cu, Cd, Pb, y As (metaloide). Se examinan las metodologías de muestreo y análisis, incluidas las extracciones de núcleos de hielo somero. Los resultados indican un aumento de las concentraciones de metales, influidas por las emisiones urbanas e industriales, los incendios forestales, las erupciones volcánicas (Popocatepetl) y el polvo natural. Se exploran las implicaciones para el deshielo de los glaciares, la calidad del agua y la salud de los ecosistemas. Comprender estas tendencias a largo plazo es esencial para desarrollar estrategias de mitigación e informar la política medioambiental. Esta charla subraya la importancia de la vigilancia continua a gran altitud para evaluar los impactos antropogénicos en los frágiles ecosistemas de montaña.

**Revisión del área glaciada del volcán Citlaltépetl: implicaciones para la caracterización regional y climática de los Glaciares Mexicanos**

Jorge Cortés Ramos<sup>\*1,4</sup>, Hugo Delgado Granados<sup>2</sup>, Guillermo Ontiveros González<sup>3</sup>

<sup>1</sup>SECIHTI-CICESE, Unidad Académica La Paz, La Paz, BCS.

<sup>2</sup>Instituto de Geofísica, UNAM CU, Circuito Exterior, CdMex.

<sup>3</sup>Universidad Veracruzana, Jalapa, Ver.

<sup>4</sup>Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior CU, CdMex.

\*Autor de correspondencia: [jorgecr@cicese.mx](mailto:jorgecr@cicese.mx)

De acuerdo con los registros y mediciones del Prof. José Luis Lorenzo sobre la extensión y morfología de los glaciares existentes en el volcán Citlaltépetl (Pico de Orizaba), en 1958, el sistema de glaciares tenía una extensión de >9 km<sup>2</sup>. Para 2001 y con base en fotogrametría satelital, este sistema medía 0.98 km<sup>2</sup>. Esto significaba una pérdida del 80% del área glaciario en tan sólo 40 años. Dada la magnitud del retroceso, se inició una revisión profunda acerca de este retroceso tan acelerado, considerando que el cambio se dio en uno de los sistemas glaciales más alejado de zonas urbanas, industriales y con poca actividad volcánica. Se encontró que la cartografía del Prof. Lorenzo y sus estimaciones adolecían de un error de proyección que magnificó las dimensiones de este sistema de glaciares de 2.04 a 9.5 km<sup>2</sup>. Resultado de esta revisión se inició un análisis de la caracterización regional y climática de los glaciares Mexicanos. En términos generales, se encontró que este sistema de glaciares evolucionaba de una manera similar a la de los glaciares del Iztaccihuatl. Estacionalmente, el régimen climático de estos glaciares se limita a dos estaciones el invierno (frío y subhúmedo) y el verano (cálido y húmedo). Durante el invierno el calor latente es el que domina el balance de energía sobre el glaciario, provocando principalmente la sublimación de la superficie glaciario. En veranos lluviosos, el balance de energía es negativo y la presencia de nieve sobre la superficie (dada la altitud) limita la fusión del hielo producto de la radiación neta. Se concluyó que de los regímenes glaciario y climático, los glaciares mexicanos son un híbrido de los glaciares tropicales con una respuesta a la temperatura similar a la de los glaciares en latitudes medias; algo próximo a los glaciares subtropicales.

**Reconstrucción glaciario de las evidencias del Último Máximo Glaciario (UMG) en el volcán La Malinche, Tlaxcala-Puebla.**

Juan Carlos De Jesús Rojas<sup>\*1</sup>, José Juan Zamorano Orozco<sup>2</sup>, José María Fernández-Fernández<sup>3</sup>, David Palacios Estremera<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Posgrado en Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior CU, CdMex.

<sup>2</sup>Instituto de Geografía, UNAM CU, Circuito Exterior, CdMex.

<sup>3</sup>Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.

\*Autor de correspondencia: [juan.rojas.dejesus@gmail.com.mx](mailto:juan.rojas.dejesus@gmail.com.mx)

La Malinche es una de las principales elevaciones del Centro de México (4461 msnm), volcán de tipo compuesto producto de una alternancia volcánica entre amplios periodos de inactividad y eventos explosivos-efusivos de gran magnitud, acontecimientos que le han otorgado una configuración específica a dicha estructura (Castro-Govea y Siebe, 2007). Sumado al vulcanismo como configurador del relieve en La Malinche, han sido los procesos glaciares asociados al Último Máximo Glaciario (UMG; 20-14 Ka) los responsables del arreglo morfológico de la zona (Vázquez-Selem y Lachniet, 2017). Este evento paleoclimático generó la formación y avance de grandes masas de hielo (glaciares) en terrenos cumbreles, mismos que han dejado evidencia de su paso, a partir de formas

erosivas (circos) y acumulativas (depósitos morrénicos), que sirven como punto de partida para la reconstrucción de los *paleoglaciares*.

A partir de un criterio geomorfológico, con el reconocimiento y cartografía de las evidencias glaciares, se reconstruyeron las máximas extensiones que ocuparon los *paleoglaciares* en la zona, la altura y espesor de sus hielos, así como el cálculo de la Altitud de la Línea de Equilibrio Glaciar (ELA), a partir de la estimación de tres escenarios probables (máximo, medio y mínimo) y con el uso de una herramienta semiautomática aplicada en un SIG, GlaRe y ELA calculation (Pellitero, *et.al.*, 2015 y Pellitero, *et.al.*, 2016).

Los resultados fueron un área glaciar reconstruida de 17459 km<sup>2</sup>, con una extensión máxima del hielo hasta los 2 960 msnm y un espesor máximo del hielo de 192 m, el cual llegó a acumular un volumen de agua cercano a los 64 km<sup>3</sup>, y una ELA promedio de 3672 msnm (De Jesús-Rojas, 2021).

### ~70 años de monitoreo de glaciares en México

<sup>1</sup>Instituto de Geofísica, UNAM CU, CdMx, México

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Sociales y Humanidades, UASLP, Alvaro Obregón 64, Centro, SLP, 78000 México.

<sup>3</sup>SECIHTI- CICESE Unidad Académica La Paz, Calle Miraflores 334, Col. Bella Vista, La Paz, Baja California Sur, 23050 México.

<sup>4</sup>Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana, México

<sup>5</sup>Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM, Circuito Exterior CU-UNAM, Coyoacán, Cd. Mex., 04510 México.

\*\*Autor de correspondencia: [hdelgado@unam.mx](mailto:hdelgado@unam.mx)

Esta contribución trata de los trabajos glaciológicos realizados en los últimos ~70 años en las montañas mexicanas. En 1964 se midió el tamaño de 12 glaciares en el volcán Iztaccíhuatl mediante fotografías aéreas, resultando una extensión de 1.4 km<sup>2</sup>. Al momento, sólo existen remanentes estáticos del hielo glaciar que hubo en esta montaña. Aunque gran parte del retroceso glaciar está relacionado con el cambio climático, las observaciones *in situ* sugieren también flujos de calor geotérmicos e hidrotermales en el área del cráter. Los glaciares del Popocatepetl: el área glaciar en 1964 era de 0.72 km<sup>2</sup> y consistía en 3 glaciares. Antes de 1994, el retroceso glaciar era del orden de ~10,000 m<sup>2</sup>/año. El 21 de diciembre de 1994 inició un período eruptivo en el volcán caracterizado por explosiones alternadas con fases de construcción-destrucción de domos de lava. El aumento del flujo de calor bajo el hielo glaciar, la caída de tefra sobre su superficie y los flujos piroclásticos que se desplazaron sobre la superficie del glaciar, provocaron un adelgazamiento irregular, retroceso y, en la etapa final, su fragmentación entre 1994 y 2001. En el volcán Citlaltépetl se estableció la existencia de 9 glaciares, que cubrían una superficie de 2.04 km<sup>2</sup>. En 2007 cubrían una superficie de 0.62 km<sup>2</sup>, y para 2019 quedó expuesto el lecho rocoso, más rápido de lo previsto anteriormente. La zona de acumulación del sistema glaciar no existe desde entonces. La exposición del lecho rocoso aumenta la transferencia de energía solar en forma de calor al hielo y la nieve

adyacentes, provocando un derretimiento creciente. Al mismo tiempo, impide el flujo de hielo hacia la zona de ablación, provocando un retroceso acelerado del frente glaciar. La superficie del glaciar en 2019 era de ~0,46 km<sup>2</sup>, y la extensión actual en 2024 es de sólo ~0,37 km<sup>2</sup>.

### Estimación de la cobertura de nieve efímera y su equivalente en agua en la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California, México

Mariana E. Espinosa-Blas\*<sup>1</sup>, Napoleón Gudiño Elizondo<sup>1</sup>,

Alejandro González Ortega<sup>2</sup>, Trent W. Biggs<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California

<sup>2</sup>Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.

<sup>3</sup>San Diego State University

\*Autor de correspondencia: [elizabeth.espinosa@uabc.edu.mx](mailto:elizabeth.espinosa@uabc.edu.mx)

En los últimos años, el incremento de la temperatura ha ocasionado que las capas de nieve (reservorios naturales) a nivel global reduzcan su extensión, así como su dinámica y su permanencia. La nieve efímera corresponde a aquella capa de nieve que permanece en el suelo desde horas hasta dos meses, y proviene de una sola tormenta. El presente trabajo tiene como objetivo estimar la cobertura de nieve efímera en la Sierra de San Pedro Mártir y su equivalente de agua (SWE, por sus siglas en inglés) a partir de datos de libre acceso aplicando técnicas de percepción remota. Para lograrlo, se determinó un umbral óptimo de NDSI (Normalized Difference Snow Index) para las condiciones de nieve efímera en la zona, se comparó con las condiciones climáticas (años húmedos, secos y normales) de 20 años y con la topografía local. Los resultados indican que en años húmedos la proporción de nevadas en la sierra suele ser de hasta 20% de la precipitación anual, mientras que en años secos esta proporción suele ser menor del 15%. El umbral óptimo de NDSI suele ser entre 5 y 6 dependiendo del satélite que se utilice. De acuerdo a la topografía local, el potencial SWE está influenciado principalmente por la pendiente y la elevación del terreno. Se utilizaron técnicas de validación cruzada, imágenes de cámaras trampa y escasos datos *in situ*. Este estudio sugiere extender las mediciones en campo para aumentar la robustez de los análisis, así como explorar otras técnicas de menor resolución temporal como Lidar e interferometría SAR o GNSS, e implementar la ciencia ciudadana para documentar las observaciones de las nevadas, con el fin de avanzar en el conocimiento de la dinámica de las capas de nieve efímera y la hidrología en zonas montañosas.

### Mapeo de la cobertura glaciar en la Cordillera Blanca mediante el algoritmo de clasificación Random Forest en imágenes Radar.

Junior Figueroa-Miranda\*<sup>1,2</sup>, Edwin Loarte\*<sup>1,2</sup>, Katy Medina\*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Ciencias de la Tierra, Ambiente y Tecnología (ESAT), Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM), Huaraz, Perú.

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias del Ambiente (FCAM), Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM), Huaraz, Perú.

\*Autor de correspondencia: [jafigueroam@unasam.edu.pe](mailto:jafigueroam@unasam.edu.pe)

El Perú alberga a la Cordillera Blanca, siendo esta la que posee la mayor concentración de glaciares tropicales en el mundo. Sin embargo, estos glaciares están experimentando una reducción rápida de su cobertura debido al calentamiento global, lo que representa una amenaza para la seguridad hídrica. Para ello es necesario tener una cartografía adecuada que nos permita monitorear y comprender la evolución de la cobertura glaciar y con ello evaluar los impactos del cambio climático en los ecosistemas de las montañas.

El estudio tuvo como objetivo evaluar a nivel de la eficacia del algoritmo de clasificación Random Forest; para esto se utilizaron imágenes del satélite Sentinel-1 y se mapeó la cobertura glaciar en las tres unidades hidrográficas de la Cordillera Blanca. Los resultados se evaluaron a nivel de la precisión del productor y el índice de Kappa.

Las imágenes satelitales utilizadas comprenden los meses de octubre y noviembre del 2016 y 2020. Antes del proceso de clasificación, se aplicaron correcciones geométricas, radiométricas y de ruido para mejorar la calidad de los datos. Además, se planteó la combinación de tres bandas SAR, en las que se aplicó el algoritmo de clasificación. Los resultados obtenidos en cada escenario fueron validados con los inventarios glaciológicos nacionales (INAIGEM, 2018, 2023). De los escenarios planteados, se obtuvo el mejor resultado en el tercer escenario, siendo los valores del productor de 79.61% e índice de Kappa de 0.78 en 2016 y 75.66% y 0.74 en 2020, respectivamente. Los valores indican una alta confiabilidad del modelo de identificación en la cobertura glaciar, que se obtienen con imágenes radar, lo que lleva a demostrar el potencial que tiene en el inventario glaciológico.

Los resultados demuestran la confiabilidad del mapeo de la cobertura glaciar mediante imágenes SAR y resaltan la utilidad para evaluar el retroceso glaciar en la Cordillera Blanca.

### Aspectos geológicos claves en la generación de procesos de drenaje ácido de roca en la zona sur occidental de la cordillera Blanca

Jose Herrera<sup>1</sup>, Yeidy Montano<sup>1</sup>, Frank Santiago<sup>1</sup>, Mirtha Camacho Hernández<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña; Huaraz, Perú

\*Autor de correspondencia: [mcamacho@inaigem.gob.pe](mailto:mcamacho@inaigem.gob.pe)

La zona sur occidental de la cordillera Blanca, ubicada en los andes centrales de Perú, ha sufrido una significativa pérdida de masa glaciar, favoreciendo la exposición de afloramientos rocosos al contacto con agua y condiciones atmosféricas. El análisis de información secundaria espacial, evaluaciones de campo, así como análisis mineralógicos y geoquímicos en esta área, han permitido constatar que las unidades rocosas correspondientes al grupo Chicama y cuerpos subvolcánicos están enriquecidos con minerales sulfurosos como pirita, esfalerita y bornita. Estas rocas, debido a los procesos de oxidación están generando procesos de drenaje ácido de roca (DAR), impactando directamente a las poblaciones aledañas, a los ecosistemas de montaña con la acidificación de los cuerpos de agua.

### Estudio de la seguridad hídrica en las principales localidades hidro-dependientes del glaciar norte del Pico de Orizaba

Isis Maharai Rincon Callejas<sup>1\*</sup>, Soto Víctor<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de la Licenciatura en Geografía, Universidad Veracruzana, Mex

<sup>2</sup>Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana, Mex

\*Autor de correspondencia: [isismaharai@gmail.com](mailto:isismaharai@gmail.com)

Los glaciares son fuentes de agua primordiales para las poblaciones que se encuentran cerca estos cuerpos de hielo, otorgando un suministro de agua para sus actividades básicas y económicas. Sin embargo, el cambio climático ha dado pie a su acelerado retroceso, comprometiendo el acceso y calidad del recurso hídrico. Un ejemplo de ello es la desaparición del glaciar Chacaltaya en Bolivia y su impacto en la ciudad de La Paz, el cual evidenció la vulnerabilidad de los sistemas de abastecimiento de agua ante la desaparición de los glaciares. En México, el volcán Pico de Orizaba alberga al último glaciar registrado, nombrado “Glaciar Jamapa”, el cual, cuenta hasta el año 2024 con una extensión de 0.37 km<sup>2</sup> y a su alrededor se ubican localidades rurales, entre las que destacan Nueva Vaquería (3,063 msnm), Nuevo Jacal (3,007 msnm) y San Miguel Tlacotiopa (2,792 msnm); todas están catalogadas como localidades alta y medianamente marginadas; todas las localidades son hidro dependientes del glaciar dada su altura de localización. Esta investigación busca evaluar la seguridad hídrica de las localidades dependientes del agua del deshielo natural, esto mediante el cálculo de la oferta hídrica potencial del glaciar y la demanda de agua de la población futura; con ello se busca construir un Índice de Seguridad hídrica que permita reconocer los niveles de riesgo y así poder contribuir a la construcción de estrategias de mitigación. Se espera que estos resultados colaboren en futuros estudios sobre la reducción de la vulnerabilidad hídrica en localidades afectadas.

