

JULIO
SUPLEMENTO
2025



MAYA

REVISTA DE GEOCIENCIAS





MAYA

REVISTA DE GEOCIENCIAS

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

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

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

La Revista tendrá una publicación mensual, por medio de un archivo PDF, el cuál será distribuido por correo electrónico y compartido en las redes sociales. Esta revista digital no tiene fines de lucro. La RMG es internacional y bilingüe. Si 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: Magnificent exposures of Lower Jurassic eolian sandstones of the Navajo Sandstone (<https://www.geolsoc.org.uk/science-and-policy/plate-tectonic-stories/navajo-sandstone/>) along Antelope Canyon in northern Arizona. Photo by **Claudio Bartolini**.

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

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

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

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

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

Revista de difusión y
divulgación geocientífica.

EDITORES



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

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

luis.valencia.11@outlook.com



Bernardo I. García-Amador es Investigador Asociado "C" de Tiempo Completo del Instituto de Geofísica de la UNAM. En 2024 obtuvo su doctorado en Ciencias de la Tierra por la UNAM. Su línea de investigación versa en la aplicación del Paleomagnetismo, Magnetismo de Rocas y Anisotropía Magnética para resolver problemas en Tectónica, Geología Estructural, Vulcanología, y el

Análisis de Cuencas Sedimentarias; siendo autor y coautor de diversas publicaciones científicas. Además, desde el 2018 ha impartido el curso de Tectónica en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, un tema que le apasiona en las geociencias.

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



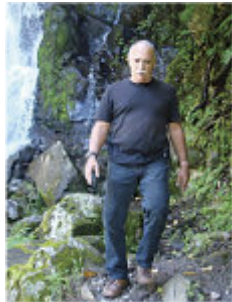
Claudio Bartolini (Ph.D.) is presently a senior exploration advisor at Petroleum Exploration Consultants Americas. He has more than 25 years of experience in both domestic and international mining and petroleum exploration, mainly in the United States and Latin America. Claudio was an associate editor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

the Americas. He is a Correspondent member of the Academy of Engineering of Mexico.

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

bartolini.claudio@gmail.com

COLABORADORES



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



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



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

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

geodoxo@gmail.com

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

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

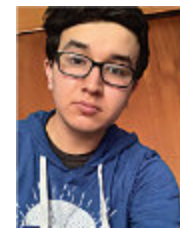
rodriguez.arteaga@gmail.com



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

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

ensilvacruz@gmail.com



Miguel Vazquez Diego Gabriel, es estudiante de la carrera de Ingeniería Geológica en la Universidad Nacional Autónoma de México (Facultad de Ingeniera), 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



Daniela Kristell Calvo-Ramos es Ing. Ambiental de la Univ. Politécnica de Chiapas, Maestría y Doctorado en Ciencias de la Energía en la Univ. Autónoma de Querétaro. Actualmente en estancia Posdoctoral en Centro de Geociencias UNAM-Juriquilla. Sus líneas prioritarias de investigación son: (1) síntesis de materiales fotocatalíticos, (2) síntesis de materiales grafénicos, (3) fotodegradación de colorantes en aguas, (4) foto-oxidorreducción de metales en agua y (5) contaminación de metales en agua. En su programa posdoctoral está

trabajando en preparación de muestras (separación en columnas de intercambio iónico) y análisis (Espectrometría de Masas Multicolector con Plasma Acoplado Inductivamente ICP-MMS) para medición de isótopos estables de zinc, cobre y hierro en diferentes materiales naturales (agua-roca). También es docente en la Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES-UNAM Juriquilla).

dcalvo@geociencias.unam.mx



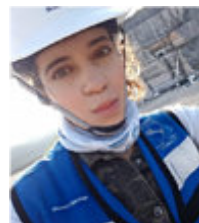
Rafael Tenreiro Pérez, se gradúa de ingeniero en geofísica de exploración de petróleo en 1974 en la Academia Estatal de Petróleo de Azerbaiyán, Master en Ciencias en Geología del Petróleo en la Universidad Politécnica CUJAE de la Habana en 1981 y Doctor en ciencias en Geofísica de Exploración la Universidad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

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

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

tenreiro2015@gmail.com

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

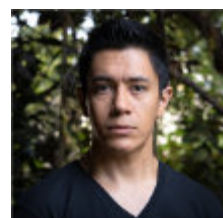


Laura Itzel González León / Ingeniera geóloga ambiental

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

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

gleon.laura@gmail.com



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

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

r.avalos@astrocamp.mx



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

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



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

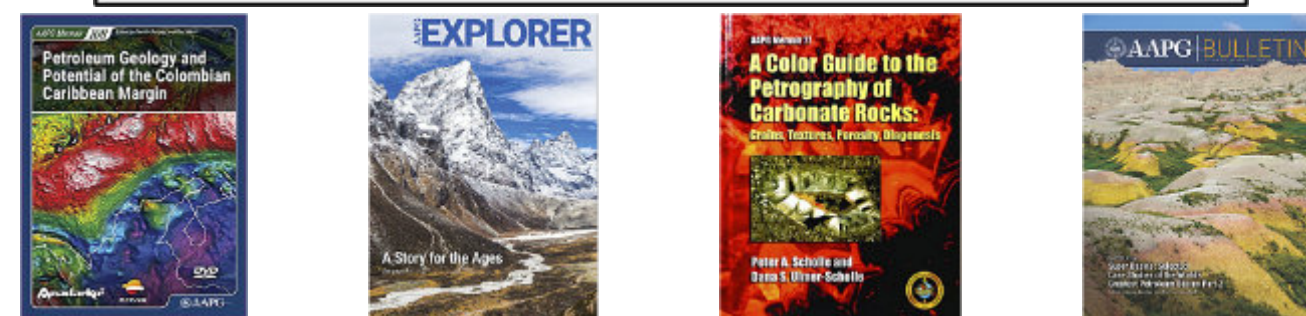
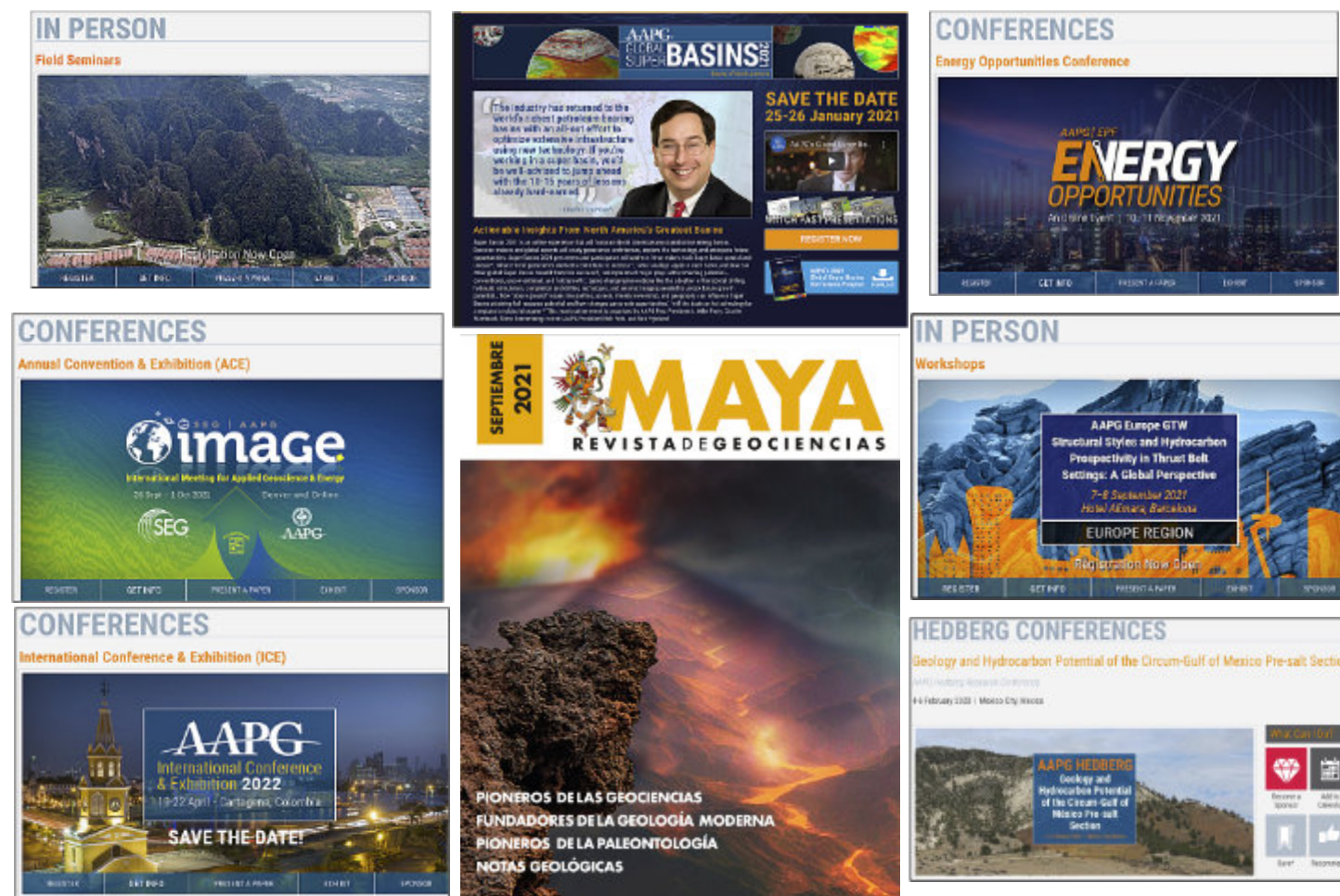
Bajo la dirección del Dr. Carlos Gay, su investigación doctoral analizó por medio del uso de mapas cognitivos difusos los posibles impactos que el cambio climático puede tener sobre la vulnerabilidad hídrica de la ZMVM. Su tesis doctoral fue galardonada con el Primer Lugar del Primer Premio a la Investigación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

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

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

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

norma.olvera@atmosfera.unam.mx



Nuevo Canal Youtube de la Revista Maya de Geociencias

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

Estimados colegas,

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

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



Visítanos en Revista Maya de Geociencias

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



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

Estimados Colegas

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

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

*Nuestro agradecimiento a **Manuel Arribas Andrés**, 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.*

Manuel Arribas Andrés. Fotógrafo de España: <https://www.instagram.com/manuel.arribas.andres/>

<https://rio2025.iceevent.org/>

Join us for AAPG's flagship global event returning to the Latin American and Caribbean Region in 2025!

Discover the fundamental role of exploration and geoscience for meeting energy demand while transitioning to a low carbon future. Enjoy a multidisciplinary program featuring the latest advances in geoscience, technology, innovation, and public policy, and network with technical experts and industry leaders shaping the region's energy future.



<https://amexen.org/iec/2025/index.html>

REDEFINIENDO EL RUMBO DE LA ENERGÍA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

6° CONGRESO INTERNACIONAL DE ENERGÍA 2025

TERCERA CONVOCATORIA

La Academia Mexicana de Energía, A. C. y La Academia de Ingeniería de México, tienen el agrado de invitarle a participar en el 6o. Congreso Internacional de Energía, que se llevará a cabo del **24 al 26 de septiembre de 2025 en el Palacio de Minería, Tacuba # 5, Centro Histórico, Ciudad de México.**

El Congreso Internacional de Energía 2025 tiene como objetivos discutir avances y proponer nuevos proyectos en colaboración sobre investigación básica y aplicada, desarrollo tecnológico, educación y políticas, del sector energético.

Las temáticas que abarcará el Congreso son:

Biofuels/Biocombustibles	Hydrogen/Hidrógeno
Education/Educación	Ocean Energy /Energías del Océano
Energy Efficiency/Eficiencia Energética	Energy Policy/Políticas Energéticas
Power/Energía Eléctrica	Solar Energy/Energía Solar
Geothermal/Geotérmica	Sustainability/Sostenibilidad
Windpower/ Energía Eólica	Nuclear Energy/Energía Nuclear

El Congreso reunirá a personalidades de los ámbitos académico, industrial y político del sector energético público y privado, con el propósito de crear un espacio en que se logre la difusión del conocimiento, pero esencialmente la cooperación y vinculación de todos estos sectores. Esta vinculación pretende generar proyectos de gran envergadura que impacten en el sector energético.

**FECHA LÍMITE DE RECEPCIÓN DE RESÚMENES
12 DE MAYO DEL 2025.**

Los resúmenes de trabajos se recibirán a través de la página de la Academia Mexicana de Energía: www.amexen.org

<https://www.sociedadgeologicamexicana.org.mx/>

PRIMERA CIRCULAR



Convención Geológica Nacional 2025

Agua, Minerales y Energía:
Geociencias Aplicadas a una Estrategia Nacional Sustentable

Palacio de Minería, Centro Histórico, CDMX
Del 3 al 5 de septiembre de 2025

TEMAS DE ENFOQUE:

- Educación y Planes de Estudio
- Geología del Petróleo
- Geotermia
- Hidrógeno Geológico
- Hidrogeología
- Minerales Críticos

TEMAS ADICIONALES:

- Arqueometría
- Cambio Climático
- Edafología
- Educación
- Estratigrafía
- Estratigrafía Volcánica
- Geofísica
- Geología Ambiental
- Geología de México
- Geología Estructural
- Geología Forense
- Geología Médica
- Geomorfología
- Geoquímica
- Geotecnia
- Karst y Pseudokarst
- Minerales y Rocas Industriales
- Mineralogía
- Paleoclimatología
- Paleontología

Fecha límite para proponer Sesiones especiales, Excursiones (pre y post Convención), Cursos cortos y Paneles de discusión: 7 de abril, 2025
Envíos al correo: sociedadgeologicamexicana.info@gmail.com
(Las propuestas serán enviadas al Comité Técnico para su evaluación)

Para apartar stand en el área de exhibición y solicitar información de patrocinios, comunicarse al correo: lety.bernal@ecodsa.com.mx



Síguenos en:
[/SOCIEDADGEOLOGICAMEXICANAAC](https://www.facebook.com/SOCIEDADGEOLOGICAMEXICANAAC)

PROXIMAMENTE MÁS INFORMACIÓN
WWW.SOCIEDADGEOLOGICAMEXICANA.ORG.MX/

<https://sociedadcolombianadegeologia.org/>



XX CONGRESO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA

SABER MÁS...

AGOSTO 2025, CALI




INICIO LA SOCIEDAD ASOCIADOS GREMIO PROGRAMAS EVENTOS PUBLICACIONES LINEA DE TIEMPO **XX CONGRESO**

CIRCULARES PROGRAMACIÓN RESÚMENES CONVOCATORIAS INSCRIPCIÓN PRENSA

INFORMACIÓN IMPORTANTE TEMÁTICAS CURSOS Y TALLERES SALIDAS DE CAMPO ACTIVIDADES SCG OTRAS ACTIVIDADES

13 al 15 Agosto 2025
Cali, Colombia

XX CONGRESO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA

CALI 2025



https://drive.google.com/file/d/1vF0YkaQc_Isqn0CRpS5tYt3AffvjinloB/view?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTAAYnJpZBExNk1aTEpnZ0ppWHdscThYbQEe_DXBaHNjVD1ebdomm38wQ5fVF3HiiLO8mo-gO-I9zWlxqLrTLUDlqyQR6F4_aem_zIWg4KP1JajhwNCGF-yOIQ

35
Aniversario INAGEQ

Más información del congreso
<https://inageq2025.cicese.mx/>

Segunda Circular XXXV

CONGRESO NACIONAL DE GEOQUIMICA 2025
Geoquímica en el Corazón del Valle: Innovación y Sostenibilidad para el Futuro

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA
Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, Baja California
ENSENADA, BAJA CALIFORNIA

DEL 6 AL 10 DE OCTUBRE DEL 2025

CICESE INAGEQ Ciencia y Tecnología
Matraz Agilent
Vinosos & La Picana MONTE XANIC Acuerdos del Acuífero CEGAM

<https://www.inageq.com/> <https://www.facebook.com/INAGEQ> <https://www.instagram.com/inageqmx/>



Convocatoria

El Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE), a través de la División de Ciencias de la Tierra en colaboración con el Instituto Nacional de Geoquímica A.C. (INAGEQ), invitan a la comunidad de investigación en Ciencias de la Tierra y Ciencias afines a la química de los sistemas terrestres a participar en el **XXXV CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA 2025**, que se llevará a cabo del 06 al 10 de octubre de 2025 en modalidad presencial en las instalaciones del CICESE.

✉ **Informes:** inageq2025@cicese.mx

🌐 **Sitio** <https://inageq2025.cicese.mx/>

Áreas temáticas

El INAGEQ agrupa a toda la comunidad científica relacionada con la geoquímica y ciencias de la Tierra del país, y dentro de sus actividades está la organización de eventos que permitan difundir los logros científicos alcanzados. Estos eventos fomentan la convivencia, el intercambio de ideas y promueven la formación de recursos humanos en las siguientes áreas temáticas:

- Biogeoquímica
- Geoarqueología
- Geoquímica
- Geoquímica ambiental y salud
- Geoquímica de isótopos y geocronología
- Geoquímica Marina
- Geotermia
- Hidrocarburos
- Hidrogeoquímica e Hidrogeología
- Interfaces para el control de la contaminación
- Monitoreo participativo
- Petrología sedimentaria, ígnea y metamórfica
- Petroquímica
- Procesos contaminantes en cuencas hidrológicas y cuerpos de agua
- Química atmosférica
- Química analítica
- Vulcanología



Instituto Nacional de Geoquímica A.C.

CONVOCATORIA

PREMIOS TESIS INAGEQ 2025

Reconocimiento a los más importantes avances en Geoquímica de nuestros(as) estudiantes de Licenciatura, Maestría y Doctorado

En el marco del 35° aniversario del Instituto Nacional de Geoquímica (INAGEQ), la Mesa Directiva y la Jefatura de Difusión e Imagen del INAGEQ invitan a la comunidad estudiantil de las Instituciones Académicas de México, a postularse a la convocatoria "PREMIOS TESIS INAGEQ 2025", un reconocimiento otorgado a los tres primeros lugares de las mejores tesis de licenciatura, maestría y doctorado, bajo los siguientes requisitos:

1. Participantes de licenciatura, maestría y doctorado con membresía INAGEQ vigente.
2. Tesis con avances geo-científicos afines a las temáticas de geoquímica.
3. Los trabajos de tesis que concursen deben haberse realizado en una institución mexicana. El examen de licenciatura, maestría o doctorado correspondiente debe haberse presentado entre el 1° de enero de 2024 y el 31 de julio de 2025.
4. Las y los candidatos(as) deberán registrarse en la página <https://www.inageq.com/concovatorias>, donde deberán llenar el formato PREMIOS TESIS, y subir a la plataforma los siguientes documentos/vídeo:
 - 4.1 Tesis de licenciatura, maestría o doctorado según sea el caso de participación.
 - 4.2 Curriculum vitae actualizado (perfil único rizoma y/o formato en inageq.com).
 - 4.3 Documentación oficial que acredite la defensa del examen de grado (acta de examen o título).
 - 4.4 Identificación oficial y/o credencial estudiantil.
 - 4.5 Carta de la o el Director(a) de Tesis, donde se explique brevemente la aportación, impacto y motivos por los cuales el trabajo a nominar es meritorio del premio (ver formato en <https://www.inageq.com/concovatorias>).
 - 4.6 Un vídeo creativo con una duración máxima de 1 minuto, dirigido al público en general, en el que la o el estudiante explique su tesis y por qué debe ser la ganadora de este concurso (el vídeo podrá ser publicado en las redes sociales del INAGEQ).
 - 4.7 Comprobante de membresía vigente INAGEQ.
 - 4.8 Comprobante de pago de inscripción al concurso: licenciatura \$100, maestría \$200 y doctorado \$300. El monto acumulado por cada categoría se destinará para premiar complementariamente al primer lugar de cada categoría (ver información para pago en <https://www.inageq.com/concovatorias>).
5. El jurado estará conformado por la Comisión de Premios INAGEQ, garantizando la ausencia de conflicto de intereses en los procesos de evaluación.
6. En la selección de las tesis premiadas se considerarán los criterios de la rúbrica de evaluación (ver documento en <https://www.inageq.com/concovatorias>), incluyendo la originalidad, el rigor científico y la relevancia del aporte al avance de la Geoquímica en las diferentes áreas temáticas del Instituto Nacional de Geoquímica. El dictamen del jurado será inapelable.
7. Las candidaturas podrán registrarse en la dirección electrónica: [inageq.com/premiostesis](https://www.inageq.com/premiostesis) a partir de la publicación de esta Convocatoria, y hasta el **viernes 08 de agosto de 2025 a las 15:00 horas** (hora del centro).
8. El resultado del certamen se dará a conocer en la Asamblea Ordinaria que se celebrará en octubre de 2025 en el CICESE, durante el XXXV Congreso INAGEQ-CICESE 2025.
9. Los premios consistirán en un diploma y una membresía anual válida para INAGEQ 2026 para el primero, segundo y tercer lugar. Además, el primer lugar de cada categoría recibirá un incentivo económico. Los premios se entregarán durante el XXXV Congreso INAGEQ-CICESE 2025.

ATENTAMENTE
MESA DIRECTIVA DEL INAGEQ 2023-2025

JULIO
SUPLEMENTO
2025

EDICIÓN ESPECIAL XXIV



TABLA DE CONTENIDOS

GERMÁN JIMÉNEZ UREÑA (1861-1929): UN POLIFACÉTICO INGENIERO

José Antonio Rodríguez Arteaga

DIAGNÓSTICO, CÓMO Y POR QUÉ MÉXICO HA LLEGADO A LA PROBLEMÁTICA HÍDRICA ACTUAL. USO INADECUADO DEL AGUA SUBTERRÁNEA. PROPUESTA DE SOLUCIONES Y ACCIONES.

M. en I. Raúl Morales Escalante

SIGNIFICADO GEOTECTÓNICO DE LAS ROCAS ECLOGÍTIICAS DE CUBA CENTRAL. (1992)

Álvarez-Sánchez, H., Millán, G., Mainegra, V., Bernal, L., Andó, J.

DEFINITION, EMENDATION, AND MICROFACIES ANALYSES OF UPPER CRETACEOUS AND LOWER PALEOGENE LITHOSTRATIGRAPHIC UNITS IN TEXAS. (IN MEMORIAM)

Emile A. Pessagno, Jr.

GERMÁN JIMÉNEZ UREÑA (1861-1929): UN POLIFACÉTICO INGENIERO

José Antonio Rodríguez Arteaga

rodriguez.arteaga@gmail.com

Colaborador de la Revista

RESUMEN

En el II Congreso Científico Panamericano celebrado en la ciudad de Washington entre el 27 de diciembre de 1915 y el 8 de enero de 1916, fue llevado a consideración de los presentes un voluminoso ejemplar en dos sesiones dictadas referentes al mundo mineral.

Este ejemplar probablemente distinguido en su relatoría como la 7^{ma}, presidida por Hennen Jennings de la Comisión Ejecutiva del evento, pertenecieron entre temas: *minería, metalurgia, geología económica y química aplicada*. Con esta indagación preliminar hemos intentado indagar sobre un posible informe elaborado por Miguel Emilio Palacio Viso (1849-1931) fundador de la *Primera Escuela de Minas en Guayana para 1893*, del cual no hemos obtenido algún ejemplar suelto con un artículo técnico de su autoría. Una búsqueda de la versión digital de esta conferencia dio como resultado una particular sorpresa: los *Apuntes sobre la riqueza mineralógica de Venezuela*, texto elaborado por el ingeniero y probable mineralogista Germán Jiménez Ureña (1861- 1929) funcionario del Ministerio de Obras Públicas, MOP, quien examinó entre otros aspectos “la *minería de las sustancias no metálicas*” entre ellos la actividad carbonífera nacional en 2 las explotaciones: Barcelona, estado Anzoátegui y las correspondientes al estado Falcón noroccidente de Venezuela.

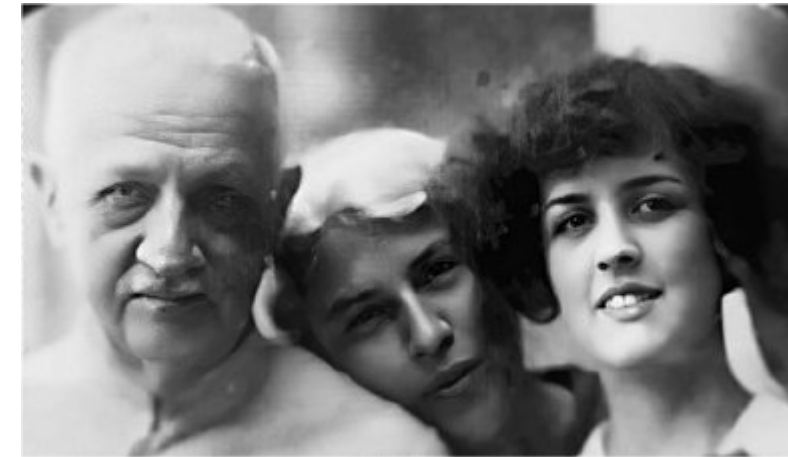
A continuación, se presenta el texto completo, escrito por Giménez en 1915 con observaciones o bibliografía consultada y colocada *a pie de página*, respetando al original.

En dicho artículo han sido incluidos cuadros comparativos, análisis químicos, producción y otras características hasta lograr para el primer tercio del siglo XX una resolución conclusiva al presente ensayo.

Palabras claves: *II Congreso Científico Panamericano, Germán Jiménez U., actividad carbonífera, Barcelona, Coro*

BIBLIOGRAFÍA AMPLIADA DE GERMÁN JIMÉNEZ UREÑA Y SUS LABORES

Una revisión general del más reciente trabajo de Grases *et al.* (2016) señala su íntima relación con Felipe y Concepción Jiménez-Ureña, sus padres. De sus estudios señala concluidos, los 2 primeros cursos básicos en el Colegio Pedro Fontes de la parroquia La Vega, Caracas, dedicándose posteriormente a las ciencias de la ingeniería, de donde egresa como ingeniero civil proveniente de las aulas de la Universidad Central de Venezuela en 1891.



Germán Jiménez Ureña a los 66 años de edad en 1927 con parte de su familia.

(Fuente: Jahn Jiménez P.) <<http://jahnweb.com/ajj/gjimenez.html>>

Por la profundidad de sus conocimientos y la sagacidad de su análisis, el Doctor Jiménez era hombre de consulta y de consejo inapreciable valor para las instituciones y empresas industriales que utilizaban sus servicios (Jahn Jiménez, s/f) estudios que acompañó de los de jurisprudencia, solo para *cultivar su espíritu*, al no llegar a ejercer libremente la abogacía. Apenas se inicia en la ingeniería colabora en la construcción del Ferrocarril de La Guaira y luego el de la Ferrocarril Central de Venezuela, a cuyos temas dedicará un par de artículos, pero antes, fue llamado a interesarse en el Ministerio de Obras Públicas. MOP, con el Doctor Jesús Muñoz Tébar, a quien reemplazó en la *Cátedra de Matemáticas* de la Universidad Central de Venezuela.

Infelizmente no pudo dedicarse a la enseñanza universitaria durante largo tiempo por sus trabajos gubernamentales y para particulares que absorbían su tiempo. No obstante, por breve tiempo se desempeñó en las cátedras de topografía, geodesia y astronomía en las que mostró cualidades de docente de primer orden (Jahn Jiménez, s/f).

Germán Jiménez U. en la práctica oficial desempeñó los cargos a la diputación del Congreso Nacional y al *Ministerio de Obras Públicas*, MOP durante el período presidencial de Ramón Andueza Palacios. años 1890 a 1892, al igual que a la presidencia del *Colegio de Ingenieros de Venezuela* durante 9 años consecutivos. En su presidencia por 2 períodos y en el Director *Principal del Banco de Venezuela* en 1920. Durante el ejercicio de sus funciones inaugura el ferrocarril de Naricual y presenta ante el Senado un informe sobre el proyecto ferrocarrilero entre Mérida y Maracaibo. En 1911 se desempeña como inspector de vías del *Ferrocarril Central de Venezuela* y para el año siguiente-1912-, es nombrado en calidad de Comisionado por el MOP para investigar las causas de los descarrilamientos del ferrocarril Caracas-La Guaira. En el lapso comprendido entre los años 1911-1914, ocupará un cargo de mucha responsabilidad al ser nombrado *Director de la Revista Técnica del Ministerio de Obras Públicas*. En 1911, a la par que es comisionado por el propio ente ministerial para investigar las causas de los descarrilamientos ocurridos en el *Ferrocarril Caracas-La Guaira* En 1915, publicó un tratado sobre *El derecho y la ingeniería* junto con el abogado José Loreto Arismendi (1825- 1870). En 1923, dedica su tiempo al estudio público general sobre los ferrocarriles de Venezuela junto con el historiador Vicente Lecuna.

Previo estos años y en 1882, en franco desacuerdo con el «continuismo» de Andueza -el poder de poder de éste se prolonga sin indicios de cambio o renovación; ello trae como consecuencia su renuncia al *Ministerio de Obras Públicas* regresando al ejercicio libre de la ingeniería en asociación con Félix Martínez Espino y fundando la *Oficina de Ingeniería Jiménez y Martínez Félix Espino* en cuya empresa

ocupa el cargo de Jefe de la primera sección en la sala técnica del MOP, 1907-1912, correspondiéndole examinar las obras del *Muelle de la Vela de Coro* y las Minas de *Carbón del estado Falcón*. Tanto las obras anteriormente señaladas Jiménez continuará en funciones de *Inspector de Vía del Ferrocarril Central de Venezuela*, en 1912.

Para 1917, será corredactor en la representación de Estados Unidos en Caracas y haciendo estudios generales sobre los ferrocarriles de Venezuela, el cual completa y amplía, para su publicación en 1923. Es a partir de 1920 que ocupará el cargo de *Director del Banco de Venezuela* siendo un destacado vocero para la construcción de nuevas líneas férreas en el país, Ya vemos que su constante era la comunicación pero dedicó tiempo al estudio de la mineralogía no-metálica y metálica y otros temas de cuya primera parte trata este ensayo. Así, en procura de algún trabajo de *Miguel E. Palacio*, tuvimos la suerte de conseguirnos con el artículo de Giménez Ureña, cuyo texto se conserva por tratamiento digital entre los resúmenes expuestos provenientes de un ejemplar de la Universidad de Columbia tanto por su actividad constructiva, mineralógica (esencialmente carbonífera a los efectos de este trabajo) y ferrocarrilera.

No obstante, hemos decidido mantener fondo y forma, su artículo discutido en el contexto de 108 años atrás, apenas iniciado el siglo XX, reflejo fiel de su tránsito como el primer venezolano autor de las *memorias de la minería carbonífera* perteneciente a este II Congreso compilados en una colección de 11 volúmenes en los cuales quedaron expuestos los trabajos de las nueve secciones del mismo -las cuales no se mencionan- y en función de las características obtenidas de la *Geología* tal como continuación sigue.

Sobre la historia del carbón nacional

Varios temas del artículo del Ingeniero Germán Jiménez sobre la riqueza carbonífera nacional, trata la minería de sustancias no-metálicas como elemento "integrador" de una fracción de su historia su actividad nacional. Corresponde este a uno de los temas redactados por el prenombrado ingeniero, funcionario del Ministerio de Obras Públicas, MOP quien, examinó la actividad carbonífera venezolana dividida en explotaciones de minas en el estado Anzoátegui y las correspondientes al estado Falcón. (véase el artículo completo en Rodríguez, 2025:12-17.).



Germán Jiménez Ureña, 1885

(Fuente: Jahn Jiménez P. <<http://jahnweb.com/ajj/gjimenez.html>>)

MINERÍA DE LAS SUSTANCIAS NO METÁLICAS.

Minas de carbón

"No existe en Venezuela la verdadera formación carbonífera, y todo el carbón mineral del país pertenece a los terrenos terciarios. Sus depósitos se encuentran en una zona que se extiende desde el extremo oriental de la República hasta sus Orinoco era un mar, del cual se levantaban varias islas, siendo las más notables las confines con Colombia. Durante la época cretácea, la parte de Venezuela situada al norte del que hoy conocemos como montañas de Mérida, Caracas y Paria. En la época siguiente, la terciaria, salieron de este mar algunas islas nuevas, constituidas por rocas y agrupadas en una línea que corre del suroeste al noreste. En sus costas se formaron depósitos de calizas conchíferas, de arcilla y arenisca, que pronto fueron cubiertas de calcáreas, una vegetación extraordinariamente densa. Pero en el curso de los tiempos geológicos sobrevinieron oscilaciones del suelo; el mar invadió la selva costanera y la sepultó bajo los sedimentos de sus arenas y arcillas. Sustraídos así a la influencia del aire, los restos vegetales se convirtieron en carbón mineral; más tarde fueron levantados de nuevo estos terrenos de origen submarino y constituyeron la superficie tal como hoy la conocemos. La inclinación de las vetas de carbón, sus rupturas o fallas, y su situación sobre la caliza, son pruebas de que el cuadro anterior corresponde perfectamente bien a la realidad de los hechos. Así, cerca de Capadare yace el carbón debajo de una capa de arcilla rojiza que contiene grandes cantidades de una *Ostrea fósil*; encima de ella se encuentra una capa de marga arenosa de color moreno, con *conus*, *pecten* y *buccinum*; y más arriba calizas terciarias (*Karsten*). En Cumaná pertenece el carbón a los últimos pisos de la creta superior; cerca de Curamichate, Agua Clara y Lobatera encontró *Karsten* numerosos afloramientos de un carbón puro y hermoso, en capas separadas unas de otras por estratos de arenisca y pizarra arcillosa. Las más de las veces yace debajo del carbón una arenisca más o menos dura que presenta impresiones de helechos, de gramíneas y de hojas de plantas dicotiledóneas. Hacia el sur de Cumarebo, a orillas del Motura, existe el carbón en una arenisca micácea de color blanco y muy blanda, debajo de una capa de pizarra arcillosa con mucho hierro. En el páramo de Mucuchíes vió el citado viajero una capa de carbón de fractura brillante y de cerca de un pie de espesor: yace sobre una arcilla de color azul claro, y la cubren capas de arena, ya blancas, ya ferruginosas, y alternando con arcillas arenosas.

Las capas de carbón se presentan casi siempre fallas; su inclinación es de 45° aproximadamente; su dirección, oeste a este.

Se comprende, por las circunstancias indicadas, que todos nuestros carbones sean esencialmente bituminosos; hay, en efecto, algunos que son más bien asfalto que carbón, mientras que otros presentan aún, muy claramente, la estructura de los troncos de árboles de que fueron formados.

Hemos preferido dar a todos el nombre genérico de carbón mineral; pero, si tuviéramos que hacer la distinción entre hullas y lignitos, resultaría probablemente que, sin excepción, pertenecieran a los últimos, puesto que todos dan a la solución de potasa cáustica un color más o menos oscuro.

Es bien cierto que éstos son de calidad mejor en la parte inferior de las capas y a veces muy semejantes a las hullas de otros países, pero nunca dejan de ser lignitos; jamás pasa un lignito terciario a ser una hulla propiamente dicha, y la formación carbonífera, tal como la geología entiende este término, no se ha descubierto hasta ahora en ningún punto de Venezuela y no hay mucha probabilidad de que así suceda en lo futuro.¹

¹ Lo mismo debe decirse del carbón de la cordillera oriental de Colombia, del que habla Nicolás Sáenz, de Bogotá, en un trabajo notable publicado en 1878 bajo el título: "*Contribuciones al estudio geográfico de una Sección de la Cordillera Oriental, comprendida entre los 4° y 5° latitud norte, del meridiano de Bogotá.*"

Nada quitan estas observaciones a la importancia futura de los lignitos para el país, sea como combustible o como sustancia prima para la elaboración del gas de alumbrado.²

Expuestos estos preliminares generales debidos al Dr. *Adolfo Ernst* y que se refieren a las minas de carbón de Venezuela, consideradas en conjunto, nos contraeremos especialmente en estos apuntes, a los dos yacimientos más importantes que han sido explotados hasta ahora: los de *Barcelona*, en el oriente de la República, cuyos productos se exportan por el puerto de Guanta; y los del Estado Falcón, en el occidente, que tienen como puertos de salida las costas de La Vela y de Curamichate; prescindiendo así de muchos otros afloramientos existentes en el país, que, aunque importantes por su potencia y calidad, no han sido todavía explotados.

MINAS DE CARBÓN DE BARCELONA - ESTADO ANZOÁTEGUI

En una misión oficial, ordenada el año de 1907, llevamos el encargo especial de practicar una exploración de las minas de carbón existentes en el Estado Anzoátegui, cerca de Barcelona, y de examinar el estado general y demás circunstancias de sus instalaciones. Exponemos en seguida los resultados y conclusiones de tales estudios adicionados con algunos datos obtenidos posteriormente.³

La región carbonífera del Estado Anzoátegui, que ha sido explorada y en parte explotada hasta ahora, está limitada, al sur, por el río Querecual, y al norte por la serranía de Naricual; existiendo en esta región multitud de vetas en distintos rumbos, generalmente de este a oeste, la mayor parte no bien exploradas todavía.

La extensión de esta zona carbonífera, que el Ingeniero italiano *E. Cortese* avalúa en 800 kilómetros cuadrados, quizá refiriéndose a toda la región oriental donde existen yacimientos de carbón,⁴ ha sido apreciada por los ingenieros ingleses *Arthur L. Pearse* y *John Roberts*, en 40 millas inglesas cuadradas; quienes calculan que el yacimiento de Naricual solamente puede producir 5,500,000 toneladas. El Ingeniero *T. E. Richards*⁵, antiguo superintendente de estas minas, dice que la cantidad de carbón que se encuentra bajo el nivel de las galerías puede calcularse ilimitada; y el Ingeniero venezolano *Miguel E. Palacio*,⁶ de reconocida competencia en estas materias, afirma que los valles de Naricual, Capiricual y Tocaropo contienen una cantidad inagotable de carbón.⁷

Los yacimientos más importantes descubiertos hasta hoy son:

1. Los existentes a la margen izquierda de la quebrada de Aragüita, afluente del río Naricual, que han sido los más explotados. Esta explotación comenzó por los afloramientos visibles a la falda de la serranía, abriéndose galerías en la dirección de las vetas respectivas. Abandonado este plan de trabajo, se adoptó luego otro más racional, consistente en la perforación de una galería trasversal, de norte a sur, que cortase las diversas vetas o capas de carbón, permitiendo así el ataque de todas ellas a un tiempo, con una sola salida para la extracción del mineral.

² *El carbón mineral en Venezuela* por el Dr. Adolfo Ernst, 1883.

³ *Minas de carbón del Estado Anzoátegui*, por el Dr. Germán Jiménez, 1912.

⁴ Informe de los Ingenieros *Arthur L. Pearse* y *John Roberts*, *Boletín de la riqueza pública de Venezuela*, 1893.

⁵ Informe del Ingeniero *T. E. Richards*, *Memoria del Ministerio de Obras Públicas*, 1892.

⁶ Informe del Inspector técnico de Minas, Ingeniero *M. E. Palacio*, "Boletín de la riqueza pública de Venezuela," 1892.

Los espesores de estas vetas, en su parte explotada, han sido los siguientes: No. 1, 1 metro; No. 2, 0.50 a 1.20 metros; No. 3, 1 a 2.80 metros; No. 4, hasta 3.10 metros; No. 5, 1.25 a 2 metros; No. 6, muy desiguales; espesor medio de las vetas de Aragüita, 1.20 metros.

2. Al occidente de estos trabajos, en el sitio denominado "Cerro Grande", se comenzó la perforación de otra galería que, por quedar situada frente a la línea del ferrocarril, está en condiciones económicas de explotación.

3. Cerca del cauce de la quebrada *Simplicio*, situada como 1,500 metros al oriente de la quebrada de Aragüita, existen también tres galerías, de donde se ha extraído muy buen carbón, quizás el mejor de toda la región explotada; pero para poder sacar de allí el mineral sin grandes gastos, sería necesario prolongar el ferrocarril o establecer una vía portátil hasta aquel sitio. El espesor de estas vetas se aprecia en 2.10 hasta 2.60 metros.

4. En toda la región hay multitud de afloramientos, algunos con pequeñas galerías comenzadas; y en los últimos años se han explotado con alguna extensión las vetas de "Las Peñas," que producen actualmente considerable cantidad de carbón.

Estas minas pertenecen al Gobierno Nacional, el cual las ha arrendado en época anterior, pero hoy las explota directamente. Ellas están unidas al mar por un ferrocarril de 364 kilómetros de longitud, también perteneciente a la Nación, que conduce el carbón al puerto de Guanta, de magníficas condiciones como puerto de embarque.

Con respecto a la calidad de estos carbones, véanse en seguida los análisis químicos de ellos:

Años.	Autoridades.	Procedencia de las muestras.	Agua.	Materias volátiles.	Carbón fijo.	Cenizas.	Azufre.
			Por ciento.	Por ciento.	Por ciento.	Por ciento.	Por ciento.
1874	G. K. Barber, Sheffield.....	No dice.....	No dice	31.00	63.50	4.50	0.68
1890	Escuela de Minas, París.....	Aragüita.....	10.20	39.80	48.00	2.00	No dice.
1890	..... Id.....	..... Id.....	6.00	43.00	45.00	6.00	Id.
1890	..... Id.....	..... Id.....	5.50	43.90	47.60	3.00	Id.
1890	..... Id.....	..... Id.....	5.30	39.90	51.40	3.40	Id.
1892	Ingeniero M. E. Palacio.....	..... Id.....	1.72	31.12	65.10	1.63	0.43
1892	..... Id.....	Simplicio.....	3.80	25.70	66.25	4.25	No dice.
1892	..... Id.....	Orilla derecha.....	3.80	33.25	58.70	4.25	Id.
1901	Ingeniero E. Cortese.....	No dice.....	1.25	38.63	58.49	2.83	Id.
1907	Laboratorio Nacional, Caracas.....	Aragüita.....	0.95	36.26	62.02	1.77	0.98
1907	..... Id.....	Aragüita panela.....	2.70	32.85	59.50	4.95	0.83
1911	Escuela de Minas, París.....	No dice.....	1.42	45.33	52.07	1.18	1.00
1913	Ingeniero Oscar A. Machado.....	Las Peñas.....	1.10	36.17	59.03	3.70	1.99
1913	..... Id.....	..... Id.....	1.25	33.81	58.74	0.20	2.16
1913	..... Id.....	..... Id.....	1.55	35.40	61.10	1.95	1.31
1913	..... Id.....	..... Id.....	2.70	35.82	59.28	2.20	2.10

Análisis inmediatos de las minas de Barcelona

Se ve aquí que los carbones de Barcelona tienen una fuerte proporción de materias volátiles, por lo cual arden muy fácilmente y con llama larga. La cantidad de carbono fijo varía de 45 a 66.25 por ciento, cifras inferiores a las que corresponden a algunas hullas extranjeras; en lo que a este punto se refiere, la mejor muestra es la de la veta "Simplicio," que contiene el máximo hasta ahora observado.

El tenor en azufre llega hasta 2.16 por ciento; pero, parece que, al profundizar la explotación, el porcentaje en azufre disminuye de modo notable. En la explotación de estas minas, se produce como 33 por ciento de carbón grueso y 67 por ciento de carbón menudo mezclado con polvo, por término medio; circunstancia debida a la friabilidad del combustible, que hace necesario el funcionamiento de una máquina de hacer panelas, para poder aprovechar el polvo, producto principal de la explotación. Es indudable que, al profundizarse los trabajos, la cantidad proporcional de carbón grande aumentará, lográndose entonces otra ventaja, según hemos ya dicho: la disminución del porcentaje de azufre. El carbón de Barcelona, al ser destilado, deja en las retortas una gran cantidad de coke de excelente calidad, muy apropiado para ser usado como combustible, por no ser demasiado compacto y arder con mucha facilidad; y su producción de gas de alumbrado es bastante considerable. He aquí los experimentos comparativos, entre este carbón y el extranjero *Westmoreland*, que importaba la antigua "*Compañía del Gas y de la Luz Eléctrica de Caracas*," hechos por el Sr. *R. Schlüter*, ingeniero de dicha compañía:

	Producción por tonelada.	
	Gas de alumbrado.	Coke.
Carbón de Barcelona.....	227 metros cúbicos (8,000 pies cúbicos).....	Kilos. 605
Carbón Westmoreland.....	283 metros cúbicos (10,000 pies cúbicos).....	677

Acerca del poder calorífico de este combustible, transcribimos a continuación los ensayos que han llegado a nuestro conocimiento:

Poder calorífico de los carbones de las minas de Barcelona

Autoridades.	Procedencia d
Escuela de Minas, París.....	Aragüita.....
Id.....	Id.....
Id.....	Id.....
Id.....	Id.....
Ingeniero Miguel E. Palacio.....	Veta de la oril
Ingenieros Pearse y Roberts.....	Aragüita.....
Ingeniero E. Cortese.....	No dice.....

Como resumen de lo expuesto se puede decir que el carbón de las minas de Barcelona es propiamente un lignito bituminoso de buena calidad; asemejándose a veces, en las mejores muestras, a las hullas de llama larga; mas la circunstancia de estar sus yacimientos en terrenos relativamente modernos (terrenos terciarios), hace confirmar aquella clasificación. Por lo demás, la naturaleza del coke

que él produce indica que pertenece a la clase de los carbones grasos bituminosos⁸. Este carbón es adecuado principalmente, para la fabricación de gas, por su fuerte proporción de materias volátiles, y también como combustible ordinario.

