

**ENERO
2022**



MAYA

REVISTA DE GEOCIENCIAS



**NOTAS GEOLÓGICAS
TEMAS DE INTERÉS
PIONEROS DE LAS GEOCIENCIAS**

ENERO
2022



MAYA

REVISTA DE GEOCIENCIAS

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

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

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

La Revista tendrá una publicación mensual, por medio de un archivo PDF, el cual será distribuido por correo electrónico y compartido en las redes sociales. Esta revista digital no tiene fines de lucro. La RMG es internacional y bilingüe. Si desean participar o contribuir con algún manuscrito, por favor comuníquense 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: Bosque Petrificado La Leona, Patagonia Argentina. Fotografía de Claudio Bartolini.

Revista Maya: Revista Maya de Geociencias was originally created with the aim of supporting students and young professionals in the earth sciences, as well as the geoscience communities of the Americas.

The fundamental conception was a magazine that would cover a wide range of earth science themes with a general focus on the western hemisphere for an audience with varied experience in geology and related disciplines. The Magazine is independent and not associated with any geological society or investigative institution, although informal connections have been established with geoscientific associations around the world.

The RMG is prepared by four editors and six collaborators, all volunteers, who are responsible for the compilation, organization and presentation design of the information. It is published monthly with contributions in either Spanish and English.

The Revista is distributed by electronic mail, LinkedIn and Facebook, and plans exist for a webpage where the geoscience community can download the Revista in the future.

The Revista Maya de Geociencias (RMG) includes, among other topics, a section entitled "Geological Notes" wherein manuscripts sent by geoscientists from different parts of the world are published.

With this issue, eight numbers of the Magazine have been distributed and it has achieved wide acceptance by our readers, with a flow of contributions for future issues. Contributions and commentary for the editors are always welcome.

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



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

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

bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu



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



Claudio Bartolini (Ph.D.) is presently a senior exploration advisor at Petroleum Exploration Consultants Americas. He has more than 25 years of experience in both domestic and international mining and petroleum exploration, mainly in the United States and Latin America.

Claudio is an associate editor for the AAPG Bulletin and he has edited several books on the petroleum geology of the Americas. He is a Correspondent member of the Academy of Engineering of Mexico.

bartolini.claudio@gmail.com

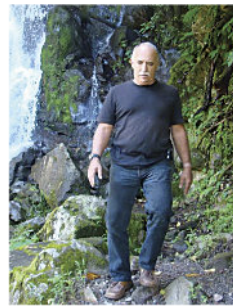
COLABORADORES



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

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

soaortuno@gmail.com



El ingeniero cubano **Humberto Álvarez Sánchez** culmina 54 años como geólogo. Realizó estudios en la Cordillera de Guaniguanico y en su premontaña y en los macizos metamórficos, volcánicos y ofiolíticos de Cuba central. Autor de 18 formaciones y litodemas de la estratigrafía cubana. Descubridor del único depósito industrial de fosforitas marinas de Cuba. Miembro de la subcomisión Jurásico del primer Léxico Estratigráfico de Cuba. Como Country Manager y Senior Geologist de compañías canadienses, panameñas y de Estados Unidos, dirigió exploraciones en complejos del Paleozoico-Mesozoico en tres Estados de

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

geodoxo@gmail.com



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



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

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

poletpinzon@gmail.com



José Antonio Rodríguez Arteaga es un ingeniero geólogo con 31 años de experiencia en investigación de geología de terremotos y riesgo geológico, asociado o no a la sismicidad. Es especialista en sismología histórica e historia de los sismos en Venezuela, recibiendo entrenamiento profesional en Geomática Aplicada a la Zonificación de Riesgos, Bogotá, Colombia. En sus inicios profesionales y por 5 años consecutivos, fue geólogo de campo, trabajando en prospección de yacimientos minerales no- metálicos en la región centro

occidental de Venezuela. Tiene en su haber como autor, coautor o coordinador, tres libros dedicados a la catalogación sismológica del siglo XX, al pensamiento sismológico venezolano y un Atlas geológico de la región central del país, preparado de manera conjunta con la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela. 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.

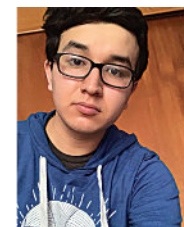
rodriguez.arteaga@gmail.com



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

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

ricardezmedinasaulhumberto@gmail.com



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

Fotografía en el campo, área de Chicontepec, México, 1992.



En cuclillas, de izquierda a derecha: Julio Alejandro², Jon Blickwede¹, Carlos Hernandez Maldonado², and Lou Chaboudy¹.

De pie, de izquierda a derecha: Josh Rosenfeld¹, Rogelio Muñoz Cisneros², Carlos Villegas Carrasco², José Martínez Landín², Gabriel Vázquez Jiménez³, Dionisio Rodríguez Figueroa², Eric Green¹, and Chip Carney¹.

¹Geólogos de AMOCO

² Geólogos de PEMEX

³ Geólogos del IMP



<https://m.youtube.com/watch?v=81r2QCvXfj4>

<https://aimehq.org/what-we-do/awards/aime-honorary-membership/dr-fernando-samaniego-verduzco>

CONTENIDO

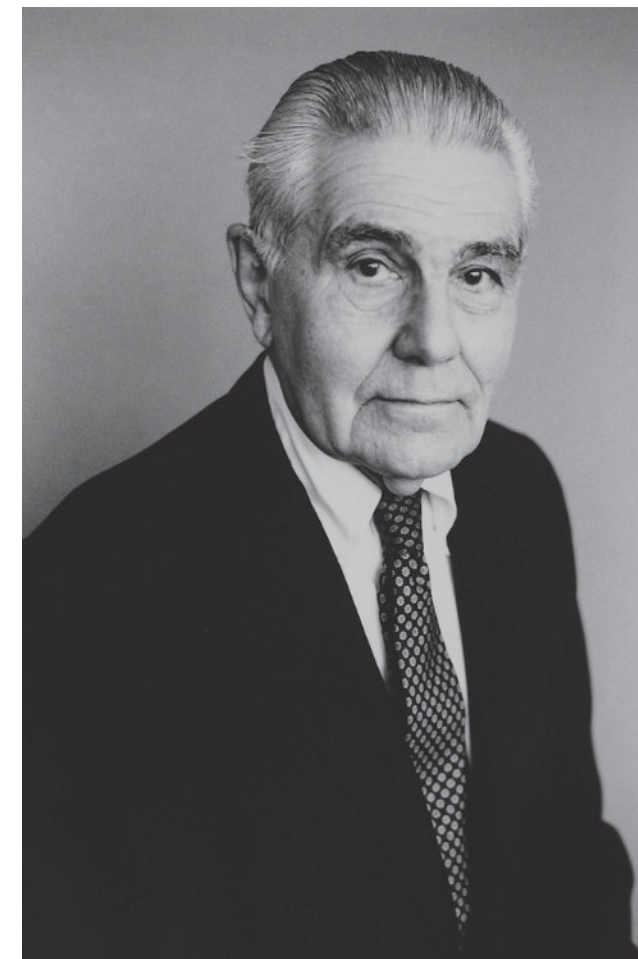
ENERO
2022

Semblanzas.....	9
Pioneros de las Geociencias.....	12
Resúmenes de tesis y publicaciones.....	17
Los libros recomendados.....	24
Temas de interés.....	26
Fotografías de afloramientos/microscopio.....	42
Notas geológicas.....	47
Misceláneos	
La casa de las cavernas.....	80
Caverna del arte.....	81
Los misterios de las rocas Zen.....	82
Glosario de términos geológicos.....	83
Asociaciones geológicas hermanas.....	84

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/>

SEMBLANZAS

Dedication: Amos Salvador (1923–2007)



Born in Madrid, Spain, in 1923, Amos spent part of his youth in Havana, Cuba, where his father was stationed at the Spanish Embassy during the period of the Second Spanish Republic. When the Republic fell to Franco's Nationalists, his family moved to Venezuela, where he earned his B.S. in geology from the Universidad Central de Venezuela in 1945. One of his earliest high school friends in Caracas was Georges Pardo, who later went on to work for Gulf Oil and published his lifelong work on the geology of Cuba in an AAPG Studies in Geology volume in 2008.

Amos was first employed by Mene Grande Oil Company, a Venezuelan subsidiary of Gulf Oil, where he had the good fortune to be mentored by Hollis D. Hedberg, the famous Gulf Oil exploration geologist who later taught at Princeton University. Hedberg advised him to earn his Ph.D. from Stanford University, which he duly completed in 1950. He married Lynn Sherwood, a native of Kansas who also graduated that year from Stanford. A Spanish major and fluent Spanish speaker Lynn quickly adapted to her new in-laws and surroundings in Venezuela. A varsity soccer player at Stanford, Amos remained a lifelong fan and contributor to the soccer program at Stanford. He recalled when a team member called him to solicit one dollar for each goal scored in a marathon shooting session. He said, fine, how many goals have you scored and laughed when the team member replied more than 3000.

Amos recounted to Paul Mann his memory of working on geologic maps in the evening by the light of kerosene lanterns in temporary oil camps in remote areas of eastern Venezuela. Company geologists would gather in the presence of Hollis Hedberg around a large table in a central tent walled by mosquito netting and contribute to the evolving surface geologic map and serial cross-sections. In a way reminiscent of surgeons surrounding the patient on an operating table, all would don clean white gloves to avoid smudging the painstakingly handdrawn geologic map with their sweaty hands.

From 1950 to 1955, Amos worked for Gulf Oil out of their New York office as a regional and surface geologist and performed extensive fieldwork in North Africa, Europe, and South America. He left to work for Creole Petroleum Corporation, an affiliate of Esso (now ExxonMobil) in Venezuela, and from then until 1980 worked for several Esso affiliates before retiring after nine years as chief geologist of Exxon Company, U.S.A.

Amos and Lynn moved to Austin in 1980 when he accepted a faculty position as the first Alexander Deussen Professor of Energy Resources in the Department of Geological Sciences, University of Texas at Austin. The Geology Foundation recognized Salvador's dedication to teaching by awarding him the Houston Oil & Minerals Corporation Faculty Excellence Award in 1988. In 1990, he was appointed the Morgan J. Davis Professor of Petroleum Geology.

This dedication was slightly modified by Paul Mann from one originally prepared for the general faculty of the University of Texas by William Fisher, Mark Cloos, and William Muehlberger submitted on March 6, 2008.

Amos Salvador, professor emeritus in the Department of Geological Sciences, Jackson School of Geosciences at The University of Texas at Austin, long known for his contributions to stratigraphic classification, geology and resources of the Gulf of Mexico and Caribbean basins and most recently for a book on the future of energy resources died December 2, 2007, of complications from pneumonia while battling a malignant brain tumor. He was 84.

0264-8172/S – see front matter 2010 Elsevier Ltd. All rights reserved.
doi:10.1016/j.marpetgeo.2010.05.005

Amos was a careful and organized teacher who would write out by hand his lectures on sheets of paper to insure he was fully prepared for each class. He retired from formal teaching in 1993.

Amos Salvador's remarkably long and productive career included a 35-year career as a geologist in the petroleum industry followed by 27 years as a distinguished member of the faculty at Texas. His positive outlook on science and people inspired all who knew him. He mentored many geology graduate students while at the University of Texas, with a special fondness for those from Latin America who visited his office regularly. He provided wise counsel that helped them achieve success in the profession and life in general. He taught the principles of stratigraphy to every undergraduate major for more than a decade. At the graduate level, he supervised the completion of nine masters theses and four dissertations. Many of these students went on to become leaders of the oil industry when they returned to their respective countries. As many of his graduate students were international students with English as their second language, he devoted immense amounts of time helping them improve their mastery of scientific writing in English.

Before becoming a faculty member, Amos had a long record of publication, presentations at international meetings, and professional service. He published several articles and three guidebooks concerning the geology of Venezuela and the Gulf of Mexico that focused on regional stratigraphy and petroleum geology (Salvador, 1963; Salvador and Hotz, 1964; Salvador, 1975; Salvador and Buffler, 1982). An early seminal paper by Salvador and Stainforth (1965) on a theme that this special issue of Marine and Petroleum Geology promotes was called: "Clues in Venezuela to the geology of Trinidad, and vice versa", characterized by carefully drawn maps of structures mapped mainly from surface mapping, rudimentary seismic reflection profiling, and drilling. Up to this time, geologic studies were confined to one country or the other but made no effort at attempting a more regional scale of geologic integration that would span political boundaries. Rodulfo Prieto, a 1987 Ph.D. graduate from UT Austin, states that "highly creative and innovative thinking" by Amos Salvador in the late 1950s about the Eocene geology of Venezuela was rediscovered in the 1980s. This different paradigm helped pave the way for the discovery of the El Furrial Field in 1986, the largest oil discovery in Latin America in the previous 25 years and what later proved to be the cornerstone in a group of giant oil fields in eastern Venezuela described in this volume using subsurface data (Duerto et al., Salazar and Moscardelli, Parra et al., this issue).

Throughout his career, Amos along with many other leading geologists of the time remained skeptical of large-scale displacements in the Caribbean plate as predicted by plate tectonic models that became more widespread in the 1970s and 1980s. His fixist views were reinforced during his years working with Exxon on the Gulf of Mexico and Caribbean and were expressed in a review paper published with fellow Exxon geologist Art Green in 1980 called: "Opening of the Caribbean Tethys". In this paper they engaged in thinking of the common evolutionary links shared between the Gulf of Mexico and Caribbean. In the 1980s and 1990s this regional tectonic approach would become widely accepted.

In 1986, Amos (1986) sparred in a reply and discussion in the journal *Tectonics* with John Dewey and Jim Pindell over the total offset of the right-lateral Bocono strike-slip fault of Venezuela. Using stratigraphic data from the Merida arch, that intersects the Bocono fault and Merida Andes at right angles and that he mapped in the 1950s while with Mene Grande Oil Company, Salvador argued that the offset on the fault was much less than the hundreds of kilometers predicted in the discussion by (Dewey and Pindell, 1985).

Amos was a member of the International Union of Geological Sciences Commission on Stratigraphy from 1952 until his death. He was elected and re-elected chairman of the Subcommittee on Stratigraphic Classification serving from 1976 to 1992 (Salvador, 1985). His profound interest in stratigraphy dates back to his experience as a young petroleum geologist who had to ride mules to access surface outcrops in remote parts of eastern Venezuela. As a faculty member at the University of Texas he taught a stratigraphy course to undergraduates that stressed the fundamental principles he felt that were being shortchanged in a changing educational scene.

After becoming a faculty member at Texas, Salvador embraced a wide range of academic endeavors. He was a distinguished lecturer for the American Association of Petroleum Geologists during 1980–1981. That lecture tour was the topic of what became a highly cited 1987 paper: "Late Triassic–Jurassic paleogeography and origin of the Gulf of Mexico Basin (Salvador, 1987)." He served six years as an associate editor of the Geological Society of America Bulletin and guided numerous papers to publication. A remarkable accomplishment was organizing a major volume for the Geological Society of America's Decade of North American Geology Series (DNAG). Salvador not only edited the 568-page, 18-chapter volume on "The Gulf of Mexico Basin," but he also wrote two of the chapters and co-authored two others (Salvador, 1991a, b, c). This 1991 volume was one of the very best sellers of the 16-part DNAG series and is still widely marketed by GSA both in hard copy and on CD as no other publication has emulated its level of systematic coverage and detail for the stratigraphy of the Gulf of Mexico and surrounding areas. Not only was the geologic coverage about the Gulf all-encompassing, but it was noted for the uniformly-high quality illustrations and six large wall maps with cross-sections that were published in a separate slipcase. Of particular value was his thorough review of the geology of Mexico described mainly in Spanish language papers that were difficult to access outside of Mexico. This new regional framework allowed Mexican geology to be related to the offshore geology of the Gulf of Mexico. Amos was pleased that he was able to raise funding from industry to enable redrafting where needed and to assure publication of many high-quality, colored maps that appear as both figures in the chapters and as folded map enclosures in a map slipcase. This DNAG Gulf of Mexico is considered a benchmark contribution from which all other works on the Gulf of Mexico basin will forever build. Amos was always deeply grateful and appreciative of the excellent skills of the University of Texas and GSA publication staff that helped him produce this publication and other documents over the years.

After retiring from teaching at UT in 1993, Amos continued to work on matters concerning stratigraphic classification and began intensive research on estimating consumption and possible sources of energy in the 21st century. He strongly believed that stratigraphy is a fundamental element of geology and that growing neglect of the principles disturbed him. He also had an abiding concern for the growing demand on Earth resources by its expanding population.

Amos's work in stratigraphy culminated in his editorship of the widely-used Second Edition of the International Stratigraphic Guide that was published in 1994 (Salvador, 1994). He co-authored an abridged version that was distributed in 1999. A reviewer of the Guide described it as a "fundamental text" for all engaged in the description, mapping, and analysis of strata.

On the matter of stratigraphy, Amos made it a mission to protest efforts to eliminate the Tertiary and Quaternary periods from official classifications of the geologic time scale. The Tertiary and Quaternary have long been accepted as periods within the present geologic era of the Cenozoic. In 2000, the International Commission

on Stratigraphy published a time scale in which the term Tertiary was eliminated. In 2004, they eliminated the term Quaternary as well. For Amos this was such folly that he was provoked to write a paper published in 2006 titled, "The Tertiary and the Quaternary are here to stay" in which he clearly presented the historical and logical reasons to maintain these subdivisions of geologic time (Salvador, 2006).

Upon retirement from teaching, Amos stated he would now have time to pursue interests related to the world's energy supply and how this supply could affect the future of mankind. He stated to Paul Mann that his goal was to make as accurate assessment as possible of the facts surrounding all the various energy types including oil, natural gas, coal, etc., and put this information into a single volume that would be accessible to everyone interested in this complex topic. To do this, he tirelessly pursued information from various governmental and private agencies to insure that his data was derived from primary sources. His multi-year, comprehensive and single-handed research culminated in the 2005 book, *Energy: A Historical Perspective and 21st Century Forecast* (Salvador, 2005). The American Association of Petroleum Geologists (AAPG) honored this publication with the 2006 Robert H. Dott Sr. Memorial Award. This award is presented to the author or editor of the best special publication that was published by AAPG in the previous year. A major part of this effort involved compiling data from various governmental and open access sources which he was able to access through the internet or by directly contacting the individuals producing the data.

Salvador maintained not just academic rigor until the day in early August, 2007, when the symptoms of brain cancer first appeared, but his extraordinary physical condition as well. He retained the physique of his soccer playing days at Stanford. Well into his seventies, he jogged and walked several miles most evenings around the steep hills of his Texas Hill Country neighborhood in northwest Austin. He was a field geologist who remained capable of extended fieldwork until the very end.

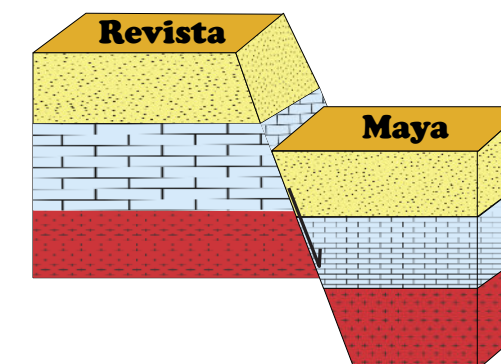
Amos Salvador, a gentleman-scientist, is survived by Lynn, his wife of 57 years; his children, Phillip, Michael, and Rosario; and his grandchildren, Solomon, Leo, Claire, Lucas, and Carla. He will be missed by a worldwide legion of relatives, former students, and friends of all generations.

References

- Dewey, J., Pindell, J., 1985. Neogene block tectonics of Eastern Turkey and Northern South America: continental applications of the finite difference method [preview]. *Tectonics* 4 (1). doi:10.1029/TC004i001p00071.
- Salvador, A., Hotz, E.E., 1963. Petroleum occurrence in the Cretaceous of Venezuela. In: Proceedings of the VI World Petroleum Congress, Section 1, pp. 115–140.
- Salvador, A., 1964. Proposed simplification of the stratigraphic nomenclature in eastern Venezuela. *Boletín Informativo* (published by: Venezuelan Association of Mining and Petroleum Geologists) 7 (6), 153–202.
- Salvador, A., Stainforth, R.M., 1965. Clues in Venezuela to the Geology of Trinidad and vice versa. In: Proceeding of the 4th Caribbean Geological Congress, pp. 31–40.
- Salvador, A., 1975. Venezuela. In: Fairbridge, R.W. (Ed.), *Encyclopedia of World Regional Geology. Part 1: Western Hemisphere*, pp. 649–654.
- Salvador, A., Buffler, R.T., 1982. The Gulf of Mexico Basin: in Perspectives in Regional Geological Synthesis. In: Geological Society of America, Decade of North American Geology (DNAG), Special Publication No. 1, pp. 157–162.
- Salvador, A., 1985. Chronostratigraphic and geochronometric scales in COSUNA Stratigraphic Correlation Charts of the United States. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 69, 181–189.
- Salvador, A., 1986. Comments on "Neogene block tectonics of eastern Turkey and northern South America: continental applications of the finite difference method" by J. F. Dewey and J. L. Pindell. *Tectonics* 5 (4), 697–701.
- Salvador, A., 1987. Late Triassic–Jurassic paleogeography and origin of Gulf of Mexico Basin. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 71, 419–451.
- Salvador, A. (Ed.), 1991a. The Gulf of Mexico Basin. *The Geology of North America*, vol. J, 568 p.
- Salvador, A., 1991b. Triassic–Jurassic. In: Salvador, A. (Ed.), *The Gulf of Mexico Basin. The Geology of North America*, vol. J, pp. 131–180.
- Salvador, A., 1991c. Origin and development of the Gulf of Mexico basin. In: Salvador, A. (Ed.), *The Gulf of Mexico Basin. The Geology of North America*, vol. J, pp. 389–444.
- Salvador, A., 1994. In: International Stratigraphic Guide, second ed., A Guide to Stratigraphic Classification, Terminology and Procedure. International Union of Geological Sciences, International Subcommittee on Stratigraphic Classification, Trondheim, Norway International Union of Geological Sciences, Boulder, Colorado Geological Society of America.
- Salvador, A., 2005. Energy: A Historical Perspective and 21st Century Forecast. In: The American Association of Petroleum Geologists. *Studies in Geology*, vol. 53, 208 pp.
- Salvador, A., 2006. The Tertiary and the Quaternary are here to stay. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 90, 21–30.

Paul Mann
University of Texas at Austin,
Institute for Geophysics, Jackson School of Geosciences,
10100 Burnet Road, Building 196,
Austin, Texas 78758-4445, USA
Fax: 512 471 8844.
E-mail address: paulm@utig.utexas.edu.

13 May 2010
Available online 19 May 2010



PIONEROS DE LAS GEOCIENCIAS

Willard Frank Libby: (1908 - 1980)

Willard Frank Libby, (born Dec. 17, 1908, Grand Valley, Colo., U.S.—died Sept. 8, 1980, Los Angeles, Calif.), American chemist whose technique of carbon-14 (or radiocarbon) dating provided an extremely valuable tool for archaeologists, anthropologists, and earth scientists. For this development he was honoured with the Nobel Prize for Chemistry in 1960.

Libby, the son of farmer Ora Edward Libby and his wife, Eva May (née Rivers), attended the University of California at Berkeley, where he received a bachelor's degree (1931) and a doctorate (1933). After graduation, he joined the faculty at Berkeley, where he rose through the ranks from instructor (1933) to assistant professor (1938) to associate professor (1945). In 1940 he married Leonor Hickey, by whom he had twin daughters. In 1966 he was divorced and married Leona Woods Marshall, a staff member at the RAND Corporation of Santa Monica, California.

In 1941 Libby received a Guggenheim fellowship to work at Princeton University in New Jersey, but his work was interrupted by the entry of the United States into World War II. He was sent on leave to the Columbia War Research Division of Columbia University in New York City, where he worked with Nobel chemistry laureate Harold C. Urey until 1945. Libby became professor of chemistry at the Institute for Nuclear Studies (now the Enrico Fermi Institute for Nuclear Studies) and the department of chemistry at the University of Chicago (1945–59). He was appointed by Pres. Dwight D. Eisenhower to the U.S. Atomic Energy Commission (1955–59). From 1959 Libby was a professor of chemistry at the University of California, Los Angeles, and director of its Institute of Geophysics and Planetary Physics (from 1962) until his death. He was the recipient of numerous honours, awards, and honorary degrees.

During the late 1950s, Libby and physicist Edward Teller, both committed to the Cold War and both prominent advocates of nuclear weapons testing, opposed Nobel



chemistry and peace laureate Linus Pauling's petition for a ban on nuclear weapons. To prove the survivability of nuclear war, Libby built a fallout shelter at his house, an event that was widely publicized. The shelter and house burned down several weeks later, however, which caused physicist and nuclear testing critic Leo Szilard to joke, "This proves not only that there is a God but that he has a sense of humor."

While associated with the Manhattan Project (1941–45), Libby helped develop a method for separating uranium isotopes by gaseous diffusion, an essential step in the creation of the atomic bomb. In 1946 he showed that cosmic rays in the upper atmosphere produce traces of tritium, the heaviest isotope of hydrogen, which can be used as a tracer for atmospheric water. By measuring tritium concentrations, he developed a method for dating well water and wine, as well as for measuring circulation patterns of water and the mixing of ocean waters.

Because it had been known since 1939 that cosmic rays create showers of neutrons on striking atoms in the atmosphere, and because the atmosphere contains about 78 percent nitrogen, which absorbs neutrons to decay into

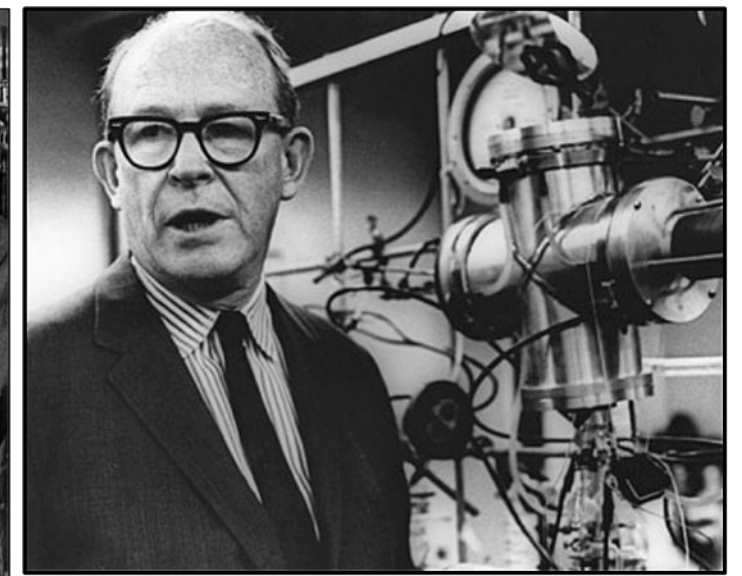
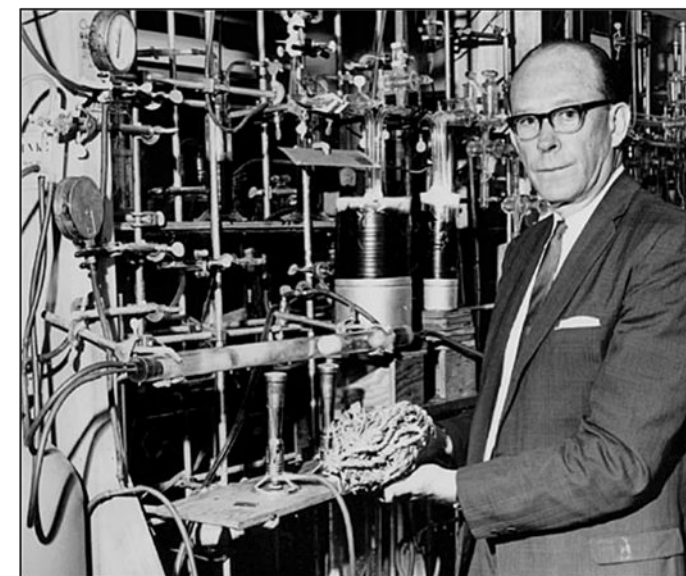
the radioactive isotope carbon-14, Libby concluded that traces of carbon-14 should always exist in atmospheric carbon dioxide. Also, because carbon dioxide is continuously absorbed by plants and becomes part of their tissues, plants should contain traces of carbon-14. Since animals consume plants, animals should likewise contain traces of carbon-14. After a plant or other organism dies, no additional carbon-14 should be incorporated into its tissues, while that which is already present should decay at a constant rate. The half-life of carbon-14 was determined by its codiscoverer, chemist Martin D. Kamen, to be 5,730 years, which, compared with the age of the Earth, is a short time but one long enough for the production and decay of carbon-14 to reach equilibrium. In his Nobel presentation speech, Swedish chemist Arne Westgren summarized Libby's method: "Because the activity of the carbon atoms decreases at a known rate, it should be possible, by measuring the remaining activity, to determine the time elapsed since death, if this occurred during the period between approximately 500 and 30,000 years ago."

Libby verified the accuracy of his method by applying it to samples of fir and redwood trees whose ages had already

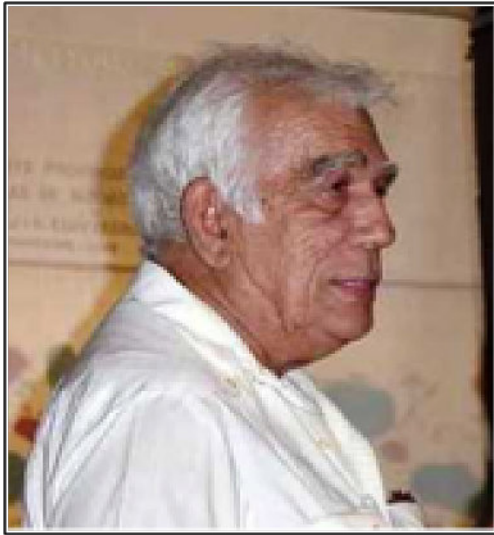
been found by counting their annual rings and to artifacts, such as wood from the funerary boat of Pharaoh Sesostris III, whose ages were already known. By measuring the radioactivity of plant and animal material obtained globally from the North Pole to the South Pole, he showed that the carbon-14 produced by cosmic-ray bombardment varied little with latitude. On March 4, 1947, Libby and his students obtained the first age determination using the carbon-14 dating technique. He also dated linen wrappings from the Dead Sea Scrolls, bread from Pompeii buried in the eruption of Vesuvius (AD 79), charcoal from a Stonehenge campsite, and corncobs from a New Mexico cave, and he showed that the last North American ice age ended about 10,000 years ago, not 25,000 years ago as previously believed by geologists. The most publicized and controversial case of radiocarbon dating is probably that of the Shroud of Turin, which believers claim once covered the body of Jesus Christ but which Libby's method applied by others shows to be from a period between 1260 and 1390. In nominating Libby for the Nobel Prize, one scientist stated, "Seldom has a single discovery in chemistry had such an impact on the thinking in so many fields of human endeavour. Seldom has a single discovery generated such wide public interest."

Source: <https://www.britannica.com/biography/Willard-Libby>

The Noble Prize: <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1960/libby/biographical/>



Ing. Gustavo Echevarría Rodríguez



Por Rolando García Sánchez
Universidad Tecnológica de La Habana, CUJAE, Cuba

El Ingeniero Gustavo Echevarría Rodríguez en Cuba es considerado el pionero de la Geología Petrolera en la isla de Cuba, a quien se le adjudican los principales descubrimientos del servicio geológico cubano en la década de los 70 del pasado siglo, algunos de los cuales hoy mantienen altas producciones de crudo.

Nació el 27 de octubre de 1934 en el poblado de Manajanabo, al este de la ciudad de Santa Clara, capital de la entonces central provincia de Las Villas, gracias a la cercanía de su pueblo natal a la capital provincial le fue relativamente fácil cursar sus estudios en la escuela primaria, superior y por último el instituto de segunda enseñanza, donde a pesar de las dificultades económicas del momento se gradúa de Bachiller en Ciencias,

Por azar del destino, fue la lectura de un libro de texto de *Geografía de Cuba*, lo que fascina las inquietudes de este joven por conocer las potencialidades de los recursos minerales de la Isla, de tal manera que despierta el interés por las ciencias que estudiaban estos fenómenos, y como en ese entonces estos estudios no existían en nuestro país, su afán por la geología le impulsan a gestionar una visa de estudiante para viajar a la Universidad Estatal de Luisiana, y que gracias a su padre, hombre de campo quien no quiso truncar este sueño, hizo lo indecible para lograr una suma aceptable que permitiera a su hijo de 18 años pudiera estudiar.