### Cambios en las altas cumbres de América Latina que comprometen las reservas de agua de la criósfera

Rodolfo Iturraspe\*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Coordinador del Grupo de Trabajo de Nieves y Hielos – PHI-LAC, UNESCO

<sup>2</sup>Instituto de Ciencias Polares, Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Nacional de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur.

\*Autor de correspondencia: [rodolfoiturraspe@yahoo.com](mailto:rodolfoiturraspe@yahoo.com)

Desde México al extremo sur de Chile y Argentina predomina notablemente la intensificación de la tendencia recesiva en los glaciares, producto del calentamiento global. El ciclo de 12 meses entre febrero de 2023 y enero de 2024 superó la temperatura media global de 1,5 °C de incremento respecto del nivel preindustrial, límite que el IPCC ha recomendado no alcanzar. La pérdida de hielo, evidenciada en la reducción de la superficie y del espesor ha motivado la extinción de numerosos glaciares en la última centuria, en muchos casos no documentada, con impacto en la biodiversidad y en actividades humanas. Por otra parte, el incremento de la temperatura ha producido la reducción de la acumulación de nieve estacional, de vital importancia en la regulación de los recursos hídricos de cuencas de

montaña. La dimensión del problema se agrava por la ocurrencia de sequías prolongadas, como la que afectó gran parte de los Andes de Chile y Argentina entre 2010 y 2022, dando lugar a escasez de agua generalizada en la región. En adición, cabe destacar la alta variabilidad de la respuesta de diferentes glaciares en el contexto recesivo, que agrega complejidad a la evaluación de las consecuencias de los cambios que se presentan en las altas cumbres de América Latina.

### El registro paleoecológico de Nahualac, un sitio arqueológico de altura en el Iztaccíhuatl: dinámica y evolución del paisaje

Socorro Lozano-García<sup>\*1</sup>, Montserrat Amezcua<sup>1</sup>, Diana Avendaño-Villeda<sup>1</sup>, Lorenzo Vázquez-Selem<sup>2</sup>, Itzel Sigala-Regalado<sup>3</sup>, Margarita Caballero<sup>4</sup>, Susana Sosa-Nájera<sup>1</sup>.  
<sup>1</sup>Instituto de Geología, UNAM CU, Circuito Exterior, CdMx.  
<sup>2</sup>Instituto de Geografía, UNAM CU, Circuito Exterior, CdMx.  
<sup>3</sup>Facultad de Ciencias, UNAM CU, Circuito Exterior, CdMx.  
<sup>4</sup>Instituto de Geofísica, UNAM CU, Circuito Exterior, CdMx.  
<sup>\*</sup>Autor de correspondencia: mslozano@unam.mx

El estanque de Nahualac se encuentra en una pequeña depresión en la parte superior de un flujo de lava Iztaccíhuatl (5280 msnm), a una altitud de 3900 msnm. El flujo de lava fue moldeado por la erosión glaciaria durante el Último Máximo Glacial, entre 21 y 14.5 ka. El glaciar sobre-excavó depresiones preexistentes en la lava, en una de las cuales se encuentra el estanque de Nahualac, donde se han acumulado sedimentos desde fines del Pleistoceno hasta hoy. Se presenta la reconstrucción del paisaje a través del análisis multiproxy: análisis de microfósiles, geoquímica de los sedimentos, cronología de <sup>14</sup>C y tefracronología de una secuencia sedimentaria. Se registran tres etapas, en la primera, 8300 a 5200 ka dominan diatomeas bentónicas como *Pinnularia borealis*, *Surirella linearis* y *Gomphonema* spp. indicando un ambiente acuático-subacuático, frío, pocos nutrientes y aguas ácidas. La vegetación (8300 – 5200 ka) corresponde a pastizales alpinos con elementos de bosques mixtos con *Pinus*, *Quercus*, y *Alnus* que cambian a bosques de *Pinus* (6500 – 5200 ka). En la segunda etapa, 5200 – 4500 ka se incrementa el nivel del agua favoreciendo las comunidades de microcrustáceos e insectos acuáticos. Hay diatomeas de ambientes plantónicos como *Aulacoseira nivaloides*, *Fragilaria capucina* y *F. crotonensis*. La vegetación transita hacia comunidades abiertas diversas con *Pinus*, *Quercus*, *Abies*, *Alnus* y Cupresasaeae y pastos. La última etapa de 4500 ka a la actualidad, se observan fluctuaciones en el nivel lacustre, las asociaciones de diatomeas indican el dominio del medio bentónico y una disminución del nivel lacustre, con predominancia de los bosques de *Pinus*. A partir del año 1500 ka, los cambios en los ensamblajes de cladóceros, ostrácosos y quironómidos sugieren la alteración del paisaje asociada a la ritualización del sitio, con un uso intensificado a partir del año 700 dC y continuando hasta el año 1250 dC.

### Extensión de los glaciares del Iztaccíhuatl entre 1960 - 2024 a partir de imágenes satelitales de Google Earth

Oscar Gerardo Mena Montes<sup>\*1</sup> Lorenzo Vázquez Selem<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Posgrado en Geografía, UNAM CU, CdMx.  
<sup>2</sup> Instituto de Geografía, UNAM CU, CdMx  
<sup>\*</sup>Autor de correspondencia: osgmena@gmail.com

Desde la segunda mitad del siglo XX se han presentado importantes variaciones en los glaciares del Iztaccíhuatl siendo las más evidentes su drástica reducción en número y extensión superficial. Una forma de visualizar de manera gráfica estos cambios acelerados es a través de la cartografía de sus superficies, las cuales han sido reportadas en las investigaciones realizadas desde la década de los 1960s y que en la actualidad, pueden representarse sobre una base de imágenes satelitales de alta resolución espacial.

En este trabajo se ilustran los cambios en la extensión superficial de los glaciares del Iztaccíhuatl en época reciente, considerando la investigación de José Luis Lorenzo y su equipo en 1964, la fotointerpretación de imágenes aéreas de 1983 y la delimitación de las superficies glaciares entre 2012 y 2024 a partir de imágenes satelitales de Google Earth georeferenciadas por medio de puntos de control, así como fotografías de superficie de los autoseos. El resultado es la representación por medio de líneas de los cambios en la extensión superficial de los glaciares del Iztaccíhuatl acontecidos en los últimos 65 años.

### Glacier Dynamics in Response to Climate Change, Upper Alaknanda Basin, Uttarakhand, Central Himalaya

Aditya Mishra<sup>\*1,2</sup>, Sumit Mishra<sup>2,3</sup>, Harish Chandra Nainwal<sup>2</sup>, Chandan Sarangi<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Geophysical Flows Lab, Indian Institute of Technology Madras, Chennai, 600036, India  
<sup>2</sup>Department of Geology, HNB Garhwal University (A Central University), Srinagar Garhwal, Uttarakhand, 246174, India  
<sup>3</sup>Instituto de Geociencias, UNAM, Campus Juriquilla, Mexico  
<sup>\*</sup>Author for correspondence: adityamishra.glacio@gmail.com

Elevation-dependent warming makes Himalayan glaciers increasingly susceptible to changes in water availability. Regular monitoring of glaciers and documentation of the changes in their dynamic parameters are crucial for the response to climate change, water resource management, and potential hazards at the basin scale. The present work provides insights into the changes in glacier attributes of the Upper Alaknanda Basin (UAB), Uttarakhand, Central Himalaya from 1994 to 2020 through remote sensing data and techniques in combination with field surveys. In 2020, there are 198 glaciers occupying an area of 354.6 km<sup>2</sup>, of which ~27% is covered with debris. The glaciers of the UAB have varied topographic characteristics and show an area loss of ~4% (or ~0.16% yr<sup>-1</sup>) during the studied period. It is also found in the present work that glacier snowline altitude (SLA) increased up-glacier by 65 m, from 5350 m to 5415 m, in the past three decades, exposing the glacier ice to melt under warming temperatures. The changes in glaciers are attributed to the increasing rate of temperature in the UAB and the influence of topographic factors. Glacier size, debris-cover extent, elevation range and aspect are found controlling glacier-specific factors for the fractional rate of area loss in UAB from 1994 to 2020. The

study also reports the fragmentation of the glaciers, increasing the numbers from 175 to 198 in the basin during 1994-2020. The comparative analysis of glacier area changes of UAB with other Himalayan basins has been done on the basis of time window and used satellite data; and indicates that the glaciers in UAB have shrunk at rates analogous to those of the other studies.

### Exploración del DNA ambiental en permafrost de zonas periglaciares de alta montaña

Barbara Moguel<sup>1</sup>, Alejandro Carrillo-Chavez<sup>2</sup>, and Victor Soto<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Químico-Biológicas, Universidad de las Américas Puebla - UDLAP  
<sup>2</sup>Instituto de Geociencias, UNAM Campu Juriquilla, Qro.  
<sup>3</sup>Universidad Veracruzana, Jalapa, Ver.  
<sup>\*</sup>Autor de correspondencia: barbara.moguel@udlap.mx

El permafrost periglaciario de alta montaña actúa como un archivo crítico de DNA ambiental (eDNA), ofreciendo perspectivas únicas sobre climas, ecosistemas y comunidades microbianas del pasado y presente. A pesar de los desafíos en la extracción de DNA de muestras de permafrost, estudios recientes han demostrado su capacidad para preservar material genético por más de 2 millones de años. Este proyecto busca comprender la biodiversidad microbiana en zonas periglaciares afectadas por el deshielo y su impacto en los ciclos biogeoquímicos en los glaciares mexicanos. En este encuentro, buscamos presentar los hallazgos clave de estudios de DNA en permafrost, técnicas optimizadas para entornos criogénicos, y procedimientos bioinformáticos para reconstruir la diversidad microbiana y detectar señales genéticas antiguas. Se destaca el papel del permafrost como reservorio genético, revelando cambios en la composición microbiana vinculados a fluctuaciones climáticas. Comprender la dinámica del eDNA en entornos periglaciares en proyectos transdisciplinarios mejora nuestro entendimiento de procesos geocológicos en respuesta al cambio climático global.

### Ecosistema de alta montaña: Estado actual del bosque del Valle de Perote

María Esther Nava Bringas<sup>\*1</sup>, Carolina Andrea Ochoa Martínez<sup>1</sup>, Victor Soto<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.  
<sup>\*</sup>Autor de correspondencia: esnava@uv.mx

En nuestro país se ha identificado el límite superior de bosque continuo y discontinuo en las montañas superiores a 4000 metros sobre el nivel del mar, donde la vegetación del ecosistema de alta montaña presenta un cambio direccional en la distribución de las especies dominantes debido al incremento de la altitud, por lo que se ha sugerido que existe un cambio de estructura de la vegetación y además, disminución en la riqueza de especies leñosas. Adicionalmente existen algunos estudios que han caracterizado la vegetación de alta montaña, de acuerdo a diversos factores ambientales que impactan en la distribución de las diversas especies características de este ecosistema. Dada la crisis ambiental, cada vez más intensa

al igual que sus efectos, resulta prioritario mantener e incrementar las condiciones naturales de los ecosistemas del país, es decir, mantener la capacidad de los ecosistemas para amortiguar y mitigar los impactos sobre nuestras actividades e infraestructura. De esta manera, un sistema de áreas protegidas resiliente a sus efectos adversos no solo es una oportunidad para conservar el patrimonio natural de México, sino que representa una solución natural y de manera paralela que permitirá fortalecer la economía y mejorar el bienestar humano en un contexto de Cambio Climático. El presente trabajo muestra un análisis documental que muestra el posible impacto de los factores climáticos y, en consecuencia, el sufrimiento de un calentamiento del bosque existente en el Valle de Perote, Veracruz, México, lo que está generando cambios en la estructura y composición en la distribución de las especies dominantes, importantes para el mantenimiento de los servicios ambientales como la captación de agua y la captura de carbono.

### La flora periglaciaria del México central: algunas singularidades y notas sobre ciertas de sus especies

Jorge Alberto Neyra Jáuregui.  
Investigador independiente de la organización: "Las Montañas como Inspiración para Conservar".  
<sup>\*</sup>Autor de correspondencia: jneyrajauregui@gmail.com

La existencia de ambientes periglaciares está reconocida en las montañas que superan los 3900 metros sobre el nivel del mar (msnm) en la Faja Volcánica Transmexicana (FVT) y cerca de una docena de estratovolcanes muestran la presencia de un tipo de flora llamada "alpina". Sin embargo, las afinidades biogeográficas de esta comunidad vegetal, son más estrechas con las montañas sudamericanas que con las europeas. Estas plantas vasculares están adaptadas a vivir bajo heladas frecuentes gran parte del año y también con altos niveles de radiación ultravioleta. Son de subyarse los endemismos de distribución restringida a la FVT, como, por ejemplo: *Castilleja toluensis* y *Draba nivicola*. En especial *D. nivicola* resalta por ser una especie que llega a sobrevivir por encima incluso de los 4700 msnm junto con el pasto *Festuca livida*, por lo que se pueden considerar colonizadoras de nuevos nichos ante el retroceso y extinción de los glaciares mexicanos. Hay algunas como *Arenaria bryoides* cuya distribución alcanza la montaña más alta del sur de México (volcán Tacaná de 4100 msnm) y los volcanes guatemaltecos de más de 3900 msnm. El sobresaliente arbusto leñoso prostrado *Juniperus monticola* es importante por ser una especie utilizada para estudios dendrocronológicos con buenos resultados a fin de establecer secuencias de variaciones climáticas ocurridas en las últimas centurias en el centro de México; además, es un endemismo mexicano catalogado como "bajo protección especial" por la NOM-059-SEMARNAT-2010. El cardo *Eyngium proteiflorum* es un taxón icónico que abunda en todas las altas montañas del centro y oriente de la FVT. Es una planta de aspecto carismático y apreciada por un creciente número de turistas quienes cada vez más incursionan en los ambientes periglaciares y con ello se avizora un mayor impacto humano en la flora típica de estos ecosistemas de clima frío.

**Carbono Negro (BCe) en nieve, agua y hielo glaciar en glaciares de México, Perú y Bolivia**

*Guillermo Ontiveros-González<sup>1</sup>, Alejandro Carrillo-Chávez<sup>1</sup>, Luzmila Davila-Roller<sup>2</sup>, Carolina Muñoz-Torres<sup>3</sup>, Daniela Kristell Calvo-Ramos<sup>4</sup> y Rocío García<sup>5</sup>*  
<sup>1</sup>Instituto de Geociencias, UNAM Campus Juriquilla, Querétaro. Instituto Nacional de Investigaciones en Glaciares y Ecosistemas de Montana (INAIGEM) Huaraz, Perú, Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM CU, CdMex

Se cuantificaron las concentraciones de partículas atmosféricas depositadas en ambiente de alta montaña (BCe) en el centro de México, en Cordillera Blanca, Perú y en Cordillera Real, Bolivia. Los resultados se reportan como carbono negro equivalente (BCe). Para todas las localizaciones, las muestras de nieve presentan una media de 1400 ng/g BCe; para las muestras de agua, 1100 ng/g BCe; y para las muestras de hielo, 450 ng/g BCe. Para todas las muestras, se midió un mínimo de 12 ng/g BCe y un máximo de 2678 ng/g BCe, correspondientes a Vallunaraju (Perú) e Iztaccihuatl (México), respectivamente. Finalmente, utilizamos el Modelo HYSPLYT de la NOAA para trazar las posibles trayectorias de retroceso en las tres localidades. Las concentraciones medidas en este trabajo de BCe son comparables con las registradas en otras partes del mundo.