En la actualidad está concretada la explotación casi exclusivamente a la región de "*Las Peñas*," donde es necesario efectuar el transporte del carbón en burros hasta ponerlo al lado del ferrocarril. El costo actual de una tonelada de combustible, puesta a bordo en el puerto de Guanta, puede calcularse así:⁹

- Gastos de extracción.....
- Banqueo en estéril.....
- Trasporte en el interior de la mina.....
- Por cargar las wagonetas.....
- Conducción a la boca-mina.....
- Línea Decauville (sin contar el valor de los rieles).....
- Alumbrado.....
- Enmaderado de las galerías.....
- Extracción del agua.....
- Gastos generales.....
- Gastos de administración.....
- Trasporte en burros hasta poner el carbón al lado del ferrocarril.....

Este precio de costo, relativamente alto, es debido a lo reducido de la explotación actual; si ésta llegase a 100 toneladas diarias, por ejemplo, y se estableciese un cable aéreo para el transporte del carbón, de la mina al ferrocarril, se calcula que el costo de la tonelada, a bordo en Guanta, descendería a 16.42 bolívares.

MINAS DE CARBON DEL ESTADO FALCÓN

La zona carbonífera del Estado Falcón, que comienza en la costa con los afloramientos de *Sabanas Altas*, *Cumarebo*, *Tamataima*, *Agüide*, *Curamichate*, etc., se interna en el continente, abarcando una grande extensión de territorio. Los yacimientos más conocidos hasta el presente son los de *Curamichate* y *Agüide*, pertenecientes a una empresa particular; y los de *El Isiro*, *El Semeruco*, *El Hatillito*, *Angoleta*, *El Saladillo* y *Aloncico*, que pertenecen al Gobierno Nacional y que son explotados por cuenta de él. También se han descubierto vetas en varios otros lugares del Estado, a saber: *El Montante*, considerado como uno de los mejores yacimientos, pero algo retirado hacia el interior, *La Negrita*, *Cardón Grande*, etc.; pero se ignoran el espesor, la calidad del mineral y las demás condiciones técnicas de la mayor parte de ellas.

Puede decirse que la exploración de esta región está apenas comenzada. La única veta donde las instalaciones han revestido cierta importancia y donde los trabajos han sido conducidos con algún método es la de *El Isiro*, situada al sur de la ciudad de *Coro* y como a 11 kilómetros de esta población. Hay allí tres mantos de carbón, que corren en dirección este-oeste aproximadamente, e inclinados de

⁸ *Traité de métallurgie*, por M. L. Gruner.

⁹ *Informe del Inspector General de Minas*, Ingeniero Oscar A. Machado, 1913.

norte a sur, siguiendo un ángulo que varía de 19 a 36 grados bajo el horizonte. Continuando hacia el sur, se encuentran los yacimientos de *La Negrita*, *Llano Colorado*, *Cardón Grande*, y *El Montante*; con la particularidad de que estos mantos están inclinados, según parece, en sentido inverso de los anteriores, es decir, de sur a norte; circunstancia que induce a creer que probablemente hay un lugar intermedio donde ellos se conectan, formando lo que se llama una *hoya carbonífera*.

El sistema de explotación empleado en estas minas se reduce a la apertura de galerías trasversales siguiendo la pendiente de los mantos; sin embargo, en uno de los de *El Isiro* se ha hecho posteriormente una galería longitudinal, de oeste a este, a nivel en su mayor parte y siguiendo el costado del manto. Las vetas descubiertas tienen las siguientes potencias o espesores: *El Isiro*, 0.50 a 0.55 metro; *El Hatillito*, 0.50 a 0.55 metro; *Angoleta*, 0.40 a 0.50 metro; *El Semeruco*, 0.40 metro; *El Saladillo*, 0.50 a 0.60 metro; *Aloncico*, 0.50 metro. Espesores más o menos uniformes, que son, por lo general, inferiores a los de las minas de Barcelona; sin embargo, se afirma que la veta de *El Montante* presenta un metro de espesor y 0.80 metro la de *Curamichate*.

No estará demás indicar aquí la cantidad máxima diaria de carbón que ha sido posible extraer anteriormente de estas vetas, pues ella dará idea de lo que se podría sacar en lo porvenir:

	Toneladas.	
El Isiro	25	Aloncico
El Hatillito	13	
Angoleta	6	Total

Nunca fué alcanzada esta producción máxima simultáneamente en todas las vetas; pero, de estas cifras se deduce que no sería difícil elevar a 100 toneladas diarias y aún a más, la producción total de estos yacimientos.

Los carbones de Estado Falcón son generalmente duros, muy negros, brillantes y de un peso específico igual a 1.25 por término medio; en su aspecto, se diferencian bastante de los carbones de Barcelona, por lo común terrosos, friables y sin brillo.

Se calcula que la cantidad de polvo que se produce en la explotación de estas minas es sólo de 20 por ciento; dato que constituye otra ventaja sobre aquel carbón oriental, cuyo porcentaje de polvo varía de 50 a 75 por ciento.

Reunimos en el siguiente cuadro los análisis químicos que se han practicado de muestras de estos carbones, incluyendo los correspondientes a los yacimientos de *Curamichate* que, como hemos dicho antes, pertenecen a una empresa particular.

Años.	Autoridades.	Procedencia de las muestras.	Agua.	Materia volátiles.	Carbono fijo.	Cenizas.	Azufre.
			Por ciento.	Por ciento.	Por ciento.	Por ciento.	Por ciento.
1872	Dr. Fleck, Leipzig.....	Cumarebo.....	No dice	35.17	61.49	3.34	0.15
1879	Dr. A. Friedensberg, hijo.....	Curamichate..	1.12	45.61	54.27	No dice	No dice.
1879	Id.....	Id.....	2.44	49.99	47.57	No dice	No dice.
1898	The Ledoux Chemical Laboratory (New York).	Cardón grande	6.85	40.12	51.74	0.64	0.65
1898	Id.....	Sabaneta.....	4.79	12.62	79.75	2.02	0.82
1900	Dr. Felipe Aguerrevere.....	Curamichate..	7.00	37.50	50.30	5.20	No dice.
1904	Schneider & Cia., Le Creusot.....	No dice.....	No dice	42.30	53.00	4.50	2.86
1906	No dice—New York.....	Curamichate..	2.54	45.42	45.24	6.80	4.38
1906	Dr. G. Delgado Palacios.....	Id.....	1.10	39.50	56.00	1.13	1.92
1907	Laboratorio Nacional, Caracas.....	El Isiro.....	6.48	52.72	37.25	3.55	0.78
1907	Id.....	Id.....	2.10	34.40	57.00	6.50	6.60
1907	Id.....	El Hatillito..	3.70	37.10	56.76	2.44	6.10
1907	Id.....	El Saladillo..	8.20	43.40	50.20	1.20	8.30
1907	Id.....	Aloncico.....	1.70	41.20	54.00	3.10	8.90
1907	Dr. G. Delgado Palacios.....	El Isiro.....	4.70	36.40	56.90	2.00	2.03
1911	Escuela de Minas, París.....	No dice.....	3.56	49.14	45.48	1.82	0.99

Análisis inmediatos de los carbones de las minas del Estado Falcón

Si se exceptúa la veta de *Sabaneta*, las demás muestras aquí analizadas contienen una cantidad de carbono fijo que varía de 37.25 a 61.49 por ciento. Estos yacimientos son, pues, relativamente pobres en carbono, si se les compara con algunas hullas extranjeras. Debemos llamar la atención sobre la muestra de *Sabaneta*, que contiene 79.75 por ciento de carbono fijo y que ha sido clasificada por "The Ledoux Chemical Laboratory" de Nueva York, como una semi-antracita excepcionalmente libre de azufre y de cenizas; según esto, el carbón de *Sabaneta* es uno de los mejores que se han encontrado hasta ahora en Venezuela, por lo cual, sería muy interesante explorar su yacimiento, para tener una idea de su extensión, espesor del manto y demás condiciones de explotación.

	Gas de alumbrado.	Coke.
		Kilos.
Carbón de Curamichate.....	255 metros cúbicos (9,000 pies cúbicos).....	530
Carbón canal.....	311 metros cúbicos (11,000 pies cúbicos).....	530

Producción por tonelada

Algunas muestras han dado en el análisis hasta 8.90 por ciento de azufre; tenor muy fuerte que constituye un inconveniente para el uso de estos carbones en la calefacción; pero, es muy posible que al profundizarse más la explotación, este inconveniente desaparezca, a lo menos en parte. Según el Dr. G. Delgado Palacios, la mayor parte del azufre que contienen estos carbones está en estado metalóidico, adherido accidental y superficialmente al combustible, siendo, por consiguiente, fácil su separación o expulsión.

Los carbones del Estado Falcón producen más gas y menos coke que los de Barcelona, y el coke es más compacto. La naturaleza del coke indica que estos carbones son semejantes, pero algo inferiores, al canal-coal que, para la producción de gas, usaba la "Compañía del Gas y de la Luz Eléctrica de Caracas", pudiendo clasificarse, por lo tanto, como aquél, en la serie de los carbones semi-grasos bituminosos¹⁰.

¹⁰ M. L. Gruner, Obra citada.

Valiéndonos de los experimentos hechos en los talleres de la compañía nombrada, con el carbón de *Curamichate*, consignamos en seguida los resultados obtenidos:¹¹

Los ensayos que se han hecho para determinar el poder calorífico de estos carbones han dado las cifras siguientes:

Autoridades.	Procedencia de las muestras	Poder calorífico.
		<i>Calorías.</i>
Schneider & Cía., Le Creusot.....	No dice.....	7,240
Laboratorio Nacional, Caracas.....	El Isiro.....	6,097
Id.....	Aloncico.....	6,294
Id.....	El Saladillo.....	6,276
Id.....	El Hatillito.....	6,170
Dr. Fleck, Leipzig.....	Cumarebo.....	5,482
Dr. Felipe Aguerrevere.....	Curamichate.....	5,388
F. Müller, Cervecería Nacional.....	Id.....	6,500
Dr. G. Delgado Palacios.....	Id.....	4,823
Id.....	El Isiro.....	6,270

Poder calorífico de los carbones del Estado Falcón

Resulta de los análisis que los carbones del Estado Falcón, apartando la muestra de Sabaneta, que parece ser una semi-antracita de muy buena calidad, pertenecen a la clase de los lignitos bituminosos.

La clasificación anterior queda comprobada por los análisis elementales de estos carbones. La mayor parte de los análisis que hemos coleccionado aquí son inmediatos o industriales; sólo hay dos elementales, los hechos por *Schneider & Cía.* y por el Dr. Fleck, de los cuales tomamos los siguientes datos:

Matorias volátiles.

Hidrógeno.....

La relación de las cantidades de oxígeno y de ázoe a la de hidrógeno es, pues, de 2.60 y de 5.56, en los dos análisis, es decir, mayor de 2, como corresponde a los lignitos bituminosos.¹²

La explotación de las minas del Estado Falcón, pertenecientes al Gobierno Nacional, comenzó en octubre de 1904, y se ha extraído el combustible a razón de 34 toneladas por día. Según las cuentas e informes existentes en el Ministerio de Hacienda, el costo de la extracción de una tonelada de carbón, puesta a bordo en La Vela, apartando los primeros gastos de exploraciones, caminos, etc., monta a 34.56 bolívares; pero llevando la explotación a 60 u 80 toneladas diarias y haciendo algunas economías en la administración, creemos que podría reducirse este precio, como se ve en seguida:

¹¹ Informe del Ingeniero R. Schlüter sobre los carbones de *Curamichate*, 1899.

¹² M. L. Gruner, Obra citada.

Costo de una tonelada de carbón.

	Bolívares.
Costo de la tonelada de carbón en la boca-mina.....	6.50
Gastos de madera, alumbrado, etc.....	1.00
Flete en carros de las minas a Coro.....	7.00
Flete de Coro a La Vela, por ferrocarril.....	2.00
Por cargar en Coro y descargar en La Vela.....	1.00
Sacos para el embarque.....	2.50
Gastos de embarque.....	4.00
Gastos de administración, parte proporcional.....	1.00
Costo de una tonelada de carbón a bordo en La Vela.....	25.00

El precio de 25 bolívares por tonelada, a bordo en La Vela, es todavía un precio alto que convendría rebajar; pero, dadas las condiciones de las minas en cuestión (El Isiro, etc.), su distancia al mar (24 kilómetros), y las dificultades que existen hoy para un embarque fácil y económico, consideramos aquel valor como un *mínimum*, que no se podrá reducir mientras subsistan las actuales circunstancias. Desde este punto de vista son más ventajosos los carbones de Barcelona, cuyo importe es hoy de 21.60 bolívares por tonelada, puesta a bordo en Guanta.

En el mismo Estado Falcón, las vetas situadas cerca de la costa pueden ser explotadas con mayor economía que las del interior; así, se ha calculado que el carbón de *Curamichate* no saldría a más de 20 bolívares por tonelada, puesta en Puerto Cabello.¹³

Para hacer el transporte del producto de estas minas de un modo económico, se ha propuesto establecer una red de cables aéreos que, ligando los diversos yacimientos, concurriesen a un tronco común que llegase hasta la costa; proyecto que consideramos muy recomendable, sobre todo si dicho cable fuese a terminar cerca del propio fondeadero de las embarcaciones, es decir, como a 500 metros distante de la orilla del mar. Podría objetarse a este proyecto que lo agitado del mar en estas costas, aún en los sitios donde fondean los barcos de gran calado, sería un ellos atracasen sin peligro al lado del soporte terminal del cable. Efectivamente, durante las horas de marejada sería peligroso verificar este atraque; pero, podría fondearse a distancias convenientes de dicho soporte y hacer uso de cables auxiliares (*hoist-conveyors*), tales como los empleados en *California* y en el *Hawai*, los cuales, partiendo del vértice de la torre, condujesen el combustible hasta la bodega de aquellos.¹⁴

Resumiendo lo expuesto, se puede asegurar que, si se llevan a la práctica los medios aquí indicados para abaratar el transporte, entre las minas y los buques cargadores, no sería difícil reducir a 20 bolívares, y aún a menos, el precio de costo de la tonelada de combustible, puesta a bordo en La Vela, sobre todo, si se llegase a hacer una explotación en grande escala.¹⁵

¹³ Informe del Dr. Felipe Aguerrevere sobre las minas de carbón de *Curamichate*, 1900.

¹⁴ *Wire rope transportation in all its branches*, by "The Trenton Iron Company," New York.

¹⁵ M. L. Gruner, Obra citada

DE LA MINERÍA DE LAS SUSTANCIAS NO-METÁLICAS Y METÁLICAS

Lo singular de este trabajo sobre el carbón nacional elaborado para 1917 es el detalle y la acuciosidad con el cual ha sido escrito y probablemente los informes que le tocaron en suerte.

Así lo veía Vicente Lecuna (1870-1954) (...) *al dar por segura la habilidad y laboriosidad para reunir datos, su sagacidad en el estudio de las cuestiones más difíciles y el método y claridad de su exposición* (...). (Rodríguez, 2025).

Sus descripciones geológico-mineras para el estado Anzoátegui y Falcón las realiza con detalle extremo mencionando: características locales producción, fecha de las mismas, entes involucrados, tonelaje, costos por kilogramo, localidades productoras y bibliografía consultada la cual es citada en orden de aparición y a pie de página tal como ha sido expuesta.

No se detendrá allí, y es muy probable, que combinara apuntes propios de los que no tenemos o no conocemos actualmente con una lista de informes.

TÍTULO DE LOS ARTÍCULOS PUBLICADOS POR GIMÉNEZ UREÑA EN EL BOLETÍN DE LA CÁMARA DE COMERCIO DE CARACAS

Jiménez Ureña, G. 1919. *Apuntes sobre la riqueza mineralogía de Venezuela*, Cámara de Comercio de Caracas, <https://camaradecaracas.com/biblioteca-digital/boletines/boletin-volumen-71/>, 8(71):617-621, 1° de octubre, [Documento en línea], (junio 29, 2025).

Jiménez, G. 1919. *Apuntes sobre la riqueza mineralógica de Venezuela* Cámara de Comercio de Caracas, <https://camaradecaracas.com/biblioteca-digital/boletines/boletin-volumen-72/>, 8(72):627-631, 1° de noviembre, [Documento en línea], (junio 29, 2025).

Jiménez, G. 1919. *Apuntes sobre la riqueza mineralógica de Venezuela* Cámara de Comercio de Caracas, <https://camaradecaracas.com/biblioteca-digital/boletines/boletin-volumen-73/>, 8(73):639-643, 1° de diciembre, [Documento en línea], (junio 29, 2025).

Jiménez Ureña, G. *Apuntes sobre la riqueza mineralogía de Venezuela*, Cámara de Comercio de Caracas, <https://camaradecaracas.com/biblioteca-digital/boletines/boletin-volumen-74/>, X(74): 651-656, [Documento en línea], (junio 29, 2025).

Jiménez Ureña, G. 1920. *Apuntes sobre la riqueza mineralogía de Venezuela*, Cámara de Comercio de Caracas, <https://camaradecaracas.com/biblioteca-digital/boletines/boletin-volumen-75/>, IX (75): 651-656, [Documento en línea], (junio 29, 2025).

Jiménez Ureña, G. 1920. *Apuntes sobre la riqueza mineralogía de Venezuela*, Cámara de Comercio de Caracas, <https://camaradecaracas.com/biblioteca-digital/boletines/boletin-volumen-76/>, IX (75):691, [Documento en línea], (junio 29, 2025).

Jiménez Ureña, G. 1920. *Explotación de la Salina de Araya*, (Tomado de la Memoria de Obras Públicas de 1917) <https://camaradecaracas.com/wp-content/uploads/2022/02/Boletin-Volumen-81.pdf>, 9(81):789-798, [Documento en línea], (junio 29, 2025).

Jiménez Ureña, G. 1921. *El dique de Petaquire de la Compañía Anónima Generadora de Fuerza y Luz Eléctrica de Caracas*, <https://camaradecaracas.com/wp-content/uploads/2022/03/Volumen-86.pdf>, X(85):913-924, [Documento en línea], (junio 29, 2025).

Jiménez Ureña, G. 1921. *Longitud del camino recorrido por los productos de Venezuela, desde su punto de origen al punto de destino, excluyendo el trayecto recorrido por agua o por ferrocarril*, camaradecaracas.com/wp-content/uploads/2022/04/Volumen-88.pdf, 10(88):996-1003, [Documento en línea], (junio 29, 2025).

Jiménez Ureña, G. 1921. *El ferrocarril a nuestros Llanos*, <https://drive.google.com/file/d/1oWbqZ7QLKquytVI7qdPnOCF6bAckDpbS/view>, 10(92):1.100-1.104, [Documento en línea], (junio 29, 2025).

Jiménez Ureña, G. 1921. *Los ferrocarriles de Venezuela*, https://drive.google.com/file/d/1dfTQATdV9Ya136JP0JA_IrD0dJ7jetQ/view, 10(95):1.261-1.267, [Documento en línea], (junio 29, 2025).

Jiménez Ureña, G. 1922. *La iluminación de las costas de Venezuela para el servicio de la navegación*. <https://drive.google.com/file/d/1G3ZCqglvx59jbiCZ2FLYpooPtsNXjjcv/view>, (105):1.641-1.645, [Documento en línea], (junio 29, 2025).

Jiménez Ureña, G. y Lecuna V. 1923. *Los ferrocarriles de Venezuela, estudio económico*, https://drive.google.com/file/d/1myzEC5AxwA13dKpsMPB_rmAWr3KgfoZM/view, 110(1.819-1.943, [Documento en línea], (junio 29, 2025).

Jiménez Ureña, G. 1923. *La industria de telares en Venezuela*. <https://drive.google.com/file/d/1H6dOsBtG1lxcHrrPvalqg5VDBxIEKAF/view>, (111):1.863-1, [Documento en línea], (junio 29, 2025).

Jiménez Ureña, G. 1924. *El ferrocarril de La Guaira a Caracas, pormenores técnicos; su electrificación*, <https://drive.google.com/file/d/18Klvc7LGLt9UVsO2NA6Q4KoB8VYiReaY/view>, (129):2.491-2,499, [Documento en línea], (junio 29, 2025).

Jiménez Ureña, G. 1924. *La sequía de Caracas en el año 1924*. https://drive.google.com/file/d/1W0Kd_iQcY0h0Nr7CiB6EPnxZshcvSZFH/view?sp=sharing 126(149): 1.406-2.413, [Documento en línea], (junio 29, 2025).

Jiménez Ureña, G. 1926. *Por la economía de los bosques. Establecimiento de las cocinas de vapor en Caracas*, <https://drive.google.com/file/d/1rNMeAWUly6f2G1CvckMlmhFAnG27DY21/view9> (149):3.209-3.214, [Documento en línea], (junio 29, 2025).

Como quiera que apenas Alfredo Jahn Jiménez al transcribir el discurso de Vicente Lecuna solamente publica los títulos de cada publicación si bien no transcribe la publicación completa. Ello ha procurado una búsqueda del trabajo publicado. A tal efecto, el trabajo aparece en fondo y forma en las publicaciones digitales de la *Cámara de Comercio de Caracas*, con su precisa ubicación incluyendo las páginas de aparición. Janh Jiménez nace en 1928, desconociéndose fecha de publicación del boletín y edad que tenía, razón. En beneficio del potencial lector, se han insertado los respectivos enlaces para un futuro trabajo.

Es así que En nota de Lecuna este dice:

(...) Como el interesante estudio del Dr. Germán Jiménez que publicamos íntegros en números anteriores, fue escrito en 1915, y algunos datos que en él se encuentran, no están de acuerdo con lo actual, hemos pedido al autor que complete su estudio, todas las referencias que no estén. El Dr. Jiménez nos ha ofrecido, y en el próximo número, comenzaremos a publicar el complemento al estudio aludido. Lo que anunciamos a nuestros lectores con gusto, pues es complemento por las admirables cualidades de expositor del Dr. Jiménez y sus vastos conocimientos científicos dará mayor interés a la publicación de la Cámara. (véase Jiménez, 1920:691) (...). Desconocemos a la fecha si la reproducción que anuncia la Cámara de Comercio de Caracas por los tiempos allí anunciados y por la presencia de dicho artículo durante el Congreso del año 17' se hizo realidad.

CONCLUSIONES

Pese al tratamiento biográfico que ha llevado la figura de Germán Giménez Ureña, su actividad va más allá de sus labores ingenieriles, Constituye en si todo un trabajo de orden científico al ser capaz de estudiar y escribir en forma aguda sobre minería dando muestras de conocimientos muy amplios en la materia. En nuestro caso, el carbón.

Por otro lado, y sin conocer a profundidad la bibliografía aquí presentada dominaba temas minerales de ecología, de comunicación ferroviaria, incluso de telas. Vale la pena si así nos es permitido complementar estos aspectos con la transcripción de por lo menos esta su obra y de todos los temas que en vida trato.

REFERENCIAS CONSULTADAS

GRASES G., J., GUTIÉRREZ, A. y SALAS JIMÉNEZ, R. (2016) *La historia de la ingeniería estructural en Venezuela*.

JAHN JIMÉNEZ, A. (s/f.) *Homenaje al Dr. Germán Jiménez*, Artículo de Vicente Lecuna en el día del fallecimiento del Dr. Germán Jiménez: (10 de mayo de 1929), Boletín de la Cámara de Comercio de Caracas, <http://jahnweb.com/aji/gjimenez.html> , [Documento en línea], (junio 20, 2025).

JIMÉNEZ UREÑA, G. (1917). *Apuntes sobre la riqueza mineralógica de Venezuela*. Second Pan American Scientific Congress sección VII. 209-246. Washington.

RODRÍGUEZ ARTEAGA, J. A. (2025). *Vida y obra del ingeniero Germán Jiménez Ureña (1861-1929)*, [Documentación en línea], (junio 23, 2005), <https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/04/Maya-Maya-Geociencias-Abril-2025.pdf>



Explosión en las minas de Naricual, estado Anzoátegui, 21 de agosto de 1915
(Fuente: <https://barcelonahistoriasyleyendas.blogspot.com/2012/02/fuerte-explosion-en-minas-de-naricual.html>)



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

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

rodriguez.arteaga@gmail.com

DIAGNÓSTICO, CÓMO Y POR QUÉ MÉXICO HA LLEGADO A LA PROBLEMÁTICA HÍDRICA ACTUAL. USO INADECUADO DEL AGUA SUBTERRÁNEA. PROPUESTA DE SOLUCIONES Y ACCIONES.

M. en I. Raúl Morales Escalante
Academia de Ingeniería de México
raul.agua@gmail.com
www.moro-ingenieria.com

1. RESUMEN

En este artículo se presenta un diagnóstico de la problemática a la que se enfrenta México en lo relativo a la disponibilidad de agua; todas las cifras que se mencionan están soportadas por fuentes de información oficiales, publicadas por instituciones y organismos, los cuales son citados en cada caso.

En México tenemos grandes retos en lo relativo a los recursos hídricos, por las sequías extremas recurrentes y el uso inadecuado que hemos hecho de los recursos naturales, donde el agua tiene una importancia con el desarrollo social y económico y por ser un bien necesario para sostener la vida.

En este documento se analiza la problemática hídrica del país, para lo cual se inicia con el planteamiento de los factores naturales que condicionan la disponibilidad natural del agua (figura 1); posteriormente se realiza un diagnóstico del panorama actual (2024) por sector de usuarios, para finalmente realizar propuestas de soluciones y acciones, necesarias para evitar que el país llegue a una crisis hídrica.

Se resalta el hecho, de que este grave problema de escasez de agua es tan grande que requiere del trabajo conjunto de los grupos de profesionales a fin de establecer soluciones, en las que participe activamente la sociedad, a fin de lograr que los funcionarios y empleados públicos realicen las labores para las cuales fueron designados.

Es importante destacar que los señalamientos realizados buscan mostrar las causas de la problemática en forma constructiva, con el objetivo de hacer conciencia en las personas que toman decisiones, en aquellos que intervienen en la administración del agua, así como en los usuarios de este vital recurso; por esta razón, no solo se enuncia la problemática, sino se establecen propuestas que permitan llegar a soluciones.

2. ORIGEN NATURAL DE LA PROBLEMÁTICA HÍDRICA

La escasez de agua superficial y subterránea en el país está relacionada con el hecho de que más del 52% del territorio presenta clima árido o semiárido (Instituto Mexicano para la Competividad (IMCO), 2024). En la parte centro y norte de México (figura 1), predominan este tipo de climas, con excepción de la Sierra Madre Occidental y de la costa noreste.



Figura 1. Tipos de clima en México (INEGI, 2021).

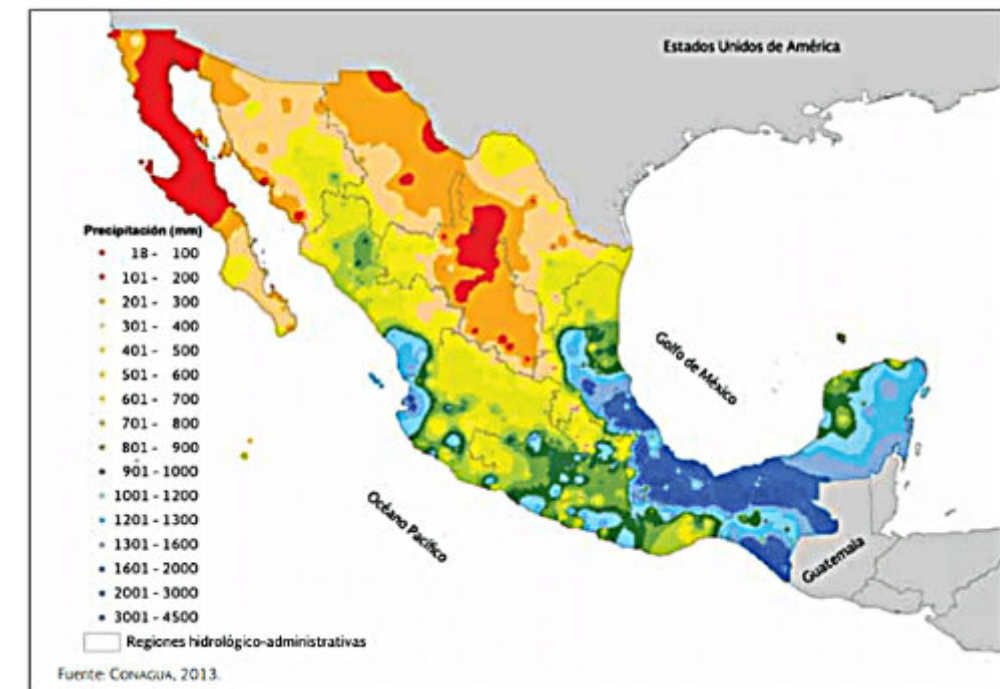


Figura 2. Distribución de la precipitación media anual en México (CONAGUA, 2013).

En la extensa parte árida y semiárida, la disponibilidad de agua superficial es muy reducida, debido a que la precipitación pluvial es menor a 700 mm por año (figura 2). En esta región las aguas subterráneas adquieren gran relevancia para el abastecimiento de la población y el desarrollo agrícola e industrial, irónicamente es donde se tiene el más importante crecimiento económico. En la figura 3 se observa que en el sureste de México se dispone del 68% del agua renovable, vive el 23% de la población y solo se genera el 18% al producto interno bruto (PIB) nacional; en cambio en las regiones del norte, centro y noroeste, se dispone del 32% del agua renovable del país, habita el 77% de la población y se genera el 82% del PIB (INEGI, 2020, CONAGUA, 2020).

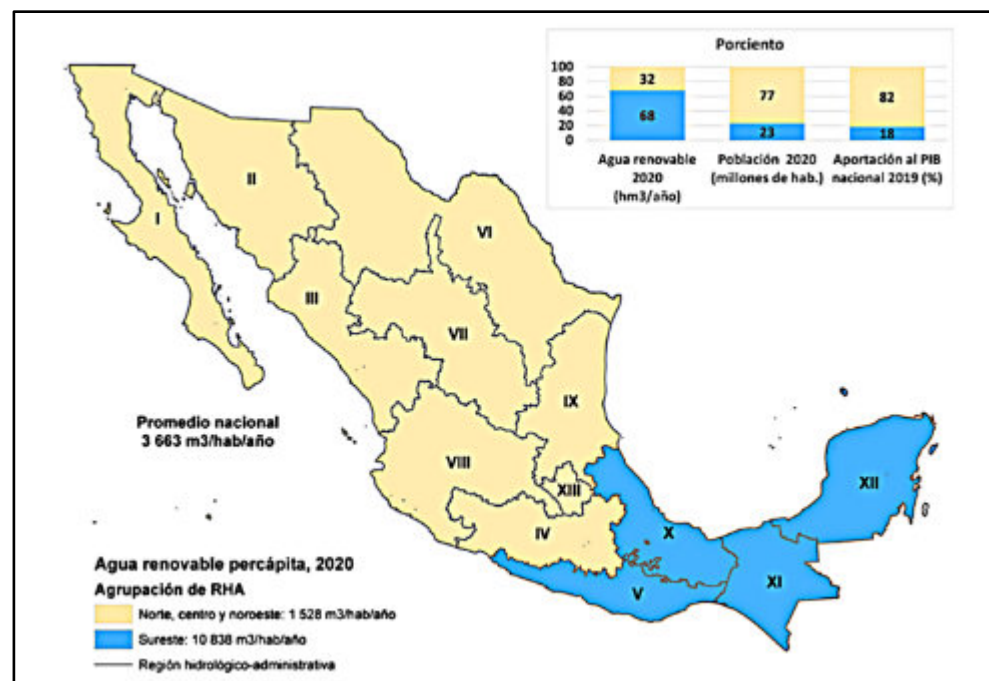


Figura 3. Distribución de: agua renovable, población y aportación al PIB (CONAGUA, 2021).

Por otra parte, a principios de 2024, el monitor de sequía del Servicio Meteorológico Nacional mostró que gran parte del territorio enfrentó una grave sequía (figura 4); en consecuencia, se incrementó el uso del agua subterránea.

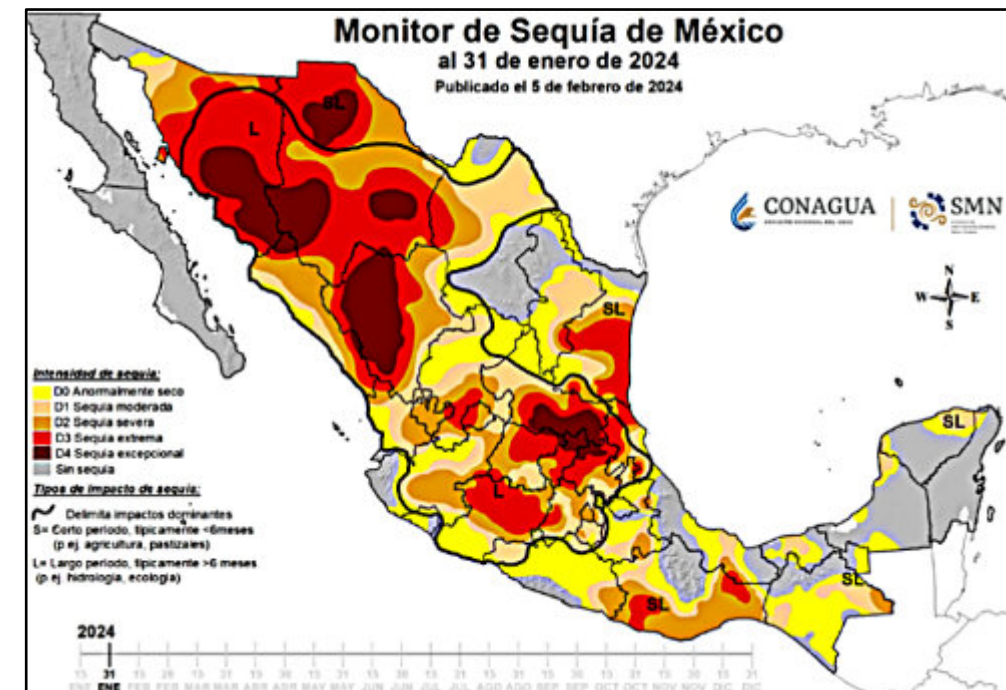


Figura 4. Áreas afectadas por las sequías (CONAGUA, SMN, 2024).

3. SÍNTESIS DEL PANORAMA ACTUAL POR SECTOR Y CONSECUENCIAS

Los problemas de escasez de agua en México están muy bien identificados desde hace mucho tiempo, pero no se realizaron, ni se realizan acciones que eviten la falta de sustentabilidad en el uso de este bien nacional; estos problemas se pueden resumir concretamente por sector, de la forma siguiente:

- **Sector agrícola:** uso inadecuado del agua por falta de tecnificación en extensas áreas de riego, desconocidas en dimensiones; pérdida de grandes volúmenes de agua por evaporación; desinterés por cambiar cultivos tradicionales por otros económicamente más productivos que requieren menor cantidad del recurso; acciones no planificadas, sin considerar las repercusiones en la relación agua superficial-agua subterránea. Cabe mencionar que este es el sector usuario que recibe mayor apoyo a fondo perdido y que está subvencionado en el costo del agua y de la energía eléctrica que utiliza; además de otros factores relacionados con el mercado del agua y la manipulación por intereses de pequeños grupos.

- **Sector público-urbano:** falta de atención y de inversión técnica y económica, para reducir las muy bajas y bajas eficiencias físicas en los organismos operadores de agua potable; en muchas la sectorización de las redes de distribución (si existe), no considera las características, condiciones y comportamiento de los materiales en el subsuelo, lo que lleva a un desconocimiento de las zonas que tendrán más problemas de fugas; falta de inversión en la reposición de infraestructura cuya vida útil llegó a su término; falta de un área de planificación con personal capacitado y recursos económicos suficientes; demora en las reparaciones de fugas; entre otros problemas.
- **Sector político y administración pública (funcionarios y empleados públicos (Art. 108 Constitución Mexicana)):** los organismos de gobierno como la SEMARNAT y la CONAGUA, desde hace mucho tiempo han sido dirigidos por personas designadas "de confianza", que no siempre tienen los conocimientos, la capacidad técnica y el liderazgo necesarios para resolver los problemas vinculados con la gestión de los recursos hídricos. Es relevante citar que las decisiones que toman los funcionarios de alto nivel tienen un profundo impacto en el sector.

Por esta situación las instituciones se han visto debilitadas, por la falta de personal con capacidad y experiencia, así como por la reducción significativa de su presupuesto.

Adicionalmente, la problemática hídrica que es desconocida de fondo por los políticos solo es abordada durante las campañas electorales, tiempo en que se convierte en un estandarte, pero que posteriormente es olvidado hasta que se tienen problemas muy graves, como la falta de recursos hídricos para el abastecimiento de los diferentes sectores de usuarios, así como para cumplir con los compromisos que México tiene contraídos en el Tratado de 1944.

- **Sector social:** la respuesta de la sociedad mexicana a esta situación de escasez de recursos hídricos ha sido regularmente la indiferencia. Un ejemplo es cuando se hizo del conocimiento público que en el año 2015 la Ciudad del Cabo vivió el denominado "día cero", por una sequía que se extendió hasta el 2017; esta experiencia geográficamente muy lejana a México, fue tomada simplemente como una noticia y no se le dio importancia, ni se tomaron medidas; la población siguió desperdiciando el agua (cuando la tenía) utilizando mucho más del rango de entre 50 y 100 litros por habitante y día que recomienda la Organización Mundial de la Salud

(ONU, 2018). En el año 2012, CONAGUA financió al Centro de Investigación y Docencia Económicas, A.C. (CIDE), para realizar un estudio en el centro del país, en el que se identificó que se consumían en promedio 182 litros de agua potable por habitante y día (Ramírez et al., 2012).

En junio del 2022, la ciudad de Monterrey estuvo a punto de vivir ese "día cero", que los mexicanos en 2015 vimos como algo sin relación con nuestro país, a pesar de eso en algunos municipios conurbados de esa ciudad se seguían utilizando más de 300 litros por habitante y día, mientras que gran parte de la población no tenía agua de forma continua en sus casas.

En junio del año 2024, el entonces Sistema de Aguas de México (SACMEX), tuvo que realizar importantes recortes de agua en muchas de las alcaldías, debido a que la sequía provocó que en parte de esta ciudad se llegara al "día cero"; la CONAGUA, en su reporte del mes de febrero del 2024 (CONAGUA, 2024), reportó que el sistema de presas del sistema Cutzamala, que tiene una capacidad total de 782.521 millones de metros cúbicos, tuvo solo 296.878 millones de metros cúbicos, es decir el 37.94% de la capacidad total, y aún se estaba a varios meses de que iniciara la temporada de lluvias, que además se desconocía como iba a presentarse por los efectos del cambio climático.

Esta apatía de la sociedad ha llevado a México a la problemática hídrica que se está viviendo y que aún puede empeorar, si no se actúa de manera inmediata.

En este análisis no se incluye al sector industrial, debido a que como se muestra en la figura 5, solo representa el 5% del total de agua en usos consuntivos en México; el sector pecuario representa menos del 2%. Sin embargo, el sector energético habrá que tomarlo en cuenta en el futuro, pues seguramente su demanda de agua se incrementará.

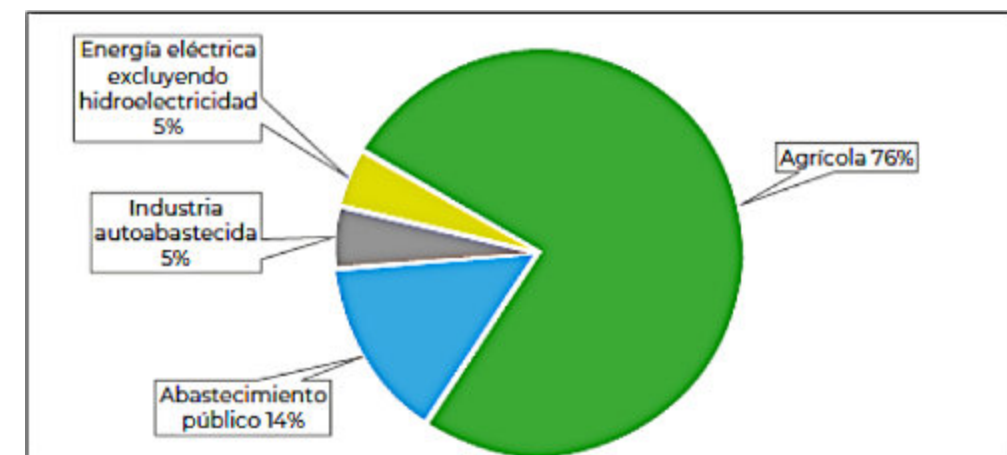


Figura 6. Distribución de volúmenes de agua concesionados por usos consuntivos en México (CONAGUA, PNH, 2024).

En conclusión: “En México, la agricultura representa 76% de los usos consuntivos, pero, al mismo tiempo, desperdicia 50% del agua servida. Por ello, es imprescindible invertir en la tecnificación del riego, definir los cultivos de acuerdo con la disponibilidad hídrica, aplicar ingeniería genética y mejorar las prácticas agrícolas” (E. Lendo, 2024).

Como resultado del comportamiento de los sectores citados, a continuación, se realiza un resumen de las consecuencias vinculadas a la falta de acciones para dar solución a la problemática hídrica del país:

- ✎ Sobreexplotación de los acuíferos, particularmente los acuíferos localizados en medios granulares, debido a que el desequilibrio entre recarga y extracción es continuo.
- ✎ Profundización de los niveles en los pozos, lo cual posteriormente lleva a que las prácticas de recarga artificial, bajo la normatividad existente, sea prácticamente irrealizable.
- ✎ Encarecimiento de la extracción del agua subterránea, al tener que utilizar más energía eléctrica.
- ✎ Extracción de agua subterránea profunda de mala calidad, con: arsénico, fluoruros, fierro, manganeso, entre otros elementos o parámetros nocivos a la salud.
- ✎ Avance de la intrusión de agua marina en acuíferos costeros y la consecuente pérdida del agua dulce; esto ha propiciado que muchos pozos tengan que ser abandonados. Un ejemplo es la Ciudad de La Paz, Baja California Sur, entre otras.
- ✎ Consolidación de materiales de baja permeabilidad que cubren a acuíferos semiconfinados y el consecuente hundimiento del terreno; ejemplos son las regiones de la Cuenca de México, el Bajío Guanajuatense, entre otros.
- ✎ Generación de grietas que dañan a la infraestructura civil, incluyendo casas habitación, redes de distribución de agua potable y alcantarillado; doblemente grave por la contaminación (redes de alcantarillado) y la pérdida de agua por fugas en redes de agua potable.
- ✎ Grandes núcleos habitacionales o ciudades completas que no reciben suficiente agua o bien agua de muy mala calidad.

- ✎ Generación de grandes oquedades en el terreno que han puesto en riesgo la seguridad de la población.
- ✎ Conflictos sociales entre usuarios del agua.
- ✎ Problemas internacionales para cumplir con el Tratado de 1944, que México tiene con Estados Unidos de América (EUA), para dejar llegar al Río Bravo un volumen de 432.72 millones de metros cúbicos por año, en ciclos de cinco años.
- ✎ Conflictos entre el gobierno federal y los usuarios del agua; un ejemplo fue en el año 2020, cuando tuvo que intervenir la guardia nacional para lograr que la sociedad entregase las instalaciones de la presa La Boquilla, para cumplir parcialmente con las entregas impuestas en el Tratado de 1944.

4. PROPUESTA DE SOLUCIONES Y ACCIONES

4.1 Planteamiento general

Para establecer soluciones realizables a los problemas de abastecimiento de agua a los diferentes sectores de usuarios, es fundamental plantear cómo funciona la sociedad mexicana y el papel que juegan los actores que intervienen, así como la importancia de cada uno en la puesta en marcha de acciones que mejoren las condiciones actuales; lo ideal sería que las soluciones se resolvieran con el trabajo conjunto de todos, sin embargo esto no es factible debido a las diferencias en el poder legal y administrativo que tienen estos grupos de personas.

Con objeto de dejar más clara esta situación, en este documento el autor propone clasificar a los actores que intervienen en la administración y uso de los recursos hídricos en México (Morales-Escalante, 2025), de la siguiente forma:

- ✎ **Funcionarios públicos (Art. 108, Constitución Mexicana)**, son designados entre otras formas, por elección popular; están representados por el poder ejecutivo y el poder legislativo.
- ✎ **Empleados públicos (Art. 108 Constitución Mexicana)**, están representados por los funcionarios de alto nivel y responsables de las aguas superficiales y subterráneas, particularmente de la SEMARNAT y la CONAGUA.
- ✎ **Sectores de usuarios del agua**, sectores: agrícola, público-urbano, industrial, energético, pecuario, etc. (particularmente los que son mayores consumidores de agua). Todos estos tienen un nivel de poder mayor que el de un ciudadano común, debido a su capacidad

económica o a que están integrados y en ocasiones muy bien organizados.

✍ **Grupos de profesionales vinculados con el agua**, representados por los especialistas que están incorporados en: academias, colegios, sociedades, asociaciones, institutos de investigación, universidades y en la iniciativa privada, entre otros. En este caso sus intereses son más de tipo: técnico, científico, educativo y económico; en pocas ocasiones están bien integrados debido a que trabajan normalmente de forma aislada y esto les ha restado poder, aunque de forma parcial entiendan muy bien los problemas y las soluciones.