Así en septiembre del año 1953 viaja a Baton Rouge, en el estado de Luisiana, para matricularse en la Universidad Estatal de Luisiana, universidad conocida

como LSU. En Baton Rouge, Gustavo primero asistió a la Academia «Spencer Bussines College». Un mes después se matriculó en el campus principal de LSU para estudiar Geología.

La experiencia fue enriquecedora, pero a la vez difícil. Desde que llegó a la universidad, Gustavo trabajó esporádicamente para pagar su sustento, comprar libros, ropa, etc. En 1954 consiguió un buen trabajo en una Empresa Constructora. Su tenacidad permite terminar los estudios y en agosto de 1959 Louisiana State University le confirió el grado de *Bachelor of Science in Geology*.

Y a pesar de haber tenido la oportunidad de quedarse trabajando en el Departamento de Carreteras del estado de Luisiana, donde hacía tiempo había logrado conseguir un trabajo muy bien remunerado, Gustavo con el diploma en mano, optó por regresar a Cuba. El amor a su madre a sus familiares y el arraigo al terruño que lo vio nacer eran muy fuertes.

En Cuba se inició trabajando en exploración para localizar depósitos de cobre y de hierro. Meses después dio el giro adecuado hacía el mundo petrolero, ya que en esa época la actividad petrolera en Cuba comenzaba a realizarse por el recién creado Instituto Cubano del Petróleo (ICP), donde un grupo de geólogos y geofísicos argentinos procedentes de Yacimientos Petrolíferos Fiscales, realizaban estos trabajos, a la par de compartir experiencias y preparaban al personal cubano, entre los que se encontraba el recién llegado ingeniero Echevarría, convirtiéndose así en el primer geólogo petrolero cubano que integraba el servicio geológico del país. Este grupo realizó un gran trabajo de generalización de la información de exploración de los 50 años precedentes, lo que permite encaminar las primeras perforaciones en el año 1960, principalmente en áreas cercanas a la Habana

Pero en el año 1961, los especialistas argentinos por temor a la situación política del momento se marcharon, por lo que el ingeniero Gustavo Echevarría es designado director de Exploración Nacional. A finales de este mismo año por indicaciones del gobierno, la actividad de exploración petrolera que realizaba el ICP se unió a la exploración minera que realizaba el Instituto Cubano de la Minería en una nueva institución, el Instituto Cubano de Recursos Minerales (ICRM), donde se ratifica la responsabilidad a Gustavo Echevarría como director técnico para la exploración petrolera en el país, quien durante el periodo entre 1961 a 1975 supo exitosamente no solo llevar esa labor, sino también lograr exitosos descubrimientos en varias provincias del país.

La necesidad de formar personal capacitado era inminente, por lo que el Ing. Echevarría en 1962, enfrenta la noble tarea de crear, la primera escuela para la formación de geólogos en la Facultad de Ciencias de la Universidad de La Habana, donde además de ser su director impartió las disciplinas de Geología General, Geología de Cuba y Fotogeología. Ya en el año 1966 esta escuela rendía sus primeros resultados, graduando los primeros 26 geólogos formados en el país. De igual manera se creó en La Habana una escuela para preparar técnicos medios en geología, otra para mineros en el poblado el Cobre en Santiago de Cuba y otra en Ciego de Ávila, (parte central de la isla), para las actividades relacionadas con el petróleo.

Pero sus méritos en la docencia van más allá del esfuerzo fundacional. Renunció al cobro de su salario como profesor en ese centro docente durante doce años, donde además continuaba impartiendo otras asignaturas. Por decisiones del gobierno La Escuela de Geología es trasladada para Santiago de Cuba, pero Echevarría continuó en La Habana impartiendo clases en la Escuela de Geografía, también sin cobrar un centavo. La dedicación a la docencia como parte de su vida le lleva a impartir en diferentes momentos cursos en la Escuela de Geofísica del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría en La Habana, así como en la Universidad de Pinar del Río, en el Instituto Minero Metalúrgico de Moa, en el Instituto Superior Pedagógico Enrique José Varona, y en el Politécnico del Petróleo de Cupet. Ha sido tutor de innumerables tesis de grado de estudiantes cubanos o extranjeros y dictado conferencias en cursos de postgrado. Echevarría es Profesor Titular de todas estas Universidades. En el año 2008 el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa le entregó el Título de Dr. Honoris Causa por sus enormes aportes a la ciencia y la enseñanza. Es por la ininterrumpida actividad de Echevarría en el desarrollo del personal para la geología petrolera en Cuba, actividad que suma 50 años de trabajo, que nosotros de manera muy respetuosa le llamamos, el Decano de los Petroleros Cubanos.

Las tareas del Gustavo Echevarría al frente del Departamento de Exploración en medio de las dificultades creadas por la carencia de materiales y piezas de repuesto fue una enorme responsabilidad para un joven geólogo. Pero desde su comienzo supo sintetizar la experiencia exploratoria acumulada en casi cien años de los geólogos norteamericanos, los valiosos aportes al desarrollo de la actividad petrolera hechos por los latinoamericanos y los nuevos puntos de vista que traían los geólogos soviéticos que comenzaron a llegar desde el año 1960, Así este hombre con la forma de ser que lo caracteriza: sencillo, sin protagonismo, humano y amigo, cualidades estas que hasta el día de hoy lo destacan, supo dirigir la exploración en el país, obteniendo éxitos no vistos en el territorio nacional hasta ese momento, hay que resaltar

descubrimientos bajo su dirección, como el campo Varadero en 1972, hoy aún es productor

Transcurría el año 1960 cuando arriba a Cuba la primera comisión de expertos petroleros de la antigua Unión Soviética para la cooperación intergubernamental en la esfera de la exploración geológica. Uno de los primeros pasos fueron los trabajos geofísicos regionales a lo largo de la costa noroccidental.

Para esta época los descubrimientos obtenidos en las serpentinitas y los volcánicos fracturados eran los mejores objetivos, pero los resultados en la interpretación de los materiales obtenidos en los perfiles regionales, conllevan a un plan para la perforación de búsqueda a lo largo de toda la costa norte de las entonces provincias Habana y Matanzas, lográndose resultados positivos desde fines de la década de 1960 e inicios de la del 70, yacimientos que hoy día se mantienen con producción en las rocas del Margen Continental Norteamericano.

A pesar de sus grandes responsabilidades y dificultades en la ejecución de las operaciones limitadas por la situación económica del país, Echevarría nunca desatendió la investigación científica y la publicación en las revistas-especializadas, participando inclusive en la fundación de algunas de alcance nacional, entre ellas la *Revista Tecnológica*.

A partir de 1979, Echevarría comenzó a trabajar en la síntesis de la historia de la exploración y la producción de petróleo en Cuba y en este sentido concluye dos voluminosos artículos, uno en 1983 y otro en 1986, en el boletín *Sociedad Cubana de Geología*. Estos últimos se centraron en el desarrollo del conocimiento histórico de la geología petrolera y de los minerales sólidos en su conjunto.

Las investigaciones emprendidas por Echevarría en el Centro de Investigaciones y Desarrollo del Petróleo, en los años ochenta y luego en el Centro de Investigaciones del Petróleo desde principios de los noventa, llevan al descubrimiento del yacimiento Pina, en rocas volcánicas. Igualmente Gustavo fue el líder de un grupo multidisciplinario que trató de establecer las claves para el descubrimiento de nuevos yacimientos en las secuencias ofiolíticas como la vía para obtener producción rápida y barata de hidrocarburos ligeros

Su vida científica fue muy prolífera, resultados que abarcan tanto trabajos publicados en revistas internacionales (*Revista Neft y Gaz de la Unión Soviética*; *Journal of Petroleum Geology* y la cubana *Revista Tecnológica*) así como por su participación en Congresos Geológicos, tanto nacionales como internacionales y Jornadas Científicas organizadas en el Centro de Investigaciones del Petróleo cada dos años.

Desde los años noventa Gustavo dirigió y participó en decenas de proyectos de investigación en empresas petroleras foráneas que firmaron contratos de asociación con Cupet, en muchas de las cuales sus aportes fueron decisivos en la toma de las mejores decisiones. Empresas como Sherritt, Peberco de Canadá, Total de Francia, Premier de Inglaterra y otras siempre buscaron a Echevarría por el mejor consejo. De esta manera fue asesor de exploración y geólogo de las compañías canadienses McDonald Mines (en oro) y McDonald Oil en los bloques exploratorios del este de Cuba en los años 1994-97, ambas con sede en Toronto. Más tarde desde 1998 al 2000 fungió como asesor de exploración y geólogo de la compañía canadiense Alturas Resources Inc, en los bloques de las cuencas interiores occidentales de Cuba.

Entre sus publicaciones o informe inéditos entre otros se pueden citar: Libro de texto Métodos para la búsqueda y exploración (Editora Pueblo La Habana) en 1967; La perforación de los pozos profundos Francés 5 y Fragoso 1, Rev. Tecnológica, 5 La Habana, 1967. La exploración y explotación del petróleo en Cuba. Actividad geológica y minera antes y después del triunfo de la Revolución (Segunda Parte), «Sociedad Cubana de Geología», vol. II, en 1985; Oil and Gas Exploration in Cuba, en «Journal of Petroleum Geology», vol. 14 (3), 1991. Evaluación del Potencial de Exploración de los Horizontes Profundos en los yacimientos Cantel y Varadero, inédito archivo del Centro de Investigaciones del Petróleo La Habana, 1994.

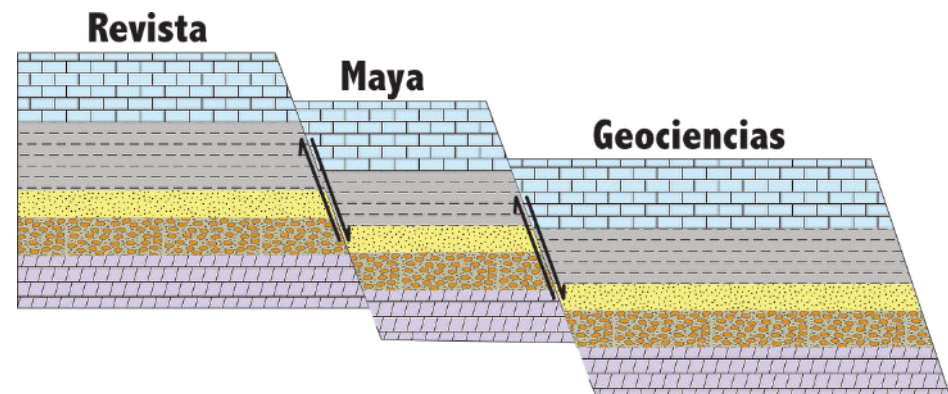
En el año 1993 participa en la Convención de la American Association of Petroleum Geologists para América Latina. y

más tarde, en 1996, vuelve a Venezuela a participar en el Congreso Petrolero,

Es miembro de instituciones científicas como la Asociación Americana de Geólogos Petroleros y la Asociación Canadiense de Geólogos del Petróleo. Miembro Fundador de la Sociedad Cubana de Geología. En el III Congreso Cubano de Geología y Minería (GEOMIN '98), Gustavo recibió la condición de Miembro Emérito de esta institución por su aporte a la actividad geólogo-petrolera del país

Ha sido merecedor de numerosas órdenes y reconocimientos entre ellas la Compañía petrolera canadiense Sherritt International con la entrega de la placa conmemorativa por los cien millones de barriles de petróleo extraídos desde mayo 1992 a marzo de 2005, ordenes nacionales del Sindicato Minero Metalúrgico y la orden Carlos J. Finlay por su labor científica. En el año 2006 le fue entregado el título de Profesor Honoris Causa del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa y en octubre del 2009 la distinción Por la Obra de Toda la Vida, otorgada por la dirección de Cupet organizado por el Politécnico del Petróleo Ministerio de Energía y Minas y la Filial Provincial La Habana de la Sociedad Cubana de Geología.

Hoy día, disfrutando de su merecida jubilación, cuando ya cuenta con 87 años, Gustavo Echevarría, el decano de los petroleros cubanos, es frecuentemente visitado por muchos de los especialistas dedicados a la exploración, en búsqueda de sus valiosos consejos.



PUBLICACIONES

TESIS & RESÚMENES

Francisco Omail Fernández Maya

Modelo Tridimensional De La Caldera De Los Humeros; Implicaciones Geológicas y Geotérmicas

Universidad Nacional Autónoma de México

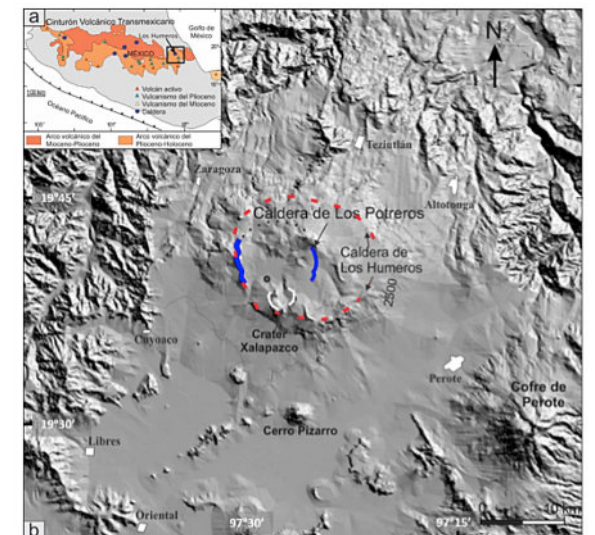
Tesis para optar por el grado de Maestro en Ciencias de la Tierra. Enero de 2021

Asesor: **Dr. Gerardo Carrasco Núñez**, Centro De Geociencias, UNAM

Resumen

El Complejo Volcánico de Los Humeros (CVLH) está ubicado en el límite oriental del Cinturón Volcánico Transmexicano y aloja un reservorio geotérmico actualmente en explotación. Previo a la formación del CVLH, existió un periodo de intensa actividad efusiva (1.55 a 11 Ma), seguida por un periodo de formación de domos riolíticos pre-caldéricos (220 a 693 ka) que antecedió al vulcanismo explosivo asociado a la formación de un sistema de calderas anidadas durante el Pleistoceno, conocido como etapa caldérica (69 a 164 ka). Por último, un periodo de actividad volcánica que va desde hace aproximadamente 50 ka hasta el Holoceno, el cual incluye una fase de resurgencia en el centro de la caldera y una fase de vulcanismo explosivo y efusivo de tipo anular y composición bimodal (grupo post-caldérico). En el presente trabajo se realizó una recopilación y análisis de los estudios geológicos, geofísicos y geotérmicos más relevantes realizados en la Caldera de Los Humeros, que sirvieron de base para construir un modelo tridimensional (3D), a partir del uso del software de modelado Leapfrog Geo (licencia académica). Los resultados incluyen la modelación tridimensional de las unidades geológicas, las principales fallas, isotermas, zonas de permeabilidad. Además, se integraron datos como la distribución de la sismicidad, zonas de atenuación sísmica, zonas de fracturamiento, así como la visualización en 3D de mapas geológicos y geofísicos (mapas de anomalías magnéticas y anomalías de Bouguer), mapas de producción de vapor, perfiles magnetotelúricos, entre otros estudios. Con este modelo 3D se puede visualizar el yacimiento localizado a menos de 2,500 metros de profundidad en rocas del grupo pre-caldérico, en su mayoría lavas andesíticas que presentan un moderado fracturamiento y microporosidades. Las isotermas están controladas directamente por las principales estructuras que se presentan dentro de la caldera. La capa sello está integrada parcialmente por la Ignimbrita Xáltipan dentro de la caldera cuyas litofacies presentan una distribución heterogénea que ocasiona variaciones en la permeabilidad. Las zonas de atenuación sísmica se correlacionan en su mayoría con zonas muy permeables y de poca producción de vapor. Parte de la sismicidad localizada al norte del campo geotérmico podría estar relacionada a los pozos inyectoros H-29 y H-38 debido a la cercanía de los sismos, aunque no se descarta la posibilidad que pudiera asociarse a procesos de resurgencia reciente a causada de vulcanismo silíceo reportado en el Holoceno tardío. A partir de las correlaciones se proponen varias zonas de interés con posible potencial geotérmico.

Figura 1.1. Localización de la Caldera de los Humeros. A) Ubicación de la Caldera de los Humeros en el Cinturón Volcánico TransMexicano. B) Modelo de elevación digital (DEM) de las principales estructuras del Campo Volcánico de los Humeros (límite de la Caldera de Los Humeros, línea roja punteada; y el límite de la Caldera de Los Potreros, línea azul). Figura modificada de Carrasco-Nuñez et al. (2017a).



Desarrollo de un sistema aeromagnético con drones para exploración geofísica con aplicación en Maar de Rincón de Parangueo y Caldera Los Humeros

Universidad Nacional Autónoma de México. Maestría en Ciencias de la Tierra (Exploración Geofísica). 2021

Sustentante: **Andrés Arzate Monterrubio**

Tutor: *Dr. Fernando Corbo Camargo*

Resumen

En esta investigación se desarrolló un sistema de exploración aeromagnética, utilizando magnetómetros tipo fluxgate que fueron especialmente diseñados para ser transportados por un dron y utilizados en modo de adquisición continua. Este magnetómetro, modelo LEMI-026, se diseñó a partir de un convenio del Laboratorio de Exploración Geofísica del Centro de Geociencias (CGEO) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), con el Laboratorio de Electromagnetismo de la Academia Ucraniana de Ciencias. Como resultado, se logró construir un magnetómetro ligero y de bajo costo, con una frecuencia de 250 muestras/segundo. Dicho magnetómetro no se produce comercialmente y se espera que a partir de los resultados de este trabajo se lleven a cabo los cambios necesarios para mejorar su desempeño y versatilidad. Como parte de este trabajo se desarrollaron las componentes mecánicas y electrónicas necesarias del sistema aeromagnético para su adecuado funcionamiento, entre las que se encuentran el sujetador del magnetómetro al dron, que fue una parte fundamental para mantener al magnetómetro en posición vertical. También, se llevaron a cabo las pruebas necesarias para validar los procedimientos de vuelo y de adquisición, como también, para el procesado de los datos y su análisis cuantitativo e interpretación cualitativa. De igual manera, se realizaron pruebas de ruido y pruebas de vuelo en diferentes aeronaves, se experimentaron diversos tipos de ensamblajes magnetómetro-dron para hacer más estables los vuelos del sensor triaxial y optimizar su funcionamiento. Uno de los mayores retos fue reducir el “campeo” (movimiento del sistema de suspensión oscilatorio) del magnetómetro en vuelo, lo cual se logró a un mínimo mediante el diseño de un sujetador con tres grados de libertad y un estabilizador mecánico con dos grados de libertad adicionales. Con ello, se estandarizó el procedimiento de adquisición y el procesamiento de los datos, los cuales pueden alcanzar los 150,000 datos en vuelos de sólo 10 minutos. Finalmente, se llevaron a cabo vuelos de prueba en zonas de interés geológico para demostrar el correcto funcionamiento del sistema desarrollado. Uno de los levantamientos fue realizado en el cráter mar Rincón de Parangueo, sitio que fue seleccionado debido a la existencia de mediciones magnéticas terrestres con el propósito de comparación. De manera paralela, se hizo otro levantamiento en la caldera de Los Humeros, en el marco del proyecto “Innovación en la aplicación de técnicas modernas de prospección geotérmica a partir de la integración de métodos geológicos, geoquímicos y geofísicos, caso de estudio del campo volcánico-geotérmico de Los Humeros” (Consortio SENER-CONACYT CeMie-Geo, P05).

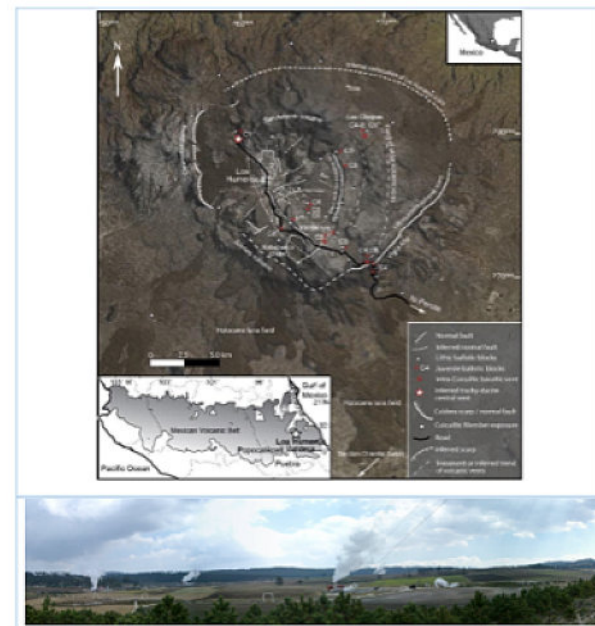


Figura 1.1. Ubicación de la caldera de Los Humeros (arriba) y aspecto general del campo geotérmico. Los vuelos fueron realizados en una zona contigua. Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) (Carrasco-Nuñez and Branney, 2005).

Cenozoic structural deformation between the southern Lamprea fold-belt and Salina del Bravo salt province by interacting salt and shale detachments, western Gulf of Mexico

Jack J. Kenning, Paul Mann

Department of Earth and Atmospheric Sciences, University of Houston, 3507 Cullen Blvd., Houston, TX, USA

The Lamprea fold-belt is a 300 km-long, 20-60 km-wide, deep-water, passive margin fold-belt located southeast of the Salina del Bravo salt province and trending parallel to the eastern continental margin of Mexico. The Lamprea fold-belt detaches along Eocene shale layers to form a compressional toe of the gravitationally-driven system that forms a transitional domain between the salt province to the north and the shale-detached Mexican Ridges fold-belt to the south. Area-depth strain measurements performed for ten characteristic folds across two regional seismic profiles through the Lamprea fold-belt provide insight into its timing of deformation, depth to detachment, and controls on the pre-growth and syn-growth sedimentary deposits. Miocene-age deformation across the Lamprea fold-belt coincides with a phase of renewed salt canopy emplacement driven by ongoing up-dip sediment loading and extensional deformation west of the Salina del Bravo salt province. These results are consistent with early Miocene fold growth onset controlled primarily by the advancing salt canopy and only minor influence from underlying autochthonous salt. The timing of trap formation, tectonic interaction of salt bodies with shale structures, and the mechanisms for fold-belt formation all control hydrocarbon migration from deep Mesozoic source intervals into overlying Oligocene fold-belt reservoirs.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0191814121001826?via%3Dihub>

Journal of Structural Geology

Volume 153, December 2021

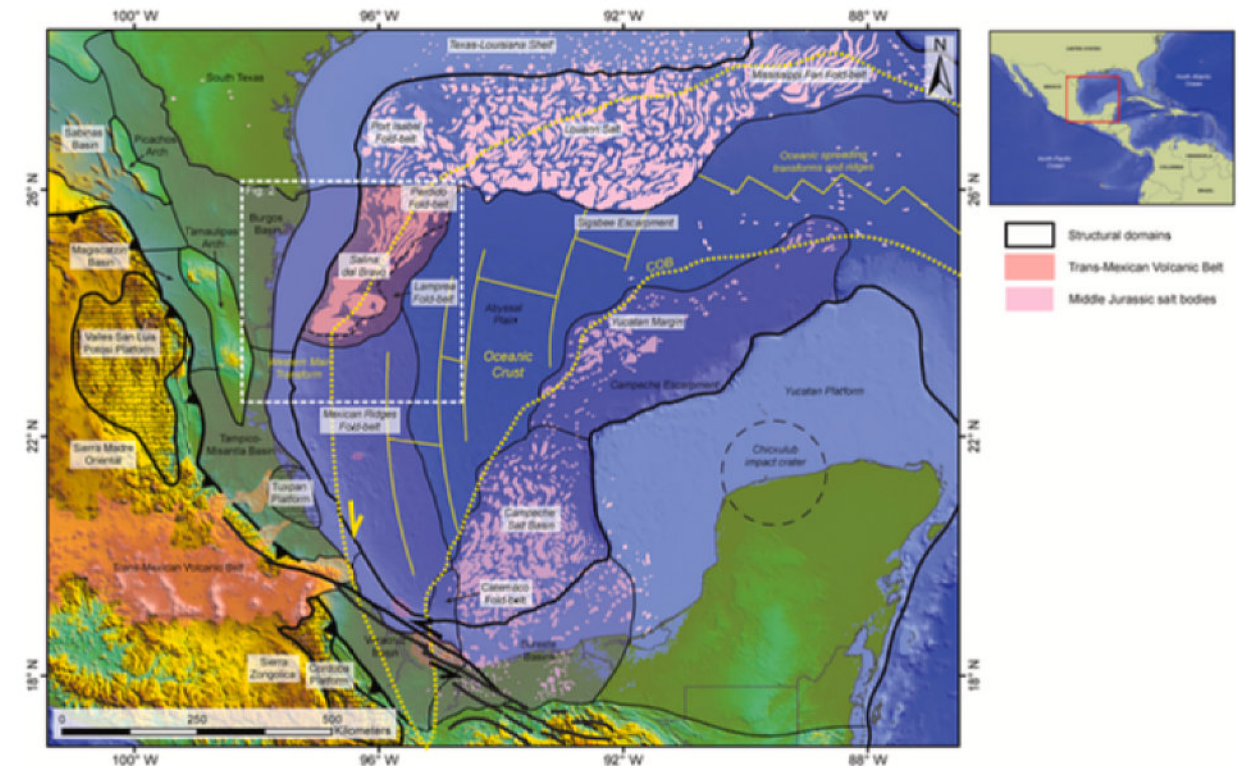


Fig. 1. - Regional map of the western and central Gulf of Mexico showing the offshore location of the Salina del Bravo fold-belt and its adjacent and distal Lamprea fold-belt. The transform-dominated, continental margin of western Gulf of Mexico exhibits a steep and narrow continental slope with part of the Salina del Bravo salt canopy and Lamprea fold-belt extruding over late Jurassic oceanic crust underlying the deep-water area. Structural and tectonic elements are modified from Garcia-Palomo et al. (2004); Andreani et al. (2008); Ferrari et al. (2012); CNH (2015); Nguyen and Mann (2016); Yarbuh and Contreras (2017), and Kenning and Mann (2020).

Caracterización del Acuífero Río verde, San Luis Potosí con el Método Magnetotelúrico

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

Tesis para obtener grado de: Maestra en Geociencias Aplicadas. 12 de Septiembre 2019

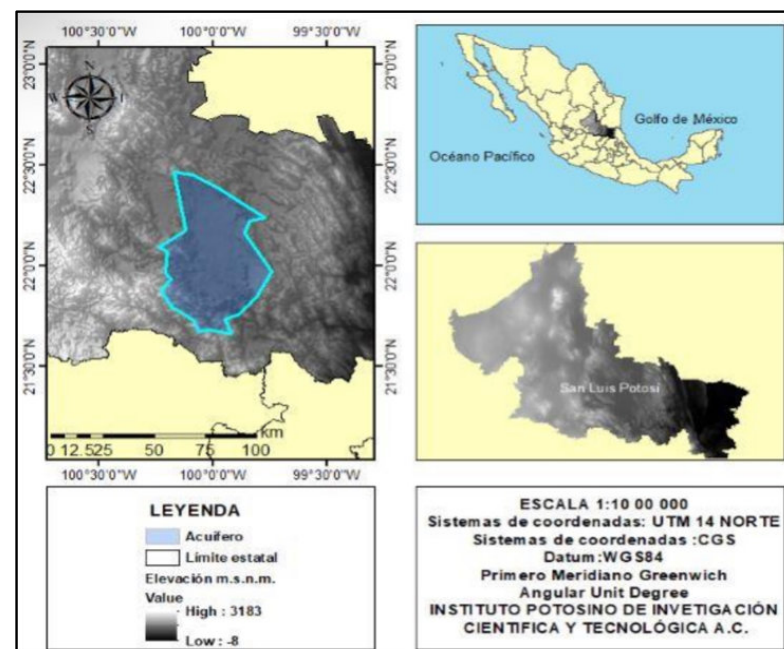
Sustentante: **María de los Angeles Yáñez Rodríguez**

Director (Codirectores) de la Tesis: *Dr. Alfredo Ramos Leal y Dra. Claudia Arango Galván*

Resumen

En este trabajo de tesis, se realizó la caracterización del sistema acuífero de Rioverde a través del método magnetotelúrico (MT), con el objetivo de conocer la distribución de la resistividad eléctrica a profundidad y poder establecer la asociación con las características hidrogeológicas de todo el sistema, principalmente de la Formación El Abra. El acuífero de Río verde ha sido declarado zona de veda por la CONAGUA (Comisión Nacional del Agua), sin embargo, el conocimiento actual del mismo es muy limitado o nulo, por tal motivo es importante su estudio a profundidad. El acuífero de Río verde se localiza en la zona media del estado de San Luis Potosí entre las coordenadas geográficas 21°40' y 22°28' de latitud norte y de 99°44' y 100° de longitud oeste, cubriendo una superficie de 2,756 km². La investigación se realizó a través de la prospección de 14 sitios distribuidos en todo el acuífero. La información obtenida en campo, se procesó, analizó e interpretó para generar los modelos geoelectrónicos respectivos. El proceso inició con la limpieza y remuestreo de las series de tiempo para obtener curvas de resistividad aparente y fase, posteriormente se realizó la corrección de static shift con datos de transitorio electromagnético, y el análisis direccional y dimensional se implementó con el método del tensor de fase, girando los datos -38°. Se generaron cuatro perfiles con dirección NE-SW, obteniendo secciones de distribución eléctrica. Dichos resultados se asociaron con información geológica e hidrogeológica identificando cuatro unidades hidrogeológicas en el sistema acuífero: UH1 - acuífero libre integrado por material granular, UH2 - acuífero localizado en las arcillas y lutitas de la Formación Cárdenas, UH3 - acuífero confinado y de gran potencial hídrico localizado en las calizas de la Formación El Abra y finalmente, la UH 4 - acuífero confinado encontrado en los yesos de la Formación Guaxcamá. La información que brinda este trabajo es exponer la distribución de las unidades hidrogeológicas con potencial hídrico del sistema acuífero, con la finalidad de promover futuras exploraciones y brindar nuevas concesiones para incrementar el aprovechamiento del agua subterránea en la región.

Figura 1.1. Ubicación general del Acuífero de Río Verde, San Luis Potosí, México



Estimación de flujo de calor en el Alto Golfo de California y su correlación con las características de fallas

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE)

Tesis para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Maestro en Ciencias: 2020

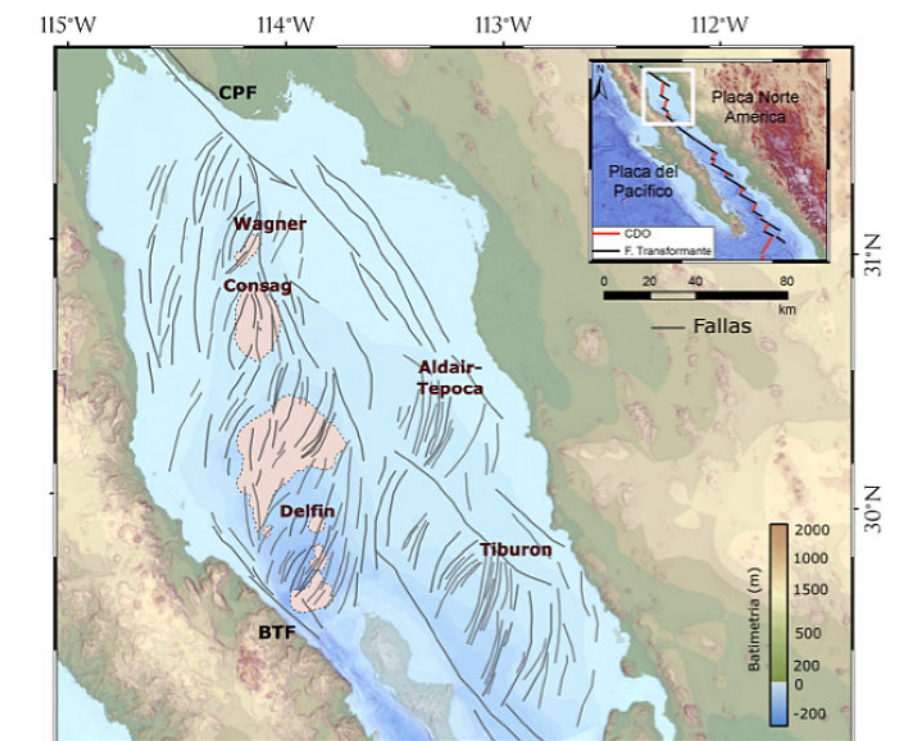
Sustentante: **Karina Fuentes Bustillos**

Co-directora de tesis: *Dra. Raquel Negrete Aranda*; Co-director de tesis: *Dr. Florian Neumann*

Resumen

El sistema de Rift del Alto Golfo de California (AGC) es producto de la divergencia oblicua entre las placas Pacífico y Norteamérica, y está caracterizado por una deformación transtensional. Este alberga la transición de un sistema de rift continental a uno oceánico. Una teoría propuesta en la literatura es que las fallas del sistema operan como conductos potenciales para el transporte de calor de la profundidad hacia la superficie a través de fluidos hidrotermales. En este trabajo se propone un modelo empírico de mejor ajuste de los mecanismos que favorecen el transporte de calor en el AGC. El modelo se basa en establecer una regresión multivariada de las características geométricas de las fallas tales como la densidad de fallamiento, espesor sedimentario, profundidad total y penetración relativa con valores reportados de flujo de calor para el AGC. Con base en este análisis, se generó un modelo lineal de primer orden de la eficiencia de las fallas del AGC para transportar calor. Las predicciones arrojadas por el modelo son muy cercanas a los datos reportados, principalmente en las cuencas Wagner y Consag. El modelo predice correctamente altos valores de flujo de calor en las zonas con mayor concentración y profundidad de penetración de fallas. Lo anterior apoya la hipótesis que sugiere que las características de falla afectan directamente la eficiencia de una falla para transportar calor. Al ser el AGC un área de potencial geotérmico, la toma de datos de flujo de calor resulta fundamental para un posible aprovechamiento geotérmico. Sin embargo, la adquisición directa de datos requiere una alta inversión económica. El modelo presentado podría ser de gran utilidad para apoyar estudios de potencial geotérmico en el AGC, así como extrapolarse a otras áreas de interés geotérmico que cuenten con estudios geológicos y datos sísmicos previos. La implementación del modelo resulta innovadora para brindar estimaciones preliminares de flujo de calor a partir de las características geométricas de fallas.