**Variabilidad estacional del carbono negro durante una década en los glaciares de la Cordillera Blanca, Perú**

*Wilmer Sánchez Rodríguez<sup>\*1,2</sup>, Carl Schmitt<sup>3</sup>, Alejandro Carrillo-Chávez<sup>4</sup>, Edwin Loarte Cadenas<sup>5,6</sup>, Katy Medina Marcos<sup>7,8</sup>*  
<sup>1</sup>Centro de Investigación en Ciencias de la Tierra, Ambiente y Tecnología (ESAT), Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM), Av. Centenario 200, Huaraz, 02002, Perú. <sup>2</sup>Facultad de Ciencias del Ambiente (FCAM), Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM), Av. Centenario 200, Huaraz, 02002, Perú. <sup>3</sup>Universidad de Alaska, Fairbanks, USA. <sup>4</sup>Centro de Geociencias, UNAM Juriquilla Campus, Querétaro, 76230 México. <sup>5</sup>Autor de correspondencia: [wsanchezr@unasam.edu.pe](mailto:wsanchezr@unasam.edu.pe)

La Cordillera Blanca (CB) es la cadena montañosa tropical más extensa del mundo y es una de las 18 cordilleras nevadas del Perú, albergando un total de 511 glaciares; que representa un área de 424.86 km<sup>2</sup>. Desde 1962 hasta 2020, la CB ha experimentado una reducción del 41.5% en su cobertura glaciar (INAIGEM, 2023) debido al cambio climático y factores antropogénicos. Uno de los factores que agravan el derretimiento de los glaciares de la CB es la deposición del carbono negro (CN) sobre la nieve. Este aerosol con alta capacidad de absorción de radiación solar proviene de la quema de biomasa y la combustión incompleta de combustibles fósiles. Desde 2014 hasta 2024, se recolectaron y analizaron muestras de nieve en distintos glaciares de la CB, incluyendo, Yanapaccha, Shallap, Vallunaraju, Tocllaraju y Copa. Las muestras fueron procesadas siguiendo la metodología de absorción de luz por calentamiento (LAHM) para cuantificar la concentración de carbono negro efectivo (CNe) en la nieve. Los resultados muestran una variabilidad estacional en la

concentración de CNe, con valores promedio significativamente más elevados durante la época de estiaje (seca) (~231.32 ng/g) en comparación con la época de lluvias (húmeda) (~94.31 ng/g). Además, se logró evidenciar que El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) favorecen una mayor deposición de CN en los glaciares, con concentraciones que alcanzan ~520.16 ng/g). Asimismo, se evidenció una mayor acumulación de CN en los glaciares más cercanos a la ciudad de Huaraz, lo que sugiere una influencia significativa de las fuentes urbanas de emisión en comparación a los más lejanos cuya influencia es de fuentes locales, como la quema de pastos. Se estima que el CN es responsable de aproximadamente 15-20% del derretimiento glaciar en la CB durante la última década, a través del mecanismo de forzamiento radiativo. Al absorber la radiación solar y transferirla en forma de energía térmica a la nieve, el CN reduce la reflectancia superficial (albedo) y acelera el proceso de fusión del hielo glaciar. Estos hallazgos resaltan la necesidad de estrategias de mitigación para reducir las emisiones de aerosoles de carbono negro y su impacto en la criósfera tropical.

**Geomorfología periglacial tras la retracción del glaciar Norte del Pico de Orizaba**

*Victor Soto<sup>\*1</sup>, Carlos Welsh<sup>2</sup>, Hugo Delgado<sup>3</sup>*  
<sup>1</sup>Centro de Ciencias de la Tierra, Univ. Veracruzana, Xalapa, Ver. <sup>2</sup>Instituto de Geofísica, UNAM CU, Cd Mex <sup>3</sup>Autor de correspondencia: [visoto@uv.mx](mailto:visoto@uv.mx)

El retroceso glaciar trae consigo distintos impactos en el entorno. Una de las consecuencias más notorias, y con mayor importancia en términos de los riesgos asociados, tiene que ver con la dinámica geomorfológica que se presenta en las áreas previamente cubiertas por hielo glaciar. En la vertiente norte del Pico de Orizaba, entre la cota 4700 y 5050 msnm se ubica la franja periglacial, caracterizada por una gran inestabilidad de la temperatura, con rangos diurnos que alcanzan una oscilación que va de 14°C al mediodía y desciende a -10°C en horas de la madrugada; aquí se ha identificado una caída de temperatura que alcanza 9°C en solo 60 minutos. Los ciclos de congelamiento y deshielo ocurren casi todos los días del año, y si a esto se suma la aportación de humedad proveniente del deshielo y de la fusión nival, origina la mecánica de gelifracción del basamento y de las paredes rocosas. La respuesta de la roca volcánica, resistente a la compresión, pero con baja capacidad elástica, consiste en la frecuente ruptura y el desprendimiento de fragmentos que dan origen a depósitos de crioclastos. Esta dinámica constante ocasiona que esta franja sea la más activa en cuanto al proceso de derrumbes y flujos de escombros, modificando frecuentemente su entorno. Los riesgos potenciales asociados a esta dinámica pueden representar una amenaza latente para los montañistas que diariamente ascienden a la cima; pero más aún, para asentamientos aledaños, si esta creciente acumulación se combina con hidrometeoros de gran magnitud.

**Biodiversidad oculta: tapetes microbianos antárticos**

*Valdespino-Castillo, P. M.<sup>1,2\*</sup>, Alcántara-Hernández, R. J.<sup>3</sup>, Falcón, L. I.<sup>4</sup> y Mercado-Juárez, R. A.<sup>5</sup>*  
<sup>1</sup>Escuela Nacional de Ciencias de la Tierra, UNAM CU, CdMex. <sup>2</sup>Agencia Mexicana de Estudios Antárticos. México. <sup>3</sup>Instituto de Geología, UNAM CU, CdMex. <sup>4</sup>Laboratorio de Ecología Bacteriana, Instituto de Ecología, Unidad Mérida, UNAM CU, CdMex.

<sup>5</sup>Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM CU, CdMex. <sup>\*</sup>Autor de correspondencia: [valdespinopm@encit.unam.mx](mailto:valdespinopm@encit.unam.mx)

En el continente antártico, la vida enfrenta diversas condiciones limitantes, por ejemplo baja temperatura, ciclos de congelación-descongelación, limitación por nutrientes y por luz, entre otros. En este ambiente poliextremo, los microorganismos representan el compartimiento con la más alta biodiversidad entre los ecosistemas antárticos. Así mismo, son responsables de las transformaciones biogeoquímicas y el cambio ecosistémico, a partir de sus metabolismos extraordinarios que están codificados en sus genomas. El estudio de los microbios antárticos tiene actualmente una amplia contribución a la ciencia moderna en áreas como la Biogeoquímica, la Ecología, la Astrobiología, la Biotecnología, las ciencias médicas y las ciencias de materiales. Pero a pesar de su enorme potencial, la diversidad, los patrones ecológicos y el potencial metabólico de los microorganismos antárticos es bastante desconocido. Por ello, hemos estudiado comunidades microbianas bénticas que habitan aguas de deshielo glaciar de la Antártida marítima y peninsular, son conocidas como tapetes microbianos. Los resultados de nuestra investigación, que integra la genómica y la biogeoquímica, evidencian patrones ecológicos de procariontes relacionados con la ultra-oligotrofia, particularmente relacionados con el ciclaje biogeoquímico del nitrógeno. Entre los microeucariontes, grupos como diatomeas mostraron una distribución diferencial en el gradiente ambiental estudiado, que comprendió Antártida marítima, peninsular y los Valles secos.

**Glaciaciones del Pleistoceno terminal y el Holoceno en México: Estado del conocimiento**

*Lorenzo Vázquez Selem<sup>\*1</sup>, Oscar G. Mena Montes<sup>2</sup>*  
<sup>1</sup>Instituto de Geografía, UNAM CU, CdMex. <sup>2</sup>Posgrado en Geografía, UNAM CU, CdMex. <sup>\*</sup>Autor de correspondencia: [lselem@geografia.unam.mx](mailto:lselem@geografia.unam.mx)

Después del Último Máximo Glacial Global (26 ka - 18 ka), los glaciares del mundo experimentaron fluctuaciones significativas, tanto al final del Pleistoceno (Younger Dryas) como en el Holoceno, en respuesta a fases frías cuya magnitud está aún por investigarse cabalmente en zonas intertropicales. Las altas montañas del centro de México tienen un registro glaciar local muy significativo de estas fases frías planetarias, aunque diferente dependiendo de su altitud. En este trabajo se presenta el estado actual del conocimiento sobre la extensión y la edad de los avances glaciares desde el Pleistoceno terminal. Entre 13 ka y 11 ka en cada valle del Iztaccihuatl se formaron morrenas de pequeña altura que indican glaciares en lento retroceso con una altitud de la línea de equilibrio (ALE) de 4200-4300 msnm, un término a 3800-3900 msnm

y un área de 45 km<sup>2</sup>. En el Nevado de Toluca en esta fase se desprendían del cráter dos lenguas glaciares, hacia el oeste y hacia el norte. En el Cofre de Perote existía un pequeño glaciar de circo arriba de 3900 msnm. En el Holoceno temprano (9 ka - 8 ka) hay evidencia de glaciares en el Iztaccihuatl que descendían hasta 4100-4200 msnm, cubriendo alrededor de 29 km<sup>2</sup>, mientras en el Nevado de Toluca y La Malinche hubo glaciares verdaderos y glaciares de roca hasta altitudes similares. La Pequeña Edad de Hielo formó morrenas terminales muy evidentes en el Iztaccihuatl alrededor de los 4500 msnm, con un área glaciar del orden de 7.6 km<sup>2</sup>. Debido a su actividad eruptiva, el registro glaciar en el Pico de Orizaba y el Popocatepetl se limita sobre todo a esta fase. En otras montañas de menor altitud (Malinche, Nevado de Toluca, Cofre de Perote), solo ocurrieron fenómenos periglaciares.

**Escenarios de calentamiento global en el glaciar Jamapa:**

**¿Enfermedad crónica o límite de la capacidad humana?**

*Carlos Manuel Welsh Rodríguez<sup>\*1</sup>, Agustín Fernández Eguarte<sup>2</sup>, Víctor Soto<sup>1</sup>*  
<sup>1</sup>Centro de Ciencias de la Tierra, Univ. Veracruzana, Xalapa, Ver. <sup>2</sup>Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM CU, CdMex. <sup>\*</sup>Autor de correspondencia: [cwelsh@uv.mx](mailto:cwelsh@uv.mx)

Los escenarios de calentamiento global son, en la actualidad, herramientas que permiten observar los efectos en la fragilidad de los cuerpos de hielo (glaciares) en altas montañas del mundo. En este trabajo se presenta y discuten los efectos adversos en el Citlaltépetl, no sólo por su relevancia histórica, geográfica y natural, sino porque a nivel planetario, como en muchos otros, la especie humana contempla su deterioro y su extensión, como si se tratara de un enfermo terminal que tiene los días contados, mostrando que los límites humanos, su capacidad creadora, talento y desarrollo en muchas áreas, parece no estar a la altura del reto global, y siendo testigo de una muerte anunciada, probablemente señalará en el futuro a toda una generación que tuvo el dominio de la inteligencia artificial, del genoma de múltiples especies; sin embargo, fue incapaz de encontrar una vía para salvaguardar el patrimonio natural e histórico que representan esas masas de hielo.

**Thermal state of permafrost in the high mountains of Mexico and thermal interactions of glaciers with permafrost**

*Kenji Yoshikawa<sup>\*1</sup>, Victor Soto<sup>2</sup>, Guillermo Ontiveros-González<sup>3</sup>, Samael Oliver Vagamontes<sup>4</sup>, Hugo Delgado Granados<sup>5,6</sup>, Lorenzo Vázquez-Selem<sup>6</sup>, David Palacios<sup>7</sup>*  
<sup>1</sup>Water and Environmental Research Center, Institute of Northern Engineering, University of Alaska Fairbanks, USA <sup>2</sup>Centro de Ciencias de la Tierra, Univ. Veracruzana, México <sup>3</sup>Instituto de Geofísica, UNAM CU, CdMex. <sup>4</sup>Club Brujos de la Montaña, México <sup>5</sup>Department of Earth and Environmental Sciences, Ludwig-Maximilians-Universität, Munich, Germany <sup>6</sup>Instituto de Geografía, UNAM CU, CdMex <sup>7</sup>Universidad Complutense, Madrid, Spain <sup>\*</sup>Corresponding author: [kyoshikawa@alaska.edu](mailto:kyoshikawa@alaska.edu)

toward a digital twin-component for glaciers, and an outlook on the United Nations Decade of Action for Cryospheric Research 2025–2034.

This paper summarizes the thermal state of Mexican permafrost and its relationship to snow, ice, and geothermal environments. Ice-rich permafrost is observed near the summits of Citlaltépetl (Pico de Orizaba) and Iztaccíhuatl volcanoes. The lower limit of mountain permafrost is about 5200-5300 m a.s.l., much higher than originally thought. Some of the sporadic permafrost may still exist on the Little Ice Age rock glaciers, but most of the buried glacial ice between 4500-5000 m a.s.l. is slowly decaying and not thermally stable as permafrost. During the summer months, the Inter-Tropical Convergence Zone approaches the Mexican highlands and provides moist conditions sufficient for snow cover at high elevations. Maximum active layer thickness occurred during the snow-free seasons, typically April-July in Citlaltépetl and Iztaccíhuatl, perhaps Popocatepetl, but not Nevado de Toluca, where the summit is below the snowline most of the time today. The diurnal temperature amplitude results in freeze-thaw cycles only near the surface to 15 cm. The importance of the snow cover is that it provides great protection from incoming solar energy penetration, helping to preserve buried glacial ice and permafrost.

**Into the International Year of Glaciers' Preservation 2025 – Perspectives from the World Glacier Monitoring Service**

Michael Zemp<sup>1</sup>, Isabelle Gärtner-Roer<sup>1</sup>, Samuel U. Nussbaumer<sup>1</sup>, Ethan Welty<sup>1</sup>, Inés Dussaillant<sup>1</sup>, Jacqueline Bannwart<sup>1</sup>, Frank Paul<sup>1</sup>, Martin Hoelzle<sup>2</sup>

<sup>1</sup>World Glacier Monitoring Service, University of Zurich, Switzerland

<sup>2</sup>World Glacier Monitoring Service, University of Fribourg, Switzerland

\*Autor de correspondencia: michael.zemp@geo.uzh.ch

Melting glaciers are icons of the climate crisis and severely impact local geohazards, regional freshwater availability, and global sea levels. The United Nations has designated 2025 as the International Year of Glaciers' Preservation (IYGP; <https://www.un-glaciers.org>) to raise global awareness of glaciers' importance and ensure that those relying on them or affected by their vanishing have access to the necessary data and information services. Starting in 2025, the 21st of March of each year will be recognized as the World Day of Glaciers. The World Glacier Monitoring Service (WGMS) – together with the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) and the World Meteorological Organization (WMO) – helps to coordinate the implementation of the international glacier year and provides key facts and figures for related activities.

Our presentation provides an update on regional to global glacier mass changes, including first estimates for 2023/24, as well as an update on the latest WGMS data and information products. We also highlight the importance of well-coordinated international glacier monitoring by the WGMS collaboration network, which combines field observations and remote sensing to track ongoing changes and related downstream impacts. In addition, we provide an overview of national events in preparation for the 21st of March, showcase ongoing projects to foster real-time monitoring, satellite intercomparison exercises, efforts



**Universidad Nacional Autónoma de México**  
**Campus Juriquilla**  
**Instituto de Geociencias (IGC)**  
**Programa Universitario de Estudios Interdisciplinarios del Suelo (PUEIS)**



**MEMORIA DE RESÚMENES**  
**Primer Coloquio Queretano de Estudios Interdisciplinarios del Suelo**

Diciembre de 2024

## Introducción

El Primer Coloquio Queretano de Estudios Interdisciplinarios del Suelo se desarrolla con motivo de la conmemoración del Día Mundial del Suelo, establecido por la Asamblea General de la ONU el 5 de diciembre. El Laboratorio de Mecánica de Geosistemas (LAMG) del Instituto de Geociencias y el Programa Universitario de Estudios Interdisciplinarios del Suelo (PUEIS) de la Universidad Nacional Autónoma de México, invitaron a la comunidad interesada en los temas de estudio y manejo del suelo a participar en el coloquio que tuvo lugar en el Auditorio del Instituto de Geociencias, Campus Juriquilla, UNAM, en la Ciudad de Querétaro, durante los días 9 y 10 de diciembre de 2024, de manera presencial y virtual.