✍ **Población en general**, está constituida por los ciudadanos cuyas actividades no los vincula con el agua, solo su necesidad de uso; son usuarios del agua de tipo doméstico y público-urbano; representa el grupo de actores de mayor número y por esta razón, quienes, en conjunto, en su día a día pueden ahorrar o desperdiciar un gran volumen de agua.

Estos actores de una forma u otra contribuimos con la crisis hídrica en la que México se encuentra, sin embargo, su capacidad potencial para llevar a cabo soluciones de forma organizada y planificada es muy diferente; en este documento se divide su participación en tres grupos: **i) los que tienen poder político, ii) los que tienen capacidad para realizar propuestas de carácter principalmente técnico, y iii) los usuarios sin participación y que solo viven las consecuencias de las buenas o malas decisiones (políticas y técnicas)**; de estas la primera es fundamental, ya que los **funcionarios públicos deben estar interesados en realidad en fomentar y permitir que las soluciones se lleven a cabo**, no solo durante las campañas electorales, sino de forma continua; ¿cómo?, fortaleciendo a las instituciones gubernamentales, en particular a la CONAGUA, para que los empleados públicos sean personas seleccionadas por su capacidad técnico-administrativa y experiencia en el sector hídrico, con un presupuesto suficiente para realizar: planificación, estudios y obras; estas últimas no solo de tipo superficial.

4.2 La gobernanza del agua en México

Debido a lo antes expuesto, es importante abordar el concepto de gobernanza. De acuerdo con la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), que fue fundada en 1961, la gobernanza es el abanico de reglas, prácticas y procesos (formales e informales)

políticos, institucionales y administrativos, a través de los cuales se toman e implementan decisiones (OCDE, 2015).

En México, en un esquema de gobernanza, los intereses del sector de usuarios del agua, de los grupos de profesionales vinculados con el agua y de la población en general, deberían ser tomados en consideración, y los funcionarios y empleados públicos deberían rendir cuentas sobre su gestión, de esta forma la gobernanza del agua tendría una condición de éxito para el manejo integrado y sostenible de los recursos hídricos.

La OCDE en 2015, hace referencia al hecho de qué es necesario hacer frente a los desafíos del futuro en materia de agua, no solo en el sentido de qué hacer, sino también de quién lo debe hacer y por qué, a qué nivel de gobierno y el cómo. Establece que las respuestas de política solo serán viables si son coherentes, los actores están acoplados correctamente, los marcos regulatorios vigentes, están bien diseñados, se dispone de información adecuada y accesible, y existe suficiente capacidad, integridad y transparencia.

De lo antes citado, a consideración del autor, se destacan cuatro puntos relacionados con la gobernanza del agua, que son fundamentales para plantear las bases de las soluciones a los problemas hídricos en México:

- ✍ En el concepto de gobernanza se deben aplicar eficientemente las reglas, prácticas, procesos políticos, institucionales y administrativos, para tomar y realizar acciones que cambien la situación hídrica del país.
- ✍ Los funcionarios y empleados públicos deben rendir cuentas sobre su gestión, con hechos tangibles.
- ✍ Para hacer frente a los desafíos en materia de agua, los funcionarios y empleados públicos deben participar activamente para definir qué hacer, quién lo hace y cómo, tomado en cuenta las propuestas y apoyos técnicos recibidos por los grupos de profesionales vinculados con el agua, así como los puntos de vista de los sectores de usuarios de este recurso.
- ✍ La participación de los grupos de profesionales vinculados con el agua y de los sectores de usuarios del agua, es fundamental en la colaboración y en los acuerdos que se deben alcanzar para el uso, uso eficiente y reúso del agua.

Es notorio que, a la fecha a los sectores de usuarios del agua, no se les ha asignado una responsabilidad en el concepto de gobernanza, lo cual no es correcto, ya que, si bien existe un derecho al agua, también debe existir una responsabilidad de la forma en que se usa y de seguir honesta y honradamente, las reglas impuestas en la ley, el reglamento y las normas.

De forma complementaria, es importante reiterar que en México los funcionarios y empleados públicos no rinden cuentas sobre los resultados de su gestión relacionada con el agua.

Ante esta situación la solución debe realizarse de forma conjunta, participando los actores enunciados en el punto 4.1 de este documento, identificando cada uno, no solo sus derechos, sino también las responsabilidades que les corresponden.

En resumen, los funcionarios públicos son los actores más importantes para lograr que la gobernanza del agua pueda llevarse a cabo en México, debido a que intervienen directamente en el desarrollo de las actividades que realizan los empleados públicos; solo de esta forma estos podrán desarrollar su trabajo de una forma científica y técnicamente adecuada.

Adicionalmente, en este concepto de gobernanza del agua, hace falta que la sociedad en general tome conciencia de que en vida humana el agua subterránea es un recurso finito, para esto es fundamental la participación conjunta de los grupos de profesionales, dejando fuera intereses particulares por encima de los colectivos.

4.3 Planteamiento de soluciones. Fuentes de agua disponibles

La solución a los problemas de escasez sería deseable que fueran resueltas con el uso de las fuentes de agua disponibles en cada región; a continuación, las soluciones se comentarán describiendo el origen del agua que puede ser utilizada de forma directa o indirecta.

4.3.1 Agua de lluvia

Este recurso tiene el inconveniente mostrado en las figuras 1 y 4 de este documento. En el primer caso está relacionado con la aridez característica de las dos terceras partes del país y la segunda con el incremento de los periodos de sequía; en ambos casos este recurso por escaso que sea es prácticamente desperdiciado y no solo eso, provoca serios problemas de inundaciones, por lo que el agua es finalmente

llevada a través de las redes de drenaje (cuando existen) hacia fuera de las cuencas, sin darles uso.

Existen zonas agrícolas y grandes urbes que tienen este problema por las repetidas inundaciones; en un país en donde los problemas de escasez y las prolongadas sequías están llevando a los núcleos poblacionales a que llegue el "día cero", resulta un gran desacierto no aprovechar este recurso natural que provoca pérdidas económicas y de vidas, tanto en las áreas rurales como en las urbanas, más aún cuando se tiene el pleno conocimiento de que las inundaciones continuarán.

En este caso se deben realizar acciones preventivas y correctivas, iniciando con estudios hidrológicos de detalle, en los que se delimiten las subcuencas y microcuencas hidrológicas (naturales y urbanas), para calcular los volúmenes máximos de agua que se pueden llegar a tener en eventos extremos de lluvia; estableciendo cómo la infraestructura urbana ha modificado la topografía original; cuando se tuvieron asentamientos diferenciales en el terreno, esta delimitación tendría que actualizarse periódicamente.

Una vez delimitadas las microcuencas urbanas y/o rurales, así como los volúmenes máximos de agua que se puedan tener, se deberá identificar hacia donde conducir este recurso con objeto de que no se pierda, lo cual permitirá establecer en dónde construir obras de contención (por ejemplo, tanques de tormenta), conducción y almacenamiento, dentro y fuera de las zonas urbanas.

4.3.2 Reúso del agua regenerada y del agua de retorno agrícola

✕ Agua residual tratada, también denominada agua regenerada

En muchas ciudades del país se genera un elevado volumen de agua residual tratada que se reusa muy poco; a escala nacional el crecimiento demográfico ha propiciado que el agua que llega a las ciudades una vez que se ha utilizado se conduzca a plantas de tratamiento, las cuales como se muestra en la figura 6 se han incrementado considerablemente, así como las plantas de tratamiento en las industrias.

Con datos del año 2020, la Subdirección General Técnica de la CONAGUA, estableció que el caudal tratado en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales (PTAR) fue de 144.71 metros cúbicos por segundo (principalmente tratamiento a nivel secundario) y de 71.67 metros cúbicos por segundo en las PTAR industriales (figura 7); el

conjunto da un total de 216.38 metros cúbicos por segundo, que al año eran del orden de 6,823.76 millones de metros cúbicos (CONAGUA, 2011). En la figura 9 se presentan datos hasta el año 2022 para las PTAR municipales. Un gran volumen de esta agua se tira a cuerpos receptores y en el mejor de los casos solo se utilizan del orden del 15%.

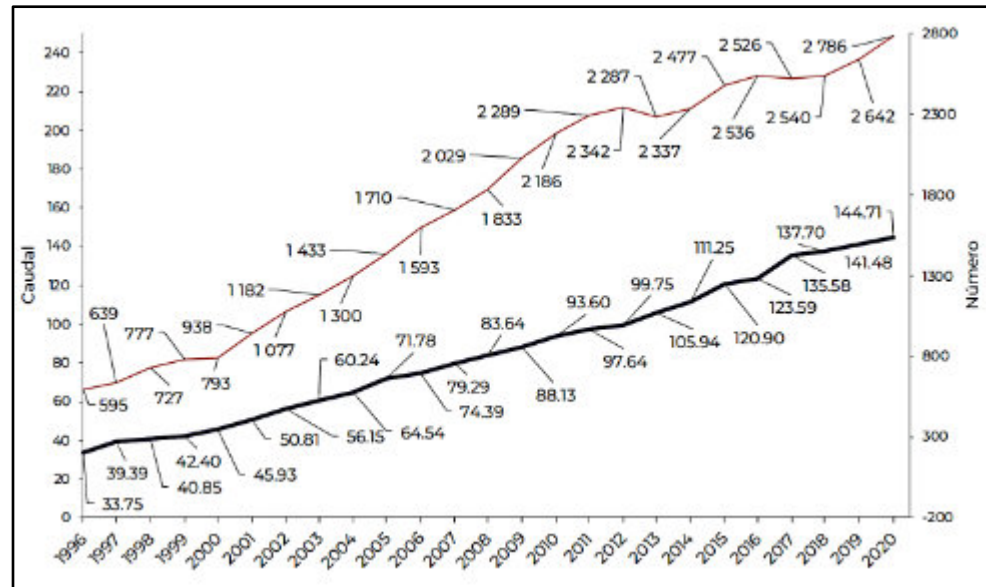


Figura 6. PTAR municipales. Línea superior muestra el número de plantas y la inferior el caudal en metros cúbicos por segundo (CONAGUA, 2021).

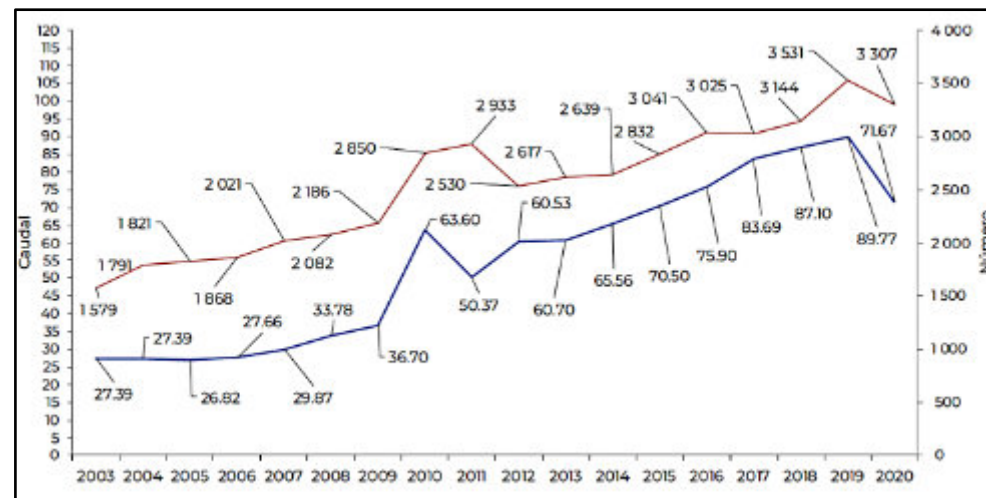


Figura 7. PTAR industriales. Línea superior muestra el número de plantas y la inferior el caudal en metros cúbicos por segundo (CONAGUA, 2021).

A partir de estos datos se concluye que hay una elevada disponibilidad de agua residual tratada (ART), cuyo nivel de tratamiento es

principalmente secundario, y aunque parte de esta agua ya está concesionada y es usada, este recurso hídrico representa una potencial solución si se invierte en elevar el nivel de tratamiento a terciario (previo estudio para determinar en qué plantas es conveniente).

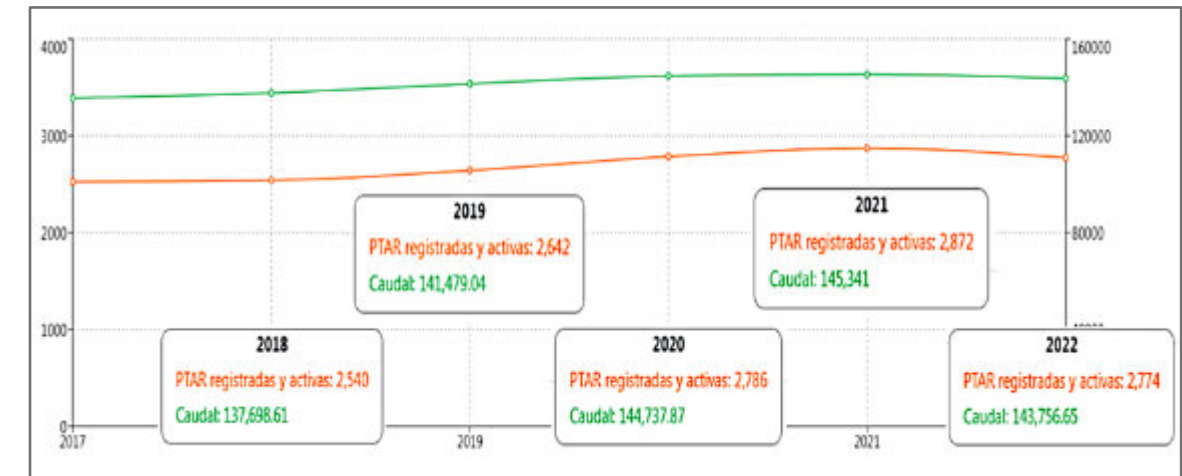


Figura 8. PTAR municipales. Línea superior muestra el caudal en litros por segundo y la inferior el número de plantas (SINA 3.0. CONAGUA, 2024).

Sin tomar en cuenta pérdidas en el proceso, con información del año 2022 (figura 8), el volumen de ART municipal sería de aproximadamente 4,533.51 millones de metros cúbicos por año; con un consumo como el que recomienda la OMS de 100 litros por habitante y día, equivalente a 36.5 metros cúbicos por año, por persona, este volumen de ART serviría para abastecer a una población del orden de 124 millones en un año.

Como resultado del análisis de la información citada es importante considerar lo siguiente:

- ✍ La distribución geográfica en donde se genera este volumen de ART. El volumen citado está distribuido en todo el país (figura 9), no solo en las zonas áridas y semiáridas.
- ✍ Muchas de las PTAR no operan de manera óptima, así que se debe invertir en su revisión y en la ejecución de acciones correctivas para que trabajen adecuadamente e incrementar su capacidad instalada; se reitera que es necesario estudiar cuáles convendría llevarlas a nivel de tratamiento terciario.

- ✎ Habrá que invertir en la construcción de nuevas PTAR o incrementar su capacidad de diseño, ya que en ocasiones parte del agua negra, sin tratamiento alguno, tiene que ser desviada porque las PTAR han llegado a su máxima capacidad.

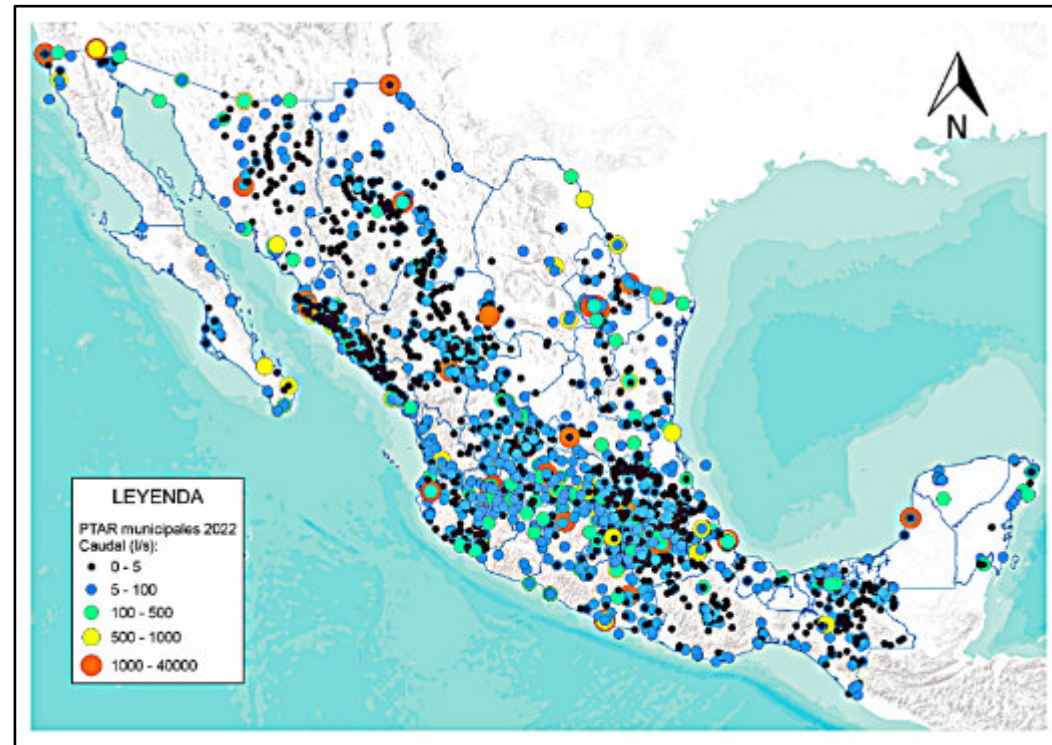


Figura 9. Distribución de las PTAR municipales al año 2022 (mapa generado con datos de SINA 3.0. CONAGUA).

- ✎ Es necesario revisar que las industrias cumplan con sus condiciones particulares de descarga y no viertan sus aguas sin tratamiento a la red de drenaje sanitario, ya que debido a que esto las PTAR operan de forma inadecuada y las ART llevan sustancias que escapan al tratamiento.
- ✎ A los volúmenes reportados por la autoridad en párrafos anteriores, habría que restar aquellos que están siendo ya utilizados, o bien que cuando han llegado a algún cuerpo receptor han sido concesionados por la CONAGUA.

- ✎ Una solución sería analizar donde es factible llevar a cabo el uso potable indirecto del ART, para posteriormente invertir en elevar el nivel de tratamiento a terciario. Esto tiene que ser acompañado de una modificación a la NOM-127-SSA1-2021 (DOF, 2022), ya que en su apartado 3.1 indica lo siguiente: "3.1 Agua para uso y consumo humano, a toda aquella que no causa efectos nocivos a la salud y que no presenta propiedades objetables o contaminantes en concentraciones fuera de los límites permisibles y **que no proviene de aguas residuales tratadas.**" Este tipo de limitaciones normativas no deberían restringir el reúso del ART en un país con tantos problemas hídricos como México, más aún cuando el agua que llegará a los consumidores previamente pasa por plantas potabilizadoras, cuya agua resultante debe cumplir con los límites impuestos por la citada norma.

✂ Agua de retorno agrícola

Un recurso hídrico disponible que nunca ha sido considerado como una fuente de abastecimiento adicional, es el agua que en los distritos y unidades de riego, se mueve a través de los drenes agrícolas, la cual es denominada como agua de retorno agrícola; esta es el agua que no fue utilizada por los cultivos, que no quedó retenida por los suelos y que no se infiltró a profundidades mayores al piso de los drenes agrícolas; es normal que tenga salinidades del orden de los 5,000 partes por millón (ppm) de sólidos totales disueltos (STD), así como sustancias y elementos derivados de los fertilizantes y otros productos químicos que se utilizan en la agricultura.

Este es un volumen de agua desconocido en México, ya que los distritos y unidades de riego, no miden o no publican el agua que se descarga a través de los drenes agrícolas; no se puede realizar una estimación a partir de la cantidad de agua recibida para el riego, debido a que depende de muchos factores, entre otros: climáticos, tipo de cultivos y su variación temporal, tipo de suelos, métodos de riego utilizados, entre otros, sin embargo el volumen debe ser grande por la muy elevada cantidad de agua que se destina al uso agrícola.

Como ejemplo se tomaron las experiencias vividas en el distrito de riego 026 (DR026), Bajo Río San Juan (figura 10), en particular en el dren El Morillo, que integra la mayor cantidad de agua que se mueve por los drenes agrícolas del distrito de riego citado; en esta zona no solo el dren El Morillo descarga al río Bravo, sino también el Rancherías, Puertecitos y Huizaches, cuyo volumen no es contabilizado en la descarga del dren El Morillo; este último de acuerdo con el acta 223 de la Comisión

Internacional de Límites y Aguas (CILA), no debería descargar al río Bravo, salvo cuando el volumen de agua que conduzca sea superior a 3 metros cúbicos por segundo.

Lo antes expuesto muestra que en un distrito de riego de dimensiones medias con una superficie regable de 76,689.6 hectáreas (un distrito de riego grande como el DR014, Río Colorado tiene del orden de 197,000 hectáreas), se llegan a colectar más de 3 metros cúbicos por segundo (figura 11).

La cantidad de STD que contiene el agua de ese dren varía entre 2,500 y 4,000 ppm; agua que podría ser tratada y desalinizada sin necesidad de utilizar mucha energía (BDAN, CILA, Moro Ingeniería, 2016).

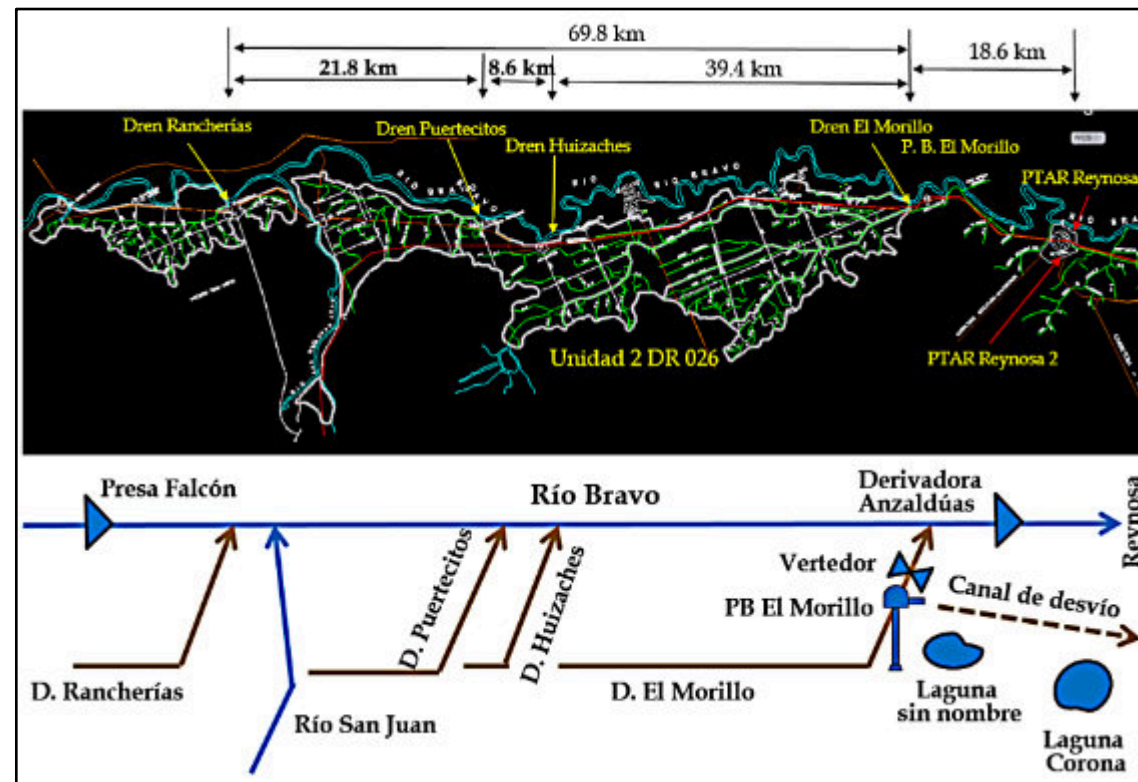


Figura 10. Distribución de la red de drenes en el DR026 y su relación con respecto al río Bravo (BDAN, CILA, Moro Ingeniería, 2016).

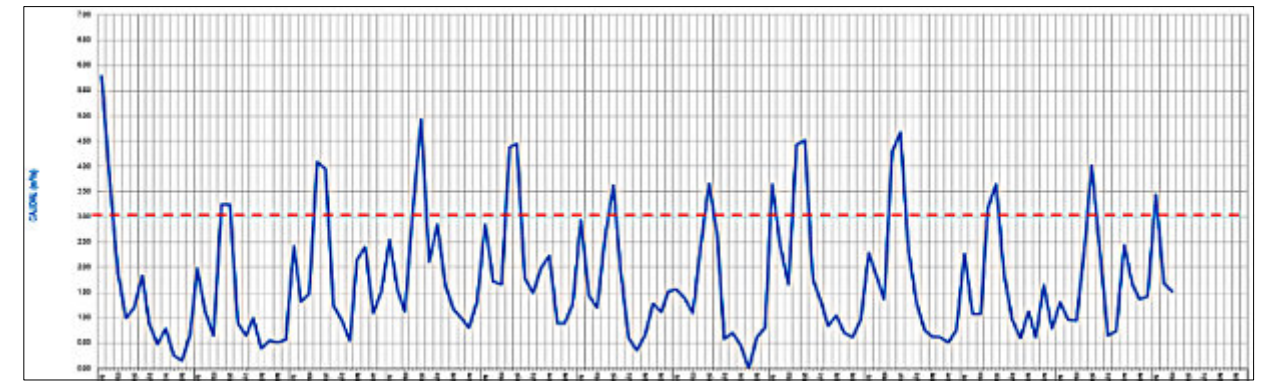


Figura 11. Variación del caudal medio mensual del dren El Morillo; la línea roja discontinua marca el valor de los 3 metros cúbicos por segundo (BDAN, CILA, Moro Ingeniería, 2016).

En este caso la propuesta es reutilizar esta agua en el mismo uso agrícola, previa caracterización y tratamiento, para que cumpla con los requisitos de calidad que el tipo de cultivos y terreno requieran, para de esta forma no generar un nuevo problema; el llevar a cabo esta acción permitiría dejar de utilizar un volumen elevado de agua de primer uso (a la fecha desconocido por falta de monitoreo), que podría utilizarse con otros fines o bien que reduciría el desequilibrio en el balance hídrico de algunos acuíferos.

La primera acción necesaria es la cuantificación y caracterización del agua de retorno agrícola, que sale por los drenes de los distritos y unidades de riego del país.

4.3.3 Desalinización de agua de mar

Otra alternativa con la cual se pueden resolver los problemas de abastecimiento de agua a usuarios de centros de población, agricultores, industriales y prestadores de servicios turísticos. En el mundo según datos del año 2018, existían 15,906 plantas desalinizadoras en 177 países (Jones et al., 2018).

De estas, el 48% se localizaban en la región de Oriente Medio y en el norte de África; en todo Latinoamérica y el Caribe había solo un 5.7%, lo cual refleja la problemática a la que se ha enfrentado este proceso de abastecimiento, aun cuando el país tiene 11,122 km de litoral; en España con 7,905 km de costa tiene una capacidad instalada de 490,000 metros cúbicos por día.

En México se publica muy poco en cuanto a la capacidad instalada que se tiene y la información proviene más de estudios efectuados por la International Desalination Association (IDA) y retomados por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (Fuentes M., 2006), en donde se establece que, a pesar de haber varias plantas de ósmosis inversa, muchas de estas están abandonadas por falta de refacciones.

El IMTA indica que antes de su estudio no existía un inventario sobre el número de plantas desalinizadoras, capacidad instalada, usos, ni ubicación, lo cual coincide con los datos de 2006 del IDA; México a fines del 2005 contaba con una "capacidad total" de 318,170 metros cúbicos por día, derivados de 214 plantas, en donde el proceso que predominaba era la ósmosis inversa con 126 plantas. El 37% del agua desalinizada se destinaba al uso municipal, el 32% al industrial y el 14% al turístico; a la fecha seguramente la mayor cantidad de plantas en operación están relacionadas con el uso turístico y el agrícola con cultivos de alta productividad económica (cultivos de exportación).

Actualmente la mayoría de los proyectos para plantas desalinizadoras para uso público-urbano, no han podido desarrollarse debido a la oposición de las organizaciones no gubernamentales relacionadas con el ambiente, que no siempre están bien informadas, responden a intereses políticos o no presentan estudios que demuestren si realmente se causará un daño a los ecosistemas.

Con relación a esta fuente de agua, es necesario que los empleados públicos presenten informes con estadísticas actualizadas del número de plantas desalinizadoras que operan en México, el uso que se le da al agua producto y qué consecuencias ha tenido la disposición del agua de rechazo; eso último es fundamental para que los opositores a esta forma de abastecimiento tengan manera de confirmar si realmente se están teniendo efectos nocivos a los ecosistemas.

4.4 Otras acciones que permitirían contar con más agua

4.4.1 Uso eficiente del agua

Cuando un recurso natural como el agua, es escaso, es necesario utilizarlo de la forma más eficiente que sea posible, con este objetivo se hacen los siguientes comentarios y se establecen acciones que deberían realizarse.

✂ Distritos y unidades de riego

En las extensas áreas en donde se practica la agricultura de riego, no existen publicaciones disponibles al público en que se indique qué porcentaje está tecnificado y que otro se riega con métodos tradicionales; esta situación no permite identificar que tan grande es el área en que se podría tener recuperación de agua, cuánto aproximadamente se tendría que invertir y qué tiempo podría

necesitarse. Información necesaria cuando se trata de la actividad que más agua consume en el país.

Con objeto de evaluar las dimensiones de las extensiones dedicadas al riego, se analizó la información disponible en dos entidades gubernamentales, la CONAGUA y el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER).

CONAGUA estableció que en el periodo 2020-2021, los distritos de riego cultivaron 2,356,422 hectáreas, las unidades de riego 3,344,620 hectáreas y los distritos de temporal tecnificado 2,879.67 hectáreas (<https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/SINA/?opcion=ptresidual>). En total suman 5,703,922 hectáreas, lo que representan 57,039.22 kilómetros cuadrados; esta superficie representa el 2.89% de la superficie total de México que es de 1.973 millones de kilómetros cuadrados; es decir, que el volumen más grande de agua se consume en aproximadamente el 3% del territorio nacional.

Para confirmar esta cifra se consultó el SIAP y sus mediciones efectuadas a través de imágenes satelitales, con verificación de campo; este Servicio reportó que para el lapso de 2019 a 2021, se tuvo una superficie de riego de 7,294,613 hectáreas, es decir 72,946.13 kilómetros cuadrados, lo cual representa el 3.70% de la superficie nacional, cantidad muy similar a la que se obtiene con datos de la CONAGUA; estas cifras se incluyen solo como una reflexión para establecer si es correcto utilizar la mayor cantidad de agua de **primer uso** en actividades agrícolas. Por otra parte, otra reflexión importante, es el hecho de que la actividad agrícola y pesquera de México es administrada en una Secretaría de Estado, mientras que los recursos hídricos del país por una Comisión, hecho que resulta fuera de toda lógica.

La superficie agrícola de riego es en la mayoría de los casos regada con agua superficial y agua subterránea, al ampliarse los periodos de sequía para mantener la producción, se ha tenido que incrementar la extracción de agua subterránea y en consecuencia se ha agudizado el desequilibrio hídrico en los acuíferos.

Por lo antes expuesto, una acción que debería de haberse implementado hace muchos años es la tecnificación del riego; en algunos distritos esto se ha llevado a cabo, se ha apoyado a los agricultores, quienes ya de forma continua reciben subsidios en el precio del agua y el costo de la energía eléctrica.

Los resultados han mostrado que con la tecnificación efectivamente se ha reducido la cantidad de agua que necesitaban, pero sin embargo no han disminuido sus extracciones, sino que han incrementado la superficie de riego que originalmente tenían; lo cual pone de manifiesto que las acciones fueron realizadas de una forma no planificada, sin tener como objetivo recuperar agua de primer uso para que fuera utilizada por otro tipo de usuarios, o bien para permitir que se recuperaran los acuíferos.

Lo recomendable hubiera sido, brindar el apoyo a los agricultores y a cambio establecer que sus concesiones de agua se modificaran, de manera proporcional al volumen de agua que les permitiera tener los mismos rendimientos económicos; de igual forma, se deberían de haber promovido alianzas para que los agricultores evaluaran con apoyo técnico, la posibilidad de realizar cambios en el tipo de cultivos, o bien no usar agua de primer uso cuando su tipo de cultivo y la disponibilidad de agua residual tratada lo permitiera; esto requiere de planificación en las acciones, de la realización de alianzas entre usuarios, avaladas e impulsadas por los empleados públicos.

Un hecho que hasta este año sigue vigente (2025), es que el sector agrícola es el que más agua consume en México y por lo tanto de donde se pudiera recuperar un mayor volumen para ser utilizado por los demás sectores, sin perjuicio de los primeros. Esto requiere de estrategias económicas, sociales y sobre todo de la voluntad de los funcionarios y empleados públicos.

A fines de marzo del año 2025, la Jefa del Ejecutivo Federal, anunció que se tecnificarían 200,000 hectáreas de riego, para hacer un uso más eficiente del agua en estas; la acción tomada es importante, aunque esta cantidad de hectáreas representan aproximadamente el 2.8% de la superficie agrícola de riego; debido a la falta de información se desconoce qué porcentaje representa del área de riego no tecnificado; en resumen, es necesario publicar las dimensiones del área con riego no tecnificado y buscar alianzas con otros usuarios, para que se invierta más en la recuperación de agua de primer uso, garantizando administrativa y legalmente que no se ampliará la superficie agrícola.

✂ **Organismos operadores de agua potable**

El segundo usuario en importancia por la cantidad de agua que requiere, ver figura 6, es el público-urbano; en este caso el uso eficiente está

relacionado principalmente con la reducción de las pérdidas por fugas en las redes de distribución de agua potable.

Para confirmarlo se consultó información del IMTA (Sistema Pigoo, 2022), que reporta información sobre la eficiencia física de los sistemas desde año 2002 hasta el 2022; con esta información se realizaron promedios, los resultados muestran que de acuerdo con lo reportado por 279 sistemas operadores, el promedio nacional es del 67% de eficiencia física. Posteriormente se analizaron 35 de los sistemas operadores de las ciudades que se consideraron más importantes, en estos sistemas se incluyen a las 32 capitales de los estados, así como otros 3 relevantes; los valores obtenidos se muestran en la figura 12.

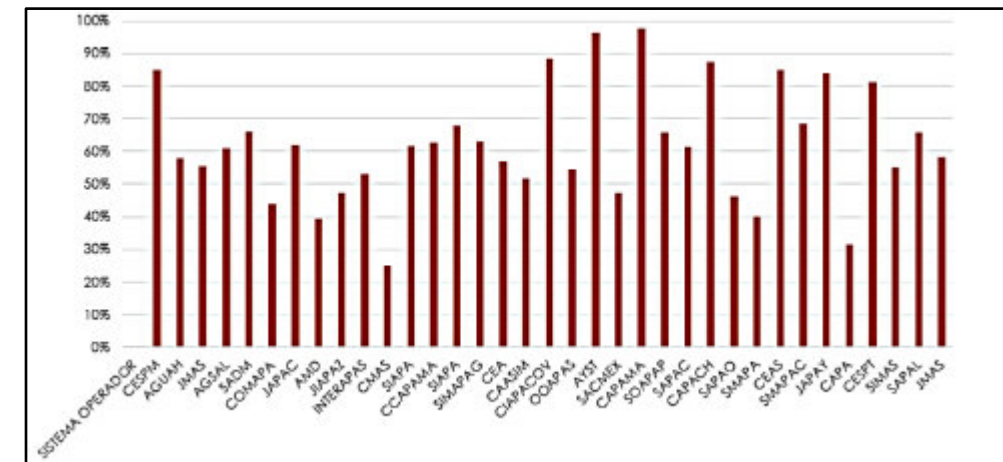


Figura 12. Eficiencia física promedio de 35 sistemas operadores (IMTA, 2022).

El promedio general de estos sistemas fue de 62% (aunque hay 8 que llegan o superan el 80%); la ciudad de Monterrey (SADM) y la Ciudad de México, tienen el 67% y el 48%, respectivamente; se citan estas dos ciudades porque la primera ya reportó en 2022 una crisis hídrica muy grave y la Ciudad de México lleva esa tendencia; en ambos casos porque las fuentes de abastecimiento superficiales se vieron afectadas por la sequía, sin embargo es evidente que se debe trabajar mucho para evitar las grandes pérdidas por fugas.

En muchas ocasiones las fugas están relacionadas con daños en las tuberías por no tomar en cuenta el comportamiento mecánico del subsuelo cuando se realizan trabajos de sectorización y selección de los materiales que se utilizarán en las redes de agua potable y alcantarillado.

Adicional a las bajas eficiencias, se suma la falta de conciencia de los ciudadanos, que utilizamos de manera poco eficiente el agua, con consumos por habitante y día que superan los 140 litros (Ramírez et al., 2012; tabla 1) y en ocasiones más de 300 litros, esto último coincide con las personas de mayor capacidad económica, por lo que es importante estudiar y llevar a cabo la forma en que se deben incrementar las tarifas que pagamos los usuarios.

La conclusión en cuanto al uso eficiente del agua es que en los sectores agrícola y público-urbano, así como en la concientización de la sociedad, hay mucho por hacer que requiere de fuertes inversiones, pero esto llevaría a recuperar un volumen importante de agua y a realizar un uso sustentable de este recurso.

Tabla 1. Promedio de consumo de agua potable, según clima y nivel socioeconómico (Ramírez et al., CIDE, CONAGUA, 2012).

Clima	Nivel socioeconómico			Subtotal por clima
	Bajo	Medio	Alto	
<i>Consumo en metros cúbicos por toma al mes</i>				
Cálido Húmedo	24	25	28	25
Cálido Subhúmedo	20	23	26	22
Seco o Muy Seco	22	22	22	22
Templado o Frío	15	16	14	16
Subtotal por nivel de Ingreso	20	21	22	21
<i>Consumo en litros por habitante al día</i>				
Cálido Húmedo	198	206	243	201
Cálido Subhúmedo	175	203	217	191
Seco o Muy Seco	184	191	202	190
Templado o Frío	140	142	145	142
Subtotal por nivel de Ingreso	177	183	194	182

CIDE: Centro de Investigación y Docencia Económicas, A.C.

4.4.2 La recarga gestionada de acuíferos

El tema de la recarga gestionada de acuíferos ha sido ampliamente comentado en México desde hace más de 20 años, pero a pesar de que existen algunas zonas en donde se infiltra agua al subsuelo de forma

continua, se desconocen los efectos reales que ha producido esta agua, debido a que no se tienen cifras comprobables de cuanta del agua infiltrada ha llegado al acuífero, es decir la medida en que el proceso ha producido recarga (no es lo mismo infiltración que recarga) y menos aún la calidad del agua con que llega al acuífero, así como la calidad del agua de mezcla (agua que llega al acuífero y el agua subterránea nativa).

Sobre este tema existen dos normas de la CONAGUA, relacionadas con recarga de acuíferos, ambas a esta fecha están en revisión; una que establece las condiciones que se deben cumplir para infiltrar agua residual tratada (NOM-014-CONAGUA-2007) y otra en la que se indican las condicionantes para que el agua pluvial o de escurrimientos superficiales se pueda utilizar en las prácticas de recarga (NOM-015-CONAGUA-2007).

Cuando se trabaja la recarga en acuíferos granulares que tienen su nivel piezométrico por debajo de los 50 metros, se debe tomar en cuenta que la recarga artificial de acuíferos (que después que concluyan las revisiones de las normas será clasificada como recarga gestionada), es un proceso que no puede revertir la sobreexplotación, debido a que la infiltración del agua es demasiado local en comparación con la distribución de pozos que obtienen agua del acuífero y por otra parte, el volumen de agua que se infiltra siempre será por mucho menor que el que se extrae, por lo que los efectos serán muy difíciles de ser observados en tiempos relacionados con la vida humana.

Estas observaciones no quieren decir que el autor esté en contra del proceso de recarga gestionada de acuíferos, por el contrario, la propuesta es que se realicen actividades muy bien planificadas, para lo cual debe dejar de verse al acuífero como una caja negra en donde entra y sale el agua como si se tratara de un lago o una presa.

Para que las actividades relacionadas con la recarga gestionada realmente funcionen, deben cumplirse dos aspectos fundamentales: conocer con mucho detalle la geología del subsuelo de una región amplia, para posteriormente elegir la zona con mayor potencial natural para la infiltración del agua; y el segundo conocer la fuente de agua que será utilizada para el proceso de infiltración, su calidad, el volumen del cual se dispone, su continuidad temporal y su ubicación geográfica, esto último para hacer intervenir el costo de las obras de conducción.

Los siguientes comentarios están relacionados con la recarga en medios granulares, debido que para recargar acuíferos en medios fracturados o

carstificados (rocas carbonatadas con estructuras de disolución), se necesitaría utilizar agua que cuando menos tuviera la misma calidad que el agua subterránea, lo cual podría permitir el uso potable indirecto, es decir, infiltrar agua residual tratada con nivel de tratamiento terciario.

Lo óptimo para llevar a cabo de manera efectiva la recarga gestionada de un acuífero granular, es estudiar geológica e hidrogeológicamente una región, para identificar las zonas en donde se tengan acuíferos libres con nivel piezométrico somero, a una profundidad no mucho mayor de 10 m. Entre más profundo esté el nivel del agua, es más factible que se tenga un sistema acuífero, en el que alternen acuíferos confinados y semiconfinados, intercalados con materiales de muy baja permeabilidad, por lo que la infiltración o inyección se tendría que realizar a través de pozos; esto representaría mucha mayor dificultad y costo para disponer el agua y para construir obras de monitoreo que permitieran conocer qué porcentaje llega al acuífero y la calidad con que ingresa a este.

Para obtener este conocimiento, las acciones deberán estar relacionadas con la ejecución de estudios que confirmen qué porcentaje del agua se convertirá en recarga del acuífero, para lo cual es fundamental determinar cuál es el mejor método a utilizar en el proceso de infiltración; esto representa solo la mitad de lo que se debe de hacer, la otra parte está relacionada con los estudios que determinen dónde y con qué diseño deben construirse obras de monitoreo, para determinar la evolución química del agua infiltrada al transitar por los materiales no saturados, cómo fue modificándose en calidad hasta llegar a la zona saturada y posteriormente establecer sus cambios al mezclarse con el agua subterránea nativa.

Un aspecto relevante para que este proceso pueda desarrollarse de forma más frecuente y planificada, ya que requiere de importantes inversiones económicas, es analizar por parte de los empleados públicos los estímulos que deben darse a las entidades que lleven a cabo esta actividad, en particular a los sistemas operadores de agua potable.

Estos estímulos no son tomados en cuenta en las normas oficiales mexicanas, porque se maneja de forma independiente la parte administrativa de la técnica, lo cual complica y vuelve incosteable llevar a cabo la recarga gestionada, por esta razón entre las acciones a realizar en el corto plazo, está el que la autoridad del agua busque la manera de apoyar a los organismos operadores, municipios y otras entidades, para hacer económicamente realizable esta práctica.

5. REFLEXIONES FINALES

Como resultado en este artículo se concluye que los problemas relacionados con los recursos hídricos en el país están muy bien identificados, sin embargo, ha faltado voluntad e interés para apoyar con recursos humanos y económicos a fin de darles solución.

En particular en el caso del agua subterránea, los problemas pueden ser establecidos desde el punto de vista político, social y técnico, en ese orden de complejidad; o bien desde el punto de vista natural y el relacionado con los seres humanos.

Este segundo punto de vista está vinculado a los siguientes factores:

- Mala distribución del agua superficial en el país.
- Existencia de grandes extensiones con clima árido y semiárido.
- El cambio que está presentando la precipitación pluvial, de forma que los periodos de sequía son y seguirán siendo muy extensos (se desconoce si durarán años, décadas o más) y estarán alternados con periodos húmedos cortos en términos relativos, con lluvias intensas; la dificultad con este tema es que no se puede predecir cuándo iniciarán unos y cuándo terminarán los otros.

Esto se resume en una extrema incertidumbre de cómo variará la distribución del agua de lluvia y aunque esta situación fue identificada con mucho tiempo de anticipación por los científicos, no ha habido interés para enfrentarla, por lo que ahora es urgente entender no solo las razones históricas, por las cuales no se realizaron cambios en el uso de los recursos hídricos, para modificar esta situación y efectuar acciones a corto y mediano plazo que cambiaran la manera de organizarnos para asegurar la disponibilidad del agua.

Un escenario es seguro, si se continúa sin realizar acciones para corregir la situación, la población que más sufrirá los efectos será la más vulnerable económicamente, lo cual incrementará la pobreza y se podría llegar incluso a la inestabilidad social.

En lo relacionado con los funcionarios públicos, el problema ha sido provocado por su falta de atención e interés, que les ha llevado a no tener una real intención por resolver los problemas hídricos, debido entre otras cosas a que de fondo desconocen las repercusiones, por lo

que han dado más importancia a otros intereses; estas acciones han afectado seriamente a las instituciones en diferentes ámbitos.

Por otra parte, los grupos de profesionales vinculados con el agua, no hemos actuado de forma conjunta para apoyar las soluciones. En otras sociedades en el mundo, este grupo de profesionales han trabajado de forma organizada, haciendo a un lado sus diferencias, para apoyar y volver realidad acciones técnicas y sociales, exigiendo a los funcionarios y empleados públicos a que den cuentas de su labor.

A la par de esta desorganización, la mayor parte de los usuarios del agua han hecho uso de este recurso de una forma no sustentable y por tanto no sostenible; en el caso de las aguas subterráneas existe el pretexto de que son prácticamente invisibles, aunque ha sido muy evidente el descenso de los niveles en los pozos y el deterioro de la calidad del agua; con las aguas superficiales es imposible no darse cuenta que año con año los niveles en las presas y los caudales de los ríos han ido disminuyendo; en ambos casos no se han tomado medidas para reducir los consumos paulatina y estratégicamente, para hacer frente al problema de falta de abastecimiento que finalmente llegará a todos los sectores.

A pesar de todo esto, si se promueve la voluntad política y los grupos de profesionales nos organizamos junto con los sectores de usuarios, existen recursos disponibles para dar solución a este grave problema hídrico; las soluciones viables están relacionadas con el uso del agua de lluvia, el uso eficiente del agua y el reúso de esta, así como en la desalinización del agua de mar.

A lo largo de este artículo se ha demostrado que existe un volumen muy grande de aguas residuales tratadas, que pueden ser usadas por sectores que no requieren agua de primer uso, como el agrícola y el industrial, o bien que pueden ser tratadas a nivel terciario para darles uso potable indirecto.

De igual forma, una acción que requiere ser realizada de forma inmediata es la medición de los volúmenes de agua de retorno agrícola, que seguramente representan un volumen muy elevado, debido a que, aunque fuera un porcentaje pequeño del total aplicado en riego, sería grande ya que el volumen de agua para uso agrícola es el mayor de todos; este recurso de igual forma debería previamente ser tratado para reutilizarlo en el mismo sector.

Una revisión del Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), permite concluir que el total de agua concesionado es de 89,548 millones de metros cúbicos por año y aunque este registro no es totalmente confiable, a la fecha es la única herramienta que se tiene para tener una idea general de la forma en que se usan los recursos hídricos en México.

No obstante, esta información estimada es suficiente para plantear las siguientes acciones:

- ✎ Revisar la operación de las PTAR que tratan aguas municipales, ya que de acuerdo a cifras publicadas por la CONAGUA, en el documento "Estadísticas del Agua, año 2021", en el año 2020, el volumen de agua residual tratada, que ingresó a las 2,786 PTAR que tenía México, fue de 215.4 m³/seg; el caudal resultante del tratamiento fue de 144.71 m³/seg, es decir se obtuvo un 67.2% del agua residual que entró a las PTAR (páginas 127 y 193, del documento citado); es factible que mejorando el estado de esta infraestructura, el porcentaje y calidad del agua residual tratada pueda incrementarse.
- ✎ Que funcionarios, académicos y profesores preparen a los estudiantes de licenciatura y posgrado, para que desarrollen desde sus centros de estudio, trabajos e investigaciones que ayuden a mejorar la tecnología existente y a entender que desde cualquier formación profesional se puede apoyar para mejorar la condición actual de los recursos hídricos en México.
- ✎ Aplicar de forma correcta el proceso de gobernanza del agua, asumiendo cada participante su papel y responsabilidades.
- ✎ Aprovechar el agua de lluvia efectuando la delimitación de subcuencas y microcuencas hidrográficas, en zonas urbanas y agrícolas, evitando así daños, pérdidas económicas y vidas; de esta manera este recurso no se seguirá perdiendo al mezclarse con el agua residual sin tratamiento.
- ✎ Emplear técnicas geológicas, geofísicas e hidrogeológicas para la exploración de acuíferos en regiones complejas estructuralmente; en acuíferos ya explotados identificar y delimitar cuencas hidrogeológicas para perforar nuevos pozos en zonas que no afecten a las subcuencas hidrogeológicas en explotación.
- ✎ Recuperar agua a través de la tecnificación de las zonas agrícolas, recuperando y transfiriendo legalmente el agua ahorrada a otros sectores de usuarios.

- ✎ Cuantificar la cantidad del área agrícola que no está tecnificada.
- ✎ El agua debería ser administrada desde una Secretaría de Estado y no en una Comisión Nacional, de esta forma y con voluntad política se tendría más presupuesto y más capacidad técnica y administrativa.
- ✎ Incrementar la eficiencia física de los sistemas de agua que abastecen a las ciudades.
- ✎ Reutilizar el agua residual tratada derivada de las PTAR, al nivel que está o llevando el tratamiento a nivel terciario, para lograr el uso potable indirecto, así como intercambiarla con otros sectores de usuarios.
- ✎ Cuantificar el agua de retorno agrícola y darle tratamiento para reciclarla en este uso o para que sea utilizada por otros sectores o bien para cumplir con las obligaciones contraídas en el Tratado de 1944 con los Estados Unidos de América.
- ✎ Efectuar estudios para identificar en todo el país acuíferos libres con nivel piezométrico somero para realizar recarga gestionada de acuíferos, cumpliendo con lo que se establece en la normatividad mexicana respectiva.
- ✎ Que los funcionarios y empleados públicos trabajen de forma conjunta, para diseñar estímulos a fin de que el proceso de recarga sea frecuente y técnicamente desarrollado, con obras que permitan conocer cuanta del agua infiltrada realmente se convierte en recarga y la calidad con que llega a los acuíferos.
- ✎ Identificar las zonas costeras en donde se cumplen con las características necesarias para realizar el proceso de desalinización de una forma sustentable.
- ✎ Identificar acuíferos con problemas de intrusión salina en los que la extracción de agua marina en la franja costera limite este proceso.

Como se puede ver, existen soluciones técnicas, así como acciones concretas y realizables, pero es necesario en primera instancia resolver dos grandes problemas: que los grupos de profesionales vinculados con el agua seamos capaces de realizar alianzas y trabajar juntos por un

mismo fin, resolviendo diferencias y privilegiando los intereses colectivos, porque los problemas hídricos tienen que ser resueltos con una visión multidisciplinaria, en la que se incorpore la parte técnica y la social, para apoyar a las instituciones, así como para exigir el cumplimiento de las soluciones por parte de los funcionarios y empleados públicos.

El segundo problema está relacionado con revertir la falta de voluntad política, este es el gran reto que se tiene; con este objetivo los grupos de profesionales vinculados con el agua tenemos la obligación de apoyar, pero también de organizarnos con el resto de la sociedad, para exigir que se lleven a cabo las soluciones y conocer qué resultados se obtuvieron, esta es la única forma de corregir errores y realizar las modificaciones, ejercicio que se deberá realizar de manera iterativa hasta que se cumpla con el objetivo de tener seguridad en el abastecimiento de agua para continuar con el desarrollo y el abastecimiento de toda la población.

Finalmente, mucho se ha citado que los seres humanos tenemos derecho al agua, pero también tenemos que estar conscientes que esto conlleva a la responsabilidad de usarla adecuadamente, sin importar clases sociales. Debemos pensar qué tipo de país queremos y qué tenemos que hacer para lograrlo.

AGRADECIMIENTOS

En la realización de este documento, agradezco los comentarios, correcciones y búsqueda de información de los ingenieros y especialistas en aguas subterráneas: Rainier Uriel Mares Tepanohaya, Enrique Díaz Diego, José Emiliano Cruz Lozano, Daniel Núñez Trasovares y María del Carmen Hernández Mier, así como el interés y revisión del Dr. Enrique Alejandro González Torres.

BIBLIOGRAFÍA

- Comisión Nacional del Agua. (2013). *Atlas Digital Geográfico*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Nacional del Agua.
<https://gisviewer.semarnat.gob.mx/aplicaciones/atlas2015/atmosfera.html>
- Comisión Nacional del Agua (2020). *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación*. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Comisión Nacional del Agua.
- Comisión Nacional del Agua. (2021). *Estadísticas del Agua en México 2021*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Nacional del Agua.
- Comisión Nacional del Agua. (2024). *Almacenamiento en Presas del Sistema Cutzamala 2024*. Organismo de Cuenca Aguas Del Valle de México. Dirección de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Subgerencia de Abastecimiento de Agua Potable. Comisión Nacional del Agua.
- Comisión Nacional del Agua. (2024). *Programa Nacional Hídrico 2020-2024: Resumen*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Nacional del Agua.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). NORMA Oficial Mexicana NOM-014-CONAGUA-2003, Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada. 28/11/2008. Estados Unidos Mexicanos.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). NORMA Oficial Mexicana NOM-015-CONAGUA-2007, Infiltración artificial de agua a los acuíferos. Características y especificaciones de las obras y del agua. 28/11/2008. Estados Unidos Mexicanos.
- Diario Oficial de la Federación, (2024). Programa Nacional Hídrico 2020-2024, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, disponible en versión PDF.
- Fuentes M., et al. (2006). *Desalinización de agua mediante el uso de energías no convencionales para su aplicación en comunidades rurales 3ª parte: Proyecto interno TC-0611.1*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Hispagua. (2024). *Hidrogeología*. Hispagua Sistema Español de Información sobre el Agua. CEDEX.
<https://hispagua.cedex.es/datos/hidrogeologia>
- IMCO (2023). *México enfrenta las sequías sin recursos suficientes: Presupuesto 2024 para la Comisión Nacional del Agua*. Centro de Investigación en Política Pública.
<https://imco.org.mx/mexico-enfrenta-las-sequias-sin-recursos/#:~:text=M%C3%A9xico%20es%20un%20pa%C3%ADs%20vulnerable,en%20frecuencia%2C%20intensidad%20y%20duraci%C3%B3n>
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2005). *Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego: Año Agrícola 2003-2004*. Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola. Gerencia de Distritos y Unidades de Riego. Comisión Nacional del Agua.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2023). *Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores*. (Archivo de Excel). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Nacional del Agua.
<http://www.pigoo.gob.mx/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020). *PIB por Entidad Federativa (PIBE). Base 2013*. Subsistema de Información Económica.
<https://www.inegi.org.mx/programas/pibent/2013/#Tabulados>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2021). Datos del mapa ráster de climas (1950-2000). *Marco Geoestadístico Nacional*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Jones E. et al. (2018). The state of desalination and brine production: A global outlook. *Science of the Total Environment* 657 (2019). 1343-1356.
- Lendo E. (2024). ESG, Climate Change and Sustainable Development. LinkedIn Top Voice.
- Morales-Escalante R. (2024). *Diagnóstico, cómo y por qué México ha llegado a la problemática hídrica actual. Uso inadecuado del agua subterránea. Propuesta de soluciones y acciones*. Trabajo de ingreso a la Academia de Ingeniería México.
- Morales-Escalante R. (2023). *Futuro del Uso del Agua en México Alternativas de Solución*. (Diapositivas de PowerPoint). Convención Geológica Nacional 2023. Asociación Geohidrológica Mexicana.
- Moro Ingeniería (2013). *Estudio Hidrogeológico para el Reúso en el Valle de Las Palmas, Tijuana, B.C.* (Diapositivas de PowerPoint). Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana.
- OCDE. (2015). *Principios de Gobernanza del Agua de la OCDE*. Centro de Emprendimiento, PYMES, Regiones y Ciudades.
- ONU, 2018, *El derecho al agua: Folleto informativo No. 35*. <https://acnudh.org/el-derecho-al-agua-folleto-informativo-no-35/>
- Ramírez et al. (2012). *Estimación de los factores y funciones de la demanda de agua potable en el sector doméstico en México: Informe final*. CIDE. Comisión Nacional del Agua.

- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022). *Panorama de la frontera agrícola de México por Representación Estatal SADER 2022*. SIAP.
www.gob.mx/siap/documentos/panorama-de-la-frontera-agricola-de-mexico-por-representacion-estatal-sader-295448
- SINA 3.0 (2024). Distritos de Riego (Archivo de Excel). Sinav30. Comisión Nacional del Agua.
<https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/SINA/?opcion=salud>
- SINA 3.0 (2024). Unidades de Riego (Archivo de Excel). Sinav30. Comisión Nacional del Agua.
<https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/SINA/?opcion=salud>
- SINA 3.0 (2024). Distritos de Temporal Tecnificado. (Archivo de Excel). Sinav30. Comisión Nacional del Agua.
<https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/SINA/?opcion=salud>
- Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales. (2024). Informe del Medio Ambiente. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
<https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap6.html>
- SMN. (2024). *Monitor de Sequía de México (MSM)*. Comisión Nacional del Agua.
<https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>



M. EN I. RAÚL MORALES ESCALANTE

Licenciatura en Ingeniería Geológica por la Facultad de Ingeniería de la UNAM, México.

Especialidad en Hidrogeología por la Universidad Complutense de Madrid, España.

Maestría en Recursos Hidráulicos por la Universidad Politécnica de Valencia, España.

Realizó trabajos de cartografía geológica y cartografía hidrológica de aguas subterráneas en la Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL).

Trabajó en la División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, de la Facultad de Ingeniería, de la UNAM, como Jefe del Departamento de Geología del Petróleo y Geohidrología; en esta División fue profesor de diversas asignaturas, entre otras Geohidrología. En la Especialidad de Aguas Subterráneas del Postgrado de la Facultad de Ingeniería fue catedrático de la asignatura de Hidrogeología Aplicada.

Desde hace 35 años trabaja en la iniciativa privada, donde es propietario de la empresa Moro Ingeniería, S.C., donde se han realizado más de 200 estudios relacionados con hidrogeología y medio ambiente.

Ha impartido cursos de actualización y capacitación a personal de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato, Petróleos Mexicanos, el Instituto Mexicano del Petróleo, entre otras instituciones.

Es miembro de la Junta de Honor de la Asociación Geohidrológica Mexicana, A.C., de la cual fue presidente en el periodo 2018-2020; es miembro de los siguientes gremios: Académico Titular de la Academia de Ingeniería de México, Sociedad Geológica Mexicana, Asociación Internacional de Hidrogeólogos-Capítulo Mexicano, Colegio de Ingenieros Geólogos y del Comité del Agua del Colegio de Ingenieros Civiles de México.

Ha colaborado en la realización de algunos capítulos de libros, como: “Residuos Industriales en México: Una Torre de Babel Ecológica”; “Manejo de Residuos Industriales”; “Manejo de la Recarga de Acuíferos: Un enfoque hacia Latinoamérica (IMTA)”, así como en el de “Aguas Subterráneas, Exploración, Evaluación, Caracterización y Gestión”, realizado en conjunto por la Universidad Politécnica de Madrid y la Universidad Nacional Federico Villareal, de Perú.

Ha impartido numerosas presentaciones en cursos, congresos, symposium, talleres y ha publicado artículos en diversas revistas.

raul.agua@gmail.com

www.moro-ingenieria.com

SIGNIFICADO GEOTECTÓNICO DE LAS ROCAS ECLOGÍTIAS DE CUBA CENTRAL. (1992)

Álvarez-Sánchez, H.₁; Millán, G.₂; Mainegra, V.₁; Bernal, L.₁; Andó, J.₃

1. Empresa Geólogo-Minera del Centro. Santa Clara. Cuba.
2. Instituto de Geología y Paleontología (IGP) del MINBAS. La Habana, Cuba.
3. Universidad Eötvös Loránd. Budapest. Hungría.

Exordio

En Agosto de 1992 tuvo efecto la 13^{ava} Conferencia Geológica del Caribe en la Provincia de Pinar del Río, Cuba occidental. Para su celebración, los autores del trabajo que prosigue, interesados en la geología de las rocas metamórficas cubanas, presentaron un manuscrito denominado *“Significado geotectónico de las rocas eclogíticas de Cuba central”*. Por causa de circunstancias propias de la época, circulan varias copias sobre este trabajo que difieren entre si, en la estructura del texto, en la amplitud del contenido y en la fecha en la que fueron registradas, hasta el punto en que parecen trabajos con alcances diferentes. En la Biblioteca Digital Cubana de Geociencias (de Ceballos e Iturralde-Vinent) en el renglón 253 aparecen dos versiones bastantes diferentes con el mismo título. Ambas se pueden descargar. Pero solo una de ellas, borrosa, en la que se aprecia con claridad su condición de copia de mecanografía; es la única legítima que concuerda con la entregada a la comisión de la conferencia y pertenece a la fecha de su celebración.

La cuestión del origen de las eclogitas y su estrecho vínculo con los melanges tectónicos ultramáficos fueron abordados por los autores, en aquella época, no sin cierta ingenuidad, ante su categórica complejidad. El paso de los años demuestra que el documento, a pesar de sus considerables defectos, fue uno de los primeros que se redactó para emprender la tarea de establecer las relaciones de las rocas metamórficas de alta presión con las serpentinitas altamente deformadas e intentar una separación de las masas de serpentinitas que se diferencian por su contenido de inclusiones metamórficas de diversas condiciones de presión-temperatura.

Puntualizado lo anterior cabe aclarar que el presente artículo nunca fue publicado. Gracias a la gentileza de la Revista Maya de Geociencias se presenta la versión única y original, sin modificación alguna de su texto que no sea estrictamente necesaria, con la totalidad de sus conclusiones y sus imágenes originales algunas solo redibujadas para su mayor claridad.

Resumen

Se estudian los aspectos petrológicos, posición estructural e implicaciones geotectónicas de las eclogitas y otras metamorfitas asociadas en Cuba central. Al norte de esa región estas rocas yacen sustentadas por un melange ultramáfico probablemente originado en una zona de subducción, formando parte de un antiguo prisma de acresión. Las eclogitas del Escambray se sitúan en un melange ultramáfico, pero generado por la tectonización parcial de una cuenca marginal propia de ese macizo y que ahora se observa en las fronteras entre los nappes. Otras eclogitas del mismo dominio se derivan de gabros y/o basaltos y tienen una posición estratigráfica definida. Tanto las eclogitas sureñas como norteñas pertenecen al tipo de baja temperatura y se asocian estrechamente con glaucofanitas, jadeititas, anfíbolitas granatíferas y otras metamorfitas de alta presión. El desarrollo geológico de Cuba central se explica a partir de una secuencia de acontecimientos, compuesta por un proceso de subducción y colisión de una placa con corteza oceánica portadora de una estructura continental (Escambray) se sur a norte; bajo otra corteza melanocrática donde se desplegó el Arco Volcánico de Zaza y la transformación final a un régimen de colisión y obducción de Zaza sobre el Escambray. Al norte, en cambio, se produjo la apertura de una depresión back-arc a partir del Thitoniano o del Cretácico Inferior que

separó y fragmentó el fundamento el fundamento de las Zonas de Camajuaní y Placetas; acumuladas sobre un basamento heterogéneo.

Las condiciones evolutivas de estas regiones estuvieron regidas por etapas de distensión, tectónica transcurrente (transpresión) de la cuenca back-arc desde el sur hacia el norte; suturando definitivamente la estructura cubana al margen continental norteamericano del cual es, ahora, una estructura de acresión.

Palabras clave: Eclogitas; subducción-colisión; obducción; melange ultramáfico poligenético; transpresión; cuenca back-arc.

Summary

This study examines the petrological aspects, structural position, and geotectonic implications of eclogites and associated metamorphic rocks in central Cuba. To the north of this region, these rocks are supported by a ultramafic mélange, likely originating in a subduction zone and forming part of an ancient accretionary prism. The Escambray eclogites are situated within an ultramafic mélange, but this mélange was generated by the partial tectonization of a marginal basin specific to that massif, now observed at the boundaries between the nappe structures. Other eclogites within the same domain are derived from gabbros and/or basalts and have a defined stratigraphic position. Both the southern and northern eclogites are of the low-temperature type and are closely associated with glaucophanites, jadeitites, garnet amphibolites, and other high-pressure metamorphic rocks. The geological evolution of central Cuba is explained by a sequence of events. This includes a subduction and collision process of a plate with oceanic crust carrying a continental structure (Escambray) from south to north, beneath another melanocratic crust where the Zaza Volcanic Arc developed. This was followed by a final transformation to a collision and obduction regime of Zaza over the Escambray. In contrast, to the north, a back-arc depression opened from the Tithonian or Early Cretaceous, separating and fragmenting the basement of the Camajuaní and Placetas Zones, which accumulated on a heterogeneous basement. The evolutionary conditions of these regions were governed by stages of extension, and transcurrent tectonics (transpression) of the back-arc basin from south to north, definitively suturing the Cuban structure to the North American continental margin, of which it is now an accretionary structure.

Keywords: Eclogites; subduction-collision; obduction; polygenetic ultramafic mélange; transpression; back-arc basin.

Резюме

Изучаются петрологические аспекты, структурное положение и геотектонические последствия эклогитов и других ассоциированных метаморфических пород в центральной части Кубы. К северу от этого региона эти породы залегают на ультрамафическом меланже, вероятно, образовавшемся в зоне субдукции, и являются частью древней аккреционной призмы. Эклогиты Эскамбрая расположены в ультрамафическом меланже, но образованы в результате частичной тектонизации собственного окраинного бассейна этого массива, который теперь наблюдается на границах между надвигами. Другие эклогиты того же домена происходят из габбро и/или базальтов и имеют определённое стратиграфическое положение. Как южные, так и северные эклогиты относятся к низкотемпературному типу и тесно ассоциированы с глаукофанитами, жадеититами, гранатовыми амфиболитами и другими высокобарными метаморфическими породами. Геологическое развитие центральной Кубы объясняется последовательностью событий, включающей процесс субдукции и коллизии плиты с океанической корой, несущей континентальную структуру (Эскамбрай), с юга на север; под другой меланократовой корой, где развивалась вулканическая дуга Зазы, и окончательную трансформацию в режим коллизии и обдукции Зазы над Эскамбраем. На севере, напротив, произошло открытие задугового бассейна, начиная с титона или нижнего мела, который разделил и фрагментировал основание зон Камахуани и Плаетас, накопившихся на гетерогенном фундаменте. Эволюционные условия этих регионов регулировались стадиями растяжения, трансформной тектоники (транспрессии) задугового бассейна с юга на север, окончательно пришивая кубинскую структуру к североамериканской континентальной окраине, частью которой она теперь является в виде аккреционной структуры.

Ключевые слова: Эклогиты; субдукция-коллизия; обдукция; полигенетический ультрамафический меланж; транспрессия; задуговый бассейн.

1. introducción.

Rocas eclogíticas, esquistos glaucofánicos, anfibolitas y otras metamorfitas asociadas se presentan en varias estructuras geológicas de la Isla de Cuba, tales como el Cinturón Ultramáfico de Cuba Central y el Macizo Metamórfico del Escambray al sur de Cuba central. Las relaciones espaciales y petrológicas que a menudo estas rocas guardan entre sí y con los complejos rocosos no metamorfizados contiguos; las indicaciones barométricas y termométricas de sus series minerales progresivas y regresivas, la convivencia frecuente de las mismas con otras rocas no metamorfizadas o metamorfizadas en otras condiciones discrepantes, dentro de un mismo ambiente de sustento litológico; así como otros detalles y rasgos esenciales de sus historias metamórficas y condiciones primaria de formación; son indudablemente de importantes y en ocasiones de decisiva información para la solución de varias cuestiones de la geología de Cuba. Sin embargo, se registran pocos trabajos en la literatura cubana dedicados al estudio de las asociaciones metamórficas y a las eclogitas en particular, orientados a la especulación geotectónica.

En este artículo, los autores proporcionan información preliminar sobre ciertos grupos de rocas metamórficas y su contexto geológico a fin de obtener datos pertinentes para la reconstrucción de ambientes geotectónicos y su historia evolutiva. En este sentido anterior, una de las regiones más ricas en ocurrencias de rocas eclogíticas y metamórficas asociadas son las provincias centrales de Cuba. En este territorio existen dos localizaciones muy importantes. La primera corresponde al cinturón de ofiolitas del Norte; sobre todo en la Sierra Alta de Agabama (Fig. 1), donde dicho cinturón experimenta un llamativo ensanchamiento cerca de la ciudad de San Clara. En este lugar, Rutten (1938), describió por primera vez grandes inclusiones de metamórficas, incluyendo eclogitas. La segunda localización se encuentra al sur de Cuba Central, en el Macizo Metamórfico del Escambray, donde las eclogitas y rocas asociadas, al menos en un caso, ocupan una posición estratégica definida.

2. Eclogitas y rocas asociadas de la Sierra Alta de Agabama.

Un excelente ejemplo de bloques de rocas eclogíticas se observa en la localidad Crucero Margot (Fig. 1). En este lugar y a lo largo de uno 8 km en dirección a la Presa Minerva, yacen en el interior de serpentinitas, enormes bloques de roca eclogítica con potentes bordes rodingíticos (Fig. 2). Los cuerpos están en completa conformidad con las serpentinitas tectónicas principales en forma de grandes budinas que pueden alcanzar hasta 3 km de largo. En el corte del ferrocarril (Crucero Margot) se observan buenos afloramientos en la parte nuclear de uno de los cuerpos, con las rocas solo fracturadas y prácticamente sin foliación, masivas, muy densas, melanocráticas, de grano grueso. Están formadas por grandes porfidoblastos de granate euhédrico zonado. La corona de granate de 2^{da} generación se destaca muy claramente. La masa de clinopiroxeno verde pálido, apenas pleocroico, aparece en agregados finos conjuntamente con el anfíbol verde grisáceo azuloso pleocroico. El anfíbol posterior a las dos generaciones de granate, envuelve sus cristales o los corta con finas vetillas y a menudo se le observa sustituyendo al clinopiroxeno destacándose granos de este último sustituidos por glaucofana.

Tiene gran importancia que en las porciones periféricas del granate aparecen abundantes granos de clinopiroxeno desorientados u ordenados rotacionalmente, demostrando la previa formación del mismo con respecto al granate más tardío y, por supuesto, también anterior al anfíbol que es posterior a ambas generaciones de granate. De modo similar ocurre con el abundante rutilo el tránsito hacia esfena, que cuando aparece en el interior de los granates se encuentra inalterado mostrando la posterioridad de la esfena respecto a los granates.

En la roca están expresadas varias etapas de generación de las asociaciones minerales. A la inicial, compuesta por granate-rutilo-onfacita-zoisita?-mica blanca, se superpone una asociación más tardía de anfíbol (glaucofana)-epidota-esfena-mica blanca. Aun más tarde otra asociación reflejada por clinozoisita-clorita-albita-stilpnomelana de carácter regresiva tardía donde casi siempre la albita forma coronas alrededor del anfíbol, incluyendo pseudopiquilitos de granate previamente cloritizados.

El granate de estas eclogitas pertenece al grupo de las piralspitas compuestas por una solución sólida entre almadino y espesartina fosfórica con un valor de 11.5 A° de su celda elemental. Según estas características mineralógicas, las eclogitas del Crucero Margot pueden considerarse integradas al tipo C (según Coleman *et al.* 1965), análogas a las asociadas a los complejos ofiolíticos o sus representantes tectonizados, portadores de asociaciones rocosas metamorfizadas en condiciones de HP-LT; tales como se describen en Dal Piaz y Ernst, 1976; Dobretsov, 1984; Sobolev *et al.*, 1986; Newton, 1986; Moore, 1986, y en muchos otros trabajos.

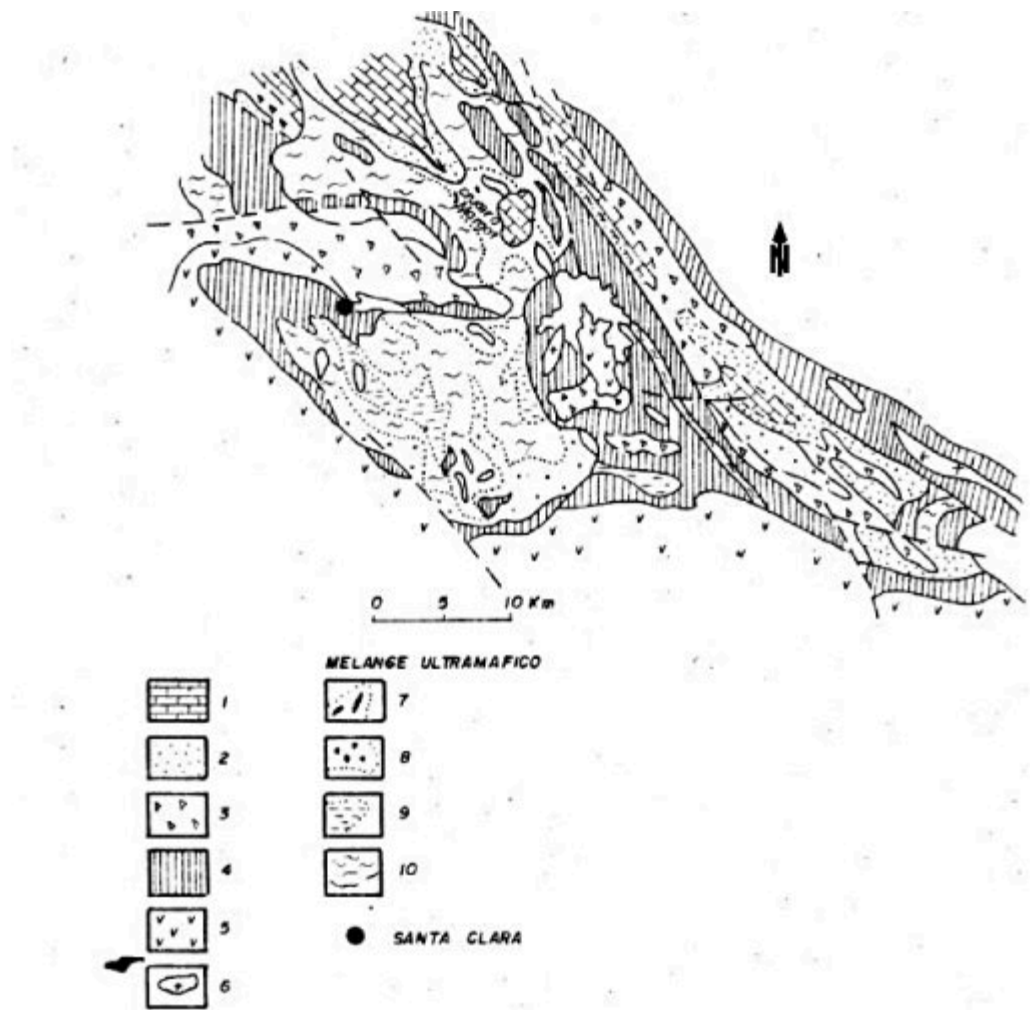


Fig. 1. Mapa geológico del melange serpentinitico y las ofiolitas de la Región de Santa Clara.
LEYENDA.
1, 2 - Depositos calcáreos y silíceos de aguas profundas del Tithoniano al Maestrichtiano de las Zonas Camajuaní y Placetas. 3- Flysch y Olistostromas del Maestrichtiano y Eoceno inferior-Medio. 4- Ofiolitas del Cretácico, Temprano. 5- Arco volcánico del Cretácico inferior-Superior. 6- Granitoides del Arco Volcánico Cretácico. 7- Eclogitas y diaforitas de eclogitas predominantes. 8- Glaucofanitas, jadeinitas, anfibolitas granatíferas. 9- Esquistos verdes anfíbolitas de bajo grado, metagabros, rodingitas etc. 10- Melange indiferenciado.

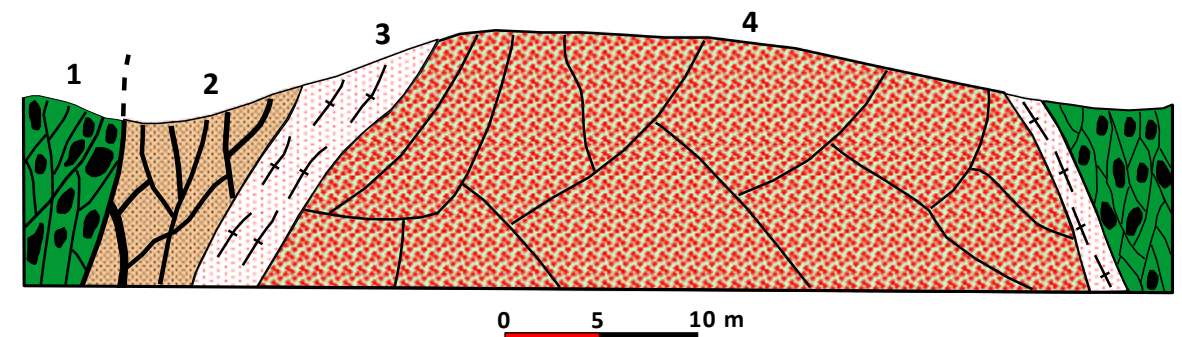


Figura.2. Eclogitas del Mélange Santa Clara, en la localidad del Crucero Margot. 1. Serpentinitas foliadas con bloques metamórficos. 2. Faja rodingítica. 3. Eclogitas granatíferas diaforicas. 4. Eclogita fracturada con venas de cuarzo de baja temperatura y epidota-clorita.

En el diagrama de Pearce y Cann (1973), Pearce y Norry (1979), (Fig. 3), las eclogitas del Crucero Margot se ubican netamente en el campo OFB, lo mismo que en el diagrama de Pearce *et al.* 1974 (Fig. 4), donde corresponden al campo de las rocas oceánicas. Es posible presumir que estas eclogitas propiamente no se derivan de algún

basamento críptico, sino que se han formado a partir de rocas de la propia corteza oceánica, como gabros o basaltos de alguna de sus secciones, media o superior. Sin embargo, ¿de cual corteza oceánica se derivaron estas rocas?

En el origen y significado de las eclogitas de esta región se puede profundizar. Considerando la naturaleza y características de las rocas metamórficas y no metamórficas que se le asocian especialmente y de las rocas que forman el ambiente de sustentación de las mismas, del mismo modo que ciertos rasgos de la tectónica principal del dominio ofiolítico. Las rocas metamórficas en las ofiolitas de Las Villas, por su composición y posición espacial, tienen ciertas características sobre las cuales no se enfatizado bastante en la literatura y con frecuencia se obvia este particular. Sin embargo; existen suficientes datos de campo y evidencias petrológicas que demuestran una cierta complejidad no mencionada aun en la geología de esta región.

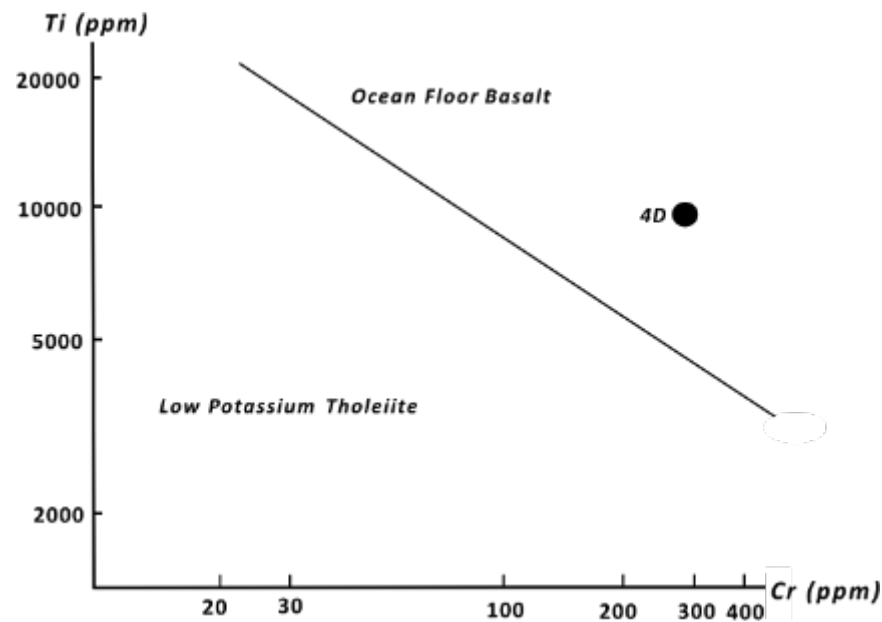


Figura.3. Eclogita del Crucero Margot, del Mélange Santa Clara en el diagrama de Pearce y Norry.

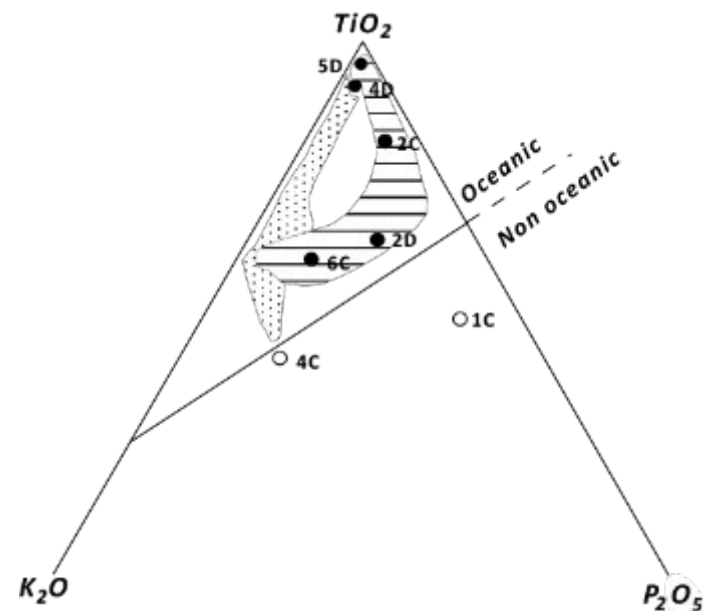


Figura. 4. Eclogitas y esquistos glaucofánicos en el diagrama $TiO_2-K_2O-P_2O_5$ (Pearce y Norris, 1974): 1C, 2C, 6C, Eclogitas del Escambray. 2D, 4C, Esquistos glaucofánicos del Escambray. 4D, Eclogitas del Crucero Margot (ofiolitas y mélanges del Norte de Las Villas). 5D, Eclogita de la Zona de Mateo (ofiolitas y mélanges del Norte de Cuba oriental). Campo con líneas horizontales las eclogitas de la Unidad Zermat-Saas del piedemonte de los Alpes occidentales (según Dal Piaz y Ernst, 1978). Campo con puntos las eclogitas de la región de Gibara, Norte de Cuba oriental (según Kubovics *et al.*, 1989).

En primer lugar, las rocas metamórficas que aparecen como inclusiones en una matriz tectónica de serpentinitas, difieren entre si de forma contrastante. Estas rocas forman grandes y a veces densas agrupaciones desde pequeños bloques hasta pequeñas cadenas colinosas en el macizo de la Sierra Alta de Agabama, que viene a ser el lugar casi exclusivo de su ocurrencia con tales dimensiones y abundancia. La cantidad de especies litológicas es numerosa y heterogénea. Las rocas más estrechamente asociadas a las eclogitas son las anfibolitas granatíferas de textura gruesa, con anfíbol glaucofanizado; las anfibolitas clinzoisito-albiticas con glaucofana y epidota y, propiamente, las glaucofanitas (hasta 60% de glaucofana) con albita, cuarzo, titanita y granate. Estas rocas habían sido consideradas por Stanik *et al.* 1981 como diafortitas, parecidas a las llamadas "rocas extrañas" del Escambray. Independiente de esa opinión, de hecho pueden observarse gradaciones entre algunas de esas anfibolitas y las eclogitas. La existencia de estas grandes masas al parecer derivadas de las eclogitas, sugieren las considerables dimensiones de los cuerpos eclogíticos primarios.

Muy cerca de las eclogitas y anfibolitas se destacan otras metamórficas significativas, como son las jadeíticas. Frecuentemente se trata de pequeños fragmentos en una matriz ofiolítica milonitizada, pero hay casos en que las rocas jadeíticas forman parte de enormes bloques hectométricos de gabros estratificados como cúmulos ultramáficos, con un perímetro metamorfozado en condiciones de alta presión, mostrando asociaciones de cuarzo – albita–jadeíta con variable presencia de epidota, mica blanca y esfena. A estas rocas además se relacionan una gran parte de los esquistos con asociaciones de alta presión (Millan y Somin, 1976), en su mayoría con protolitos vulcanogenos básicos, formados por glaucofana-pumpelleita; granate-lawsonita-anfíbol; glaucofana-tremolita-lawsonita; zoisito-actinolíticos; de prehnita-pumpelleita y otros. Próximas en el espacio geológico con las anteriores litologías yacen un conjunto de rocas con otras asociaciones; con predominio de material volcánico primario, compuestas por, albita–actinolita-clinzoisita-epidota; biotita-anfíbol; albita-stilpnomelana-tremolita; y otras muchas rocas metagabroídicas, con anfíbol–epidota–plagioclasa ácida; así como muchas rocas verdes y anfibolitas de bajo grado.

Dentro de estas asociaciones litológicas heterogéneas derivadas de rocas ígneas, llaman la atención unas metamórficas de protolito probablemente sedimentario y origen desconocido. Entre ellas se encuentran las cuarcitas glaucofano–moscovíticas (Piedra de Amolar) referidas por Vuagnat (1959); las cuarcitas micáceas (cuarzo 96%) y cuarcitas micáceas grafiticas, esquistos cuarcíferos micáceos, esquistos cuarcíferos-anfibólicos-granatíferos, esquistos stilpnomelánicos con moscovita y metapedernales (metachert).

Una parte de estas rocas metamórficas, sobre todo aquellas derivadas de ignitas básicas, transformadas en condiciones de alta presión, ya habían sido descritas por Millan y Somin (1976) como "Complejo Vulcanogeno – Sedimentario Pre-Eugeosinclinal", comparado con el cinturón de alta presión de la costa de California y considerada su generación en una típica región de desarrollo oceánico, probablemente una fosa o surco precretácico, cuyos productos sirvieron parcialmente de basamento al Arco Insular Volcánico del Cretácico. Por consiguiente, dentro de una matriz ofiolítica por completo tectonizada, yacen los fragmentos de varias unidades metamórficas íntimamente mezcladas, destacándose los representantes de un complejo metamórfico de alta presión; esquistos verdes; anfibolitas de bajo grado y rocas alteradas (dioritas, gabros piroxénicos, etc.) en condiciones de metamorfismo oceánico de baja presión.

El examen de los mapas geológicos más recientes (Vasilev *et al.* 1989) muestra consistentemente que los fragmentos metamórficos ocupan zonas definidas, a modo de bandas, con tendencia a agrupar ciertos tipos de inclusiones. Las principales y más importantes agrupaciones de esas rocas yacen en la parte sur de las ofiolitas; sobre todo en la Sierra Alta de Agabama, donde forman a manera de "clusters" en extremo plegados sobre si mismo. Las grandes corridas de ofiolitas situadas más al norte, al parecer solo contienen, fragmentos de diques, esquistos verdes, rodingitas gabros y diabasas, vulcanitas ofiolíticas e incluso de chert y calizas de las secuencias de tipo Camajuani y Placetas (Duclos y Vuagnat, 1962) o ningún fragmento. Cuando se observan metamorfitas de alta presión sostenidas por milonita serpentinitica ("Waxy serpentine", de Pardo, 1975) se trata de zonas muy lineales y estrechas que enmarcan los grandes cinturones de ofiolitas: muy pocas veces sesgando por su interior.

Pero, además de las rocas metamórficas sobre y dentro de este melange, existen otros complejos litológicos. El primero dentro de ellos está representado por los fragmentos de un complejo ofiolítico tectónicamente desmembrado, compuesto por grandes cuñas y bloques de cúmulos ultramáficos, cúmulos máficos, enjambres de diques diabásicos y diabasas (Zurrapandilla) y un complejo de basaltos espiliticos con sedimentos silicíticos pelágicos (Fm. Sagua La Chica). Estas rocas, sin duda genéticamente vinculadas por sus relaciones cortantes o

trascendentes, así como por sus rasgos petroquímicos; están atravesadas por rocas leucocráticas, propias del Arco Volcánico Cretácico (Millán y Somin, 1985b), las cuales también intersectan al melange. Las rocas de este complejo ofiolítico presentan rasgos de metamorfismo de baja presión (zeolitas, praxinitas, rodingitas, anfibolitas de bajo grado) y se les observa dentro del melange a veces formando cuñas kilométricas, prácticamente sin alteraciones junto con eclogitas, anfibolitas de alta presión, glaucofanitas y jadeititas.

Un ejemplo excelente entre muchos, puede observarse cerca de la cortina NW de la Presa Minerva, donde junto a un gran cuerpo de apoeclogita de rumbo WNW, yace un cuerpo de anortosita (en contacto directo) y varios cuerpos de basaltos espiliticos y vulcanitas de la Fm. Cabaiguán a distancia insignificante. A pesar de esto muchos autores (p. e. Vasilev *et al.* 1989) describen estos perfiles como un único complejo ofiolítico.

Sin embargo estos mismos autores resaltan en su informe una discrepancia notable e inexplicada de la correlación de los elementos geoquímicos fundamentales **Ni, Co, Cr, Ti, V** de las serpentinitas respecto a los valores propios de los gabros bandeados, supuestamente pertenecientes a un mismo complejo ofiolítico. Las relaciones Ni/Co = 15; Cr/Ti = 12; Cr/V = 123; características de las serpentinitas, integradas casi totalmente al melange, pueden compararse con la de los gabros: Ni/Co = 3.5; Cr/Ti = 0.1; Cr/V = 2; para comprender el extraordinario contraste de dichos valores. Los propios valores de los gabros, en sí, son coherentes con los valores de los enjambres de diques Zurrupandilla y el complejo superior de espilitas de la Fm. Sagua la Chica, la cual sirve de soporte a los basaltos de la Fm. Cabaiguán (Hatten *et al.* 1958) que ya pertenecen al Arco Volcánico Cretácico (AVC). Las secuencias de este último solo tienen relaciones estratigráficas con las ofiolitas de esta manera; pues ninguna formación de las vulcanitas eugeosinclinales yacen en la actualidad estratigraficamente sobre el melange.