Figura 1.1. Zona de estudio, Alto Golfo de California (AGC) con topografía en metros sobre el nivel del mar (msnm). En la imagen se muestran las cuencas sedimentarias dentro del AGC (polígonos de color salmón), y las fallas reportadas por Martín-Barajas, et al., (2019). Además, se muestran las fallas transformantes de Cerro Prieto (CPF) y de Canal de Ballenas (BTF). El recuadro en la esquina superior izquierda es un mapa a menor escala que indica la localización del área de estudio. Las líneas negras, representan fallas transformantes y las líneas de color rojo centros de dispersión oceánica (CDO).



Estratigrafía y petrográfica del Plio-Pleistoceno del Noroeste de Costa Rica: Formación Bagaces y lavas Pelón de la Bajura

Universidad de Costa Rica. Tesis para obtener grado de: Licenciatura en Geología. Julio 2018

Sustentante: **Juan Pablo Solano Monge**

Director: *Dr. Percy Denyer Chavarria*

Resumen

En la base de la actual cordillera volcánica de Guanacaste se encuentra una secuencia de origen volcánico de rocas formadas durante el Mio-Plioceno y parte del Pleistoceno, correspondiente con las formaciones Bagaces y Lavas Pelón de la Bajura, El presente estudio constó de la descripción petrográfica de dieciséis núcleos de perforación (2201 m), el levantamiento de secciones estratigráficas en campo y el análisis de ciento treinta secciones delgadas, de las cuales se seleccionaron algunas muestras para la realización de análisis químicos. La Formación Bagaces incluye eventos piroclásticos explosivos y rocas sedimentarias asociadas. Esta fue dividida en dieciséis unidades diferentes según criterios composicionales como contenido de cristaloclastos (principalmente plagioclasa, clinopiroxeno, ortopiroxeno y opacos), litoclastos y vitroclastos.

La Toba Alto Mirador es una ignimbrita con lentes de pómez, en microscopía resaltan clinopiroxeno, líticos no reconocibles, lavas cristalinas y pumíticos hialinos. La Toba Potrerillos, definida en el presente estudio, es un depósito de flujo de pómez y escoria con variaciones verticales, con clinopiroxeno, ortopiroxeno, líticos recristalizados y pumíticos hialinos. La Toba Limbo I son dos depósitos provenientes de flujos de pómez y petrográficamente presentan clinopiroxeno, ortopiroxeno, apatito, líticos recristalizados, escoria hialina y pumíticos cristalinos. La Toba Sandillal es un depósito de flujo de pómez con variaciones verticales, caracterizada microscópicamente por la presencia de clinopiroxeno y fragmentos de vidrio. La Toba Rama de Nance es un depósito masivo de una ignimbrita, en el cual microscópicamente son recurrentes la escoria cristalina, pumíticos hialinos y los fragmentos de vidrio. La Toba Pan de Azúcar es un depósito de flujo de pómez enriquecido en escoria con variaciones verticales; a nivel microscópico se identifican clinopiroxeno, apatito, lavas con microlitos, escoria hialina y pumíticos hialinos. La Toba Limbo II es una ignimbrita con dos depósitos diferenciables, que bajo el microscopio predominan el clinopiroxeno, apatito, líticos no reconocibles y vitroclastos de escoria y pumíticos hialinos. La Toba Mata de Caña, definida en el presente estudio, corresponde con tres depósitos de flujos de pómez, cada uno con su afinidad micropetrográfica. La Toba Poza Salada es un depósito de flujo de pómez rico en escoria con variaciones verticales; en sección delgada se diferencia por la presencia de pumíticos hialinos. La Toba Santa Rosa es una ignimbrita con variaciones verticales; la diferencia petrográfica está delimitada por clastos de clinopiroxeno, ortopiroxeno, apatito y pumíticos hialinos. La Toba La Casona es representada por dos depósitos de flujo de pómez ricos en líticos que en microscopía son predominantes los clastos de clinopiroxeno, ortopiroxeno, apatito y escoria hialina. La Toba Cuajiniquíl es el depósito de un flujo de pómez blocoso, cuyas características bajo la luz polarizante son líticos no reconocibles, escoria hialina y pumíticos hialinos. La Litofacies Monte del Barco, forma parte de la Toba Río Colorado, sin embargo, en el presente estudio se reconoce como una ignimbrita con variaciones verticales y petrográficamente contiene apatito y pumíticos hialinos. La Toba Río Colorado es dividida en dos ignimbritas con variaciones verticales; al microscopio son importantes para su identificación la presencia de clinopiroxeno, apatito, pumíticos hialinos y escoria hialina. La Toba Cañas presenta dos depósitos de flujos de pómez microscópicamente diferentes. Por último, la Toba Montenegro es una ignimbrita con variaciones verticales y en sección delgada son importantes el clinopiroxeno, apatito, líticos no reconocibles y pumíticos hialinos. Desde el punto de vista químico la Formación Bagaces varía de composición traquidacítica a riolítica en una serie calcoalcalina. Las Lavas Pelón de la Bajura son rocas poco estudiadas con fenocristales de plagioclasa,

clinopiroxeno, ortopiroxeno, opacos y apatito, cuya principal característica textural es la variación del contenido de fenocristales, microfenocristales y microlitos. Dentro del contexto del noroeste de Costa Rica se encontró una afinidad petrográfica entre la Formación Bagaces y la Formación Cañas Dulces. La elaboración un estudio geoquímico y petrológico de ambas formaciones es de gran importancia para el esclarecimiento de la génesis y proveniencia de los flujos piroclásticos asociados a la Formación Bagaces.

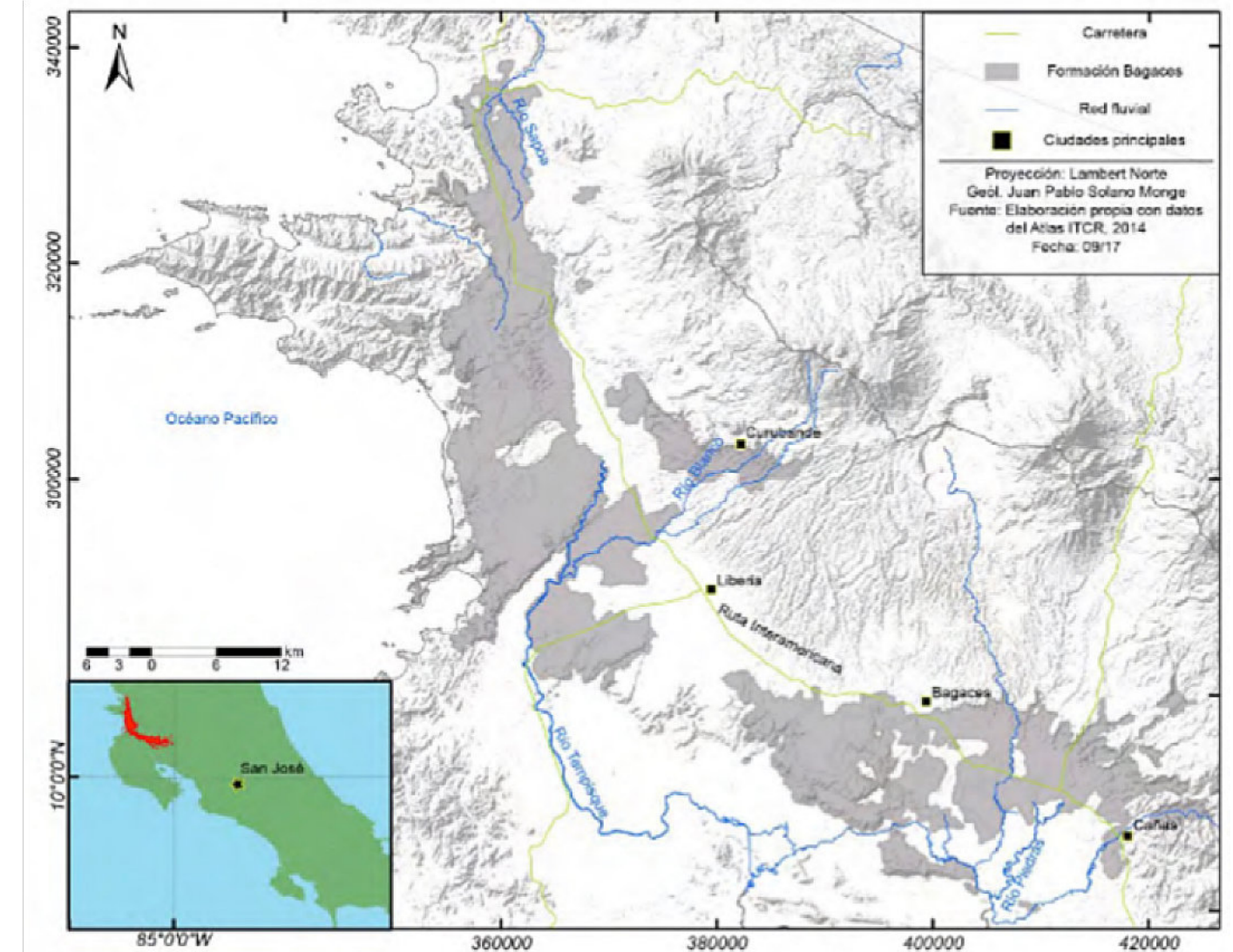
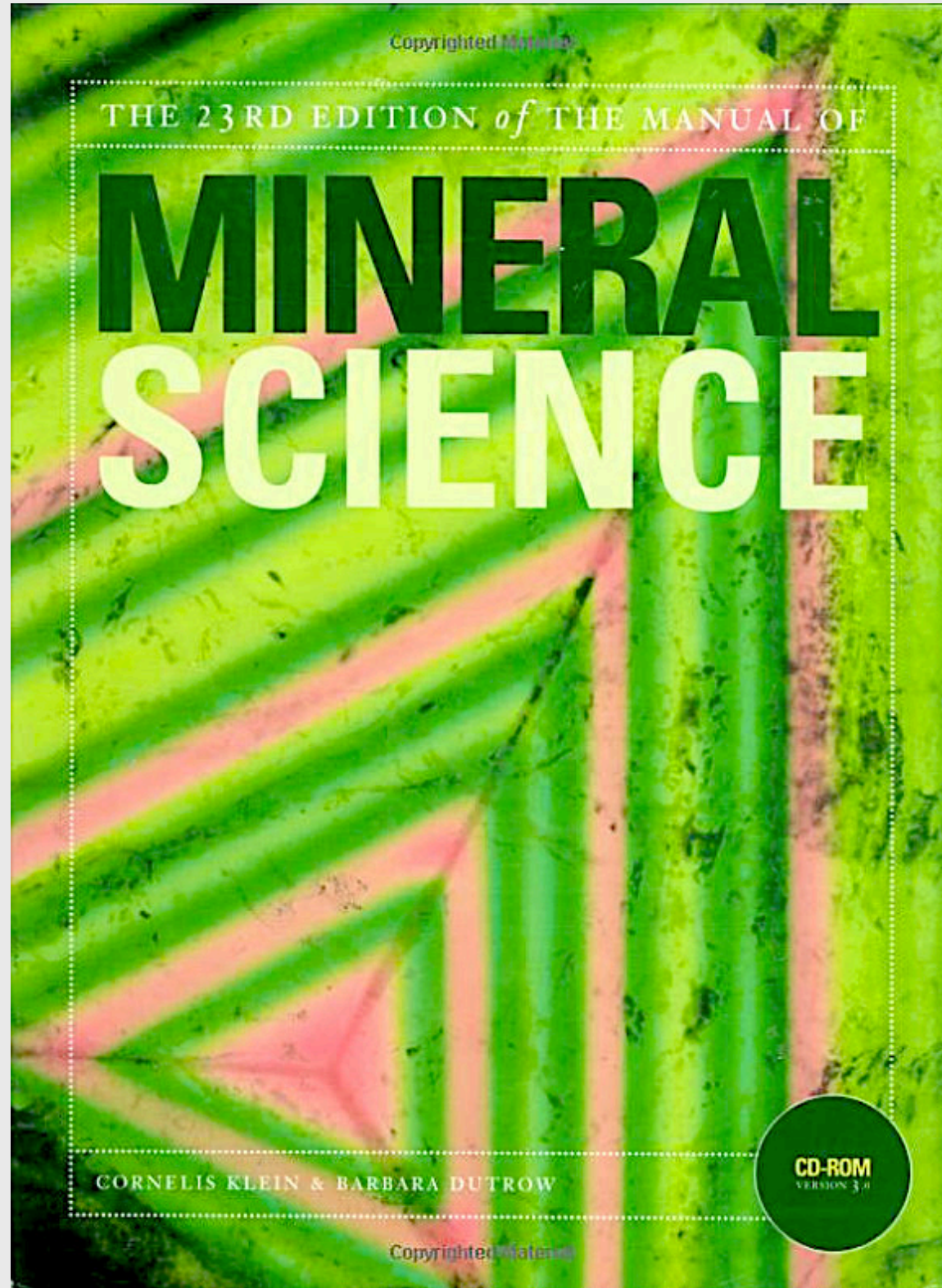


Figura 1.1. Ubicación de la Formación Bagaces

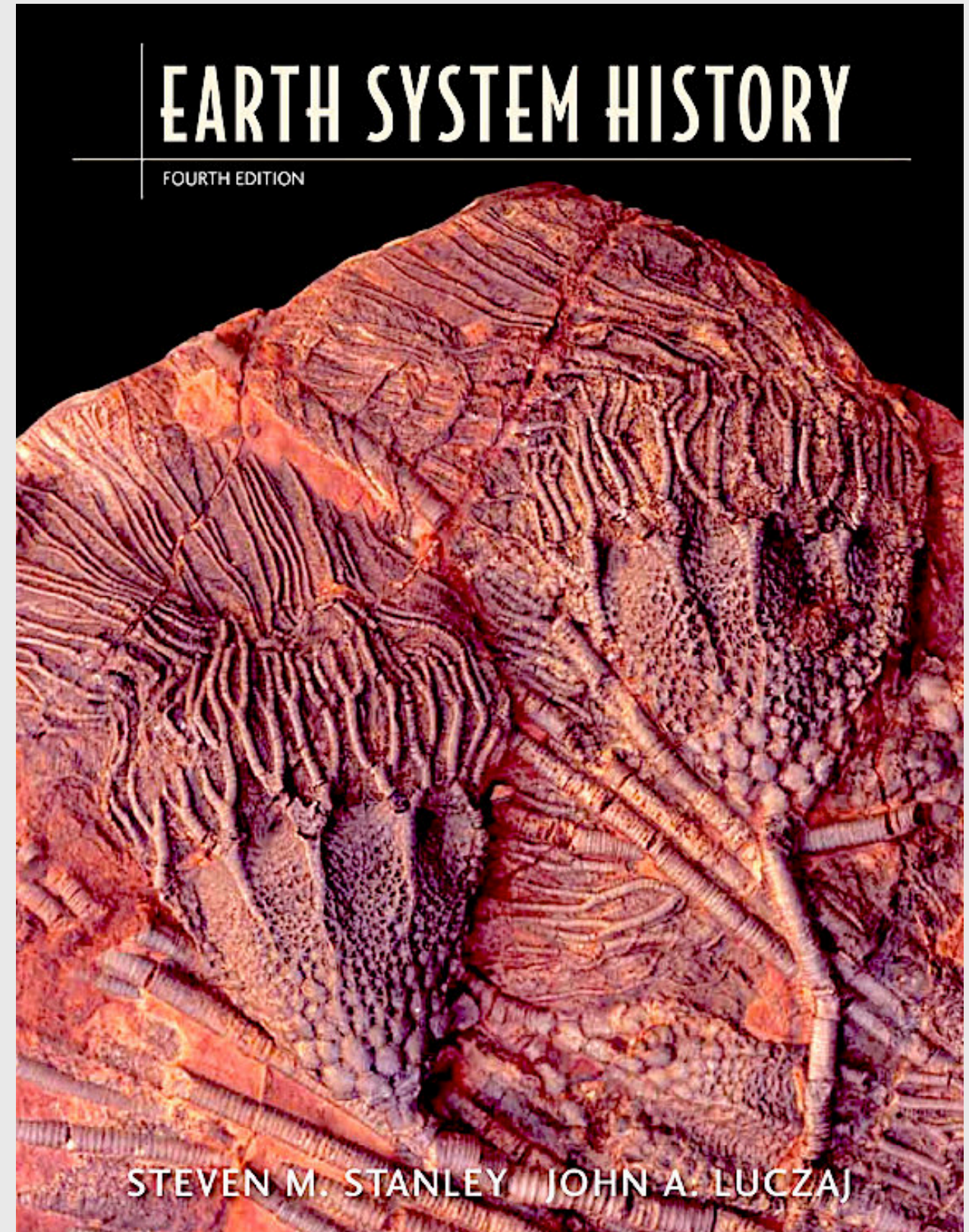
El libro recomendado

<https://www.amazon.com/Manual-Mineral-Science-Cornelis-Klein/dp/0471721573>



El libro recomendado

<https://www.amazon.com/System-History-Fourth-Steven-Stanley-ebook/dp/B00M4JOP70>



TEMAS DE INTERÉS

Consejos para el examen profesional

M. en E. Reyna Elizabeth Ramírez Camarillo

Jefa del Departamento de Evaluación y Seguimiento Académico

Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura U. Ticomán, IPN

El día en que presenté mi examen profesional de licenciatura, no lo recuerdo bien, recuerdo el lugar, a los sinodales, a mi familia, como iba vestida, la sensación de angustia al inicio y de felicidad y orgullo al final; pero no puedo recordar exactamente las preguntas de mis sinodales o mis respuestas, me hubiera gustado filmarme, pero en ese momento era muy caro poder grabar un video. (no hagan cuentas)

Lo que sí recuerdo muy bien es la preparación previa, ensayé y ensayé mi presentación junto con mi asesor de tesis, hasta que me dijo: ¡Ya estás listas, lo vas a hacer muy bien!... pero obsesiva como soy le insistí: ¿pero, y si me equivoco?... ¿si me preguntan algo y no se la respuesta?

José de Jesús, me miró fijamente y dijo: “escúchame bien... nadie en esa sala va a saber tanto del tema como tú, solo sal y plátcales lo que aprendiste”

Esta anécdota la cuento porque estoy convencida de que el examen profesional no es cualquier cosa, nos impone y los nervios pueden hacernos pasar un mal momento. Pero cuando tenemos un trabajo previo, cuando nos preparamos para ese momento, el estrés que sentimos, solo nos dará el impulso necesario para hacer las cosas excelentemente bien.

Para empezar

Debemos de dejar muy claro que un examen profesional NO evalúa los conocimientos que adquiriste a lo largo de tu carrera, sino la capacidad que se tiene para reflexionar con un grupo de expertos en el tema y defender tu posición con argumentos de corte académico.

Consejos importantes (no olvidar a lo largo de todo el proceso)

- 1. Nunca olvides que tu hiciste el trabajo.** Para hacer una analogía es como si construyeras una casa desde cero. Sabes qué tipo de cimientos tiene, a qué profundidad están, la calidad de los materiales que se usaron, etcétera. Tú eres el experto.
- 2. Disfruta el proceso.** Basándonos en las estadísticas, lo más probable es que sea el único examen profesional que presentes en la vida (ojalá no). Así que no lo veas como un requisito o como una carga, sino como una experiencia que vas a recordar toda tu vida (y grábala por favor). La maestra Cayetana Santaolalla (2019) utiliza una anécdota interesante, dice que es como si hubieras corrido un maratón y el examen profesional es la vuelta gloriosa que das al estadio, después de haber cruzado la meta, es tu momento, es donde demuestras a los demás qué has aprendido y tienes lo necesario para empezar a ejercer como ingeniero o ingeniera.

Días antes del examen...

- 1. Prepara tu presentación**
- Elige una fecha de examen que te permita prepararte
- Realiza la presentación de tu trabajo usando: PowerPoint, Prezi, Canva o algún otro.
- Conviértela a PDF

- Sistematiza tu presentación, no olvides que solo tienes 30 minutos para presentar, así que explica rápidamente el desarrollo de tu trabajo (planteamiento del problema, objetivos, justificación, metodología) y céntrate en lo más importante y relevante, como tus resultados y conclusiones. (ajústate al tiempo asignado, utiliza un cronómetro).
- No abuses de las diapositivas, para 30 minutos de exposición vas a requerir de 20 a 25 diapositivas
- Incluye imágenes y gráficos que vayan de la mano con lo que estás diciendo
- Haz un esquema que te sirva de guía en los ensayos y recuerda que estas contando una historia, así que debe de tener introducción, desarrollo y conclusiones.

Prepara tu exposición oral

- Explica con sencillez las cosas difíciles, para lograrlo ensaya por lo menos 8 veces tu presentación ante diferentes públicos, (aunque puedes hacerlo frente al espejo o grabarte si eres tímido(a) que te hagan algunas observaciones en torno a temas tales como: calidad de las diapositivas, sencillez para explicar, manejo del tiempo, tono de voz, presencia, manejo del espacio, dominio de los contenidos, organización y secuencia de la información.
- Investiga a tus sinodales, nombres y perfiles, para que, en función de esto prepares algunas posibles preguntas y sus respuestas, las que podrías también ensayar.
- Juega con la tonalidad de tu voz y tu expresión corporal (por ejemplo: utiliza tus manos, o ten entre manos una pluma o señalador)
- Si presentas en equipo, no dividas la presentación partes iguales es preferible que se vayan intercalando la descripción de las diapositivas (Macias 2020)

Prepara tu ropa

- Prepara la ropa que vas a utilizar, recuerda que no se trata de vestirse como para ir a una fiesta, pero tampoco de ponerte lo primero que tengas a la mano. Es un acto formal y de acuerdo a tus posibilidades, deberías lucir muy guapo o guapa y dar una imagen profesional.
- Utiliza zapatos cómodos, recuerda que va a ser un día muy movido y necesitas sentirte cómodo(a).

Preparate emocionalmente

- Investiga y practica alguna técnica de respiración para el manejo del estrés (en caso necesario)
- Si tienes serios problemas de memoria, evita el estrés y haz una check list con todas las cosas que requieres llevar el día del examen (así no olvidarás nada).

Un día antes del examen...

- 1) Has algo que te haga feliz y despeje tu mente como ir al cine, salir con amigos, ir a un spa...

El día del examen...

- Párate temprano
- Sigue tu rutina normal
- Báñate, arréglate
- Haz un desayuno saludable
- Checa tu lista de cotejo
- Dirígete al lugar del examen con tiempo, de tal forma que puedas llegar por lo menos 45 minutos antes de la hora estipulada.
- Si los nervios te invaden, ve al baño y pon en práctica la técnica de respiración para el manejo del estrés y repite que todo va a salir excelente, que si has llegado hasta ese punto es porque en realidad eres bueno(a), que los sinodales no comen a sus estudiantes, o algún otro mantra que te centre.
- Prueba que todos los aparatos electrónicos estén funcionando, y no olvides tener a la mano una botella de agua y tu señalador.
- Inicia tu presentación saludando al presidium y al público.
- Cuando estés exponiendo, no te concentres en un solo punto ve cambiando el foco de atención, y a tus sinodales velos por encima de la cabeza
- Al iniciar las preguntas de tus sinodales, asegúrate de haber comprendido bien la pregunta, antes de responderla piensa en la respuesta, responde en forma clara y sencilla, no inventes la respuesta. Si no sabes la respuesta puedes decir simplemente algo así como: disculpe, no lo sé, no tengo clara la respuesta, no estoy familiarizado con el tema o en esa parte veo que me faltó investigar (no es un crimen no saber una respuesta). (Cano, S. 1996).

12. Escucha con humildad los comentarios, críticas y aportaciones de los sinodales a tu trabajo de tesis

Al terminar el examen...

- Cuando regresas para conocer el resultado, agradece (independientemente del desenlace) ya que de una u otra forma va a ayudarte a crecer, y en ciencia nada es un fracaso.
- Prepara un pequeño discurso, ya que regularmente te pedirán dirijas unas palabras al público.
- ¡¡¡Disfruta y festeja!!!

Referencias

Cano-Santana, Z. (1996). Cómo presentar un examen de grado. <https://www.revistacienciasunam.com/images/stories/Articles/44/CNS04403.pdf>

Macias P. (2020, 25 octubre). *TIPS para LA TESIS: Exposición + Tutorial*. (Video). <https://www.youtube.com/watch?v=ybL-DbHwnOs>

Santaolalla C. (2019, 7 de marzo). *CONSEJOS para la DEFENSA del TFG –TFM* (Video). https://www.youtube.com/watch?v=z7b_ADodwwc



Reyna Elizabeth Ramírez Camarillo es Licenciada en Psicología por la UNAM y Maestra en Educación por el Instituto ISU Docente en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, ESIA Unidad Ticomán, del Instituto Politécnico Nacional con una trayectoria de 21 años de servicio. Asignada a la Academia de Humanísticas en donde imparte las unidades de aprendizaje de Geografía Social y Humana, Desarrollo Profesional y Ética, Proyecto Terminal 1 y 2.

Ha sido facilitadora en pláticas, talleres, cursos y diplomados, para alumnos y personal docente y de apoyo, en temas técnico- pedagógicos, tutorías, formación humana, derechos humanos, ética, equidad de género, entre otros temas.

Desarrollándose como orientadora, enlace del Programa Institucional con Perspectiva de Género, Promotora de los Derechos Politécnicos y Coordinadora de Tutorías, y actualmente, funge como Jefa el Departamento de Evaluación y Seguimiento Académico.

RESILENCIA DE LA GEOTERMÍA EN MÉXICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE YACIMIENTOS DE MEDIA A BAJA ENTALPÍA

Leticia García Pérez, Keila Castillo Rodríguez, Leonardo

Domínguez Absalón, Jeniffer E. White Narváez

Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura U. Ticomán, IPN

Introducción

La geotermia estudia el calor de la Tierra; con los estudios sobre la dinámica de la Corteza Terrestre, se ha considerado y comprobado que nuestro planeta almacena en su interior una fabulosa reserva de energía calorífica prácticamente inagotable. Con esta fuente de calor, la energía geotérmica es utilizada actualmente en diversas partes del mundo para la generación de energía eléctrica y algunos usos directos como calefacción, acuicultura, secado de productos vegetales e invernaderos. Este tipo de energía es una de las aportaciones geológicas más beneficiosa, en términos económicos, a la crisis energética. El crecimiento poblacional y las exigencias del uso de tecnologías en la vida diaria conllevan a actuar sobre las construcciones civiles a través de nuevos sistemas alternativos de usos de energía para lograr su uso de forma más eficiente. En México se encuentra una gran variedad de recursos geotérmicos debido a su naturaleza volcánica y la amplia distribución de manifestaciones termales, recursos que se pueden ocupar para la generación de electricidad; actualmente este tipo de energía tiene muy alto potencial, ofrece ventajas económicas y ambientales sobre las tecnologías tradicionales. Este tipo de sistemas energéticos ha despertado el interés de numerosos investigadores alrededor del mundo en estos últimos años, sean generados tecnologías para el aprovechamiento de la energía geotérmica de media entalpía (150°C a 100°C) para la generación de electricidad, como es el caso del Sistema de generación eléctrica con ciclo binario modificado, como para el aprovechamiento de los recursos geotérmicos de baja entalpía. En este artículo se plantea el importante desafío de estudiar sistemas alternativos de tecnologías de generación de energía, que puedan aprovechar la energía geotérmica de media a baja entalpía y que puedan ser aplicados en México, con el fin de generar soluciones sustentables a las necesidades primarias de la sociedad; calefacción, generación de energía eléctrica limpia y obtención de alimentos no perecederos.

En México, la segunda energía con menos impacto al medio ambiente y de crecimiento es la Energía Geotérmica, pero debemos preguntarnos ¿Qué tecnología y políticas vamos a necesitar para impulsar su desarrollo?.

La energía geotérmica tiene una larga historia en México cuenta con grandes antecedentes de producción, el campo geotérmico de Pathé en Hidalgo fue la primera planta de energía geotérmica en el Continente Americano; comenzó a operar en 1959, un año antes que la primera planta de este tipo en los Estados Unidos. Debido a sus condiciones geológicas, México tiene las condiciones para convertirse en un importante productor de energía geotérmica. La producción de energía anual actual es de poco más de 963 MW (ThinkGeoEnergy, 2020), pero el potencial llega a los 10 mil MW (CEMIGEO, 2021). México es actualmente el sexto productor de energía geotérmica, y somos el que más produce en América Latina, sin embargo lamentablemente, debido a la crisis energética del país, se han cancelado licitaciones internacionales para construir centrales en Puebla y Baja California.

De dónde proviene la energía Geotérmica?

Los beneficios que brinda la energía térmica presente en el interior de la tierra se transmiten a la superficie por medio de rocas o fluidos a través de sus capas internas; este gradiente de temperatura que fluye hacia afuera del subsuelo se denomina recursos geotérmicos (Figura 1), y en algunos casos, puede ser observado en manifestaciones geotérmicas, incluidos manantiales, géiseres y volcanes de lodo, que los humanos han utilizado y convertido en energía eléctrica (George, 2012). Las reservas geotérmicas oscilan entre los 15°C en la superficie y los 4000 °C en el núcleo. De hecho, la corteza terrestre constituye una extensa reserva de recursos geotérmicos. En cualquier punto de la superficie del mundo, el calor se almacena en el subsuelo a varios metros de profundidad. El calor de la capa se extrae mediante agua geotérmica, similar a las que se emplean en la industria del petróleo.

Así pues, se establecen las cuatro categorías siguientes para la energía geotérmica:

-Alta entalpía más de 150 °C: Una temperatura superior a 150 °C permite transformar directamente el vapor de agua en energía eléctrica.

-Media entalpía entre 90 y 150 °C: Permite producir energía eléctrica utilizando un fluido de intercambio, que es el que alimenta a las centrales.

- Baja entalpía entre 30 y 90 °C: Su contenido en calor es insuficiente para producir energía eléctrica, pero es adecuado para calefacción de edificios y en determinados procesos industriales y agrícolas.

- Muy baja entalpía menos de 30 °C: Puede ser utilizada para calefacción y climatización, necesitando emplear bombas de calor.

Según la temperatura, se puede utilizar para Producir energía eléctrica para otros usos.

Los sistemas de alta entalpía se pueden localizar en zonas de alta actividad volcánica, la utilización de estos recursos geotérmicos, como fuente de energía primaria para la generación de electricidad se presentan cuando la temperatura del fluido es alta o muy alta (mayor a 150 °C), temperatura idónea para la producción de electricidad, estas condiciones son escasas en comparación con los recursos de media (100-150°C) y baja entalpía (30-100 °C), por lo que existen otras aplicaciones para el aprovechamiento de la energía geotérmica que pueden aprovechar, las zonas de media entalpía se puede generar electricidad (con la tecnología adecuada) y para usos industriales, los sistemas de baja entalpía se usan principalmente para la calefacción de espacios y otros usos directos.