En los trabajos presentados, se discutió la relevancia del estudio de los suelos desde puntos de vista interdisciplinarios y transdisciplinarios. Lo anterior con la finalidad de lograr la gestión sustentable de este valioso recurso natural e identificar sus condiciones óptimas de conservación y/o uso como base de la seguridad alimentaria y sustento de infraestructura urbana. Esta memoria incluye estudios sobre la importancia de la caracterización de los suelos en campo y laboratorio; estudios de frontera en microbiología, cartografía digital y bases de datos; casos de estudio para la sustentabilidad alimentaria; y se resaltan aspectos ambientales y de conservación en el manejo del suelo. Además, se presentan temas relacionados como el manejo del agua superficial y subterránea y el ordenamiento territorial.

ONU Día Mundial del Suelo 2024:  
"Cuidar los suelos: medir, monitorear, gestionar".

**Dra. Dora Carreón Freyre**  
Presidenta del Comité Organizador  
Instituto de Geociencias, UNAM

## Índice

El suelo en la agenda universitaria: el Programa Universitario de Estudios Interdisciplinarios del Suelo (PUEIS) de la Universidad Nacional Autónoma de México. ....	4
<b>Tema 1. Relevancia de la caracterización física y mecánica de los suelos</b> .....	<b>5</b>
Importancia del estudio físico y mecánico de los suelos para la construcción y el desarrollo de infraestructura urbana .....	5
Estudio de la influencia biológico-ambiental en las propiedades físicas de sedimentos lacustres en valles volcánicos del centro de México e implicaciones en la valoración de usos de suelo y agua. Proyecto de Grupo .....	5
Identificación de la fracción arcillosa en suelos mediante la técnica de Difracción de Rayos X.....	6
La susceptibilidad magnética como herramienta para los estudios de contaminación de suelo: Dos casos de estudio en la megalópolis .....	6
El Radar de Penetración Terrestre como herramienta para identificar zonas de deformación superficial en suelos, caso de estudio al NW de la ciudad de Querétaro .....	7
Estudios sobre el suelo cementado del Valle de Aguascalientes .....	8
Propiedades físicas y mecánicas de sedimentos de la región oriental de la Ciudad de México .....	8
Propiedades hidráulicas del suelo afectado por la discontinuidad Chaveno 1, en Jesús María, Aguascalientes .....	9
Los suelos como indicadores de riesgo: el caso de Ixhualtlan de Madero .....	9
<b>Tema 2. Estudios de frontera en microbiología</b> .....	<b>11</b>
Comunidades Microbianas y Cambio Ecosistémico: Perspectivas desde la Desección de la Laguna Churince en Cuatrociénegas .....	11
Importancia de los microartrópodos para evaluar la calidad de los suelos .....	11
Integrando la paleogenómica y genómica ambiental para desentrañar las interacciones geobiológicas .	12
Sedimentos con tapetes microbianos: una aproximación fisicoquímica y biogeoquímica.....	13
Comparación de la diversidad microbiana en suelos de dos lagos salino-alcálinos alojados en cráteres volcánicos cercanos, utilizando un enfoque metagenómico basado en secuenciación del gen 16S rRNA .....	13
Método alternativo y de bajo costo para el estudio de la actividad microbiana del suelo.....	14
<b>Tema 3. Cartografía digital y bases de datos</b> .....	<b>15</b>
Microcartografía de la descomposición de la materia orgánica del suelo y su papel en la formación de agregados .....	15
Índices de sucesión y huella metabólica de la comunidad de nemátodos del suelo en el Campus Juriquilla de la UNAM .....	15
Cartografía digital de suelos y materiales granulares del Municipio de Querétaro.....	16
Construcción de la base de datos de precipitación diaria y erosividad de la precipitación a escala nacional en México .....	17
Mapeo y monitoreo de suelos: hacia una base de datos de suelos de la UNAM .....	18
<b>Tema 4. Sustentabilidad alimentaria</b> .....	<b>19</b>

Predicción de la concentración de nitrógeno total en suelos cultivados con <i>Allium fistulosum</i> y pastizales nativos en un ecosistema de páramo en Colombia .....	19
Fertilidad de los suelos agrícolas del estado de Tlaxcala .....	19
Evaluación de la calidad fisicoquímica y nutrimental del suelo en la microcuenca de Tzompantepec, Tlaxcala, México .....	20
Caracterización nutrimental y fisicoquímica de suelos agrícolas en Huitzuco Guerrero, México .....	20
<b>Tema 5. Aspectos ambientales y de conservación del suelo .....</b>	<b>22</b>
El suelo reservorio de polinizadores .....	22
Efecto a largo plazo del riego con agua residual sobre las comunidades fúngicas en Phaeozems del Valle de Mezquital, Hidalgo .....	22
Del pasado al presente: Revelando la influencia humana en los paleosuelos de Cuicuilco mediante fraccionamiento de fósforo .....	23
La conservación del suelo y el agua en regiones semiáridas: Un estudio de caso de la microcuenca La Joya (Querétaro-Guanajuato) .....	23
La importancia del Sistema Chinampero de la CDMX: Caso de estudio .....	24
Almacén y estabilidad del carbono en una comunidad de bosque mesófilo de montaña y en un pastizal, Qro .....	25
La importancia del monitoreo y sistematización de las obras de conservación de suelo .....	25
Agricultura y conservación: un dilema en el Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala .....	26
Propiedades edafogénicas y caracterización del perfil de suelo "Pastizal", Valle Verde, Jalpan de Serra, Querétaro, México .....	27
Edafogénesis de un suelo bajo conservación en un bosque mesófilo de montaña en Valle Verde, Jalpan de Serra, Querétaro .....	27

## El suelo en la agenda universitaria: el Programa Universitario de Estudios Interdisciplinarios del Suelo (PUEIS) de la Universidad Nacional Autónoma de México.

B. L. Prado Pano<sup>1</sup>, A. Prado Farías<sup>2</sup>, L. A. Rodríguez Bustos<sup>1</sup>  
Conferencia Especial

<sup>1</sup>Programa Universitario de Estudios Interdisciplinarios del Suelo, UNAM; <sup>2</sup>Escuela Nacional de Estudios Superiores Juriquilla, UNAM

[pueis.suelos@cic.unam.mx](mailto:pueis.suelos@cic.unam.mx)

El suelo es un recurso vivo, la reserva genética del 25% de la biodiversidad de nuestro planeta, y constituye la interfaz para la regulación del ciclo global de nutrientes y de las emisiones de dióxido de carbono, así como otros gases de efecto invernadero. Por lo tanto, es fundamental para la regulación del clima y un elemento clave en el ciclo hidrológico. En el suelo se produce el 95% de los alimentos, es soporte de toda infraestructura humana, fuente de fibras, minerales, materiales de construcción, combustibles fósiles y archivo del patrimonio geológico y arqueológico de la Tierra. El suelo es, entonces, un bien social, económico, cultural, político y patrimonial.

El Programa Universitario de Estudios Interdisciplinarios del Suelo (PUEIS) de la UNAM, nace ante la necesidad de colocar en la agenda universitaria el tema de la conservación y manejo sostenible del suelo. El PUEIS tiene la misión de articular grupos de trabajo en ciencias del suelo con un enfoque interdisciplinario, para generar proyectos estratégicos que promuevan el manejo sostenible del suelo y con ello incidir en soluciones de relevancia nacional. La articulación busca establecer colaboraciones inter y transdisciplinarias que permitan conocer al suelo desde diferentes perspectivas para entender su funcionamiento y formar profesionistas altamente capacitados en estudiar, manejar y difundir el conocimiento en todos los sectores de la sociedad. Todo esto bajo una visión holística que procure la sostenibilidad de los suelos.

La importancia del PUEIS radica en ser la entidad dentro de la Universidad que impulsa estratégicamente la participación de la academia y de diversos sectores sociales para que, en conjunto, contribuyan al estudio, preservación y aprovechamiento de los suelos, con la finalidad de mantener sus funciones esenciales para el desarrollo de la vida en el planeta, conservar la biodiversidad y rediseñar las actividades productivas para el bienestar social y económico del país.

## Tema 1. Relevancia de la caracterización física y mecánica de los suelos

### Importancia del estudio físico y mecánico de los suelos para la construcción y el desarrollo de infraestructura urbana

*Conferencia Especial*

M. L. Pérez Rea<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro.

[perea@uaq.mx](mailto:perea@uaq.mx)

El conocimiento de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos es esencial en la ingeniería civil, ya que estas características influyen directamente en la seguridad y estabilidad de las estructuras. Todas las construcciones se realizan sobre el suelo, desde viviendas hasta infraestructuras más complejas como puentes y carreteras. Las propiedades físicas del suelo afectan la capacidad de carga y la estabilidad de las cimentaciones. Conocer estas propiedades nos permite hacer un mejor manejo del suelo; diseñar cimientos adecuados y evitar problemas graves de asentamiento o fallas estructurales. El impacto de estos conocimientos va más allá de la construcción individual. Las ciudades, en su conjunto, tienen problemas mucho más complejos y entender las propiedades del suelo es sumamente importante para la planificación de la infraestructura urbana como carreteras, túneles y sistemas de drenaje. Un buen diseño urbano tomando en cuenta las características del suelo, asegura un desarrollo urbano sostenible, seguro y resistente a los efectos de los fenómenos naturales, lo cual impacta directamente en la calidad de vida de las personas y en la durabilidad de las obras.

### Estudio de la influencia biológico-ambiental en las propiedades físicas de sedimentos lacustres en valles volcánicos del centro de México e implicaciones en la valoración de usos de suelo y agua. Proyecto de Grupo

D. C. Carreón Freyre<sup>1</sup>, R. G. Castaño Meneses<sup>2</sup>, M. Guevara Santamaría<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geociencias, Campus Juriquilla, UNAM; <sup>2</sup>UMDI-Facultad de Ciencias, Campus Juriquilla, UNAM

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

Los sedimentos lacustres del Cuaternario que rellenan los valles volcánicos de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), presentan una laminación distintiva, debido a que además de los procesos ambientales se involucran condiciones geodinámicas activas durante el tiempo del depósito. El análisis de las secuencias de suelos y sedimentos puede dar valiosa información sobre la relación entre los procesos físicos, biológicos y químicos que determinan sus características y permite la valoración adecuada de sus condiciones de deformación a corto y largo plazo. Estas secuencias están compuestas por arcillas y distintos compuestos minerales que provienen de la alteración de cenizas volcánicas, tienen altos contenidos de agua y materia orgánica, han estado afectadas por la extracción excesiva de agua subterránea, han sido deformadas en los últimos 40 años por el proceso de subsidencia y, presentan comunidades

microbianas extremófilas (microbialitas) que se desarrollaron en condiciones de alta salinidad, alcalinidad y temperatura. Estos estudios forman parte de un proyecto de grupo transdisciplinario e interinstitucional que se desarrollará de 2025 a 2028, con el apoyo del programa PAPIIT DGAPA-UNAM (Proyecto IG101325). El objetivo principal es identificar la relación entre el flujo de agua y la formación de material arcilloso asociada a procesos microbiológicos en los valles volcánicos del centro de México, con el fin caracterizar la variabilidad de sus propiedades físicas y de las implicaciones sociales que tienen los cambios de usos de suelo y agua en zonas lacustres que actualmente son de uso agrícola y que se encuentran presionadas por la creciente urbanización. Se realizarán estudios interdisciplinarios para identificar las condiciones de formación, así como el desarrollo de las propiedades físicas de los sedimentos que rellenan algunos valles volcánicos en Guanajuato, Michoacán y Cuenca de México. Durante el desarrollo del proyecto se determinarán las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos arcillosos particularmente en función de su capacidad de retención de humedad, de actividad biológica y deformabilidad para valorar su función ecosistémica, agrícola o para el establecimiento de infraestructura urbana.

### Identificación de la fracción arcillosa en suelos mediante la técnica de Difracción de Rayos X

B. M. Millán Malo<sup>1</sup>, E. Rivera Muñoz<sup>1</sup>, C. Peza Ledesma<sup>1</sup>, E. Fuentes Romero<sup>2</sup>, S. Solís Valdez<sup>3</sup>, D. C. Carreón Freyre<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, Campus Juriquilla, UNAM; <sup>2</sup>Unidad de Investigación y Docencia de la Facultad de Ciencias, Campus Juriquilla, UNAM; <sup>3</sup>Instituto de Geociencias, Campus Juriquilla, UNAM

[bmillan@fata.unam.mx](mailto:bmillan@fata.unam.mx)

La identificación y cuantificación de la fracción arcillosa del suelo es un requisito indispensable para entender el comportamiento de muchas de sus propiedades, como pueden ser: los procesos químicos y físicos, la calidad y función del suelo, el impacto ambiental, la retención de nutrientes y agua, la estructura y erosión del suelo, entre otros. La técnica más común y apropiada para llevar a cabo este análisis es la difracción de rayos X (XRD) en polvos debido principalmente al tamaño propio de las partículas de estos minerales y, además, por la enorme tradición en este campo, lo cual permite utilizar una vasta información al respecto. En este trabajo se presentan varios ejemplos de la identificación de la fracción arcillosa de suelos de diversos sitios de México; se presenta la técnica de arcillas no orientadas y tratamientos posteriores que facilitan su identificación. También se muestra el uso de otras técnicas analíticas para facilitar la identificación de los minerales de arcilla como la fluorescencia de rayos X (XRF) y la espectroscopía de rayos X de energía dispersiva (XEDS) utilizando un haz de electrones por microscopía electrónica. PAPIIT DGAPA-UNAM Proyecto IG101325.

### La susceptibilidad magnética como herramienta para los estudios de contaminación de suelo: Dos casos de estudio en la megalópolis

A. Rodríguez Trejo<sup>1</sup>, R. González Guzmán<sup>2</sup>, H. E. Ibarra Ortega<sup>1</sup>, S. Solís Valdés<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Geociencias, Campus Juriquilla, UNAM; <sup>2</sup> Departamento de Geología, División de Ciencias de la Tierra, CICESE, Ensenada, Baja California, México.

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

La susceptibilidad magnética es una propiedad física que mide la respuesta de un material a un campo magnético aplicado, indicando su capacidad para ser magnetizado en función de la intensidad del campo. Esta propiedad ha demostrado ser una herramienta eficaz en estudios de contaminación del suelo, dado que las actividades humanas, como la emisión de contaminantes atmosféricos y las descargas industriales, inducen alteraciones en las características magnéticas de los suelos. En este estudio, se presentan dos casos de aplicación de la susceptibilidad magnética como indicador de contaminación en suelos de dos entornos urbanos distintos, pertenecientes a la megalópolis. El primer caso corresponde a la ciudad de Tula, Hidalgo, una zona altamente industrializada, rodeada de áreas con intensa actividad agrícola. El segundo caso se refiere a un estudio realizado en el campus Juriquilla de la UNAM, que abarca un área más pequeña, pero con un muestreo de alta resolución. Se realizaron mediciones de susceptibilidad magnética en muestras de suelo, complementados con datos geoquímicos, correlacionando los resultados obtenidos con las fuentes locales de contaminación, tales como las emisiones vehiculares, las deposiciones atmosféricas y las actividades industriales. Los resultados sugieren que la susceptibilidad magnética es una herramienta eficaz para identificar zonas con altas concentraciones de contaminantes, presentando una alternativa rápida, económica y no destructiva para el monitoreo de la calidad del suelo. Finalmente, se discuten las implicaciones de estos hallazgos para la gestión ambiental y la remediación de suelos en entornos urbanos y suburbanos.