Lo mismo ocurre en el borde sur del AVZ, donde entre esa unidad y el Macizo del Escambray, yace el Complejo Anfibolítico de Mabujina (CAM, **Fig. 5**), metamorfozado en condiciones de alta relación T/P (Somin y Millán, 1981). Este complejo indudablemente, forma la sección basal del AVC y la parte baja de su corte está integrada por los restos metamorfozados de un complejo ofiolítico que constituye su fundamento melanocrático (Millán y Somin, 1976; Haydoutov *et al.* 1989).

Sobre las anfibolitas metaofiolíticas yacen otras anfibolitas metavulcanogenas basálticas hasta andesíticas, gneis leucocráticos y otras rocas que se paralelizan bien con vulcanitas cretácicas. La edad del protolito de las últimas ha sido demostrada que no es más antigua que el Jurásico (Dublan *et al.* 1988; Bibikova *et al.* 1989). Ningún resto o afloramiento de melange ultramáfico con inclusiones de alta presión se ha encontrado dentro del Complejo Mabujina. Por esta razón podemos pensar que en algún lugar el melange ultramáfico y el basamento de la Zona Zaza transicionaban entre sí o tenían un contacto heredado de una etapa anterior de desarrollo. No obstante que estas relaciones indicadas están bien fundamentadas, Vasilev *et al.* 1988 consideran la existencia de una "serie ofiolítica única", comagmática con las vulcanitas toleíticas del Arco Insular Volcánico, producto del desarrollo homodrómico de una misma masa toleítica. Pero según Haydoutov (1986), existe otra discrepancia geoquímica y petrológica entre las vulcanitas basálticas y rocas calcoalcalinas del AVC y aquellas vulcanitas toleíticas propias de la asociación ofiolítica.

Esta discrepancia se destaca bien en las provincias centrales y orientales. En la región de Camagüey el magmatismo del arco, desde sus inicios, tuvo un carácter subalcalino-alcalino (Díaz de Villalvilla, 1988). En las provincias centrales las toleitas de la Fm. Los Pasos (Neocomiano?) según Díaz de Villalvilla (1989) duplican el contenido de ciertos microelementos respecto a los basaltos toleíticos de la Fm. Sagua La Chica el tope de las ofiolitas. Estos contrastes petroquímicos entre las toleitas del arco y las del complejo ofiolítico, enfatizados por la diferencia entre los depósitos que se les asocian, su posición estructural, así como las edades presumibles del complejo ofiolítico (160 Ma; K-Ar de una anortosita de Camagüey) y de las toleitas del arco (Cretácico temprano), implican según Haydoutov una diferencia mínima en el tiempo de formación de ambos complejos de 20 Ma.

El segundo complejo asociado al melange es la secuencia de Fms calcáreo-terrágeno-silícicas de aguas profundas de las llamadas Zonas Camajuaní-Placetas (Ducloz y Vuagnat, 1962) que, a veces, yacen en forma de enormes lozas empotradas en las serpentinitas portadoras de metamorfitas, sin que las masas calcáreas y de silicitas presenten efecto alguno de metamorfismo. Numerosas evidencias demuestran que estas placas sedimentarias han sido plegadas conjuntamente con las serpentinitas y también con los restantes miembros del complejo ofiolítico desarticulado. La convivencia entre estos sedimentos; metamorfitas de alta presión con matriz de serpentinita y ofiolitas y ofiolitas no metamorfozadas¹, tiene un ejemplo perfecto en la región de Loma Bonachea al NE de Santa

Clara, donde en un área de pocos kilómetros cuadrados puede observarse melange con eclogitas, calizas y silicitas, espilitas del techo ofiolítico e, inclusive, vulcanitas de la Fm. Cabaiguán, propias del AVC. Aquí puede argumentarse que, al menos una parte de las rocas de Camajuaní-Placetas fueron depositadas directamente sobre una corteza oceánica o sus restos, probablemente sobre el mismo melange ultramáfico. Tal idea o muy similar fue planteada primeramente por Knipper y Cabrera (1972) y Haydoutov (1986). Los primeros señalaron que el leptogeosinclinal estaba depositado sobre un fundamento siálico en su parte norte y uno simático en su parte sur. Las pruebas a favor son el enriquecimiento anómalo, en las Fms. de la Zona Placetas en elementos propios de las ofiolitas (Cr, Ni, Co), tal como se ha demostrado por el levantamiento geoquímico regional (Cheleviev en Vasilev *et al.*, 1989). Esta prueba se refuerza cuando se considera que esas mismas formaciones contienen un surtido de fragmentos, entre los cuales se cuentan serpentinitas, ilmenitas, olivino, cromita, anfíbol con almandino, biotita, rutilo, clinopiroxeno y hierro nativo. Muy similar surtido de fragmentos ocurre en las formaciones de la Zona Camajuaní las cuales contienen serpentinitas, agregados talco-sericíticos, glaucofana, espinelas cromíferas, zoisita, ortopiroxeno, clorita, fragmentos de esquistos granate-anfibólicos y otros esquistos cristalinos (Linares *et al.*, 1987, fide Vasilev *et al.*, 1989). ¿En cual fuente puede obtenerse esta colección específica de fragmentos?

Otra parte de estas secuencias (Camajuaní Placetas), en efecto, pudo depositarse simultáneamente sobre un basamento cristalino que podría identificarse con el Complejo Socorro (Renne *et al.*, 1989) de edad Grenvilliana, cortado por granitos pre-Tithonianos (Granitos Río Cañas).

De todo lo expuesto hasta ahora se derivan evidencias de que el llamado Complejo Ofiolítico de Cuba Central, probablemente no es una entidad única y genéticamente coherente. Es posible concebir que una parte del mismo, en realidad está constituido por los restos de una corteza oceánica tectonizada y convertida en un melange con asociaciones de alta presión litológicamente expresadas por eclogitas, esquistos azules, jadeititas, etc; generada en una zona de subducción o colisión que formó parte de un prisma de acreción. Este mismo prisma de acreción desempeñó el papel de basamento para la sedimentación en una cuenca de aguas profundas en una cierta dirección, y de pedestal a un arco insular ensimático en la dirección contraria. En este dominio y durante el Jurásico tardío o Cretácico temprano, se desarrolló una nueva corteza ofiolítica, correspondiente a una cuenca marginal interpuesta entre el arco insular volcánico y el margen continental (Somin y Millán, 1976; Iturralde Vinent, 1981). Buenas evidencias de los estadios iniciales de esta depresión fueron dados por Iturralde Vinent y Mari (1984) (Basaltos Camaján). La diferencia de edades entre la corteza oceánica metamorfozada y las ofiolitas del Jurásico-Cretácico Inferior, no se conoce. Los posteriores eventos geológicos fueron responsables de la creación de un melange poligenético, vinculado a procesos de colisión en un régimen transpresivo, de obducción y nueva acreción al continente. Procesos de este tipo en la creación de melanges poligenéticos han sido descritos por Saleeby (1982), así como algunas variedades del emplazamiento de dichas mezclas (Saleeby, 1977) (Valdiya, 1984), y procesos de repetida separación y unión de placas tectónicas en una compleja interacción han sido llamados "Accordion Movement in Plate Tectonics" por Huang Jiquing (1984).

3. Eclogitas y rocas asociadas del macizo Metamórfico Escambray.

Esta es la segunda localidad de rocas eclogíticas relativamente abundantes y algo mejor estudiadas en Cuba central. Datos previos sobre las eclogitas del Escambray se encuentran en Somin *et al.* 1975; Millán y Somin, 1981; Stanik *et al.* 1981; Millán y Somin 1985 y Dublan y Álvarez-Sánchez *et al.* 1986. Las ocurrencias principales de eclogitas se muestran en la Fig. 5.

Por su posición estructural y estratigráfica las eclogitas del Escambray pueden ser divididas en dos grupos. El primer grupo de eclogitas yace en el cinturón de melange que se extiende entre la Loma de Los Guapos (al norte de Jibacoa) y La Belleza, con rumbo NW-SE. El Melange Los Guapos (Álvarez-Sánchez, en Dublan y Álvarez-Sánchez *et al.* 1986) consiste de una mezcla tectónica compuesta por una matriz ultramáfica antigorítica densa que sustenta bloques de eclogitas y sus productos diafóricos, desde decímetros hasta hectométricos, acompañados por otras rocas metabasálticas, anfibolitas, zoisititas, clinopiroxenas, glaucofanitas, esquistos stilpnomelánicos, metasilicitas, jadeititas y otras. En una estrecha asociación con las eclogitas se destacan grandes lozas de los enigmáticos Esquistos Cristalinos Algarrobo (de Millán y Somin, 1981) de carácter polimineral. El cinturón de melange Los Guapos, en sí, puede interpretarse como una faja metamórfica de alta presión, interpuesta entre los nappes de tipo Monforte (Millán y Álvarez-Sánchez, en preparación) caracterizados por un metamorfismo de baja

¹ Metamorfozadas solo bajo condiciones oceánicas.

relación T/P y los restantes nappes del Escambray de presión correspondientes en su mayoría a la facies de esquistos verdes.

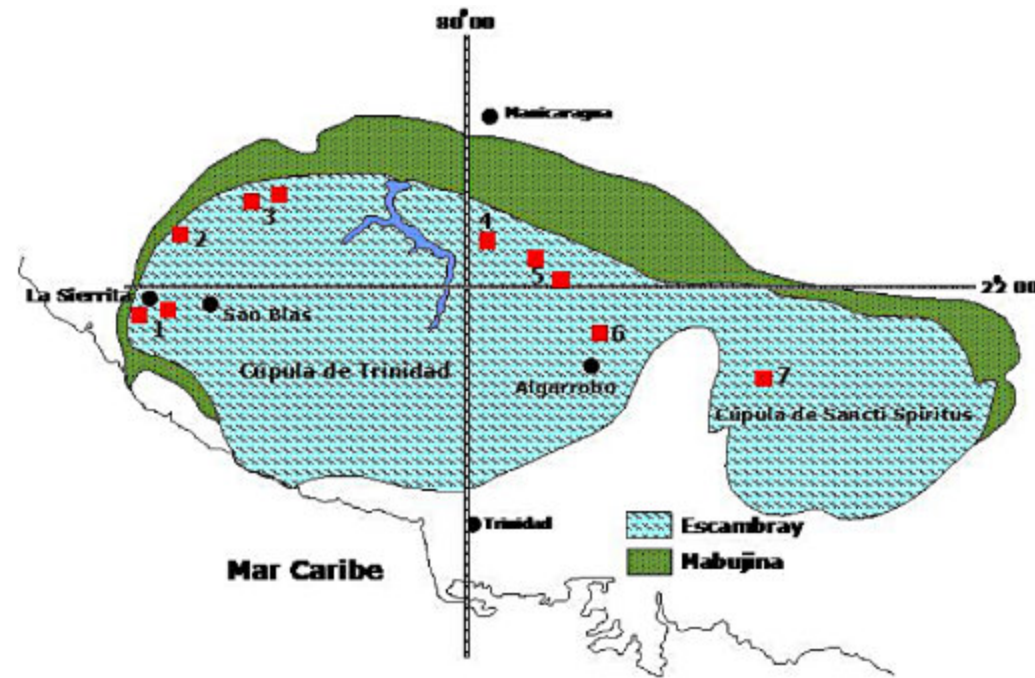


Figura.5. Localidades de eclogitas en el Macizo metamórfico Escambray. 1. La Sierrita. 2. Las Moscas. 3. San Narciso. 4. Pico Blanco. 5. La Belleza. 6. Algarrobo. 7. Caracusey. 1, 2, 3, 6,7 Eclogitas de loa nappes de Tipo Monforte. 4,5. Eclogitas en el melange Ultramáfico.

Las eclogitas yacentes en este melange se componen de una asociación de granate-rutilo-onfacita ± mica blanca ± lawsonita, con una asociación superpuesta de glaucofana- nefrita-clinozoisita-titanita ± cuarzo + carbonato. Dentro de los porfidoblastos de granate se encuentra el rutilo y nunca la titanita, destacando el carácter primario del rutilo. A menudo se observan en el cinturón de melange, todas las gradaciones de conversión de las eclogitas en otras rocas, demostrando una complicada historia de reequilibrio. Los más comunes productos diafóricos de la eclogita son unas glaucofanitas granatíferas transicionales a las eclogitas, integradas por grandes porfidoblastos de granate (almandino por microsonda), rodeados de bandas kelfíticas (clorita-cuarzo-epidota) en una matriz de glaucofana que a veces, es un tipo intermedio entre crossita y magnesioriebeckita (Dublan y Álvarez-Sánchez *et al.* 1986) con clinozoisita-epidota, clorita y albita regresivas.

Los granates de las eclogitas aparecen como fenoblastos, excepcionalmente se conoce una granatita de dimensiones entre 1 y 10 mm alcanzando hasta el 19% de la roca. El estudio detallado de laboratorio confirma la predominancia del componente almandínico (60-70%) con grossularia (24-28%) y pequeñas cantidades de piropo (7-12%) y espessartina (2-10%). De 9 muestras de granate sometidas a estudio roentgenoestructural se estableció su carácter fundamentalmente almandínico con un parámetro de su celda elemental de 11.53 Å. Cierta cantidad de granate rojo pálido resultó espessartina con un parámetro de su celda de 11.61 Å. Por su microdureza promedio de $H=1274 \pm 80 \text{ Kg/mm}^2$, se sitúan en el grupo de las pirlaspitas (Mainegra *et al.* 1990).

El estudio por microsonda confirma plenamente que estos granates pertenecen a los típicos de las eclogitas asociadas a los esquistos azules (Fig. 6). Tanto la composición de los núcleos de granate y de sus coronas, así como sus relaciones de yacencia las sitúan en el **Grupo C** (Coleman *et al.* 1985). La presencia de una asociación subordinada de zoisita, fengita ± paragonita; lawsonita dentro de cuarzo, además de la glaucofana, podría servir para ubicar estas rocas en el grupo de las eclogitas de baja temperatura de acuerdo con Newton (1986); comparables a las eclogitas de Breuil-St. Jacques de los Alpes occidentales (según Dal Piaz y Ernst, 1978), correspondientes a un rango PT entre 10-Kbars y 450-500 C°.

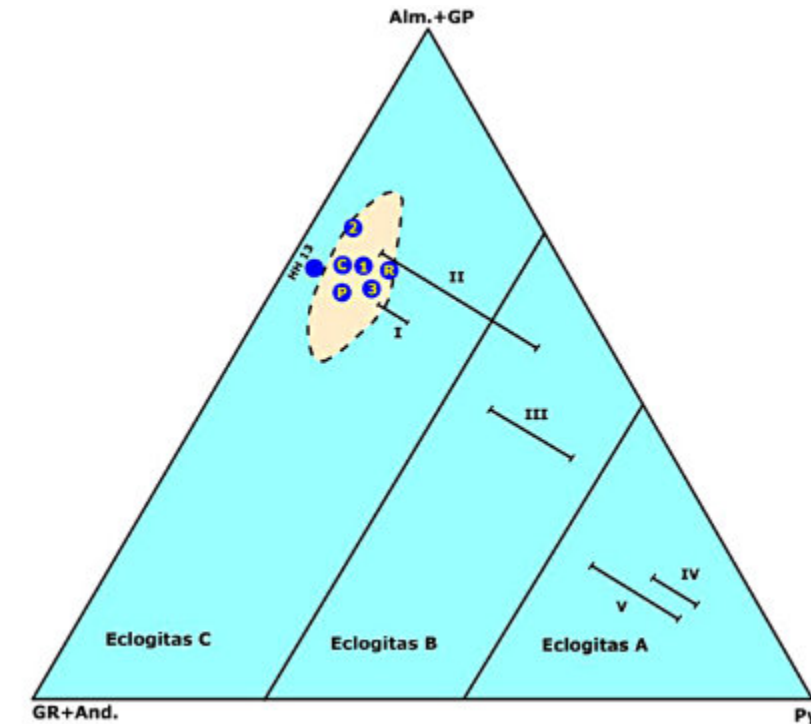


Figura.6. Composición de los granates de eclogitas y rocas verdes asociadas. El campo en líneas discontinuas pertenece a los granates de eclogitas en esquistos azules. I-Granates de anfibolitas. II-De las charnokitas y granulitas. III-Grupo B de eclogitas. IV-Dunitas y peridotitos. V-Eclogitas asociadas a kimberlitas (según Ghent y Coleman, 1973). 1. Promedio de 11 muestras de eclogitas de La Belleza (Escambray). 2. Granates con menor contenido de grossularia. 3. Granates con menor contenido de almandino + spessartita. HH-13. Granates de esquistos verdes asociados a eclogitas. C. Promedio del centro de tres granos de la eclogita Gr-2. R. Promedio de la corona de la misma muestra (MacDonald, 1977). P. Eclogita promedio de California (según Coleman *et al.* 1965).

En contraste con el anterior, el segundo grupo de eclogitas se observa en condiciones definidas de control estratigráfico; (Millán y Somin, 1981, 1985). Recientemente Millán y Álvarez-Sánchez (en preparación) estudiaron muy buenos ejemplos de estas eclogitas en la porción occidental de la Cúpula de Trinidad. Allí las eclogitas yacen en forma de cuerpos interestratificados, dentro de una secuencia de esquistos calcíferos, mármoles gráficos y esquistos metaterrígenos de edad Jurasico (Fms. Loma La Gloria y Cobrito, sensu Millán y Somin, 1985 ab) (Fig.7); integradas al Nappe Monforte, que corona la pila de nappes en esa región.

Las eclogitas, frescas y relativamente menos tectonizadas que sus homónimas del melange Los Guapos muestran una asociación de clinopiroxeno, granate, zoisita y rutilo. En algunos casos se destacan asociaciones que carecen de algunos minerales, con la formación de rocas zoisito-clinopiroxénicas, zoisito-granatíferas e incluso eclogitas no zoisíticas. Sobreimpuesta a la anterior asociación se observa la diafóresis de alta presión, donde, el clinopiroxeno y la zoisita se transformaron, parcial o completamente, en glaucofana o anfíbol verde azulado, asociado con mica blanca, un granate más tardío (como coronas alrededor del granate temprano) que en ocasiones contiene inclusiones de clinozoisita y esfena, así como anfíbol azul pálido, con evidencias del crecimiento sintectónico de este granate. Albita y epidota pueden observarse en vetillas y la albita a veces en forma de corona alrededor del granate. Posteriormente tuvo lugar una diafóresis aun más tardía, propia de la facies de los esquistos verdes sin indicios de alta presión. Tal complicada historia metamórfica de reequilibrio se refleja también en los esquistos apoterrígenos caracterizados por una asociación progresiva de alta presión cuarzo- granate-zoisita-rutilo; con una sobreimpresión de clinozoisita-esfena-albita-clorita ± carbonato.

A poca distancia de los cuerpos eclogíticos, en idéntica posición estratigráfica, dentro del mismo Nappe Monforte yacen rocas protolíticas de las eclogitas. Se trata de los metagabros compuestos por anfíbol verde azulado, zoisita, granate, rutilo y clinozoisita, en los cuales frecuentemente se preservan grandes relictos de plagioclasa magmática maclada. La unidad infrayacente al Nappe Monforte (Nappe La Sierrita), así como los restantes todavía más inferiores no presentan indicios de un metamorfismo previo de alta presión; aun ni en grado menor que la sección

meridional del Nappe Monforte donde se conservan los metagabros con relictos magmáticos (Millán y Álvarez Sánchez, en preparación).

Las eclogitas anteriores corresponden muy bien con las estudiadas por MacDonald (1977) en la localidad llamada por él "Garnet Ridge", al NW de Mina Carlota. En este lugar MacDonald describe una gradación entre anfibolitas piroxénicas y las eclogitas, donde el contacto de las eclogitas con esquistos carbonáticos granatíferos es supuesto como termal relíctico. De acuerdo con el estudio realizado por microsonda de los granates y clinopiroxenos de esta localidad, las eclogitas son referidas por este autor al Tipo C en la clasificación de Coleman *et al.* 1965. Al igual que en la región de La Sierrita y de manera más estrecha, como señala MacDonald, este es un notable ejemplo de una eclogita directamente relacionada con su protolito.

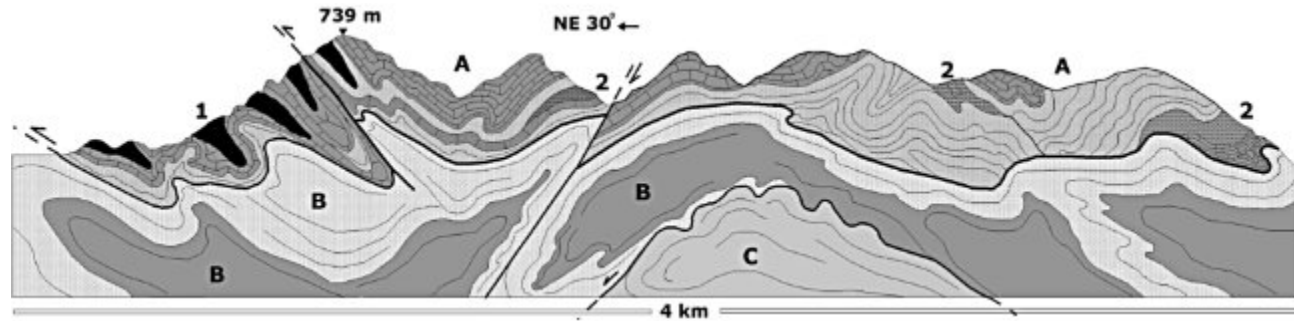


Figura.7. Nappe Monforte (cortes jurásicos con metamorfismo de alta presión). B. Nappe La Sierrita (secciones calcáreas y metaflysch siliciclástico). C. Nappe El Naranjal (secciones calcáreas y metavulcanógenas del Cretácico Inferior). Los nappes La Sierrita y El Naranjal corresponden a la facies de esquistos verdes, al parecer sin asociaciones de alta presión. 1-Eclogitas y apoeclogitas y otros esquistos de alta presión y sus productos regresivos. 2-Metagabros con relictos magmáticos (SW de la Cúpula de Trinidad).

Como plantean Millán y Somin (1985b), las eclogitas del Escambray se diferencian de otras metamorfitas de ese macizo por una historia petrológica más complicada. Sin embargo, al menos en el caso de las eclogitas del Nappe Monforte, un origen ajeno al dominio del Escambray puede descartarse. En las **Figs. 4, 8, 9**; puede seguirse la conducta uniforme de estas eclogitas y de su protolito. Como un elemento sugerente puede advertirse la buena concordancia petrológica entre estas eclogitas y la anfibolita Yayabo típica (**5C, Fig.9**), las diaforitas de la Fm. Loma Gloria y una metabasita de la Fm. Arroyo Cangre (Piotrowski, 1976) (**5B, Figs.9, 10**). Todas estas rocas, netamente situadas en la sección estratigráfica inferior expresan eventos magmáticos tempranos comunes en las regiones del Escambray y Guaniguanico de Cuba Occidental.

Tomando en cuenta estos datos, así como los elementos precedentes, podemos considerar corroborada la edad estratigráfica, supuesta por Millan y Somin, (1985) previamente, para uno de los tipos de eclogitas del Escambray. La conversión de una parte de estos protolitos magmáticos básicos, con afinidades oceánicas bien manifiestas, en eclogita, está vinculada con la sumersión de grandes secciones del Macizo del Escambray en un ambiente propio para la creación de estos productos metamórficos.

Más complicado resulta el análisis de las eclogitas del melange. Su yacencia en esta formación caótica de matriz ultramáfica implica considerar su autoctonía o aloctonía respecto a la propia, sección estratigráfica del Escambray. Importancia crítica para concluir sobre esto la tiene la relación entre las ultramafitas internas del Escambray, frecuentemente asociadas con metabasitas (metagabros y metadiabasas) y las eclogitas. Las repetidas observaciones demuestran que estas metabasitas se transforman en zoisitas, eclogitas y glaucofanitas cuando las secciones estratigráficas huéspedes yacen en el nivel de los nappes de tipo Monforte. Tales rocas, con la misma correlación entre ultramafitas y metabasitas, incluso con términos transicionales entre ellos (cúmulos máficos relícticos y antigoritita de la Formación La Sabina, según Álvarez Sánchez y Millán, 1985) se observan como esquistos verdes con lawsonita y veces con granate, en la zona mas interna y estructuralmente inferior.

¿Pertenece las ultramafitas del Escambray a un complejo ofiolítico autóctono de las secuencias con afinidad de margen continental de este macizo?. Hoy no se puede contestar a esta pregunta unívocamente. Sin embargo, el

análisis de los datos petroquímicos (**Figs.4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13**) de macroelementos, aunque de forma preliminar, conduce a ciertas conclusiones: Las serpentinitas del Escambray así como casi todas las metabasitas, se asocian a los campos de rocas oceánicas en prácticamente todas las variantes de procesamiento. Estas mismas rocas se diferencian suficientemente de las ofiolitas norteñas, por un más alto contenido de álcalis, más bajo contenido de hierro y el contenido muy elevado de titanio, que alcanza el doble que en las metabasitas del Complejo Anfibolítico y contrastan con las vulcanitas del Arco Insular, pobres en titanio.

El contenido elevado de este elemento alcanza notables valores en los esquistos verdes ricos en titanio derivados de los traquibasaltos de la Fm. Yaguanabo. Al observar las metabasitas asociadas a las serpentinitas con las metavulcanitas de la Fm. Yaguanabo se destaca el carácter netamente alcalino-subalcalino del magmatismo del Escambray, con una tendencia ascendente hacia el sodio: Al observar la conducta de las eclogitas en el contexto anterior, se evidencia una coherencia con las particularidades petrológicas mencionadas para el magmatismo del Escambray. En el diagrama JDG (Smulikowski, 1972) las apoeclogitas se ubican satisfactoriamente en el campo de las gricuaitas que, corresponden químicamente con las picritas (Stanik *et al.* 1981). Por eso y por las asociaciones de campo que demuestran la estrecha relación espacial y transiciones litológicas de las eclogitas con metabasitas anfibolitas y glaucofanitas en el melange ultramáfico; podemos sostener como una buena hipótesis de trabajo que, tanto las eclogitas como la matriz ultramáfica que las hospeda se refieren a un mismo complejo ofiolítico autóctono del Escambray y dichas eclogitas se derivan de las mafitas de ese complejo y no se trata de ciertas metamorfitas de alta presión anteriores a la generación del Macizo Escambray.

Tal complejo ultramáfico y su posterior despliegue magmático pudo originarse en una cuenca o mar marginal, dentro del dominio paleoestructural del Escambray (Stanik y Manour, 1981; Dublán y Álvarez Sánchez *et al.* 1985; Millán y Somin, 1985). Esta consideración concuerda bien con las edades absolutas publicadas por Hatten *et al.* 1989, de dos muestras de eclogita tomadas dentro de serpentinitas en el Escambray. Las edades U-Pb son respectivamente de 105 y 102 Ma; mientras que la datación $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de la horblenda de esas rocas registró 85 Ma. La concordancia se expresa en cuanto la edad más probable de apertura de esta cuenca marginal, cuyas manifestaciones magmáticas precursoras pueden fecharse desde el Jurásico (metabasitas de la Fm. Loma Gloria); mientras que la entrada del Escambray en un sistema de subducción-colisión sería más tardía (parte media del Cretácico o incluso parte baja del Cretácico Superior). Una parte de los productos magmáticos de dicha cuenca marginal yacen ahora destruidos, formando parte de un melange el cual ocupa las fronteras entre los nappes principales, caracterizados por una construcción determinada y específica de su corte estratigráfico e intensidad y condiciones de su metamorfismo.

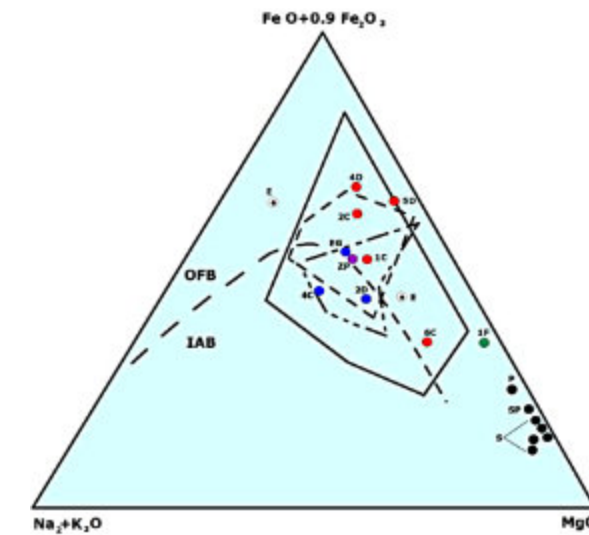


Figura.8. Eclogitas y esquistos glaucofánicos en el diagrama $\text{FeO} + 0.9 \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Na}_2 + \text{K}_2\text{O} - \text{MgO}$ (Miyashiro, 1974). EG-Esquito glaucofánico promedio y P-Peridotita promedio (según Ernst *et al.* 1970). ●-Serpentinitas y ⊙-Esquistos glaucofano-granatíferos del Escambray (Dublan y Álvarez Sánchez *et al.* 1981). Con línea continua el campo de las metamorfitas máficas de la región de Franciscan y con líneas interrumpidas de la región de Sambagawa (según Ernst *et al.* 1970). Con línea interrumpida punteada el campo de las eclogitas de la región Gibara-Holguín (según Kuvovics *et al.* 1989). IF-Gricuaita promedio de Smulikowski (en Padera, 1972). La muestra ZP es el promedio de 6 diabasas de Arroyo Blanco del complejo ofiolítico de Las Villas. La muestra SP es el promedio de 4 serpentinitas de la misma localidad.

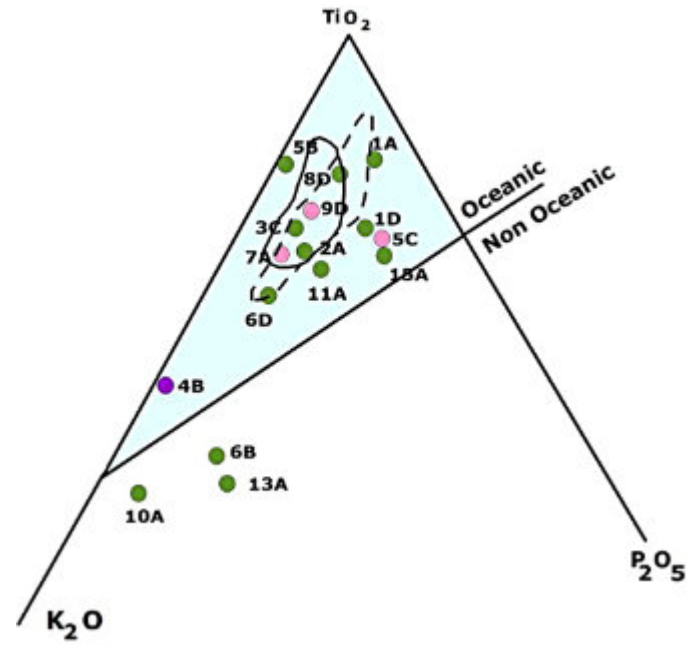


Figura.9. Fig. 9. Metabasitas del Escambray en el diagrama: TiO_2 - K_2O - P_2O_5 (Pearce *et. al.* 1974). 1A Esquisto verde (K_1). 2ª y 3A- Esquistos verdes (Fm. Loma La Gloria). 5B Metabasita (Fm. Arroyo Cangre; P. de Rio (según Cruz *et. al.*, 1987). 3C- Metagabro Nappe Monforte. 1D- Metabasalto de la Fm. Yaguanabo. 6D- Metabasita (Melange Los Guapos). 8D-Metagabro. 9D-Anfibolita granatífera. 5C- Anfibolita Yayabo; 4B-Promedio de 5 análisis de diabasas de la Fm. Sábalo de la Sierra del Rosario, P. del Río (según Cruz *et. al.*, 1987) Con línea continua: metabasitas de la Unidad Zermatt-Saas de los Alpes Occidentales (Dal Piaz y Ernst, 1978). Con línea discontinua las prasinitas de la Unidad Combin de la misma localidad anterior.

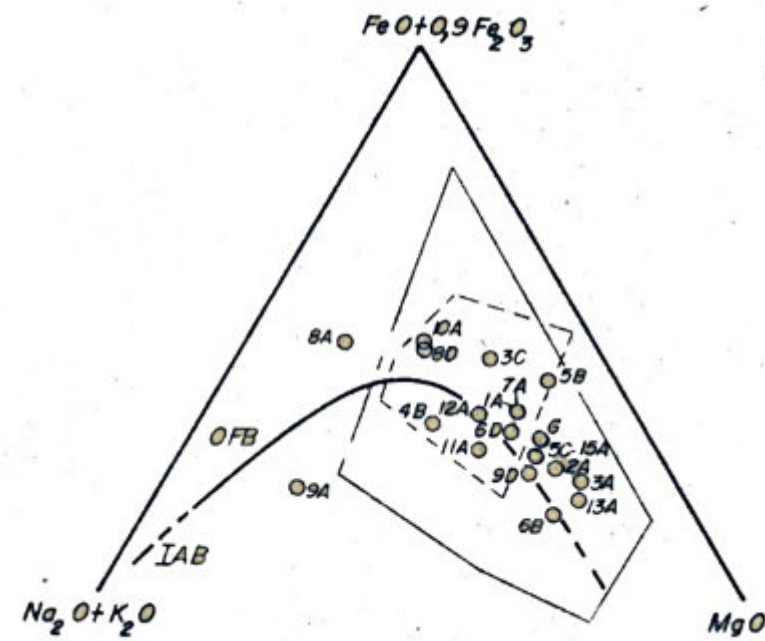


Figura.10. metabasitas del Escambray en el diagrama AFM. La muestra G es el gabro promedio (según Ernst *et al.* 1970).

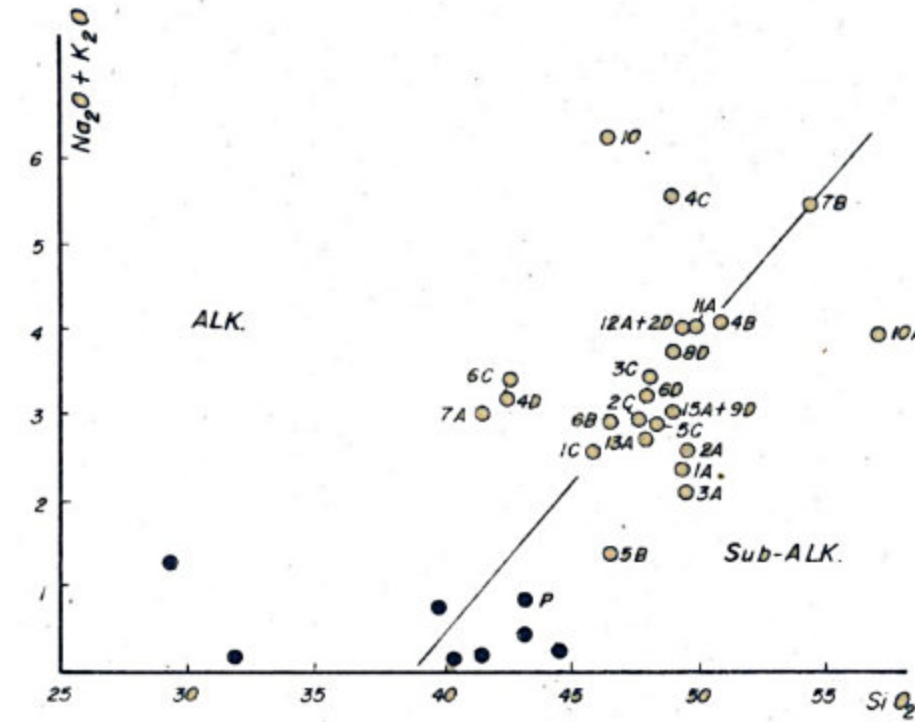


Figura.11. Metabasitas, esquistos glaucofánicos y eclogitas en el diagrama $Na_2O + K_2O$ V SiO_2 (MacDonald y Katsura, 1964). ● Serpentinatas aoperidotíticas del Escambray. P-Peridotita promedio (según Ernst *et al.* 1970).

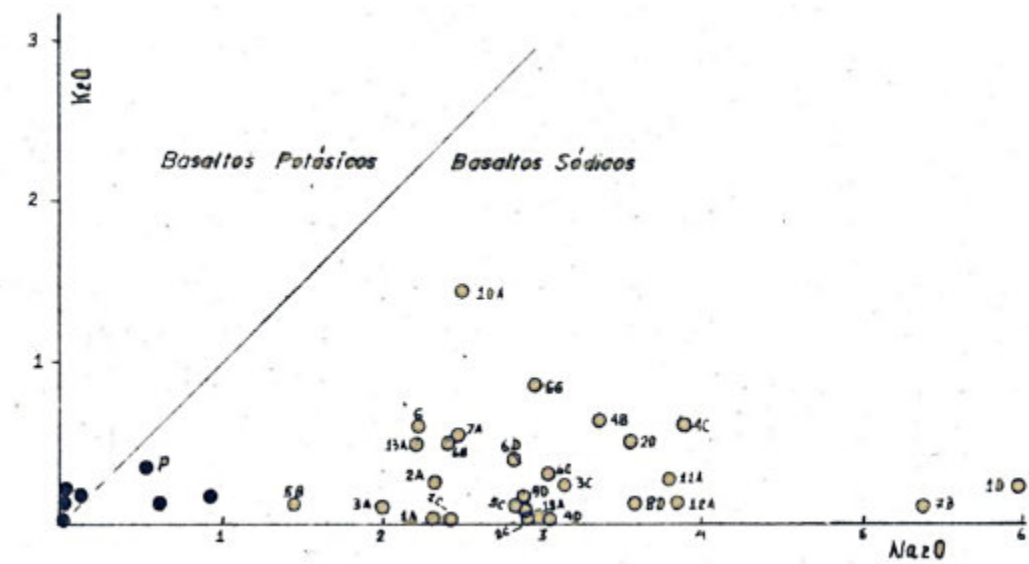


Figura.12. Eclogitas, metabasitas y esquistos glaucofánicos en el diagrama K_2O v. Na_2O .

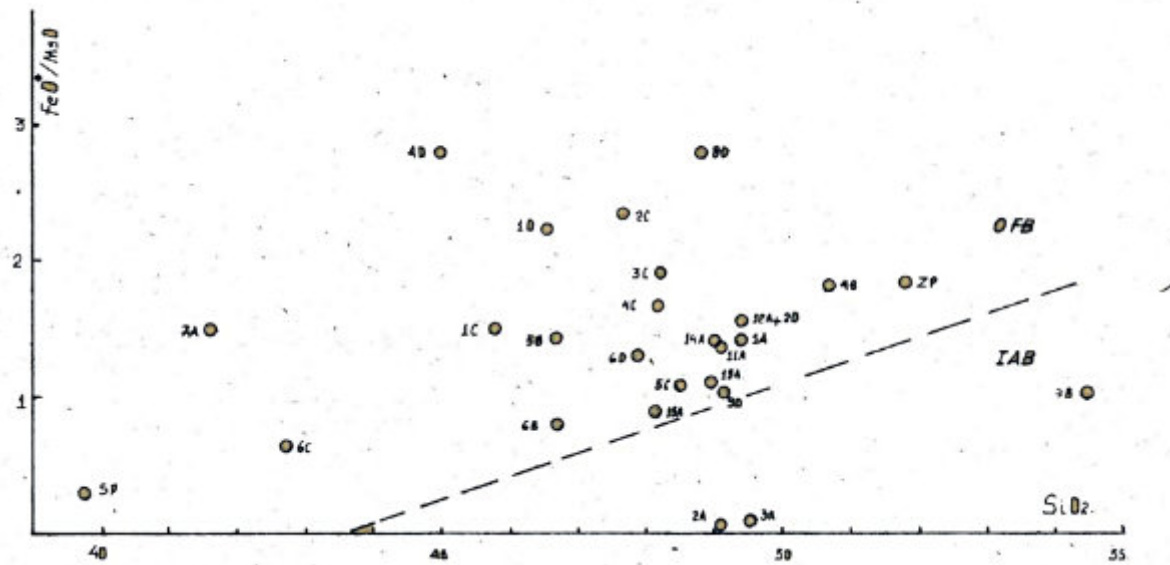


Figura 13. Metabasitas, esquistos glaucofánicos y eclogitas en el diagrama FeO/MgO v. SiO₂ (Irvine y Baragar).

Tabla 1. Localización de muestras. (Anexo añadido).

Muestra	Roca	Referencia	Clave y localidad	Observaciones
1A	Esquisto verde	Dublan y Álvarez, et. al., 1986	Cúpula Trinidad; Crucecitas	Fm. La Sabina (K ₁)
2A	Esquisto verde diaforizado	Stanik, et. al., 1981	Cúpula Trinidad (M.1208121)	Fm. Loma la Gloria (J ₁ -J ₃)
3A	Esquisto verde	Dublan y Álvarez, et. al., 1986	Cúpula Trinidad (M.1205125)	Fm. Loma la Gloria (J ₁ -J ₃)
7A	Anfibolita	Stanik, et. al., 1981	Cúpula Sancti Spiritus (M.4425061)	FM. Loma la Gloria (J ₁ -J ₃)
10A	Anfibolita	Stanik, et. al., 1981	Cúpula Trinidad (Pozo 1; prof. 71.50 m)	Fm. Yaguanabo (K ₁)
11A	Anfibolita	Stanik, et. al., 1981	(Pozo 4; prof. 157 m)	Fm. Yaguanabo (K ₁)
12 A	Anfibolita	Stanik, et. al., 1981	Pozo 4; prof. 144 m)	Fm. Yaguanabo (K ₁)
13 A	Anfibolita	Stanik, et. al., 1981	Pozo 4; prof. 127 m)	Fm. Yaguanabo (K ₁)
15 A	Esquisto verde	Stanik, et. al., 1981	Cúpula Sancti Spiritus (M.410312)	Fm. Loma la Gloria (J ₁ -J ₃)
4B	Diabasa	Cruz, et. al., 1987.	Sierra del Rosario. Pinar del Río	Fm. El Sábalo (promedio de 5 análisis)
5B	Metabasita	Cruz, et. al., 1987.	Sierra de Los Órganos. Pinar del Río	Fm. Arroyo Cangre
6B	Piroxenita	Stanik, et. al., 1981	Cúpula Sancti Spiritus (4107052)	
7B	Anfibolita granatífera	Stanik, et. al., 1981	Cúpula Sancti Spiritus (410302.3)	
1C	Eclogita	Stanik, et. al., 1981	Cúpula Sancti Spiritus (M 411206.1)	
2 C	Eclogita	Álvarez y Millán, 1992.	Cúpula de Trinidad. La Sierrita.	Fm. Loma La Gloria
3 C	Metagabro	Álvarez y Millán, 1992.	Cúpula de Trinidad. La Sierrita.	Protolito de 2C
4 C	Esquisto glaucofánico	Stanik et. al., 1981	Cúpula Sancti Spiritus (M 411309)	

5 C	Anfibolita	Stanik et. al., 1981	Cúpula Sancti Spiritus (M 4117042)	Fm. Yayabo (J ₁ ÷)
6 C	Apoeclogita	Stanik et. al., 1981	Cúpula Sancti Spiritus (M 410602)	
1D	Metabasalto	Stanik et. al., 1981	Cúpula Trinidad. (M 210711)	Fm. Yaguanabo (K ₁) (bomba)
2 D	Esquisto glaucofánico	Dublan y Álvarez, et. al., 1986	Cúpula Trinidad.	Melange Los Guapos
4 D	Eclogita	Álvarez, en Vasilev, et. al., 1989	Crucero Margot. Santa Clara.	Melange Santa Clara. (Cuba Norte)
5 D	Eclogita	Andó, J., 1989	Holguín. Zona de Mateo. Cuba Oriental.	Melange de Cuba Oriental.
6 D	Metabasita	Dublan y Álvarez, et. al., 1986	Cúpula Trinidad. (M 122124)	
8 D	Metagabro	Dublan y Álvarez, et. al., 1986	Cúpula de Trinidad. (M 129145)	
9 D	Anfibolita granatífera	Stanik et. al., 1981	Cúpula Sancti Spiritus (M 4115074)	
1F	griquaita	Padera, 1972	Bohemia. República Checa.	Promedio de Smulikowski
ZP.	diabasas	Stanik et. al., 1981	Arroyo Blanco. Provincia de Sancti Spiritus.	Promedio de 6 muestras
SP.	serpentinitas	Stanik et. al., 1981	Arroyo Blanco y Florencia Provincia de Sancti Spiritus.	Promedio de 4 muestras



Esquistos glaucofánicos del Escambray (según Dublan y Álvarez, et. al., 1986)



Serpentinitas apoperidotíticas del Escambray (según Dublan y Álvarez, et. al., 1986)

Eg, Py, G: Esquistos glaucofánicos, peridotito y gabros promedio (según Ernst et. al., 1970)

4. Modelos geotectónicos.

En la **Figura 14** está representada la posición y las relaciones entre el Macizo Metamórfico Escambray (MME), el Complejo Anfibolítico Mabujina (CAM) y la parte sur aflorada del Arco Insular Volcánico de Zaza (AVZ). La sección está construida sobre la base de observación superficial (cartografía), algunos perfiles sísmicos y perforaciones, datos gravimétricos y la especulación geológica; lo mismo que la **Figura 15** que muestra el segmento norte del perfil de Cuba central.

Por supuesto, la construcción de la complicada estructura del MME es altamente especulativa y además está muy simplificada. A pesar de ello se pueden comentar varios rasgos fundamentales: Entre ellos la colocación de los nappes de rocas metamorizadas en condiciones HP-LT (tipo Monforte), en una posición superior que coincide con la Zona Metamórfica 3 (Millán y Somin, 1985a), Estas unidades cabalgan sobre otros nappes de grado metamórfico menor (en gran medida coincidentes con la Zona Metamórfica 2 de los mismos autores) indicando sobrecorrimientos postmetamórficos (según Millán y Somin, 1985a).

Sin embargo, paradójicamente, sobre los nappes de este tipo al norte de las Cúpulas de Trinidad y Sancti Spiritus se encuentran cabalgando algunas escamas (Unidad Tectónica No. 6, de Millán y Somin 1985a) compuestas por formaciones terrígeno-calcareas de la parte inferior del corte (J₂-J₃) con un grado metamórfico menor y según parece, sin asociaciones de alta presión: separadas de su yacente por una faja de melange ultramáfico con rocas eclogíticas, jadeíticas y glaucofánicas. Al menos un dato parece

mostrar que este caso podría ser general para la parte norte del MEE. Se trata del Pozo Seibabo 3 (Dublan Álvarez Sánchez *et. al.* 1985: véase también Millán y Somin, 1985b), el cual cortó sucesivamente rocas del AVZ, del CAM y debajo, las metamorfitas mencionadas. Considerando la construcción geológica planteada en la **Figura 14** donde se refleja un sistema de desplazamientos de nappes diferenciados de sobrecorrimientos e infracobijaduras más o menos simultáneos, a partir de la influencia de una zona estrecha, muy activa, se puede concebir un mecanismo para explicar esta paradoja, parecido por sus efectos, aunque diferente en sus factores desencadenantes; al de las diverticulaciones, propuesto por Lugeon en 1943 (fide Badoux, 1967). De todas formas, en la profundidad, se supone la presencia de otras unidades de alta presión que deben asociarse estrechamente a la "zona activa" que se coloca, ahora, al Norte del Escambray, alterada y enmascarada por eventos superpuestos.

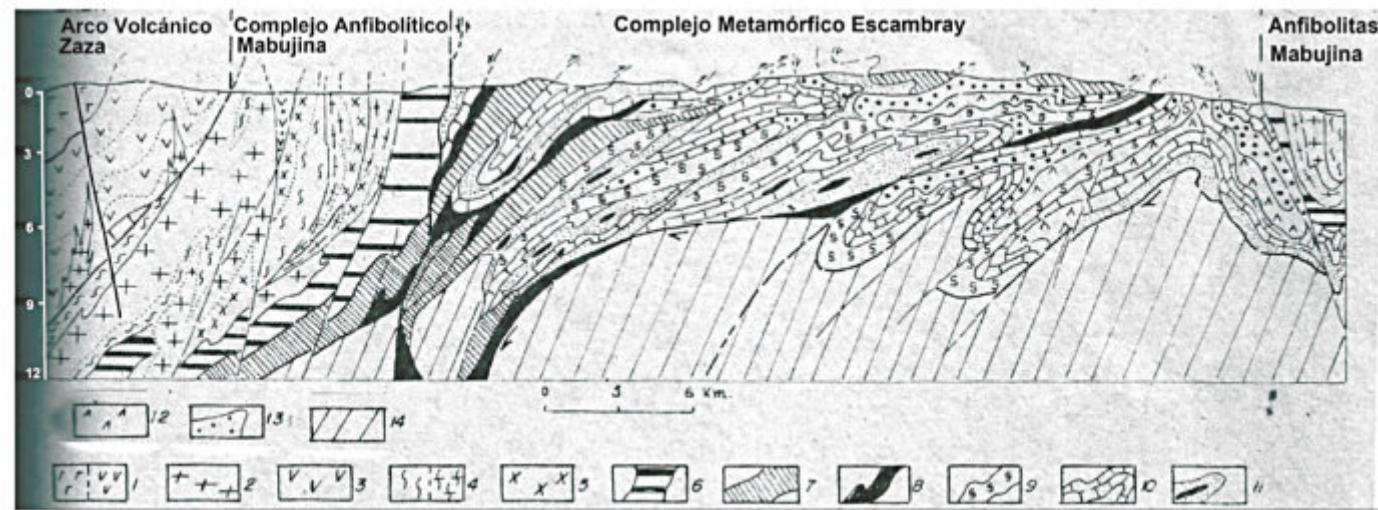


Figura 14. Sección Esquemática a través de los Macizos metamórficos de Cuba Sur Central en el contacto con la Zona Zaza (Arco Insular Volcánico del Cretácico) Leyenda: 1. Vulcanitas del Cretácico inferior (a. calcoalcalinas, b. toleíticas) 2. Granitoides y cuarzodioritas de la serie colcoalcalina normal. 3. Metabasaltos hasta metaandesitas metamorizadas en lo facies de esquistos verdes. 4a. Anfibolitas metavulcanógenas, metaaglomeráticas, metatufogénicas y metaporfíricas de composición basalto-andesítica (metavulcanitas de Zaza) 4 b. Anfibolitas máficas de grano fino, microgneises, metasilicitas, 5. Plagiogranitos bimicáceos foliados, metacuarzodioritas Granatíferas, Gneises biotíticos. 6 Piroxenitas horblendicas, norblanditas, Peridotitas, metagabros Piroxenicos. 7. Nappes y escamas con metamorfismo de alta presión (HP LT), 8. Melange de matriz ultramáfica con bloques de metamorfitas de alta presión (incluyendo eclogitas y jadeitas). 9. Antigoritas tectonizadas con bloques de metagabros y metadiabasas, mármoles y metasilicitas, 10. Mármoles de Formaciones Jurasicas y Cretácico Inferior con cuerpos de metabasitas, 11. Complejo de Formaciones metaterrígenas y metaferrieno-calcareas con ocasionales cuerpos metabásicos del J₂, J₃. 12. Metavulcanitas alcalinas (Metabasaltos Yaguanabo del Cretácico Inferior), 13. Complejos de Flysch silíceos y silíceo-calcareo-terriégenos del K1 al K2, 14. Basamento siálico del Escambray.

Otro aspecto a considerar es la forma de emplazamiento del melange ultramáfico, a favor de zonas estrechas de movimiento diferencial entre mantos, de forma similar a las protrusiones. Esto explicaría la presencia de enormes bloques de zoisititas atrapados en el contacto entre nappes con metamorfismo discrepante por sus asociaciones de presión normal, con estas metamorfitas de alta presión, descritas recientemente en esa posición en la región de La Sierrita al sur de la Cúpula de Trinidad (Millán y Álvarez Sánchez. En preparación).

Por último se presenta esquemáticamente la composición estratigráfica limitada de las unidades septentrionales, (**Figura 15**) las cuales tienden a contener solo las secciones inferiores del corte (jurásicas), mientras que las sureñas cuentan además con desarrolladas secciones vulcanógenas y de los flysch silíceos-calcareos, ignitas máficas y metaterrígenos grauvacosos y calcáreos del Cretácico Inferior y Superior. Si esta situación se mantiene en la sección vertical profunda de los nappes del Escambray, indudablemente tendrá ese significado paleogeográfico específico y en este trabajo se acepta así a título hipotético.

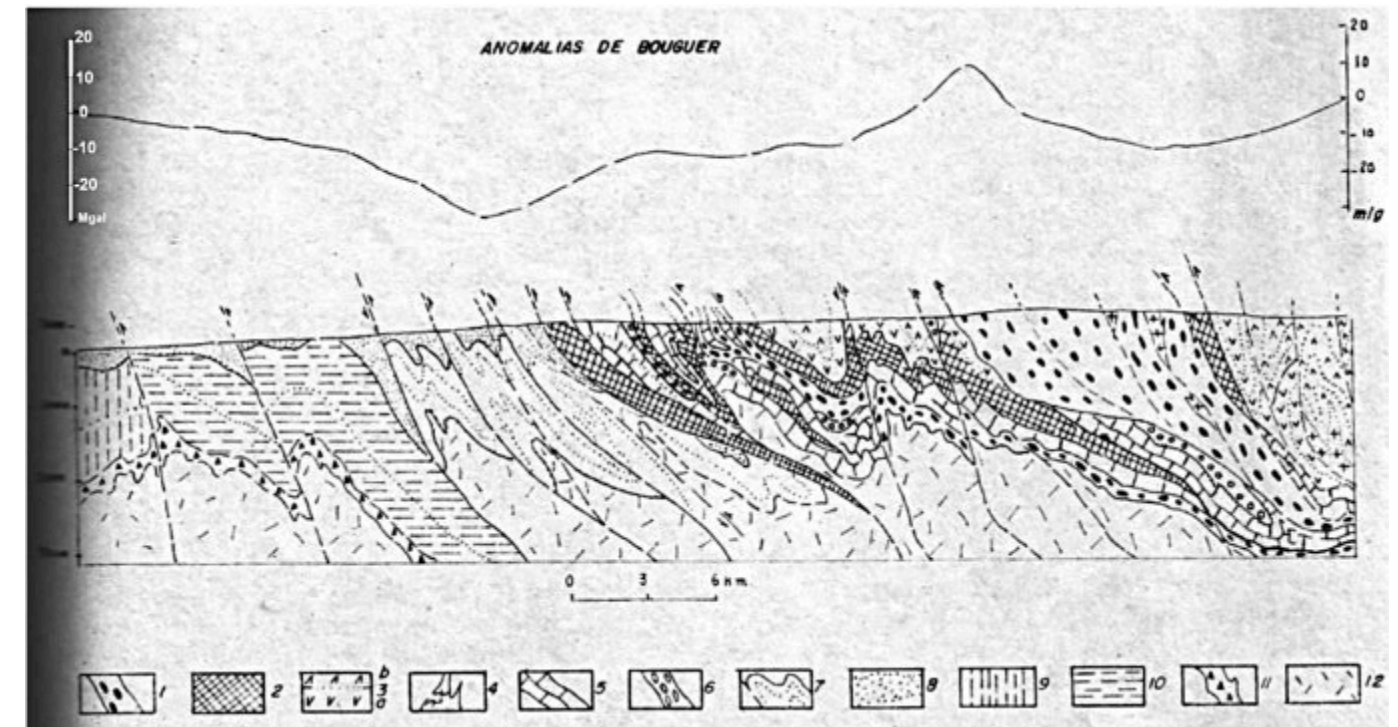


Figura 15. Sección a través del Complejo Ofiolítico y melange ultramáfico al norte de Cuba Central en el contacto con la Plataforma de Bahamas (N) y la Zona Zaza (S). Leyenda: 1. Melange ultramáfico con metamorfitas de alta presión; 2. Complejo ofiolítico del Cretácico Inferior. 3. Arco Insular Volcánico de Zaza (a. Fm. Cabaiguan, b. Fms. Provincial y Brujas). 4. Granitoides cretácicos, 5. Zona de Placetas (Complejo calcáreo silíceo de aguas profundas) 6. Olistostromas del Paleoceno-Eoceno Inferior, 7. Zona de Camajuani (complejo calcáreo-silíceo, brechas, de aguas progresivamente profundizadas). 8. Flysch y brechas del Maastrichtiano-Paleoceno-Eoceno Inferior. 9. Zona de Cayo Coco. 10. Zona de Remedios, 11. Evaporitas. 12. Basamento (Campo Gravitacional según Soloviet *et al.* 1964, con algunas correcciones según Vasilev *et al.* 1989).

El CAM yace sobre el MME, como se muestra en la Figura 14; aspecto conocido desde mucho antes (Millán y Somin 1976; Somin y Millán, 1981; y Dublan y Álvarez Sánchez *et. al.* 1985). Recientemente Haydoutov *et. al.* 1989, argumentaron la composición ofiolítica de una parte considerable de su corte. Otra sección superior del mismo, a todas luces, parece derivarse de secciones bajas del propio Arco Volcánico, tales como las "anfibolitas bandeadas", con un grado atenuado de recrystalización, en las cuales fue encontrada una microflora de edad jurásica a cretácica temprana (Dublan *et. al.*, 1989). Si esto último es cierto, cabe poner en duda que la Fm. Los Pasos (vulcanitas ácidas del Hauteriviano) sea la Fm. debutante del magmatismo del AVZ.

En la Figura 14, se muestra el borde meridional de Zaza actualmente aflorado, expresado justamente por la Fm. Los Pasos. Hay que decir que tal límite es convencional. Primero, por que tanto las anfibolitas como las vulcanitas, así como las granodioritas del K₂ yacen al sur del Escambray también. Segundo, porque tales complejos los suprayacen como se indicó. Sin embargo, conviene poner de manifiesto que la sección estratigráfica del AVZ conservada, así como las tendencias petroquímicas que se expresan de Sur a Norte, fundamentan esa dirección como la primaria en la evolución de la pila volcánica (Dublan y Álvarez Sánchez *et. al.*, 1985; Diaz de Villalvilla, 1988).

Para explicar la evolución del segmento sureño del perfil de Cuba Central, proponemos el modelo muy esquematizado de la **Figura 16**. El mismo recoge varias ideas interesantes formuladas por Mattson (1979), Millán y Somin (1981b), Stanik *et. al.* 1981, Iturralde Vinent (1981) y Puscharowski *et. al.* 1989. El modelo sobre todo explica satisfactoriamente, a nuestro juicio, el mecanismo de superposición de los nappes más metamórficos sobre los menos metamórficos, el emplazamiento del melange ultramáfico, con metamorfitas HP-LT en zonas de movimiento diferencial y el desarrollo de los dos tipos de eclogitas hasta ahora conocidos en esta región. También puede explicar la coexistencia de una cuenca marginal de larga duración, compatible con la subducción y la diferenciación facial que se destaca en las unidades de nappes principales del Escambray. Una parte de esos

nappes, con metamorfismo de alta presión y sección estratigráfica limitada, probablemente se originaron a partir de su temprana inserción en la zona de subducción y su consiguiente sustracción de la esfera de la sedimentación, la cual continuaba normalmente en el resto del dominio (Álvarez Sánchez, 1989).

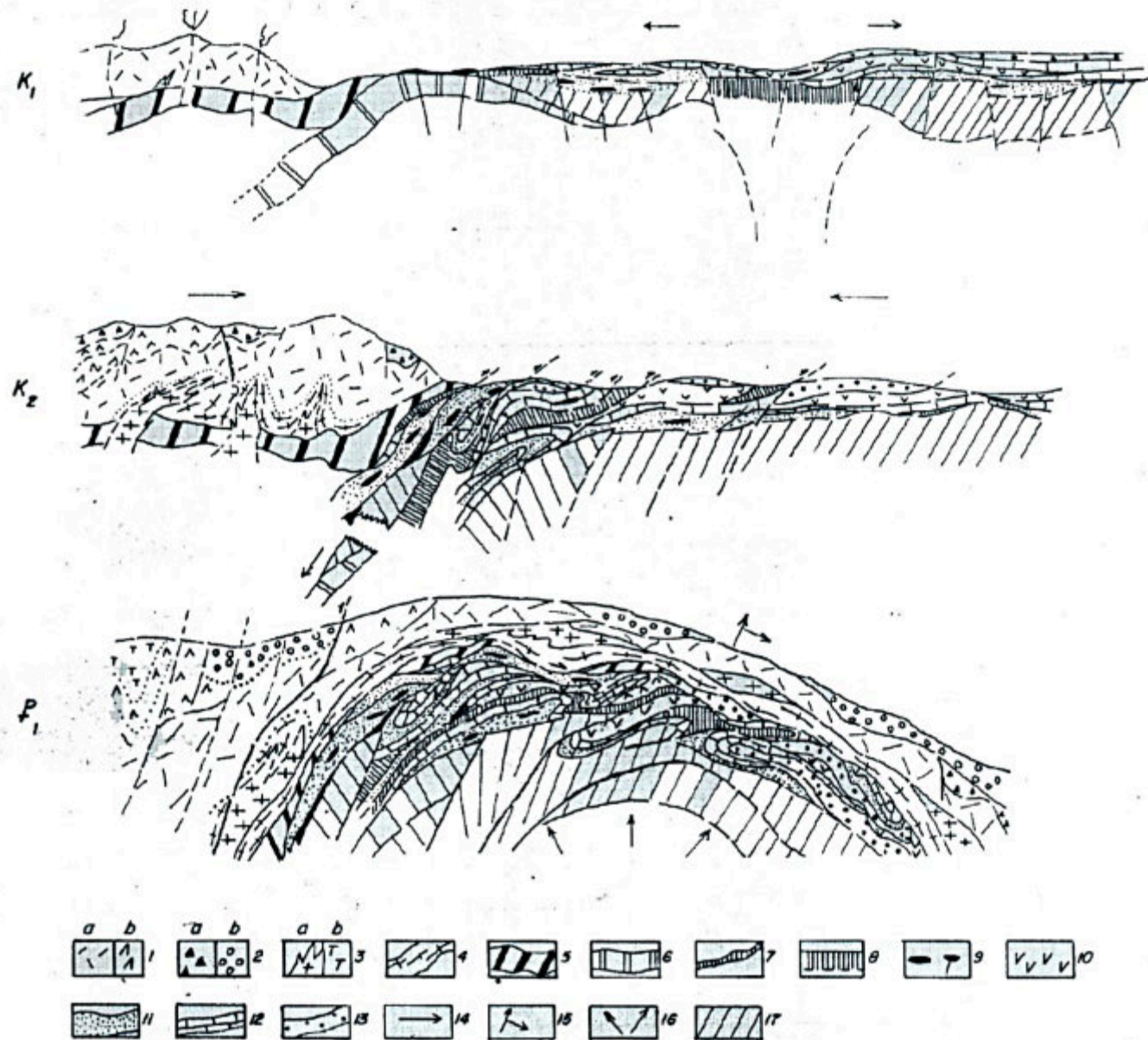


Figura.16. Modelo de formación de los mantos tectónicos y del proceso de metamorfismo en el Macizo del Escambray. **Leyenda:** /a. Vulcanitas toleíticas, b. vulcanitas calcoalcalinas (a, b. AVC); 2a. Flysch tefrítico, b. Sedimentos del Cretácico tardío, 3 a. Granitoides de la serie calcoalcalina; b. formaciones vulcanógeno- sedimentarias del AVC. 4. Anfibolitas Mabujina; 5. Fundamento melanocrático del AVC. 6. Corteza oceánica. 7. Basaltos protolíticos de la Fm. Yayabo; 8. Ofiolitas; 10. Basaltos alcalinos Yaguanabo; Complejo Terrígeno-calcáreo del Jurásico 12. Complejos calcareos del Ju y K. 13. Complejos silicíticos y flysch del K, K₂; 14. Distensión-compresión. 15. Tendencia del deslizamiento gravitacional; 16. Esfuerzos Radiales; 17. Basamento siálico.

De este modo, se puede concebir que los nappes de alta presión pertenecieron a la etapa de subducción (precampaniana) mientras que los restantes se desarrollaron en el régimen de colisión (etapa campaniana): cuando la interacción entre el AVZ y el Escambray se tornó sumamente compleja y adoptó el carácter de una obducción del primero sobre el MMB; induciendo una intrincada estructura de nappes sin y postmetamórficas. De manera que, la historia geológica del Escambray se sintetiza en la subducción durante un periodo y el

metamorfismo de una parte de sus secuencias. La apertura de una cuenca marginal, que alcanzó su apogeo en el Cretácico Inferior. La oclusión de la cuenca y la colisión con el Arco Volcánico, con el metamorfismo del resto de sus unidades, y la obducción del Arco. La relativa simplicidad de esta secuencia de acontecimientos, seguramente, es una especie de esquema simplificado de la realidad y debe considerarse más que como una aproximación a ella.

El segmento Norte del perfil de Cuba Central se muestra en la **Fig. 15**. Esta región tiene una serie de peculiaridades especiales y sobre ella abundan los estudios y comentarios, (Wassall y Pardo, 1952); Pardo, 1953 y 1975; Hatten et. al., 1958; Duclos y Vuagnat, 1962; Knipper y Cabrera, 1974 Iturralde Vinent, 1981; Pszczolkowski, 1983). A partir de la Zona de Remedios, hacia el Sur, las secciones estratigráficas son de aguas progresivamente profundas hasta alcanzar, en la Zona de Placetas (Fm. Sta Teresa del Albiano) el nivel oceánico (Duclos y Vuagnat, 1962). En este trabajo hemos presentado argumentos para fundamentar que, una parte de estos complejos calcáreos-silicíticos, fueron depositados sobre un basamento heterogéneo; siálico hacia el Norte, simático hacia el Sur. Las relaciones entre las Formaciones de la Zona de Placetas (Constancia, Veloz, Carmita, Sta Teresa, Amaro) con el basamento siálico de tipo Socorro, fueron mostradas recientemente por Pszczolkowski, 1983) y Renne et. al. (1989). Un estudio más detallado sobre la edad de este basamento (Complejo Socorro) se encuentra en Renne et. (op.cit.). Las relaciones de esta misma secuencia formacional con las ofiolitas y el melange ultramáfico se destaca mejor en la región entre Santa Clara y Meneses, donde la Zona Placetas está desmembrada en enormes cuñas (Placetas, Cifuentes y Jarahueca, según Knipper y Cabrera, 1974) incluidas completamente en las ofiolitas. Puede postularse que una parte de esas ofiolitas existían en forma de un melange, desde antes del debut sedimentario de Placetas. Suposiciones de índole similar fueron expresadas, aunque no explícitamente argumentadas, por Millán y Somin (1976). Iturralde Vinent (1981), señala la probabilidad de que "las ofiolitas (o una parte de ellas) ya estuvieran formadas en el Tithoniano, pues la vulcanitas del Tithoniano? al Campaniano se depositaron probablemente en discordancia sobre el basamento ofiolítico" (sic). Este mismo autor argumentó convincentemente los detalles de los estadios iniciales de la apertura de la depresión oceánica, donde se gestó el complejo ofiolítico del Jurásico tardío o Cretácico temprano, que ahora observamos como entidades no metamorfizadas o solo en condiciones de metamorfismo oceánico, rotas y desmembradas dentro de un melange con bloques metamórficos de alta presión, típicos de una zona de subducción (Millán y Somin, 1976). Las evidencias muestran claramente un estadio de deformación de esos tres complejos (melange; ofiolitas y Camajuani Placetas) (Vasilev et. al., 1989).

Otro rasgo importante de la estructura de esta región (y de toda Cuba) es el desarrollo de una tectónica transcurrente en las fronteras entre las unidades principales, y aun dentro de ellas (Pardo, 1953; Rigassi- Studer, 1961; Duclos y Vuagnat, 1962). Sin subestimar la importancia de estos movimientos, se puede sostener que: 1ro, tienen una mayor relevancia en las unidades más septentrionales y próximas al margen continental norteamericano (Bahamas); 2do, tienen una expresión más clara y convincente en el tramo entre las Fallas de Cochinos y La Trocha (**Figura 18**). En este segmento de la estructura cubana se destaca el más extenso y notablemente recto de los campos gravitacionales negativos de la Isla (ver también Soloviet et. al. 1964). Recientemente, Duclos (1989) destacó nuevamente la tectónica transcurrente en el norte de Cuba Central, enfatizando su destacado papel en las deformaciones tectónicas de esa región.

Tomando en consideración lo apuntado anteriormente, así como los argumentos presentados al principio, sobre las relaciones entre el melange ultramáfico, las ofiolitas cretácicas, los complejos de Camajuani y Placetas y las vulcanitas del AVZ; es posible elaborar un modelo que integre los principales detalles mencionados y que se esquematiza en la **Figura 17**. En esta construcción hipotética, se representa un mecanismo de emplazamiento de las ofiolitas. En el estadio temprano, el corte estructural está compuesto por tres elementos principales: la corteza septentrional (Bahamas); la corteza intermedia o Basamento Socorro (Renne et. al., 1989); y la corteza meridional heterogénea de tipo "collage", constituida por un melange y una corteza simática no tectonizada. Este último segmento se podría identificar, en parte, con el borde norcaribeño de una placa oceánica de proveniencia pacífica. El segmento medio puede considerarse que corresponde con uno de los bloques que supone Renne et. al. (1989) resultaron de la fragmentación del microcontinente "Caribbeana" y su consiguiente desplazamiento hacia el oriente en estrecha conexión con los eventos de separación de Pangea e introducción de la Placa Caribe entre las dos Américas.

En principio, esta explicación concuerda con la necesidad de justificar la discordancia de los eventos tectonotermiales a ambos lados de la Sutura Caribe-Bahamas. Es coherente con la proveniencia de material detrítico desde el Complejo Socorro hacia la Fm. Constancia (tithoniana), primera unidad de la Zona Placetas, y de las relaciones conocidas entre la Fm. Veloz (Tithoniano Barremiano) y el Complejo Socorro (Pszczolkowski, 1983; Renne et. al. 1989) que se complementan con las evidencias presentadas sobre la posible sedimentación de ambas unidades sobre el basamento simático hacia el sur. Por supuesto, todo se coordina con las relaciones transicionales que se pueden argumentar entre la Zona de Remedios y las Zonas de Camajuani y Placetas; incluso Zaza, como plantea Iturralde Vinent (1981).

En el segundo estadio se registra la apertura de la "depresión oceánica". Es interesante que la edad probable de su pleno desarrollo coincida, en sentido general, con la edad postulada en este trabajo para la culminación de una cuenca marginal en Sur-Escambray (Cretácico Inferior). En todo caso puede considerarse que la apertura de la depresión oceánica en la región Nortes8proto cubana fue coetánea con la subducción del frente de avance en el Escambray y que ambos estuvieron conectados como eventos parciales de un mismo proceso general.

Si la Zona Zaza, como parece, se encuentran relacionadas con esa zona de subducción, con su frente volcánico hacia el sur, la depresión norteña postulada por Iturralde (1981), parece bastante similar, cuando no identifica a una cuenca de tipo back-Arc por varios de sus rasgos característicos como pueden serlo sus mecanismo de formación, la naturaleza de su magmatismo (Hawkins, 19777, la influencia de la tectónica transcurrente y en gran medida su perfil sedimentario (Klein, 1985).

En el tercer estudio se ha representado la situación durante la cual produce la transformación de un estado distensivo-transcurrente, a un régimen de movimiento transpresivo. Esta etapa transpresiva, en nuestra opinión, se relaciona con el régimen de colisión establecido al sur, entre el MME el AVZ (Figura 16) a finales del Campaniano. La continuidad del proceso de colisión desplaza y comprime al arco volcánico hacia el norte entre cuyas líneas de compresión se encuentra la depresión Back-Arc. El desarrollo de este proceso refleja el paso definitivo a las condiciones de una completa obducción de ese complejo en dirección al norte, como se esquematiza en la Figura 17.

El melange ultramáfico infrayacente, en estas condiciones, fue removilizado y comprimido hacia la superficie, englobando indistintamente a las ofiolitas cretácicas y a los complejos de Camajuani y Placetas. La protrusión del melange ultramáfico con metamorfitas de alta presión no ascendió mediante una vía preferente, sino varias vías de ascenso representadas por superficies principales, donde puede presumirse que se operaban simultáneamente extensos movimientos transcurrentes. Por esa causa hoy podemos observar que grandes cuñas tectónicas de Camajuani y Placetas, suprayacidas por olistostromas de edad Maastrichtiano-Eoceno Inferior; de ofiolitas cretácicas que incluyen vulcanitas máficas de su sección superior, e incluso de vulcanitas cretácicas del Arco Insular; se encuentran enmarcadas por estrechas fajas de melange ultramáfico con metamorfitas de alta presión, que generalmente no superan 100 m de potencia. Tales hechos, constatados mediante detalladas observaciones de campo, dan la razón a muchos autores que en el pasado y recientemente argumentaron sobre el papel fundamental desempeñado por la combinación de la tectónica transcurrente y la compresión simultánea (transpresión) en la conformación de las estructuras de esta región (Rigassi-Studer, 1961; Duclos y Vuagnat 1962: Iturralde Vinent. 1981: Duclos, 1989).

La etapa final de estos movimientos, desarrollados en el transcurso de la llamada "Orogénia cubana del Eoceno Inferior a Medio", intensamente deformaron este prisma en su totalidad, comprimiéndolo fuertemente contra el margen continental norteamericano y soldándolo definitivamente a el (acresión).

El desplazamiento en dirección al norte ha sido evaluado de modo más o menos uniforme en varios perfiles transversales a Cuba. Pszczolkowski (1983) considera un desplazamiento de 50-70 km al norte, de la Unidad La Sierra (de la Zona Placetas), al este de la Provincia de Matanzas. Pardo (1975) considera desplazamientos de hasta 100 km al norte para algunas unidades de Cuba Central. Iturralde Vinent (1981) cita los resultados del Pozo Morón Norte, que cortó vulcanitas cretácicas sobre las evaporitas y carbonatos de la Zona Remedios. La Zona de Bahía Honda en Pinar del Río (Oeste de Cuba), compuesta por un gigantesco manto tectónico de ofiolitas y vulcanitas, está cabalgada hacia el norte, muy lejos de sus raíces, por encima de la Zona Guaniguanico (en parte equivalente de Camajuani, Placetas y Remedios) (Hatten. 1957; Pardo, 1975; Mossakovskiy y de Albear, 1979; Álvarez Sánchez, 1989). El desplazamiento mínimo no es menor de 60 km y probablemente alcanza más de 80 km.

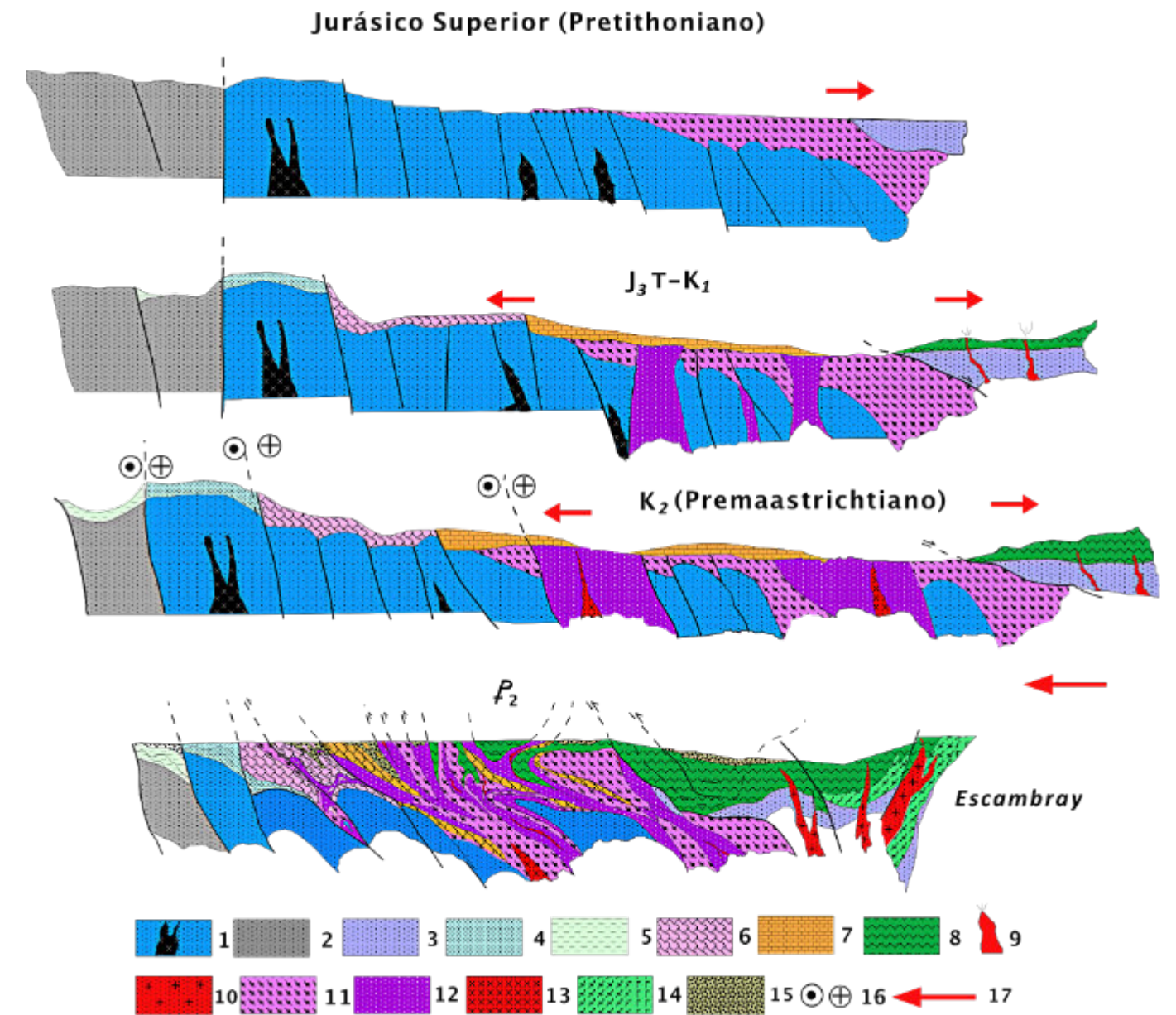


Figura.17. Variante de la evolución tectónica del segmento septentrional de Cuba central que representa la interacción de tres tipos de zócalos primitivos para la construcción de las columnas rocosas respectivas: 1-Basamento grenviliano Socorro cortado por granitos jurásicos. 2-Basamento Bahamas. 3-Zócalo máfico del arco volcánico-cretácico. 4,5-Evaporitas y calcáreos pertenecientes al fundamento Bahamas. 6-Zona Camajuani. 7-Zona Placetas. 8-Arco volcánico del Tithoniano-Cretácico. 9-Vulcanismo ácido Los Pasos. 10-Plutones de granodioritas. 11- Mélange preexistente. 12-Complejo ofiolítico de Cuba central. 13-Plagiogranitos ofiolíticos. 14-Complejo Anfibolítico Mabujina. 15-Flysch y olistostromas. 16-Fallas con desplazamiento lateral. 17-Esfuerzos tectónicos de tensión-compresión.

En este contexto geológico evolutivo de tan impresionante complejidad, es natural que surja la cuestión de si es posible extraer alguna conclusión válida sobre las hipótesis y modelos geotectónicos en cuanto a su capacidad de explicar los hechos. Iturralde Vinent (1981) consideró que, como resultado de los procesos relacionados, el arco de circunferencia perpendicular a la Isla de Cuba aumentó decenas y hasta un centenar de kilómetros. Sin embargo, al tomar en consideración todas las etapas de distensión compresión, apertura de depresiones y oclusión de las mismas, procesos constructivos y destructivos, estrechamiento del espacio rocoso y desplazamientos laterales combinados, probablemente se llegue a la conclusión de que el incremento total del espacio geométrico es muy próximo a cero y que solamente ha cambiado la naturaleza geológica de dicho espacio. Los autores, en la actualidad, no observan discrepancias sustanciales entre la evolución geológica cubana y los modelos típicos de la

NTG. No obstante, hay cierta analogía entre el concepto de una tierra pulsante y la idea presentada por Huang Jiquing (1984), para denominar los complejos procesos de acoplamiento y desacoplamiento entre las placas o porciones de las mismas (Accordion Movement in Plate Tectonics).

En nuestro concepto, la historia geológica de Cuba será más clara cuando se sumen al análisis las informaciones detalladas de las estructuras internas de Cuba, que por desgracia todavía son muy incompletas y cuando dichas informaciones se integren a los modelos conceptuales que se aplican actualmente a toda el área del Caribe.

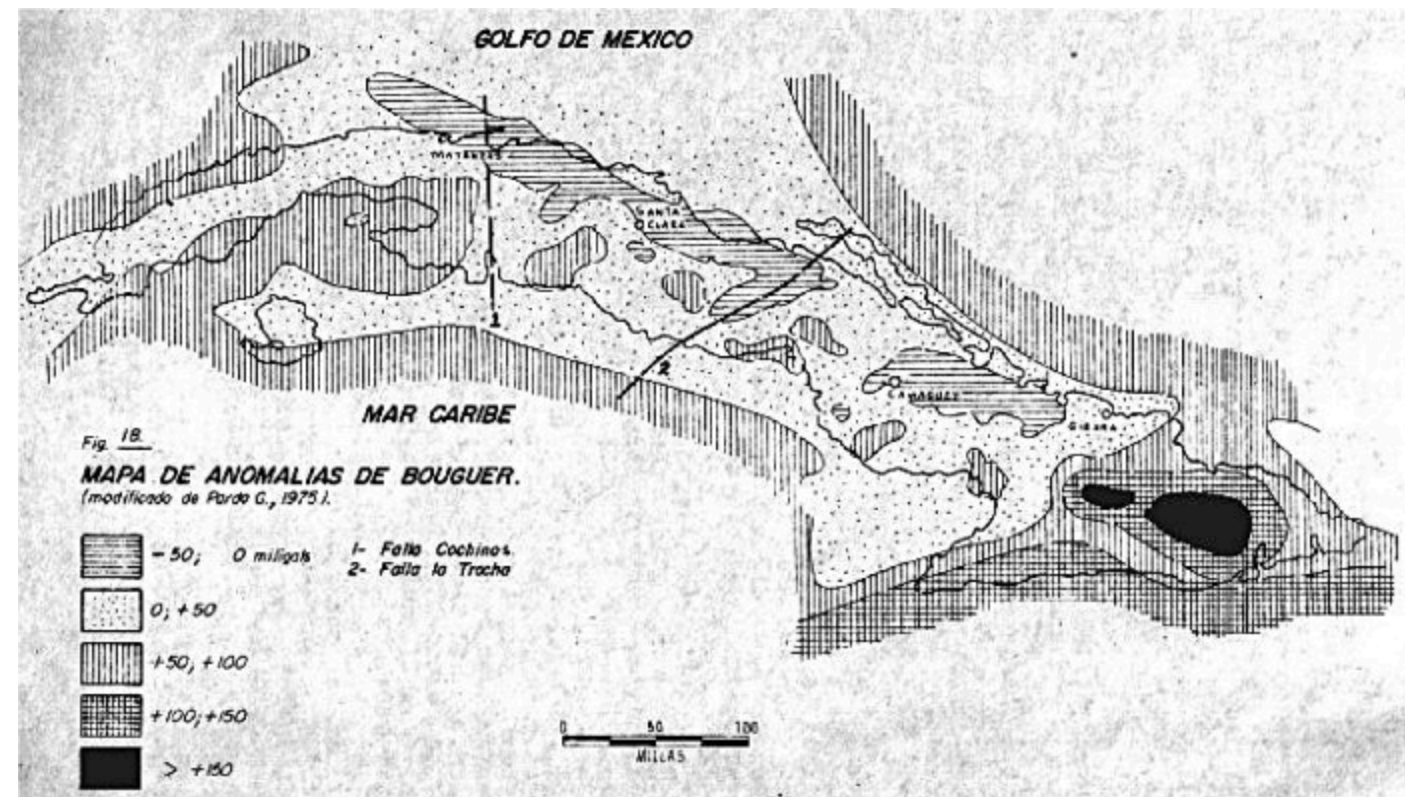


Figura. 18. Mapa gravimétrico de Anomalías de Bouguer (Modificado de Pardo, 1975).

Agradecimientos.

La presente investigación fue realizada en la Empresa Geólogo-Minera de Cuba central y en Instituto de Geología y Paleontología. Los autores agradecen a dichas entidades por el apoyo prestado en su realización. Igualmente agradecemos al Ing. Rafael Rodríguez por gestiones para el estudio de RX de granates. Una expresión de gracias al Dr. Armando Fernández de la empresa geológica por la lectura crítica del manuscrito. Estamos muy agradecidos por la inestimable ayuda de los Ings. Osiel Puig y Ángel Fernández en la preparación del manuscrito y su ayuda personal.

Referencias.

- Álvarez Sánchez, H., 1989, Mecanismo tectónicos y desarrollo estructural de la Sierra de Los Órganos. *1er Congreso Cubano de Geología (inédito)*.
- Badoux H., 1967, De quelques phénomènes sédimentaires et gravifiques liés aux orogènes. *Eclogae. Geol. Helv.* V 60, No. 2 pp. 399-406.
- Bibikova, E. V., Hatten, Ch. W., Kistler, R. W., Matinson, J. M., Millán G., Renne, P. R., Somin, M. L., 1989, Mabujina Complex of Cuba: Its age and geological position. *1er Congreso Cubano de Geología (Resúmenes)*.
- Coleman, R. G.; Lee, D. E.; Beatty, L. B. and Brannock, W. W., 1965, Eclogites and eclogites: their differences and similarities. *Geol. Soc. of Am. Bull.*, v. 76, p. 483-508.
- Dal Piaz, C. V.; Ernest, W. G., 1978, Areal geology and petrology of eclogites and associated metabasites of the Piemonte ophiolite nappe, Breuil St. Jacques Area, Italian Western Alps. *Tectonophysics*, 51, p. 99 - 126.

Díaz de Villalvilla, L., 1988, Caracterización Geológica y petrológica de las asociaciones vulcanógenas del Arco Insular Cretácico en Cuba Central. *Resumen de Tesis de grado. Cienc. De la Tierra y el Espacio*.

Díaz de Villalvilla, L., 1989, Características geoquímicas de las series volcánicas principales del Arco Insular Cretácico en Cuba central (provincias Cienfuegos, Villa Clara, Sancti Spiritus). *1er Congreso Cubano de Geología. (Resúmenes)*.

Dobretsov, N. L., 1984, Problem of the Jadeitic rocks, associating with ophiolites. *Mineralia Slovaca*, 16, 1; p. 3-12.

Dublan, L., Álvarez-Sánchez, H. (Editores), 1986, Dublan, L., Álvarez-Sánchez H.; Mlcoch, B.; Mañour, J.; Lledíaz, P.; Molak, B., Vázquez, C.; Snopkova, P.; De los Santos, E., Soucek, J.; Pérez, M.; Mihailova, A.; Bernal, I.; Zoubek, J.; Ordoñez, M.; Soucek, J.; Morousek, J.; Svetska, J.; Marshall, W.; Pérez-Conde, R.; González, E.; Rodríguez, R.; Informe Final del levantamiento geológico y evaluación de los minerales útiles en escala 1:50,000 del Polígono CAME-I, Zona Centro. *Centro Nacional del Fondo Geológico. La Habana. 1,402 Págs. 250 mapas. (Inédito)*.

Dublan, L., Snopkova, P., Álvarez Sánchez, H., 1988, Datos preliminares sobre la edad de las anfibolitas del Cinturón de Mabujina de Cuba Central, según el método paleobotánico. *Bol. de Geociencias. V. 3. Nº. 2. pag. 48-56. Centro Universitario de Pinar del Río. Cuba*.

Ducloz, Ch et Vuagnat, M., 1962, À propos de l'âge des serpentinites de Cuba. *Archives des Sciences. Soc. Phys. et d' Histoire Naturelle. Gèneve Vol. 15, Fasc. 2. 309-332*.

Ducloz, Ch., 1989, Transcurrent faulting: a major tectonic features of North-Central Cuba. *1er Congreso Cubano de Geología (Resúmenes)*.

Ghent, E. D., Coleman, R. G., 1973, Eclogites from Southwestern Oregon. *Geol. Soc. of Am. Bull.* v.84, pp. 2471-2488.

Hatten, Ch. W., 1957, Geology of Central part Sierra de los Órganos. Pinar del Río Province Cuba. 48 pags. 19 figs. *Fondo Geológico Nacional. La Habana. Cuba*.

Hatten, Ch., W.; Schooler, O. E.; Giedt, N. R. and Meyerhoff, A. A., 1958, Geology of central Cuba, Eastern Las Villas and Western Camaguey provinces, Cuba. *Centro Nac. Fondo Geol., Minist. Indust. Bas., La Habana (inédito)*.

Hatten, Ch., Mattinson, J. M., Renne, P. R., Somin, M.L., Millán, G., et al., 1989, Rocas metamórficas de alta presión: Nuevos datos acerca de sus edades. *1er Congreso Cubano de Geología (Resúmenes)*.

Hawkins J. W., 1977, Origin and evolution of marginal basins and recognition of their remnants in orogenic belts. *Geol. Soc. Am.*, v. 9, pp. 1006-1007.

Haydutov, S., 1986, Model for the cretaceous geotectonic evolution of Central Cuba. *Contribution of Bulgarian Geology. (Khrischev, Kh.; Nachev, I.; Editors) Bulgary Geol. Soc. pag. 117-125*.

Haydutov, S., Boyanov, I., Millán, G., 1989, Nuevos aspectos acerca de la génesis del protolito del Complejo Anfibolítico Mabujina, Sur de Cuba central. *1er Congreso Cubano de Geología (Resúmenes)*. 97-98.

Huang Jiquing, 1984, New researchs on the tectonic characteristics of China. *Tectonics of Asia. 27 Int. Geol. Congr.*, v. 5.

Irvine, T.N. y Baragar, W.R., 1971, A guide to the chemical classification of the common rocks. *Journal of South American Earth Sciences* 8: 523-548.

Iturralde Vinent, M. A., 1981, Nuevo modelo interpretativo de la evolución geológica de Cuba. *Cienc. de la tierra y el Esp.*, n. 3, p. 51-89.

Iturralde Vinent, M. A, y Marí, T., 1984, Basaltos toleíticos de la Sierra de Camaján (Zona de Placetas). Camaguey. *Resúmenes 10. Jornada Cient. I.G.P. La Habana*.

Klein, G. D., 1985, The control of depositional depth tectonic uplift and volcanism on sedimentation processes in the Back-Arc basins on the western Pacific. *Ocean Jour. of Geol.* v. 93.

Knipper, A. L. y Cabrera, R., 1972, Tectonic position of ultramafic bodies of Cuba. *VI Conferencia Geol. del Caribe, Margar., Venezuela. Memorias*, p. 167 - 170.

Knipper, A. L. y Cabrera, R., 1974, Tectónica y geología histórica de la zona de articulación entre el mio y eugeosinclinal del cinturón hiperbásico de Cuba. *Public. Especial n. 2. Contribución a la geología de Cuba Instituto de Geol. Acad. de Ciencias de Cuba*. 15-77.

Kubovics, I., Andó, J., Szakmány, Gy., 1989, Comparative petrology and geochemistry of high-pressure metamorphic rocks from easter Cuba and western Alps. *Acta Min. Petrog. Szeged XXX*, pag. 35-54.

Macdonald, G. C., 1977, A re-evaluation of the serpentinites and serpentized rocks of the Northwest Trinidad Mountains, Las Villas province, Cuba. *Carleton University. Thesis. Ottawa*.

Macdonald, G. A., and Katsura, T., 1964, Chemical composition of Hawaiian lavas. *Jour. of Petrolog.* V.5, p.82-133.

Mattson, P. H., 1979, Subduction, buoyant breaking, flipping and strike slip faulting in the northern Caribbean. *Jour. of Geol.*, v. 87, n° 2, p. 293-304.

Mainegra, V. A., 1990, Informe mineralógico al proyecto de búsqueda de granate La Belleza. *Arch. Geol. Empresa Geólogo-Minera del Centro. (inédito)*.

Millán, G.; Somin, M. L., 1976, Algunas consideraciones sobre las metamorfitas cubanas. *Serie geológica Nº 27. pag. 1-21. Acad. de Cienc. de Cuba. La Habana*.

Millán, G., y Somin, M. L., 1981, Litología, estratigrafía, tectónica y metamorfismo del macizo de Escambray. *Editorial Academia. La Habana. 104 páginas*.

Millán, G. y Somin, M. L. 1985 a. Contribución al conocimiento geológico de las metamorfitas del Escambray y del Purial. Reporte de Investigación N° 2. IGP. Academia de Ciencias de Cuba. 74 Pág.

Millán, G. y Somin, M. L., 1985b, Condiciones geológicas de la constitución de la capa granito-metamórfica de la corteza terrestre de Cuba. Pub. Esp. Inst. de Geol. y Paleont. La Habana. 83 p.

Miyashiro, A., 1974, Volcanic rocks series in island arcs and active continental margins. Am. Jour. of Science. v.274, pp.321-355.

Moore, T. E., 1986, Petrology and tectonic implication of the blueschist bearing Puerto Nuevo melange complex; Viscaïno Peninsula, Baja California Sur, Mexico. In Blueschists and Eclogites. The Geol. Soc. of Am. Memoir 164.

Newton, R. C., 1986, Metamorphic temperatures and pressures of Group B and C eclogites. In Blueschists and Eclogites. The Geol. Soc. of Am. Memoir 164.

Padera, K., 1972, Griquaites in the Moldanubicum of the Bohemian Massif. Upper Mantle Project Progr. in Czechoslovakia Geol. Final Report. pp. 51-59.

Pardo, G., 1953, Geologic exploration. Cuban Gulf Oil Company. CNFG. La Habana. (ined.).

Pardo, G., 1975, Geology of Cuba. In The Ocean basins and margins, Vol. 3: Caribbean and Gulf of Mexico, p. 553-613. Plenum Press. New York.

Pearce, J. A. and Cann, J. R., 1973, Tectonic setting of basis volcanic rocks determined using trace element analysis. Earth Planet. Scienc. Letters, v. 19, p. 290-300.

Pearce, J. A.; Gorman, B.E and Birkett, T. C., 1974, The TiO₂-K₂O-P₂O₅ Diagram: a method of discrimination between oceanic and non oceanic basalts. Earth Planet Scienc. Letters. v. 24. pp. 419-426.

Pearce, J. A.; and Norry, M. J., 1979, Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. Contribution to mineralogy and petrology, v. 69, p. 33-47.

Piotrowski, J., 1977, First manifestations of volcanism in the Cuban geosyncline. Bulletin de L'Academie Polonaise des Sciences, Serie de Sciences des la Terre, 24 (3-4): 227-234.

Pszczółkowski, A., 1983, Tectónica del miogeosinclinal cubano en el área limítrofe de las provincias de Matanzas y Villa Clara. Cienc. de la Tierra y el Espacio. 6, pp.53-67.

Pushcharovsky, Yu. M., Mossakovsky, A. A., Nekrasov, G. E., Sokolov, S. D., Iturralde-Vinent, M. A., Cabrera, R., Oro, J., Flores, R., Formell-Cortina, F., 1989, Tectonics of the Republic of Cuba: Explanatory note to the Tectonic map of Cuba scale 1:500000. (en ruso). Moscow: Nauka, 79 p. ISBN 5-02-002012-5.

Renne, P., Mattinson, J. M., Hatten, Ch. W., Somin, M., Onstott, T. C., Millán, G., Linares, E., 1989, ⁴⁰Ar /³⁹Ar and U-Pb evidence for late Proterozoic (Grenville-Age) continental crust in North-Central Cuba and regional tectonic implications. Precambrian Research, 42, pages. 325-341.

Rigassi-Studer, D., 1961, Quelques vues nouvelles sur la géologie cubaine. Extrait de la Revue Chronique des Mines et de la Recherche Minière. No.302, page 3-7.

Rutten, M. G., 1938, Geología de la parte Norte de la Provincia de Santa Clara, Cuba. Boletín de Minas N° 16. Secretaría de Agricultura. La Habana.

Saleeby, J., 1977, Fracture zone tectonics, continental margin fragmentation, and emplacement of the Kings-Kaweah ophiolite belt, Southwest Sierra Nevada, California. Mineral Resources Bull., v. 95, p. 141-160.

Saleeby, J., 1982, Polygenetic ophiolite belt of the California Sierra Nevada: geochronological and tectonostratigraphic development. Jour. of Geophys. Research. v. 87.n B.3. pp. 1803-1824.

Smulikowski, K., 1972, Clasificación de eclogites and allied rocks. Krystalinikum, 9. pp. 107-130. Praha.

Sobolev, N. V.; Dobretsov, N. L.; Bakirov, A. B.; Shatsky, V. S., 1986, Eclogites from various types of metamorphic complexes in the USSR and the problems of their origin in Blueschists and Eclogite. The Geol. Soc. of Am. Memoir 164, p. 349-363.

Soloviev, O. N., Skidan, S. A., Skidan I. K., Pankratov, A. P. y Khudoley, K., 1964, Comentarios sobre el Mapa gravimétrico de la Isla de Cuba. Rev. Tecnológica. V. 2. no. 2. pp. 8-19.

Somin, M.L., Dobretsov, N.L., Lavrentiev, Y.G., y Millán-Trujillo, G., 1975, Las rocas glaucofánicas y apoeclogíticas en Cuba Sur Central. Dokladi Akad. Nauk. SSSR, 21 (2): 454-457. (en Ruso).

Somin, M. L. y Millán, G., 1976, El complejo Anfíbolítico de Cuba Sur Central y los problemas de la posición tectónica de la serie eugeosinclinal de la isla. Bol. Sec. Moscovita de Amantes de la Naturaleza, Geol., 5, p. 73-93 (en ruso).

Somin, M. L., Millán, G., 1981, Geología de los complejos metamórficos de Cuba (Geologia metamorfisheskich kompleksov, Kuby). Isdatelstvo Nauka, Moscú, 219 pp (en ruso).

Stanik, E., Ching, R., Chaloupsky, J., Suchanek, J., Sehovanik, P., Valecka, J., Koverdysnsky, B., Mlcoch, B., Zoubek. J., Vazquez, C., Mañour, J., Vyjidak, B., Holak, J., Prochazka, J., Eisenreich, M., 1981, Informe del levantamiento geológico, geoquímico y trabajos geofísicos, realizados en la parte Sur de Cuba Central, en las Provincias Cienfuegos, Sancti Spiritus y Villa Clara. Centro Nacional del Fondo Geológico. La Habana. Cuba. 555 pags. (Inédito).

Valdiya, K. S., 1984, Tectonics of the folded fringe of the Indian Platform. Tectonic of Asia. 27 Int. Geol. Congress. v. 5.

Vasilev, E. (redactor); Adyarska, S., Cheleviev, E., Dimitrova, E., Dundalov, T., Ganev, M., Guerdyikov, S., Kunov, A., Mateva, K., Mijailova, L., Nedialkova, S., Petkov, N., Petrova, A., Vasileva, V., Velichkov, D., Viktorov, A., Arcial, F., Borjas, A., Ching,

R., Dárias, J. L., Díaz de T., F., Oña, R., Pavón, J., Pérez, A., Pérez, M., Pichardo, L., Vázquez, C., 1989, Levantamiento geológico 1:50 000 y Búsqueda Norte Las Villas II Jíbaro Báez. CNFG. La Habana, (inédito).

Vuagnat, M., 1959, Preliminary Report on the investigation of ultramafic rocks in Cuba. Comisión de Fomento Nacional para el mapa geológico de Cuba. La Habana. (Edit. for private circulation). Inst. Cubano de Cartografía y Geodesia. La Habana. 35 pags.

Wassall, H.; Pardo, G., 1952, Geological memorandum HW-II, Sagua-Calabazar, Área. CNFG. La Habana (inédito).



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

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

geodoxo@gmail.com



Luis Ramón Bernal Rodríguez es Ingeniero con más de 35 años dedicados a la actividad geológica, fundamentalmente en el campo de la geología regional, en la especialidad de cartografía geológica en la región central de Cuba. Ha sido autor de varios nformes de levantamientos y jefe de proyecto. Participó en la generalización 100 000 del mapa geológico de Cuba. Ha dedicado varios años al estudio de sitios de interés geológico en todo el país, fundamentalmente enfocado en el inventario de los estratotipos de las unidades

geológicas descritas. Autor de la Instrucción Metodológica para el Mapa Geológico de Cuba a escala 1: 50 000. La Habana. Instituto de Geología y Paleontología – Servicio Geológico de Cuba (IGP – SGC). Autor del Código cubano de estratigrafía y miembro de la comisión ad hoc para la revisión de la traducción al español del Código Estratigráfico Norteamericano. Actualmente lidera el proyecto Actualización y completamiento del Léxico estratigráfico de Cuba. Es secretario de la Comisión Nacional del léxico Estratigráfico de Cuba.

Definition, Emendation, and Microfacies Analyses of Upper Cretaceous and Lower Paleogene Lithostratigraphic Units in Texas (In Memoriam)

Emile A. Pessagno, Jr., Department of Geosciences, The University of Texas at Dallas, R.O.C 21 800 West Campbell Road, Richardson, TX 75080-3021. pessagno@utdallas.edu.

Jose F. Longoria, Florida International University, Earth and Environment Department, 8th Street and 12 Av, Meidique Campus, Miami, FL 33199. longoria@fiu.edu.

Arafat A. Alshuaibi, Earth and Environmental Sciences Department, Kuwait University, Kuwait. alshuaibi.a@ku.edu.kw

Jeanne W. Holloway, 45710 Rollingwood Drive, Richardson, Texas 75081.

Abstract

In Texas Upper Cretaceous lithostratigraphic units have been incorrectly used in the geologic literature for a number of years and require formal stratigraphic definition to facilitate high resolution stratigraphic studies and accurate correlation in the Western Gulf Coastal Plain. Three formal lithostratigraphic units are introduced herein: (1) The Nueces River Member of the Austin Chalk; (2) the Waxahachie Member of the Austin Chalk; and (3) the Highbank Formation. The Neylandville Marl has been frequently misidentified by geologists in North Central Texas. In this report the Neylandville is accurately redefined and reinstated as the “Neylandville Siltstone”. In this study planktonic foraminifera are utilized as the primary means of determining the chronostratigraphic assignment of all lithostratigraphic units. To meet this end, a new type of planktonic foraminiferal zone known as the “Composite Zone” is proposed herein. Composite Zones are marked by evolutionary events among Upper Cretaceous planktonic foraminifera such as the first occurrence of double-keeled Globigerinacea (e.g., *Dicarinella*) in the upper Cenomanian or the first occurrence of Globigerinacea with a calcite crust

(*Parasubbotina pseudobulloides*) in the lower Danian. These events are easily recognizable and are not immersed in the morass of taxonomic problems surrounding genera and species of Upper Cretaceous and Lower Paleogene planktonic foraminifera. The first and last occurrence primary marker taxa such as *Globotruncanita calcarata* are used herein as a second criterion for marking composite zonal boundaries.

Benthonic foraminifera such as Miliolids and megafossils such as rudistids are used for microfacies analyses of all lithostratigraphic units. As a result, it has been possible to determine whether the sedimentation occurred on the continental shelf in the neritic depth zone, the continental slope in the bathyal depth zone, or on the abyssal plain in the abyssal depth zone.

INTRODUCTION

The Cretaceous strata of Texas crop out in the Coastal Plain Province of North America which encompasses Atlantic Coast Plain and the Gulf Coastal Plain. The Mississippi Embayment separates the Eastern Gulf Coastal Plain from the Western Gulf Coastal Plain. No Cretaceous lithostratigraphic units crop out on both sides of the Mississippi Embayment. The Western Gulf Coastal Plain extends in a southwestern direction from southwest Arkansas through Texas into northern Mexico. The Western Gulf Coastal Plain generally contain deeper water deposits than those of the Eastern Gulf Coastal Plain. The Cretaceous strata cropping out in the Western Gulf Coastal Plain are extremely fossiliferous and are replete with abundant ammonites, inoceramids, planktonic and benthonic foraminifera, calcareous nannofossils, and dinoflagellates and are some of the most fossiliferous Upper Cretaceous strata in the world.

The nomenclatural history of Upper Cretaceous lithostratigraphic units in the Western Gulf Coastal Plain can best be described as chaotic. Lithostratigraphic units have been incorrectly defined and miscorrelated

lithostratigraphically and chronostratigraphically both at the surface and in the subsurface. The purpose of this study is to rectify some of these problems. To meet this end, three new Upper Cretaceous lithostratigraphic units in the Western Gulf Coastal Plain are erected: (1) The Nueces River Member of the Austin Chalk; (2) the Waxahachie Member of the Austin Chalk, and (3) the Highbank Formation. The previous definition of the Neylandville Marl is inaccurate and is emended herein under the name of the “Neylandville Siltstone”.

Several recent publications have dealt with Albian to Maastrichtian strata in the Western Gulf Coastal Plain. Foremost among these are reports by Rose (2016), Lowery et al. (2014), Breyer et al. (2013), Adams and Carr (2010),

Condom and Dyman (2006), and Ewing (1987, 2003). The reader should examine these reports to have a better understanding of the geology of this region. The reports by Ewing (1987, 2003) and Rose (2016) are particularly important because they show the structures of the Western Gulf Coastal Plain. Foremost among these structures are the San Marcos Arch, the Balcones Fault Zone, and Frio River Hinge Line.

Figure 1A shows the localities sampled during this study. Figure 1B depicts the littoral, neritic, bathyal, and abyssal depth zones of the oceans as they occur today and in the Late Cretaceous and Early Paleogene. Figure 1C show the correlation of lithostratigraphic units in the area of study.



Figure 1A: Index map for sample localities in Texas. *
 1 = Nueces River samples NR14, NR15, NR17, NR18, NH3.
 2 = Samples from Highbank Formation on Colorado River immediately downstream from Austin and 2.2 miles (3.5km) southwest of Webberville, TX185, TX186, TX188.
 3 = Stratotype of Highbank Formation 0.5 miles (0.8km) downstream from FM 413 bridge over Brazos River. Brazos section 6.
 4 = Stratotype of Waxahachie Member of the Austin Chalk.
 5 = Neylandville Siltstone immediately southwest of Corsicana, Texas: Localities TX276, TX 277, TX278, TX279 of Pessagno (1969).
 6 = Neylandville Siltstone at Kemp, Texas: Locality TX12 of Smith and Pessagno (1971).
 7 = Neylandville Siltstone at its type locality 3.0 miles (4.8km) northwest of Greenville, Texas .

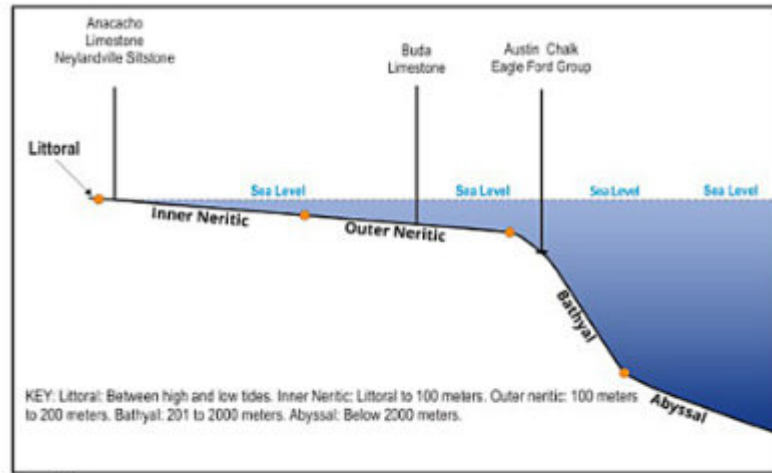


Figure 1B

Figure 1B: Littoral, neritic, bathyal, and abyssal depth zones in present day seas and position of continental shelf and continental slope. *

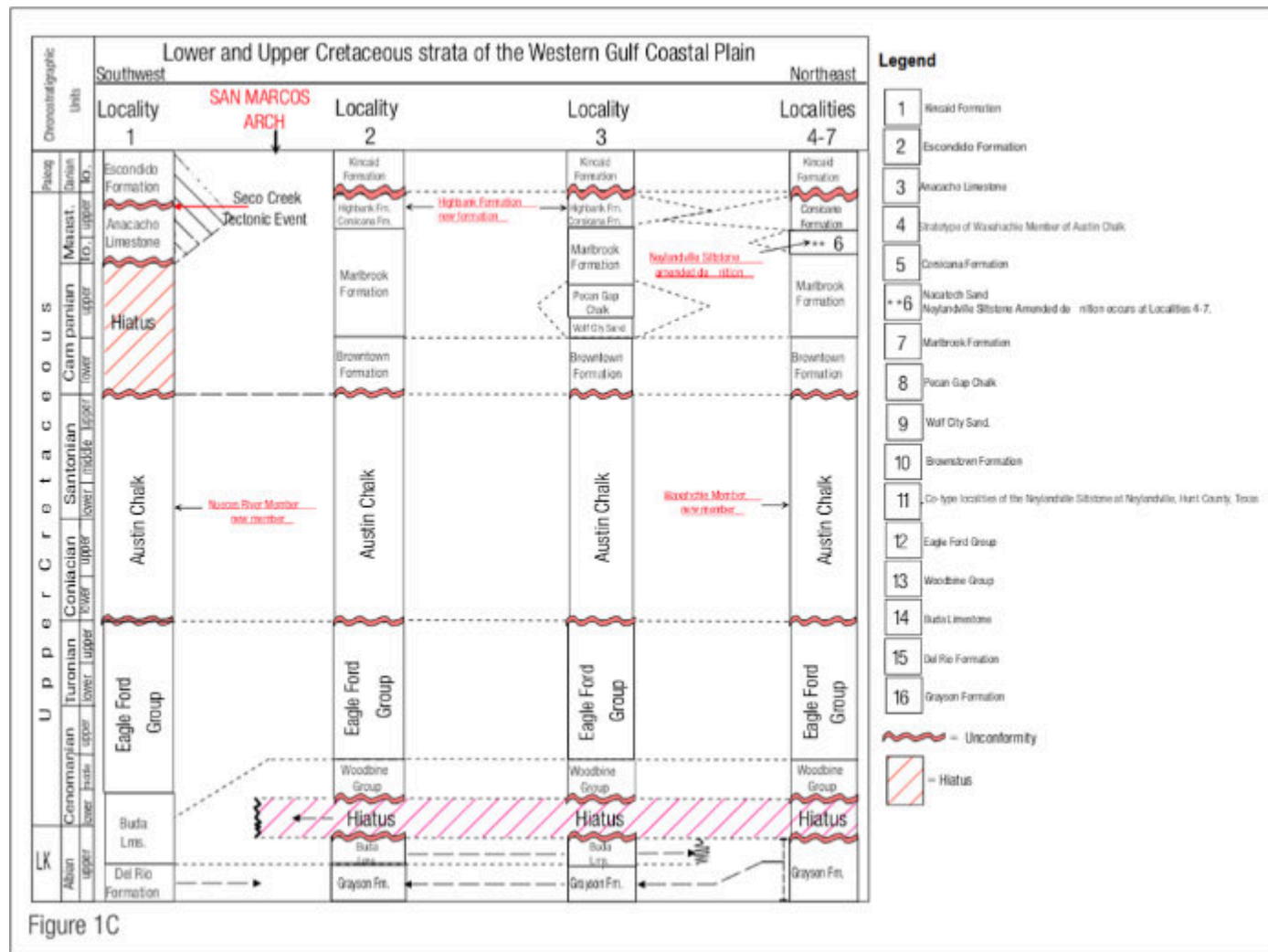


Figure 1C

Figure 1C: Numbered lithostratigraphic units shown in legend. 1. Kincaid Formation; 2. Escondido Formation; 3. Anacacho Limestone; 4. Highbank Formation; 5. Corsicana Formation; 6. *Neylandville Siltstone and Nacatoch Sand; 7. Marlbrook Formation; 8. Pecan Gap Chalk; 9. Wolf City Sand; 10. Brownstown Formation; 11. Austin Chalk; 12. Eagle Ford Group; 13. Woodbine Group; 14. Buda Limestone; 15. Del Rio Formation; and 16. Grayson Formation. *

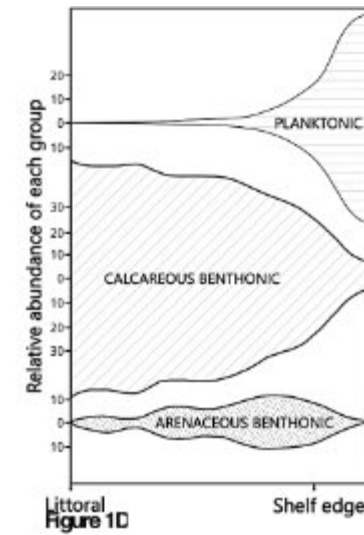


Figure 1D

Figure 1D: Model showing the relative abundance of calcareous planktonic, calcareous benthonic, and arenaceous benthonic foraminifera at littoral depths, shelf (= neritic depths), and below the shelf (upper slope/upper bathyal). Modified from Selznick (1993) *.



Figure 1E

Figure 1E: San Marcos Arch, Balcones Fault Zone, Frio River Hinge Line, Ouachita Frontal Zone, and other important structural features in the Western Gulf Coastal Plain. From Rose (2016). *

Figure 1D shows the distribution of planktonic, calcareous benthonic foraminifera, and arenaceous benthonic foraminifera in present day oceans. Figure 1E shows the San Marcos Arch, the Balcones Fault Zone, and the Frio River Hingeline, and other important structures in the western part of the Gulf Coastal Plain.

Facies analysis of lithostratigraphic units

Figure 1C indicates the chronostratigraphic assignment of all lithostratigraphic units, the depth of water in which the sediments were originally deposited as well as their spatial relationship. Lithostratigraphic units in the legend of Figure 1C are described below:

Kincaid Formation. This unit consists of light gray calcareous mudstone and interbedded sandstone with minor light gray micrite at the base. Sedimentation occurred at outer neritic depths. Abundant planktonic foraminifera and common benthonic foraminifera occur in the Kincaid Formation. In addition, abundant mollusks occur at some horizons. Given the shallow water habitat of the bivalves and gastropods, it is probable that these mollusks were transported downslope to deeper water by turbidity currents.

Escondido Formation. At the Seco Creek locality at Fort Lincoln 2.1Mi(3.3kms) north of d'Hannis on FM 1796 in Medina County, the Escondido consists of interbedded yellowish-brown sandstone, and medium gray calcareous mudstone; sedimentation occurred at outer neritic depths. There is a distinctive 6f(1.8m) layer of grayish-white bentonite in the lower part of the Escondido Formation 2.4f(7m) above the disconformable contact with the Anacacho Limestone. Microfossils include abundant planktonic foraminifera and common benthonic foraminifera. The upper 8f(2.4m) consists of buff-colored calcareous siltstone. *Abathomphalus mayaroensis* occurs in an Upper Maastrichtian siltstone containing planktonic foraminifera assignable to Superzone 1, Zone 1, Subzone 1A₁ rest disconformably with a slight hiatus below a lower Danian siltstone containing the Danian planktonic foraminifera *Parasubbotina pseudobulloides* and *P. trilocolinooides*; this interval is assignable to Superzone DAN, Zone Dan1, Subzone Dan1A (See Figure 2C).

Anacacho Limestone. The Anacacho Limestone consists of medium gray, buff-weathering, often asphaltic calcarenite deposited at innermost neritic depths as a biostromal bank at depths of 25f(8m). At the Seco Creek locality Longoria identified *Abathomphalus mayaroensis* in the upper part

of the Anacacho Limestone. Microfossils include very abundant inner neritic miliolids as well as larger foraminifera such as *Pseudorbitoides israelskyi* and rare planktonic foraminifera. Megafossils include abundant *Exogyra* and common rudistids are indicative of depths of 25f(8m). A sharp disconformable contact with overlying Escondido Formation marks a sudden change of depth from innermost neritic to outermost neritic caused by a tectonic event that termed herein the "Seco Creek Event".

Highbank Formation (n. fm.). The Highbank Formation consists of dark greenish-gray calcareous highly glauconitic mudstone weathering to a very distinctive reddish-brown color. Highbank sedimentation occurred at outermost neritic depths or uppermost bathyal depths. Planktonic foraminifera are very abundant whereas benthonic foraminifera and megafossils are rare. *Exogyra costata* occurs in Highbank outcrops beneath east side of the FM 413 bridge over the Brazos River suggest transport from inner neritic depths by turbidity currents. The senior author's field notes indicate that *Exogyra costata* occurred in a buff-colored sandstone layer. The highly glauconitic nature of the mudstone indicates deposition at outermost neritic or upper bathyal depths. This is substantiated by a study by Chafetz and Reid (2000, p. 13-14) who stated that modern glauconitic sediments form in water depths greater than 164f(50m) and most commonly occur at shelf and slope environments 656f(200m)–984f(300m) deep. They also indicated that that these are low energy settings where deposition is relatively slow.

Corsicana Formation. The Corsicana Formation consists of medium to dark gray buff-weathering calcareous mudstone. Sedimentation occurred at mid-neritic depths and containing abundant planktonic and benthonic foraminifera. *Exogyra costata* is common at Onion Creek in Travis County south of Austin (Locality A23 of Powell et al., 1970, p. A71-A72).

***Neylandville Siltstone (emended definition) and Nacatoch Sand.** The Neylandville Siltstone consists of

reddish-brown calcareous to siliceous siltstone. Sedimentation occurred at inner neritic depths. The siltstone contains well-rounded quartz grains. Moreover, it contains common planktonic and benthonic foraminifera. The overlying Nacatoch Sand conformably overlies the Neylandville and consists of tan calcareous to siliceous sandstone with rare benthonic foraminifera and lacks megafossils. Asterisk denotes the inclusion of Nacatoch Siltstone and Nacatoch Sand together in the same space in correlation chart.

Marlbrook Formation. The Marlbrook Formation consists of light to medium gray buff-weathering mudstone. Sedimentation occurred at outer neritic depths (See Figure 1B) and contains abundant planktonic foraminifera assignable to the upper Campanian. It is important to note that Selznick (1991, p. 92, pl. 10, figs. 12, 16) figured the miliolid taxon *Triloculina circularis* from the Marlbrook at his locality MS57B. Miliolids are most abundant at the inner-most neritic depths. Megafossils are rare.

Pecan Gap Chalk. The Pecan Gap Chalk consists of medium gray chalk and interbedded chalky mudstone weathering light buff to white. Sedimentation occurred at outer neritic depths with abundant planktonic foraminifera and common benthonic foraminifera. Megafossils are rare.

Wolf City Sand. The Wolf City Sand consists of medium gray ferruginous-weathering sandstone. Sedimentation occurred at inner neritic depths. Common planktonic foraminifera, abundant benthonic foraminifera, and megafossils such as *Exogyra* and *Baculites*.

Brownstown Formation. The Brownstown Formation is comprised of medium gray mudstone weathering buff. Sedimentation occurred at outer neritic depths; it contains abundant planktonic foraminifera, calcareous nannofossils as well as common benthonic foraminifera, inoceramids, *Exogyra* and ammonites (e.g., *Baculites*). In addition, common radiolaria have been observed by the senior

author in the Brownstown on the western side of the Barron Brick Pit in Palmer, Ellis County, Texas.

Austin Chalk. The Austin Chalk consists of thin-bedded to massive bluish gray buff-weathering chalk and chalky mudstone. Sedimentation occurred at outermost neritic to upper bathyal depths with abundant planktonic foraminifera, radiolaria, siliceous sponge spicules, calcareous nannofossils together with common ammonites and inoceramids. Microfacies analyses of the Austin Chalk undertaken by Graham (1995, p. 60-63) show photomicrographs providing additional data to support the depth at which Austin sediments were formed. Common specimens of the radiolitic rudistid *Durania* have been observed by the senior author in the Bruceville Member of the Austin Chalk at the juncture of Fall Creek with Prairie Creek in Richardson, Dallas County, Texas. Moreover, *Durania* was also noted in the Austin Chalk by Reaser (2002). Hook and Cobban (2013, p. 18) noted that *Durania* preferred to live in warm, clear, shallow water of normal salinity. It is therefore apparent that the Bruceville specimens were displaced downslope from inner-most neritic depths to outer-most outer neritic depths approaching 656f(200m). This report adds two new members to the Austin Chalk: The Nueces River Member and the Waxahachie Member.

Woodbine Group. The Woodbine Group consists of continental to innermost neritic reddish-brown sandstone and light to medium gray shale which frequently contains plant fossils. The Woodbine Sandstone occurs in the Dallas area. However, it wedges out laterally to the southwest. At Waco and Austin, the Woodbine Sandstone is replaced by the Pepper Shale.

Eagle Ford Group. Northeast of the San Marcos Arch (See Figure 1E) the Eagle Ford Group consists of medium to dark gray calcareous to siliceous thin to medium-bedded mudstone and shale together with medium to dark gray micrite; abundant dark gray micrite nodules are often abundant in the upper part Arcadia Park Formation near

Cedar Hill in Dallas County; many of these nodules are septarian nodules. Eagle Ford sediments were formed at upper bathyal depths on the continental slope. Turbidites with abundant benthonic foraminifera transported from shallower depths occur at intervals in cores provided by Mobil Oil Research Lab in Dallas and were examined by the senior author. Abundant planktonic foraminifera, ammonites, and inoceramids, as well as common Radiolaria, occur throughout the unit. The contact with the overlying Austin Chalk is disconformable. It is often deeply channeled both in Dallas behind the main post office building and parking lot and near Waco at the Atco Cement Quarry (See Pessagno, 1969 for latter). Southwest of the San Marcos Arch, Eagle Ford Group strata are assignable to the Boquillas Formation and consist of medium gray siltstone, mudstone, and micritic limestone flags overlain by thin-bedded medium gray chalk and chalky mudstone which wedge out laterally. The contact with the overlying Austin Chalk is gradational at Lozier Canyon in Terrell County, at Sycamore Creek along the border between Kinney County and Val Verde County, and at Pinto Creek in Val Verde County. These strata contain abundant keeled planktonic foraminifera and common benthonic foraminifera together with abundant calcareous nannofossils (See Pessagno, 1969; Powell et al., 1970; Smith, 1981, and Lowrey et al., 2014). The abundance of keeled planktonic foraminifera suggests an open sea connection.

Further west, at Chispa Summit in Jeff Davis County, the Eagle Ford Group includes the Chispa Summit Formation (See Pessagno, 1969, p. 60-61). The Chispa Summit Formation is Cenomanian to Coniacian in age and consists of 2000f(600m) of strata that contain very abundant keeled planktonic foraminifera. The Chispa Summit Formation can be divided into a lower unit which consists of 500f(152m) of thin-bedded buff to gray micrite, silty micrite, chalky mudstone, and chalk, and an upper unit which is 1500f(456m) and comprised of dark gray calcareous mudstone with dark gray micrite nodules which are often septarian nodules. The hyper abundance of

1932, p. 396-397; Pessagno, 1969, p. 58-59). At its type locality at Shoal Creek, Travis County, Texas, the Buda consists of a dense white micritic limestone breaking with conchoidal fracture that contains glauconite weathering to a burnt orange color as well as common stylolites. According to Pessagno (1969, p. 58) the Buda Limestone varies in thickness of from 50f(15m) in Val Verde County to 60f(18m) in Medina County, to 42-47f(13-14m) in Travis County, and to 2.5f(0.7m) at Bosqueville in McLennan County near Waco. Figure 1C shows the Buda Limestone in the western part of the area. The senior author recovered *Thalmaninella greenhornensis* and *T. appeninica* at the top of Buda at Lozier Canyon, Terrell County, Texas just below its contact with the overlying Boquillas Formation. Both of these taxa first appear in the lower Cenomanian. The lower Cenomanian assignment of the upper part of the Buda is likewise confirmed by studies by Lowrey et al. (2014).

Del Rio Formation. Del Rio sediments were deposited at inner neritic depths at approximately 50f(15m). At Del Rio, Val Verde County, Texas, the lower one third consists of dark gray mudstone with abundant benthonic foraminifera, common planktonic foraminifera, and abundant *Exogyra arietina* (See Pessagno, 1969, p. 56 and Powell et al. 1970, p. A26) whereas its upper two thirds consist of light gray sandstone flags and interbedded siltstone weathering reddish-brown. This upper interval includes abundant benthonic and common planktonic foraminifera as well as abundant *Exogyra arietina*.

Grayson Formation. This unit formed at inner neritic depths at approximately 164f(50m). It consists of light gray mudstone weathering buff with abundant benthonic foraminifera and common planktonic foraminifera and abundant *Exogyra arietina* (See Pessagno, 1969, p. 56 and Powell et al. 1970, p. A26).

Figure 2A

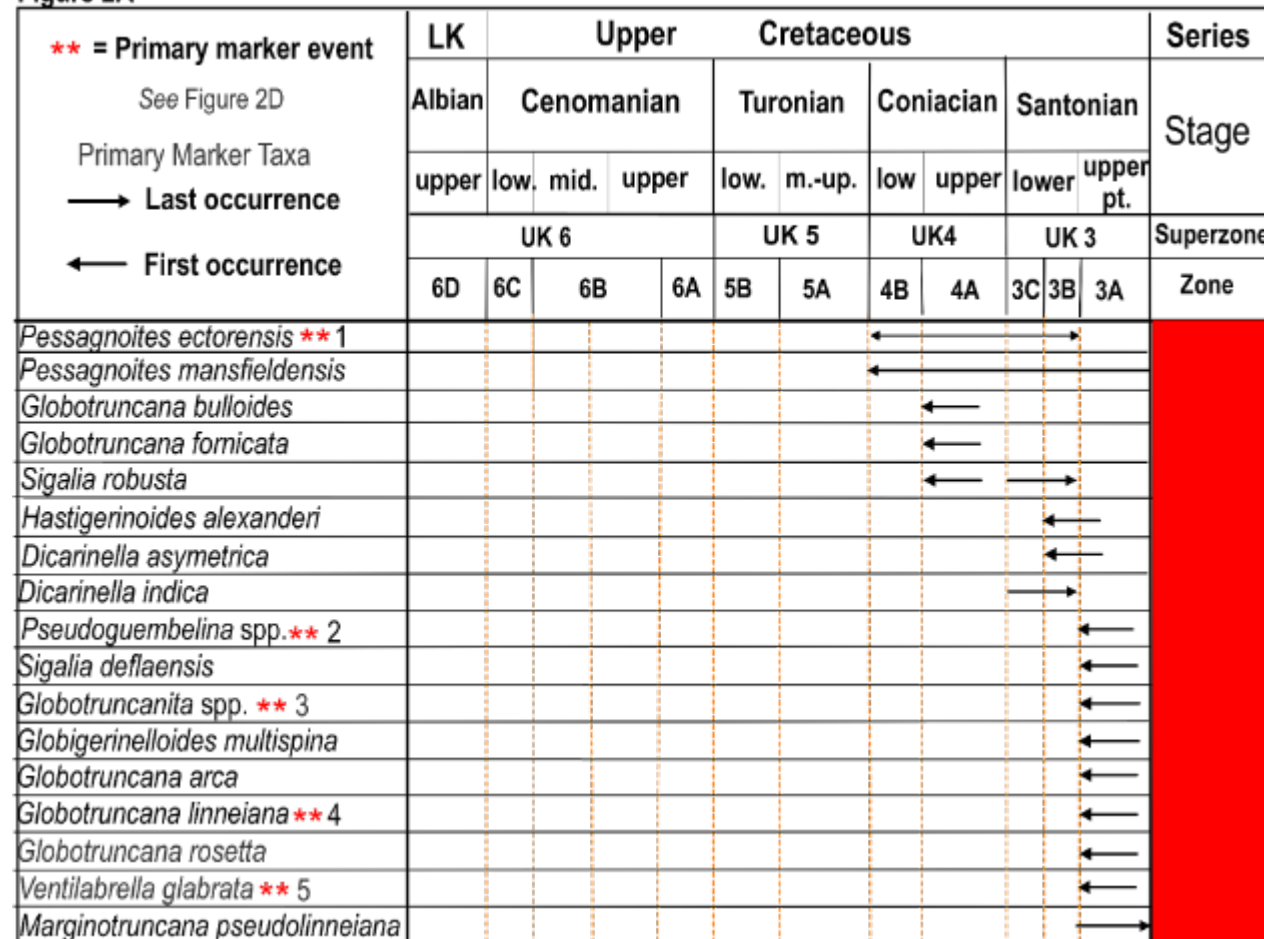


Figure 2A: Composite zones for lower Coniacian to uppermost Santonian. Superzone UK4, Zones UK4B, UK4A, Superzone UK3, Zones UK3C, UK3B, and UK3A. Numbered primary marker events and primary marker taxa marking zonal boundaries shown in figure. *

Figure 2B

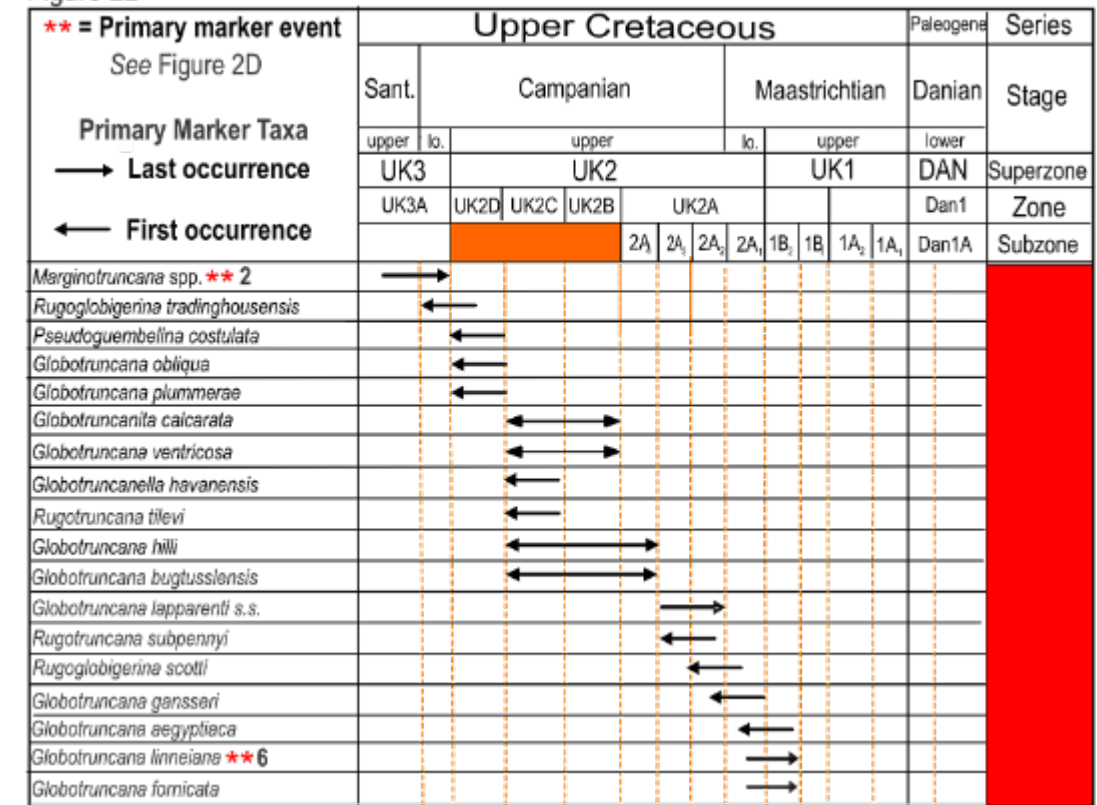


Figure 2B: Composite zones for the upper-most Santonian to the top of lower Maastrichtian. Superzone UK3, Zone 3A to Superzone 2, Zone 2A, Subzone 2A₁. Numbered primary marker events and primary marker taxa marking zonal boundaries shown in figure. *

Figure 2C

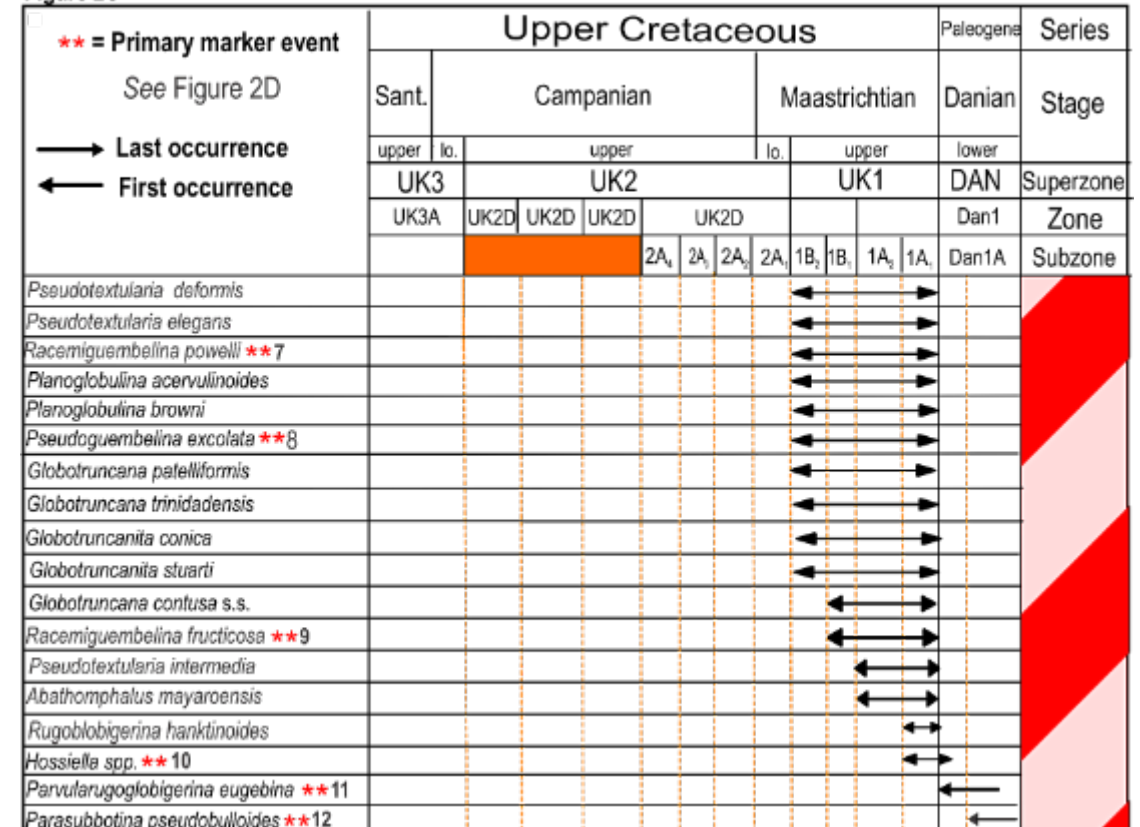


Figure 2C: Composite zones for the upper Maastrichtian and lower Danian. Superzone UK1, Zone UK1B, Subzone UK1B₂ to Superzone DAN, Zone Dan1, Subzone Dan1A. Numbered primary marker events and primary marker taxa marking zonal boundaries shown in figure. *

Figure 2D

IMPORTANT PRIMARY MARKER EVENTS--ALBIAN TO DANIAN
PME1: FO of Marginotruncanids with sutural supplementary apertures on spiral and umbilical sides of test. <i>Pessagnoites</i>
PME2: FO of biserial Heterohelicids with flaps over sutural supplementary apertures. <i>Pseudoguembelina</i>
PME3: FO of single-keeled Globotruncanids. <i>Globotruncanita</i> .
PME4: FO of <i>Globotruncana</i> with type 3 keels (e.g., <i>Globotruncana linneiana</i>).
PME5: FO of Heterohelicids with biserial early stage followed by numerous multiserial chambers arranged in a single plane <i>Ventilabrella glabrata</i> .
PME6: LO of Globigerinacea with an extraumbilical non-umbilical aperture. <i>Pessagnoites mansfieldensis</i> and <i>Whiteinella</i> spp.
PME7: LO of Globotruncids with type 3 double keel. <i>Globotruncana linneiana</i> .
PME8: FO of Heterohelicids with <i>Pseudotextularia</i> stage comprising one half of test followed by multiserial stage consisting of 2 to 3 rows large subspherical chambers arranged around central cavity. Both stages with massive costae.
PME9: FO of costate Heterohelicids with large crenulate spatulate apertural flaps over sutural supplementary apertures. <i>Pseudoguembelina excolata</i> .
PME10: FO of Heterohelicids with a suppressed <i>Pseudotextularia</i> stage which comprises one fifth of test followed by a multiserial stage consisting of small costate chambers arranged in as many as 25 rows around central cavity.
PME11: FO of small Globigerinids with random right to left coiling, tegilla, extraumbilical-umbilical to umbilical primary apertures. <i>Parvuloglobigerina</i> spp.
PME12: LO of small Globigerinids with random right to left coiling, extraumbilical to umbilical primary apertures and overlapping imperforate portici <i>Hossielia</i> .
PME13: FO of cancellate ornamentation and the development of a calcite crust. <i>Parasubbotina pseudobulloides</i> .

Figure 2D: Primary marker events for Coniacian to lower Danian shown in Figures 2A, 2B, 2C. *

Definition of Composite Zones

Planktonic foraminifera like the Radiolaria, calcareous nannoplankton, dinoflagellates, and other planktonic microfossil groups offer a precise tool for establishing detailed zonal schemes for the Mesozoic and Cenozoic. They are distinctive in appearance, abundant, cosmopolitan, and display an explosive evolution during the Cretaceous and Tertiary. It is worth noting that the first definitive geologic data to support the sea floor spreading hypothesis and elevate it to a theory was supplied by planktonic microfossils (largely planktonic foraminifera and calcareous nannofossils) encountered during Legs 1, 2, and 3 of the Deep-Sea Drilling Project (See O'Connell, 2019).

The system of zonation proposed by Pessagno (1967, 1969) utilized the assemblage zone, interval zone, and concurrent range zone concepts of modern stratigraphic nomenclature. Zonal boundaries were defined by marker taxa and the assemblage zone embraced by the marker taxa. For example, the "*Globotruncana fornicata*-

stuartiformis Assemblage Zone" of Pessagno (1969) was delimited by the first appearance of *Globotruncana stuartiformis* and the final appearance of *Globotruncana fornicata*. Moreover, this zonal unit included the planktonic foraminiferal assemblage bounded by these two bioevents.

The history of the development of the composite zone formally began in a report by Pessagno, Blome, and Longoria (1984), which dealt with evolutionary events known as "primary marker events". Primary marker events are the primary means of defining composite zonal boundaries. They represent an evolutionary event among Upper Cretaceous planktonic foraminifera (See Figures 2A-2D herein). Primary marker events such as the first occurrence of double-keeled Globigerinacea or the first occurrence of Globigerinacea with a calcite crust are easily recognizable. They are not immersed in the morass of taxonomic problems surrounding genera and species of Upper Cretaceous and Lower Paleogene planktonic foraminifera. As the second order of definition, "primary

marker taxa" are utilized herein to mark the composite zonal boundaries. Primary marker taxa are selected because they are distinctive in appearance, cosmopolitan in occurrence and because they occur in a variety of rock types.

Chronostratigraphic calibration of composite zonal units is undertaken utilizing biostratigraphic and chronostratigraphic data from ammonites, inoceramids, and other groups belonging to the pelagic realm as well as geochronometric data correlated where possible to composite zonal units (Cobban et al., 2006, 2008; Gradstein et al., 2012). Figure 2A shows the position of primary marker events (PME) and primary marker taxa for the lower Coniacian to the uppermost Santonian; figure 2B shows the position of primary marker events and primary marker taxa shows for the lower Campanian to the top of the lower Maastrichtian; and Figure 2C indicates the position of primary marker events and primary marker taxa for the upper Maastrichtian to the lower Danian. Figure 2D gives a describes all primary marker events for the lower Coniacian to lower Danian. The base Superzone DAN is correlative with geochronometric date of 60ma generated by Gradstein et al. (2012) for the Cretaceous-Tertiary boundary.

DEFINITION AND EMENDED DEFINITION OF LITHOSTRATIGRAPHIC UNITS IN THE UPPER CRETACEOUS OF TEXAS Definition of the Highbank Formation

The Highbank Formation consists of greenish dark gray glauconitic calcareous mudstone that breaks with conchoidal fracture and weathers reddish-brown. It can be traced via satellite photos from its type locality downstream from the FM413 bridge over the Brazos River in Falls County, Texas to localities immediately downstream from Austin, Travis County, Texas along the Colorado River (See Figure 1A herein). Recently, the senior discovered that the Highbank extends farther to the

southwest to McQueeney, Guadalupe County, Texas (See Figure 7).

The Highbank Formation overlies the upper Maastrichtian Corsicana Formation and underlies the lower Danian Kincaid Formation. The Corsicana Formation is assignable to upper Maastrichtian Composite Superzone 1, Zone 1B, Subzone 1B₂; the upper part of the Highbank Formation is assignable to Superzone 1, Zone 1B, Subzone 1B₁ (See Figures 2A-2C herein). The overlying Kincaid Formation is assignable to the lowermost Paleogene and to the lowermost part of the Danian stage. This interval contains a planktonic foraminiferal assemblage assignable to Superzone DAN, Zone DAN1, and to Subzone DAN1A. As noted in Figure 2C, primary marker event PME1 (first occurrence of globigeriniform planktonic foraminifera with a cancellate ornamentation and a calcite crust marks the top of Superzone DAN. This is one of the most important events in the evolutionary history of the Globigerinacea.

The basal part of the Kincaid Formation consists of light gray micritic limestone that is several centimeters thick and rests disconformably on the greenish-gray glauconitic mudstone of the underlying Highbank Formation (See Figures 3, 4A, 4B herein). Pieces of the limestone bed were ripped up by current action and incorporated into the overlying shell hash layer. The shell hash layer is 0.98f(30cm) thick. As noted by Montgomery et al. (1992), this sequence of events is repeated three times in exposures in the middle of the Brazos River 0.5Mi(0.3km) downstream from FM 413 bridge over the river (See Figures 5-6 herein). Pessagno (1967,1969) was the first to study planktonic foraminifera from the Highbank Formation on the west side of the Brazos River. In the past, the exposure on the west bank of the Brazos River was considered by Alvarez and other workers (e.g., Ganapathy, R. S., Gartner, S., and Jiang, M. J., 1981; Gartner and Jiang, 1985; Keller 1989) to be evidence for a tsunami generated by the impact of a bolide that struck Yucatan. It is suggested herein that these events represent turbidites

Figure 5

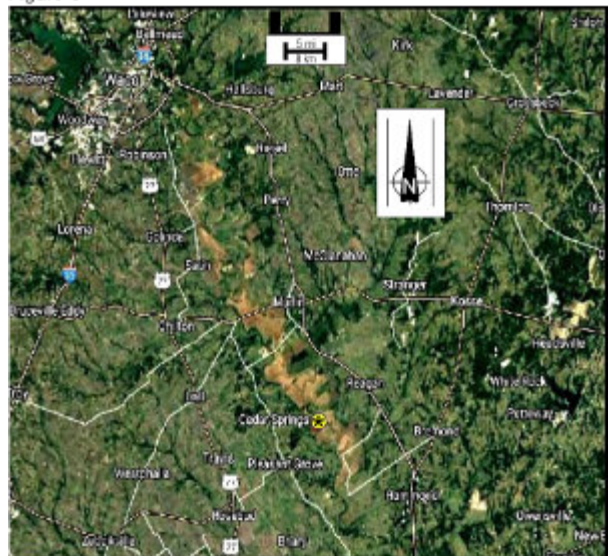


Figure 5: Regional satellite view showing Highbank Formation south of Waco on Brazos River. Highbank Formation consists of dark gray glauconitic mudstone which weathers to a distinctive reddish-brown color. * Indicates the approximate position of FM413 bridge over Brazos River, Falls County, Texas. See Figure 1A.

Figure 6A



Figure 6A: Highbank Formation on Colorado River, Travis County Texas at Pessagno (1969, p. 95, pl. 53) localities TX 185, TX 186, TX 188.

Figure 6B



Figure 6B: Contact between Highbank and Corsicana formations at Texas Materials Clay Pit south of Austin along Colorado River. Excavation at clay pit created a man-made window revealing Corsicana Formation below Highbank Formation.

Figure 7

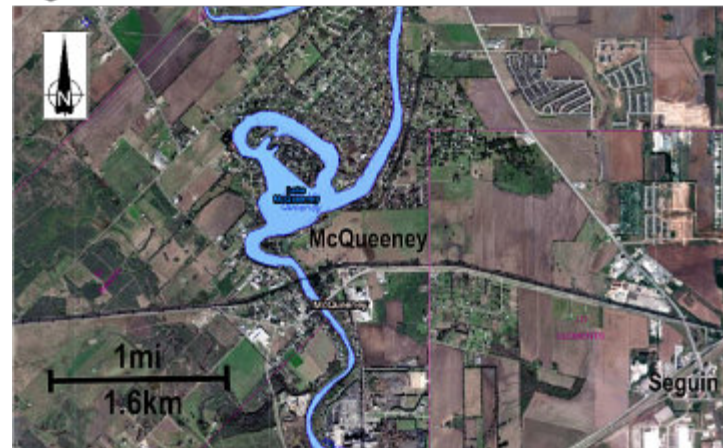


Figure 7: Satellite photo showing the Highbank Formation at McQueeney, Guadalupe County, Texas. Note reddish-brown color of soil.

Definition of Nueces River Member of the Austin Chalk.

The type locality for the Nueces River Member of the Austin Chalk is situated in Uvalde County immediately west of the U.S. 90 bridge over the Nueces River on the north side of the road (See Figures 8A, 8B herein). This succession was first sampled by T. Wayland Vaughan in 1895. Vaughan started his measured section immediately

west of the “triangular station” (Vaughan’s Field Notes, p. 23; U.S.N.M.). The location of the triangular station is shown on the 1/250,000 U.S.G.S. Uvalde Quadrangle (1898). His field notes indicate that the Austin Chalk consists of soft white chalky limestone interbedded with brown ferruginous calcareous mudstone. The Anacacho Limestone overlies the Austin Chalk at this locality with

marked angular uniformity and considerable hiatus (uppermost Santonian to the upper part of the lower Maastrichtian). This angular unconformity can best be seen at the type locality of the Anacacho Formation in the Anacacho Mountains, at Buzzard Canyon in Kinney County (See Figure 8C).

The Nueces River Member of the Austin Chalk consists of bluish-gray buff-weathering medium to massively bedded silty chalk whose beds are as much as 6f(1.8m) thick. The chalk is rhythmically interbedded with reddish-brown chalky mudstone layers which range in thickness from 6ln(2.54cm) to 3f(0.9m). Marcasite nodules occur at some horizons in the massive silty chalk. According to Holloway (1999, p. 44, the mudstone marking the base of the Nueces River Chalk is highly burrowed and is 2.5f(0.76m)

thick (See Figure 9B herein). She also indicated that the mudstone layers thicken toward the top of the section and contain limestone nodules.

Pessagno and Longoria recovered planktonic foraminifera from the basal mudstone layer in sample NH3 (See Figure 9B): *Globotruncanita elevata*, *Globotruncanita stuartiformis*, *Globotruncana fornicata*, *G. lapparenti*, *Marginotruncana marginata*, *M. angusticarinata*, *M. renzi*, *Dicarinella* sp., and *Whiteinella* spatha’s assemblage is assignable to Superzone 3, the lower part of Zone 3A, and to the lower part of the uppermost Santonian (See Figures 2B, 9D). Samples NR14, NR15, NR16, NR17, NR18, and NR22 of Holloway (1999) contain a less diversified poorly preserved assemblage assignable to the same subzone.

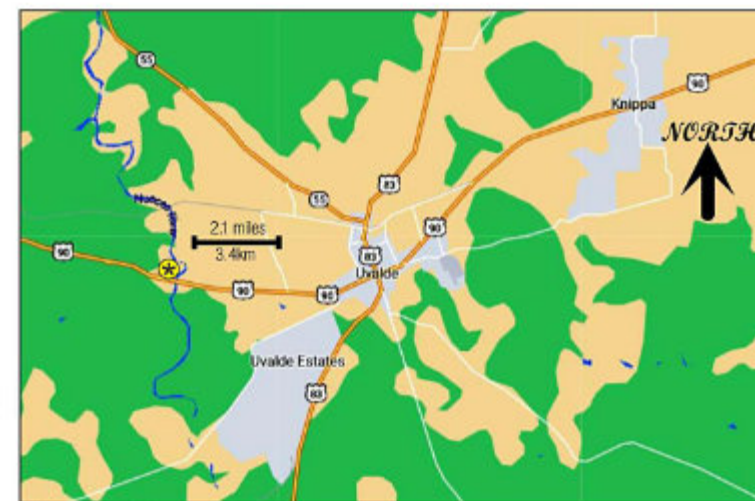


Figure 8A

Figure 8A: Map showing type locality of Nueces River Member of the Austin Chalk 4.4 miles (7.0km) west of Uvalde, Uvalde County, Texas along US Highway 90. Red asterisk shows position of locality.

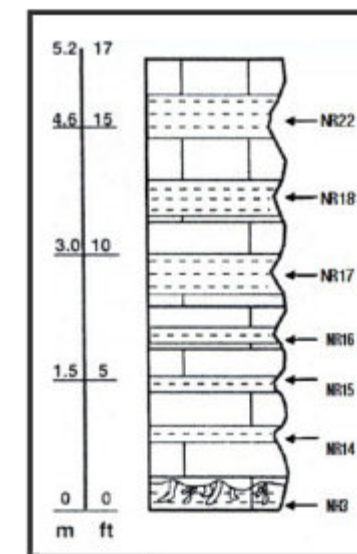


Figure 8B

Figure 8B: Measured section of type Nueces River Member of the Austin Chalk. Localities NH3 of Pessagno and Longoria and localities NR14, NR15, NR16, NR17, NR18, and NR22 of Holloway (1999). Immediately west and north of U.S. 90 bridge over the Nueces River and 4.4 miles (7km) west of Uvalde, Uvalde County, Texas.

Figure 8C

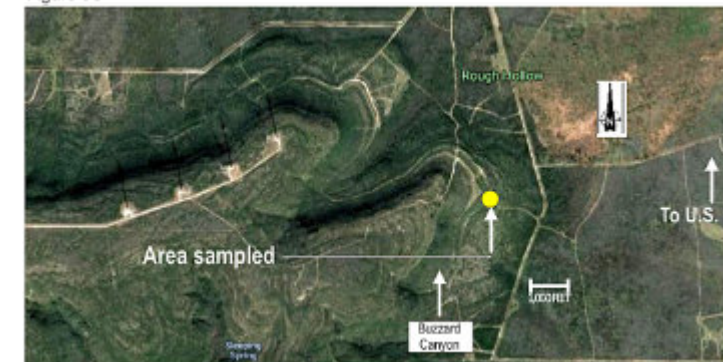


Figure 8C: Type locality of Anacacho Formation at Buzzard Canyon in the eastern part of the Anacacho Mountains, Kinney County, Texas. 8C.

Figure 9A



Figure 9A: Map showing position of unit stratotype of the Waxahachie Member of the Austin Chalk exposed at its type locality at the spillway to Lake Waxahachie from AlShuaibi (2006). Locality D11 of Powell et al. (1970, p. A47).

Figure 9B

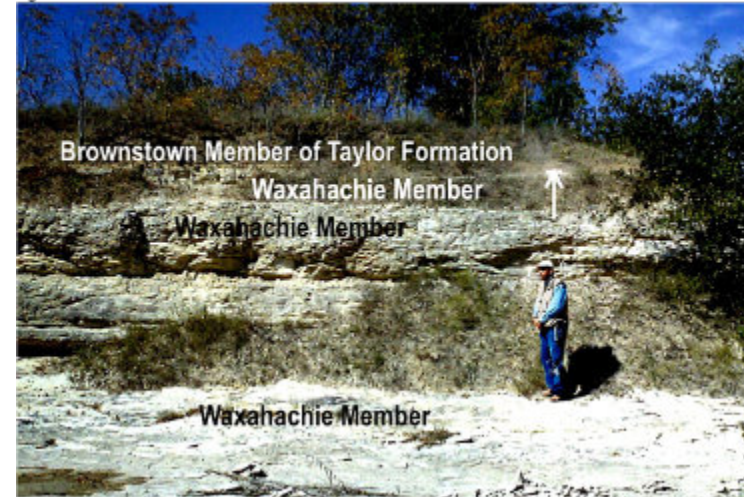


Figure 9B: Contact between Waxahachie Member of the Austin Chalk and the overlying Brownstown Member of the Taylor Formation. Arrow points to contact.

Holloway (1999) also noted the presence of the Nueces River Member along the Rio Grande River in Kinney County, Texas below the Lonesome Dove film set on the Moody Ranch. At the Alamo Quarry in San Antonio, Bexar County, the Nueces River Member consists of 24f(7.3m) of massive, silty chinks which rhythmically alternate with 2f(0.6m) to 3f(0.9m) layers of buff weathering chalky mudstone. The top of the last massive chalk layer is taken as the top of the Austin Chalk. In 1985 the senior author collected 4 samples in the 24f(7.3m) interval above the contact of the Burditt Member of the Austin Chalk and below the angular unconformable contact with the overlying formation which is questionably assignable to the Taylor Formation. A composite list of the planktonic foraminifera occurring in this sample interval is as follows: *Globotruncana fornicata*; *G. lapparenti*, *G. bulloides*, *G. rosetta*, *G. stephensoni*, *Marginotruncana angusticarinata*, *M. coronata*, *M. renzi*, *M. marginata*, *Archaeoglobigerina blowi*, *Globotruncanita elevata*, *G. stuartiformis*, *Dicarinella* sp., and *Whiteinella* spatha's interval is assignable to Composite Zone 3, lower part of Zone 3A and to the uppermost Santonian (See Figures 2A, 9D).

Definition of the Waxahachie Member of the Austin Chalk

The unit stratotype of the Waxahachie Member of the Austin Chalk occurs at the spillway to Lake Waxahachie. According to AlShuaibi (2006) this locality is situated 1.5Mi(2.49km) northeast of the intersection of Pigg Road and Howard Road (FM RD 877) and about 6.92Mi(6.92km) southeast of Waxahachie, Ellis County, Texas (G.P.S. coordinates' 32°20'18.33" and W 096°48'7.56"; See Figures 10A-10B). It should be noted that this locality is equivalent to locality D11 of Powell et al. (1970).

The Waxahachie Member replaces the informally named "Hutchins Chalk" of Durham (1957) and the "upper chalk member" of Powell et al. (1970). The thickness at the spillway depends on where one starts measuring the section; the base of the section abuts against a normal fault at a waterfall downstream. The Waxahachie Member at its type locality consists of 59f(18m) of indurated medium-bedded chalk (2.9f/0.9m) to (4.9f/1.5m) interbedded with medium to thin-bedded (1f/0.3m to 1.9f/0.5m) chalky mudstone that crop out in the creek downstream from the spillway. The strata here are white to buff when weathered and bluish-gray when fresh.

Planktonic foraminifera occurring in the unit stratotype include *Dicarinella concavata*, *Globotruncana bulloides*, *G. fornicata*, *G. lapparenti*, *Globotruncanita elevata*, *Marginotruncana marginata*, *Ventilabrella eggeri*, *V. glabrata*, and *Whiteinella* spp. assemblage is assignable to Composite Superzone 3, the lower part of Subzone 3A to the uppermost Santonian (See Figures 2A, 2B). Inoceramids occurring throughout this interval include *Platyceramus cycloides* and *P. cycloides ashenensis* (See AlShuaibi, 2006). Some of the inoceramids in the uppermost part of the Waxahachie are extremely large and approach 3.2f(0.98m) in length. It is noteworthy that the microcrinoid *Marsupites testudinarius* also occurs in the uppermost part of this interval. Reaser (2002) reported *Exogyra* sp., *Texigryphaea* sp., rare *Pecten (Neitha)* sp., *Spondylus* sp., and the rudistid *Durania* as well as several ammonite taxa including the large cartwheel ammonite *Parapazusia americana* from this horizon. Given the innermost neritic nature of *Durania*, it is probable that the other bivalves-- *Exogyra*, *Texigryphaea* and *Spondylus* were carried down slope to outer neritic depths at the outer edge of the continental shelf (See Figure 1B). The base of the overlying Brownstown Member of the Taylor Formation is marked by a hard ground and a paraconformity (See Figures 10A, 10B herein). These strata are assignable to lower Campanian Subzone 2D₂ and contain *Globotruncana bulloides*, *G. fornicata*, *G. linneiana*, *Globotruncanita elevata*, *Rugoglobigerina*

tradinghausensis, *Ventilabrella glabrata*, and *Pseudotextularia elongata* (Senior author's observations and those of co-author Longoria; see Figure 10C). The upper part of the Waxahachie Member of the Austin Chalk is also exposed along Cottonwood Creek at Wilmer, Dallas County, Texas about 0.07Mi(0.11 km) north the intersection of Lloyd Street and Cottonwood Drive and 2198f(0.67km) west of the intersection of Cottonwood Creek and Interstate Highway 45, Wilmer, Dallas County, Texas (G.P.S. coordinates' 32°35'43.85" and W 096°41'21.3" (See Figures 1A and 11 herein). Here, the Waxahachie Member includes indurated white to buff-weathering medium-bedded chalk (1.96f/0.6m to 3.9f/1.2m) interbedded with chalky mudstone layers (0.98f/0.3m to 1.6f/0.5m). In contrast to the contact at the unit stratotype, the contact between the Waxahachie Member and the Brownstown at Wilmer, Dallas County, Texas is gradational. Two types of gradational contacts occur upstream and downstream from a small normal fault. Upstream from the fault the Waxahachie Member consists of thin beds of chalk interbedded with thin beds of chalky mudstone that grade upward into the Brownstown Member of the Taylor Formation. Exposures downstream from the fault contain buff-colored chalky mudstone grading upward into the dark gray mudstone of the Brownstown. The lower part of the Waxahachie Member is assigned to lower part of Composite Zone 3A and to the uppermost Santonian (See Figures 2A, 10C herein).

Figure 10A



Figure 10A: Waxahachie Member of the Austin Chalk at Wilmer, Dallas County, Texas. Locality WM02 of AlShuaibi (2006) and Locality D7 of Powell et al, (1970, p, A39). = marks locality.

Figure 10B

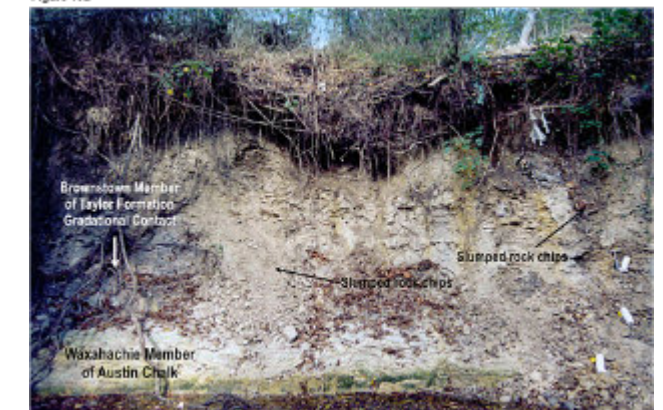


Figure 10B: Gradational contact between Waxahachie Member of the Austin Chalk and overlying Brownstown Member of Taylor Formation upstream from a small normal fault. Dashed line marks the contact between these two lithostratigraphic units. Note that right end of dashed line abuts against a pocket of rock chips that slumped down from the Brownstown above. Photo from co-author AlShuaibi.

Emended definition of Neylandville Marl

The name “Neylandville Marl” has had a chaotic history for over 90 years. It was first introduced informally in a personal communication between L. W. Stephenson and W. S. Adkins. Subsequently, it was formally introduced by Adkins and Stephenson (1932, p. 488, 516) in Sellards et al. (1932, p. 1-1007). These workers included the beds overlying the Taylor Formation and underlying the Nacatoch Sand in the Neylandville Marl. Moreover, they selected co-type localities in Neylandville, Hunt County, Texas: (1) Along the then Texas and Midland Railway at the first cut west of Neylandville Station (See Figure 11A) and (2) at exposures along the then Bankhead Highway between Liberty School and Neylandville 3 to 6 miles (4.8 to 8 kms) northwest of Greenville, Texas. At both of these localities the Neylandville consists of reddish-brown siltstone.

In this report, we refer to the Neylandville Marl as the “Neylandville Siltstone”. In addition to its type area, the Neylandville Siltstone can also be seen Kaufman County near Kemp, Texas (See Smith and Pessagno, 1971, figures 10-15 and figures 1, 11A-11D herein). At locality TX 12, Smith and Pessagno recorded the presence of *Guembelitra cretacea*, *Heterohelix striata*, *Planoglobulina acervulinoides*, and *Rugoglobigerina rugosa* (See Figure 1A). This assemblage is clearly assignable to Composite Superzone 1 and to the upper Maastrichtian (See Figures 2B, 12B). In Navarro County, Neylandville Siltstone samples TX 276-TX279 of Pessagno (1969, p. 97) were collected at the following localities (See Figure 11C herein). Sample 276 occurs immediately downstream from the crossing of

Highway 31 over Briar Creek; sample 277 occurs at the crossing of Highway 31 over Cedar Creek; sample 278 is situated on the north side of Highway 31 0.3 miles (0.19kms.) from Cedar Creek crossing; sample 279 occurs on Farm Road 2452 0.8Mi(0.5kms.) southwest of the railroad crossing at Corbet. Corbet is located on Farm Road 2452, six miles southwest of Corsicana between Briar and Cedar creeks. It is bisected by the Saint Louis Southwestern Railway. Planktonic foraminifera recovered by Pessagno (1969) at these localities are assignable to the upper part of Composite Subzone 2A₁ (= his *Globotruncana lapparenti* Zonule) and to the upper part of the lower Maastrichtian.

The contact of the Neylandville Siltstone with overlying Nacatoch Sand can be observed at the juncture of highway 148 and Fm1390 near Scurry, Kaufman County, Texas. It also can be observed near the northeast corner of the graveyard at Saint Ann’s Catholic Church in Kaufman (See Smith and Pessagno, 1971, figures 10-15). At the First Baptist Church of Warsaw, Kaufman County, Texas, the Neylandville Siltstone consists of calcareous to siliceous reddish-brown weathering muddy siltstone that contains dark gray silty micrite nodules (See Figure 11C). The siltstone contains well-rounded quartz grains which are visible after being immersed in hydrogen peroxide. This characteristic is of extreme importance in recognizing the Neylandville.

Dane and Stephenson (1933, p. 1358) noted that a zone of phosphate nodules and molluscan molds occurs at the

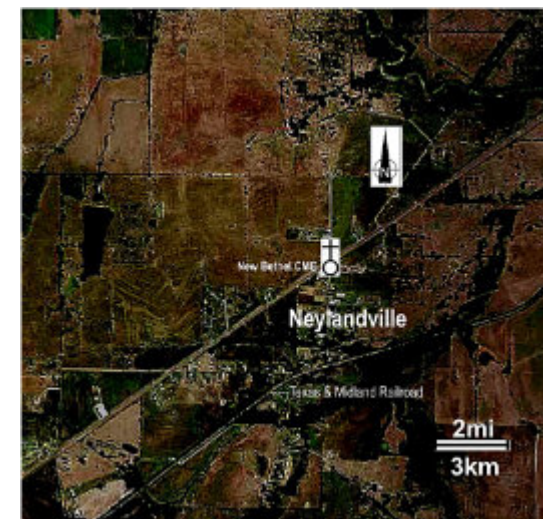


Figure 11A: Co-type localities of Neylandville Siltstone at Neylandville, Hunt County, Texas: (1) Along the then Texas and Midland Railway at the first cut west of Neylandville Station and (2) along the then Texas and Midland Railway at the first cut west of Neylandville Station. Note the reddish-brown color of the soil and the position of the old Texas and Midland Railroad.



Figure 11B: Neylandville Siltstone showing position of locality TX12 of Smith and Pessagno (1971) along road 148 west of Kemp, Kaufman County, Texas. Yellow circle with asterisk shows location of locality. Note reddish-brown character of soil. Fauna at this locality contains *Guembelitra cretacea*, *Heterohelix striata*, *Planoglobulina acervulinoides*, and *Rugoglobigerina rugosa* (Composite Superzone 1 indifferentiated).

Figure 11C



Figure 11C: Neylandville Siltstone at locality TXS-4 at Warsaw first Baptist Church at Warsaw, Kaufman County, Texas. Note the reddish-brown color of the siltstone. Siltstone may be either calcareous or siliceous. It is important to note that the rock when immersed in hydrogen peroxide displays an abundance of well-rounded quartz grains. This is an extremely important characteristic in identifying the Neylandville Siltstone.

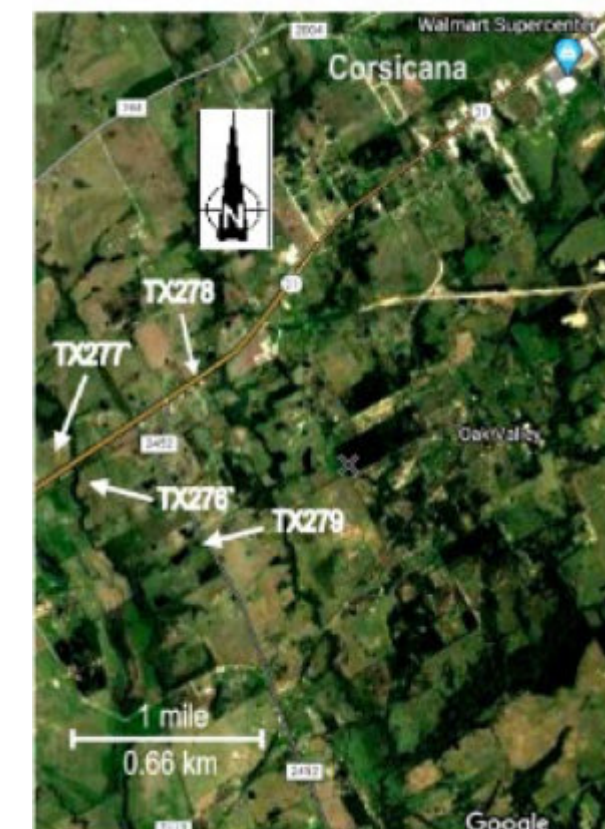


Figure 11D: Neylandville Siltstone. Localities TX276, TX277, TX278, and TX279 of Pessagno (1969) immediately southwest of Corsicana, Navarro County, Texas. The planktonic foraminifera occurring in these samples are assignable to Composite Subzone 2A₁ herein and to the upper part of the lower Maastrichtian.

base of the Neylandville. However, to date, this horizon has not been observed.

SUMMARY AND CONCLUSIONS

1. The need for naming the Highbank Formation is based on the fact that this lithostratigraphic unit has been assigned to the Corsicana Formation by previous workers including the senior author in 1969 and by Powell et al. in 1970. However, the Highbank Formation as defined herein differs strongly from the Corsicana Formation at its type locality at the Acme Brick pit in Corsicana, Navarro County, Texas. At its type locality the Corsicana Formation consists of medium gray mudstone which weathers buff (See Pessagno, 1969; Smith and Pessagno, 1973; Powell et al., 1970). In contrast, at its type locality at the FM 413 bridge over the Brazos River in Falls County, Texas, the Highbank Formation consists of dark greenish-gray glauconitic mudstone that weathers to a very distinctive reddish-brown color. The reddish-brown color can be easily recognized in satellite photos. The presence of abundant glauconite in Highbank strata indicates deposition at outer neritic to upper bathyal depths. Chafetz and Reid (2000, p. 13-14) stated that modern glauconitic sediments form in water depths greater than 164f(50m) and most commonly at shelf and slope environments 656f(200m)–984f(300m). These studies reinforce the microfacies assignment of outermost neritic to upper bathyal given in this report. The Highbank conformably overlies the upper Maastrichtian Corsicana Formation and disconformably underlies the Danian Kincaid Formation. The Corsicana Formation is assignable to upper Maastrichtian Composite Superzone 1, Zone 1B, Subzone 1B₂; the upper part of the Highbank Formation is assignable to Superzone 1, Zone 1B, Subzone 1B₁ (See Figure 2C herein).

2. The **Waxahachie Member** of the Austin Chalk consists of medium-bedded light gray-weathering chalk alternating with ferruginous mudstone which contains micritic limestone nodules at the top near its angular unconformable contact with the overlying upper Maastrichtian Anacacho Limestone. Microfacies analysis

indicates that the Nueces River Member sedimentation occurred at outer neritic to upper bathyal depths (See Figure 1B). At the type locality of the Anacacho Formation at Buzzard Canyon, Kinney County Texas, the Anacacho Limestone overlies the Nueces River Member with marked angular unconformity (42°) and considerable hiatus (uppermost Santonian to upper part of lower Maastrichtian). See Figures 4C and 4D). This unit is assigned to the lower part of Composite Superzone 3, Zone 3A, and to the uppermost Santonian (See Figure 2B herein).

3. The Waxahachie Member replaces the informally named “Hutchins Chalk” of Durham (1957) and the “upper chalk member” of Powell et al. (1970). The Waxahachie Member at its unit stratotype at the spillway to Lake Waxahachie in Ellis County, Texas consists of 59f(18m) of indurated medium-bedded chalk (2.9f/0.9m) to (4.9f/1.5m) interbedded with medium to thin-bedded (1f/0.3m to 1.9f/0.5m) chalky mudstone that crop out in the creek downstream from the spillway. These strata are white to buff when weathered and bluish-gray when fresh. Planktonic foraminifera occurring in the stratotype are assignable to the lower part of Composite Zone 3A and to the uppermost Santonian (See Figure 2B). Microfacies analysis indicates that the Nueces River Member sedimentation occurred outer neritic to upper bathyal depths (See Figure 1B). Inoceramids included throughout this interval include *Platyceramus cycloides* and *P. cycloides ashenensis* (See AlShuaibi, 2006). A hard ground and paraconformity exists at the top of the unit stratotype (See Figures 9A-9B herein). The basal strata of Brownstown Member of the Taylor Formation are assignable to Composite Subzone 2D₂ and to the lower Campanian (See Figure 2B). At Wilmer in Dallas County the contact between the Waxahachie Member and the overlying Brownstown Member of the Taylor Formation is completely gradational (See Figure 10B).

4. The “Neylandville Marl” has had a chaotic nomenclatural history. It was informally first introduced in

a personal communication between L. W. Stephenson and W. S. Adkins. Subsequently, it was formally introduced by Adkins and Stephenson (1932, p. 488, 516) in Sellards et al. (1932, p. 1-1007. *Geology of Texas*). These workers included the beds overlying the Taylor Formation and underlying the Nacatoch Sand in the Neylandville Marl. Moreover, they selected co-type localities in Neylandville, Hunt County, Texas:(1) Along the then Texas and Midland Railway at the first cut west of Neylandville Station (See Figure 11A) and (2) at exposures along the then Bankhead Highway between Liberty School and Neylandville 3 to 6 miles (4.8 to 8 kms) northwest of Greenville, Hunt County, Texas (See Figure 1A). In satellite photos the reddish-brown color of the Neylandville can be clearly seen both in its type area and in other areas to the east near Kemp, Kaufman County, Texas (See Figures 11A-11D). The base of the Neylandville Siltstone occurs in the upper part of the lower Maastrichtian Superzone UK2, Zone 2A, Subzone 2A₁ whereas the top occurs in the upper Maastrichtian in Superzone UK1 (undifferentiated). Microfacies analysis indicates that the Neylandville sedimentation occurred at inner neritic depths (See Figure 1B).

5. The presence of shallow water mollusks such as the rudistid *Durania*, *Exogyra*, *Aucella* in the outer neritic to upper bathyal deposits of the Austin Chalk and Highbank Formation indicates downslope movement. It is probable that earthquakes generated submarine landslides which in turn triggered turbidity currents in submarine canyons (For *Durania*; see Hook and Cobban, 2013, p. 18). Since inner-most neritic megafossils were displaced downslope, it is apparent that inner-most neritic calcareous benthonic foraminifera would also be displaced. This is substantiated by Selznick (1991, p. 92, pl. 10, figs. 12, 16) who figured the miliolid taxon *Triloculina circularis* from the outer-most neritic Marlbrook Formation at his locality MS57B. Miliolids are most abundant at inner-most neritic depths. It should be noted that deep submarine channels exist in the basal Austin Chalk behind the Main Post Office in Dallas and at the Atco Cement Quarry near Waco (See Pessagno, 1969 and Powell et al., 1970). According to Pessagno (1969, p. 65, pl. 60), the channels at the base of

the Atco Member of the Austin Chalk were 10f(3m) wide. The presence of submarine canyons and channels at other horizons in the Austin Chalk should be readily determined by seismic reflection profiles.

6. Geochemical analyses based on calcareous benthonic foraminifera should be carefully re-examined to determine whether the results are still valid.

References cited.

- Adams, R. L., and J. P. Carr, 2010. Regional depositional systems of the Woodbine, Eagle Ford, and Tuscaloosa of the U.S. Gulf Coast: Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions. 60: p. 3-27.
- Al Shuaibi, A. A., 2006. Coniacian to lowermost Campanian stratigraphy of the Austin Chalk, Northeast Texas: Unpublished Ph.D. Dissertation, The University of Texas at Dallas. p. 1-220, pls. 1-6; Figures 1-58.
- Breyer, J. A., Denne, R., Funk, J., Kosanke, T., and Spaw, 2013. Stratigraphy and Sedimentary Facies of the Eagle Ford Shale (Cretaceous) between the Maverick Basin and the San Marcos Arch, Texas: U.S.A. Search and Discovery Article 50899, p. 1-23.
- Chafetz, H. S., and Reid, A. 2000. Syndepositional shallow water precipitation of glauconitic minerals: Sedimentary Geology 126, p. 29-42.
- Condom, S. M. and Dyman, T. S., 2006. Chapter 2 of 2003 geological assessment of undiscovered conventional oil and gas resources in the Upper Cretaceous Navarro and Taylor Groups Western Gulf Coast Province, Texas: U. S. Geological Survey Digital Data Series DDS-69-H: p. 1-41.
- Durham, C. O., 1957. The Austin Group in Central Texas. Ph.D. Dissertation, Columbia University, p. 1-54.
- Ewing, T. E., 1987. The Frio River Hinge Line in South Texas- Transition from Cordilleran Northern Gulf Regimes: Gulf Coast Transactions. Gulf Coast Association of Geological Sciences, p. 3787-3794.
- Ewing, T. E., 2003. Review of the tectonic history of the Lower Rio Grande Border Region, South Texas and Mexico, and implications for hydrocarbon exploration; in Structure and stratigraphy of South Texas and northeast Mexico applications to exploration: GCSSEPM Foundation and

South Texas Geological Society, p. 7-21.

Ganapathy, R. S., Gartner, S., and Jiagn, M. J., 1981. Iridium anomaly at the Cretaceous-Tertiary Boundary in Texas. *Earth and Planetary Science Letters*: 54, p. 393.

Gartner, S. and Jiang, M. J., 1985. The Cretaceous/Tertiary boundary in east-central Texas: *Transactions of Gulf Coast Association Geological Society*: p. 35.

Gradstein, F. M., Ogg, J. G., and Hilgen, F. J., 2012. On the geologic time scale. *Newsletters on Stratigraphy*: 45, 21, p. 71-178.

Graham, J. M., 1995. Lithostratigraphy, microfacies and foraminiferal biostratigraphy of the Santonian-lower Campanian strata in the Trans-Pecos Region, West Texas: Unpublished Ph. D. Dissertation: The University of Texas at Dallas's. 1-432, pls. 1-21, Figures 1-106.

Hook, S.C. and Cobban, 2013. Middle Turonian (Late Cretaceous) rudistids from the lower tongue of the Mancos Shale, Lincoln County, New Mexico: *New Mexico Geology*: 51. p. 13-20.

Holloway, J. W 1999. Lithostratigraphy and biostratigraphy of the Austin Chalk from San Antonio west to the Anacacho Mountains: Unpublished Ph.D. Dissertation: The University of Texas at Dallas: p. 1-266, pls. 1-9, Figure 1-61.

Keller, G., 1989. Extended Cretaceous-Tertiary boundary extinctions and delayed population change in planktonic foraminifera from Brazos River, Texas: *Paleoceanography* 4, p. 287.

Lowrey, C. M., Matthew, J., Corbett, R., Leckie, R. M., Watkins, D., Romero, A. M., And Pramdito, A., 2014. Foraminiferal and nannofossil paleoecology and paleoceanography of the Cenomanian-Turonian Eagle Ford Shale of southern Texas: *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*: 413. p. 49-65.

Montgomery, H., Pessagno, E. A., Jr., Soegaard, C., Smith, C., Muñoz, I., and Pessagno, J. 1992. Misconceptions concerning the Cretaceous/Tertiary boundary at the

Brazos River, Falls Country, Texas. *Earth and Planetary Sciences Letters*: 109.593-600.

O'Connell, S., 2019. Holes in the bottom of the Sea. *History, Revolutions, and Future Opportunities: GSA Today*: 29, 2-4: p. 1-4.

Pessagno, E. A., Jr., 1967. Upper Cretaceous Planktonic Foraminifera from the Western Coastal Plain. *Paleontographica Americana*: 5(37): p. 234-445; pls. 48-181.

Pessagno, E. A., Jr., 1969. Upper Cretaceous stratigraphy of the western Gulf Coast area of Mexico, Texas, and Arkansas: *Geol. Soc. Amer. Memoir* 111: p. 1-139.

Powell, J. D., Pessagno, E. A., Jr., McNulty, C. L., Rothwell, W. T., Schell, W. W. and Williams, T. E. 1970. Field trip guidebook for the First Interamerican Micropaleontological Colloquium: p. 1-36.

Reaser, D. F., 2002. *Geology of the Dallas-Fort Worth Metroplex and Local Geologic/Meteorologic Hazards*: Pearson Custom Publishing, USA: p. 84-117.

Rose, P. R., 2016. Late Cretaceous and Tertiary Burial History, Central Texas. *GCAGS Journal*, GCAGS Journal, 5: p. 141-179.

Sellards, E. R., Adkins, W.S., and Plummer, F. B., 1932. *The Geology of Texas*. The University of Texas. Bulletin No. 3232, 1, Stratigraphy: p. 1-1007.

Selznick, M. R., 1991. Campanian foraminiferal paleoecology of northeast Texas. *Micropaleontology Special Publication Number 5*: p. 77-116, pls. 9-18.

Smith, C. C., 1981. Coniacian and early Santonian portions of the Eagle Ford and Austin groups of Texas. *U. S. Geological Survey Professional Paper* 1075: p. 1-98, 14 figs., 16 pls.

Smith, C. C. and Pessagno, E. A., Jr., 1973. Planktonic foraminifera and stratigraphy of the Corsicana Formation (Maastrichtian) North-Central Texas: *Cushman Foundation for Foraminiferal Research Special Publication Number 12*: p. 1-67, pls. 1-27, Figure 1-24.

Foro de discusión Discussion Forum

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

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

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

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

COMO PARTE DE LAS ACTIVIDADES DE DIFUSIÓN DE NUESTRA REVISTA DE GEOCIENCIAS, TENEMOS UNA RELACIÓN DE BUENA FE Y AMISTAD CON LAS ESCUELAS, SOCIEDADES Y ASOCIACIONES GEOLÓGICAS EN OTROS PAÍSES DEL MUNDO.

Instituto Nacional de Geoquímica (México). <https://www.inageq.com/>



Sociedad Venezolana de Historia de las Geociencias.
SVHGc@yahoo.com



Universidad Tecnológica de la Habana, - <https://cujae.edu.cu/>

Escuela de Geofísica: <https://t.me/ConoceGeofisicaCujae.edu.cu/>



Geología Médica

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



Asociación de Geólogos y Geofísicos Españoles del Petróleo

<https://aggep.org/>



Sociedad Geológica de España

<https://sociedadgeologica.org/>



Sociedad Cubana de Geología

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



GeoLatinas

<https://geolatinas.org/>



Sociedad Dominicana de Geología

<http://sodogeo.org/>



Universidad Tecnológica del Cibao Oriental, República Dominicana

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



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



Piezade Mayapán, Yucatán. INAH. MUSEO REGIONAL DE ANTROPOLOGÍA

¿QUIERES COLABORAR CON NOSOTROS?

ENVÍANOS UN CORREO A:

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