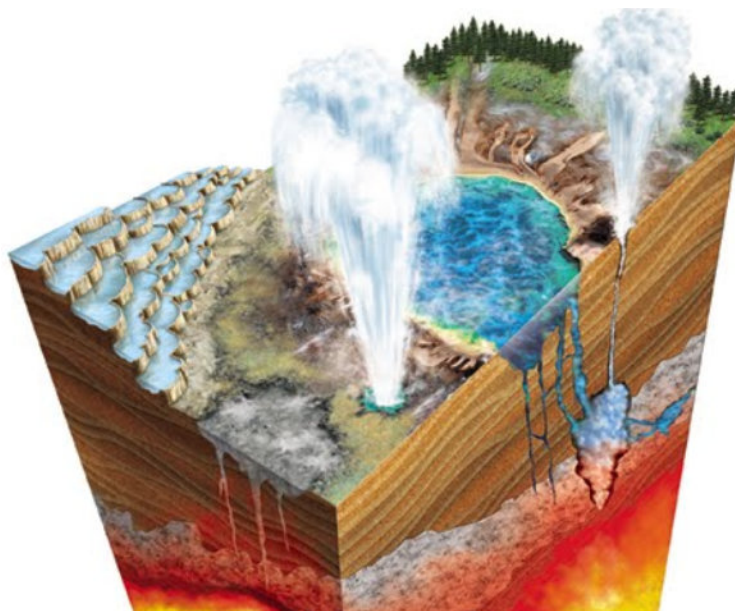


Figura 1. Esquema de un yacimiento geotérmico ideal (Fuente: Ruiz Gonzalo, 2020).

Muchos países han visto el enorme potencial de los recursos geotérmicos y el aprovechamiento de estos recursos geotérmicos de media a baja entalpía, actualmente mayores productores de energía geotérmica son Estados Unidos, Indonesia, Filipinas y para el caso de Kenia aumento en el 2020 el 40% de producción de energía geotérmica, un caso muy representativo es el de Islandia quién el 85% de su energía proviene de la geotermia, quién por su gran actividad volcánica ha aprovechado este beneficio y además de la energía eléctrica que produce, aprovecha el gradiente geotérmico de su subsuelo y lo ocupan para muchos fines como la calefacción en hogares, la acuicultura y la industria.

Sistemas geotérmicos de baja a media entalpía en México

En México cuenta con un gran potencial para el desarrollo de centrales de energía geotérmica, entre las cuales aún más hay para el aprovechamiento de las zonas de media entalpía. La energía geotérmica de media a baja entalpía basa sus aplicaciones en la capacidad que el subsuelo posee de acumular calor y de mantener una temperatura sensiblemente constante, entre 20 y 200 m de profundidad, a lo largo de todo el año. El dominio de media a alta intensidad, caracterizado por temperaturas del agua a 1 km de profundidad inferiores a 150 °C, se ubica fundamentalmente sobre el Cinturón Volcánico Mexicano, Chiapas y en la península de Baja California (Figura 2), de acuerdo con el mapa de Flujo de Calor generado por el Instituto de Geofísica-UNAM, sobre esta zona existe un potencial de flujo de calor entre 200 a 100 mW/m², mientras que el resto del país presenta un enorme potencial en el aprovechamiento baja a muy baja intensidad de flujo de calor entre 90 a 20 mW/m², por lo que pueden ser empleado para usos industriales, piscinas termales o para calefacción en los hogares.

Debido a que el contenido en calor de los recursos geotérmicos de baja a media entalpía es insuficiente para producir energía eléctrica, aquellos recursos con temperaturas por debajo de 100 °C e incluso hasta 15°C, pueden ser utilizados para producción de agua caliente sanitaria y para climatización, ayudándose de un sistema de bomba de vapor de agua para activar un sistema de turbinas cuya producción representa un 25% de su consumo eléctrico (con rango entre 47 a 120 megavatios – MW-), junto a otras fuentes energéticas.

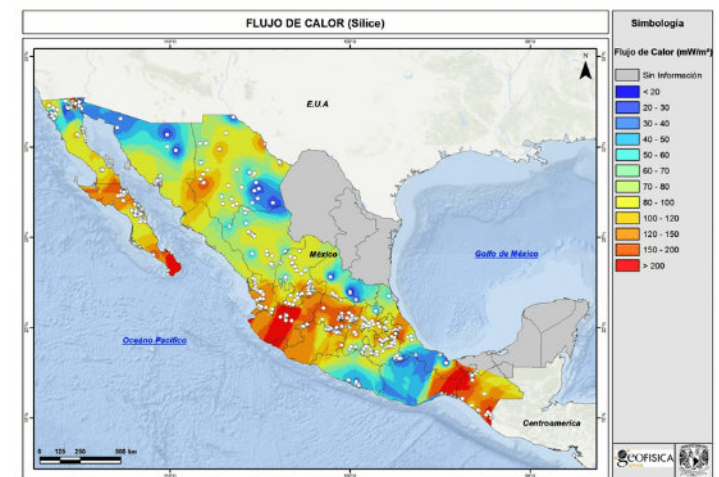


Figura 2. Mapas de gradiente geotérmico y flujo de calor para la República

Mexicana (Fuente: <http://www.proyectorse.mx/2017/05/29/desarrollan-mapa-zonas-geotermicas-mexico/>)

Para la generación de electricidad a través de estos recursos, la tecnología desarrollada son las Centrales de Ciclo Binario, generan electricidad a partir de fluidos de temperatura entre 80 y 180 °C o en sistemas geotérmicos mejorados. Las Centrales de Ciclo Binario utilizan un fluido que tiene un bajo punto de ebullición y una alta presión de vapor a bajas temperaturas, en comparación con el vapor de agua, un ejemplo de este tipo de plantas las tenemos en Cerro Prieto, en Mexicali (Figura 3); pero existen otros tipos de tecnología para el aprovechamiento de estos recursos como lo son las Plantas Ciclo Binario Modificado con una Evaporación Flash (PWG por sus siglas en Inglés "Pressure Water Generation") y las Planta Híbrida Geotérmica-Hidráulica, Solar o Eólica.

Aprovechamiento de Recursos Geotérmicos de Media a Baja entalpía en México.

Para el aprovechamiento de estos recursos geotérmicos de media a baja entalpía diversas instituciones como Comisión Federal de Electricidad, UNAM, Universidad de San Nicolás de Hidalgo en Michoacán y el CICESE han realizado diversos proyectos. Cuando la temperatura del fluido geotérmico es menor a 150 °C, resulta complicado (aunque no imposible) construir una planta que genere electricidad de forma eficiente, para fluidos de baja entalpía o temperaturas bajas, es improbable que los pozos fluyan de manera espontánea, y en caso de que, si fluya, existe mucha probabilidad de que se produzca depósito de minerales de calcita en los mismos.

En las zonas geotérmicas de Cerro Prieto en Baja California, Las Tres Vírgenes Baja California Sur, Los Azufres Michoacán, los Humero en Puebla y Maguarichi Chihuahua, se han la instalado Centrales de Ciclo Binario, hay que mencionar que en Maguarichi se instaló aislado de la red eléctrica nacional y le dio energía eléctrica a 600 personas en dicho poblado, siendo el primer proyecto geotérmico privado de la red en México; lamentablemente algunas de estas plantas instaladas no están en operación actualmente. La energía geotérmica de baja entalpía en México tiene un potencial probable de generación de 200 MW, instalando plantas pequeñas de generación; además instituciones como el Instituto de Ingeniería de la UNAM, la Universidad de San Nicolás de los Garza en Michoacán y el CICESE han realizados investigaciones y proyectos para la generación de electricidad con recursos geotérmicos de baja entalpía.

Por otro lado, se han impulsado otro tipo de proyectos que se pueden beneficiar con la energía geotérmica, aplicados en la industria, agricultura, pesca y calefacción de interiores, entre otra. Hay que destacar los proyectos para deshidratar en Sinaloa y en Baja California, estas como parte del proyecto para utilizar los usos geotérmicos de baja a media entalpía.

El desarrollo de proyectos para aprovechamiento de energía geotérmica de baja entalpía en territorio mexicano, evita la emisión de gases contaminantes a la atmósfera y está disponible 24 horas del día.

Otros proyectos impulsados por la UNAM son Instalación de un deshidratador de fruta piloto que funciona con energía geotérmica, una desaladora modular geotérmica desarrollada por el grupo iiDEA que emplea procesos por medio de intercambiadores de calor, donde el agua de mar se evapora y condensa hasta convertirse en recurso potable, además proyectos como bombas de calor geotérmicas para localidades de México, fabricación de leche en polvo con el aprovechamiento de la geotermia, invernadero geotérmico de baja entalpía. Mientras que la Universidad Politécnica de Baja California (UPBC) desarrollaron un sistema para climatizar invernaderos de pepino y tomate por medio de energía geotérmica, donde las temperaturas son extremas tanto en verano como en invierno, la climatización de invernaderos es una estrategia de los productores para evitar que las cosechas se pierdan.

Más de 20 estados de la República Mexicana presentan actividad geotérmica de Baja Entalpía, que se genera por deslizamiento de placas tectónicas y vulcanismo.

Se han desarrollado proyectos piloto para el aprovechamiento de los recursos de baja entalpía, en los campos geotérmicos de Cerro Prieto, Los Azufres y Los Humeros, destacando el proyecto de secado de madera, un deshidratador de vegetales y fruta, un invernadero y un sistema de calentamiento de las oficinas y las instalaciones en este campo. Proyectos relevantes se encuentra la Instalación de un vivero experimental en el campo geotérmico de Los Azufres con calentamiento geotérmico que ha demostrado la factibilidad técnica y económica, in situ, de este sistema.

Un proyecto relevante es El sistema Deshidratador Geotérmico de Alimentos, DGA 200 de Geo Food, se ubica en San Pedro Lagunillas, en Nayarit, México; aprovecha los remanentes energéticos de la geotermoeléctrica que administra Grupo Dragón (Figura 3).

Otros proyectos impulsados por la UNAM son Instalación de un deshidratador de fruta piloto que funciona con energía geotérmica, una desaladora modular geotérmica desarrollada por el grupo iiDEA que emplea procesos por medio de intercambiadores de calor, donde el agua de mar se evapora y condensa hasta convertirse en recurso potable, además proyectos como bombas de calor geotérmicas para localidades de México, fabricación de leche en polvo con el aprovechamiento de la geotermia, invernadero geotérmico de baja entalpía. Mientras que la Universidad Politécnica de Baja California (UPBC) desarrollaron un sistema para climatizar invernaderos de pepino y tomate por medio de energía geotérmica, donde las temperaturas son extremas tanto en verano como en invierno, la climatización de invernaderos es una estrategia de los productores para evitar que las cosechas se pierdan.



Figura 3. Deshidratador Geotérmico de Alimentos, DGA 200 (Fuente: DGA, 2021)

Para la generación de electricidad a través de estos recursos, la tecnología desarrollada son las Centrales de Ciclo Binario, generan electricidad a partir de fluidos de temperatura entre 80 y 180 °C o en sistemas geotérmicos mejorados. Las Centrales de Ciclo Binario utilizan un fluido que tiene un bajo punto de ebullición y una alta presión de vapor a bajas temperaturas, en comparación con el vapor de agua, un ejemplo de este tipo de plantas las tenemos en Cerro Prieto, en Mexicali (Figura 4); pero existen otros tipos de tecnología para el aprovechamiento de estos recursos como lo son las Plantas Ciclo Binario Modificado con una Evaporación Flash (PWG por sus siglas en Inglés "Pressure Water Generation") y la Planta Híbrida Geotérmica-Hidráulica, Solar o Eólica.



Figura 5. Central de Ciclo Binario 5 MW, Centro Geotérmico Los Azufres, Michoacán México (Fuente: CFE, 2021).

Centrales Ciclos Binarios

Dentro de las plantas de Ciclo Binario, utilizan un depósito de agua con temperaturas entre 100 y 180°C. En este tipo de sistema, el agua geotérmica se pasa mediante un intercambiador de calor, donde su calor se transfiere a un segundo líquido que tiene un punto de ebullición inferior al del agua (isobutano o pentano). Cuando el líquido binario se calienta, destalla vapor que hace mover la turbina; al salir de la turbina es condensado y reutilizado en un circuito cerrado. En este tipo de sistemas no hay emisiones al aire. El tamaño de la central geotérmica depende de las características del yacimiento geotérmico y de la cantidad de vapor que se pueda extraer de él, es decir, depende también del número de pozos productores que puedan aportar vapor a la turbina del generador, pueden variar desde 0,5 hasta 10 MW. Hoy en día este tipo de centrales geotérmicas son las que tiene una mayor cantidad de unidades en funcionamiento, un ejemplo de este tipo es la Central de Ciclo Binario 5 MW, en Los Azufres, Michoacán México (Figura 5).



Figura 4. Planta Geotérmica de Ciclo Binario en Cerro Prieto, Mexicali (Fuente: CFE, 2021).

Planta Geotérmica de Ciclo Binario en Cerro Prieto, demuestra el gran potencial en países como México.

Ciclo Binario Modificado con una Evaporación Flash (PWG)

Una central de Ciclo Binario Modificado con una Evaporación Flash es una modificación a un ciclo binario convencional, que garantiza un adecuado aprovechamiento de la energía geotérmica de media a baja entalpía. Una central de Ciclo Binario Modificado con una Evaporación Flash puede operar en condiciones de saturación requiriendo una menor cantidad de energía; para obtener el vapor que impulsará la turbina, el líquido saturado se hace pasar por el dispositivo de estrangulamiento provocando una evaporación flash o instantánea (Figura 6). Finalmente, la mezcla obtenida es separada en el tercer dispositivo propuesto (el separador de flujo bifásico).

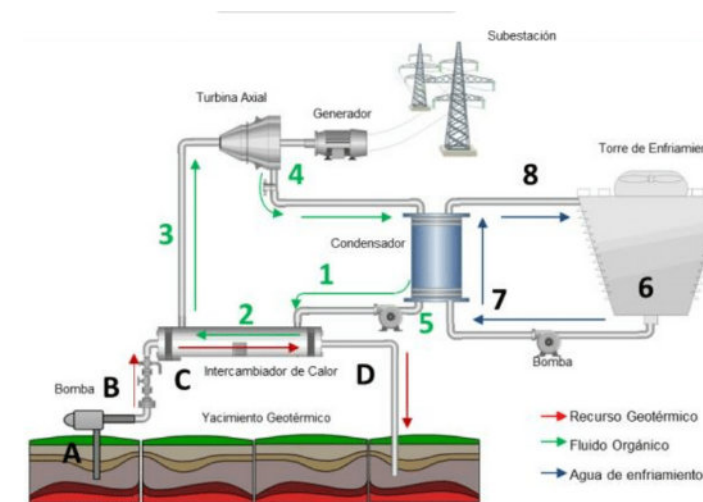


Figura 6. Esquema de una central de ciclo binario modificado con una evaporación flash (Fuente: Jiménez Héctor, 2013).

La principal ventaja que presenta es que, al emplear un intercambiador de calor de placas, la eficiencia en la generación de vapor se incrementa, ya que este tipo de equipos permiten acercamientos de hasta 1°C entre los fluidos; sus pérdidas son bajas, lo cual es sumamente importante en el aprovechamiento de la energía geotérmica, el espacio ocupado por estos intercambiadores es menor y su mantenimiento es más sencillo comparado con los de carcasa y tubos. El Ciclo Binario Modificado con una Evaporación Flash es capaz de aprovechar los recursos de menor temperatura y mantener un menor volumen de trabajo.

Planta Híbrida Geotérmica - Hidráulica, Solar o Eólica

Los sistemas de energía híbrida son aquellos que generan electricidad a partir de dos o más fuentes, generalmente de origen renovable, compartiendo un mismo punto de conexión; aunque la suma de las potencias de los módulos de generación híbrida sea superior a la capacidad de evacuación, la energía vertida nunca puede sobrepasar este límite (Figura 7).

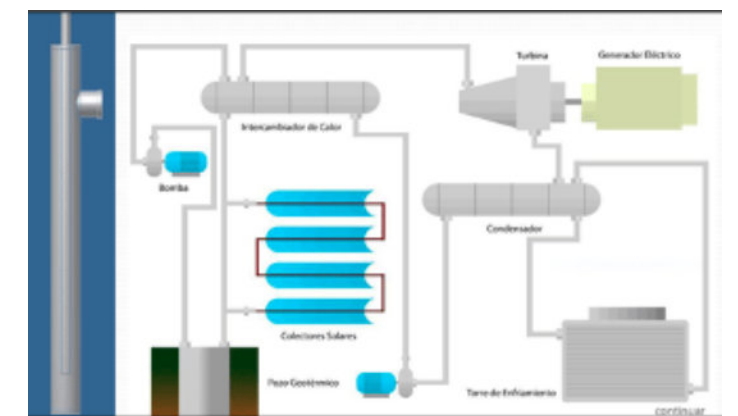


Figura 7. Esquema de un sistema de energía híbrida Geotermia-Solar (Instituto de Ingeniería, UNAM 2021)

Las plantas híbridas Geotérmicas, mejoran de la capacidad de financiación de la geotérmica y rendimiento

De este modo, una planta de generación híbrida puede servirse, por ejemplo, de la energía fotovoltaica cuando brilla el sol y la energía geotérmica, garantizando así un suministro más estable y eficiente; una instalación híbrida puede contar o no con sistemas de almacenamiento. El objetivo del modelo Híbrido Geotérmico-Solar es para maximizar el potencial de aprovechamiento de los yacimientos geotérmicos de media a baja entalpía hacia la generación de energía eléctrica de manera eficiente y no contaminante; donde combina la energía geotérmica de media entalpía en su planta geotérmica de ciclo binaria con energía solar en el mismo lugar. De igual forma se puede generar energía eléctrica combinando energía geotérmica con energía eólica o hidráulica, o alguna otra energía renovable.

En México se han desarrollado proyectos para generar electricidad con sistemas de energía híbrida Geotérmico- Solar en Zinapécuaro, Michoacán (Figura 8), por parte del proyecto de la empresa Green-er y CONACYT.



Figura 8. Proyecto para generar electricidad a través de sistema Geotérmico- Solar, en Michoacán (Fuente:Rubio Carlos, 2013)

Conclusión

La energía geotérmica es una de las energías renovables a nivel mundial que ha sido señalada como una de las más interesantes para generar energía con bajo impacto ambiental. Los recursos geotérmicos en México han sido utilizados para generar electricidad y algunos usos directos, debido a sus condiciones geológicas el país cuenta con una gran cantidad de manifestaciones termales que pueden ser aprovechadas para beneficio de la sociedad. En distintos estados de la República Mexicana se cuenta con el recurso necesario para implementar proyectos para el aprovechamiento del calor interno de la Tierra.

El uso de los sistemas de media entalpía resulta altamente atractivo, debido a potencial que tienen para generar electricidad, además de que se pueden hacer usos industriales y domésticos. La geotermia es una de las energías que más pueden aportar a la matriz energética de manera sustentable, su uso tiene un bajo impacto ambiental y se cuenta con distintos lugares para su aprovechamiento, a pesar de las amplias investigaciones que se tienen en el territorio mexicano, sigue siendo un desafío importante implementar de mejor manera el aprovechamiento de los recursos geotérmicos, por lo que se debería invertir en más proyectos que aporten de manera significativa a la generación de energía del país.

México sigue siendo uno de los 10 países que más generan energía a partir de la geotermia, por lo cual se debe impulsar su desarrollo para complementar la matriz energética del país.

Bibliografía

Aviña Jiménez Héctor. "Comparativa de rendimiento energético entre un ciclo binario y un modificado, con geotermia de baja entalpía". Congreso internacional anual de la SOMIM. 2013, Vol. 1, p. 2-9.

Cacho Yureli. "Estado de la Energía Geotermia en México". Petroquimex. 2020, Vol. 1. p. 3-12.

Cárcamo Alfredo. "Diseño conceptual de un sistema híbrido integrado de simple flash-binario para una planta geotérmica". Salvador: Universidad del Salvador. 2016. p. 20-30

Cárcel Francisco. "La Energía Geotérmica de baja entalpía". 3C Tecnología. 2015. Vol. 4. p. 98-107.

CeMIEGeo.. "Geotermia en México". 2021. Sitio web:<http://www.cemiegeo.org/index.php/geotermia-en-mexico>.

Gehring Magnus. "Manual de geotermia: cómo planificar y financiar la generación de electricidad". Washington D.C, EE. UU.:ESMAP. 2012.

GeoFood. " Nuestro sistema deshidratador geotérmico de alimentos". 2021, de Geofood Sitio web: <https://geofood.mx/nuestro-sistema-deshidratador-geotermico-de-alimentos/>.

Hiriart Le Bert. evaluación de la energía geotérmica en México". CRE.IDB.

Instituto de Ingeniería-UNAM. "Ciclo Binario de Evaporación Instantánea (CBEI)". de UNAM. 2021. Sitio web: http://proyectos2.iingen.unam.mx/IIDEA/ciclo_binario.html.

Martínez David. "La energía geotérmica de baja entalpía". 3C Tecnología. 2015. Vol. 15, p. 96-108.

Martínez Juárez. "Factibilidad de aprovechar la geotermia" , de UNAM. 2019. Vol. 1. p. 10-19.

Robilliard Claudine. "Generación de electricidad a partir de energía geotérmica". Ingeniería Industrial. 2009 , Vol. 27, p. 185-205.

Rubio Carlos. "Planta híbrida geotérmico-solar: Una forma de maximizar el aprovechamiento de los recursos renovables". ANES. 2013, Vol. 1, p. 3-30.

LOS INICIOS DEL OBSERVATORIO CAGIGAL DE VENEZUELA, SUS ESTUDIOS Y EL PRIMER MAPA DE ISOSISTAS NACIONAL:

OCTUBRE 29, 1900

Compilado por: José Antonio Rodríguez Arteaga
Colaborador de la revista

Cagigal, observatorio astronómico, meteorológico y... ¿de sismología?

El 8 de septiembre de 1888, con la firma del decreto de creación por mandato de Juan Pablo Rojas Paúl, Presidente de la República, se crea el Observatorio Cagigal en la ciudad de Caracas el cual compartirá capacidades de observación y estudio entre la astronomía y la meteorología, dotado de instrumental *ad hoc*. Seis años más tarde, en 1894 hará su aparición la sismología, que tendrá sede en las mismas instalaciones ubicadas en la Colina Cagigal o de El Calvario, como también se le conoce.

En este ambiente, la aparición de la misma y su subsiguiente estudio estará probablemente ligada a alguno de dos intelectuales de la época, según las referencias de 2 reconocidos docentes de la Universidad Central de Venezuela: el académico José Pablo Grases Galofré y el ingeniero geofísico y astrónomo aficionado, Henry Salas Ramírez (†).

El primero lo atribuye a Alejandro Ibarra Blanco (1813-1880) por su papel pionero en Venezuela y sus intereses unidos al tema sísmico y el segundo, a Luis Ugueto ingeniero, filósofo y astrónomo superior *“quien sumó a sus estudios, conocimientos en matemáticas y mecánica superior, a la par de ingentes esfuerzos sensibilizantes de la importancia de esta materia como ciencia, siendo el “responsable” del tema, pre- y post-terremoto del 29/10/1900. Una revisión general de textos, inclinan la balanza a favor de Don Luis, pese a su condición nata de astrónomo practicante.*

Los “sismólogos” del observatorio

Las relaciones sismólogo-científicas en el Cagigal no han sido aclaradas hoy del todo. En 1894 el personal estaba apenas constituido por apenas 4 personas: 2 meteorólogos contratados con...*conocimientos de astronomía y física*, un director -probablemente astrónomo-, y un vigilante. ¿Y el sismólogo?, nos preguntamos?. Ese año y hasta bien entrado el siglo XX, un cuaderno de notas será el receptor en el que se transcribirán toda suerte de reseñas *seísmicas*, obtenidas del servicio telegráfico y de la prensa nacional recayendo la responsabilidad de su reproducción entre los 3 profesionales que tenía el Observatorio. Desafortunadamente no queda registro físico de ello, contando apenas con el anexo de un trabajo del profesor Henry Salas; fotocopias algún viejo manuscrito, en cuya letra de largos y redondeados rasgos se puede colegir que el encargado de tal tarea era una sola. No está firmado, y debe considerarse anónimo.

Aparte de ello, el observatorio elaboraba una estadística meteorológica publicada a diario en la *Gaceta Oficial de la República* y en el *Diario de Caracas*, requiriendo necesariamente si se quisiese estudiar a fondo en 2022, una revisión exhaustiva de repositorios nacionales, actividad imposible de hacer dadas las circunstancias actuales. El lector debe considerar una asignatura pendiente, acometer ese trabajo. Independientemente de la situación, existían reconocidos naturalistas que dedicaban parte de su tiempo a investigar sobre el fenómeno sísmico individualmente y publicar en prensa o exponer sus trabajos en el seno de las asociaciones profesionales preexistentes y a las cuales pertenecían en calidad de miembros o por estudios (e.g. Arístides Rojas, *Sobre la tempestad seísmica de las Antillas de 1867 a 1868*, en la Revista Vargasia en 1868, revista de la Sociedad de Ciencias Físicas y Naturales de Caracas; Lino José Revenga, *Estudio sismológico y consideraciones sobre la revolución sísmica del año 1865-1866*, 1866, el cual aparece como parte de los libros existentes en la biblioteca de la Academia de Matemáticas para el año 66’).

¡¡Está temblando!!

Cagigal, no tuvo instrumentación sismológica de inmediato, no era su objetivo primario, y del Terremoto de Caracas del 29 de octubre de 1900, no existe en Venezuela ningún parámetro sísmico que se haya obtenido y que se haya podido estudiar, a menos que se recurra a textos no publicados en el país, o recientemente de textos nuevos.

Transcurridos 8 meses de fundado, en el segundo semestre de 1901, entre comunicaciones, oficios y decretos se estarán dando los trámites necesarios para dotar al organismo de instrumentos apropiados. Es así que se obtienen 2 sismómetros: un *Ewing*, inglés y un *Agamennone*, italiano. Todo gracias a la participación efectiva de Luis Ugueto, director encargado del Observatorio en 1900, Agustín Aveledo, director de la Escuela de Ingeniería y Félix Quintero, Ministro de Instrucción Pública.

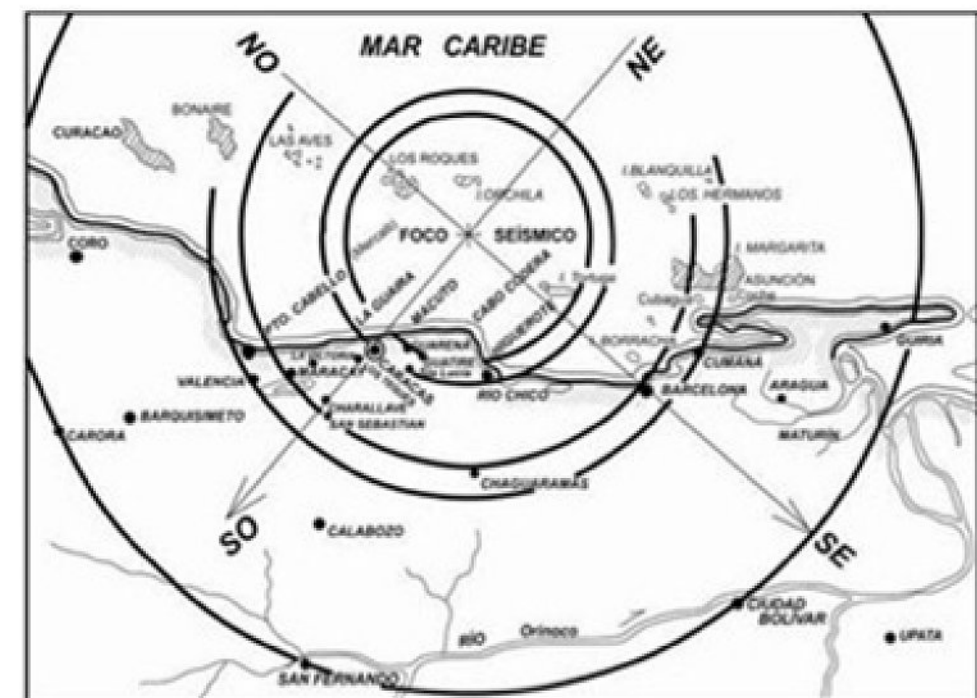
Entre los afectados que Caracas tuvo se encontraba el General Cipriano Castro, el presidente venezolano, que movido por el susto, quizás venido de sus recuerdos del terremoto cucuteño de 1875 que lo consiguió en su natal Capacho, dio un salto en ropa de dormir, se lanzó al vacío desde el balcón del segundo piso de la Casa Amarilla, residencia presidencial, y se fracturó un pie. En plena calle, solicita a sus áulicos que lo lleven a una estancia donde reposar tranquilo, “libre de terremotos”, y así se inicia la historia del Sismo de San Narciso del 29 de octubre y de sus características macrosísmicas-cartográficas, articuladas entre el periodo histórico e instrumental sísmico de Venezuela.

No faltarán las notas periodísticas en el país y así, consultados unos 4 o 5 títulos de la prensa: (e. g. *El Conciliador, La Religión, El Pregonero de los Andes, El Avisador y La Linterna Mágica*) todos ofrecerán los hechos noticiosos de ese día y de los que siguieron: *“Caracas, 29 de octubre día de San Narciso, 4:42 a.m., un poderoso terremoto sacude al territorio nacional, afectando sensiblemente a las poblaciones que conforman Guatire, Guarenas, la costa de Barlovento y los estados Vargas, Aragua y Anzoátegui; Ilegando incluso a ocasionar daños menores en uno que otro poblado llanero. Será considerado en lo sucesivo, uno de los sismos más destructores que ha padecido la ciudad capital, aunque los daños se concentraron en otros centros poblados.*

A 122 años de su conmemoración el esfuerzo discursivo y multidisciplinario encontrado por un selecto grupo de investigación, ha permitido recopilar y sistematizar una copiosa y variada documentación, cuyo estudio inicial ha revelado múltiples facetas: desde artículos científicos y técnicos en los que son descritos daños, efectos y técnicas constructivas, hasta sostener un hilo discursivo que enlaza estos escritos con la velada idea, para la época, de la sismorresistencia cuya práctica fue progresando paulatinamente.

El primer mapa de curvas isoseísmicas de Venezuela

Es necesario hacer particular énfasis en el ejemplar periodístico del diario *La Linterna Mágica* correspondiente al 15 de noviembre de 1900, pues en el aparecerá el boceto del primer mapa de isosistas de Venezuela elaborado gracias al detallado análisis y estudio de 3 profesionales de la ingeniería nacional: los hermanos Jesús y Luis, Muñoz Tébar y Melchor



Centeno Graü, cuyo informe abundante en datos acompañará dicha carta. Graü a este tiempo, es considerado el padre de los estudios sismológicos en el país.

Esta primera hoja de cartografía especializada, muestra un epicentro *macroseísmico* amplio, ubicado casi frente a la localidad de Cabo Codera y pese a no haberse obtenido observación instrumental alguna en el país, este evento quedó registrado en la primera red sismográfica de cobertura global, instalado por el geólogo inglés John Milne, quien recibía el resultado de las observaciones en la isla de *Whight*, a finales del siglo XIX provenientes de 5 laboratorios repartidos alrededor del mundo, tal como lo describe el profesor José Grases G., ya mencionado. Su limitación resulta obvia, las líneas isosísmicas trazadas en forma de círculos concéntricos, llevan a considerar que el medio de transferencia es isotrópico y su transmisibilidad es idéntica y con la misma dispersión energética en todas direcciones a partir del epicentro, lo cual es falso. Un particular detalle solventará Centeno Graü luego de 40 años del estudio original a ese mapa, le incorporará una escala de intensidades que el original no tuvo.

Para finalizar es necesario señalar que a la luz del avance en los estudios de la geología de terremotos y más en los históricos, esta situación quedó descartada, en particular por la atenuación que las curvas isosísmicas tienen a partir que las ondas del sismo se alejan del epicentro y según se modifica el medio rocoso natural.

Curiosamente, M. Centeno Graü afirmaba que en el país, se habían hecho (...) *pocos estudios en este sentido...* cuando en realidad, este es y sigue siendo el primero en conseguirse y ser descrito, de allí todo lo señalado. La bibliografía que acompaña al texto, se inserta como respaldo del artículo y en beneficio de las consultas que los lectores deseen hacer.

Bibliografía selecta:

Aveledo Morasso, Luis Eduardo, *La Academia de Matemáticas de Caracas. Instituto civil o Militar. Su proyección*. En: Boletín de la Academia Nacional de la Historia, Tomo LXXXVI, julio-diciembre, 2003, Caracas, (343-344):83-111.