## El Radar de Penetración Terrestre como herramienta para identificar zonas de deformación superficial en suelos, caso de estudio al NW de la ciudad de Querétaro

V. Ferrer Parra<sup>1</sup>, R. Vázquez Morales<sup>2</sup>, D. C. Carreón Freyre<sup>1</sup>, R. Carrizosa Elizondo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geociencias, Campus Juriquilla, UNAM; <sup>2</sup>Escuela Nacional de Estudios Superiores, Campus Juriquilla, UNAM

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

El Radar de Penetración Terrestre (RPT) es un método geofísico electromagnético ampliamente utilizado para la prospección somera del subsuelo en estudios de geología, geotecnia, arqueología y valoración forense. Este es un método indirecto que permite generar perfiles del subsuelo en tiempo real al detectar reflectores planos o puntuales que corresponden a contrastes en la permitividad dieléctrica de los materiales del subsuelo como suelos y sedimentos, entre estratos u objetos y el medio circundante. La capacidad de detección del método está limitada por el contraste eléctrico de los materiales. La experiencia en la interpretación es muy importante para discernir entre los reflectores reales y los artificios electromagnéticos, así como contar con información complementaria del sitio para ajustar la calidad de la señal de prospección. En 2023, se estableció una colaboración entre la ENES Juriquilla y el Laboratorio de Mecánica de Geosistemas del IGC para el desarrollo del proyecto "Estudio del origen y monitoreo de la deformación y fracturamiento del terreno en el margen occidental del municipio de Querétaro". El objetivo fue la aplicación del RPT para identificar discontinuidades en el subsuelo, en tres sitios

de estudio en los que se habían detectado hundimientos y fracturamiento, mediante levantamiento de fotogrametría y trabajo de campo. Los registros observados en los radargramas indican que las deformaciones del terreno se deben principalmente a una deficiente compactación de los sedimentos y a la heterogeneidad de los materiales de relleno durante la urbanización de la zona. Como es el caso de los radargramas levantados en prolongación Bernardo Quintana y en Av. De la Luz, se identificaron hundimientos en superficie y desplazamientos verticales en los primeros 3 m de profundidad. Con la aplicación del RPT, se registraron discontinuidades someras, sin embargo, no se identificó una componente geológica significativa como causa principal de la deformación. PAPIIT DGAPA-UNAM Proyecto IG101325.

## Estudios sobre el suelo cementado del Valle de Aguascalientes

M. Hernández Marín<sup>1</sup>, N. González Cervantes<sup>1</sup>, H. J. Gaytán Molina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Aguascalientes; <sup>2</sup>Modelo Integral de Aguas de Aguascalientes (MIAA)

[martin.hernandez@edu.uaa.mx](mailto:martin.hernandez@edu.uaa.mx)

El papel que juega el suelo cementado en el valle de Aguascalientes (VA) es importante ya que podría implicar una mayor resistencia mecánica, aunque una menor permeabilidad, entre otras cosas. En esta disyuntiva es importante reconocer no solo sus propiedades físicas, si no también químicas y de origen de dicho suelo. Bajo este contexto se realizó un trabajo multidisciplinario de primera generación, el cuál consistió en una cartografía general del VA y toma de muestras según esos resultados cartográficos, y un posteriormente varios análisis de laboratorio, con el fin de determinar algunas propiedades físicas y químicas de los suelos del VA en función de sus cementantes. Específicamente, se realizaron análisis de muestras en láminas delgadas y mediante la aplicación difracción de rayos X para su descripción química (mineralógica). Finalmente, se realizó un análisis mecánico comparativo a partir de los resultados de la prueba del Valor Relativo de Soporte (VRS), que indica la resistencia mecánica del suelo, y que incluyó muestras cementadas naturalmente y muestras químicamente inertes a las que se les añadieron diferentes concentraciones de cementantes comerciales. Como resultados importantes se menciona que algunas muestras presentaron aproximadamente una tercera parte en peso de carbonato de calcio, además de que se encontraron proporciones importantes de calcita, arcillas y plagioclasa alta en sodio como los minerales más recurrentes en la matriz de las muestras analizadas. Finalmente, de las pruebas VRS, se obtuvieron los valores más altos de ese parámetro en muestras con cementante natural.

## Propiedades físicas y mecánicas de sedimentos de la región oriental de la Ciudad de México

E. Carmona Aboytes<sup>1</sup>, D. C. Carreón Freyre<sup>2</sup>, R. Carrizosa Elizondo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ciencias de la Tierra, Escuela Nacional de Estudios Superiores, Campus Juriquilla, <sup>2</sup>Laboratorio de Mecánica de Geosistemas, Instituto de Geociencias, UNAM

[e.carmona.a01@gmail.com](mailto:e.carmona.a01@gmail.com)

En este estudio se analizan las relaciones entre las condiciones de formación y deformación de sedimentos y sus propiedades físicas en la Ciudad de México, ubicada en la Cuenca de México, en la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM). La cuenca de México, originada por procesos volcano-tectónicos, se caracteriza por ser una cuenca endorreica con secuencias sedimentarias lacustres con espesores que varían de 30 a 300 m de profundidad. Los sedimentos sufren son afectados por la subsidencia debida a la extracción de agua subterránea. Además, estos sedimentos tienen la capacidad de amplificar las ondas sísmicas, por ende, estructuras asentadas sobre estos sedimentos son susceptibles a daños estructurales. Para este estudio, se obtuvieron muestras inalteradas de la colonia El Molino Tezonco, en la alcaldía de Iztapalapa de Ciudad de México, una de las zonas más afectadas por el sismo de 2017. En el Laboratorio de Mecánica de Geosistemas (LAMG) del Instituto de Geociencias, se llevaron a cabo diversas pruebas en núcleos de suelos. Estas incluyen la determinación de propiedades físicas e interpretación de la estratigrafía de los depósitos lacustres, así como la preparación de muestras para ensayos triaxiales, para determinación de resistencia al esfuerzo cortante. Se determinaron las propiedades índice de acuerdo con las normas ASTM, como el contenido de agua, densidad aparente y de sólidos, límites de consistencia y texturas por el método de Bouyoucos. Los resultados obtenidos han permitido determinar las relaciones esfuerzo-deformación de distintos depósitos lacustres. Con los resultados obtenidos se han identificado las condiciones físicas de suelos y sedimentos de la Ciudad de México, que servirán como base para comprender su comportamiento mecánico y los riesgos geológicos asociados a la deformación. PAPIIT DGAPA-UNAM Proyecto IG101325.

## Propiedades hidráulicas del suelo afectado por la discontinuidad Chaveno 1, en Jesús María, Aguascalientes

A. A. Delgado Franco<sup>1</sup>, M. Hernández Marín<sup>2</sup>, M. A. Arzate Cárdenas<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Maestría en Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Aguascalientes, <sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Aguascalientes, <sup>3</sup>Departamento de Química, Universidad Autónoma de Aguascalientes

[kore.delgado1@gmail.com](mailto:kore.delgado1@gmail.com)

Estudio general que incluye el análisis de las propiedades hidráulicas de una discontinuidad superficial activa ubicada en el Valle de Aguascalientes, al oriente del municipio de Jesús María, en el cual se revisan las condiciones de infiltración de agua superficial a través de la falla "Chaveño 1", misma que en parte ha sido modificada con un relleno antropogénico. En este trabajo se presentan los resultados de permeabilidad del suelo afectado mecánicamente por la discontinuidad y por los efectos del relleno. El tipo de suelo en el área natural afectada por la discontinuidad, en su mayoría presenta una composición limo-arenosa, con poca presencia de gravas, de un color pardo-amarillo en estado seco. La metodología fue la elaboración de dos perfiles de permeabilidad y capacidad de infiltración ortogonales a la falla, obtenidos mediante mediciones en campo con un permeámetro tipo "Pask", en el área de falla y su área de afectación, con una separación entre mediciones de 1m; el primer perfil de 23 metros de largo, se sitúa en una zona afectada por el relleno antropogénico y por un área de arado para cultivo, dando un resultado de anomalía de valor máximo en el borde poniente de la falla sin poder obtener datos más exactos por la velocidad de infiltración, el segundo perfil realizado en una zona natural encontrando los máximos de medición a 9 y 10 m de separación del borde poniente y al centro

de la misma discontinuidad. Se realizó un análisis comparativo de datos hidráulicos de tasas de infiltración y conductividad hidráulica de campo, encontrando diferencias significativas correspondientes al uso y tipo de suelo.

## Los suelos como indicadores de riesgo: el caso de Ixhuatlán de Madero

O. D. Zarate<sup>1</sup> C. Pascal<sup>1</sup>, R. A. López-Doncel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geología, Mineralogía y Geofísica, Facultad de Geociencias, Ruhr Universität Bochum, Alemania; <sup>2</sup>Instituto de Geología, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

[oskar.jurquen.zarate@gmail.com](mailto:oskar.jurquen.zarate@gmail.com)

Los suelos forman parte de un proceso en el que intervienen factores geológicos, biológicos y, en algunos casos, humanos. En la actualidad, el suelo es importante desde las perspectivas geológica, constructiva y alimentaria. El estudio que se presenta aquí está enfocado en los dos primeros. El poblado de Ixhuatlán de Madero presenta varias etapas de deformación desde el Jurásico tardío hasta el Mioceno, que terminan con una etapa de fracturación. Este fracturamiento, junto con el intemperismo y las condiciones climáticas actuales, como periodos de lluvias intensas y sequías prolongadas, ha dado lugar a la formación de un suelo altamente plástico. Este suelo, formado principalmente por la formación Chicontepec, es un factor importante en el riesgo geológico del pueblo. Las características físicas de este suelo son que es altamente plástico, permeable y compacto cuando está húmedo. Sin embargo, al secarse, se fractura y disgrega con facilidad. Estas características hacen que el suelo pueda generar deslizamientos cuando se carezca de vegetación o se modifique el entorno, por ejemplo, con campos de cultivo. De igual manera, al secarse y fracturarse, pueden producirse caídas de escombros debido a la presencia de fracturas en la roca que pueden ser detonantes de dichas caídas. Conocer las características físicas de los suelos, como su densidad y porosidad, y su relación con el entorno (precipitaciones, sequías, vegetación, actividades humanas), puede ayudar a generar estrategias para la prevención del riesgo y evitar la pérdida de personas e infraestructuras.

## Tema 2. Estudios de frontera en microbiología

### Comunidades Microbianas y Cambio Ecosistémico: Perspectivas desde la Desecación de la Laguna Churince en Cuatrociénegas

Conferencia Especial

G. Olmedo Álvarez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados, Instituto Politécnico Nacional, Irapuato

[golmedo@cinvestav.mx](mailto:golmedo@cinvestav.mx)

El sistema hidrológico de Churince en la Cuenca de Cuatrociénegas, México, fue una vez un oasis próspero caracterizado por una biodiversidad microbiana única y delicados equilibrios de nutrientes. En las últimas cinco décadas, este sistema ha experimentado una dramática reducción del 99% en la disponibilidad de agua, lo que ha llevado al secado completo de humedales críticos, perturbando los ecosistemas locales y amenazando a especies endémicas. En este estudio, realizamos un análisis longitudinal de una década, de las comunidades microbianas del sistema Churince para evaluar cambios en la biodiversidad bacteriana cultivable en medio de una creciente aridez. Enfocándonos en bacterias formadoras de esporas como posibles bioindicadores, observamos un marcado aumento en la presencia de esporas, y cada vez menos en su forma vegetativa y activa, correlacionado con la pérdida de agua y el incremento del estrés ambiental. Este cambio sugiere que las bacterias formadoras de esporas no pueden mantener sus actividades como heterótrofas bajo condiciones adversas, reflejando cambios significativos en la ecología microbiana del suelo. Nuestros hallazgos destacan la disminución de bacterias activas y muestran el profundo impacto de la escasez de agua en la salud del suelo y la diversidad microbiana. El aumento en la presencia de bacterias formadoras de esporas resilientes señala una disminución en la biodiversidad general y subraya la fragilidad de los ecosistemas áridos frente a la desecación. Monitorear estas bacterias ofrece una herramienta valiosa para evaluar la salud del suelo y la efectividad de los esfuerzos de conservación. Esta investigación enfatiza la necesidad de estrategias sostenibles de gestión del agua y el suelo para preservar la diversidad microbiana, la cual es crucial para el funcionamiento del ecosistema. Al entender cómo las bacterias formadoras de esporas responden a los cambios ambientales, científicos y formuladores de políticas pueden predecir mejor los cambios ecológicos e implementar prácticas que promuevan la conservación del suelo en regiones áridas y semiáridas.

### Importancia de los microartrópodos para evaluar la calidad de los suelos

G. Castaño-Meneses<sup>1</sup> y A. Ibáñez-Huerta<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ecología de Artrópodos en Ambiente Extremos, UMDI-Juriquilla, Facultad de Ciencias, Campus Juriquilla, Universidad Nacional Autónoma de México

[gabycast99@hotmail.com](mailto:gabycast99@hotmail.com)

Los artrópodos son uno de los grupos más abundantes e importantes en el ambiente edáfico, tanto por su riqueza, diversidad, biomasa, las interacciones que establecen, su participación en múltiples servicios ecosistémicos, como la retención y almacenamiento de humedad a través del sistema de poros que por la actividad de los artrópodos, se mantiene en el suelo; el reciclaje de

nutrimentos por los procesos de descomposición en los que participan; la formación misma de suelo a través de la bioturbación y la selección de partículas. Todo lo cual los ubica como indicadores adecuados de la calidad del suelo. Dentro de los microartrópodos (organismos que miden entre 0.1 y 2 mm), los colémbolos, ácaros y hormigas, constituyen grupos de gran relevancia, tanto por su diversidad y abundancia, como por las interacciones que establecen entre ellos y con otros grupos de la fauna edáfica. El resultado de tales interacciones repercute de manera significativa en las comunidades biológicas y las características del suelo. Los microartrópodos participan en diferentes etapas de los procesos biogeoquímicos, como el ciclo del carbono, a través de la descomposición de la materia orgánica; el ciclo del agua modificando la velocidad de infiltración y la conductividad hidráulica del suelo; y la fijación de nitrógeno por su interacción con bacterias nitrificantes y desnitrificantes. Dichos procesos son indispensables para el funcionamiento de los ecosistemas y resultan de vital importancia para el mantenimiento de la vida en general. Los colémbolos y otros microartrópodos (ácaros oribátidos, mesostigmados, prostigmados, astigmados, dipluros, proturos), intervienen en distintas etapas, principalmente favoreciendo la descomposición y facilitando la intervención de otros microorganismos que hacen disponibles los nutrientes para las plantas. Finalmente, a través de distintas investigaciones en suelos agrícolas y forestales, se ha comprobado la utilidad de los microartrópodos como indicadores de la calidad de los suelos en México. PAPIIT DGAPA-UNAM Proyecto IG101325.

### Integrando la paleogenómica y genómica ambiental para desentrañar las interacciones geobiológicas

M. Cerca<sup>1</sup>, B. Moguel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geociencias, Campus Juriquilla, UNAM

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

El estudio de las interacciones geobiológicas es fundamental para comprender cómo los organismos y el medio ambiente han evolucionado y se han influenciado mutuamente a lo largo del tiempo. La integración de la paleogenómica y la genómica ambiental ofrece un enfoque innovador para desentrañar estas relaciones complejas. La paleogenómica, que se centra en el análisis de DNA antiguo, permite a los investigadores reconstruir la historia genética de organismos extintos y sus interacciones con el entorno en diferentes periodos geológicos. Por otro lado, la genómica ambiental se ocupa de la diversidad genética de los microorganismos presentes en ecosistemas actuales, proporcionando información sobre cómo estos organismos responden a cambios ambientales. Al combinar estas dos disciplinas, podemos identificar patrones evolutivos y adaptativos que han ocurrido a lo largo del tiempo. Por ejemplo, al analizar secuencias de DNA extraídas de sedimentos antiguos y compararlas con datos genómicos contemporáneos, se pueden rastrear cambios en la biodiversidad y en las comunidades microbianas en respuesta a eventos climáticos o geológicos. Esta metodología no solo ayuda a reconstruir ecosistemas pasados, sino que también proporciona información valiosa sobre cómo las comunidades biológicas podrían reaccionar ante el cambio climático actual. Además, la integración de estas técnicas permite abordar preguntas sobre la coevolución entre organismos y su entorno, revelando cómo factores como la disponibilidad de nutrientes o la temperatura han influido en la evolución de diversas especies. La combinación de paleogenómica y genómica ambiental representa un avance significativo en el estudio de las interacciones geobiológicas,

ofreciendo herramientas poderosas para entender la historia de la vida en la Tierra y su futuro frente a cambios ambientales globales. PAPIIT DGAPA-UNAM Proyecto IG101325.

## Sedimentos con tapetes microbianos: una aproximación fisicoquímica y biogeoquímica

A. Paniagua-Vargas<sup>1</sup>; G. Ibarra-Arzave<sup>1</sup>; F. García-Oliva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (IIES), Campus Morelia, UNAM

[fgarcia@cieco.unam.mx](mailto:fgarcia@cieco.unam.mx)

Las Pozas Rojas (PR) se ubican en el valle de Cuatro Ciénegas (VCC), y corresponde a un sistema de pozas someras, las cuales tienen una gran diversidad de bacterias, siendo muy diferentes entre pozas. Este trabajo tiene como finalidad la descripción de propiedades fisicoquímicas y biogeoquímicas de muestras de sedimentos con tapetes microbianos obtenidas de las PR, para entender por qué la gran diversidad microbiana entre las pozas. Para ello, se extrajeron muestras de agua y sedimento con tapetes microbianos de PR. Encontramos que el pH de agua y sedimentos son alcalinos. El agua del sistema PR son aguas termales derivadas de la elevada concentración de iones disueltos, sulfato como el ion más abundante. En los sedimentos, el yeso resultó como la fase mineral cristalográfica más abundante. Adicionalmente, el análisis granulométrico mostró que los limos corresponden a la fracción más abundante. A partir de la caracterización morfológica de los sedimentos se pueden distinguir varios estratos y laminaciones en tonos marrón, y gris. En la parte superior, se distinguen tonos oscuros, posiblemente relacionados a una mayor concentración de materia orgánica en descomposición, además es posible observar paquetes de laminaciones en coloraciones púrpuras y verdosas lo que se relaciona a los tapetes microbianos; por otro lado, los estratos inferiores muestran coloraciones más claras y con un aspecto más compacto. También fue posible registrar acumulaciones de yeso visiblemente observables, principalmente relacionados a los estratos grises. La relación C:N:P (174:14:1) sugiere que N y P parecen ser los nutrientes limitantes en este sistema.

Las condiciones oligotróficas y la gran heterogeneidad física y química de las pozas pueden explicar la gran diversidad de bacterias en la columna del agua. Estas pozas, en particular los sedimentos, representan una ventana histórica de los metabolismos básicos microbianos que determinaron los ciclos biogeoquímicos del planeta.

## Comparación de la diversidad microbiana en suelos de dos lagos salino-alcalinos alojados en cráteres volcánicos cercanos, utilizando un enfoque metagenómico basado en secuenciación del gen 16S rRNA

M. Cerca<sup>2\*</sup>, J. Sánchez-Sánchez<sup>1</sup>, R.J. Alcántara-Hernández<sup>3</sup>, B. Moguel<sup>2</sup>, I.I. Muñoz-Velasco<sup>4</sup>, D. Carreón-Freyre<sup>2</sup>, G. Levresse<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geociencias, Campus Juriquilla, UNAM; <sup>2</sup> Instituto de Geociencias, Campus Juriquilla, UNAM; <sup>3</sup>Instituto de Geología, Ciudad Universitaria, UNAM; <sup>4</sup>Facultad de Ciencias, Ciudad Universitaria, UNAM

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

Las comunidades microbianas de suelos y sedimentos en lagos alcalinos están influenciadas por factores como el pH, salinidad, temperatura y la disponibilidad de nutrientes, entre otros. Su composición y abundancia relativa varían según las condiciones ambientales. En este estudio, se recolectaron muestras de núcleos de sedimentos de 4 m de profundidad en dos lagos salino-alcalinos que actualmente se encuentran desecados: Hoya La Alberca y Hoya Rincón de Parangueo. Estos lagos, formados en cráteres de origen freato-magmático, pertenecen al Campo Volcánico Valle de Santiago, la distancia entre ellos es menor a 5 km. En los últimos 50 años, el impacto antropogénico y la desecación han transformado estos ecosistemas en ambientes altamente salino-alcalinos, caracterizados por elevadas concentraciones de sales, valores de pH entre 9.7 y 10.2, y conductividades de 12,460 a 16,500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El objetivo de este trabajo fue caracterizar la distribución vertical de la comunidad procariótica mediante secuenciación de alto rendimiento del gen 16S rRNA, y analizar la influencia de factores ambientales y geológicos en estas comunidades. Los resultados revelaron diferencias taxonómicas significativas entre las dos secuencias de suelos, no solo entre ambos lagos sino también en relación con la profundidad. En La Alberca, las comunidades procarióticas mostraron sensibilidad a parámetros como  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{SO}_4$  y S, mientras que en Rincón de Parangueo las comunidades presentaron afinidad con  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y la conductividad. Además, se identificaron diferencias en la precipitación de minerales relacionados con procesos biogénicos: aragonita, piritita y montmorillonita en La Alberca, e hidromagnesita, aragonita, trona y halita en Rincón de Parangueo. Estos hallazgos destacan la importancia de integrar perfiles biológicos con propiedades fisicoquímicas para entender la evolución reciente de los suelos en lagos. PAPIIT DGAPA-UNAM Proyecto IG101325.

## Método alternativo y de bajo costo para el estudio de la actividad microbiana del suelo

I. Pérez-Caamaño<sup>1</sup>, A. Prado Farías<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escuela Nacional de Estudios Superiores, Campus Juriquilla, UNAM

[innamperez2@gmail.com](mailto:innamperez2@gmail.com), [aprado@unam.mx](mailto:aprado@unam.mx)

La actividad microbiana es un indicador importante de la calidad y salud del suelo. Sin embargo, las metodologías para estudiar la actividad microbiana del suelo son demasiado caras y requieren equipos especializados para llevarse a cabo. Existe la necesidad de desarrollar metodologías alternativas de bajo costo que sean accesibles a una amplia gama de productores, para el monitoreo de las propiedades biológicas del suelo. En este trabajo presentamos el uso de un gel indicador para estudiar la actividad microbiana del suelo de forma cualitativa. El gel indicador cambia de color de acuerdo con la producción de  $\text{CO}_2$  (respiración) de una muestra de suelo. Como ejemplo del uso de esta metodología, se presenta una comparación entre suelos con diferentes tipos de manejo en el cultivo de fresas (regenerativo vs convencional). La producción de  $\text{CO}_2$  de las muestras fue validada a través de un sensor infrarrojo. Las muestras de la parcela con manejo convencional tuvieron una menor producción de  $\text{CO}_2$  y un imperceptible cambio de color en comparación con la parcela de manejo regenerativo en el cual hubo un cambio notorio de color. Estos resultados indican una mayor actividad microbiana en la parcela con manejo regenerativo. De acuerdo con nuestros resultados el gel indicador es efectivo en proporcionar de forma cualitativa información sobre la actividad microbiana del suelo. PAPIIT UNAM Proyecto IG101325.

### Tema 3. Cartografía digital y bases de datos

#### Microcartografía de la descomposición de la materia orgánica del suelo y su papel en la formación de agregados

T. González Vargas<sup>1</sup>, C. Ortiz Solorio<sup>2</sup>, Ma. del C. Gutiérrez Castorena<sup>2</sup>, E. Fuentes Romero<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UMDI-J, Facultad de Ciencias, Campus Juriquilla, UNAM; <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, México.

[tania.gv@ciencias.unam.mx](mailto:tania.gv@ciencias.unam.mx)

La relación que existe entre la formación de agregados y la cantidad de materia orgánica del suelo (MOS) depende de los procesos edafogenéticos, la actividad biológica, la calidad de la MO, etc., que pueden modificar tanto los reservorios de carbono como el tipo de agregación dominante. Sin embargo, las investigaciones de estas relaciones se realizan a través del fraccionamiento y separación de agregados cuando es necesario considerar que ninguno de estos existe de manera separada. En la presente investigación se propone el uso de técnicas microcartográficas para evaluar el proceso de descomposición de materia orgánica en un horizonte Ah y su papel en la formación de agregados. En este estudio se seleccionaron cinco sitios del Monte Tláloc, Texcoco, Estado de México, en donde se desarrollan Andosols y la vegetación dominante corresponde a bosque de oyamel (*Abies religiosa*). Secciones delgadas de suelo del horizonte Ah (0-20 cm) fueron colectadas y se generaron mosaicos de alta resolución de la sección completa. A partir de estos se generaron mapas temáticos de a) grados de descomposición de la MO y b) tamaños de agregados del suelo (micro y macroagregados). Los resultados mostraron una alta incorporación de MO al suelo y una rápida descomposición de la materia orgánica mediada por la presencia de alta actividad biológica (hifas, excretas, microagregados coalescentes). Los macroagregados (> 250 µm) son dominantes >90% en el horizonte superficial del suelo y estos se encuentran compuestos principalmente por materia orgánica fuertemente descompuesta, lo cual demuestra que, si bien se ha documentado una alta tasa de mineralización en suelos forestales, los materiales fuertemente descompuestos se incorporan a los agregados y participan de manera importante en su estabilización mediante complejos aluminio-humus.

#### Índices de sucesión y huella metabólica de la comunidad de nemátodos del suelo en el Campus Juriquilla de la UNAM

H. Mejía Madrid<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escuela Nacional de Estudios Superiores, Campus Juriquilla, UNAM

[hugo\\_mejia\\_madrid@ciencias.unam.mx](mailto:hugo_mejia_madrid@ciencias.unam.mx)

Las zonas de protección propuestas para el campus Juriquilla, UNAM son un ejemplo de la preocupación por el impacto generado por la urbanización por desarrollos inmobiliarios y por las construcciones dentro del campus. La urbanización ha pasado de un parque 304 mil viviendas a 498 mil en diez años (2010-2020). El objetivo del estudio es conocer la condición del suelo en dos zonas de protección del Campus Juriquilla, a través de seis índices que indican el estado de

sucesión de la red trófica, disturbio y las huellas metabólicas de los gremios más sensibles de nemátodos. Se tomaron 20 muestras en dos sitios con diferencias en cobertura vegetal: zona de protección 1 con cobertura vegetal en sucesión secundaria mientras que en la zona de protección 2 está alterada aparentemente por construcciones. Los nemátodos se capturaron por el método de tamizado-embudo de Baermann. Se contabilizaron un total 2320 ( $2.83 \pm 9.12$ ) nemátodos en 100 g de suelo seco en toda el área de muestreo. En protección 1 se encontraron 556.5 ( $1.3 \pm 3.6$ ) y en protección 2, 1763.5 ( $4.2 \pm 12.1$ ) individuos. El índice de madurez (MI2-5) mostró un intervalo de 2.28 - 2.42 lo cual muestra probablemente contaminación; el índice basal (BI) 43.18 - 44.13 indica una red trófica dañada o agotada; el índice de estructura 32.27 - 45.85 indica una red trófica perturbada; las huellas metabólicas por nemátodos omnívoros (OF) fue de 5.81 - 19.07, depredadores (PF) de 0.55 - 13.32 y de estructura (SF) 32.43 - 6.36 indican menor canalización de carbono y una menor contribución a las funciones y servicios ecosistémicos. Los índices bióticos basados en las comunidades de nemátodos muestran signos de perturbación en ambas zonas de protección, lo cual indica que es urgente promover la conservación de las áreas propuestas.

#### Cartografía digital de suelos y materiales granulares del Municipio de Querétaro

M. Torres Gómez<sup>1</sup>, D. C. Carreón Freyre<sup>1</sup>, M. Guevara Santamaria<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geociencias, Campus Juriquilla, UNAM

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

En este proyecto se propone el desarrollo de un sistema de cartografía digital de suelos enfocado para proveer información valiosa que permita promover el manejo sostenible de suelos y consecuentemente del territorio municipal de Querétaro, a partir de la integración y síntesis de los datos. Como primer paso, se generó una convocatoria dirigida a los académicos del Instituto de Geociencias haciéndoles la invitación a participar en el proyecto y así crear una base de datos de distintos laboratorios, investigaciones y enfoques. Posteriormente la convocatoria fue dirigida a distintos centros, laboratorios y empresas privadas que trabajan con suelos. De esta manera se recaudó información sobre los suelos del Municipio. Actualmente se cuenta con siete bases de datos, las cuales contienen 730 registros georreferenciados con información de suelos, como el porcentaje de carbono orgánico (130), densidad aparente de los primeros 15 cm de profundidad (130), textura del suelo de los primeros 30 cm de profundidad (60), pH H<sub>2</sub>O (60), metales pesados (35), infiltración (20), entre otros; todos provenientes del Instituto de Geociencias que datan del 2022 al 2024. Los ambientes más representados son bosque de encinos, matorral y pastizal del parque Joya/La Barreta, así como campos agrícolas de temporal y de riego del Municipio. La estrategia de sistematización de información de bases de datos de suelos implica un conjunto de pasos y herramientas organizadas para recopilar, organizar, almacenar, analizar y visualizar datos relacionados con las características del suelo. Esta estrategia busca garantizar que la información esté accesible, sea confiable y permita tomar decisiones informadas en áreas como la agricultura, la gestión ambiental y la ingeniería civil. Este proyecto abarca desde aplicaciones locales hasta impactos globales. La sistematización de la información permite abordar problemas relacionados con la sostenibilidad, la gestión ambiental, la agricultura, la planificación territorial y la investigación científica. PAPIIT DGAPA-UNAM Proyecto IG101325.

## Construcción de la base de datos de precipitación diaria y erosividad de la precipitación a escala nacional en México

V. M. Varón-Ramírez<sup>1,2</sup>, D. A. Gómez Latorre<sup>2</sup>, C. E. Arroyo Cruz<sup>1</sup>, B. L. Prado Pano<sup>3</sup>, M. Guevara<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geociencias, Campus Juriquilla, UNAM; <sup>2</sup>Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera-Cundinamarca, Colombia; <sup>3</sup>Instituto de Geología, Campus Ciudad Universitaria, UNAM

[viviana.varon@geociencias.unam.mx](mailto:viviana.varon@geociencias.unam.mx)

La erosión hídrica del suelo (EHS) es el proceso de degradación del suelo dominante a escala global. La erosividad es un índice que se refiere al potencial que tiene la precipitación para generar EHS. Un gran desafío es contar con datos precisos de series de precipitación, con alta resolución temporal, para estimar la erosividad desde una perspectiva regional a global. El objetivo consistió en desarrollar la primera base de datos con las series de precipitación diarias en tres normales climáticas NC (1968-1997, 1978-2007 y 1988-2017) para estimar la erosividad de la precipitación a escala nacional en México utilizando la información del Servicio Meteorológico Nacional. Primero, compilamos información de más de 5000 estaciones meteorológicas distribuidas en todo el territorio mexicano. Luego, realizamos un análisis robusto de control de calidad (e.g., análisis de saltos, identificación de valores atípicos, relleno y homogenización de las series). Luego, estimamos la erosividad de la precipitación utilizando una ecuación potencial. Finalmente, comparamos nuestras estimaciones respecto a tres bases de datos que estiman la erosividad utilizando series de precipitación con mayor resolución temporal: una global, una nacional y otra local. Como resultados relevantes, obtuvimos 1369, 1678 y 1676 series de precipitación confiables para cada NC. Los valores medios de erosividad de la precipitación para las tres NC fueron 3600, 3296 y 3461 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente. La distribución estadística de los valores de erosividad está sesgada a la derecha en las tres normales, alcanzando valores de erosividad de más de 8000 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Respecto a la comparación con GloREDA, identificamos que los valores medios de erosividad de la lluvia para las ecorregiones de Desiertos de América del Norte, las elevaciones semiáridas y el Bosque Seco Tropical son similares; sin embargo, para las ecorregiones con mayor precipitación, como las Sierras Templadas y el Bosque Húmedo Tropical, la base de datos GloREDA subestima los valores de erosividad. Respecto a la base de datos nacional, se identificó que este trabajo tiene una subestimación de los valores de la erosividad; sin embargo, la tendencia de la erosividad respecto de la precipitación anual acumulada es la misma para las dos bases de datos. Finalmente, respecto a la base de datos local, se identificó que la subestimación para las condiciones de precipitación de alta montaña en el estado de Michoacán es de 1.85 veces. La nueva base de datos está disponible para consulta pública para investigadores y estudiantes, asistentes técnicos y tomadores de decisiones interesados en estudios relacionados con EHS en todo México. Por lo tanto, esta investigación mejora la evaluación de las variables climáticas y sus patrones espaciales, contribuyendo a una mejor comprensión y predicción del proceso de EHS a escala nacional.

## Mapeo y monitoreo de suelos: hacia una base de datos de suelos de la UNAM

A. Rosas Cipriano<sup>1</sup>, M. A. Sánchez-Rojas<sup>2</sup>, L. A. Rodríguez-Bustos<sup>2</sup>, B. L. Prado-Pano<sup>2</sup>, M. Guevara Santamaría<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias, Ciudad Universitaria, UNAM; <sup>2</sup>Programa Universitario de Estudios Interdisciplinarios del Suelos, UNAM; <sup>3</sup>Instituto de Geociencias, Campus Juriquilla, UNAM

[arely\\_rosas@ciencias.unam.mx](mailto:arely_rosas@ciencias.unam.mx)

Los suelos tienen un rol importante en la existencia de la vida humana, como hábitat y como fuente de múltiples servicios ecosistémicos, como alimento, fibras, combustibles y minerales. En la actualidad, la salud del suelo está bajo amenazas constantes, como el cambio de uso del suelo y la deforestación, el manejo intensivo y la contaminación. Debido a la naturaleza del suelo como un recurso no renovable crucial para el desarrollo de las actividades humanas, las investigaciones científicas con enfoques inter y transdisciplinarios han ido en aumento; especialmente en temas como el cambio climático, urbanización y conflictos socioambientales. Contar con más datos científicos del suelo no quiere decir que estén disponibles de manera inmediata para su consulta o reanálisis, debido a esto, surge la necesidad de mejorar el acceso a la información porque facilitaría la creación de proyecciones, modelos estadísticos, ampliaría el conocimiento y fomentaría la colaboración científica a favor del cuidado de los suelos. El Programa Universitario de Estudios Interdisciplinarios del Suelo (PUEIS) es la entidad dentro de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) que impulsa estratégicamente la participación de la academia para producir un impacto positivo en el estudio, preservación y aprovechamiento de los suelos. Uno de sus proyectos, Mapeo y monitoreo de suelos: hacia una base de datos del suelo, busca consolidar un repositorio de información, bases de datos y cartografía asociada con investigación generada en la UNAM, para incrementar la cantidad y calidad de los datos disponibles de suelo en México. A la fecha, el proyecto ha recopilado 72 estudios proporcionados por 18 autores, siendo más representativos artículos científicos (32), tesis (18), bases de datos (10), mientras que los restantes pertenecen a libros (4), informes de ensayos experimentales (2), información suplementaria de artículos (2), entre otros (4). La información recabada, corresponde al periodo entre 1995-2024. Las principales categorías identificadas son "Caracterización de perfiles de suelo" (38%) y "Base de datos" (17%). La mayoría de los estudios se realizaron en México, las entidades más representadas son el Estado de México, Hidalgo, Ciudad de México, Michoacán y Sonora. Solo un estudio corresponde a una revisión en Italia. Las variables más comunes incluyen propiedades físicas como porcentaje de arcilla, arena y limo, color e infiltración.

### Tema 4. Sustentabilidad alimentaria

#### Predicción de la concentración de nitrógeno total en suelos cultivados con *Allium fistulosum* y pastizales nativos en un ecosistema de páramo en Colombia

D. C. Rey-Romero<sup>1</sup>, V. M. Varón-Ramírez<sup>2</sup>, M. Guevara<sup>2</sup> y E. R. Oviedo-Ocaña<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental (GPH), Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia; <sup>2</sup>Instituto de Geociencias, Campus Juriquilla, UNAM  
[daniela2208106@correo.uis.edu.co](mailto:daniela2208106@correo.uis.edu.co)

La intensificación agrícola en páramos compromete la provisión de servicios hidrológicos en estos ecosistemas, principalmente por contaminación difusa con nitrógeno (N), derivada del uso convencional de fertilizantes orgánicos y sintéticos. Aunque en diferentes contextos se han implementado numerosas estrategias agronómicas para reducir pérdidas de N y su exportación al agua, la selección de alternativas apropiadas en páramos se dificulta por la escasez de datos sobre sus suelos. El uso de funciones de pedotransferencia (FPT) ofrece un enfoque prometedor para predecir propiedades edáficas en ausencia de datos primarios y, por lo tanto, mejorar la gestión agrícola en estos ecosistemas vulnerables. En este estudio se desarrollaron FPT para predecir el N total (NT) en suelos de un páramo de Colombia a partir de otras propiedades edáficas, empleando modelos de regresión lineal múltiple y bosques aleatorios (MLR y RF por sus siglas en inglés, respectivamente). Se utilizaron 288 datos de NT a 0-20, 20-40 y 40-60 cm de profundidad en suelos con cultivos de *Allium fistulosum* y vegetación de pastizal nativo. Previo al entrenamiento de los modelos, se aplicó selección recursiva de variables para identificar los predictores más apropiados. Las covariables más importantes fueron, en orden de relevancia: carbono orgánico, profundidad, conductividad eléctrica, fósforo disponible, contenido de humedad, densidad aparente, potasio, azufre y porosidad total. Ambos modelos presentaron desempeños adecuados para la predicción del NT (R<sup>2</sup> de 0.948, RMSE de 0.302 g/kg y MAE de 0.223 g/kg para MLR y R<sup>2</sup> de 0.912, RMSE de 0.391 g/kg y MAE de 0.293 g/kg para RF). Las FPT generadas en este estudio constituyen una herramienta valiosa para evaluar los patrones de distribución del NT en el perfil del suelo, facilitando la implementación de estrategias de manejo que armonicen las actividades productivas de comunidades campesinas que habitan los páramos con la conservación de sus servicios ecosistémicos.

## Fertilidad de los suelos agrícolas del estado de Tlaxcala

A. María Ramírez<sup>1</sup> y J. L. Carmona Martínez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>El Colegio de Tlaxcala

[mariamirez.andres@coltlax.edu.mx](mailto:mariamirez.andres@coltlax.edu.mx)

A finales de la década de los 80's, los suelos de Tlaxcala fueron diagnosticados como los de más baja fertilidad en México. Existen antecedentes que afirman que Tlaxcala es, proporcionalmente, el estado que más siembra su superficie. Esto se explica en parte por su pequeño tamaño y por ubicarse en un área históricamente de alta densidad de población. La agricultura es principalmente bajo temporal con tres cultivos en monocultivo (maíz, trigo y cebada) que ocupan más de 80% de su superficie cultivable. Ello es relevante ante las condiciones actuales de cambio climático, pobreza económica de los campesinos, renta de la tierra y bajo rendimiento de los cultivos, entre otras. Este trabajo pretende documentar el problema de la baja fertilidad de los suelos agrícolas considerando su contenido de materia orgánica. Para ello se consideraron las bases de datos del mencionado indicador, de las investigaciones realizadas principalmente por el hoy Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias en las décadas de

los 70's y 80's, principalmente. Los datos se representaron en un mapa realizado con un Sistema de Información Geográfica.

## Evaluación de la calidad fisicoquímica y nutrimental del suelo en la microcuenca de Tzompantepec, Tlaxcala, México

M. A. Moreno-Pérez<sup>1</sup>, G. Barrientos-Rivera<sup>1</sup>, O. Talavera-Mendoza<sup>1</sup>, J. Suárez-Sánchez, J. A. R. Grada Yautentzi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Maestría en Ciencias en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas, Facultad de Agrobiología, Universidad Autónoma de Tlaxcala

[quimagic.16@gmail.com](mailto:quimagic.16@gmail.com)

Las cuencas del país presentan degradación del suelo, principalmente las que se ubican en la zona centro-norte del país, mostrando un deterioro severo en cuanto a sus características ambientales. El suelo es uno de los factores ambientales más importantes y se considera como la principal fuente para proporcionar nutrientes esenciales para las plantas y reservas de agua. Por lo que es necesario implementar nuevas estrategias que definan un desarrollo sostenible de los medios de producción agrícola; para ello es importante conocer los índices de calidad del suelo, estos son atributos medibles que revelan la respuesta de la productividad y la funcionalidad del suelo-ambiente estas propiedades permiten saber si la calidad del suelo está mejorando, permanece constante o disminuyendo. Con el objetivo de evaluar las características fisicoquímicas y elementales del suelo para un desarrollo óptimo en la microcuenca de Tzompantepec, se definieron unidades morfo-edafológicas de acuerdo con el tipo de litología, uso del suelo, relieve y pendiente; de tal forma que fueran unidades representativas de la microcuenca. En cada unidad de muestreo se colectó una muestra de suelo de aproximadamente 1 kg para su posterior análisis en el laboratorio determinando pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, granulometría, nitratos y sulfatos; así mismo, se cuantificó la concentración de macro y microelementos (N, P, Ca, Mg, Na, K, Ba, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe, As, Pb, Cd, V, Al). Los resultados revelaron que los suelos seleccionados presentaron un pH moderadamente ácido, no presentaron problemas de salinidad, una baja concentración de materia orgánica una granulometría en donde predomina el tipo franco arenosa, así mismo de los 19 elementos analizados se encontró un bajo nivel de concentración de cada uno.

## Caracterización nutrimental y fisicoquímica de suelos agrícolas en Huitzoco Guerrero, México

E. L. Serafín-Higuera<sup>1</sup>, G. Barrientos-Rivera<sup>1</sup>, J. Suárez-Sánchez<sup>1</sup>, S. Mendieta-Mendieta<sup>1</sup>, W. Rosas-Hernández<sup>1</sup>, L. Gustavo Zavaleta-Rodríguez<sup>1</sup>, D. Escobar-González<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Maestría en Ciencias en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas, Facultad de Agrobiología, Universidad Autónoma de Tlaxcala

[quimagic.16@gmail.com](mailto:quimagic.16@gmail.com)

El suelo es un recurso fundamental para la seguridad alimentaria, sin embargo, el incremento en la producción agrícola ha ocasionado el mal manejo y la aplicación de prácticas como el uso excesivo de fertilizantes químicos y pesticidas, la deforestación y las prácticas de monocultivos

han provocado la degradación de este recurso. En el municipio de Huitzuco la principal actividad económica es la agricultura. El objetivo de este trabajo fue caracterizar las propiedades fisicoquímicas y nutrimentales en suelos agrícolas de dos localidades de este municipio, Para ello, se tomaron cinco muestras de suelo en las localidades de Atetetla y Paso Morelos, posteriormente se realizó la preparación física y química de las muestras como indica el método de Tessier, el análisis nutrimental se realizó a través de espectroscopía de emisión atómica por plasma acoplado inductivamente (ICP-AES), el análisis de los datos se realizó mediante una prueba de t-student y de correlación en el programa R. Los resultados obtenidos muestran que Paso Morelos tuvo una mejor diferencia significativa en materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (C.E.) y en el porcentaje de limos y arcillas. En cambio, Atetetla presentó los niveles más altos de concentración mineral en la mayoría de los elementos analizados (Al 54550 mg/kg, Ba 246, Co 16, Cr 28, Cu24, Fe 22012, Mn 1520, Na 1789, Pb 9.3, V 50 y Zn 78). El K y Mg se asociaron positivamente con las variables MO, C.E. y limos y arcillas. El monitoreo constante de las propiedades físicas y de la composición mineral permitiría desarrollar estrategias o actividades de mejora en la fertilización de los suelos.

## Tema 5. Aspectos ambientales y de conservación del suelo

### El suelo reservorio de polinizadores

A. Prado Farías<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escuela Nacional de Estudios Superiores, Campus Juriquilla, UNAM  
[aprado@unam.mx](mailto:aprado@unam.mx)

Si bien se ha estudiado intensamente el comportamiento de los polinizadores en cuanto a las visitas a las flores, otras partes de su ciclo de vida relacionadas con el suelo han recibido mucho menos atención. De hecho, el 80% de las especies de abejas anidan bajo tierra y, por lo tanto, dependen del suelo para su reproducción. Las abejas hembra adultas cavan nidos en el suelo, y construyen celdas de cría provistas de polen en las que ponen sus huevos. Las condiciones ambientales del suelo, como la textura, el nivel de compactación, la humedad, la pendiente y la cantidad de suelo desnudo, son factores esenciales para las poblaciones de abejas salvajes y la composición de sus comunidades locales. Los niveles de contaminación del suelo pueden limitar el desarrollo de estas especies. En este sentido el suelo cumple con la función de ser un reservorio de polinizadores. Este proyecto pretende mejorar nuestro conocimiento de las interacciones entre la salud del suelo y las especies de insectos que dependen de él. El enfoque específico del proyecto son las abejas dependientes del suelo en el Municipio de Querétaro. El proyecto pretende revelar cómo las prácticas de manejo del suelo y la contaminación amenaza a los polinizadores que dependen del suelo. Se usarán dos diferentes tipos de muestreo: 1) trampas pasivas y 2) dispositivos automatizados de monitoreo. El proyecto finalmente utilizará los datos recabados para recomendar prácticas de manejo del suelo seguras para los polinizadores e informar sobre la conservación y restauración de la salud del suelo.

### Efecto a largo plazo del riego con agua residual sobre las comunidades fúngicas en Phaeozems del Valle de Mezquital, Hidalgo

R. J Alcántara-Hernández<sup>1</sup>, A. Savin-Gómez<sup>2</sup>, E. J. Aguilar-Rangel<sup>1</sup>, B. L. Prado<sup>1</sup>, M. S. Vásquez-Murrieta<sup>3</sup>, C. Siebe<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Instituto de Geología, Campus Ciudad Universitaria, UNAM; <sup>2</sup>Posgrado en Ciencias Biológicas, Campus Ciudad Universitaria, UNAM; <sup>3</sup>Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional  
[rocio.alcantara.h@gmail.com](mailto:rocio.alcantara.h@gmail.com)

El riego con agua residual es una estrategia que se ha visto adoptada por varios países en diversas zonas para compensar la escasez del agua. El Valle del Mezquital en el estado de Hidalgo, es uno de los sistemas agrícolas de mayor antigüedad y extensión que han adoptado esta práctica desde principios del siglo XX (Siebe, 1998). En este estudio se investigó el efecto del riego con agua residual sobre la diversidad y estructura de los ensamblajes fúngicos del suelo tipo Phaeozem del Valle del Mezquital. Para ello, se empleó un muestreo en cronosecuencia, colectando muestras que han sido regadas con agua residual por 0, 25, 50 y 100 años, y se exploraron las huellas fúngicas a través de las huellas ITS por cuantificación y secuenciación

masiva. La cuenta absoluta de huellas ITS incrementó con el tiempo de riego comparados con el suelo control, donde se observa un aumento a los 25 y 50 años, pero una disminución a los 100 años. Este resultado es comparable con el encontrado por Xu y colaboradores (2012) y de forma similar, Ortega-Larrocea et al. (2001) reporta que decae el número de esporas en suelos regados por 90 años, posiblemente asociado al incremento de metales y fósforo en el suelo. La secuenciación de huellas ITS mostró que los suelos control contienen más huellas únicas que los suelos regados con agua residual; sin embargo, cuando éstos son analizados por el índice de Shannon, no se observaron diferencias significativas. Los suelos contuvieron principalmente hongos del filo Ascomycota, independiente del tiempo de riego, pero la abundancia de fila como Morteriellemycota y Aphelidiomycota se vieron afectadas negativa y positivamente por el tiempo de riego con agua residual, respectivamente. Así, este estudio correlaciona la diversidad fúngica en suelos con el fenómeno de riego con agua residual a largo plazo.

Se agradece al proyecto UNAM-DGAPA-PAPIIT IG101524, a cargo de la Dra. Christina Siebe, por el recurso otorgado para realizar esta investigación.

### Del pasado al presente: Revelando la influencia humana en los paleosuelos de Cuicuilco mediante fraccionamiento de fósforo

J. A. Peña<sup>1</sup>, G. Ibarra-Arzave<sup>2</sup>, F. García-Oliva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Escuela Nacional de Estudios Superiores, Campus Juriquilla, UNAM; <sup>2</sup>Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (IIES), Campus Morelia, UNAM

[jorgepg818@gmail.com](mailto:jorgepg818@gmail.com)

La presencia humana en la cuenca de México se ha registrado desde hace 11,000 años, modificando el paisaje natural por medio de la agricultura y el desarrollo urbano. Uno de los asentamientos más importantes del Preclásico tardío fue el sitio arqueológico de Cuicuilco, que llegó a ser habitado por más de 5,000 habitantes. Dentro de este recinto se encuentra “La Estela” que corresponde a un monolito de andesita desplantado sobre un montículo artificial de tierra localizado al sur de la edificación más importante de Cuicuilco. Se considera que este sitio fue abandonado como consecuencia de la erupción del volcán Xitle hace 1670 años AP, lo que provocó un derrame de composición basáltica conocido como el Pedregal de San Ángel, dicho derrame ocasionó la desaparición de las comunidades vegetales y faunísticas y la modificación permanente de los suelos. A pesar de lo anterior, se localizó un paleosuelo debajo del flujo de lava y de la capa de ceniza del cual se pudieron decodificar sus condiciones paleoambientales de formación. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto antrópico en los paleosuelos de Cuicuilco, comparando un paleosuelo natural con el perfil Estela el cual muestra rasgos antrópicos. Las muestras de cada horizonte y/o estrato de ambos perfiles se analizaron con técnicas biogeoquímicas (pH, COT, N y fraccionamiento de P). Los resultados del fraccionamiento de P sugieren que el perfil no antropizado muestra un patrón natural de mayor acumulación en los horizontes superiores por la presencia de minerales amorfos no cristalinos como los alófonos, en donde queda atrapado el Po más recalcitrante. El patrón corresponde a lo esperado en suelos con características de tipo Andosol y Luvisol. Por el contrario, el perfil Estela no muestra un patrón natural en el fraccionamiento demostrando influencia antrópica. El P se encontró en las fracciones más recalcitrantes y minerales.