Centeno Graü, Melchor, *El terremoto de 1900*. La Linterna Mágica, 15 de noviembre, Caracas, 1900, p:1-2.

Centeno Graü, Melchor, Estudios sismológicos. Litografía del Comercio, Caracas. 2ª edición, Caracas, Talleres Cartografía Nacional, 1969, (aumentada y corregida), *Volumen VIII, Academia Nacional de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*, 1969, 365 pp.

Grases Galofré, Introducción a la evaluación de la amenaza sísmica en Venezuela. Acciones de mitigación, *Fundación Pedro Grases, Conmemoración del Terremoto Cuatricentenario de Caracas*, 2002, 249 pp.

Grases, José; Gutiérrez, Arnaldo y Salas J., Rafael, La historia de la Ingeniería estructural en Venezuela, *Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat*, Comisión Nacional de la Ingeniería y el Hábitat, Volumen I, Caracas, 2016, 615 pp.

Grases, José; Gutiérrez, Arnaldo y Salas J., Rafael, *La ingeniería sismo-resistente, Capítulo VII*. En: Historia de la Ingeniería sismorresistente, *Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat*. [Documento en línea], (octubre 25, 2021) <http://www.acading.org.ve/info/ingenieria/historia_ing_est.php>.

Guzmán Leal, Alejandra; Rodríguez Arteaga, José Antonio y Audemard M. Franck Albert, *A prueba de temblores. Reflexiones sobre construcción y sismorresistencia en la Venezuela de 1900. Caso del Sismo de san narciso del 29 de octubre de 1900*, academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat, 2014, Caracas, 26:89-133. <<http://researchgate.net/publication/26282217>> [Documento en línea] (Octubre 31, 2021).

Hubschmann, Kurty, Observatorio Cagigal. Cien años de historia y de ciencia, *Cuadernos Lagoven, S. A. Filial de Petróleos de Venezuela*, 1988, Caracas, 99 pp.

Jakubowicz, E. y Larotta, S., *Terremoto del 29 de octubre de 1900*. Boletín Técnico IMME, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Caracas, 1974, 11(47): 23-78

Maldonado-Bourgoin, Carlos, La Casa Amarilla. Enclave histórico de Venezuela, *Ediciones de la Presidencia de la República-Ediciones del Ministerio de Relaciones Exteriores*, 1994, Caracas, 286 pp.

Rodríguez Arteaga, José Antonio, Dibujar un terremoto: antecedentes de la cartografía isosísmica en Venezuela, *Revista de la Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela*, Caracas, 34(1):s/p, <http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_fiucv/article/view/19294>, [Documento en línea] (octubre 31, 2021).

Rodríguez Arteaga, José Antonio, *La Sismología Histórica en Venezuela: pasado, presente y futuro* Academia Nacional de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, Caracas, 2021, (en preparación), 60 pp.

Rojas, Arístides, Sobre la tempestad seísmica de las Antillas de 1867 a 1868 con un mapa, *Vargasia, Boletín de la Sociedad de Ciencias Físicas Matemáticas y Naturales de Caracas*, Imprenta de los EE. UU. de Venezuela, 1868, 1:39-48.

Salas, Ramírez, Henry, *Primeros sismógrafos en Venezuela* Memoria del V Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica, 1980, Caracas. Reimpreso en Boletín de Historia de las Geociencias en Venezuela, Caracas, 1990, 39:1-6.

José Antonio Rodríguez Arteaga

rodriguez.arteaga@gmail.com

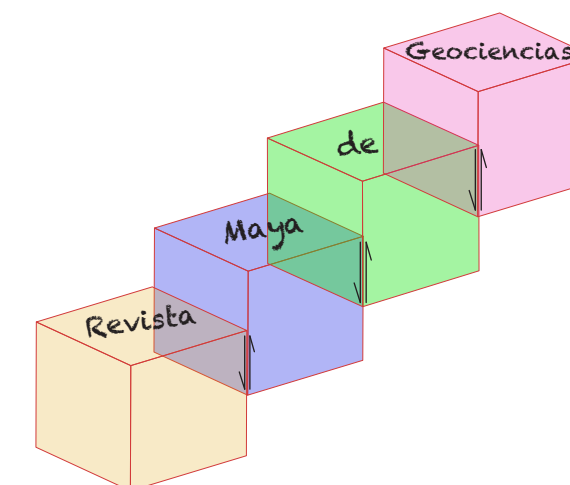
Colaborador de la Revista



José Antonio Rodríguez Arteaga es un ingeniero geólogo con 31 años de experiencia en investigación de geología de terremotos y riesgo geológico, asociado o no a la sismicidad. Es especialista en sismología histórica e historia de los sismos en Venezuela, recibiendo entrenamiento profesional en Geomática Aplicada a la Zonificación de Riesgos, Bogotá, Colombia. En sus inicios profesionales y por 5 años consecutivos, fue geólogo de campo, trabajando en prospección de yacimientos minerales no- metálicos en la región centro

occidental de Venezuela. Tiene en su haber como autor, coautor o coordinador, tres libros dedicados a la catalogación sismológica del siglo XX, al pensamiento sismológico venezolano y un Atlas geológico de la región central del país, preparado de manera conjunta con la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela. 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



Diapiro El Papalote, Cuenca La Popa, México



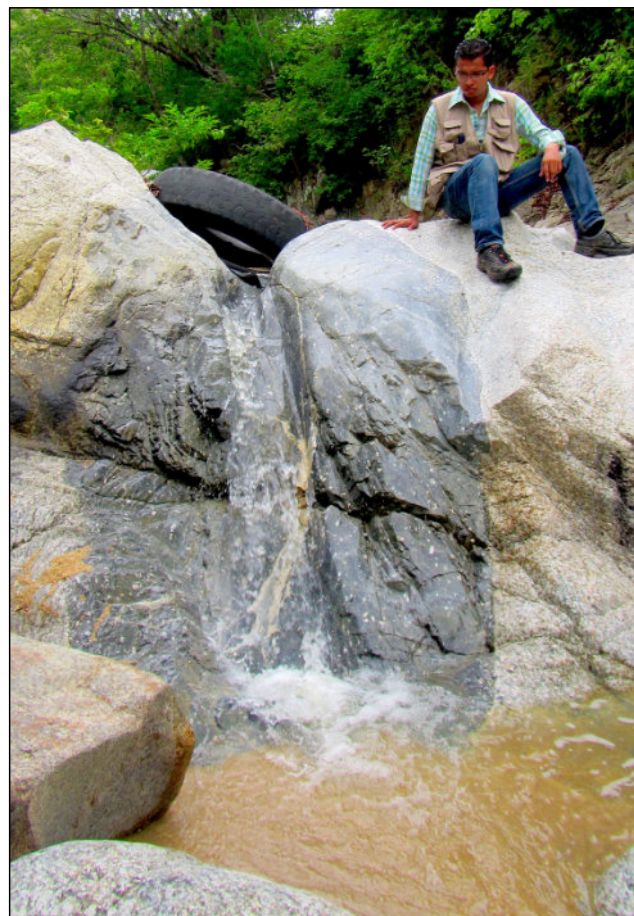
Este cuerpo salino de forma oval presenta en su eje mayor aproximadamente 2.5 km de longitud y 1 km de amplitud en su eje menor. Las evaporitas que lo constituyen fluyeron a la superficie por conducto de una falla inversa orientada NW-SE, con desplazamiento al SW, donde los sedimentos de la Formación Parras del Campaniano - Maastrichtiano Inferior, sobreyacen por fallamiento inverso a las calizas del Maastrichtiano superior. El diapiro se encuentra encajonado por rocas carbonatadas y terrígenas de la Formación Parras.

Agradezco a todos los ingenieros que me motivaron a incursionar en el camino de la geología

Adrián Bribiesca González



Calciturbiditas de la Formación Brito (Eoceno), Nicaragua.



Enclave melanocrático de 1.5 m de ancho y 2 m de largo dentro de granito. Batolito de Dipilto (~120 Ma), Nicaragua.

Fotografías de Bernardo García Amador.



Formación Morelos - KmM (Cretácico medio: Aptiano superior – Cenomaniano inferior).

Unidad litológica conformada de rocas carbonatadas que corresponden a una sucesión masiva de plataforma y finaliza con depósitos pelágicos y siliclásticos. La formación posee caliza con bandas de pedernal negro, además posee una textura microcristalina y sus estratos corresponden a amplios espesores, compuestos de calcita y bioclastos. La unidad se extiende desde la Sierra del Tentzo en dirección NW, entre los poblados San Martín Tételes (norte) y Agrícola Hidalgo (sur) en una estructura semi elíptica que abarca hasta San Diego la Mesa Tochimiltzingo en dirección NE. Está conformada por estratos de calizas de color gris a tonos rosados, a gris oscuro en zonas meteorizadas. Al norte del poblado de Ahuehuetla, las calizas se restringen a estructuras masivas. Las calizas poseen cambios de facies verticales y laterales, sin embargo, no poseen un patrón regular que marque una diferencia significativa.



Grupo Balsas – TigB (Eoceno tardío - Oligoceno).

Se encuentra constituido por conglomerado compuesto por calizas con clastos subangulosos, arenisca, filita y rocas ígneas, encerradas en una matriz arcillo – calcárea de color rojo. Aflora en determinadas region de Santa Clara Ocoyucan, en el norte de la región cerca de Valsequillo, al norte de la Sierra del Tentzo y en el sur cercano al cerro Chalmecatli. Los conglomerados reportados por la brigada han sido asociados a este grupo debido a su composición litológica y distribución. Se restringe a bajos topográficos y se encuentra discordante a la Formación Mexcala. No se reporta contacto entre las unidades. Aportaciones: **Jessica Graciela Silva Rodríguez**. Pasante de Ingeniería geológica. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Ticomán, Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México, México.

NOTAS GEOLÓGICAS



A nosotros los estudiantes de geología nos gusta mucho realizar las prácticas de campo, porque tenemos la oportunidad de tomar muchas fotografías de estructuras geológicas, montañas y de afloramientos.

Eres estudiante de geología y tienes fotografías de afloramientos de tu área de estudio o de viajes de campo?

Comunícate con

Saúl Humberto Ricardez Medina

ricardezmedinasaulhumberto@gmail.com

quien está a cargo de organizar esta información.

Contingencia del derrame de hidrocarburo: Una revisión bibliográfica de los métodos existentes para su control

Erick Miguel de Dios Méndez, Yéssica Yissel Méndez Tovar, María Fernanda Reyes González, Aldair Hernández León.

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

UNIDAD TICOMÁN

CIENCIAS DE LA TIERRA

Resumen

El presente trabajo refiere a una de las problemáticas con menor innovación científica por la industria energética: Los derrames de hidrocarburos. Este enorme problema cobró un interés particular a partir del hundimiento del Torrey Canyon en 1967 donde su tratamiento hecho con detergente como herramienta para su control, provocó una problemática ambiental de magnitudes superiores al original.

Los derrames no se reducen a ocurrir en instalaciones marinas como es bien conocido por el público general, sino también ocurre en instalaciones terrestres, de hecho, un derrame puede ocurrir en cualquier parte que transporte hidrocarburos, desde su extracción en un pozo petrolero hasta en su tratamiento en una refinería. Entre los escasos estudios actuales se destaca por su falta de información al derrame por hidrocarburos gaseosos, donde la mayor parte del tratamiento es la quema de este gas que genera una pérdida económica para el país por la falta de instalaciones superficiales que tengan la capacidad de tratarlo adecuadamente. Describiendo los métodos más comunes y utilizados para abordar esta problemática, con una breve exposición a tratamientos novedosos y en fases de prueba, el artículo abarca desde la restauración natural, aquella no aceptada por la comunidad ambientalista, hasta aquellos que aún se encuentran en etapas de prueba como lo es el método de bagazo modificado diseñado para hidrocarburos ligeros, todo esto de la mano de artículos, libros y reportes selectos.

Palabras claves: Derrame de hidrocarburo, contingencia, protocolo de control de derrames.

Abstract:

Contingencia del derrame de hidrocarburo: Una revisión bibliográfica de los métodos existentes para su control

This article was created to refer to one of the most problematic situations about scientific innovation, the few emphases in innovation of energetic industry.

Hydrocarbons spilled: This has been a problem since 1967, when Torrey Canyon sank and all its content contaminated water, and when scientists tried to clean it, the detergent that was used created a worse environmental crisis.

Spilled petroleum doesn't just happen in nautical facilities as many people think, it also occurs in terrestrial facilities.

In fact, petroleum can be spilled in every step of its transportation, from its extraction of a petroleum well until it's delivered to a refinery. There are few recent studies about what happens when gas hydrocarbons are spilled, scientists only register that the gas burns and this creates a financial waste for the country, because they don't have an installation where they can treat gas properly.

This article describes standard methods to treat a possible menace and tells a bit of new methods that can help to solve problems, and how they are in the testing phase.

We can learn about natural restoration, which is not accepted by the Ambiental community. The next methods are testing methods, like the bagasse modify method, that is used to design light hydrocarbons, according to articles, books and reports.

Key words: Oil Spill, Contingency, Oil spill control protocol.

Introducción.

Si bien, las contingencias son eventos que tienen la posibilidad de ocurrir o no (RAE), el hecho de que exista un mínimo riesgo implica una necesidad de conocer los hechos, las causas y las consecuencias de los mismos, para la implementación de planes que tienen como objetivo culminar, o en su debido caso, sobrellevar y/o minimizar sus efectos directos y colaterales.

A lo largo de la historia, el daño debido a la extracción de hidrocarburos es altamente conocido por su efecto negativo en materia ambiental, especialmente cuando hablamos de líquidos, el daño involucra cantidades extensas de superficie que son difícilmente tratables sobre el manto acuoso. Existen métodos con la

finalidad de intervenir al máximo para evitar estas catástrofes, tales como el método "de malla", donde grosso modo el agua pasa a través de una superficie con textura de malla que logra retener el aceite gracias a una capa poco visible que repele esta sustancia en la superficie; igualmente se posee el "métodos de la esponja", la que haciendo honor a su nombre, utiliza un material que absorbe el hidrocarburo acompañado de un porcentaje reducido de agua, o el más novedoso (y en vías de desarrollo) "Método por bacterias", donde bacterias específicas consumen el hidrocarburo y lo expulsan en forma de gas.

La velocidad con la que se controle el derrame es uno de los factores de mayor relevancia así como el tipo de

hidrocarburo derramado (Miranda & Restrepo, 2005), siendo que la prioridad en estas situaciones refiere contaminar en la menor de las medidas a la flora y fauna existente en el sitio. Aunado a lo anterior, el presente artículo tiene como objetivo la descripción de los procesos y métodos en uso con respecto a la contingencia del derrame de hidrocarburo.

Metodología.

El presente artículo se realizó durante los meses de agosto a noviembre de 2021 por medio de una revisión bibliográfica de la literatura existente y pertinente en castellano.

Aguas profundas.

La industria energética utiliza el término "Aguas profundas" para referirse a los pozos petroleros en mar abierto con una profundidad entre 500 y mil 500 metros; así como "Aguas someras" aquellas cuya profundidad es menor a los 500 metros y por último "Aguas ultraprofundas" para las que posean una profundidad mayor a los 1500 metros (Cochran, 2015).

Derrames

Los derrames ocurridos en plataformas tienen orígenes que van desde un mal manejo por parte del personal, diseño defectuoso en el equipo, hasta errores durante la perforación.

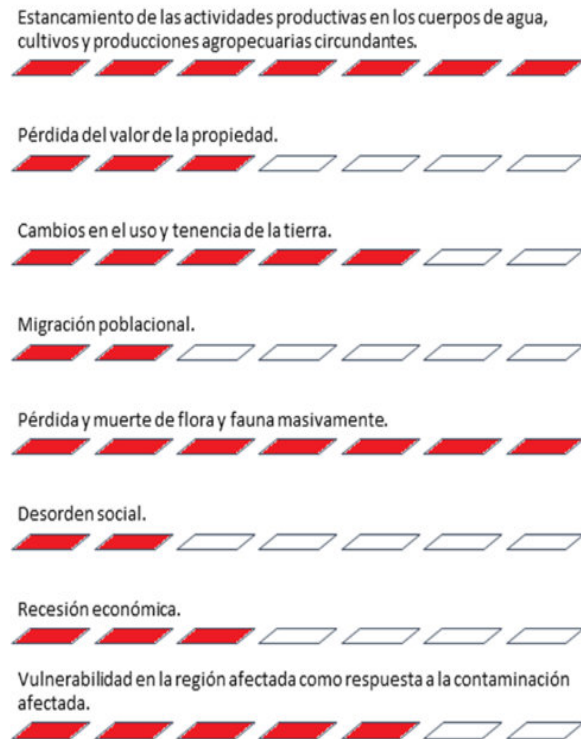
Es útil considerar que:

- En plataformas terrestres son menos probables los derrames, ya que las profundidades al igual que la dificultad en la perforación es menor que en costa.
- Normalmente estos derrames son ocasionados por accidentes mecánicos o ambientales los cuales dañan, por ejemplo el casco de un buque ocasionando el derrame.
- En refinería son escasos los derrames, pero la constante continúa siendo la falta de seguridad en el control de las presiones.
- Los derrames de petróleo también pueden tener efecto sobre la salud humana, estos pueden depender del tipo de petróleo derramado, localización del derrame (sobre la tierra, en un río o en el mar) y la exposición del individuo ante el mismo, siendo los más susceptibles a un daño aquellos encargados de la limpieza del derrame (U. S. Department of Health and Human Services, 2017).

En lo que respecta a nuestro país el "Activo Cinco Presidentes" (ACP), ubicado en el estado de Tabasco, registra la mayor cantidad de derrames de petróleo nacionalmente, contaminando el suelo y reduciendo el desarrollo del pastizal y la vegetación natural (Zabala, 2005).

Una contingencia del derrame de hidrocarburos crea un desequilibrio humano, ambiental y animal, por lo que el control de esta emergencia debe atender y reconocer las

necesidades de los tres factores, haciéndoles equivalentes en el momento de trazar estrategias de atención (Ver esquema 1) (Sánchez & Rodríguez, 2018).



Esquema 1. Aspectos vulnerados y su gravedad en una escala de 1 al 7 al ocurrir un derrame de hidrocarburos, hecho a partir de los datos de contingencias petroleras en la tríada humano-Flora-Fauna (Sánchez & Rodríguez, 2018).

Ventdeo de Gas hidrocarburo.

El gas asociado que emerge junto al crudo a la superficie durante la producción de petróleo puede ser eliminado (en las instalaciones en tierra) venteando o quemándolo a la atmósfera; el venteo del gas consiste en el no aprovechamiento del gas surgente de un pozo de producción de petróleo, que se quema (similar a una antorcha) por motivos de seguridad.

Tipos de derrame.

- Aceite (petróleo).
- Venteo de Gas-hidrocarburo.

Los derrames pueden ocurrir en plataformas marinas, plataformas terrestres, refinéras o en buques-tanques.



Imagen 1. Activo cinco presidentes. Tabasco, México. Fotografía de Augusto Fabre.

La “marea negra”, como puede referenciarse los derrames petroleros, consisten en un vertido de este material durante un error en la práctica, equipo o causas naturales que interrumpan, entorpezcan o limiten el correcto empleo de los trabajadores (o la maquinaria) que inevitablemente contamina el medio ambiente [Ver tabla 1].

Este procedimiento suele utilizarse cuando

- No existen instalaciones de gasoductos.
- Se trata de pozos aislados.
- Por tratarse de un gas con contenido de sustancias inertes nocivas al consumo (CO2 Y H2S).
- Despilfarro del gas natural por el intento del aprovechamiento exclusivo del petróleo.

Barriles derramados.	Contaminación aproximada
Inferior a 250 barriles	Menos de 10 millas de costa.
250- 2,500 barriles	10- 90 millas de costa
Superior a 2,500 barriles	Más de 100 millas de costa

Tabla 1. Contaminación por barriles de petróleo derramado en la costa. Datos rescatados del Manual para el control de derrames de petróleo

Cuando la mayoría de los hidrocarburos son derramados, se extienden rápidamente en capas delgadas (excepto los viscosos), facilitando la evaporación del petróleo al aumentar el área expuesta a la atmósfera, igualmente aumenta la pérdida de calor hacia la superficie inferior, impidiendo la evaporación y por ende la combustión (Vergara I. & Pizarro F, 1981).

Control en el derrame de hidrocarburos.

1. Protección de las líneas de costa.

Si un área de derrame puede ser limitada en (o cerca) de las líneas de agua, la limpieza y remoción del hidrocarburo será menos compleja. Para lograrlo, se hace uso de barreras físicas como la construcción de una

berma, en el Manual para control de derrames de petróleo los autores recomiendan que se aproxime una altura de 3 pies. Debe entonces, obviarse que la berma construida debe crear un límite entre arena seca y el área contaminada [Imagen 2].

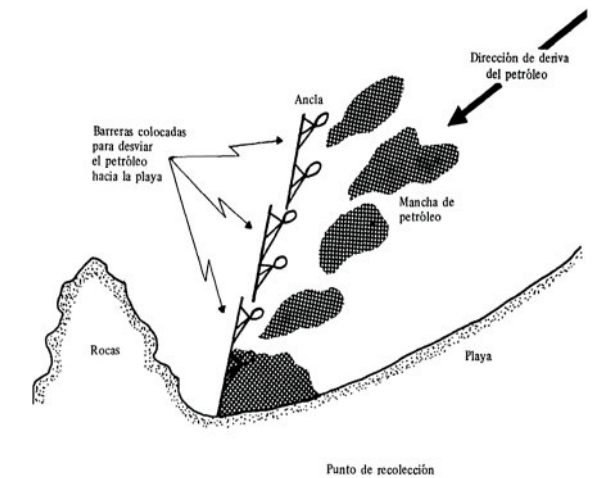


Imagen 2. Procedimiento de protección de líneas de costa propuesto por el Manual para control de derrames petroleros.

2. Capas y sábanas de absorbentes.

En los casos de costa y donde se cuenta con tiempo suficiente para alertar el derrame, es recomendable colocar a lo largo de las marcas de marea baja material absorbente a medida que la marea y el petróleo suben hacia la playa, esta medida regularmente logrará disminuir el impacto en la superficie costera [Imagen 3].

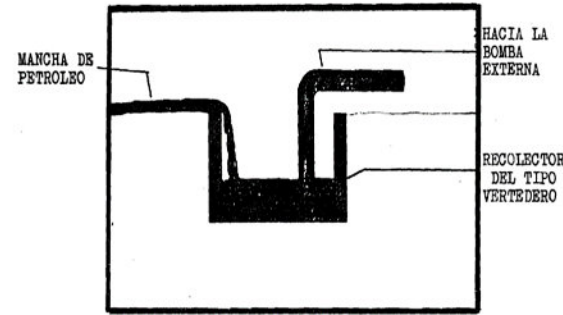


Imagen 3. Principio de operación de los recolectores propuesto por el Manual para control de derrames petroleros.

3. Revestimiento superficial.

Ayudados de material impermeable puede recurrirse a cubrir la playa con un revestimiento plástico para reducir la penetración del petróleo en el material de la línea de costa [Imagen 4].



Imagen 4. Personal en el control de derrame de petróleo utilizando EPI. Colocando barrera de material absorbente artificial. Fotografía por Erick de Dios.

4. Restauración.

Teniendo claro la extensión y tipo de contaminación de petróleo puede escogerse el procedimiento de limpieza adecuado, debe tenerse en cuenta las propiedades del hidrocarburo derramado y la forma en

la que llega hacia la costa (Ver tabla 2).

Tabla 2. Tipos de restauración.

Restauración natural.

Logrado por la acción del viento, lluvia, oleaje y sol aunado a la degradación química y biológica.

Es necesario aclarar que la naturaleza no puede remover, ella tiende a cubrir la zona contaminada, por lo que la acción natural no es netamente aceptada como método alternativo de limpieza

Restauración por métodos y equipos.

Remoción de los sedimentos contaminados y su reemplazo con materiales o la dispersión del contaminante y/o material contaminado.

Métodos usuales.

- Limpieza química.
- Limpieza con vapor.
- Arenado.
- Limpieza hidráulica.
- Entierro.

Tabla 2. Restauraciones en uso para la remoción de derrames petroleros (Vergara I. & Pizarro F, 1981).

5. Remoción.

a) Absorción

El material absorbente, tal como la paja o más novedoso aún *“la esponja”* son beneficiosos y utilizados frecuentemente antes de la llegada del hidrocarburo, sin embargo, en áreas rocosas es propenso a entorpecer la remoción al acumularse o debido a los fallos en las bombas o filtros.

b) Remoción manual y mecánica

Es un proceso regular en zonas rocosas o alrededor de los charcos que se forman con la marea baja. La remoción manual (con rastrillos y palas) se reduce a áreas de poca contaminación, a diferencia de las mecánicas, que son preferidas cuando el área afectada es extensa (e incluso puede considerarse en áreas de extensión moderada) [Imagen 5].



Imagen 5. Personal en el control de derrame de petróleo utilizando EPI. Método de remoción empleado: Remoción manual. Fotografía por Ivan Quecha.

c) Biodegradación.

Ligado a una extensa remoción de arena y administración de nutrientes, existen bacterias capaces de intervenir en el petróleo, ocurriendo una degradación natural, y por ende, de lento avance.

d) Combustión.

Pequeños charcos de petróleo (fresco o liviano) pueden recurrir a este método si cumplen con la característica de no haber evaporado sus fracciones livianas, no obstante, el olor y humo, suponen dificultades para el personal durante la limpieza, así como las llamas de alta intensidad en el momento de la remoción del hidrocarburo de rocas.

Métodos de remoción emergentes (Materiales absorbentes).

Método “Esponja”.

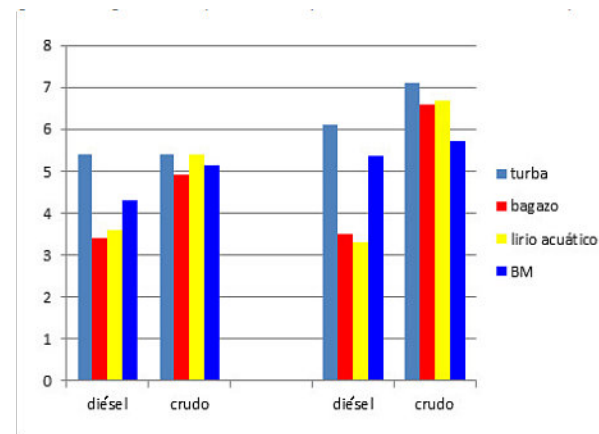
Los métodos dependientes de material absorbente son beneficiosos al ser colocados previos a la llegada del petróleo que flota en la superficie acuática, permitiendo la recolección del mismo y evitando que profundice en la arena (Vergara I. & Pizarro F, 1981). El *método de la esponja* es un bloque de hule espuma, similar a un almohadón, con la capacidad de absorber fácilmente el petróleo del agua, sin absorber (o adsorber el mínimo) de esta última. Se ha demostrado que es útil para combatir los derrames costeros, sin embargo poco se conoce sobre su efectividad en aguas profundas debido a la presión de las profundidades del mar.



Imagen 6. “Oleo-esponja”, material específico para la remoción de hidrocarburos. Fotografía: Diario Deia.

Método “Bagazo modificado”

La búsqueda por un método de recolección del vertido pretende balancear la eficiencia con el precio más rentable para la empresa (Díaz-Díaz M. Rivas-Trasancos L. & Acosta-Sánchez J., 2018). El centro de Investigación del Petróleo en la Habana realizó una serie de pruebas en periodos cortos (15 minutos) y largos (24 horas) con bagazo secado por 72 horas a 30-32°C, el cual fue sometido a tratamiento con soluciones de hidróxido de sodio (NaOH) al 3% y peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 0.5% en donde los resultados mostraron una capacidad de absorción de promedio de 5.13 y 5.30 g de hidrocarburo-agua/g absorbente para diésel y crudo respectivamente. Es decir, es competente con respecto a los materiales comerciales existentes para el fin del control de derrames de hidrocarburos, obteniendo porcentajes similares de sorción con un costo relativamente menor (Ver gráfica 1).



Gráfica 1. Comparación del producto obtenido (bagazo modificado BM) con materiales absorbentes comerciales. Fuente: Díaz-Díaz M. Rivas-Trasancos L. & Acosta-Sánchez J. (2018)

Es importante recalcar que tanto las pruebas estáticas como dinámicas fueron realizadas en crudo ligero y mediano (0.873 gr/cm³) y (0.916 gr/cm³) de densidad respectivamente.

Conclusiones.

El avance de métodos de vanguardia es lento ya que es necesario simular todas o al menos la mayoría de las condiciones ambientales de un derrame para ser más eficientes en su limpieza, recuperación o eliminación.

Los derrames de hidrocarburos fueron revelados al mundo por la imagen desagradable en 1984. Demostrando la falta de preparación de las empresas para un accidente de tal magnitud; actualmente no se está estudiado a profundidad por la industria energética debido a que se pretende que toda la infraestructura desde la extracción de hidrocarburos hasta la venta después de su refinación se encuentre en óptimas condiciones con la finalidad del aprovechamiento eficiente de los recursos no renovables. Y si bien, en el despertar de hoy existen métodos que cumplen con la función de recuperar o eliminar los hidrocarburos de casi cualquier superficie poseen dos grandes desventajas como puede ser el largo tiempo que suele transcurrir entre la detección y acción del personal para solventar la situación.

Referencias

- Real academia española (RAE) : *Diccionario de la lengua española*, 23.^a ed., [versión 23.4 en línea]. Disponible en: <https://dle.rae.es/contingencia>.
- Miranda, D. (). *Los derrames de petróleo en ecosistemas más tropicales, impactos y consecuencias*. Obtenido de watermark: <http://meridian.allenpress.com/iosc/article-pdf/2005/1/571/2348386/2169-3358-2005-1-571.pdf>
- Medlineplus. (2017). MedlinePlus. Obtenido de Derrame de petróleo. Disponible: <https://medlineplus.gov/spanish/oilspills.html>
- Joel Zavala-Cruz, F. G.-R. (1 de 11 de 2021). DERRAMES DE PETRÓLEO EN SUELOS Y ADAPTACIÓN DE PASTOS TROPICALES EN EL ACTIVO CINCO PRESIDENTES, TABASCO, MÉXICO. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/573/57323302.pdf>
- Sánchez A. Rodríguez C. (2018). Estudio de caso de derrames de

petróleo y la necesidad de su atención desde una salud. *Revista Facultad Ciencias Agropecuarias – FAGROPEC*. Universidad de la Amazonia, Florencia – Caquetá. 10(1). Pp. 5-10. Disponible: <https://www.uniamazonia.edu.co/revistas/index.php/fagropec/article/view/1544/2092>

Cochran, M. (2015). Aguas profundas en Pemex. Disponible en <https://vanguardia.com.mx/opinion/3002146-aguas-profundas-en-pemex-queson-BQVG3002146>

Vergara I. & Pizarro F. (1981) *Manual para el control de derrames de petróleo*. Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/18742>

Díaz-Díaz M. Rivas-Trasancos L. & Acosta-Sánchez J. (2018). Material absorbente para recogida de hidrocarburos en derrames en aguas y suelos. *Revista Cubana de Química*, 30(2), 289-298. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-5421201800020010&lng=es&tlng=es.

LITOESTRATIGRAFÍA, BIOESTRATIGRAFÍA, CRONOESTRATIGRAFÍA

Horacio Parent

Laboratorio de Paleontología & Biocronología, IFG, FCEIA, Universidad Nacional de Rosario, Pellegrini 250, 2000 Rosario, Argentina. Correo-e: parent@fceia.unr.edu.ar

Resumen. Entre los numerosos sistemas de clasificación estratigráfica se destacan como fundamentales la litoestratigrafía (tipos de roca, litología), la bioestratigrafía (contenido fósil), y la cronoestratigrafía (edad estratigráfica de las rocas). Cada sistema de clasificación incluye una nomenclatura específica constituida por unidades organizadas. Esta independencia surge naturalmente de las características de las sucesiones de roca que se consideran en cada clasificación. Estas diferencias imponen la necesidad de especificar el tipo de correlación que se establece cuando se comparan sucesiones estratigráficas. Las diferencias entre biozona (unidad bioestratigráfica) y zona cronoestratigráfica son simples y esenciales, aunque a veces son confundidas ó utilizadas indistintamente. La unidad bioestratigráfica bio-horizonte es el vínculo entre bioestratigrafía y cronoestratigrafía, es la unidad que permite establecer una secuencia temporal de rocas a partir de la secuencia de fósiles contenida en ellas.

Palabras clave: estratigrafía – clasificación – nomenclatura – secuencias de fósiles – secuencias de tiempo – correlaciones – escalas estandarizadas.

INTRODUCCIÓN

La estratigrafía consiste en el estudio de las rocas estratificadas, y para ello el primer paso es la descripción y clasificación. Como para todos los sistemas naturales, pueden elaborarse diversas clasificaciones y nomenclaturas. Y así es que existen varios sistemas de clasificación que han ido elaborándose a lo largo de los mas de 300 años de historia de estudios con algún interés en aspectos del significado y de la edad de las rocas. Estos estudios fueron sistematizándose gradualmente.

Steno (1669) formuló las primeras leyes de la estratigrafía y reconoció la verdadera naturaleza de los fósiles como restos de animales vivientes en épocas pasadas. Un hito fundamental fue el enunciado, por parte de Steno, del principio de superposición, a partir del cual se establecieron las bases para el estudio de las rocas en términos temporales. Otro temprano y crucial avance se produjo a partir de los estudios de Lavoisier (1789), quién

estableció el principio fundamental de las solapaciones transgresivas y regresivas (véase revisión de Carozzi 1965).

Existen importantes diferencias entre los diferentes sistemas de clasificación estratigráfica, las cuales pueden aprovecharse muy fructíferamente para estudios paleontológicos, estratigráficos, y de geología histórica, entre otros. Sin embargo, aún cuando disponemos de un código estratigráfico internacional (Salvador 1994) y otros varios locales, prácticamente uno por cada país, no hay consenso general acerca de grandes aspectos de la clasificación y de la nomenclatura, especialmente en bioestratigrafía y cronoestratigrafía.

En esta nota ofrecemos una síntesis de los sistemas más importantes de clasificación estratigráfica y su nomenclatura, la triada fundamental: litoestratigrafía, bioestratigrafía, y cronoestratigrafía. Nos ocuparemos con interés especial en algunos aspectos específicos de la cronoestratigrafía que generalmente no son considerados.

CLASIFICACIÓN ESTRATIGRÁFICA

Los tres sistemas de clasificación estratigráfica más importantes se basan sobre diferentes características de las rocas (Fig. 1):

- (1) Litoestratigrafía: se consideran las características litológicas de los cuerpos de roca
- (2) Bioestratigrafía: se considera el contenido fósil de las rocas
- (3) Cronoestratigrafía: se considera la edad de las rocas. La edad estratigráfica consiste en intervalos de tiempo representados por intervalos de roca. Estos intervalos se definen como unidades (ver abajo) con nombres específicos (e.g., Cenozoico, Cretácico Superior, Zona Proximus), representando intervalos de tiempo de duración variable y en principio desconocida. Estos intervalos pueden datarse numéricamente mediante distintos métodos que proveen aproximaciones, en general poco útiles.

La definición de las unidades de cada clasificación estratigráfica es independiente de las demás. Sin embargo, la cronoestratigrafía puede derivarse de características bioestratigráficas de las sucesiones, lo cual se discute abajo.

Los tres sistemas están basados sobre diferentes características en su clasificación y método, por lo cual las correlaciones deben especificarse como correlación litoestratigráfica, correlación bioestratigráfica, y correlación cronoestratigráfica o temporal, según las características consideradas para la comparación.

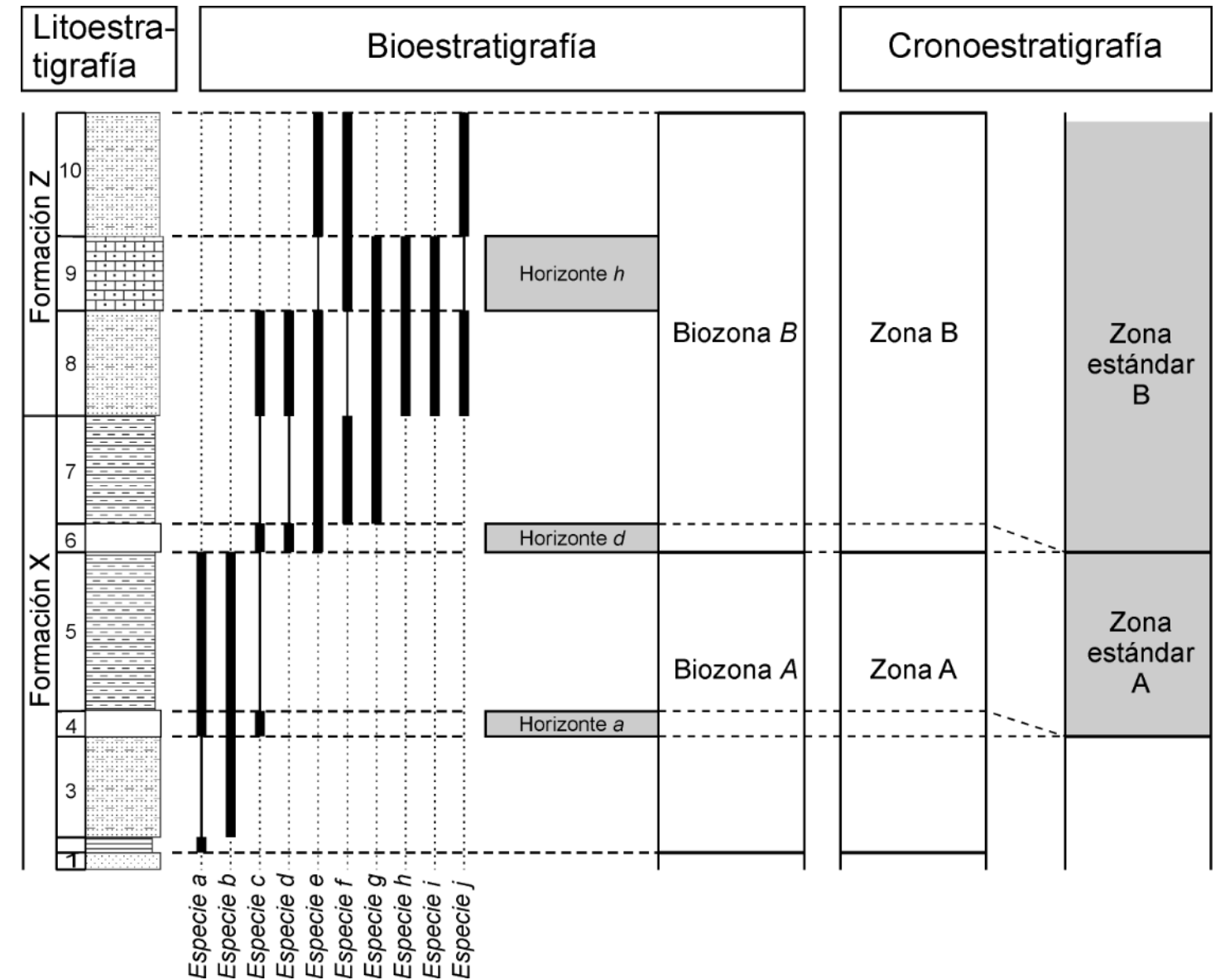


Figura 1. Esquema conceptual de la construcción de una escala cronoestratigráfica por medio de la definición de zonas a partir de la translación de la distribución bioestratigráfica de la secuencia de fósiles en secuencias de roca-tiempo. Como ejemplo, el Horizonte a es nombrado a partir de la especie a elegida como índice, y es caracterizado (y puede ser reconocido en otras secciones) por la co-ocurrencia de las especies a, b y c. La Biozona A es definida por el intervalo de ocurrencia de la especie a, accesoriamente podría reconocerse por la ocurrencia de las especies b, c, alguna de sus combinaciones. La Zona A, conjugada de la Biozona A, corresponde al intervalo de tiempo representado por la sucesión de rocas de los niveles 2-4. La Zona Estándar A es definida por su base, la cual consiste en el plano de tiempo representado por el Horizonte a. Nótese que el límite entre las Formaciones X y Z no coincide con los límites de las unidades bio- y cronoestratigráficas.

NOMENCLATURA

Cada sistema de clasificación estratigráfica se organiza con una nomenclaturas específica, consistente en unidades y subunidades organizadas jerárquicamente. Cada unidad debe definirse en una sección tipo.

(1) Unidades litoestratigráficas, definidas como cuerpos de roca con una litología determinada (independientemente de su edad o contenido fósil):

- estrato
- formación (puede subdividirse en miembros)
- grupo
- supergrupo

(2) Unidades bioestratigráficas, definidas como cuerpos de roca caracterizados por su contenido fósil (independientemente de su edad y litología):

- horizonte fáunico ó bio-horizonte
- sub-biozona
- biozona. Estrato o estratos conteniendo un determinado número de especies fósiles. Se han propuesto numerosos tipos de biozona (e.g. Código Argentino de Estratigrafía 1992: 30), sin embargo nunca queda claro como estas diferentes "biozonas" se relacionan con las respectivas eventuales subzonas. Por otra parte, todos estos tipos de "biozonas" dependen de variables condiciones de muestreo y reconocimiento, por lo tanto aquí no se recomienda su utilización en forma tácita.

(2) Unidades cronoestratigráficas, definidas como cuerpos de roca delimitados por planos de tiempo y caracterizadas por su edad, independientemente de su litología:

- zona cronoestratigráfica, ó mas simplemente y sin ambigüedad: zona
- subzona
- piso
- serie
- sistema

Las biozonas y bio-horizontes se nombran con la segunda parte del nombre binomial de la especie elegida como índice, con tipografía cursiva (itálica). Las biozonas con la primera letra mayúscula, mientras que los bio-horizontes con todo su nombre en letras minúsculas (e.g. Callomon 1985). Las zonas cronoestratigráficas son nombradas con la segunda parte del nombre binomial de la especie índice, escrita con la primera letra mayúscula y tipografía en recto. Esta nomenclatura es la única utilizada históricamente, sin excepciones, para las unidades cronoestratigráficas de jerarquía superior (e.g. Era Paleozoico, Período Cretácico, Estado/Piso Sinemuriano). Generalmente las zonas tienen el mismo nombre que su biozona conjugada, de manera que el uso de tipografía recta permite una clara diferenciación entre estas unidades estratigráficas de distinta naturaleza.

Es importante insistir en que las zonas y biozonas son unidades estratigráficas, no zoológicas, por lo que no se requiere el uso del nombre completo de la especie índice. Además, el uso del nombre completo produce inestabilidad nomenclatural, dado que es frecuente que las especies sean reasignadas genéricamente.

En las clasificaciones cronoestratigráficas basadas sobre fósiles (cronoestratigrafía bioestratigráfica) las unidades son caracterizadas por su contenido fósil. Es importante notar que los límites superior e inferior de cada unidad consisten en planos de tiempo que no son reconocibles en

el terreno, sino inferidos ó estimados a partir de los fósiles ocurrentes. Sin embargo estos planos de tiempo pueden ser definidos, y luego reconocidos, a partir de bio-horizontes. Si las unidades son definidas sólo por su base, como un bio-horizonte, se establece una secuencia estandarizada que es el estado más avanzado de una clasificación estratigráfica.

Estas escalas cronoestratigráficas estándar no presentan lagunas (intervalos sin asignación) ni solapaciones o superposiciones de unidades.

Cuando la edad estratigráfica es estimada a partir del contenido fósil, la relación entre bio- y cronoestratigrafía es crucial. La utilidad de las clasificaciones cronoestratigráficas radica en que permiten elaborar esquemas de ordenamiento temporal de sucesos biológicos y geológicos locales y luego la correlación temporal de estas sucesiones locales con las de otras regiones de la Tierra, es decir, reconstruir la historia geológica. Estas unidades cronoestratigráficas son las unidades de medida de una escala, tal como el metro en la escala de longitud. La diferencia con las del tipo de esta última radica en que cada unidad posee un nombre, y no es un intervalo de una escala numérica. Estas unidades son presentadas como subdivisiones cuya duración temporal numérica no es considerada.

Especie índice y especies guía. Estos dos conceptos son independientes y fueron claramente diferenciados por Oppel (1858) al introducir el concepto de zona (cronoestratigráficas desde su concepción, ver Callomon 1995, Page 2017, Mönnig 2017); sin embargo, son frecuentemente confundidos o utilizados indiferentemente.

La especie índice cumple, en principio, la única función de proveer un nombre, tomándose la segunda parte de su nombre específico binomial, para etiquetar o nombrar la zona (o biozona) en la cual al menos debe ocurrir.

Las especies guía, o conjunto característico, son aquellas que se utilizan para caracterizar las zonas (o biozonas); la especie guía puede formar parte. Mediante los fósiles guía se reconocen las zonas en otras localidades fuera de la localidad de la sección tipo, siendo este reconocimiento la base del procedimiento de correlación cronoestratigráfica con base bioestratigráfica. Los fósiles guía ideales son aquellos con las siguientes características:

- (1) su morfología (fenotipo) cambia rápidamente durante su evolución,
- (2) amplia distribución geográfica,
- (3) abundantes en rocas de distintas facies,
- (4) no requieren técnicas muy laboriosas ó especiales de preparación y de estudio, y
- (5) fácilmente identificables por inspección visual.

Los amonites, como fósiles de animales que fueron abundantes en todos los mares y océanos paleozoicos y mesozoicos, con conchas de tamaño medio fácilmente manipulable, de variadas morfología y ornamentación, que se han preservado muy convenientemente y distribuido muy ampliamente, se acercan sorprendentemente al ideal. De todas maneras limitaciones existen, especialmente con respecto a su distribución paleogeográfica. En numerosos intervalos de la historia evolutiva de los Ammonoidea se han producido distribuciones claramente segmentadas en franjas aproximadamente latitudinales (Arkell 1956, Dommergues & Marchand 1988, Cecca 1999). Esta distribución latitudinal ha producido la segregación en variados dominios australes, tethysianos, y boreales que imponen el desarrollo de escalas locales para su posterior correlación temporal con la escala estándar primaria internacional (Callomon 1995, 2001, Schweigert 2015).

ESCALAS CRONOESTRATIGRÁFICAS DERIVADAS DE LA BIOESTRATIGRAFÍA: CRONOESTRATIGRAFÍA BIOESTRATIGRAFICA

Entre las diferentes componentes del registro estratigráfico disponibles para establecer escalas cronoestratigráficas, se destaca, por su nivel de resolución y precisión, el registro fósil. Toda secuencia de fósiles tiene una secuencia temporal conjugada (Fig. 1). Es decir, que estas sucesiones de distinta naturaleza pueden relacionarse biunívocamente por medio del establecimiento de la sucesión de fósiles cuyas diferencias fueron modeladas por la evolución orgánica de cada una de las especies. Una vez establecida la sucesión de asociaciones de fósiles pueden utilizarse para definir escalas de tiempo estratigráfico o cronoestratigráficas. Estas últimas permiten datar otros terrenos por correlación temporal basada sobre la semejanza de las sucesiones fosilíferas locales con aquella de la localidad tipo de la unidad cronoestratigráfica.

Las estimaciones isotópicas/radiométricas de edades numéricas son muy imprecisas con respecto a la precisión y resolución de las cronoestratigráficas basadas en amonites (Holland 1989, Callomon 1995, Torrens 2002, Page 2017). Por otra parte estas dataciones numéricas son difícilmente secuenciables por depender de condiciones excepcionales de muestreo, lo cual impide la obtención de secuencias de dataciones con densidad comparable a las basadas sobre fósiles. Estas limitaciones hacen que las dataciones numéricas sean prácticamente inútiles para correlación temporal ya que son muy imprecisas y por otra parte difícilmente puedan compararse con dataciones semejantes, si existen, de los estratos tipo que definen las unidades de la escala cronoestratigráfica estándar internacional.

En conclusión, el proceso para la obtención de una clasificación cronoestratigráfica consiste en la translación de las secuencias de fósiles en sus secuencias de tiempo conjugadas representadas por intervalos de rocas con fósiles determinados. Para realizar esta translación, y así subdividir el intervalo de tiempo considerado/comprendido en sub-intervalos (unidades cronoestratigráficas), deben designarse ciertos caracteres bioestratigráficos como marcadores de instantes geológicos –planos de tiempo– que definan los límites entre las unidades cronoestratigráficas. Los marcadores bioestratigráficos mas estables y precisos son, sin dudas, los bio-horizontes, el vínculo observable y comparable entre bio- y cronoestratigrafía.

Marcadores bioestratigráficos. La base de la cronoestratigrafía bioestratigráfica es la definición de marcadores adecuados del registro fósil, que puedan considerarse planos de tiempo en la práctica. Es de suma importancia indicar el tipo de marcador bioestratigráfico que se considera en toda definición de unidades cronoestratigráficas. Los caracteres bioestratigráficos que se utilizan frecuentemente como marcadores temporales para establecer planos de tiempo son dos tipos de registro de la ocurrencia de fósiles:

(1) *puntuales*: primera y/o última ocurrencia de una especie/fósil. Estos marcadores son de carácter puramente local y consecuentemente muy imprecisos para practicar correlación temporal especialmente por su inherente inestabilidad. Las primeras y últimas ocurrencias, que en algunos casos son interpretadas como origen y extinción, son controladas por factores locales como escalas migratorias, condiciones ambientales in vivo, condiciones tafonómicas, y/o contingencias de muestreo, entre otras (Fig. 2). Las ocurrencias puntuales de los morfotipos de cualquier especie dependen no solamente de la edad de los estratos muestreados, sino también del tamaño de las muestras (Garrido & Parent 2013, Parent et al. 2015; cf. Dzik 1985). Cuando se consideran muestras de diferentes localidades o correspondientes a distintas cuencas sedimentarias, las diferencias pueden llegar a ser notables.

(2) *asociación o conjunto*: cuando se considera un conjunto de especies con rango concurrente, se establece un horizonte ó bio-horizonte. Un bio-horizonte es un estrato o serie de estratos, caracterizado por un conjunto especificado de fósiles (asociación guía o característica), intervalo en el cual éstos últimos no presentan cambios (evolutivos) de su morfología y por lo tanto no habilitan subdivisión. Estos conjuntos de fósiles pueden distinguirse, como asociación, de cualquier otro sub- o suprayacente.

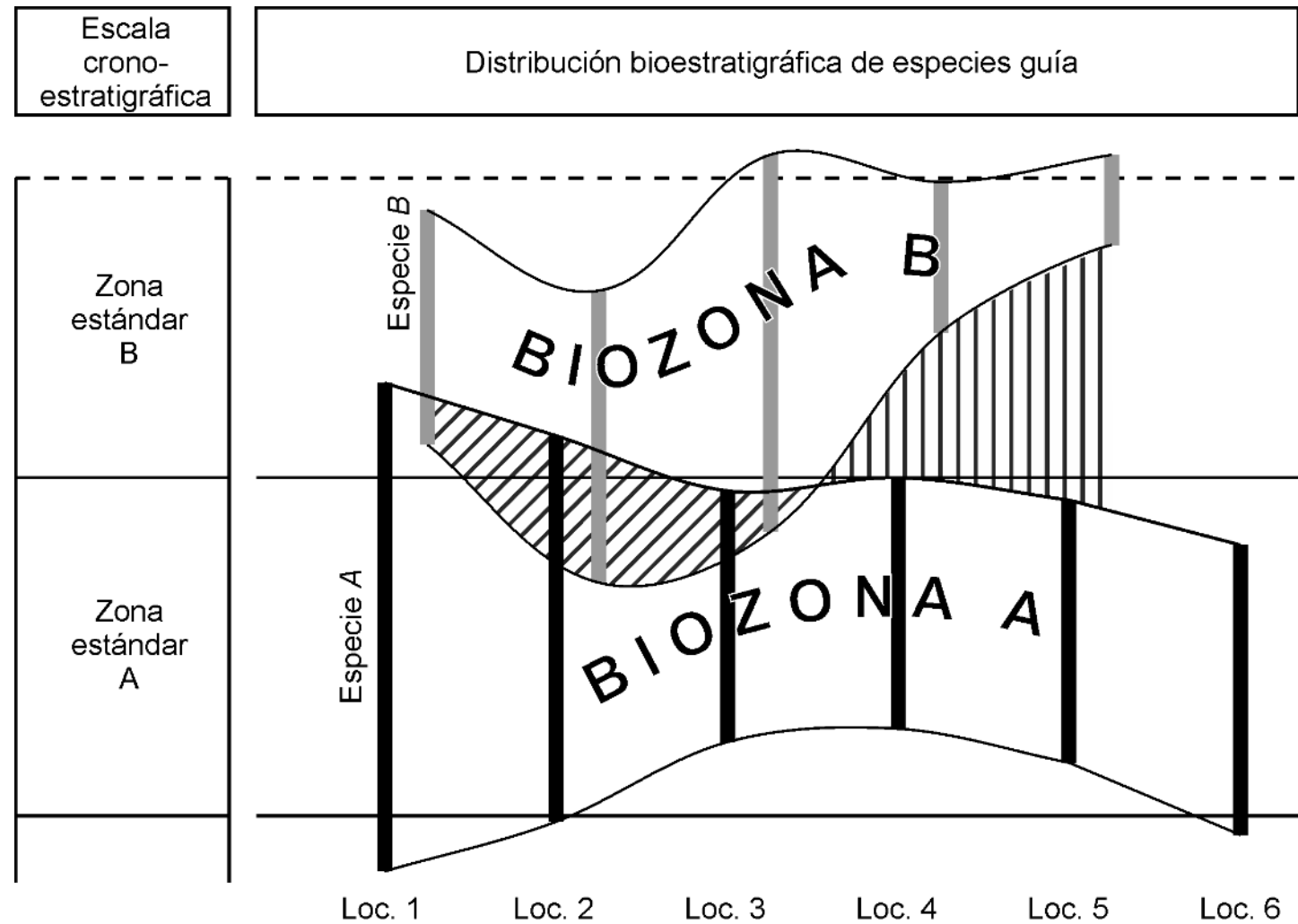


Figura 2. Relaciones entre zonas cronoestratigráficas y biozonas. Distribución bioestratigráfica de las especies guía A y B en secciones de distintas localidades (Locs. 1-6) datadas por una escala cronoestratigráfica parcialmente estandarizada. Los intervalos individuales de ocurrencia de las especies A y B en las diferentes localidades son diferentes por razones de muestreo, interpretación taxonómica, tafonomía, condiciones locales de los biotopos in-vivo, entre otras. El registro de estas ocurrencias puntuales determinan las biozonas locales, y en conjunto la cambiante biozona de cada especie en la región. Las biozonas típicamente presentan áreas donde se solapan (Locs. 1-3) y otras donde existen intervalos sin registro concurrente (Locs. 4-6). Estas dos situaciones, que son las más frecuentes, son las fuentes principales de errores y/o imprecisiones en las correlaciones temporales basadas sobre biozonas, especialmente aquellas denominadas o basadas en primera y última ocurrencia de la especie guía. Las biozonas tienen límites verticales y horizontales (geográficos), son cuerpos de roca delimitados por el intervalo de ocurrencia de los fósiles, ya que éstos tienen límites en sus distribuciones geográfica y de registro vertical. Las zonas no tienen límites laterales ya que son planos de tiempo. Sin embargo su reconocimiento se dificulta por la naturalmente restringida distribución biogeográfica de las especies que la caracterizan en la localidad tipo. Esta dificultad se resuelve estableciendo escalas zonales (cronoestratigráficas) regionales y correlacionándolas temporalmente mediante fósiles que se registran en común en las regiones comparadas.

El bio-horizonte es una unidad bioestratigráfica que representa el menor intervalo de tiempo que puede discriminarse, y posteriormente reconocerse, en estratigrafía mediante fósiles, y por lo tanto la mejor aproximación a un plano de tiempo. Esta propiedad hace que los bio-horizontes sean los marcadores más apropiados para delimitar zonas cronoestratigráficas a partir de las secuencias de fósiles y sus biozonas, i.e., transformar las secuencias de fósiles en secuencias temporales para construir escalas de tiempo en términos estratigráficos. Esta unidad bioestratigráfica es el vínculo empírico directo entre cronoestratigrafía y bioestratigrafía.

Los bio-horizontes podrían considerarse biozonas, las más restringidas de todas las variantes, aquellas de "intervalo de concurrencia de conjunto" (discusión en Parent 2006). Estos marcadores son mucho más precisos y robustos por estar típicamente basados sobre un intervalo estratigráfico determinado por la co-ocurrencia de varios fósiles (véase Gabilly 1971, Callomon 1985, 1995, Garrido & Parent 2013 y referencias en estos artículos). La probabilidad de que una determinada asociación de los morfotipos de especies representadas en un bio-horizonte se repita en distintos momentos, en otras posiciones dentro de la secuencia estratigráfica, es virtualmente nula.

EJEMPLO DE CLASIFICACIÓN LITO-BIO-CRONOESTRATIGRÁFICA

Ofrecemos un ejemplo para ilustrar los conceptos discutidos, la nomenclatura, y su interpretación y aplicación. Este ejemplo está basado sobre los estudios originales de Krantz (1926), Weaver (1931), Leanza (1981), y los del presente autor junto a sus colaboradores (Parent et al. 2007, 2015, 2017, Parent & Garrido 2021), sobre el Tithoniano-Berriasiano de la cuenca Neuquina ó Neuquén-Mendoza.

Consideremos la secuencia de rocas que en la Cuenca Neuquina contiene abundantes amonites entre los que se destaca la especie *Windhausenicerias internispinosum* (Krantz, 1926). De acuerdo con su litología y su posición estratigráfica relativa concordante con respecto a formaciones colindantes, estas rocas corresponden litoestratigráficamente a la Formación Vaca Muerta. Esta unidad de edad Tithoniano-Valanginiano está ampliamente distribuida en toda la cuenca.

A partir de los fósiles contenidos, el intervalo de roca considerado puede clasificarse bioestratigráficamente, parcial ó totalmente dependiendo la localidad, como Biozona *Internispinosum*. En el sentido habitual corresponde a la sucesión de rocas que contienen *W. internispinosum*. El nombre de esta biozona es derivado del nombre de la especie mencionada, la cual fué seleccionada como especie índice y, dada la época por defecto, como especie guía, por Weaver (1931: 46).

El intervalo de roca considerado se clasifica cronoestratigráficamente como Zona *Internispinosum*. Esta zona consiste en la secuencia estratigráfica, el intervalo de roca representando un intervalo de tiempo, comprendida entre la primera y la última ocurrencia de *W. internispinosum*. Estas primera y última ocurrencias se interpretan, aunque implícitamente, como planos de tiempo que delimitan la zona. La Zona *Internispinosum* puede reconocerse en cualquier localidad en la que se identifique la especie guía o alguna asociación de las especies de la asociación característica (ver Parent & Garrido 2021). Evidentemente, como se discutió arriba, estas ocurrencias tendrán diferentes edades en distintas localidades, por lo cual las dataciones basadas sobre esta propiedad bioestratigráfica son muy imprecisas; además de inestables ya que cambiarán con cada nuevo registro de la especie en la localidad. Podría decirse que en cada localidad con registro de *W. internispinosum* existe una diferente "Zona *Internispinosum*".

A partir de un marcador bioestratigráfico adecuado la Zona *Internispinosum* ha sido estandarizada (Parent et al. 2015). El marcador elegido fué un bio-horizonte, el vínculo entre bio- y cronoestratigrafía. Este horizonte se denomina Horizonte *internispinosum alfa*, que consiste en los estratos que contienen el conjunto de especies que define este bio-horizonte. La terminación "alfa" refiere a los amonites de la especie índice en este horizonte corresponden a los representantes tempranos de dicha especie, *W. internispinosum* transient alfa (Parent et al. 2015). Las especies fósiles tienen rangos que comúnmente superan ampliamente el horizonte, sin embargo los morfotipos que se suceden en el tiempo pueden diferenciarse. De esta forma queda definida la Zona *Internispinosum* Estándar: Intervalo de roca con base en el Horizonte *internispinosum alfa* y que se extiende hasta la base de la Zona Alternans.

Es importante resaltar algunos aspectos relevantes: (1) La presencia de *W. internispinosum* en forma aislada permite asignar el ó los estratos a la Zona *Internispinosum*, aunque siempre existe la posibilidad de que los estratos más altos, ó los más bajos del intervalo asignado a la zona puedan corresponder realmente a las zonas adyacentes. (2) El reconocimiento del Horizonte *internispinosum alfa*, a partir de al menos una parte significativa del conjunto de especies guía que lo caracterizan, indica la base de la Zona estándar *Internispinosum*; los niveles suprayacentes a este bio-horizonte son automáticamente asignables con certeza a la zona, hasta aproximadamente las primeras ocurrencias de amonites asignables a la Zona Alternans, ú otra si ésta no estuviera representada localmente. (3) La diferenciación entre zona y zona-estándar es de gran importancia, no sólo teórica sino también práctica. Las diferencias pueden resumirse en que existe una única Zona estándar *Internispinosum*, singularizada por su base en el

Horizonte *internispinosum alfa*. Por otra parte, en cada localidad puede registrarse una Zona [no-estándar] Internispinosum de diferente edad, dependiendo del primer y/o último registro de *W. internispinosum* o en términos de los amonites que se registren o consideren. (4) El reconocimiento local de la base de una zona estándar por medio del bio-horizonte característico no siempre es posible, sin embargo la zona puede reconocerse mediante los amonites que ocurren en dicha zona. Los planos de tiempo que definen las zonas por delimitación, raramente se reconocen fuera de la sección tipo. (5) La nomenclatura discutida arriba es ventajosa y conveniente en varios aspectos: (a) distingue los nombres de las zonas (ó biozonas) de los nombres de las especies de las cuales se derivan sus nombres, resaltando el hecho de que estas unidades no son entidades zoológicas; (b) la exclusión de la palabra "de" entre el nombre del tipo de unidad y el de la unidad propiamente dicho, además de evitar un error conceptual, evita el equívoco de asumir que la zona corresponde a la ocurrencia de la especie índice; (c) finalmente, el uso de sólo la segunda parte del nombre de la especie guía para el nombre de la zona (ó biozona) provee una base importantísima de estabilidad nomenclatural frente a cambios en la asignación genérica de la especie índice.

CONCLUSIÓN

La nomenclatura cronoestratigráfica y los procedimientos de correlación cronoestratigráfica ó temporal (datación) no son adoptados en forma homogénea por los distintos autores, lo cual suele producir divergencias reales que dificultan las interpretaciones y aplicaciones de los resultados obtenidos a partir de distintos estudios. Los principales problemas generalmente se originan en el uso inconsistente de los términos zona, cronozona, y biozona, de la eculización de los conceptos de fósil guía y fósil índice, y otras veces en las prácticas de correlación cronoestratigráfica sobre la base de características litológicas de las sucesiones que se comparan.

En las secuencias de roca típicamente algunos de sus estratos contienen fósiles, distribuidos en forma variable. A partir de éstos pueden establecerse los intervalos (rangos) de su distribución vertical. Con esta información se construyen cartas de distribución bioestratigráfica local o secuencias de fósiles, y estas secuencias se utilizan para definir clasificaciones cronoestratigráficas conjugadas mediante marcadores puntuales adecuados (Fig. 1). En otras palabras, las secuencias de fósiles son transformadas en secuencias temporales y utilizadas para construir escalas de tiempo estratigráfico (Callomon 1985: 67).

Un aspecto importante que debiera tenerse siempre en cuenta es que los rangos de ocurrencia local difieren según la localidad, y cambian, aún localmente, a partir de

sucesivos muestreos y/o los criterios taxonómicos de distintos autores. Las primera y última ocurrencias son propiedades bioestratigráficas locales, dominadas por factores tafonómicos y muestrales que modelan las variaciones de registro a lo largo y ancho del área de ocurrencia de toda especies (Fig. 2).

El orden, a veces histórico, en que avanza el desarrollo de una escala cronoestratigráfica hace que en muchos casos estos procedimientos presenten dificultades en su aplicación. Modernamente el procedimiento mas adecuado y preciso consiste en la definición de bio-horizontes para estandarizar zonaciones que han sido derivadas de subdivisiones bioestratigráficas poco estables y a veces multiplicadas por los diferentes criterios de los autores. El procedimiento de definición de bio-horizontes para progresar hacia zonaciones estándar robustas y estables está ampliamente reconocido (e.g. Cariou & Hantzpergue 1997, Callomon 2003) y aplicado con buenos resultados.

Agradecimientos. Alberto C. Garrido (Zapala, Argentina) y Luciano Brambilla (Rosario, Argentina) contribuyeron valiosamente con su lectura crítica sobre el primer ensayo de este artículo.