### La conservación del suelo y el agua en regiones semiáridas: Un estudio de caso de la microcuenca La Joya (Querétaro-Guanajuato)

G. Barrientos-Rivera<sup>1</sup>, H. Cotler-Ávalos<sup>1</sup>, R. F. Pineda López<sup>1</sup>, E. L. Serafín Higuera<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Maestría en Ciencias en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas, Facultad de Agrobiología, Universidad Autónoma de Tlaxcala

[quimagic.16@gmail.com](mailto:quimagic.16@gmail.com)

La conservación de los suelos se vincula a aquellas prácticas de gestión que buscan mantener la calidad de los suelos, en términos de sus funciones y potencialidades a la vez que promueven su uso productivo y sostenible reduciendo los impactos derivados de las formas de aprovechamiento expresadas en los procesos de degradación. La implementación de cada tipo de práctica dependerá del tipo de proceso de degradación que se busque atender, de las condiciones biofísicas y sociales en las cuales se quieren implantar, así como de la disponibilidad de recursos humanos y económicos disponibles. Sin embargo, esta situación no siempre es del todo contemplada, aplicándose las mismas acciones para todo el país, siguiendo las indicaciones de la autoridad nacional en el tema de conservación de suelos, que en ocasiones no suelen ser las más adecuadas, debido a que no se considera la heterogeneidad del recurso y las condiciones socio-ambientales que ejercen impactos sobre los suelos. La estrategia para la microcuenca es tomar el suelo como un eje rector desde un enfoque multidisciplinario, y priorizar las áreas importantes para conservarlo. Para ello, se implementó el método morfo-edafológico que a través de una regionalización nos permite inferir la calidad de los suelos y así, conocer el estado de la tierra como unidad integral. Como resultado se determinó que la mayoría de los suelos son muy someros, relativamente jóvenes con evidencias de erosión en forma de cárcavas, surcos, terrazas, pedestales y terracetas. A partir de la evaluación morfo-edafológica que considera las características de los suelos, los rasgos de erosión y la aptitud de la tierra, se llevó a cabo una propuesta como base para que trabajos complementarios que se realizan en la microcuenca La Joya tengan un soporte técnico que ayude a la toma de decisiones y planificación del territorio.

### La importancia del Sistema Chinampero de la CDMX: Caso de estudio

M. A. Rubio Ramos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de ingeniería UNAM/GEOTEM

[marcorr.quetzalcoatl@gmail.com](mailto:marcorr.quetzalcoatl@gmail.com)

El ritmo de crecimiento poblacional de la Ciudad de México ha migrado hacia la zona sur, una región que aloja el sistema chinampero catalogado por la UNESCO como Patrimonio Cultural de la Humanidad, siendo también catalogadas por la FAO como Sistemas Importantes del Patrimonio Agrícola Mundial. Las zonas de Chalco y Xochimilco son “áreas de valor ambiental”, además de la capacidad de regular la temperatura. El proceso de domesticación del terreno ha generado la destrucción progresiva de distintos sectores ambientales. Esto es particularmente crítico en los Sitios Ramsar de la Zona Metropolitana de México, aún más considerando la demanda histórica y creciente extracción de agua.

La preservación de este agroecosistema es muy importante dado el riesgo de disminuir su viabilidad económica (“economía verde”) y de mercado (valor agroindustrial de \$15.6 a \$31.5 millones de USD/ha/año), restringiendo parcialmente la oferta alimentaria local. Se documenta la realidad actual del sistema chinampero y, a partir de los resultados estadísticos en la gestión de agua y cambio de uso de suelo, se establece la hipótesis de la protección, crecimiento y ampliación del Parque Urbano más grande de la ciudad. El proyecto de resiliencia urbana se centra en la comunidad, preservando el desarrollo social y sustentable. La urgente agenda ambiental fortalecerá las capacidades y el desarrollo local bajo un marco jurídico actualizado por medio de la transición a cultivos basados en logros recientes de ciencia y tecnología aplicada, diversificando productos, cambiando el tipo de siembra. Los resultados permitirán la conservación de los reconocimientos obtenidos.

### Almacén y estabilidad del carbono en una comunidad de bosque mesófilo de montaña y en un pastizal, Qro.

N. M. Olmos González<sup>1</sup>; E. F. Romero<sup>2</sup>; N. E. García Calderón<sup>2</sup>; N. Velázquez Rosas<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Escuela Nacional de Estudios Superiores, Campus Juriquilla, UNAM; <sup>2</sup>UMDI-Facultad de Ciencias, Campus Juriquilla, UNAM; <sup>3</sup>Centro de Investigaciones Tropicales, Universidad Veracruzana

[olmosmelissa6.5@gmail.com](mailto:olmosmelissa6.5@gmail.com)

El Bosque Mesófilo de Montaña (BMM) destaca por su capacidad de almacenar carbono orgánico (CO), atribuida a la composición y estructura de su vegetación, la cual aporta residuos lábiles y recalitrantes que forman la materia orgánica del suelo (MOS), promoviendo la acumulación y estabilización del carbono orgánico del suelo (COS) mediante procesos de humificación y agregación por la formación de complejos órgano-minerales. No obstante, esta función ecosistémica está amenazada por la deforestación derivada del cambio de uso de suelo para actividades agrícolas y ganaderas. En ese sentido, el propósito de este estudio fue determinar el efecto del cambio de uso de suelo en el almacén y estabilidad del carbono en los almacenes aéreos y subterráneos en un BMM, en la Sierra Gorda de Querétaro. El diseño de muestreo fue sistemático en un BMM y en un pastizal inducido. Se determinó el almacén de CO en la biomasa arbórea, necromasa, mantillo y suelo; y se relacionó con la estabilidad física y química del COS mediante la estabilidad de los agregados (EA), el fraccionamiento de las sustancias húmicas y la producción de C-CO<sub>2</sub>. Ambas comunidades contribuyen al almacenamiento y estabilización del COS. El BMM almacena 254.80 Mg C ha<sup>-1</sup>, distribuidos en estrato arbóreo (36.26%), necromasa (0.48%), mantillo (22.47%) y el suelo (40.77%). El pastizal almacena 192.26 Mg C ha<sup>-1</sup>, distribuidos en mantillo (5.77%) y suelo (94.35%). La EA se concentra en macroagregados, con estructura granular y subangular en el bosque, y subangular y angular en el pastizal. La concentración de sustancias húmicas sigue el orden de CAH > CAF > CHum en el BMM, y CHum > CAH > CAF para pastizal. Los procesos edafogénicos asociados son mayor acumulación de MOS dominados por compuestos de alto peso molecular, que promueven la formación complejos órgano-minerales y dominancias de ácidos húmicos y huminas.

### La importancia del monitoreo y sistematización de las obras de conservación de suelo

*Conferencia Especial*

H. Luna Soria<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro

[hugoluna@uaq.mx](mailto:hugoluna@uaq.mx)

El suelo es un sistema complejo que ha sido objeto de intervenciones a largo de la historia, ya sea por su importancia en las actividades productivas, su función en el sistema hidrológico, como soporte de la biodiversidad o su importancia cultural. Particularmente surge el interés de analizar las intervenciones de las últimas décadas derivadas de extensas políticas públicas que promueven obras para conservar o reducir la erosión. En el Estado de Querétaro, instituciones federales, estatales y organizaciones de la sociedad civil han llevado a cabo centenares de obras de las cuales se carece información sistemática. El equipo de trabajo conformado por profesores y estudiantes ha promovido la sistematización de información, desarrollo de instrumentación automatizada y recuperación de saberes alrededor de estas obras, con el propósito de tener un contexto real del estado y función de estas. Como parte de estos esfuerzos encabezados por algunos estudiantes de la Maestría en Gestión Integrada en Cuencas, en municipio de Jalpan analizamos 22 sitios con 7 tipos de obras para conocer su estado, pero principalmente para calcular su contribución a reducir la erosión hídrica, a través del Factor P del modelo RUSLE. Asimismo, se mejoró y adaptó el diseño del infiltrómetro de tensión con un sistema SCADA para poder medir la infiltración como una de las funciones que este tipo de obras promueven. Dicho sistema ha se ha probado en el municipio de Amealco y Colón bajo diversos usos de suelo y actualmente evalúa la intervención en 1 ha con obras demostrativas en el Parque Natural La Beata con el propósito de construir un sitio de monitoreo a largo plazo. Paralelamente, se ha iniciado la recuperación y sistematización de saberes de los actores que han desarrollado en campo estas, conocimientos fundamentales en la construcción y calidad.

### Agricultura y conservación: un dilema en el Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala

A. I. Baez-Horihuela<sup>1</sup>, H. Cotler-Ávalos<sup>1</sup>, G. Barrientos-Rivera<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Maestría en Ciencias en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas, Facultad de Agrobiología, Universidad Autónoma de Tlaxcala.

[quimagic.16@gmail.com](mailto:quimagic.16@gmail.com), [20230025@uatx.mx](mailto:20230025@uatx.mx)

La conservación de la biodiversidad en un área natural protegida (ANP) es fundamental para el bienestar humano y el desarrollo social y económico, gracias a los bienes y servicios que ofrece. El sector agrícola, depende de los servicios ecosistémicos que brindan las ANPs, como la polinización, el control de la erosión y la provisión de agua, esenciales para la producción de alimentos. Las comunidades campesinas que rodean el parque dependen de la agricultura para su sustento, lo que genera tensiones entre la conservación ambiental y la presión por incrementar la producción alimentaria. La deforestación, los incendios y el cambio en el uso del suelo son las principales causas de la pérdida de recursos forestales, lo que a su vez aumenta la erosión del suelo y disminuye su fertilidad. Esto afecta gravemente los servicios ecosistémicos que estos

recursos proporcionan. En este estudio se analizó la percepción social de campesinos en tres localidades de la microcuenca Chiautempan, perteneciente al PNLM, mediante 21 entrevistas semiestructuradas a adultos con trabajo agrícola. La información obtenida fue codificada y sistematizada para su análisis. Los hallazgos identificaron su relación con el ecosistema, su percepción sobre los cambios ambientales y su compromiso con la conservación del bosque. La colaboración entre autoridades, comunidades y el sector académico es esencial para desarrollar estrategias que integren producción agrícola y conservación. Esto incluye el seguimiento de reforestaciones y el uso de insumos biológicos sostenibles. La educación y participación comunitaria son claves para un manejo integral que beneficie tanto a las personas como al ambiente, asegurando así la preservación del ecosistema forestal para futuras generaciones.

### Propiedades edafogénicas y caracterización del perfil de suelo “Pastizal”, Valle Verde, Jalpan de Serra, Querétaro, México

J. del C. Trejo-Islas<sup>1</sup>, J. E. Baca-León<sup>1</sup>, T. González-Vargas<sup>2</sup>, E. Fuentes-Romero<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Escuela Nacional de Estudios Superiores, Campus Juriquilla, UNAM; <sup>2</sup>UMDI-Facultad de Ciencias, Campus Juriquilla, UNAM

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

En la región de Valle Verde, Sierra Gorda, Qro, los suelos se desarrollan bajo un bosque mesófilo de montaña (BMM) el cual provee de importantes servicios ecosistémicos; sin embargo, el uso de suelo ha sido modificado a ganadero, lo cual puede conducir a su compactación y pérdida de sus funciones. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue realizar la descripción en campo, caracterización de las propiedades físicas y químicas del suelo y los procesos edafogénicos para llevar a cabo su clasificación taxonómica de acuerdo con la World Reference Base (2022). En el sitio se elaboró un pozo pedológico y se designaron sus horizontes genéticos. Muestras de cada horizonte fueron colectadas para determinar la densidad aparente, contenido de humedad, acidez activa y potencial, color en seco y en húmedo, carbono orgánico total y la textura. El sitio muestra discontinuidades litológicas, debido a la presencia de estructura de grano simple (arenas) entre 10 y 15 cm de profundidad. El horizonte superficial (Ap) tiene un espesor reducido (10 cm), por lo que no presenta óptima acumulación de materia orgánica debido al manejo de sistemas ganaderos en un pastizal inducido y a los eventos de deposición de materiales. Por lo cual, el proceso dominante de este suelo es de melanización incipiente por lo que el suelo se clasificó como Chromic Eutric Cambisols (Clayic, Humic, Panpaic). Asimismo, el suelo muestra desarrollo poligenético, lo cual significa que han ocurrido eventos continuos de depósito de sedimentos que han enterrado horizontes A. Este estudio resalta la importancia de elaborar pozos pedológicos para caracterizar integralmente al suelo, sobre todo en sitios susceptibles como son los BMM. La evaluación de los procesos de formación de suelo brinda información útil en la conservación y manejo adecuado del recurso para garantizar su sostenibilidad en actividades económicas locales.

### Edafogénesis de un suelo bajo conservación en un bosque mesófilo de montaña en Valle Verde, Jalpan de Serra, Querétaro

J. A. Cruz-Ortiz<sup>1</sup>, A. S. Hernández-Peregrino<sup>1</sup>, D. Pedraza-Islas<sup>1</sup>, P. Rodríguez-Barrera<sup>1</sup>, T. González-Vargas<sup>2</sup>, E. Fuentes-Romero<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Escuela Nacional de Estudios Superiores, Campus Juriquilla, UNAM; <sup>2</sup>UMDI-Facultad de Ciencias, Campus Juriquilla, UNAM

[tania.gv@ciencias.unam.mx](mailto:tania.gv@ciencias.unam.mx)

Los suelos del bosque mesófilo de montaña (BMM), como los que se encuentran en la localidad de Valle Verde, Querétaro, proporcionan numerosos servicios ecosistémicos. El objetivo principal de este trabajo es la caracterización del suelo en un sitio conservado de un BMM en esta localidad. En campo se llevó a cabo la descripción de un perfil de suelo de acuerdo con la “Guía para el muestreo y descripción de perfiles” de la World Reference Base (2022). En el laboratorio de docencia de la UMDI-J, FC se determinó la densidad aparente, humedad, acidez activa y potencial, color en seco y en húmedo, carbono orgánico total y clase textural. Con los datos de estos parámetros y el análisis de los procesos pedogenéticos se llevó a cabo la clasificación taxonómica con la WRB (2022). La descripción en campo y los análisis físicos y químicos del perfil de suelo en Valle Verde revelaron la acumulación de materia orgánica en el horizonte O y A; sin embargo, no se cumplió la formación de un horizonte mólico. Pero, debido a la acumulación de arcillas con respecto a la profundidad y la presencia de revestimientos incipientes, se concluyó que el proceso principal es la argiluvación. Por lo anterior, la clasificación taxonómica de acuerdo con la WRB (2022) corresponde a Chromic Luvisols (Clayic, Humic). Estos suelos debido a sus características lo hacen apto para diversas actividades, pero vulnerables a prácticas inadecuadas como la sobreexplotación ganadera, actividad dominante en la zona. Este estudio resalta la importancia de elaborar pozos pedológicos para caracterizar integralmente al suelo, sobre todo en sitios susceptibles como son los BMM. Lo anterior será de utilidad para crear medidas de conservación de suelo que garanticen su uso sostenible a largo plazo.

# 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](mailto: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/>



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

Universidad Tecnológica  
del Cibao Oriental,  
República Dominicana

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





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