REFERENCIAS

- Arkell W.J., 1956. Jurassic Geology of the world. Oliver & Boyd, Edinburgh & London, 806 p.
- Callomon J.H., 1985. Biostratigraphy, chronostratigraphy and all that – again! In: A. Zeiss & O. Michelsen (eds.): International Symposium on Jurassic Stratigraphy, Erlangen 1984. – *Geological Survey of Denmark*, p. 612-624.
- Callomon J.H., 1995. Time from fossils: S.S. Buckman and Jurassic high-resolution geochronology. In: M.J. Le Bas (ed.): Milestones in Geology. *The Geological Society Memoir* **16**: 127-150.
- Callomon J.H., 2001. Fossils as geological clocks. In: Lewis C.L.E. & Knell S.J. (eds.): The age of the earth: from 4004 BC to AD 2002. – *Geological Society of London Special Publications* **190**: 237-252.
- Callomon J.H., 2003. Essay Review. – *Proceedings of the Geologists' Association* **114**: 263-269.
- Cariou E. & Hantzpergue P., 1997. Biostratigraphie du Jurassique ouest-européen et méditerranéen: zonations parallèles et distribution des invertébrés et microfossiles. – *Bulletin du Centre de Recherche Elf-Exploration et Production* **17**: 79-86.
- Carozzi A.V., 1965. Lavoisier's fundamental contribution to stratigraphy. – *The Ohio Journal of Science* **65**: 71-85.
- Cecca F., 1999. Palaeobiogeography of Tethyan ammonites during the Tithonian (latest Jurassic). – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **147**: 1-37.
- Código Argentino de Estratigrafía, 1992. Asociación Geológica Argentina, 62 p.

- Dommergues J.-L. & Marchand D., 1988. Paleobiogéographie historique et écologique: application aux ammonites du Jurassique. In: Wiedmann J. & Kullmann J. (eds): Cephalopods – Present and Past: 351-364. – Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Dzik J., 1985. Typologic versus population concepts of chronospecies: implications for ammonite biostratigraphy. – *Acta Palaeontologica Polonica* **30**: 71-92.
- Gabilly J., 1971. Méthodes et modèles en stratigraphie du Jurassique. – *Mémoire du Bureau de Recherche Géologique et Minière de France* **75**: 5-16.
- Garrido A.C. & Parent H., 2013. Estratigrafía y fauna de amonites de los depósitos "Lotenianos" (Caloviano Medio-Oxfordiano Inferior?) del anticlinal de Picún Leufú, Cuenca Nequina – Subcuenca de Picún Leufú, Argentina. – *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* **83**: 35-68.
- Holland C.H., 1989. Synchronology, taxonomy and reality. – *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **B325**: 263-277.
- Krantz F., 1926. Die Ammoniten des Mittel- und Obertithons. In: E. Jaworski, F. Krantz & H. Gerth (eds.): Beiträge zur Geologie und Stratigraphie des Lias, Doggers, Tithons und der Unterkreide im Süden der Provinz Mendoza (Argentinien). – *Geologische Rundschau* **17a**: 427-462.
- Lavoisier A., 1789. Observations generales sur les couches horizontales, qui ont ete deposees par la mer, et sur les consequences qu'on peut tirer de leurs dispositions, relativement a l'anciennete du globe terrestre. – *Memorie de la Academie Royal des Sciences* **1789**: 351-371.
- Leanza H.A., 1981. The Jurassic-Cretaceous boundary beds in West Central Argentina and their ammonite zones. – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen* **161**: 62-92.
- Mönnig E., 2017. The evolution of Oppel's 'Macrocephalusbett' (Callovian, Middle Jurassic). – *Lethaia* **50**: 356-368.
- Oppel A., 1858. Die Juraformation Englands, Frankreichs und des südwestlichen Deutschlands. – *Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg* **12-14**: 1-857.
- Page K.N., 2017. From Oppel to Callomon (and beyond): building a high-resolution ammonite-based biochronology for the Jurassic System. – *Lethaia* **50**: 336-355.
- Parent H., 2006. Oxfordian and late Callovian ammonite faunas and biostratigraphy of the Neuquén-Mendoza and Tarapacá basins (Jurassic, Ammonoidea, western South-America). – *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* **76**: 1-70.
- Parent H., Scherzinger A., Schweigert G. & Capello O.D., 2007. Amonites of the Middle Tithonian Internispinosum Zone from Barda Negra, southern Neuquén-Mendoza Basin, Argentina. – *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* **77**: 11-24.
- Parent H., Garrido A.C., Scherzinger A., Schweigert G. & Fözy I., 2015. The Tithonian-Lower Valanginian stratigraphy and ammonite fauna of the Vaca Muerta Formation in Pampa Tril, Neuquén Basin, Argentina. – *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* **86**: 1-96.
- Parent H., Schweigert G., Scherzinger A. & Garrido A.C., 2017. Additional Tithonian and Berriasian ammonites from the Vaca Muerta Formation in Pampa Tril, Neuquén Basin, Argentina. – *Volumina Jurassica* **15**: 139-154.
- Parent H. & Garrido A.C., 2021. The Tithonian ammonite fauna of the transect Cerro Lotena-Cerro Granito, Vaca Muerta Formation, Argentina. I. Family Himalayitidae. – *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* **91**: 21-60.
- Salvador A., 1994. International Stratigraphic Guide. International Union of Geological Sciences.
- Schweigert G., 2015. Ammonoid Biostratigraphy in the Jurassic. In: C. Klug, D. Korn, K. DeBaets, I. Kruta & R.H. Mapes (eds.): Ammonoid Paleobiology: From macroevolution to paleogeography. – *Topics in Geobiology* **44**: 389-402.
- Steno N., 1669. De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus. Florence.
- Torrens H.S., 2002. Some personal thoughts on stratigraphic precision in the twentieth century. – *Geological Society of London, Special Publications* **192**: 251-272.
- Weaver A., 1931. Paleontology of the Jurassic and



Horacio Parent (15/11/62) es profesor en la Universidad Nacional de Rosario, Director del Laboratorio de Paleontología & Biocronología. Sus investigaciones se centran en la paleontología y estratigrafía del Jurásico y Cretácico, especialmente en la biología y evolución de los ammonoideos jurásicos. Editor del Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología (Rosario) y editor asociado de la revista *Revue de Paléobiologie* (Ginebra).

https://www.fceia.unr.edu.ar/fisiografia/parent_h.htm

LAS ROCAS OOLÍTICAS COMO ALMACENADORAS DE HIDROCARBUROS (PARTE 2)

(Aspectos petrofísicos importantes a considerar en un yacimiento petrolero)

Reporte compilado por
Luis Angel Valencia Flores
Editor de la revista

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

Porosidad

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

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

Donde:

Φ = porosidad, fracción.

V_b = volumen de la roca que conforma el yacimiento.

V_{gr} = volumen de grano.

V_p = volumen de poro.

Porosidad primaria.

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

1.- Intercristalina: Son aquellos poros entre planos de clivaje de cristales, poros entre cristales individuales, y poros entre redes cristalinas. Muchos de estos poros son subcapilares, es decir, poros de menos de 0.002 mm de diámetro

2.- Intergranular o intrapartícula: Esta porosidad fluctúa entre la sub-capilar y la super-capilar (espacios huecos más grande que 0.5 mm de diámetro).

3.- Planos de estratificación: Los espacios porosos de muchas variedades están concentrados paralelos a los planos de estratificación, la geometría del yacimiento está controlada por estos planos.

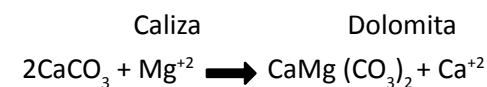
4.- Miscelánea sedimentaria de huecos o poros: (1) los poros son resultado de la acumulación de fragmentos detríticos fósiles, (2) los poros son el resultado del empaquetamiento de oolitas, (3) vórgulos y cavernas de tamaño irregular y variado formados en el tiempo del depósito y (4) poros creados por organismos que vivían durante el tiempo del depósito.

Porosidad secundaria

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

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

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



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

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

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

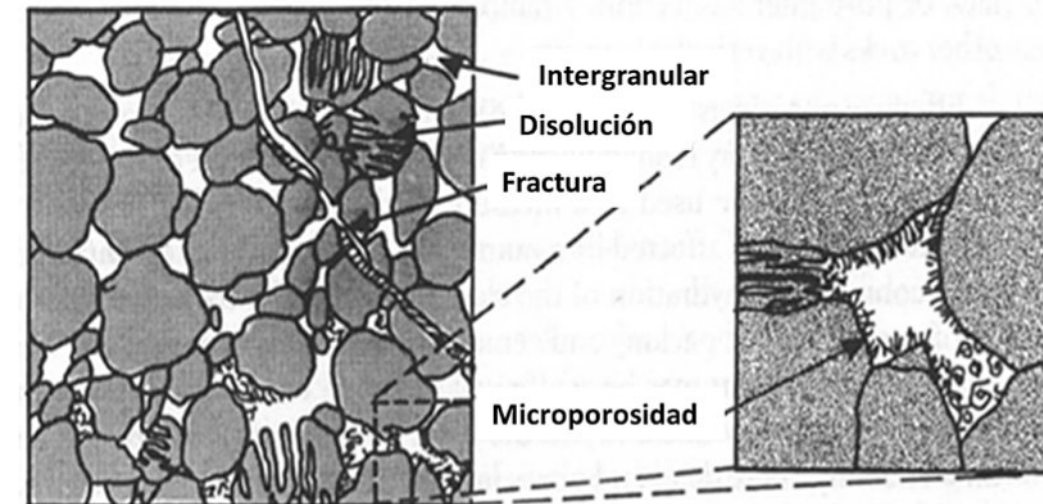


Figura 1. Tipos de porosidades. Tomado de Djebbar and Donaldson, 2004.

Saturación de fluidos

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

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

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

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

Permeabilidad

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

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

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

u = velocidad, cm/seg.

q = índice de flujo del fluido, cm^3/seg .

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

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

Clasificación de la permeabilidad.

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

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

Factores afectando la magnitud de la permeabilidad.

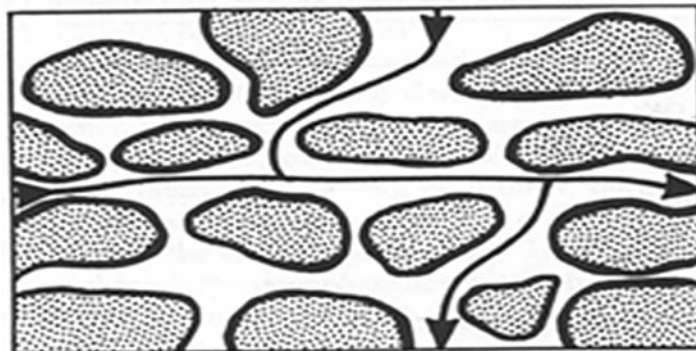
La calidad de un yacimiento en función de la permeabilidad puede ser calificado de la siguiente manera:

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

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

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

Granos planos y largos



Permeabilidad Horizontal= 2000mD
 Permeabilidad Vertical= 800 mD

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

Granos grandes y redondeados



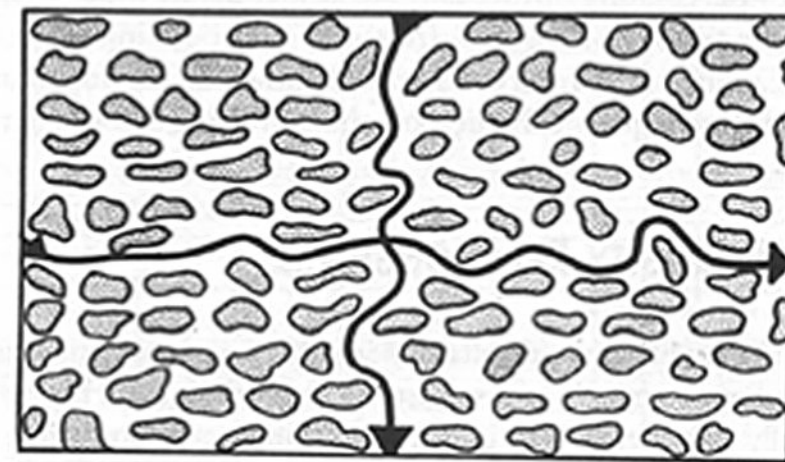
Permeabilidad Horizontal= 2000mD
 Permeabilidad Vertical= 1500 mD

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

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

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

Granos muy pequeños e irregulares



Permeabilidad Horizontal= 150mD
 Permeabilidad Vertical= 15 mD

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

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

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

Relación Porosidad-Permeabilidad en rocas carbonatadas.

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

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

Donde:

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

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

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

Rocas naturalmente fracturadas.

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

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

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

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

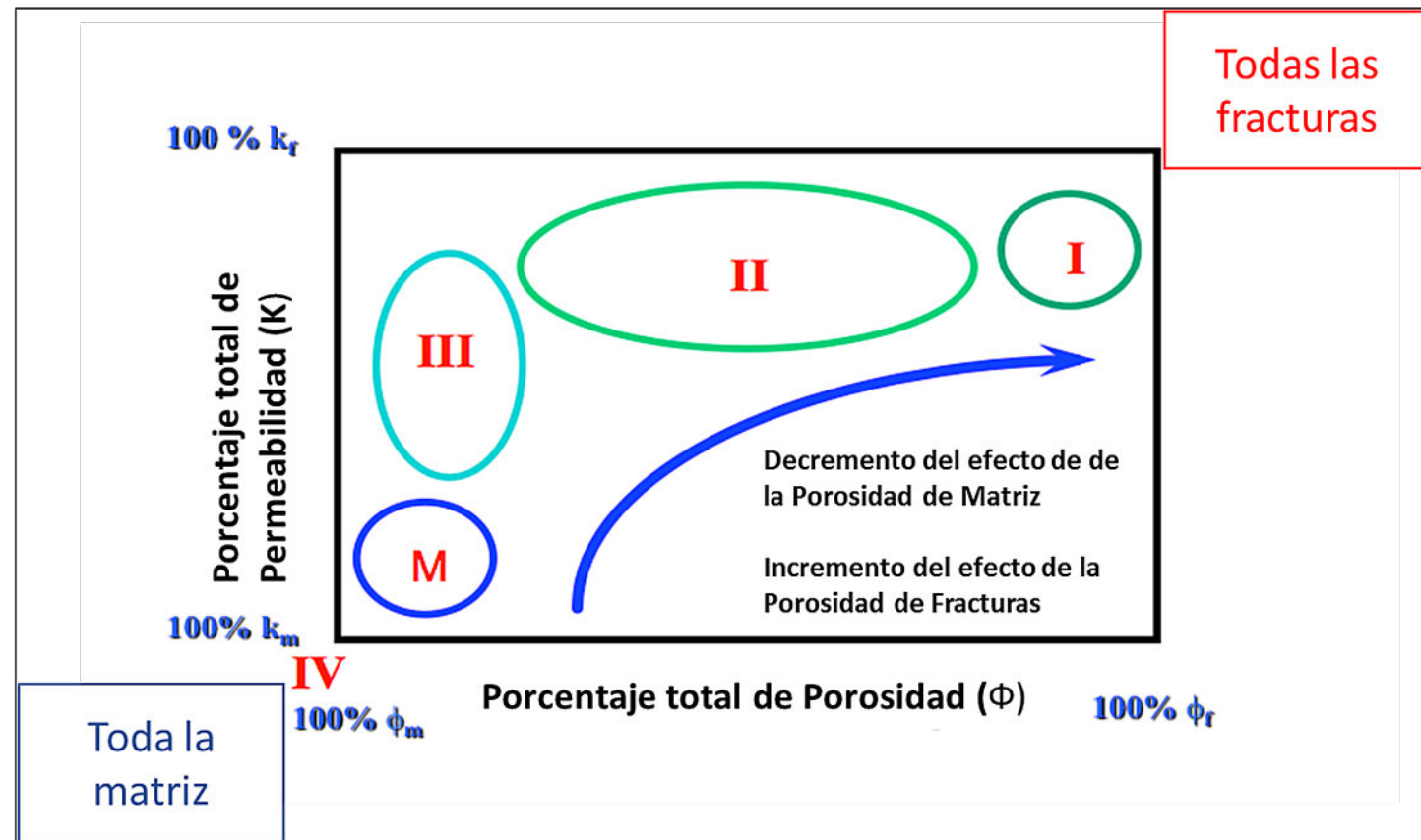


Figura 5. Clasificación de Nelson, respecto a los yacimientos fracturados. Modificado de Nelson 2001.

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

(1) Yacimientos tipo 1.- Las fracturas proveen toda la capacidad de almacenaje y permeabilidad del yacimiento. La Porosidad y Permeabilidad de matriz son bajas.

(2) Yacimientos tipo 2.- La matriz tiene permeabilidad insignificante, pero contiene la mayoría, si no es que todos los hidrocarburos. Las fracturas proveen la

permeabilidad esencial del yacimiento.

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

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

Ejemplos de porosidades en rocas oolíticas.

En las siguientes dos imágenes (Figuras 6 y 7) se pueden apreciar los diferentes tipos de porosidades existentes en rocas oolíticas del Golfo de México (tomado de Caracterización geológica de facies de alta energía en un

yacimiento petrolero del Jurásico Superior Kimmeridgiano mediante la integración de datos petrográficos, registros geofísicos e información sísmica, Alpérez, Petríz y González, 2017). Con base en su ambiente sedimentario, estas rocas desarrollan tipos de porosidades de excelente calidad para el almacenamiento de hidrocarburos. Como ejemplos de

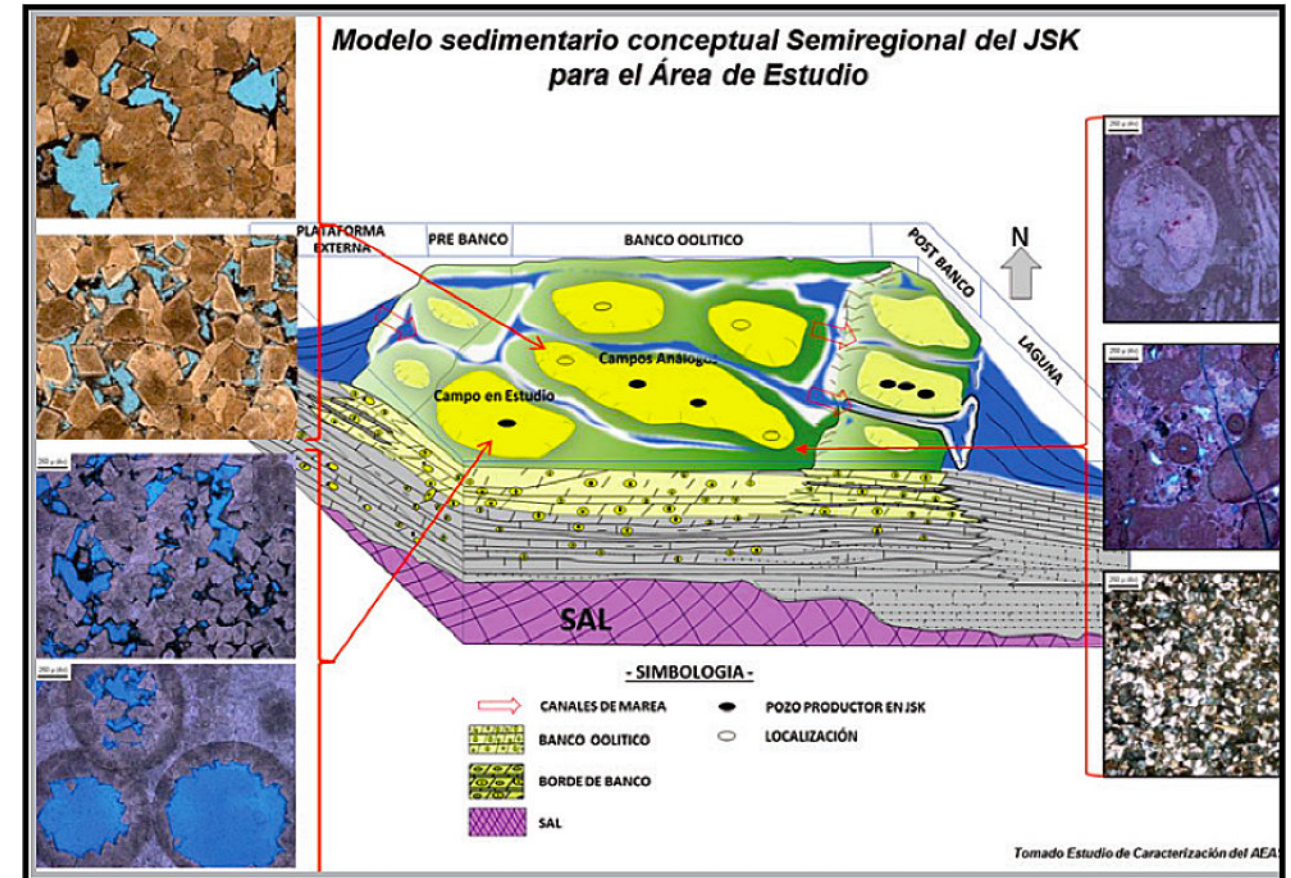


Figura 6. Alpérez, Petríz y González, 2017

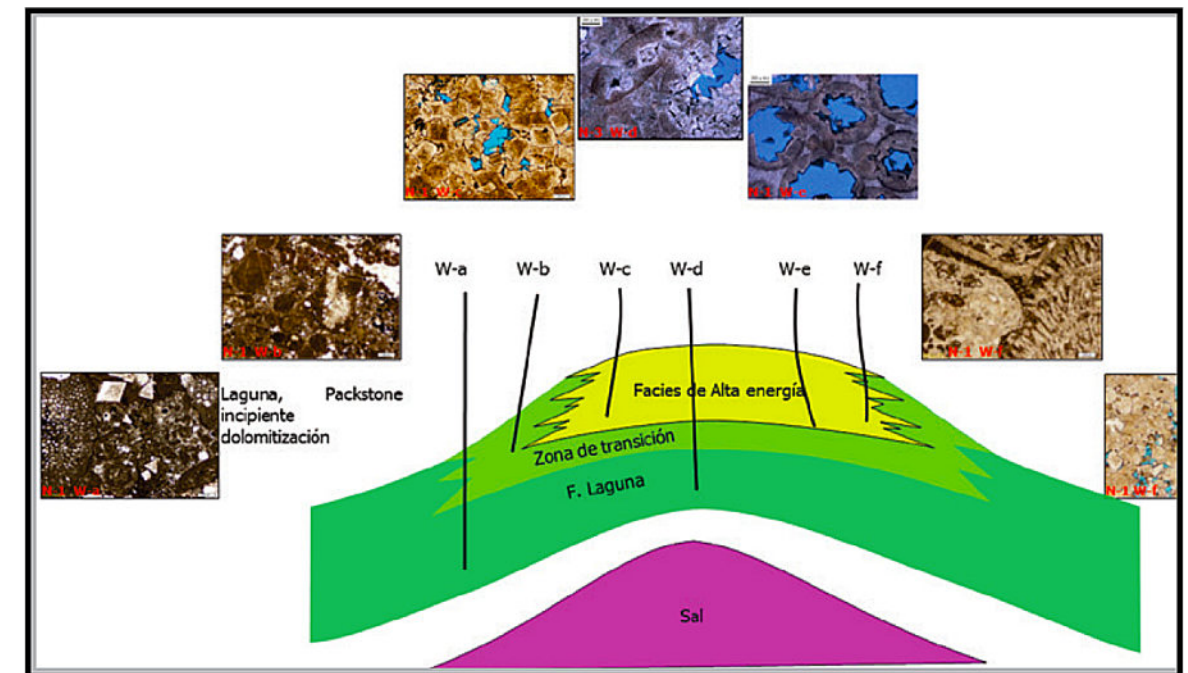


Figura 7. Alpérez, Petríz y González, 2017

campos petroleros mexicanos en rocas oolíticas se tienen a Bolontiku, Sinan, Xanab, Kax, Kab y Och (nombres obtenidos de publicaciones existentes en internet).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ELEMENTOS DE GEODIVERSIDAD EN EL PUEBLO DE MACA, AREQUIPA - PERÚ

Pablo Meza ⁽¹⁾, **Carlos Zeballos** ⁽²⁾, **Gabriela Meza** ⁽²⁾ y **Luis Valdivia** ⁽³⁾.

⁽¹⁾: Unidad de Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNSA.

⁽²⁾: Unidad de Posgrado en Arquitectura, UNSA.

⁽³⁾: Unidad de Posgrado en Gestión de Riesgos, UC.

RESUMEN

La Geodiversidad presente en los alrededores del poblado de Maca, que se manifiesta por sus enormes contrastes de relieve, con presencia de: 1) volcanes tutelares (Sabancaya y Ampato) con erupciones actuales, caídas de cenizas, sismicidad y debris flow asociados; 3) cañón del Colca; 4) presencia de fallas activas; 5) planicie de depósitos lacustrinos, que debido a la presencia de agua superficial y subterránea conforman la clásica estructura "sandwich" que la hace susceptible a los movimientos sísmicos, donde se ubican algunos de sus principales poblados entre ellos Maca; 6) laderas escalonadas inestables, de los bordes de las planicies lacustrinas hacia el río Colca.

Todos estos elementos le dan un enorme valor cultural, académico - científico y económico a la zona de estudio referida a los procesos geodinámicos, paisajes.

Palabras claves: geodiversidad, Cañón del Colca, poblado de Maca.

ABSTRACT

The geodiversity present in the surroundings of the town of Maca, which is manifested by its enormous relief contrasts, with the presence of: 1) tutelary volcanoes with current eruptions, ash falls, seismicity and associated debris flow; 3) Colca canyon; 4) presence of active faults; 5) plain of lacustrine deposits, which due to the presence of surface and subway water form the classic "sandwich" structure that makes it susceptible to seismic movements, where some of its main towns are located, among them Maca; 6) unstable stepped slopes, from the edges of the lacustrine plains towards the Colca River.

All these elements give an enormous cultural, academic-scientific and economic value to the study area in terms of geodynamic processes, landscapes, and the geology of the area.

Keywords: geodiversity, Colca canyon, Maca village.

INTRODUCCION

El pueblo de Maca (3282 msnm), capital del distrito de Maca, dentro de la provincia de Caylloma, región de Arequipa (Figura 1), se encuentra sobre depósitos lacustrinos en el cañón del Colca, con un espectacular paisaje, de aparente peligrosidad natural, un atractivo único, capaz de atraer a una población diversificada de visitantes.

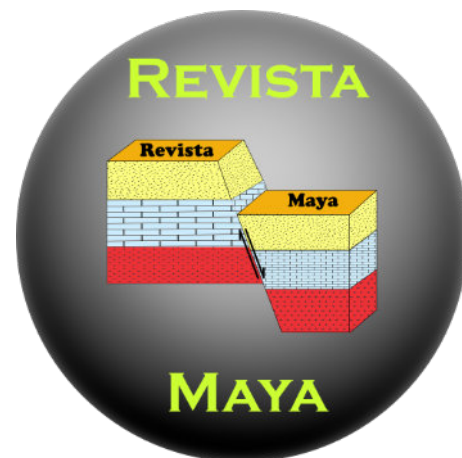
MARCO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO

Las unidades geológicas de Maca se basan en los trabajos de la carta geológica nacional llevada a cabo por el Ingemmet (Klinck & Palacios, 1985; Quispesivana & Navarro, 2001) e escala 1/100,00 y el cartografiado de semidetalle a escala 1/25,000, también del Ingemmet durante los años 2009 y 2010 (Mariño, et al., 2011) así como los trabajos de Geólogos sin Frontera (Falconi et al., 2011). En la zona de Maca afloran en su gran mayoría rocas volcánicas, pero también en zonas restringidas rocas sedimentarias. Las rocas más antiguas se formaron durante el Jurásico Superior y las más recientes durante el Pleistoceno Tardío y Holoceno.

Las **unidades geológicas** más antiguas que afloran en el área de estudio (Figura 1), corresponden a depósitos de areniscas cuarzosas intercaladas con lutitas de la formación Hualhuani del Cretácico inferior (Ki-hl), sobre las cuales sobreyacen unidades volcánicas del Mioceno que consisten de flujos de lava (M-la) y flujos piroclásticos (M-ig), que corresponden al Grupo Tacaza y; también flujos de lava (P-hu) y flujos piroclásticos del Plio – Pleistoceno (Barroso); sobreyaciendo a estas unidades se tienen secuencias lacustrinas y aluviales (P-la1) del Holoceno (formación Colca), que cubre el 80% del área del valle. Las unidades más recientes, conforman terrazas emplazadas en abanicos (P-pt1, P-pr2), estas unidades constituyen una cobertura de aproximadamente de 150 metros encima del basamento.

Los depósitos lacustres, se han depositado hasta en cinco secuencias sedimentarias, constituidos principalmente de limoarcillitas, en ocasiones con niveles de areniscas y microconglomerados; también presentan estructuras de sismos: sismitas (fallas sinsedimentarias, volcanes de arena y slumps).

Las **unidades geomorfológicas** comprenden: laderas empinadas de macizos rocosos volcánicos, laderas coluviales, escarpas con depósitos de avalancha de rocas,



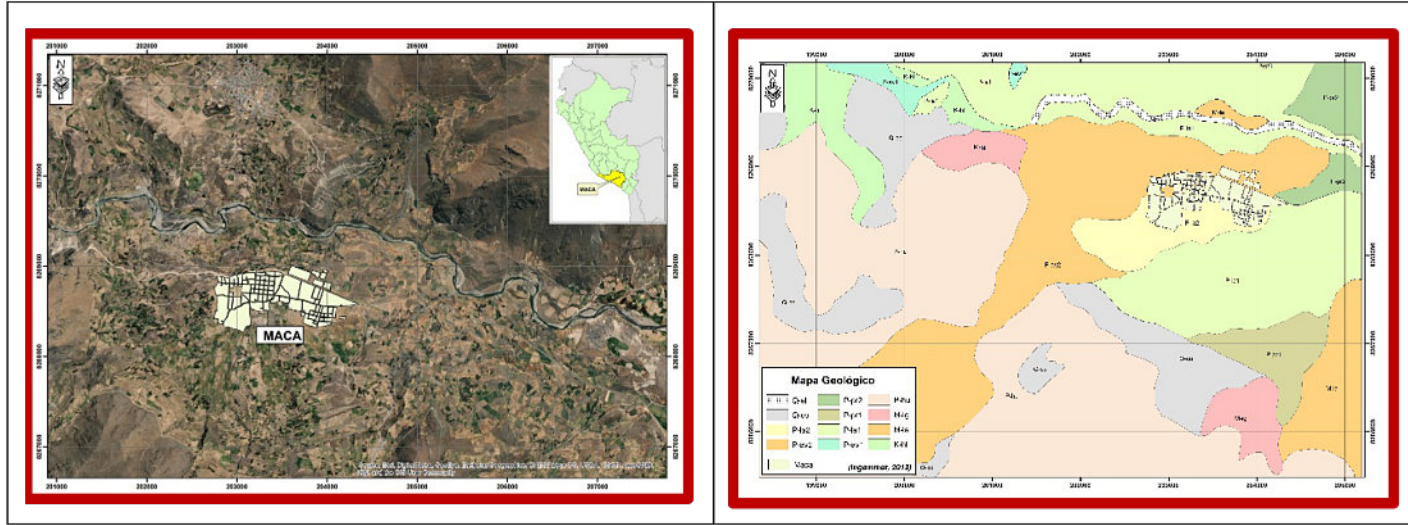


Fig. 1: Mapa de Ubicación y Geológico, (adaptado de Ingemmet, 2012).

derrumbes y deslizamientos, canales de flujo de detritos, cárcavas sobre laderas de coluvio. El mapa de pendientes (Figura 2), también refleja las unidades geomorfológicas enumeradas anteriormente.

MARCO GEODINÁMICO

En general la zona del valle del Colca, donde se encuentra el poblado de Maca, está sujeto a una fuerte geodinámica, debido a su localización dentro de una región montañosa (Figura 3), producto de subducción de placas, que hace que esté sometida a una fuerte actividad sísmica de origen tectónico, donde se encuentra fallas activas como: Trigal, Solarpampa, Madrigal, Yanque, entre otras (Huamán,

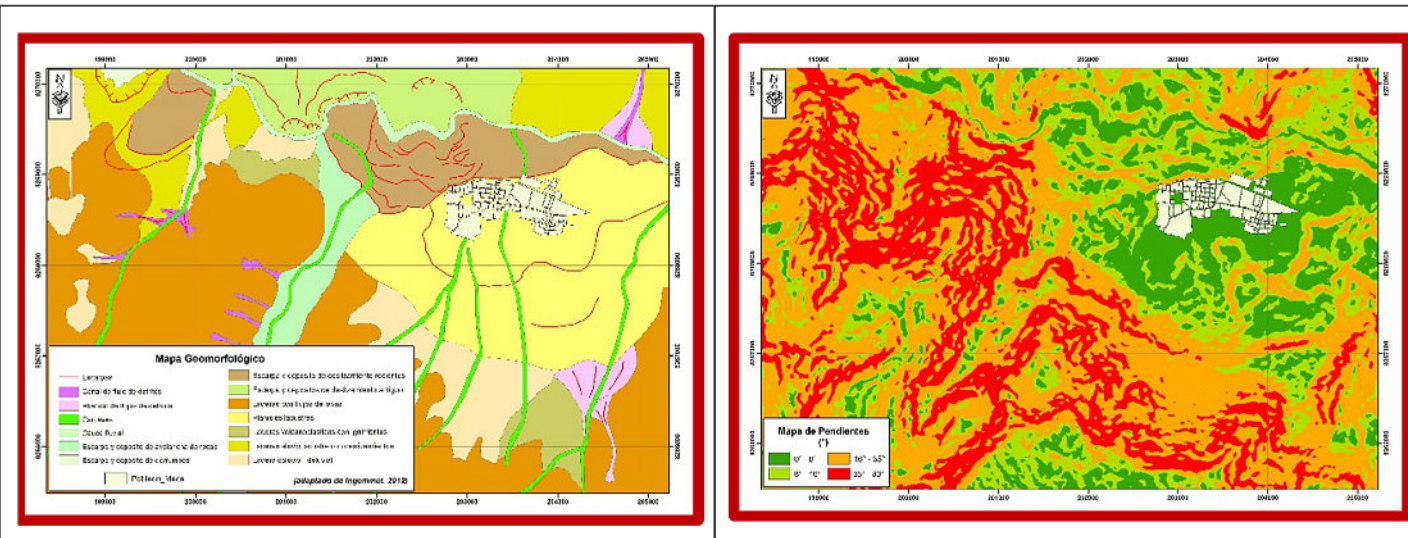


Fig. 2: Mapa Geomorfológico y de Pendientes, (adaptado de Ingemmet, 2012).

1995; Antayhua, 2002). También es una zona donde hay fuerte actividad volcánica, donde destaca la debida al volcán Sabancaya, que genera además peligros asociados: sismicidad, caída de tefras, debris flow (lahares), deslizamientos colaterales; especialmente sobre los

depósitos lacustrinos donde se asienta el poblado de Maca, que debido a la estructuración de sus suelos son muy susceptibles a los movimientos sísmicos (Paredes, 2002).

Dentro de los sismos más destacados debido a la **actividad volcánica** se tiene:

- 1) 23 de julio de 1991 (5.4 M_b),
- 2) 14 de marzo de 1993 (4.5 M_b),
- 3) 12 de abril de 1998 (5.3 M_w),
- 4) 13 de diciembre del 2002 (5.3 M_w),
- 5) 23 de febrero del 2013 (5.2 M_L),
- 6) 14 de agosto del 2016 (5.3 M_L).

Las vibraciones de estos sismos afectan los bordes de terrazas, y la planicie lacustrina donde se ubica Maca, generando actividad en las grietas ya presentes de la

ladera hacia el río Colca e intensa vibración en el terreno donde se asienta la población (Figura 5).

Por su posición morfológica dentro de la Cadena Volcánica (figura 3), con altitudes mayores a los 3100 msnm, está sujeta a una fuerte actividad de geodinámica externa, donde la precipitación es uno de los principales agentes desencadenantes de inestabilidad, por ejemplo, en el 2012 se registró una precipitación anual de hasta 831mm (figura 4), estas precipitaciones generan percolación en el subsuelo de las terrazas saturándolo y creando condiciones favorables al deslizamiento, así como la socavación de laderas, generando cárcavas y canales con flujo de detritos; en la zona (Figuras 2, 5 y 6).

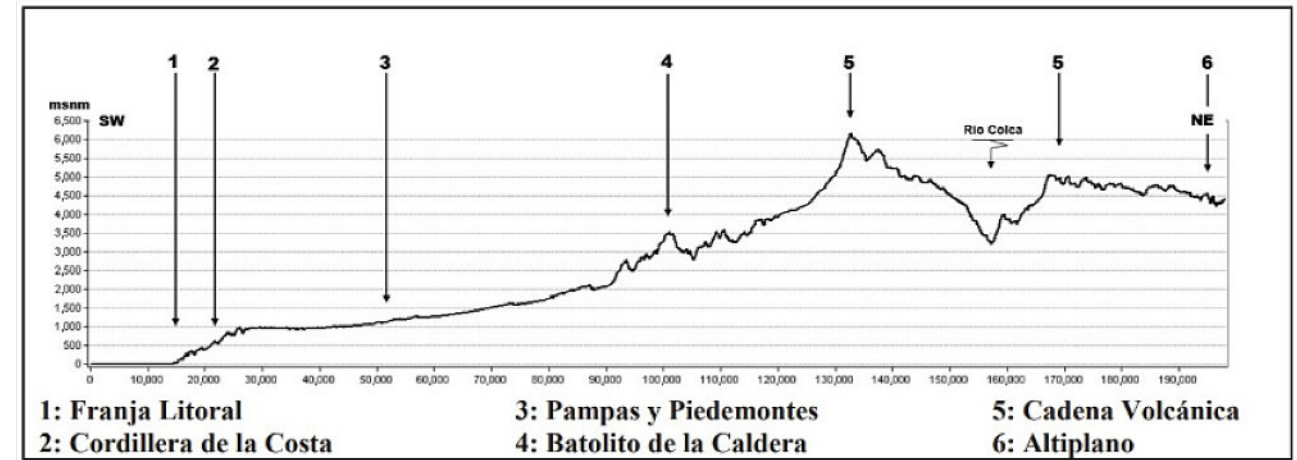


Fig. 3: Principales Unidades Morfológicas del Sur del Perú

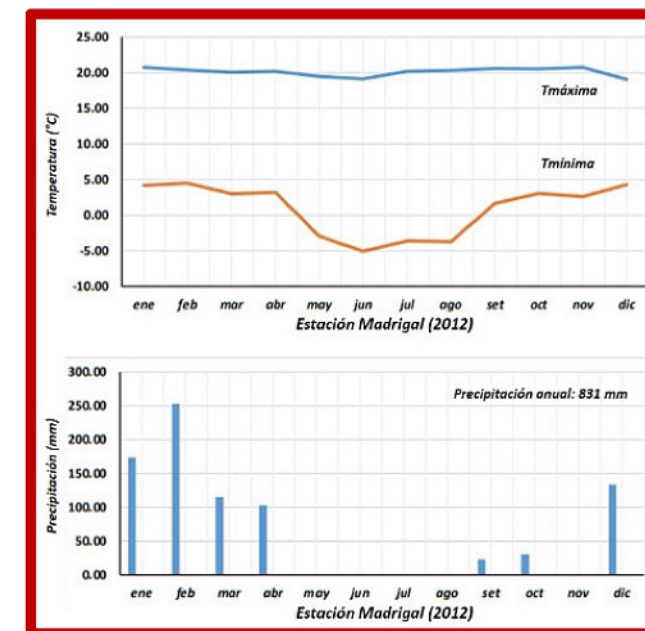


Fig. 4: Climograma Estación Madrigal

La conformación morfológica: 1) laderas de montañas volcánicas, 2) planicies lacustres – coluvio y 3) laderas sobre estos últimos depósitos, han permitido que se presenten canales y cárcavas en la primera ladera, deslizamientos múltiples / sucesivos en las laderas próximas al cauce del

rio Colca (Figura 5). Un modelo conceptual geológico se muestra en la figura 6, que da lugar a las diferentes tipologías de deslizamientos o movimientos de masas (Figura 7).



Fig. 5: Vista del poblado de Maca: laderas coluviales con cárcavas, planicies lacustres y deslizamientos activos hacia el cauce del río Colca (Meza et al., 2005).

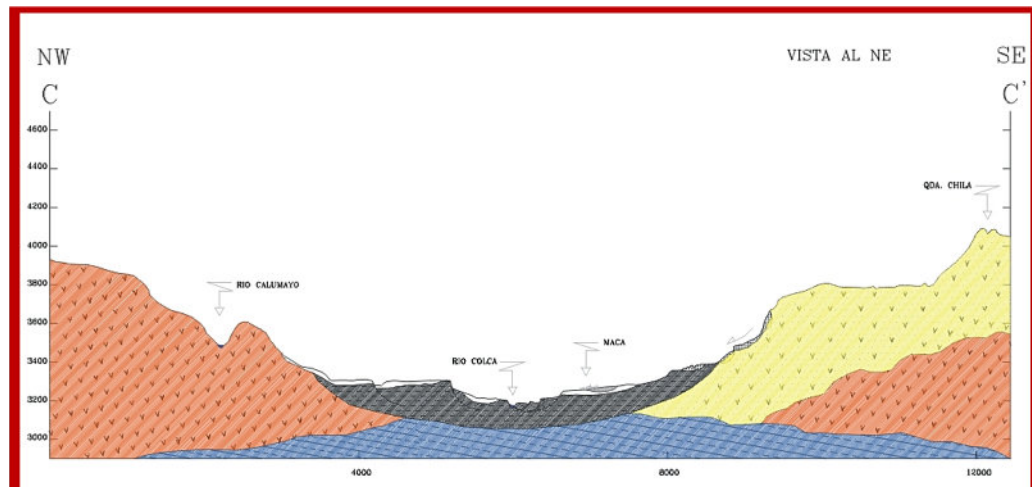


Fig. 6: Modelo conceptual de los depósitos lacustrinos en el pueblo de Maca, mostrando los deslizamientos activos hacia el cauce del río Colca (Meza et al., 2005).



Fig. 7: Presencia de humedad dentro sedimentos lacustres y escarpa principal de deslizamiento en Maca. (Paulo et al., 2013).

PAISAJES Y GEODIVERSIDAD

El paisaje típico de la zona es encañonado, el poblado de Maca se sitúa sobre una planicie de depósitos lacustrinos. Con clima característico de altitudes mayores de 3200 msnm. En la zona se observa una gran ladera montañosa de roca volcánica, la cual hacia su base se encuentra cubierto de una gruesa capa de coluvios (de material grueso) que es erosionada por la escorrentía linear formando cárcavas y canales por donde se transporta detritos; a las cuales siguen la planicie lacustrina, donde se ubica el pueblo de Maca, esta planicie se ve deformada en dirección del cauce por una serie de deslizamientos

sucesivos, donde los factores desencadenantes son la presencia de agua y actividad sísmica, que han afectado la estructura vial y actividades económicas de la zona.

La población del distrito de Maca, cuenta con alrededor de 900 personas. La diversidad del espacio geográfico, genera actividades económicas con suelos aptos para la agricultura, donde se cultiva: alfalfa, maíz, haba, papa, cebada, tuna, quinua, entre otros; la actividad ganadera y de granja comprende la cría de: aves, conejos, vacunos, porcinos, ovinos, caprinos, alpacas, llamas y abejas.

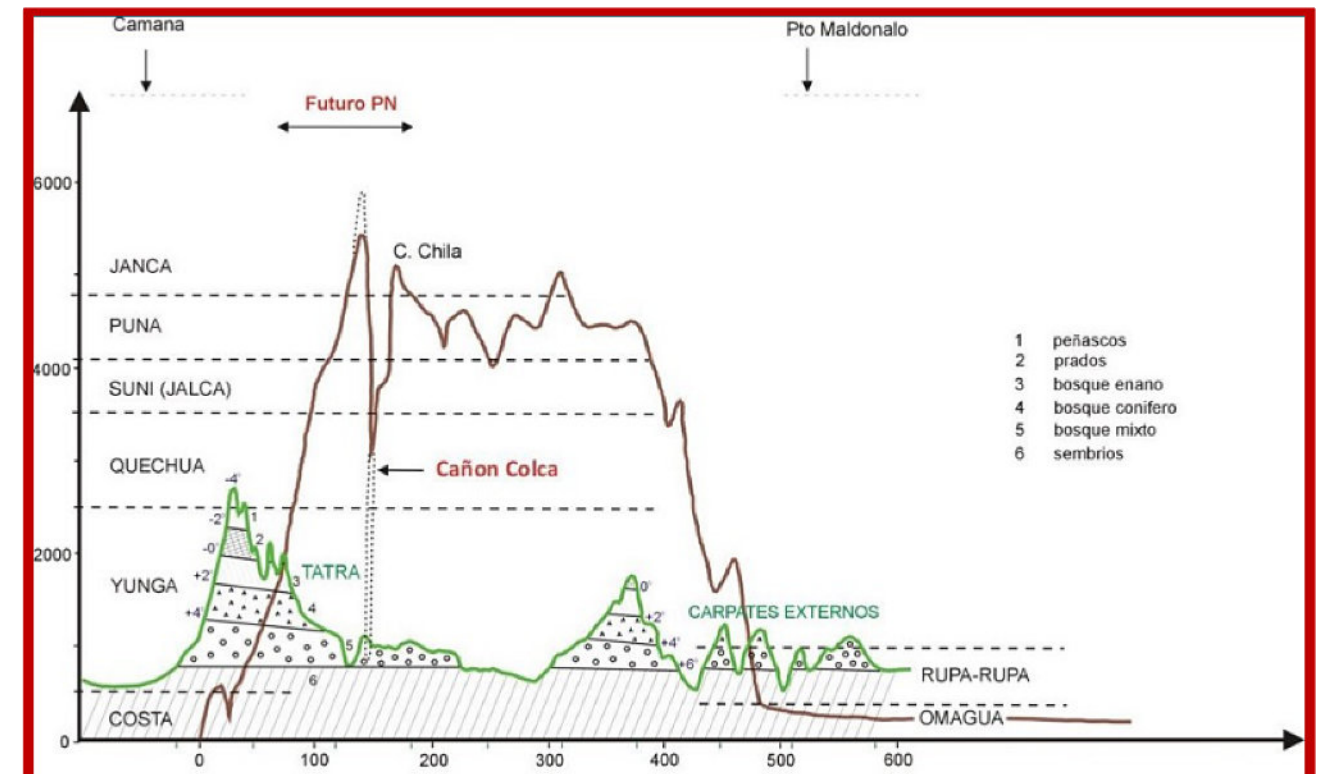


Fig. 8: Comparación del cañón del Colca con las montañas de los Carpates. (Paulo et al., 2013).

Se considera también importantes para la actividad económica el aprovechamiento de la Geodiversidad presente (Serrano & Ruiz, 2007), que se manifiesta por sus enormes contrastes de relieve (figura 8), donde destacan: 1) **volcanes** tutelares (Sabancaya, 5975 msnm y Ampato, 6288 msnm) con erupciones actuales, caídas de cenizas, sismicidad y debris flow asociados; 3) **cañón del Colca**; 4) presencia de **fallas activas**; 5) planicie de **depósitos lacustrinos**, que debido a la presencia de agua superficial y subterránea conforman la clásica estructura “sandwich”

que la hace susceptible a los movimientos sísmicos, donde se ubican algunos de sus principales poblados entre ellos Maca; 6) **laderas escalonadas inestables**, de los bordes de las planicies lacustrinas hacia el río Colca.

Todos estos elementos le dan un enorme valor cultural, académico - científico y económico a la zona de estudio referida a los procesos geodinámicos, paisajes, (Figuras 9 y 10).



Fig. 9: Paisaje de geformas de deslizamientos activos.



Fig. 10: Importancia de la geodinámica como base de la Geodiversidad.

CONCLUSIÓN

La Geodiversidad presente en los alrededores del poblado de Maca, le proporcionan un atractivo especial, no solo a Maca, sino a todo el valle del Colca, por su geomorfología, geodinámica con paisajes realmente impresionantes y atractivos desde diversos puntos de vista: cultural, académico – científico, económico, entre otros, que la

constituyen como uno de los principales puntos de visita de la región de Arequipa.

AGRADECIMIENTO

La presente nota geológica, es parte del proyecto: “Urbanismo de Emergencia: Patrones de Reasentamiento de Poblaciones Vulnerables del Valle del Colca en torno al

Volcán Sabancaya”, que se está desarrollando en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa – Perú.

BIBLIOGRAFIA

Falconi, L., Meza, P., Leoni, G. Puglisi, C. & Savini, S. (2011): *Geomorphological processes and cultural heritage of Maca and Lari villages: an opportunity for sustainable tourism development in the Colca Valley (province of Caylloma, Arequipa, South Perú)*. Proc. Second World Landslides Forum, Rome, 6p.

Ingemmet (2012): *Evaluación de la Seguridad Física del Distrito de Maca*. Informe Técnico N° A6628, 159p.

Meza, P. & Chacón, S. (2018): *Identificación de los Peligros Geológicos en las Localidades de Ichupampa, Achoma, Ccoporaque y Yanque*. XIX Congreso Peruano de Geología.

Meza, P., Paredes, J. & Chavez, E. (2005): *Inestabilidad de Depósitos Lacustrinos en el Valle del Colca: Caso Maca*

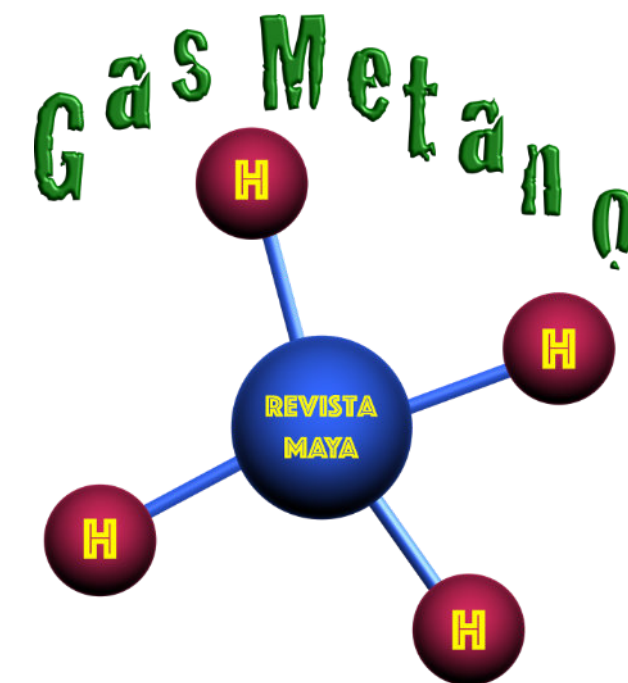
y Lari, Arequipa-Perú. 11 CBGE, T2 – Riscos e Imprevistos Geológicos em Obras de Engenharia, pp: 1296 – 1308.

Pachari, R. (2020): *Geoparque Valle de los Volcanes de Andagua*. Tesis de maestria, FGGM - UNSA.

Paredes, J. (2003): *Aportes al Conocimiento Geológico, Geotécnico y Geomecánico del Pueblo de Maca*. Tesis profesional FGGM – UNSA.

Paulo, A., Galas, P. & Meza, P. (2013): *Valorización de la Zona Propuesta como Parque Nacional Cañon del Colca y Valle de los Volcanes*. 1er Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra, Arequipa – Perú.

Serrano, E. & Ruiz, P. (2007): *Geodiversidad: Concepto, Evaluación y Aplicación Territorial. El Caso De Tiermes Caracena (Soria)*. Bol. AGE, 45: 79-98.





Pablo Meza; Ingeniero Geólogo, maestría en Geotecnia, doctor en Geografía, investigador Renacyt, con investigaciones en geomorfología, geotecnia, mecánica de rocas, mecánica de suelos, geología estructural, geoturismo, hidrogeología, geomateriales, evaluación de riesgos geológicos. Docente de pre-grado y pos-grado en la Facultad de Geología, Geofísica y Minas de la UNSA.



Carlos Zeballos; Arquitecto y urbanista, doctor en diseño urbano y paisaje en la Universidad de Kioto, Japón. Investigador, especializado en planeamiento y diseño urbano, manejo de riesgos y análisis en Sistemas de Información Geográfica. Docente investigador en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo en la UNSA.



Gabriela Meza; Arquitecta, maestría en Ordenamiento Territorial en la UNSA, evaluadora de riesgos por CENEPRED. Arquitecta en gestión de riesgos y ordenamiento territorial del municipio de Yura.



Luis Valdivia; Ingeniero Geólogo, maestría en Gestión de Riesgos en la UC, evaluador de riesgos por CENEPRED. Especialista en evaluación de riesgos para proyectos diversos.

MISCELÁNEOS

Yum Kax , Dios del Maíz



En el orden de la frecuencia de su representación en los códices corresponde al tercer lugar, al dios del maíz o dios de la agricultura, que aparece 98 veces en los tres manuscritos. Se le representa siempre como un joven (véase el fontispicio) y algunas veces como una mazorca de maíz como ornamento de la cabeza. En algunas ocasiones se ve esta mazorca brotando del jeroglífico del día Kan, que es el propio símbolo del maíz en los códices. Kan era también el día del cual era patrono este dios. De todos los dioses representados en los códices, esta deidad ofrece el mayor grado de deformación de la cabeza. El jeroglífico de su nombre es su propia cabeza que se resuelve en su parte más alta en una mazorca de maíz muy estilizada y cubierta de hojas. Este dios era el patrono de la labranza, y los códices lo presentan ocupado en gran variedad de trabajos agrícolas. Directamente, o personificado por un sacerdote, aparece algunas veces en la escultura de la Época Clásica, regando granos de este cereal sobre la cabeza de la madre tierra. Lo mismo que el maíz que simboliza, tiene muchos enemigos y su destino estaba sujeto a los dioses de la lluvia, el viento, la sequía, el hambre y la muerte. En un lugar se presenta bajo la protección del dios de la lluvia y en otro combate con el dios de la muerte. En un lugar se presenta bajo la protección del dios de la lluvia y en otro en combate con el dios de la muerte.

La casa de las cavernas

<https://www.thetravel.com/caves-largest-ranked-size/>

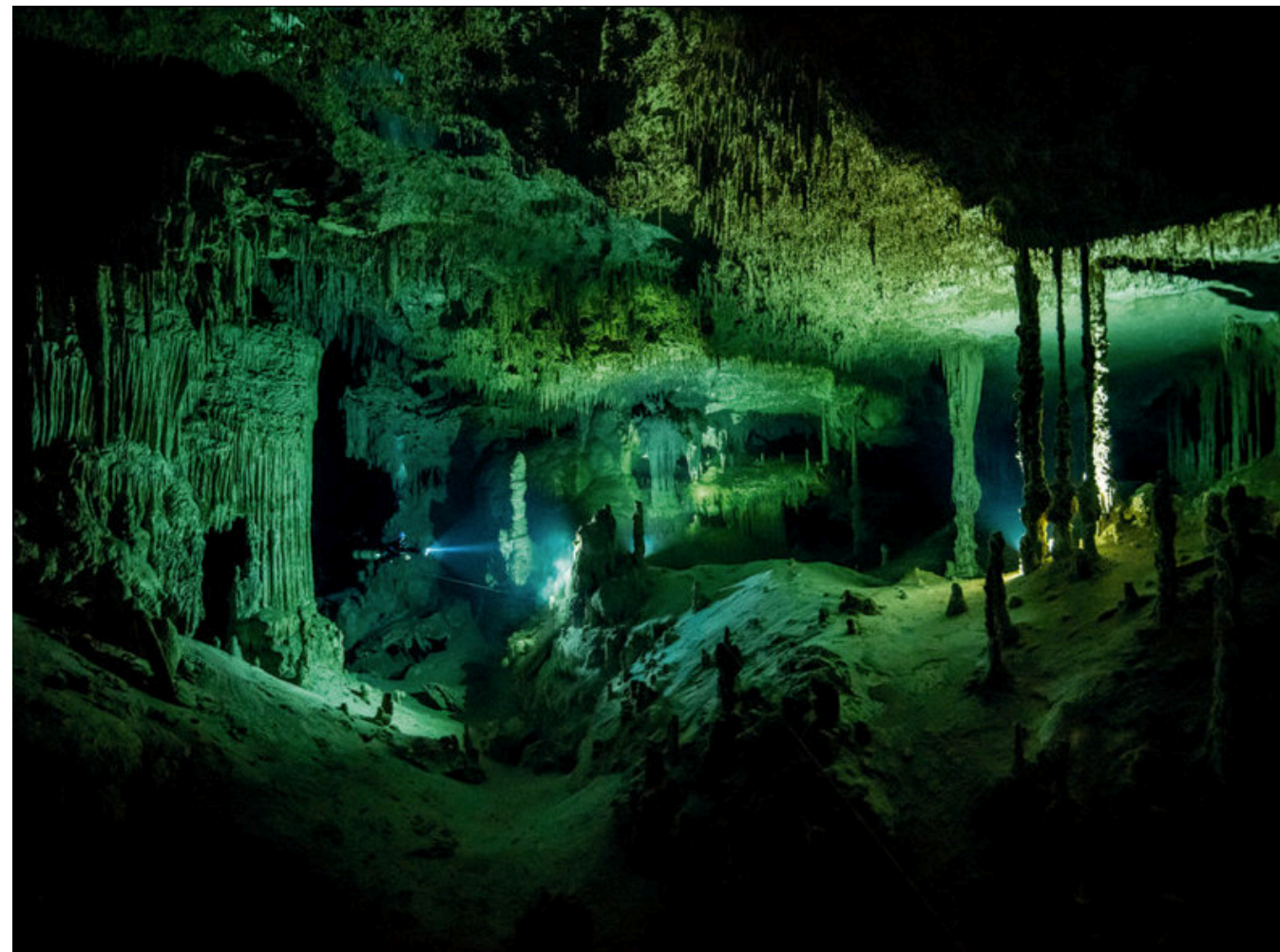
<https://www.nps.gov/macal/learn/nature/stalactites-stalagmites-and-cave-formations.htm>

<https://cavern.com/learn/formations.asp>

<http://www.goodearthgraphics.com/virtcave/largest.htm>

<https://petapixel.com/2021/11/05/photographing-the-expansive-underwater-caves-of-the-yucatan/>

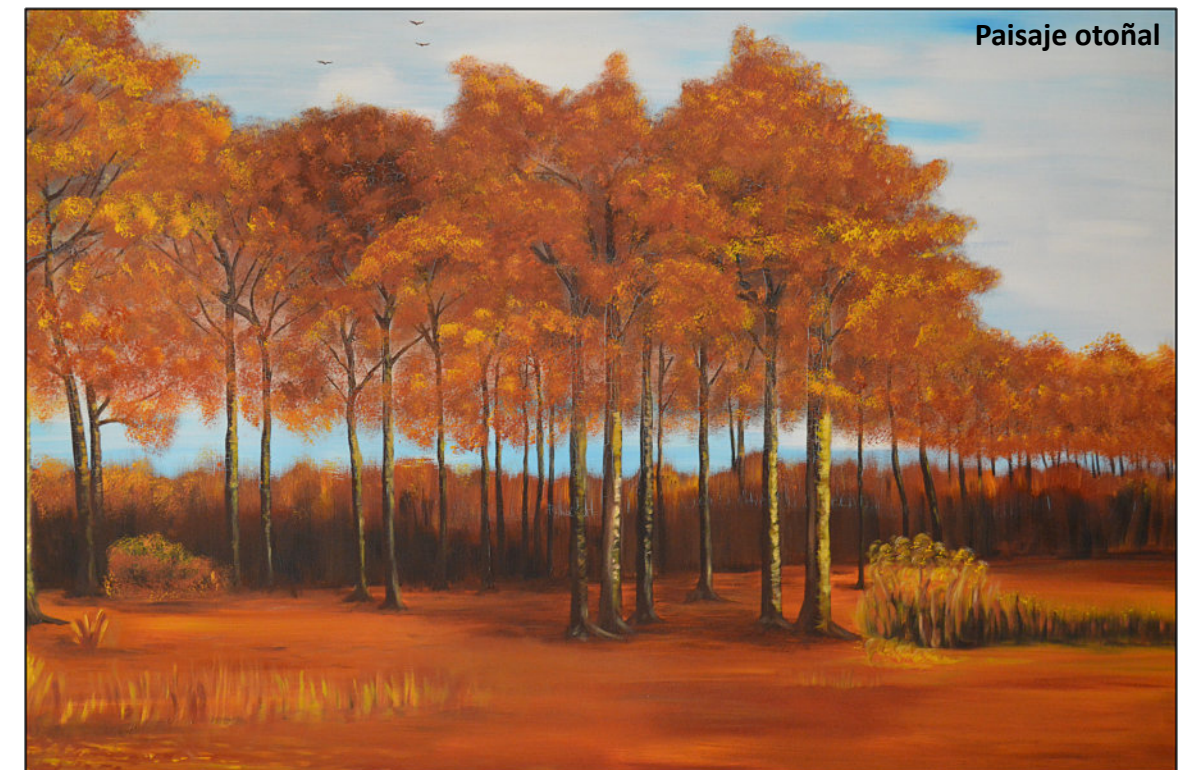
<https://theculturetrip.com/north-america/mexico/articles/mexico-s-cenotes-hidden-gems-of-the-yucatan/>



Caverna del arte

Pinturas de Salvador Ortuño Arzate

Colaborador de la revista



Paisaje otoñal



Amanecer en el Mar Egeo, Grecia

An Explanation, at Last, for Mysterious “Zen Stones”

Every once in a while, nature produces something with captivating fragility. Such is the case with Zen stones, which seemingly hover above frozen lakes, their masses supported by thin, sometimes nearly invisible, pedestals of ice. Researchers have now determined the physics underpinning the formation of Zen stones using laboratory experiments and numerical simulations. Sublimation of ice plays a key role, the team discovered, which puts Zen stones in rare company with other sublimation-sculpted natural features such as penitentes.

<https://eos.org/articles/an-explanation-at-last-for-mysterious-zen-stones>

Photos: The Incredible Ice Formations of Lake Baikal

<https://www.theatlantic.com/photo/2019/05/lake-baikal-ice-formations-photos/590374/>

Scientists may be solved the case of mysterious zen stone || balanced Zen Stone Baikal Lake

<https://www.youtube.com/watch?v=vpSv2Ci8QD4>

Compilado por Nimio Tristán,
Geólogo,
Houston, Texas



Glosario de términos geológicos

Compilado por:

E.P Saul Humberto Ricardez Medina

Esta compilación selecta de términos geológicos que utilizan regularmente los profesionistas de las Ciencias de la Tierra tiene la intención de apoyar a aquellos estudiantes que requieran de una referencia sobre el tema.

Cuenca: Una depresión de la corteza terrestre, formada por la actividad tectónica de las placas, en la que se acumulan sedimentos.

Espacio de acomodación: Se refiere al volumen de la cuenca que potencialmente puede rellenarse de sedimento.

Trinchera: Depresión larga y estrecha del piso oceánico, comúnmente asociada a la subducción de una placa oceánica, lo que crea un levantamiento hacia el continente, este abombamiento es conocido como prisma acrecional.

Prima de acreción: es una gran acumulación de sedimentos deformados que se acumulan en forma de cuña en una zona de subducción en un borde convergente de placas tectónicas.

Cuencas de antearco: Las cuencas de antearco se forman entre el prisma de acreción y el arco volcánico, su subsidencia se encuentra marcada por la carga de sedimentos.

Cuencas de trasarco: Este tipo de cuencas tiene como límite el arco magmático y el cratón, se pueden formar tanto en el océano como en continente. Dependen en gran medida del tipo de subducción y es por esto que son de vida corta y reducida extensión.

Cuenca de antepais: es una depresión de la corteza continental localizada en el frente de una cadena montañosa en formación, la cual es causada por la colisión de placas tectónicas.

Cuencas transtensionales: Son cuencas creadas por el desplazamiento de sistemas de fallas de rumbo y por efectos transtensionales.

Cuencas transpresionales: Son cuencas creadas por compresión en zonas de fallamiento de rumbo que resultan en un levantamiento rápido de uno o dos márgenes y una subsidencia rápida de una cuenca.

Cuencas Rotacional: Estas cuencas se forman por rotación de bloques de corteza continental en zonas de fallamiento de rumbo.

Einsele, G. (jul 27, 2000). Sedimentary Basins: Evolution, Facies, and Sediment Budget. Germany: Springer Science & Business Media.

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.

**Asociación de Geólogos y Geofísicos
Españoles del Petróleo**

<https://aggep.org/>



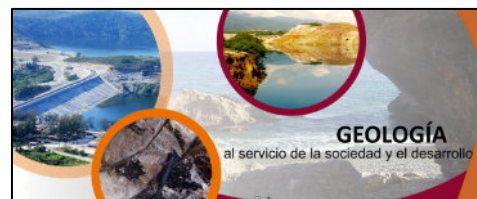
Sociedad Geológica de España

<https://sociedadgeologica.org/>



Sociedad Cubana de Geología

<http://www.scg.cu/>



Sociedad Dominicana de Geología

<http://sodogeo.org/>



<http://cbth.uh.edu/>

**Universidad Tecnológica
del Cibao Oriental,
República Dominicana**

<https://uteco.edu.do/>



Pieza de Mayapán, Yucatán. INAH. MUSEO REGIONAL DE ANTROPOLOGÍA

¿QUIERES COLABORAR CON NOSOTROS?

ENVÍANOS UN CORREO A:

luis.valencia.11@outlook.com; bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu