

Geociencias UO

Órgano de difusión científica de la Universidad Olmeca

volumen 5, número 2, julio-diciembre 2022.

<https://geocienciasuo.olmeca.edu.mx>



Imagen de la portada / Cover image / Imagem da capa

El parque ecoturístico Las mil cascadas, conocido también como Las granadas, se localiza muy cerca del Pueblo Mágico de Taxco, Guerrero, México; se trata de un área en la que entre la sierra y la majestuosa vegetación se pueden admirar docenas de hermosas cascadas y disfrutar de una gran cantidad de cristalinas pozas de aguas. Fotografía de Ana Karen Castellanos, cuenta de Instagram @ann.rockast

The Thousand Waterfalls ecotourism park, also known as Las Granadas, is located very close to the Magical Town of Taxco, Guerrero, Mexico; is a place between the mountains and a magnificent forest, where is possible to admire dozens of beautiful waterfalls and enjoy a large number of crystal clear water pools. Photograph by Ana Karen Castellanos, Instagram account @ann.rockast

O parque de ecoturismo das mil cachoeiras, também conhecido como Las granadas, está localizado muito perto da cidade mágica de Taxco, Guerrero, México; É uma zona onde, entre a serra e a majestosa vegetação, se pode admirar dezenas de belas cascatas e desfrutar de um grande número de piscinas de águas cristalinas. Fotografia de Ana Karen Castellanos, conta do Instagram @ann.rockast

Comisión Técnica

Editores	Julio César Javier Quero	Marina del Carmen Rivera Domínguez
Revisores	Héctor de Paz (corrector de estilo)	José Alejandro Chablé Gómez
Trabajo de imágenes	Brenda Ivonne Basurto Aguilar	

Esta publicación es el órgano de divulgación científica de la Universidad Olmeca, en ella se editarán artículos originales relacionados con las Ciencias de la Tierra y sus disciplinas, que hagan énfasis en trabajos desarrollados en Iberoamérica.

La revista *Geociencias* aceptará solamente aquellos artículos que se apeguen a las normas editoriales, publicadas en <http://www.olmeca.edu.mx/>.

Las contribuciones tienen que estar redactadas en español.

This publication is the organ of scientific disclosure of the Olmeca University, in it, original articles related to the Earth Sciences and disciplines that make emphasis on works developed in Latin America will be edited.

The magazine *Geociencias* will accept only those articles that are stuck to the publishing standards, published in <http://www.olmeca.edu.mx/>.

The contributions must be written in Spanish.

Esta revista é uma publicação científica da Universidade Olmeca, na qual se editarão artigos originais relacionados às Ciências da Terra e suas disciplinas que enfatizem os trabalhos realizados na América Latina. A revista *Geoscience* aceitará apenas os itens que aderirem às diretrizes editoriais, publicado em <http://www.olmeca.edu.mx/>.

As contribuições devem ser escritos em espanhol.

Geociencias UO, volumen 5, número 2, julio – diciembre 2022, publicación bianual, editada por la Universidad Olmeca, A. C., Carretera Villahermosa – Macuspana km 14. Dos Montes, Centro, C. P. 86280, Villahermosa, Tabasco, México a través de la Coordinación Editorial, Tel: +52 (993)1879700. Ext. 1140 y 1141,

Website: geocienciasuo.olmeca.edu.mx, Correo electrónica: editorial@olmeca.edu.mx

Editor responsable: Julio César Javier Quero.

Responsable de actualización contenido online: José Alejandro Chablé Gómez

Reserva de Derechos al Uso Exclusivo: 04-2019-092513413800-102,

Versión digital ISSN: 2954-3533.

Fecha última actualización: 20/12/2022

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura de la Universidad Olmeca.

D. R. © 2022 Universidad Olmeca, A. C., Carretera Villahermosa-Macuspana, km 14, Dos Montes, Centro, C. P. 86280, Villahermosa, Tabasco, México.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización por escrito de la Universidad Olmeca, A. C.

Geociencias UO

Órgano de difusión científica de la Universidad Olmeca



UNIVERSIDAD OLMECA
Rojz de sabiduría

<http://www.olmeca.edu.mx>

EDITORES EN JEFE

Francisco García Hernández

Doctor en Ciencias por la Colorado School of Mines
Investigador y experto en Petróleo.

Heberto Ramos Rodríguez

Maestro en ingeniería Petrolera por la UNAM y
maestro en Administración de Empresas por la
Universidad Olmeca.

CONSEJO EDITORIAL

Emilio Alberto De Ygartua Monteverde

Doctor en Ingeniería Constitucional Electoral por la
Universidad Carlos III de Madrid, España y doctor en
Gobierno y Administración Pública en el IAPET.
Rector Universidad Olmeca, A. C.

Beatriz Zumalacárregui de Cárdenas

Doctora en Ciencias Químicas
Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba.

José Luis Naranjo Henao

MCs. docente de geología y fotogeología en la
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de
Caldas, Colombia

Luzbel Napoleón Solórzano

Maestro en ingeniería petrolera por la UNAM.
Investigador y experto en Petróleo

Marco Antonio Maldonado Sánchez

Maestro en Ingeniería Petrolera por la UNAM.
Catedrático de la Universidad Olmeca.

Nelson Esteban Salinas Rojas

Ingeniero Geólogo con especialidad en petróleo,
por la Universidad de Oriente en Venezuela.

Rodiber López Méndez

Ingeniero Bioquímico por el Instituto Tecnológico Superior
de la Región Sierra, Teapa, Tabasco, México.
Director General Académico de la Universidad Olmeca.

Rosa María Prol Ledesma

Especialista en energía geotérmica y en Sistemas de
información geográfica y Teledetección de los recursos na-
turales. Investigadora del Instituto de Geofísica de la UNAM

Tomás Ramírez Maldonado

Doctor en Ciencias de la Ingeniería por la
Universidad Nacional Aeroespacial de Ucrania.
Catedrático de la Universidad Olmeca.

Gabriel Enrique Baquedano Moreno

Maestro en Ciencias por el Centro interdisciplinario de
Investigación y Docencia en Educación. Catedrático de la
Universidad Olmeca.

Oswaldo Federico Donoso

Ingeniero en Minas por la Universidad de Santiago de
Chile. Investigador y experto en Petróleo.

Geociencias UO

Órgano de difusión científica de la Universidad Olmeca



UNIVERSIDAD OLMECA
Raíz de sabiduría

<http://www.olmeca.edu.mx>

COMITÉ DE ARBITRAJE

Oswaldo Rodríguez Morán

Presidente del Comité de Arbitraje

Manuel Enrique Pardo Echarte

Doctor en Ciencias Geológicas.
Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE).
Investigador del Centro de Investigación del
Petróleo de Cuba.

Claudio Bartolini

Geólogo por la Universidad de Sonora, México;
Master en Geología/Ciencias de la Tierra,
Universidad de Arizona. Ph.D. en Geología/Ciencias de la
Tierra, Universidad de Texas en El Paso, EUA.
Miembro de la American Association of
Petroleum Geologists.

Oswaldo Rodríguez Morán

Master en Geología Petrolera, Universidad de Pinar del
Río, Cuba. Doctor en Ciencias Técnicas,
Universidad Tecnológica de La Habana.

Jorge Luis Torres Zafra

Máster en Ciencias Geológicas.
Instituto de Geología y Paleontología (IGP).
Servicio Geológico de Cuba.

Olga Castro Castiñeira

Doctora en Ciencias Geológicas.
Centro de Investigación del Petróleo.
Universidad Tecnológica de La Habana.

Norma Rodríguez Martínez

Doctora Ciencias Geológicas.
Académica de Mérito de la Academia de
Ciencias de Cuba.

Héctor Fernández Núñez

Master en Ingeniería Geofísica.
Doctor en Ciencias Técnicas.
Universidad Tecnológica de La Habana.

Reinaldo Rojas Consuegra

Master en Geología.
Doctor en Ciencias Geológicas.
Centro de Investigación del Petróleo de Cuba.

Sumario

Presentación	<i>Emilio Alberto De Ygartua Monteverde</i>	68
Carta al editor	<i>Jessica Morales González</i>	69
Reconocimiento biozonal de foraminíferos planctónicos del Cretácico Superior Campaniano–Mastrichtiano en pozos del yacimiento Seboruco, Cuba occidental.	<i>Isabel Beatriz, Griñan-Ferrer y Osmany Pérez-Machado Milán †</i>	71
Aplicación de los métodos geofísicos georradar y tomografía eléctrica, en el estudio de taludes. Casos de estudio: Zona Especial de Desarrollo Mariel y Castillo de Santo Domingo de Atarés, Cuba	<i>Melissa Pérez Barzaga, Orlando R. Carraz Hernández, Claudia Blanco Concepción</i>	80
Edad geológica de la Formación Margot y su relación con la composición geoquímica de las lavas en la provincia de Matanzas, Cuba	<i>Rebeca Bristol Ávila, Angélica Isabel Llanos Castro</i>	92
Estratigrafía del yacimiento cuaternario de microvertebrados fósiles El Abrón, en el karst de Sierra La Güira, provincia Pinar del Río, Cuba	<i>Reinaldo Rojas Consuegra, Jesús M. Pajón Morejón, Ernesto Aranda Pedroso, Luis A. Bárzaga Rodríguez, Soraida Freol González, Esther Pérez Lorenzo</i>	102
Estratigrafía de la Formación Santa Teresa: Dominio paleogeográfico del margen continental norteamericano. Unidad Tectono-Estratigráfica Placetas. Cuba	<i>Evelio Linares Cala, Yeniley Fajardo Fernández, Osmany Pérez-Machado Milán †, Pavel M. Blanco Amador</i>	114
Interrupción al proceso de cambio de etapa TR20'' por emanación de gas durante la cementación de la tubería superficial.	<i>Celia Soriano Hernández, Omar Óscar Ramírez Amayo</i>	129
Integración geológica, geofísica y geoquímica en la estimación del potencial generador de rocas con altos contenidos orgánicos	<i>Demetrio Santamaría Orozco, Tomás Ramírez Maldonado</i>	134

Presentación



Es un honor y una gran satisfacción poder presentar a ustedes la edición número diez de la revista *Geociencias UO*, órgano de difusión científica de la Universidad Olmeca, en su quinto aniversario.

Esta publicación surge como una necesidad de retroalimentación para los estudiantes de las ingenierías en Geología, Geofísica y Petrolera. Más a lo largo de su historia ha evolucionado y presentado casos que han sido de gran ayuda para los egresados, profesionales e investigadores del área de las ciencias de la tierra.

En esta ocasión se han seleccionado artículos con temas de autores mexicanos y cubanos que presentan importantes investigaciones relacionadas con la geología de los yacimientos de exploración de pozos petroleros, el uso de los equipos de medición para la detección y diagnóstico actualizado de la zona estudiada y también el análisis de las fallas que pueden presentarse en el caso de emanaciones de gas, durante una cementación.

Agradezco infinitamente a los lectores que nos honran con su constante preferencia y por supuesto felicito a los autores que por medio de sus investigaciones brindan sus conocimientos y experiencia a los interesados en el tema. ¡Enhorabuena y que continúen los éxitos!

Dr. Emilio De Ygartua Monteverde
Rector

Carta al editor¹:

A: Mtro. Julio César Javier Quero
Coordinador Editorial de la Universidad Olmeca

Mis respetos y saludos cordiales.

Dirijo a usted esta Carta al Editor, con el objetivo de valorar el artículo «Ubicación de elevaciones de los sedimentos plegados del paleomargen continental bajo las rocas del Arco Volcánico Cretácico y las ofiolitas para la exploración petrolera en Cuba», de los autores Aliss María Bejerano Kindelan, José Luis Gemen Prol Bantancourt, Guillermo Miró Pagés y María Caridad Rifá Hernández; publicado en el Vol. 4, No. 2, en diciembre del 2021.

En el artículo se trata de ubicar las elevaciones de los sedimentos plegados del paleomargen continental, donde se localiza debajo del Terreno Zaza, mediante la elaboración de un modelo físico-geológico 2D. Los autores interpretaron la información sísmica, campos potenciales, datos geológicos superficiales y de pozos disponibles y tomaron como metodología fundamental, la analogía con las zonas anomalas, donde están presentes este tipo de estructuras.

La metodología asumida, así como la integración de varios métodos geólogo-geofísicos son aceptados y se consideran adecuadas para la resolución de este problema. Sin embargo, según Pardo *et al.* (2019, 2020, 2022), la aplicación de los métodos de exploración no sísmicos y no convencionales, reduciría aún más la incertidumbre de la tarea inversa.

Los resultados de la investigación permitieron la regionalización geológica de las anomalías de los campos potenciales, su interpretación y la generación de modelos gravimétricos y magnetométricos. Estos se integraron con los datos geológicos y sísmicos, lo que resultó en la identificación de un sector donde los sedimentos plegados del paleomargen continental, están más próximos a la superficie.

Se considera que la identificación de este sector aumenta la perspectiva gasopetrolífera en la zona investigada, debido a que las rocas del paleomargen continental funcionan como roca madre.

Le agradezco por considerar mi opinión sobre el artículo. Atentamente,



Dra. C. Jessica Morales González
Departamento de Geociencias
Facultad de Ingeniería Civil
Universidad Tecnológica de la Habana «José Antonio Echeverría», CUJAE
29 de junio 2022.

- Pardo, M. E., Rodríguez, O. y Delgado, O.,** 2019, Non-seismic and Non-conventional Exploration Methods for Oil and Gas in Cuba. Springer. Springer Briefs in Earth System Sciences. ISBN: 978-3-030-15823-1.
- Pardo, M. E., Rodríguez, O., Morales, J. y Jiménez, L.,** 2020, Métodos no-sísmicos y no-convencionales de exploración para petróleo y gas en Cuba: sectores prospectivos. *Geociencias UO*, p. 21.
- Pardo, M. E., Rodríguez, O., Jiménez, L., Morales, J. y Delgado, O.,** 2022, Geological-structural mapping and favorable sectors for oil and gas in Cuba through non-seismic exploration methods. Springer Briefs in Earth System Sciences: Springer, pp. 16-21. ISBN: 978-3-030-92974-9



Reconocimiento biozonal de foraminíferos planctónicos del Cretácico Superior Campaniano-Maastrichtiano en pozos del yacimiento Seboruco, Cuba occidental

Isabel Beatriz Griñan Ferrer¹ y Osmany Pérez Machado Milán² ✉

¹ Licenciada en Biología. Centro de Investigación del Petróleo, Cuba. Churruca No 481, Cerro, La Habana, Cuba, C.P. 12000. ORCID ID 0000-0003-4225-8467. Correo Electrónico: ibeatriz@ceinpet.cupet.cu.

² Ingeniero Geólogo. Máster en Geología Petrolera. Investigador Agregado. Centro de Investigación del Petróleo, Cuba, CP 10200. ORCID ID 000-0003-2326-5469. Correo Electrónico: milan@ceinpet.cupet.cu

RESUMEN

Los sedimentos de la Formación Vía Blanca en el territorio cubano, son investigados tanto en superficie como en subsuelo y representan secuencias del Cretácico Superior Campaniano–Maastrichtiano Superior en Cuba. Esta unidad se desarrolla en las provincias La Habana, Pinar del Río, Artemisa, Mayabeque, Matanzas y Villa Clara. Sus mejores afloramientos se observan en la Vía Blanca y en la Avenida Monumental. Estos depósitos, aunque se han registrado en el área hacia la parte este del yacimiento Seboruco en la Franja Norte Petrolera Cubana, carecen de un estudio bioestratigráfico detallado de asociaciones de microfósiles, que permita reconocer biozonas y realizar correlación. El objetivo es identificar los principales bioeventos de foraminíferos planctónicos del Cretácico Superior en la parte este del yacimiento Seboruco, comparar bioestratigráficamente las asociaciones con el esquema biozonal de Premoli Silva y realizar consideraciones paleoambientales a partir del contenido litológico y paleontológico. Como objeto se expone un complejo de foraminíferos planctónicos determinados en rocas del Campaniano–Maastrichtiano, que se reconocen en la cobertura del Arco Volcánico del

Cretácico. En el Laboratorio de Bioestratigrafía del Centro de Investigación del Petróleo se analizaron 50 muestras de los pozos Seboruco 15, 17, 17A y 19 en el yacimiento Seboruco, pertenecientes a la Formación Vía Blanca. Como resultado, se identificaron 24 familias, 22 géneros y 43 especies de foraminíferos planctónicos, así como 8 familias, 10 géneros y 10 especies de foraminíferos bentónicos. Los métodos utilizados fueron lavados y sección delgada. El análisis bioestratigráfico permitió establecer ocho biozonas: Biozona de *Globotruncanita elevata*, Biozona de *Globotruncanita ventricosa*, Biozona de *Globotruncanella havanensis*, Biozona de *Gansserina gansseri*, Biozona de *Radotruncana calcarata*, Biozona de *Globotruncana aegyptiaca*, Biozona de *Contusotruncana contusa*–*Racemiguembelina fructicosa* y Biozona de *Abatomphalus mayaroensis* y se determinó que estas asociaciones de microfósiles se desarrollaron en ambientes tropicales a subtropicales y nerítico externo-batial.

Palabras Clave: Biozonas, Arco Volcánico Cretácico, Formación Vía Blanca, Franja Norte Petrolera Cubana

ABSTRACT

The sediments of the Vía Blanca Formation in the Cuban territory are investigated both on the surface and in the subsoil and represent sequences of the Upper Cretaceous Campanian-Upper Maastrichtian in Cuba. This unit is developed in the provinces of Havana, Pinar del Rio, Artemisa, Mayabeque, Matanzas and Villa Clara. Its best outcrops can be seen on the Vía Blanca and the Avenida Monumental. These deposits, although they have been recorded in the area to the east of the Seboruco deposit in the Cuban North Oil Belt, lack a detailed biostratigraphic study of microfossil associations, which allows biozones to be recognized and correlation to be made. The objective is to identify the main Late Cretaceous planktonic foraminiferal bioevents in the eastern part of the Seboruco deposit, biostratigraphically compare the associations with the Premoli Silva biozonal scheme, and carry out paleoenvironmental considerations based on the lithological and paleontological content. As an object, a complex of planktonic foraminifera determined in Campanian-Maastrichtian rocks, which are recognized in the coverage of the Cretaceous Volcanic Arc, is exposed. In the Biostratigraphy Laboratory of the Petroleum Research Center, 50 samples from the Seboruco 15, 17 wells were analyzed, 17A and 19 in the Seboruco deposit, belonging to the Vía Blanca Formation. As a result, 24 families, 22 genera and 43 species of planktonic foraminifera were identified, as well as 8 families, 10 genera and 10 species of benthic foraminifera. The methods used were washed and thin section. The biostratigraphic analysis allowed the establishment of eight biozones: *Globotruncanita elevata* Biozone, *Globotruncanita ventricosa* Biozone, *Globotruncanella havanensis* Biozone, *Gansserina gansseri* Biozone, *Radotruncana calcarata* Biozone, *Globotruncana aegyptiaca* Biozone, *Contusotruncana contusa-Racemiguembelina fructicosa* Biozone and *Abatomhalus mayaroensis* Biozone. and it was determined that these microfossil assemblages developed in tropical to subtropical and external neritic-bathyal environments.

Keywords: Biozones, Cretaceous Volcanic Arc, Vía Blanca Formation, Cuban North Oil Belt

RESUMO

Os sedimentos da Formação Vía Blanca, no território cubano, são investigados tanto na superfície quanto no subsolo e representam sequências do Cretáceo Superior Campaniano-Maastrichtiano Superior em Cuba. Esta unidade é desenvolvida nas províncias de Havana, Pinar del Rio, Artemisa, Mayabeque, Matanzas e Villa Clara. Seus melhores afloramentos podem ser vistos na Vía Blanca e na Avenida Monumental. Esses depósitos, embora tenham sido registrados na área a leste do depósito Seboruco no Cinturão Petrolífero do Norte de Cuba, carecem de um estudo bioestratigráfico detalhado das associações de microfósseis o que permite o reconhecimento de biozonas e a correlação. O objetivo é identificar os principais bioeventos de foraminíferos planctônicos do Cretáceo Superior na parte leste do depósito Seboruco, comparar bioestratigraficamente as associações com o esquema biozonal Premoli Silva e realizar considerações paleoambientais com base no conteúdo litológico e paleontológico. Como objeto, é exposto um complexo de foraminíferos planctônicos determinados em rochas Campaniana-Maastrichtianas, reconhecidas na cobertura do Arco Vulcânico Cretáceo. foram analisados, 17A e 19 no depósito Seboruco, pertencente à Formação Vía Blanca. Como resultado, foram identificadas 24 famílias, 22 gêneros e 43 espécies de foraminíferos planctônicos, além de 8 famílias, 10 gêneros e 10 espécies de foraminíferos bentônicos. Os métodos utilizados foram lavados e cortes finos. A análise bioestratigráfica permitiu o estabelecimento de oito biozonas: Biozone *Globotruncanita elevata*, Biozone *Globotruncanita ventricosa*, Biozone *Globotruncanella havanensis*, Biozone *Gansserina gansseri*, Biozone *Radotruncana calcarata*, Biozone *Globotruncana aegyptiaca*, Biozone *Contusotruncana contusa-Racemiguembelina fructicosa* e Biozone *Abatomhalus mayaroensis*. essas assembleias de microfósseis se desenvolveram em ambientes tropicais a subtropicais e nerítico-batiais externos.

Palavras chave: Biozonas, Arco Vulcânico Cretáceo, Formação Vía Blanca, Cinturão Petrolífero do Norte de Cuba

INTRODUCCIÓN

El yacimiento Seboruco comenzó su explotación en 1999 (Colectivo de Autores, 2013) y desde entonces ha producido grandes volúmenes de petróleo y gas, el mismo se encuentra ubicado en la Franja Norte Petrolera Cubana (FNPC).

Se investigaron los pozos Seboruco 15, Seboruco 17, Seboruco 17A y Seboruco 19, ubicados en la

parte norte de la provincia de Matanzas, basándose fundamentalmente en la determinación de foraminíferos planctónicos en cortes correspondientes a la Formación Vía Blanca. Esta formación abarca las provincias de Pinar del Río, Artemisa, La Habana, Matanzas y Villa Clara. Se encuentra ubicada al este de la avenida Monumental, a unos 300 m al NW del caserío Los Mangos, provincia de Ciudad de La Habana (Albear y otros, 1985). Ocupa más de la mitad sur del área del mapa, entre La Habana y el valle de Yumurí. Sus mejores afloramientos se pueden encontrar en la Vía Blanca y en la Avenida Monumental (**Figura 1**).

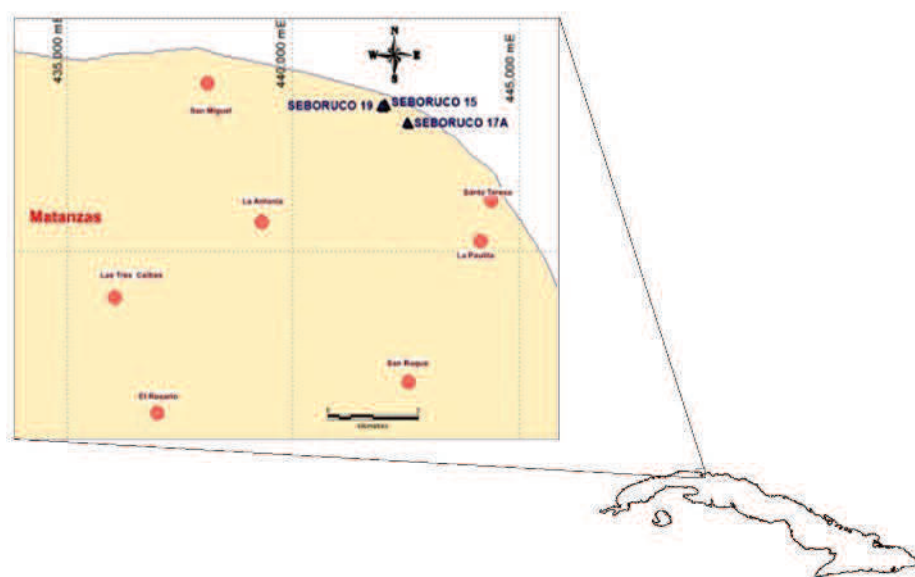


Figura 1. Ubicación geográfica de los pozos Seboruco 15, 17, 17A y 19.

La Formación Vía Blanca está formada por una secuencia flyschoides constituida por argilitas, limolitas y areniscas, de composición grauváquica, de color rojizo-verdoso y pardusco, con intercalaciones finas de margas blancas. Aparecen capas de conglomerados polimícticos en diferentes niveles, con matriz arenosa y arcillo-arenosa, calizas detríticas, arcillas y tufitas. En algunas regiones se desarrollan paquetes olitostromicos policomponentes. Su espesor oscila entre los 500 y 800 m. Estas secuencias afloran también en diferentes regiones de las provincias de Pinar del Río, Artemisa, Mayabeque, La Habana, Matanzas y Villa Clara

y está compuesta por una rica asociación micropaleontológica.

Esta investigación es de interés bioestratigráfico para la industria petrolera debido a presencia de foraminíferos planctónicos, en la industria petrolera, puesto que muchos son muy buenos fósiles índices que proporcionan información de tipo paleoecológica, utilizándose como bioindicadores de temperatura, salinidad, oxígeno y turbidez; además son útiles en interpretaciones paleoceanográficas y paleoclimáticas, porque los cambios en sus poblaciones indican modificaciones en el ambiente.

Los foraminíferos planctónicos por su pequeño tamaño, amplia distribución en mares y océanos, elevada biodiversidad y alta tasa de cambio evolutivo, son microfósiles muy utilizados en bioestratigrafía para establecer biozonas muy detalladas y así fechar y correlacionar rocas procedentes de sondeos, lo cual les añade una importancia económica relacionada con la búsqueda de hidrocarburos.

El principal objetivo de esta investigación consistió en reconocer las biozonas muestreadas y así lograr aclarar dudas con respecto a la edad y procesos de sedimentación de la Formación Vía Blanca, de interés en la exploración actual.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar el estudio litológico y bioestratigráfico del yacimiento Seboruco, se investigaron los intervalos: 510-1000 m, 720-820 m, 630-780 m, 390-1110 m en los pozos Seboruco 15, 17, 17A y 19 respectivamente, tomándose las muestras cada 5 m, pertenecientes al yacimiento Seboruco y coincidiendo con la Formación Vía Blanca, se hizo un levantamiento de los materiales primarios, se realizó la revisión bibliográfica, se contó con materiales de apoyo del proyecto 9030 «Evaluación Integral de Prospectos en el Sector Yumurí-Seboruco», así como muestras de pozos y secciones delgadas.

Se utilizaron láminas delgadas y un microscopio biológico binocular MEIJI MT 5300 H. Se analizaron 50 muestras de subsuelo pertenecientes al yacimiento Seboruco correspondiente a la Formación Vía Blanca y se determinaron 43 especies. El análisis realizado corresponde a láminas delgadas (SD) y lavado. La preparación de las muestras estuvo basada en la Norma Ramal para la preparación de Lavado (LV), láminas Delgadas (SD) de muestras de rocas para su estudio paleontológico o petrográfico vigente a partir de 1979, hasta la actualidad, en el departamento de muestrería del Centro de Investigación del Petróleo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el objetivo de investigar algunos pozos del yacimiento Seboruco, pertenecen al miembro *Flysh*

Los Mangos y atraviesan sedimentos de la formación Vía Blanca y es considerada como rocas de reservorio y sello en los yacimientos pertenecientes a la Franja Norte Petrolera Cubana. Se tomaron muestras en varios intervalos, en los pozos Seboruco 15 (510-1000 m), Seboruco 17 (720-820 m), Seboruco 17A (600-780 m) y Seboruco 19 (390-1110 m) y se establecieron los miembros. La edad de estos intervalos es Cretácico Tardío Campaniano Maastrichtiano.

Biozonación

Con el objetivo de investigar las características litológicas y microfósilíferas de estratos dentro de la Formación Vía Blanca considerada como rocas de sello y reservorios en los yacimientos pertenecientes








POZOS	LITOLOGÍA	BIOEVENTOS	IMÁGENES
SEB 15	<p>Areniscas polimictica, gris clara a oscura, grueso en matriz arcillosa. <i>Claystones</i> limoso, gris verdoso a gris oscuro, en ocasiones piritizado, mediano duro transiona a limolita. Limolita gris oscura, parda, bien consolidada. Caliza traslúcida, recristalizada, dura, otra blanca lechosa tipo margas, fosilifera, menos consolidadas. Serpentinita verde clara a oscura, azulosa, verde negruzca, dura, piritizada.</p> 	<i>Globotruncana arca</i>	 <i>Globotruncanella stuarti</i>
SEB 17		<i>Globotruncana linneiana</i>	
SEB 17 A		<i>Globotruncana lapparenti</i>	 <i>Globotruncana lapparenti</i>
SEB 19		<i>Planoglobulina meyerhoffi</i>	
		<i>Contusotruncana sp.</i>	
		<i>Globotruncanella stuarti</i>	 <i>Globotruncanella linneliana</i>
		<i>Gublerina sp.</i> , Radiolarios	
		<i>Contusotruncana fornicata</i>	 <i>Heterohelix striata</i>
		<i>Globotruncana spp.</i>	
		<i>Pseudotextularia elegans</i>	 <i>Globotruncanella elevata</i>
		<i>Globotruncana bulloides</i>	
		<i>Globotruncanella stuarti</i>	
		<i>Rugoglobigerina rugosa</i>	 <i>Globotruncanella elevata</i>
		<i>Rugoglobigerina rotundata</i>	
	<i>Racemiguembelina fructicosa</i>		
	<i>Pseudoguembelina excolata</i>		
	<i>Heterohelix sp.</i> , <i>Heterohelix striata</i>		
	<i>Pseudotextularia varians</i>		
	<i>Morozovella sp.</i> , <i>Acarinina sp.</i>		
	<i>Acarinina pseudotopilensis</i>		

Tabla 1. Descripción litopaleontológica de los pozos Seb15, Seb17, Seb17A y Seb19.

POZOS	ELECTROFACIES	DESCRIPCIÓN
SEB 15	1	Gamma, la porosidad y el volumen de arcilla son elevados
SEB 17	2	Gamma es moderado bajo, la porosidad promedio 60 % y el volumen de arcilla es de medio a bajo
SEB 17A	1	Gamma presenta valores medios, la porosidad promedio 50 % y la arcillosidad es variable y oscila entre 12 % y 50 %
SEB 19	8	Gamma presenta valores medios, la porosidad es 50 % y hasta 975 m la arcillosidad es baja, a partir de esa profundidad comienza a aumentar y alcanza valores hasta 40 %.

Tabla 2. Comportamiento de los registros geofísicos en los pozos Seb15, Seb17, Seb17A y Seb19.

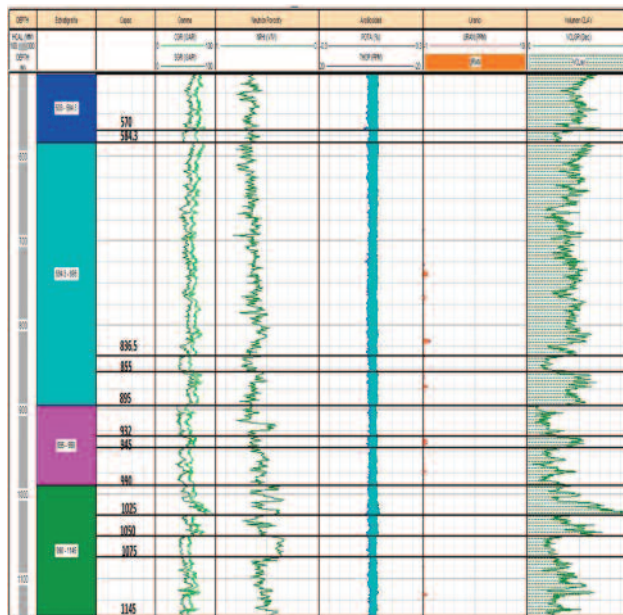


Figura 2. Electrofacies del pozo Seboruco 15 (File de pozo Seboruco 15, 2005).

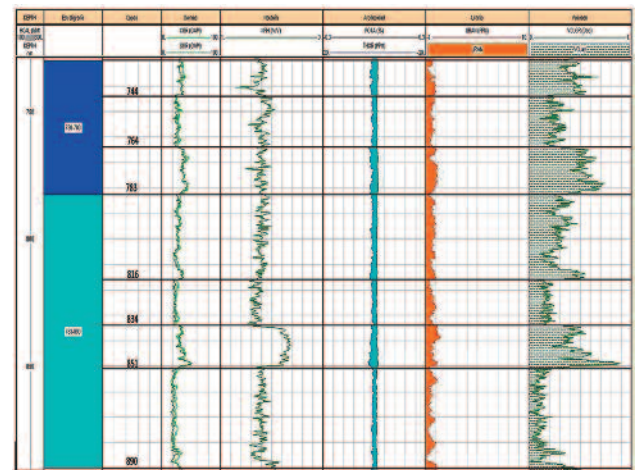


Figura 3. Electrofacies del pozo Seboruco 17 (File de pozo Seboruco 17, 2009).

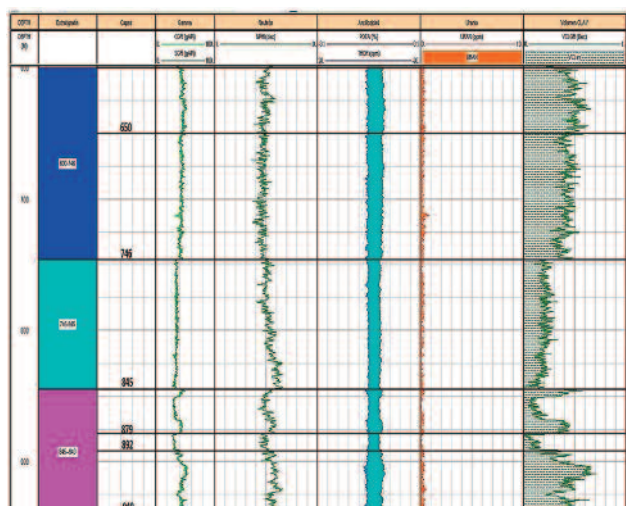


Figura 4. Electrofacies del pozo Seboruco 17A (File de pozo Seboruco 17A, 2012).

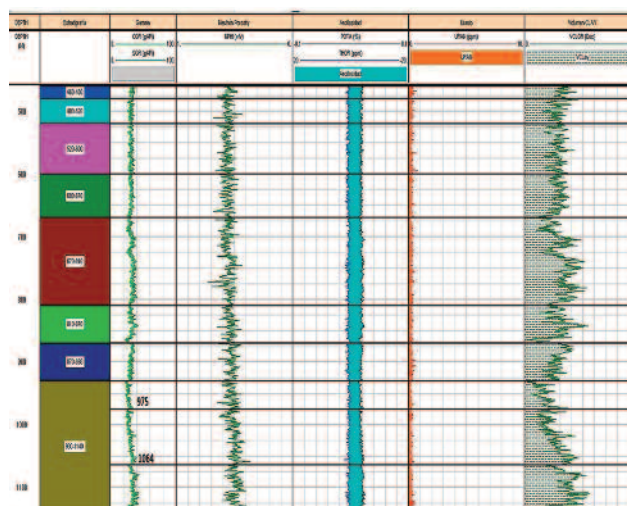


Figura 5. Electrofacies del pozo Seboruco 19 (File de pozo Seboruco 19, 2013).

a la Franja Norte Petrolera Cubana, se tomaron muestras en varios intervalos de los pozos Seboruco 15, 17, 17A y 19. La primera y última aparición de un taxón están indicadas como: «LO» –aparición más tardía y «FO» –aparición más temprana de un morfotipo.

En la actualidad existen varias biozonaciones para este intervalo, de acuerdo con el criterio de diferentes autores, Bolli *et al.* (1985), Premoli Silva (2004) y para diferentes grupos fosilíferos, foraminíferos bentónicos grandes (macroforaminíferos).

En el desarrollo de este tema se analiza el intervalo Campaniano-Maastrichtiano y se comparan los taxa (Premoli Silva, 2004); Bolli *et al.* 1985), nominales con los equivalentes en Cuba (Tabla 3).

Se establece para el Campaniano la *Archaglobigerina blowi*, así como *Globotruncanita elevata* y *Globotruncanita calcarata*, para el Maastrichtiano la *Gansserina gansseri* y *Abathomphalus mayaroensis* (Tabla 7).

Se establece para el Campaniano solo dos biozonas: *Globotruncanita elevata* y *Globotruncanita calcarata* y para el Maastrichtiano *Globotruncanita stuartiformis*, *Gansserina gansseri* y *Abathomphalus mayaroensis* (Tabla 7).

Se define para el Campaniano, parte alta, una Zona de *Globotruncanita stuarti*, así como para el

Maastrichtiano Superior la *Globotruncana arca* y *Globotruncana calcarata* (Tabla 7).

Bolli (1985), establece tres biozonas para el Campaniano: una de *Globotruncanita elevata* (Campaniano Inferior), otra *Globotruncana ventricosa*, y para el Campaniano Superior *Globotruncanita calcarata*. Para el Maastrichtiano establecieron cuatro biozonas: *Globotruncanella havanensis*, *Globotruncana aegyptiaca*, *Gansserina gansseri*, *Abathomphalus mayaroensis* (Tabla 7).

Premoli Silva (2004), define para el Campaniano *Globotruncanita elevata*, *Globotruncana ventricosa*, *Radotruncana calcarata*, *Globotruncanella havanensis* y *Globotruncana aegyptiaca*. Para el Maastrichtiano define la *Gansserina gansseri*, *Contusotruncana contusa*, *Racemiguembelina fructicosa* y el *Abathomphalus mayaroensis* (Tabla 7).

Para una mejor comprensión de los resultados micropaleontológicos obtenidos se presenta en las tablas siguientes, la distribución estratigráfica de los taxones identificados en el área para el Cretácico Superior Campaniano-Maastrichtiano.

Pozo Seboruco 15

En este pozo, de acuerdo a la distribución estratigráfica de los taxones reportados, se observa que hay biozonación presente en esta edad según las biozonas esta-

blecidas según Premoli Silva, 2004 se corresponden con un Intervalo biozonal que va desde la biozona de *Globotruncanella havanensis* hasta la biozona de *Gansserina gansseri* (510-1000 m), correspondiente al rango estratigráfico Cretácico Superior Campaniano -Maastrichtiano .

Definición de las biozonas: Estas zonas están caracterizadas por un número de cambios en la composición faunal, definidas por el primer registro en el pozo (última aparición del taxón) de *Globotruncana lapparenti*, que desaparece en el medio de la biozona de *Gansseri*. La primera aparición de *Planoglobulina meyerhoffi* y *Globotruncanita stuarti* ocurre en la Biozona de *Globotruncanella havanensis*. Se encuentran asociadas con *Contusotruncana* sp., *Contusotruncana fornicata*, *Globotruncana linneiana*, *Globotruncana arca*, *Globotruncana* sp. y *Pseudotextularia elegans*.

Pozo Seboruco 17

En este caso, se corresponde con el Intervalo biozonal que va desde la biozona de *Globotruncanella havanensis* hasta la biozona de *Gansserina gansseri*, comprendidos entre el primer y el último registro de un taxón (720-780 m), correspondiente al rango estratigráfico Cretácico Superior Campaniano-Maastrichtiano

Definición de las biozonas: Estas zonas está caracterizadas por un número de cambios en la composición faunal, definidas por la *Globotruncana lapparenti* y *Globotruncanita stuarti*, incluyendo la asociación siguiente: *Globotruncanita stuarti*, *Globotruncana* sp., *Globotruncana arca*., correspondiente a la edad Cretácico Superior Campaniano-Maastrichtiano.

Pozo Seboruco 17A

Este intervalo se corresponde con un intervalo biozonal que va desde la biozona de *Gansserina gansseri* hasta la *Abathomphalus mayaroensis*.

Definición de las biozonas: Estas zonas están definidas por dos asociaciones microfosilíferas: una que va desde la biozona *Globotruncanella havanensis* – *Gansserina gansseri* definida por la *Contusotruncana fornicata* (en el intervalo 600-630 m) y otra desde la *Contusotruncana contusa* –*Racemiguembelina fructicosa* hasta la biozona de *Abatomphalus mayaroensis* (en el intervalo 630-780 m), incluyendo la asociación siguiente: *Contusotruncana fornicata*, *Globotruncana arca*, *Globotruncanita stuarti*, *Globotruncanita stuartiformis*, *Heterohelix striata*, *Pseudoguembelina excolata*, *Pseudotextularia elegans*, *Pseudotextularia varians*, *Rugoglobigerina rugosa*, correspondiente al

Pisos	Zonas según Premoli Silva 2004	BIOEVENTOS				Prof. (m)
		<i>Contusotruncana fornicata</i>	<i>Globotruncana lapparenti</i>	<i>Globotruncanita stuarti</i>	<i>Planoglobulina meyerhoffi</i>	
	<i>Abathomphalus mayaroensis</i> <i>Contusotruncana contusa</i> - <i>Racemiguembelina fructicosa</i>	↓		↓		
Campaniano	<i>Gansserina gansseri</i>	↓	↓			510
	<i>Globotruncana aegyptiaca</i>					
	<i>Globotruncanella havanensis</i>					1000
	<i>Radotruncana calcarata</i>					
	<i>Globotruncana ventricosa</i>					
	<i>Globotruncanita elevata</i>		↓			

Tabla 3. Seboruco 15.

Pisos	Zonas según Premoli Silva 2004	BIOEVENTOS				Prof. (m)
		<i>Globotruncana arca</i>	<i>Globotruncana</i> sp.	<i>Globotruncanita stuarti</i>	<i>Globotruncana lapparenti</i>	
	<i>Abathomphalus mayaroensis</i> <i>Contusotruncana contusa</i> - <i>Racemiguembelina fructicosa</i>	↓	↓			
Campaniano	<i>Gansserina gansseri</i>				↓	720
	<i>Globotruncana aegyptiaca</i>					
	<i>Globotruncanella havanensis</i>					780
	<i>Radotruncana calcarata</i>					
	<i>Globotruncana ventricosa</i>		↓			
	<i>Globotruncanita elevata</i>		↓			

Tabla 4. Pozo Seboruco 17

rango estratigráfico Cretácico Superior *Campaniano-Maastrichtiano*. Raramente aparece *Abathomphalus mayaroensis*.

Pozo Seboruco 19

Este caso se corresponde con un intervalo biozonal que va desde la biozona de *Gansserina gansseri* hasta la biozona de *Abathomphalus mayaroensis*, hasta el Maastrichtiano (390-1110 m), pero es significativo aclarar que pudiera bajar. Se hace difícil una determinación más detallada por la redeposición de distintos niveles del Cretácico Superior y por ser este intervalo muy largo (*Globotruncanita elevata*).

Definición de las biozonas: Estas zonas está caracterizan por un número de cambios en la composición faunal, marcadas por la *Globotruncanita angulata* y

Racemiguembelina sp., incluyendo la asociación siguiente: *Contusotruncana fornicata*, *Globotruncana falsostuarti*, *Globotruncana arca*, *Globotruncana lineana*, *Globotruncana* sp, *Globotruncanita elevata*, *Globotruncanita stuarti*, *Globotruncanita stuartiformis*, *Heterohelix globulosa*, *Pseudotextularia elegans*, *Pseudoguembelina* sp., *Globotruncanella* sp., correspondiente a la edad Cretácico Superior Maastrichtiano.

Paleoambiente:

Las especies de los pozos Seb 15, 17, 17A y 19 pertenecientes al Cretácico Superior, habitaban en latitudes tropicales-subtropicales, en ambiente nerítico externo-batial.

En la **Tabla 7** se establece una comparación biozonal de foraminíferos planctónicos basado en criterio de varios autores comparado con el actual estudio.

Pisos	Zonas según Premoli Silva 2004	BIOEVENTOS				Prof.(m)
		<i>Contusotruncana fornicata</i>	<i>Globotruncanita stuartiformis</i>	<i>Globotruncanita stuarti</i>	<i>Heterohelix striata</i>	
Campaniano	<i>Abathomphalus mayaroensis</i>					630
	<i>Contusotruncana contusa</i> - <i>Racemiguembelina fructicosa</i>					
	<i>Gansserina gansseri</i>					
	<i>Globotruncana aegyptiaca</i>					780
	<i>Globotruncanella havanensis</i>					
	<i>Radotruncana calcarata</i>					
	<i>Globotruncana ventricosa</i>					
<i>Globotruncanita elevata</i>						

Tabla 5. Pozo Seboruco 17A

Pisos	Zonas según Premoli Silva 2004	BIOEVENTOS				Prof.(m)
		<i>Globotruncanita angulata</i>	<i>Globotruncanita stuartiformis</i>	<i>Racemiguembelina</i> sp.	<i>Contusotruncana fornicata</i>	
Campaniano	<i>Abathomphalus mayaroensis</i>					390
	<i>Contusotruncana contusa</i> - <i>Racemiguembelina fructicosa</i>					
	<i>Gansserina gansseri</i>					
	<i>Globotruncana aegyptiaca</i>					1110
	<i>Globotruncanella havanensis</i>					
	<i>Radotruncana calcarata</i>					
	<i>Globotruncana ventricosa</i>					
<i>Globotruncanita elevata</i>						

Tabla 6. Pozo Seboruco 19

TABLA DE BIOZONAS BASADAS EN EL CRITERIO DE VARIOS AUTORES							
EPOCA	PESSAGNO 1967	POSTUMA 1971	G.FERNANDEZ 1983	BOLLI 1985	PREMOLI SILVA 2004	ESTA INVESTIGACION	
Maastrichtiano	<i>Abathomphalus mayaroensis</i>	<i>Abathomphalus mayaroensis</i>	<i>Globotruncana contusa</i>	<i>Abathomphalus mayaroensis</i>	<i>Abathomphalus mayaroensis</i>	?	
	<i>Gansserina gansseri</i>	<i>Gansserina gansseri</i>	<i>Gansserina gansseri</i>	<i>Globotruncana aegyptiaca</i>	<i>Contusotruncana contusa</i> - <i>Racemiguembelina fructicosa</i>	<i>Contusotruncana contusa</i> - <i>Racemiguembelina fructicosa</i>	
	<i>Rugotruncana subcircumnodifer</i>	<i>Globotruncanita stuartiformis</i>	<i>Globotruncana calcarata</i> - <i>Globotruncana arca</i>	<i>Globotruncanella havanensis</i>	<i>Gansserina gansseri</i>	<i>Gansserina gansseri</i>	
Campaniano	<i>Globotruncanita calcarata</i>	<i>Globotruncanita calcarata</i>	<i>Globotruncanita</i> sp.	<i>Globotruncanita calcarata</i>	<i>Globotruncana aegyptiaca</i>	<i>Globotruncana aegyptiaca</i>	
	<i>Globotruncanita elevada</i>			<i>Globotruncana ventricosa</i>	<i>Globotruncanella havanensis</i>	<i>Globotruncanella havanensis</i>	
	<i>A.blowi</i>	<i>Globotruncanita elevada</i>		<i>Globotruncanita elevada</i>	<i>Radotruncana calcarata</i>		
				<i>Globotruncanita elevada</i>	<i>Globotruncana ventricosa</i>	<i>Globotruncanita elevada</i>	<i>Globotruncanita elevada</i>

Tabla 7. Tabla de biozonas basadas en el criterio de varios autores

CONCLUSIONES

- Se identificaron tres familias (*Globotruncanidae*, *Heterohelicidae*, *Rugoglobigerinidae*), 11 géneros (*Contusotruncana*, *Heterohelix*, *Pseudoguembelina*, *Rugoglobigerina*, *Pseudotextularia*, *Racemiguembelina*, *Planoglobulina*, *Globotruncanella*, *Globotruncanita*, *Gansserina*, *Globotruncana*) y ocho especies de foraminíferos planctónicos (*Contusotruncana fornicata*, *Gansserina gansseri*, *Heterohelix globulosa*, *Pseudotextularia elegans*, *Rugoglobigerina rugosa*, *Globotruncanita elevata*, *Globotruncanita stuarti*, *Globotruncanita stuartiformis*).
- Se identificó para estos horizontes los intervalos de biozonas siguientes: en los pozos Seboruco 15 y Seboruco 17 se determinó el intervalo biozonal desde la biozona de *Globotruncanella havanensis* hasta la biozona de *Gansserina gansseri*; en el pozo Seboruco 17A se identificaron dos asociaciones microfósiles: una que va desde la biozona *Globotruncanella havanensis* –*Gansserina gansseri* (en el intervalo 600-630 m) y otro desde la *Contusotruncana contusa* –*Racemiguembelina fructicosa* hasta la biozona de *Abatomphalus mayaroensis* (en el intervalo 630-780 m); y el pozo Seboruco 19 se determinó el intervalo biozonal que va desde la biozona de *Gansserina gansseri* hasta la *Abatomphalus mayaroensis*. Los pozos investigados registran edad Cretácico Superior *Campaniano-Maastrichtiano*.
- La distribución paleogeográfica de las especies de foraminíferos planctónicos identificadas se

corresponde con latitudes tropicales a subtropicales, en el ambiente nerítico externo-batial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Albear, J. F. M. Iturralde, C. Díaz, E. Flores, J. Sánchez**, 1985, Contribución a la geología de las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana. Ed. Científico-Técnica, La Habana.
- Bolli, H. M.**, 1985, Comparison of zonal schemes for different fossil groups. *Plankton Stratigraphy*. Cambridge University Press. pp.3-10.
- Colectivo de Autores**, 2013, Léxico estratigráfico de Cuba. Instituto Cubano de Geología y Paleontología. La Habana. Cuba. ISBN: 978-959-7117-58-2.
- File de pozo Seboruco 17A**, 2012, Archivo Técnico Centro de Investigación del Petróleo, La Habana.
- File de pozo Seboruco 19**, 2013, Archivo Técnico Centro de Investigación del Petróleo, La Habana.
- File de pozo Seboruco 15**, 2005, Archivo Técnico Centro de Investigación del Petróleo, La Habana.
- File de pozo Seboruco 17**, 2009, Archivo Técnico Centro de Investigación del Petróleo, La Habana.
- Premoli, S. Isabella**, 2006, Practical Manual of Cretaceous Planktonic Foraminifera. pp. 47-51

Fecha de recepción: 19 de mayo de 2021

Fecha de arbitraje: 28 de mayo de 2021

Fecha de aprobación: 02 de junio de 2021

Aplicación de los métodos geofísicos georradar y tomografía eléctrica, en el estudio de taludes. Casos de estudio: Zona Especial de Desarrollo Mariel y Castillo de Santo Domingo de Atarés, Cuba

Melissa Pérez Barzaga¹, Orlando R. Carraz Hernández² y Claudia Blanco Concepción³

¹ Ingeniera Geofísica. Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas, INVESCONS, calle 100 N° 9107, entre Vento y 16, Altahabana, Boyeros. La Habana. ORCID ID 0000-0001-9123-3464. Correo Electrónico: melissapb97@gmail.com.

² Ingeniero Geofísico. Máster en Geofísica Aplicada. Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular e Investigador Titular. Universidad Tecnológica de La Habana «José Antonio Echeverría». ORCID ID 0000-0001-6866-061X. Correo Electrónico: orlando@civil.cuje.edu.cu.

³ Ingeniera Geofísica. Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas, INVESCONS, calle 100 N° 9107, entre Vento y 16, Altahabana, Boyeros. La Habana. ORCID ID 0000-0001-4906-4852. Correo Electrónico: claudia@enia.co.cu

RESUMEN

La investigación surge por la necesidad de explicar el comportamiento interno de los taludes en la Zona Especial de Desarrollo (ZED) Mariel, Zona A5, vial RIMCO en la provincia de Artemisa y en el Castillo de Santo Domingo de Atarés en la provincia La Habana, Cuba, con condiciones geológicas complejas y peligro de deslizamientos de masa rocosa. Con el objetivo de analizar las causas y prevenir desastres mayores, se ejecutaron investigaciones geofísicas mediante los métodos Georradar y Eléctricos con la variante de Tomografía Eléctrica y distintos arreglos electródicos. Las técnicas geofísicas de alta resolución ejecutadas, son ampliamente utilizadas en estudios geotécnicos de esta naturaleza, al generar imágenes continuas del perfil geológico con una elevada resolución. En el trabajo se demuestra la eficiencia de los métodos empleados en la caracterización interna de dichos taludes y se detectan probables superficies de fallas que pueden estar afectando los mismos. Los resultados alcanzados fueron comparados con la información de las perforaciones y los perfiles geológicos ya existentes y mues-

tra una alta correlación con los resultados de la geofísica. Por último, se obtuvo un modelo geológico a partir de los resultados geofísicos los cuales permitieron esclarecer cómo se comportan ambos taludes para la detección temprana de posibles deslizamientos. Esto demuestra cuán eficientes y útiles pueden llegar a ser el empleo y uso adecuado de dichas técnicas no invasivas en el campo de la ingeniería civil.

Palabras clave: Deslizamiento, taludes, tomografía eléctrica, georradar.

ABSTRACT

The research arises from the need to explain the internal behavior of the slopes in the Mariel Special Development Zone, Zone A5, RIMCO road in the province of Artemisa and in the Castillo de Santo Domingo de Atarés in the province of Havana, Cuba; with complex geological engineering conditions and danger of rock mass landslides. In order to analyze the causes and prevent major disasters, geophysical investigations were carried out using the Georradar and Electrical methods

with the Electrical Tomography variant and different electrode arrangements. The high resolution geophysical techniques are widely used in geotechnical studies of this nature, by generating continuous images of the geological profile with high resolution. The work demonstrates the efficiency of the methods used in the internal characterization of these slopes and probable fault surfaces that may be affecting them are detected. The results achieved were compared with the information from the existing drilling and geological profiles, showing a high correlation with the geophysical results. Finally, a geological model was obtained from the geophysical results which allowed to clarify how both slopes may be behaving for the early detection of possible landslides. This shows how efficient and useful the proper use and use of these noninvasive techniques can be in the field of civil engineering.

Key Words: Landslides, slopes, georadar, electrical tomography

RESUMO

A pesquisa surge da necessidade de explicar o comportamento interno das encostas na Zona Especial de Desenvolvimento de Mariel, Zona A5, estrada RIMCO na província de Artemisa e no Castillo de Santo Domingo de Atarés na província de Havana, Cuba; com condições complexas de engenharia geológica e perigo de deslizamentos de massa rochosa. A fim de analisar as causas e prevenir grandes desastres, investigações geofísicas foram realizadas utilizando os métodos Georadar e Elétrico com a variante de Tomografia Elétrica e diferentes arranjos de eletrodos. As técnicas geofísicas de alta resolução são amplamente utilizadas em estudos geotécnicos desta natureza, por gerar imagens contínuas do perfil geológico com alta resolução. O trabalho demonstra a eficiência dos métodos utilizados na caracterização interna dessas encostas e são detectadas prováveis superfícies de falhas que podem estar afetando-as. Os resultados obtidos foram comparados com as informações dos perfis geológicos e de sondagem existentes, mostrando uma alta correlação com os resultados geofísicos. Por fim, um modelo geológico foi

obtido a partir dos resultados geofísicos que permitiram esclarecer como ambas as encostas podem se comportar para a detecção precoce de possíveis escorregamentos. Isso mostra o quão eficiente e útil o uso adequado e o uso dessas técnicas não invasivas podem ser no campo da engenharia civil.

Palavras chave: Deslizamentos, encostas, tomografia eléctrica, georadar

INTRODUCCIÓN

En la práctica geotécnica es común la exploración del terreno mediante técnicas de perforación, ya sea por percusión y lavado o por rotación, procedimientos que son bastante costosos. En muy pocos proyectos se utilizan las técnicas de prospección geofísica, debido, al desconocimiento de esta valiosa herramienta. El diseño de obras de infraestructura demanda técnicas de generación de información del subsuelo, eficientes en términos de calidad de la información, de tiempo y costo de obtención de la misma. La posibilidad de conseguir este objetivo se encuentra en gran medida en la aplicación de métodos geofísicos (Arias *et al.*, 2012).

El moderno desarrollo de las actuales vías de comunicación, tales como canales, caminos y ferrocarriles, así como el impulso de la construcción de presas de tierra, el cuidado de obras de carácter industrial e histórico, han puesto al diseño, estudio y construcción de taludes, en un plano de importancia ingenieril de primer orden. Tanto por el aspecto como por las consecuencias derivadas de su falla, los taludes constituyen hoy una de las estructuras ingenieriles que exigen mayor cuidado por parte del proyectista. Los deslizamientos de tierra son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades por valor de decenas de billones de dólares cada año. Sin embargo, muy pocas personas son conscientes de su importancia. Todo esto debería ser considerado por las instituciones pertinentes a la hora de elaborar un plan de desarrollo y ordenamiento territorial y controlar su ejecución y cabal cumplimiento (Guzmán, 2019).

Cuba, ubicada en una región de clima subtropical, son frecuentes los eventos meteorológicos extremos, los que en ocasiones provocan grandes acumulados de lluvia, incrementando el contenido de agua en la masa de suelos o rocas, disminuyendo la fuerza de atracción entre las partículas y de una forma más general, su resistencia a esfuerzos cortantes o de cizalla (Tabares, 2015).

Desde los años 70, del siglo pasado, la comunidad de geofísicos y geólogos, ha comenzado a emplear, junto con otras técnicas, métodos geofísicos para caracterizar y monitorear los deslizamientos en taludes (Pazzi *et al.*, 2019).

Las técnicas de geofísica aplicada están orientadas a distinguir o reconocer formaciones geológicas que se encuentran en profundidad mediante la medición de parámetros físicos asociados a ellas: la densidad, la velocidad de las ondas elásticas, la resistividad eléctrica y/o la velocidad de las ondas electromagnéticas. Los métodos geofísicos son útiles cuando existen contrastes bien definidos entre las propiedades de los materiales del subsuelo y se utilizan para cartografiar horizontes del suelo y la posición del nivel freático y del basamento. La profundidad de penetración y la resolución de estos métodos, varían en dependencia del equipo que se utilice y de las condiciones del terreno. En la investigación geotécnica los métodos de exploración geofísica han de ser utilizados en combinación con la observación directa en campo y las perforaciones, los primeros son muy útiles como guía para determinar la ubicación de las perforaciones (Arias *et al.*, 2012).

Los esfuerzos de este estudio van encaminados al empleo de los métodos de Tomografía Eléctrica y Georradar, en los trabajos relacionados con los taludes en la ZED Mariel, Zona A5 provincia de Artemisa y en el Castillo de Santo Domingo de Atarés, La Habana, en el municipio de la Habana Vieja. Ambos lugares están relacionados con el desarrollo económico y la historia de Cuba.

Caso de estudio ZED Mariel, Zona A5, vial RIMCO
Se encuentra ubicado en el municipio de Artemisa, en la Zona Especial de Desarrollo Mariel específicamente en

la Zona A5, en uno de los viales que la conforman (**Figura 1**). El talud, el cual se aprecia en la (**Figura 2**) es aproximadamente 210 m de longitud y un espesor variable, desde 1 m al sur hasta 18 m en otros puntos. Se construyó utilizando voladura controlada para excavar la parte rocosa y equipos convencionales para las zonas que no se pudieron volar. Los trabajos de excavación avanzaron progresivamente de este a oeste hasta conformar el talud actual (González, 2018).

En el área de estudio se encuentra la Formación Peñalver del Paleógeno, cubriendo la Formación Vía Blanca del Cretácico. Ambas formaciones geológicas presentan un alto grado de tectonismo debido a los procesos geológicos intensos que las afectaron, como los movimientos entre la placa caribe y la norteamericana, al norte, que provocaron fallas geológicas, sistemas de fisuras y superficies de sobrecorrimientos (González, 2018).

La Formación Vía Blanca, está compuesta por intercalaciones de argilitas, areniscas, limolitas, conglomerados, calcarenitas, calizas, etc., desde poco espesor hasta varios metros. La Formación Peñalver, es una secuencia clástico-calcárea que varía desde conglomerados y gravelitas de grano grueso en la base hasta calcilutitas en la parte superior de la formación.

Caso de estudio 2. Castillo de Santo Domingo de Atarés

El Castillo de Santo Domingo de Atarés (**Figura 3**) construido en 1763 constituye una de las fortificaciones más importantes de la capital cubana y forma parte del segundo sistema defensivo de la ciudad. Se ubica exactamente en Fábrica entre Arroyo y Avenida de Gancedo, en el municipio

La Habana Vieja al margen sureste de la bahía y al sur del municipio, sobre un promontorio que se eleva 29 metros sobre el nivel del mar llamado Loma de Soto.

La fortaleza se encuentra enmarcada sobre dos formaciones geológicas, primeramente, la Formación Peñalver, la cual está compuesta por una secuencia clástico-calcárea, que varía desde gravelitas de grano grueso (parte baja) hasta calcilutitas de grano muy

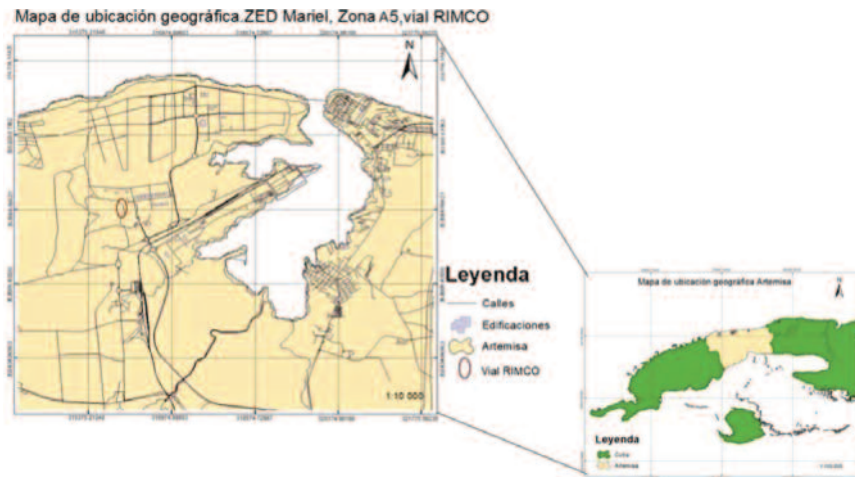


Figura 1. Situación geográfica del talud (Elaboración de los autores).

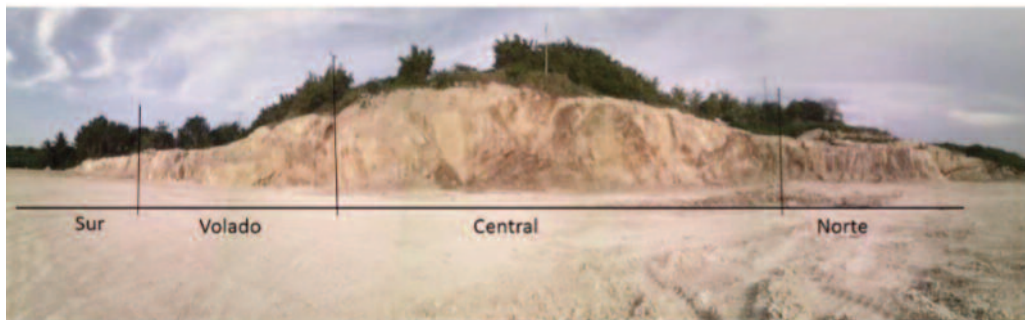


Figura 2. Vista general del talud con los tramos de estudio (González, 2018).



Figura 3. Situación geográfica del Castillo de Atarés (Elaboración de los autores).

fino (parte alta). El material clástico es en gran parte carbonatado y organógeno y en menor cantidad, ígneo. En la parte media del corte de esta unidad, en las capas de calcarenitas, en algunas localidades, se encuentran incluidos fragmentos orientados de material carbonoso, se presenta en forma de un sustrato plegado. Además, se encuentra la Formación Vía Blanca la cual litológicamente está formada por una secuencia *flyschoide* constituida por argilitas, limolitas y areniscas, de composición grauváquica, de color rojizo-verdoso y pardusco, con intercalaciones finas de margas blancas. Aparecen capas de conglomerados polimícticos en diferentes niveles, con matriz arenosa y arcilloarenosa, calizas detríticas, arcillas y tufitas (Hernández, 2019)

MATERIALES Y MÉTODOS

Los métodos para ejecutar la evaluación geotécnica de los taludes son diversos como SPT, DPSH y corte directo, pero en este caso se empleó la prospección geofísica la cual se torna una herramienta rápida, económica y de ejecución sencilla en comparación con otros medios de investigación del subsuelo. Para abarcar las dos áreas de estudio se ha previsto utilizar dos métodos geofísicos: tomografía eléctrica y georradar.

La tomografía eléctrica utiliza la medida de las resistividades de los materiales geológicos subsuperficiales para determinar su espesor y profundidad. Se usan diferentes configuraciones de electrodos, dispuestos a lo largo de una línea con un espaciado constante, de tal manera que cuando las medidas de resistividad se realizan entre electrodos próximos, la profundidad de investigación es pequeña, pero cuando se realiza entre electrodos muy separados, la profundidad de investigación es mayor. De esta forma se obtiene un perfil bidimensional de los valores de resistividad según una malla uniforme. El espaciado entre electrodos también condiciona la resolución y la profundidad de investigación. Si el espaciado es pequeño, la profundidad de penetración disminuye y la resolución de los datos aumenta. Los valores de resistividad obtenidos en la prospección

eléctrica, son interpretados mediante un software específico, que permite determinar la geometría y los espesores de las unidades con diferentes resistividades mediante un proceso iterativo de inversión (Ortiz *et al.*, 2007)

El georradar, se basa en la emisión y recepción de ondas electromagnéticas, capaz de reproducir imágenes del subsuelo y deducir el material presente bajo la superficie. Es un método electromagnético de reflexión de alta frecuencia cuando las ondas encuentran un contraste dieléctrico y se reflejan hacia la superficie (ley de Snell-Descartes). Las propagaciones de las ondas a través del terreno están regidas por las ecuaciones de Maxwell y dependen de las propiedades dieléctricas, y en especial, de las heterogeneidades que encuentran al propagarse las ondas, las cuales en el medio geológico tienen influencia de las características del terreno, tales como: la matriz de sus materiales, su porosidad y contenido de agua. El georradar contiene una unidad emisora, una unidad receptora y una unidad de registro, con base en el tiempo de retardo de la onda reflejada y la velocidad de propagación de la onda en la superficie, a través de la cual se deslizan antenas, se deduce la profundidad hasta donde se encuentra el objeto reflector. Su funcionamiento consiste en la emisión de ondas con una determinada frecuencia, con el fin de detectar las reflexiones producidas por el objeto de interés. La incidencia de la energía en las heterogeneidades del subsuelo genera reflexiones, refracciones y difracciones de las ondas, las cuales son captadas por una antena receptora que recibe la energía electromagnética tras su propagación por el medio. Las constantes que definen electromagnéticamente un medio son la conductividad, la permitividad eléctrica y la permeabilidad magnética (Benítez 2007).

La selección de estos métodos se basa en los factores que afectan los parámetros eléctricos (resistividad eléctrica y permitividad dieléctrica) y su extrema variabilidad espacio temporal. Estos parámetros están muy influidos por la mineralogía de las partículas, el contenido de agua, la naturaleza del electrolito, la porosidad y los procesos de meteorización y alteración de las rocas.

Proyección y ejecución de los trabajos

Caso de estudio 1

Con la finalidad de dar solución a la tarea técnica emitida por el Grupo de Proyecto e Ingeniería del Mariel, se realizó una visita de reconocimiento al talud, por parte de los especialistas geofísicos de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) para conocer las características del área de estudio y así proyectar la adquisición más factible a ejecutar.

Previo a los trabajos geofísicos, en el área se realizaron 7 calas en el vial, las cuales llegaron a profundidades entre 7 y 17 m y la información de la misma, se empleó para la posterior interpretación y además se llevó a cabo un levantamiento topográfico del área, para ubicar los trabajos geofísicos.

Para abarcar el área de estudio se proyectó utilizar dos métodos geofísicos: tomografía eléctrica y georradar. La toma de datos se planificó de la siguiente manera (Figura 4):

Tres perfiles de Tomografía Eléctrica, dos de 120 m de longitud en el tramo central del talud, con un espaciamiento entre electrodos de 3 m y separación entre ambos de 5 m y un perfil en el tramo volado de 100 m y espaciamiento entre los electrodos de 2.5 m.

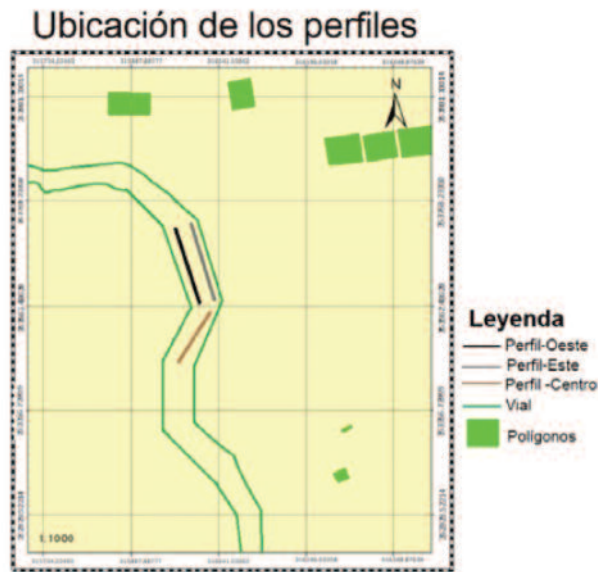


Figura 4. Ubicación de los perfiles geofísicos (Elaboración de los autores).

Además, se decidió utilizar las configuraciones dipolo-dipolo, polo-dipolo y gradiente múltiple.

Dos perfiles de Georradar de 170 m que coinciden en su inicio y hasta los 120 m con los perfiles proyectados de Tomografía Eléctrica en el tramo central. La antena a utilizar será la de 160 MHz.

En la ejecución de los trabajos se mantuvo la proyección planificada para la Tomografía Eléctrica. Se realizaron dos perfiles en el tramo central de 120 m de longitud, cada uno con un espaciamiento entre electrodos de 3 m y una separación entre ambos perfiles de 5 m. En el tramo volado se realizó un perfil central de 100 m de longitud, con un espaciamiento entre electrodos de 2.5 m, todos con una orientación sur-norte, en estos perfiles se emplearon las configuraciones dipolo-dipolo, polo-dipolo y gradiente múltiple.

Para el caso del georradar la toma de datos se realizó a lo largo de dos líneas que coinciden con los dos perfiles de tomografía eléctrica que se ejecutaron en el tramo central, midieron 170 m de longitud y abarcaron el tramo central y 50 m del tramo norte y se empleó una antena de 160 MHz.

Caso de estudio 2

Este trabajo de investigación se lleva a cabo, respondiendo a la Tarea Técnica emitida por la Oficina de Proyectos de la Dirección Habana Colonial, de la Oficina del Historiador. El objetivo es, explicar el comportamiento del relleno, suelos y rocas que se encuentran en la elevación donde se enclava el Castillo de Atarés, así como las posibles causas de los problemas observados en muros y viales. Para proyectar dicha adquisición se realizó una inspección al área de interés. En los muros exteriores del Castillo se apreció que presentan grietas y desplomes en algunas secciones. Además, las calles que lo bordean se encuentran agrietadas en varios puntos.

Por la apreciación de los fenómenos observados en la inspección realizada y dada las dificultades para la ejecución de calas en algunas partes del área de interés, se proyectó realizar un estudio del talud con la aplicación de dos métodos geofísicos: tomografía eléctrica y georradar.

Un factor importante que se debió contemplar para la ejecución de este trabajo, fue el escaso tiempo que se tenía para realizar el estudio, las condiciones de la zona de estudio y la extensa área que se debía cubrir, por lo que se decidió ejecutar dos perfiles de tomografía eléctrica y dos perfiles de Georradar y que los mismos coincidiesen en ambos métodos (**Figura 5**). La toma de datos se planificó de la siguiente manera:

- Dos perfiles de Tomografía Eléctrica con espaciamiento entre electrodos de 2 m y emplear las configuraciones Wener, dipolo-dipolo y gradiente múltiple.
- Dos perfiles de Georradar utilizando las antenas de 50 MHz y 450 MHz.

En los trabajos se realizó solo un perfil de tomografía eléctrica, por disponer de poco tiempo y las inclemencias del tiempo que hubo ese día. Este se situó en el perfil 1 proyectado y tuvo extensión de 80 m de longitud y un espaciamiento entre electrodos de 2 m, donde las configuraciones utilizadas fueron dipolo-dipolo y gradiente múltiple.

En el caso del método de georradar se ejecutaron dos perfiles, se emplearon dos antenas, primero la

de 50 MHz para llegar a mayores profundidades y luego se empleó la de 450 MHz para detallar la parte superior del corte.

Los *softwares* utilizados en el procesamiento son el Reflex2D y el Res2Dinv para el caso del Georradar y la Tomografía Eléctrica, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caso de estudio 1

A partir del análisis e integración de los resultados geofísicos junto con la información brindada de las calas, se llegó a los siguientes resultados: tomografía eléctrica

Interpretación del perfil de tomografía eléctrica Este: Las formaciones predominantes en el área, Peñalver y Vía Blanca, ambas de rocas sedimentarias, se caracterizan por valores de resistividad eléctrica relativamente bajos y con un sistema de agrietamientos bastante marcado en el corte (**Figura 6**) que se evidencia también en el perfil geológico que se encuentra al descubierto en dicho talud.

En ese corte los colores amarillo y marrón, con resistividades entre 20 y 30 Ωm , se encuentran menos afectadas por los procesos tectónicos y de meteorización en la zona se asocian a rocas areno-limosas poco cementada. Las dos zonas anómalas de bajas resistivi-



Figura 5. Perfiles geofísicos. Caso de estudio 2 (Elaboración de los autores).

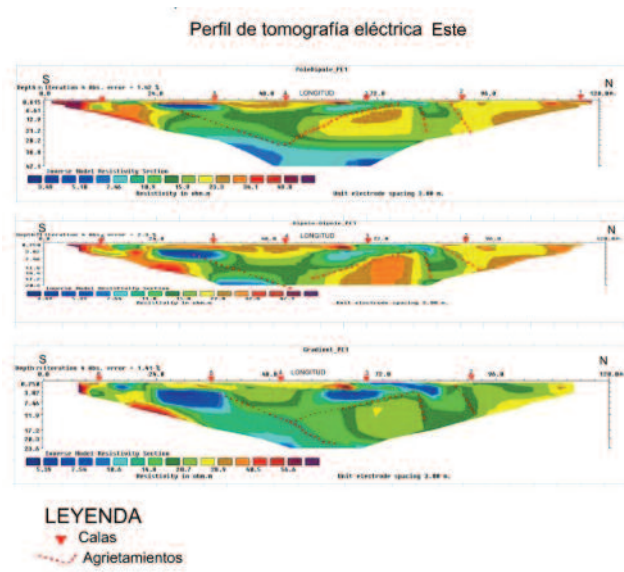


Figura 6. Tomografías eléctricas del perfil Este de las tres configuraciones ejecutadas (Elaboración de los autores).

dades, que se encuentran entre los 2 y 7 m de profundidad asociada a la imagen de tomografía eléctrica, de la configuración dipolo-dipolo, se relacionan al mismo proceso tectónico que está ocurriendo cerca, además se identifican agrietamientos (líneas discontinuas) que debilitan las rocas y crean espejos de fricción y fisuras.

Por último, entre los 28 a 30 metros se ubica la mayor zona de debilitamiento de dicho talud, se puede inferir que esté relacionada con un contacto de dos formaciones (Formación Peñalver y Vía Blanca). Esto se corroboró en la vista del tramo central del talud, en la cual igual se identifican ambas formaciones, ubicándose Peñalver encima de Vía Blanca.

Interpretación del perfil de tomografía eléctrica Oeste:

El siguiente perfil (**Figura 7**) a pesar de estar alejado de la zona expuesta a la meteorización, presenta resistividades más bajas en el orden entre los 10 y 20 Ωm , representan casi la totalidad de la sección analizada, por lo que se infiere que, en el interior del talud, hacia el oeste, la estructura del mismo es débil y presenta agrietamientos en el corte. Todas estas características que se identificaron, dan una medida de lo vulnerable que es el talud, a posibles deslizamientos o desprendimientos de bloques.

Interpretación del perfil de tomografía eléctrica centro:

Este corte (**Figura 8**) se encuentra representado en la parte central del perfil, entre los 20 y 70 m por resistividades del orden de los 50 a 60 Ωm , estos se asocian

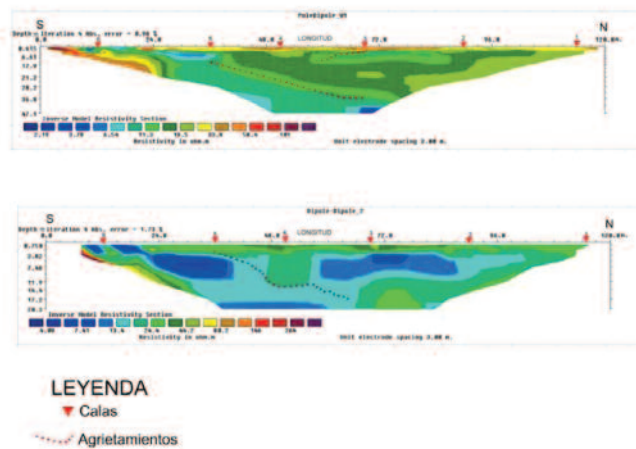


Figura 7. Tomografías eléctricas perfil Oeste de las dos configuraciones ejecutadas (Elaboración de los autores).

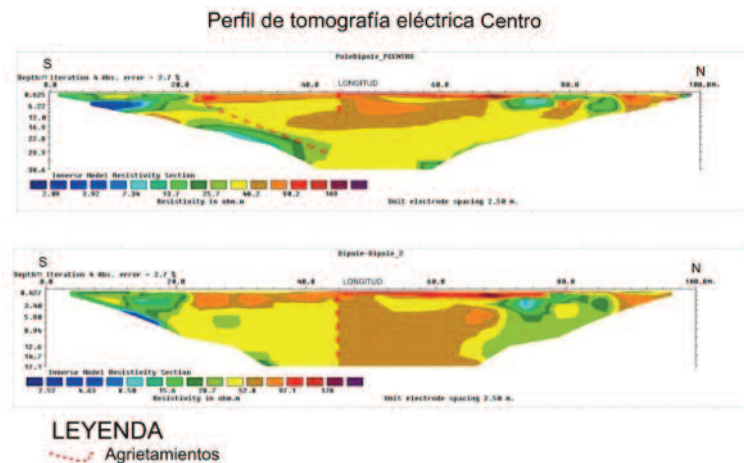


Figura 8. Tomografías eléctricas del perfil centro de las dos configuraciones ejecutadas. (Elaboración de los autores)

a rocas arenolimosas de consistencia firme. La zona anómala de menor resistividad, que se encuentra alrededor de los 70 m del perfil está asociada a la zona 6 (Figura 9), la cual en la parte expuesta del talud que se observó en la ejecución de la adquisición, se haya meteorizada y con agrietamientos.

Interpretación del Georradar

Los radargramas obtenidos evidencian una zonificación que puede correlacionarse con la información procedente de los pozos y la investigación geotécnica precedente. Se abordará la interpretación de uno de los perfiles, ya que son paralelos y presentan características similares entre sí. En la Figura 9, se muestran la identificación en el radargrama de las zonas Z-3 y Z6, zonas inestables de suelos y semi rocas a proteger de inmediato y de B1, bloque inestable.

También es posible identificar una primera de capa de espesor variable entre 4 y 8 m, que difiere en su comportamiento electromagnético de la capa infrayacente asociada a la formación Peñalver localizada en el talud.

Modelo geológico

Para culminar con la interpretación del caso de estudio se confeccionó un modelo geológico (Figura 10) de uno de los perfiles, para el perfeccionamiento del modelo geotécnico propuesto del talud.

El modelo se confeccionó a partir de la infor-

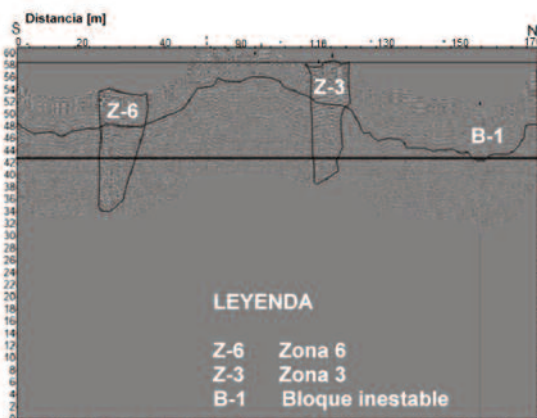


Figura 9. Perfil Oeste de Georradar (Elaboración de los autores).

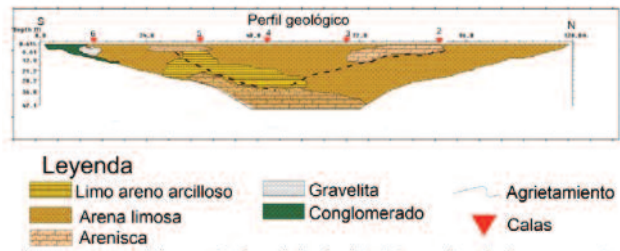


Figura 10. Modelo geológico del talud (Elaboración de los autores).

mación obtenida de los métodos geofísicos, tomografía eléctrica y georradar, además se utilizó la información recopilada de las calas para correlacionar los resultados de la interpretación de los métodos con la litología existente en el talud. En el mismo se puede apreciar la existencia de roca con poca dureza y procesos de agrietamiento que debilitan aún más dicho talud. La superficie de falla no se evidencia de forma clara, pero puede ser que se encuentre entre el contacto entre las dos formaciones Peñalver y Vía Blanca ubicado a los 20 m de profundidad y entre los 30 y 75 m de longitud del perfil.

Caso de estudio 2

Tomografía eléctrica

Debido a alta humedad del subsuelo, el estudio de resistividad eléctrica, reportó información de baja calidad, pero se logró trabajar con la imagen relacionada con la configuración dipolo-dipolo que se muestra a continuación. En la Figura 11 se muestra la sección eléctrica obtenida en el talud sobre el que se encuentra el Castillo.

En los primeros 12 m se encuentra una capa de roca seca, porosa, de ambiente sedimentario con resistividades eléctricas entre 23 y 40 Ωm y 5 m de profundidad, marcada con rombos. A partir de los 5 m de profundidad, la resistividad eléctrica comienza a disminuir a valores entre los 7 y 14 Ωm , puede deberse a humedad en la roca. Entre los 22 y 44 m de longitud del perfil se encuentra una capa de alta resistividad eléctrica entre los 40 y 60 Ωm que se relaciona con una roca dura y seca. Por debajo de esta capa y en el resto del perfil hasta los 80 m, disminuyen considerablemente las resistividades eléctricas hasta el orden de los 2 Ωm , que

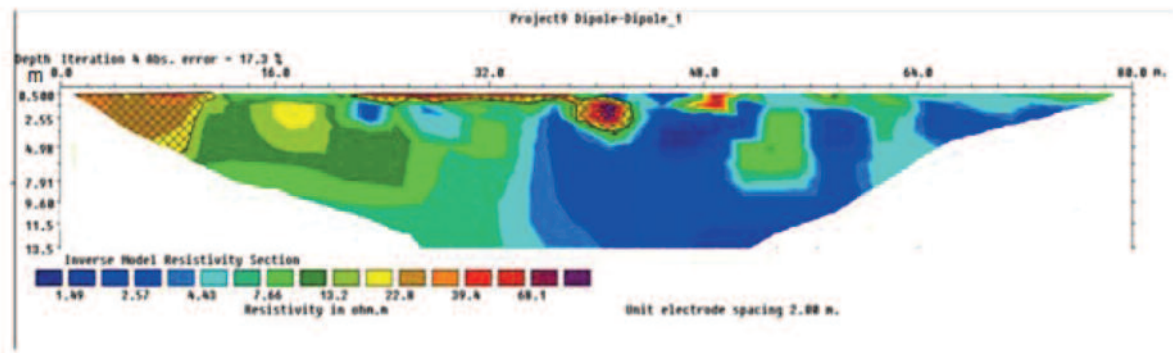


Figura 11. Perfil de Resistividades. Configuración dipolo-dipolo (Elaboración de los autores).

se interpreta como una roca muy húmeda y débil, hace que sea la parte más vulnerable del talud pues el agua constituye el factor pasivo debilitante del mismo. Se observan anomalías muy pequeñas, de muy baja resistividad eléctrica en contraste con zonas de mayor resistividad eléctrica, que pudieran ser microcavidades o zonas de muy alta porosidad rellenas de agua.

Georradar

La utilización del método georradar se justifica por ser un equipo ligero, fácil de transportar y la puesta se realiza en un escarpe o ladera. Además, variando la frecuencia de la antena obtienen imágenes de diferentes profundidades y resultados de altísima resolución para las frecuencias muy altas y lo sensible que es para detectar capas que tienen un grado alto de humedad.

Por otra parte, en comparación con la tomografía eléctrica, las ventajas que posee es que el límite entre una capa y otra nunca va a ser muy claro, porque se trata de isolíneas o valores convertidos en la tomografía. Este límite en el georradar es mucho más preciso cuando se trata de un análisis de la constante dieléctrica o de velocidades en el radargrama, ya que permite establecer de una forma más clara los límites entre las capas geológicas, a la vez que posibilita detectar dónde están esas capas que presentan esa alta conductividad eléctrica y se observa su reflejo o no, en el radargrama.

Por lo anterior, se decidió utilizar uno de los radargramas que coincide con los primeros metros del

perfil de tomografía eléctrica para complementar la interpretación de este trabajo.

La **Figura 12** muestra una sección de radargrama, que fue posible recuperar, consistente con los primeros 12 m de perfil trazado. Debido a la alta humedad de la zona los datos de georradar resultaron inutilizables por la alta atenuación de las ondas electromagnéticas y la pérdida de información. Esta imagen corrobora la capa de mayor resistividad eléctrica, de 5 m de espesor aproximado, como pudo observarse en la pseudosección eléctrica. A partir de los

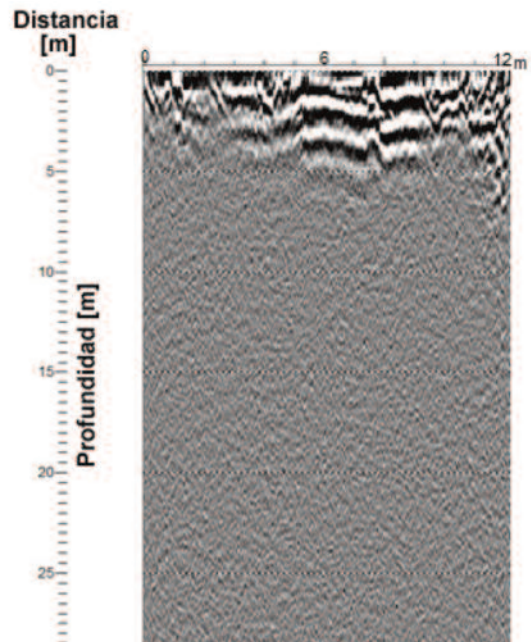


Figura 12. Sección de radargrama (Elaboración de los autores).

5 m hasta los 30 m de profundidad, la roca es extremadamente húmeda y débil por lo que existe una atenuación de la señal que refleja en mayor medida el grado de conductividad, que presentan las rocas a partir de esa capa.

Modelo geológico

A modo de resumen se confeccionó un modelo geológico (**Figura 13**) para esclarecer donde se encuentran las litologías pertenecientes a las formaciones Peñalver y Vía Blanca y dónde situar la superficie de falla del presente talud.

El modelo geológico está compuesto de rocas de origen sedimentario, las cuales se encuentran con un alto grado de humedad y debilitamiento en casi todo el corte. La superficie de falla se ubica sobre los 32 m de perfil aproximadamente. Esto corrobora lo apreciado en las visitas exploratorias realizadas al talud, en el cual se evidenció un desplazamiento de la masa rocosa que se encontraba afectando el muro perimetral del Castillo, por lo que se deben adoptar medidas inmediatas, para evitar el colapso o derrumbe de parte de la obra.

Medidas a tener en cuenta

En base al análisis realizado se sugiere estabilizar ambos taludes implementando pernos de anclaje, ma-

llas de alambre galvanizado, concreto lanzado, zanjas de coronación y pie de talud. Se recomienda establecer medidas de prevención en cuanto a la ubicación de personal, debido al posible rodamiento y caída de bloques en el tramo central de dicho talud.

CONCLUSIONES

- El monitoreo del talud con ambos métodos propuestos, Tomografía Eléctrica y Georradar permitió obtener datos de forma continua, corroborados por las calas existentes, sobre la estructura geológica y determinar zonas de agrietamientos, la existencia de un contacto entre dos litologías distintas y la superficie de falla de los taludes en la ZED Mariel, Zona A5 y en el Castillo de Santo Domingo de Atarés, Cuba.
- El método más efectivo fue la Tomografía Eléctrica ya que con este se pudo determinar las superficies de deslizamiento de los taludes estudiados y establecer una relación con la litología presente en ambos casos de estudio, lo cual corrobora su exitoso empleo en el país e internacionalmente.
- El método de Georradar presentó fallas en uno de los casos de estudio por la elevada



Figura 13. Modelo geológico del talud del Castillo de Santo Domingo de Atarés (Elaboración de los autores).

humedad, lo que provocó un aumento de la conductividad eléctrica en el área y como consecuencia la atenuación de gran parte de la señal.

● Los modelos geológicos establecidos para los taludes en la ZED Mariel, Zona A5 y en el Castillo de Santo Domingo de Atarés, son de gran utilidad al lograr aportar elementos (superficie de deslizamiento, grietas, humedad, etc.) que permiten perfeccionar el modelo geotécnica de partida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arias, D.E., O.E. Ramírez y F.H. Patiño, 2012, Relaciones geoelectricas en la exploración geotécnica. Boletín de ciencias de la tierra. 2012, 31, 39-50.

Benítez, F.A.F., 2007, EL método de ground penetration radar (gpr) en el reconocimiento del subsuelo.

Bièvre, G., D. Jongmans, T. Winiarski y V. Zumbo, 2012, Application of geophysical measurements for assessing the role of fissures in water infiltration within a clay landslide (Trieves area, French Alps). Hydrol. Process.

González Fonseca, W., 2018, Evaluación geotécnica del talud. Obra: Talud RIMCO. Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas ENIA.

Guzmán, L.X.P., 2019, Modelación y caracterización física 3D, mediante prospección geofísica del deslizamiento de Triguales Altos, Cuenca-Ecuador. Tesis en opción al grado de (inédita), Universidad de Cuenca,

Hernández Sotolongo, C.Y., 2019, Tarea técnica para los Trabajos de Geofísica en el Castillo de Atarés. Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas ENIA, 18 de junio 2019.

Ortiz, D.G., T.M. Crespo, S.M. Velázquez, F.J. Lillo Y C.D. Ignacio, 2007, Geoenvironmental characterization of mine ponds by means of electrical resistivity tomography. Geogaceta 2007.

Pazzi, V., Stefanomirelli Y Riccardofanti, 2019, A Review of the Advantages and Limitations of Geophysical Investigations in Landslide Studies. International Journal of Geophysics. 2019, Volume 2019, 27.

Tabares, P.D.L.T., 2015, Procedimiento para la evaluación de la estabilidad de taludes. Casos de estudio: Carreteras de montaña de la Sierra del Rosario, Cuba Occidental. Tesis en opción al grado de (inédita), Universidad de Pinar Del Río «Hnos. Saíz Montes de Oca» 2015.

Fecha de recepción: 21 de octubre de 2020
Fecha de arbitraje: 23 de octubre de 2020
Fecha de aprobación: 28 de octubre de 2020



Edad geológica de la Formación Margot y su relación con la composición geoquímica de las lavas en la provincia de Matanzas, Cuba

Rebeca Bristol Ávila¹ y Angélica Isabel Llanos Castro²

¹ Ingeniera Geóloga. Instituto de Geología y Paleontología (IGP), Cuba. ORCID ID: 0000-0003-3711-0468. Correo Electrónico: rebeca.b@igp.minem.cu

² Ingeniera Geóloga. Doctora en Ciencias Geológicas, Cuba. ORCID ID: 0000-0003-2705-2217. Correo Electrónico: isa19111961@gmail.com

RESUMEN

En la Formación Margot, ubicada en la provincia de Matanzas (Cuba) se describen diferentes cortes geológicos y dataciones, lo que genera incertidumbre acerca de su sección estratigráfica típica. Por lo que el objetivo general es reconstruir la columna estratigráfica de la Formación Margot mediante el análisis crítico de la información geólogo-estratigráfica, paleontológica y geoquímica de las lavas asociadas, a través de la correlación de las columnas estratigráficas propuestas por otros autores, el análisis de la información paleontológica y la determinación de la afinidad geoquímica de las lavas presentes para diferenciarlas en el corte geológico. Un análisis crítico de la información de trabajos previos permitió la utilización de una serie de datos estratigráficos, paleontológicos y geoquímicos. Como resultado se obtuvo una columna estratigráfica dividida en tres secciones fundamentales (vulcanógeno-sedimentarias) que se diferencian por su composición litológica, edad y afinidad geoquímica de las vulcanitas. La sección inferior se caracteriza por la presencia de calizas micríticas y basaltos (lava) afíricos en lo fundamental. En la intermedia se observan predominio de material volcanoclástico, mientras que la superior se

destaca por el predominio de silicitas, calizas y basaltos (lava) porfíricos en almohadillas. Desde este punto de vista se diferencia la presencia de los dos tipos de basaltos (lava) que existen, los cuales indican un ambiente de formación tipo MORB-N a MORB-N y de zona de suprasubducción (ZSS). Dicha afirmación refleja la complejidad litológica que existe en una misma unidad.

Palabras Clave: Basalto, datación, estratigrafía, Formación Margot, geoquímica.

ABSTRACT

In the Margot Formation, located in the province of Matanzas (Cuba), different geological sections and dates are described, which generates uncertainty about its typical stratigraphic section. Therefore, the general objective is to reconstruct the stratigraphic column of the Margot Formation through the critical analysis of the geologic-stratigraphic, paleontological, and geochemical information of the associated lavas, through the correlation of the stratigraphic columns proposed by other authors, the analysis of paleontological information and determination of the geochemical affinity

of the lavas present to differentiate them in the geological section. A critical analysis of the information from previous works allowed the use of a series of stratigraphic, paleontological and geochemical data. As a result, a stratigraphic column was obtained divided into three fundamental sections (vulcanogenic-sedimentary) that differ by their lithological composition, age and geochemical affinity of the vulcanites. The lower section is characterized by the presence of micritic limestone and fundamentally aphyric basalt (lava). In the intermediate one, a predominance of volcanoclastic material is observed, while the upper one stands out for the predominance of silicites, limestones and porphyritic basalts (lava) in pads. From this point of view, it was possible to differentiate the presence of the two types of basalts (lava) that exist, which indicate a MORB-N to MORB-N type formation environment, and a suprasubduction zone (SSZ). This statement reflects the lithological complexity that exists in the same unit.

Keywords: Basalt, dating, stratigraphy, Margot Formation, geochemistry.

RESUMO

Na Formação Margot, localizada na província de Matanzas (Cuba), são descritos diferentes cortes geológicos e datações, o que gera incerteza sobre sua seção estratigráfica típica. Portanto o objetivo geral é reconstruir a coluna estratigráfica da Formação Margot por meio da análise crítica das informações geológico-estratigráficas, paleontológicas e geoquímicas das lavas associadas, por meio da correlação das colunas estratigráficas propostas por outros autores, a análise de informações paleontológicas e determinação da afinidade geoquímica das lavas presentes para diferenciá-las na seção geológica. A análise crítica das informações de trabalhos anteriores permitiu a utilização de uma série de dados estratigráficos, paleontológicos e geoquímicos. Como resultado, obteve-se uma coluna estratigráfica dividida em três seções fundamentais (vulcanogênico-sedimentares) que se diferenciam pela composição litológica, idade e afinidade geoquímica dos vulcanitos. A parte inferior é caracterizada pela pre-

sença de calcário micrítico e basalto fundamentalmente afírico (lava). Na intermediária, observa-se a predominância de material vulcanoclástico, enquanto a superior se destaca pela predominância de silicitos, calcários e basaltos porfíricos (lava) em almofadas. Deste ponto de vista, foi possível diferenciar a presença dos dois tipos de basaltos (lava) existentes, que indicam um ambiente de formação do tipo MORB-N a MORB-N, e uma zona de suprasubducção (SSZ). Esta afirmação reflete a complexidade litológica que existe na mesma unidade.

Palavras chave: Basalto, datação, estratigrafia, Formação Margot, geoquímica.

INTRODUCCIÓN

La Formación Margot se desarrolla en la parte oriental de la provincia de Mayabeque y en la occidental de la provincia de Matanzas de forma muy limitada (De Huelbes *et al.* 2014) al aflorar como inmensos bloques entre serpentinitas brechosas en la mina Margot y otras localidades cercanas al Valle Yumurí (Piotrowski & Myczynski, 1986). Limita al norte con el estrecho de la Florida, al sur con el municipio Limonar, al este con el municipio Cárdenas y al oeste con la provincia de La Habana (**Figura 1**).

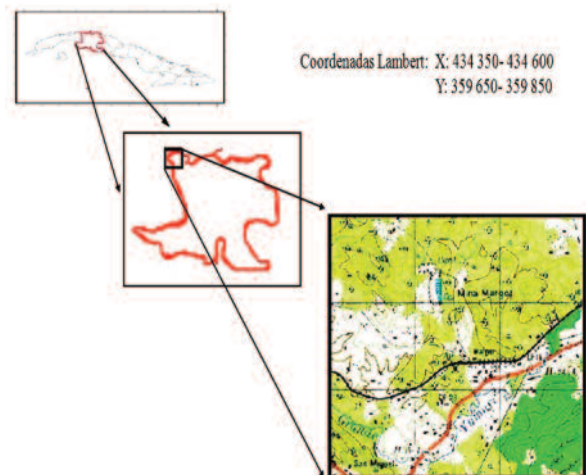


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio (Oliveiros, 2010 y GEOCUBA, 2014).

La información obtenida a través de la bibliografía supone que la Formación Margot se desarrolló durante el Cretácico Inferior (Albiano)-Cretácico Superior (Turoniano). Pero la descripción de sus diferentes cortes geológicos y dataciones -por varios autores- ha generado cierta incertidumbre acerca de su sección estratigráfica típica, por lo que es necesario analizar en detalle todo lo que se ha realizado y propuesto hasta el momento para reconstruir la columna estratigráfica de la Formación Margot, mediante el análisis crítico de la información geológico-estratigráfica, paleontológica y geoquímica de las lavas asociadas. El conocimiento previo sobre la afinidad geoquímica de las lavas contribuyó en gran medida a la propuesta de sección estratigráfica típica, al permitir la diferenciación del contenido de basaltos (porfídicos y afíricos) en la parte superior e inferior de la unidad de forma respectiva, además de poseer una variada litología formada por calizas, silicitas, lutitas, esquistos y tobas.

MATERIALES Y MÉTODOS

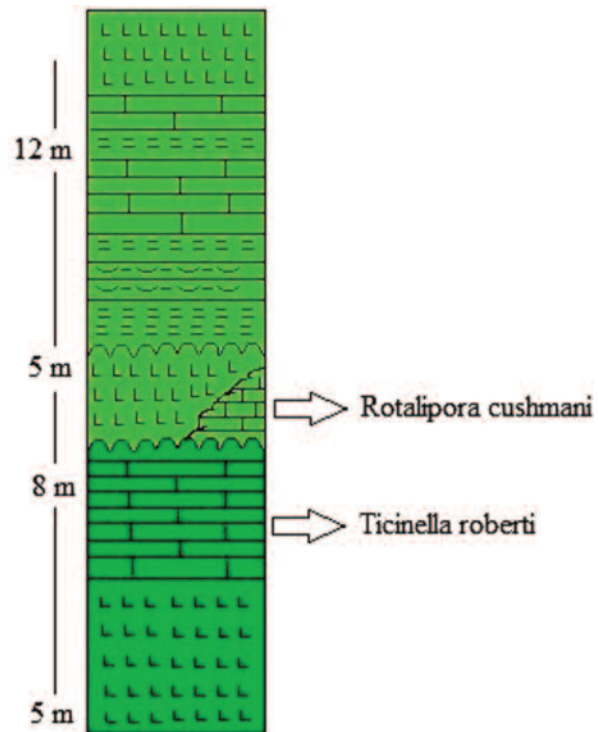
A partir de las publicaciones nacionales e internacionales más importantes que atañen a la estratigrafía, paleontología y geoquímica de la Formación Margot, se analizó el registro geológico de la secuencia vulcanógeno-sedimentaria al tomar en consideración las características litológicas, físicas del afloramiento litoestratigráfico y las estructuras sedimentarias, bastante frecuentes en areniscas y calizas.

Su identificación asociada a la litología permitió entender la serie de cambios sedimentológicos a través de la secuencia vulcanógeno-sedimentaria. Para ello se analizaron las columnas estratigráficas propuestas por Meyerhoff & Hatten (1957) (Figura 2), Piotrowski & Myczynski (1986) (Figura 3) y Pszczółkowski (2002) (Figura 4) que contienen la mayor cantidad de información posible acerca del área de estudio, en cuanto a estructuras sedimentarias y características litológicas de forma principal. Además de tener en cuenta las observaciones de Fonseca *et al.* (1989).

Para el análisis del contenido faunístico basado

en foraminíferos planctónicos, se utilizaron de modo principal los datos de asociaciones fosilíferas (Figura 5) extraídos de los trabajos de Meyerhoff & Hatten (1957), Piotrowski & Myczynski (1986), Fonseca *et al.* (1989), Llanes *et al.* (1997) y Pszczółkowski (2002).

En lo sucesivo se utilizaron los fósiles índices para delimitar las secciones geológicas de cada una de las columnas estratigráficas, propuestas por los distintos autores, con el objetivo de determinar la edad de cada secuencia.



Leyenda

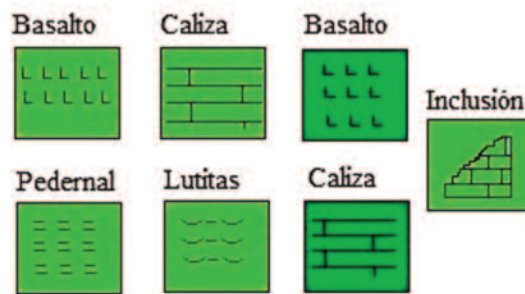


Figura 2. Columna estratigráfica propuesta por Meyerhoff & Hatten (1957) que ilustra la parte inferior de la Formación Margot.

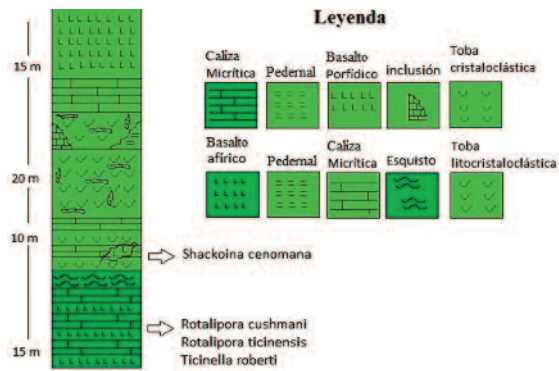


Figura 3. Columna estratigráfica propuesta por Piotrowski & Myczynski (1986) que ilustra la parte baja e inferior de la Formación Margot.

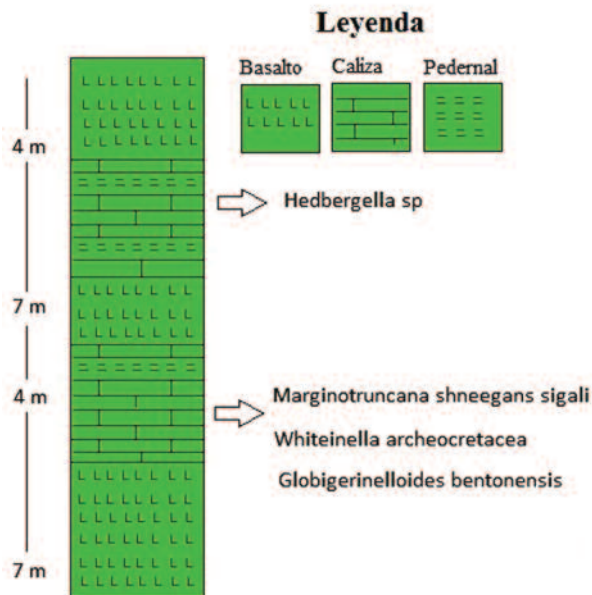


Figura 4. Columna estratigráfica propuesta por Pszczółkowski (2002) que ilustra la parte superior de la Formación Margot.

EDAD	ASOCIACIÓN FOSILÍFERA	Meyerhoff & Hatten (1957)	Piotrowski & Myczynski (1986)	Fonseca et al. (1989)	Llanes et al. (1997)	Pszczółkowski (2002)
Turoniano	<i>Marginotruncana shneegansi</i> <i>Whiteinella archeoretacea</i> <i>Globigerinelloides bentonensis</i> <i>Rotalipora cushmani</i>					
Albiano-Cenomaniano	<i>Rotalipora cushmani</i> <i>Schackoina cenomana</i> <i>Hedbergella planispira</i> <i>Ticinella roberti</i> <i>Praeglobotruncana delrioensis</i> <i>Rotalipora ticinensis</i>					
Aptiano	<i>Hedbergella sp</i> <i>Ticinella sp</i>					

Figura 5. Fósiles índices reportados para la Formación Margot.

A partir de los diferentes diagramas de elementos mayores y traza, propuestos por diferentes autores (Figura 6, 7 y 8), se esclareció la afinidad geoquímica de las lavas. Además, se realizó un procesamiento geoquímico (Figuras 9, 10, 11, 12) con las muestras tomadas para el trabajo de Llanes *et al.*, (2015). Para el procesamiento de las muestras, se usaron los métodos de Espectrometría de emisión con Plasma acoplado de forma inductiva (ICP-OES) y Espectrometría de masa con plasma acoplado por inducción (ICP-MS). Las técnicas utilizadas, determinaron los elementos mayoritarios y trazas de roca total y mena, mediante un equipo modelo ACTIVA M con un generador de radio frecuencia. A partir de estos métodos aplicados, se logró dilucidar la existencia de los dos tipos de basaltos que existen en la unidad objeto de estudio.

En la Figura 6, se observa origen de los basaltos que está relacionado con un fundido pirolítico representado por el área P. También se observa la distribución de las diabasas que afloran en la región y de forma clara están asociadas a los basaltos. En el primer diagrama las rocas de la Formación Margot junto

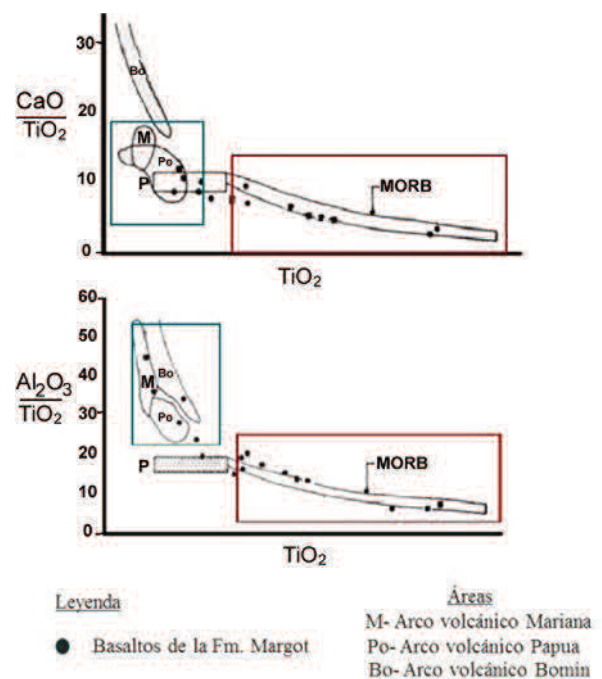


Figura 6. Representa la variación entre TiO_2 y la relación CaO/TiO_2 y Al_2O_3/TiO_2 para rocas volcánicas y basaltos.

con la de Encrucijada se distribuyen en el área que corresponde a MORB y P, pero en el segundo diagrama aumenta la relación Al_2O_3/TiO_2 . Las muestras de Margot llegan hasta las áreas de los áreas volcánicas recientes y cuencas interarcos (Fonseca *et al.*, 1989).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los trabajos de Ducloz (1963) y Meyerhoff & Hatten (1957) abarcaron la parte inferior de la secuencia efusivo-sedimentaria Margot. Los segundos autores, a diferencia del primero que se refiere solo a los basaltos, estudian además los sedimentos y los datan como Albiano-Cenomaniano. Sin embargo, determinaron la

edad Aptiano-Albiano en calizas oscuras en la parte más baja de la mina y consideraron que podía ser una fauna redepositada. Piotrowski & Myczynski (1986) redescubren la secuencia efusivo-sedimentaria de Margot como una sola sección, sobre la base de afloramientos que incluyen la parte baja de mina Margot hasta la localidad de Corral Nuevo, a 1 km al sur de la mina. Al seguir lo sugerido por Meyerhoff & Hatten y de acuerdo con sus propios datos (Cenomaniano), proponen la edad Albiano-Cenomaniano para los afloramientos estudiados. Fonseca determina que la secuencia efusivo-sedimentaria de Margot es de edad Aptiano-Albiano, sobre la base del fechado paleontológico que realizaron (Tabla 1) y separa en ella, dos secciones donde, en la inferior sitúan los basaltos afiricos y en la superior los porfídicos. Sin embargo, su opinión contradice la presencia de basaltos porfídicos advertida antes por Piotrowski & Myczynski (1986), pero que en parte coincide con las observaciones de Meyerhoff & Hatten (1957) cuando describen un cuerpo de basalto, al parecer afirico, hacia abajo en el corte de la mina. Pszczółkowski (2002) considera que la secuencia es de edad Cenomaniano-Turoniano, junto a las discusiones que plasma en su investigación acerca de las edades de los foraminíferos plantónicos que fueron colectados por él y las edades inciertas de la parte inferior de la unidad litoestratigráfica (¿Albiano Tardío? o ¿Cenomaniano-Turoniano?) sugiere que esas rocas del Cretácico Inferior, sí están presentes y no son características para el estratotipo de la Formación Margot.

Fonseca *et al.* (1989) consideran que los basaltos de la Formación Margot tienen una afinidad geoquímica desde basaltos de dorsal centrooceánica (MORB) hasta de tipo arco volcánico o cuenca interarco (Figura 6). Llanes *et al.* (1997) (Figura 8) realizan un análisis petroquímico en basaltos a través de la geoquímica aplicada a los elementos mayores y traza. Los elementos Ti, Y, Zr, Hf, Ta y Nb, considerados como HFSE (*High Field Strength elements*), fueron utilizados como criterio discriminante por su comportamiento inmóvil de forma amplia, durante el intemperismo del suelo oceánico, alteración hidrotermal y bajo grado de

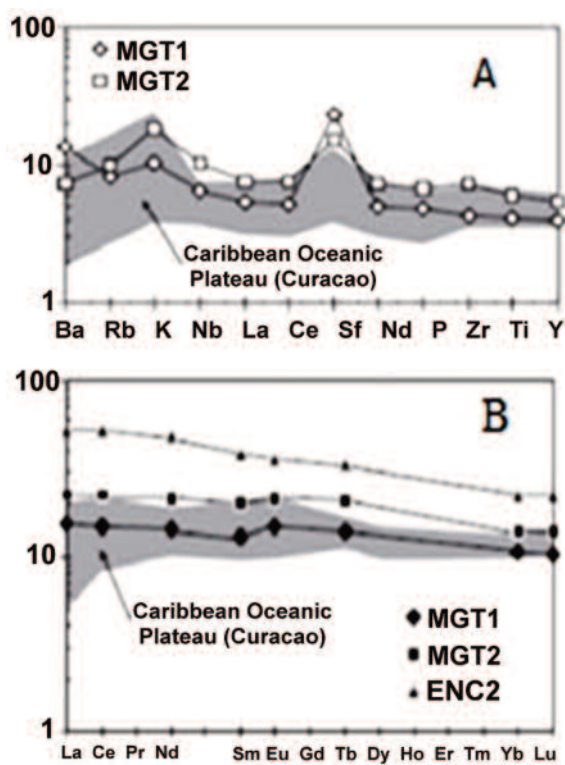


Figura 7. Manto Primitivo y normalizado de multielementos que muestran las rocas ígneas mesozoicas encontradas en la Formación Margot, con una composición similar a las boninitas encontradas al oeste del Pacífico (A). Tierras raras de condrito normalizado y ploteado que muestra un set representativo de las rocas ígneas del Mesozoico cubano, con una composición similar a las boninitas encontradas al oeste del Pacífico (B) (Kerr *et al.*, 1999).

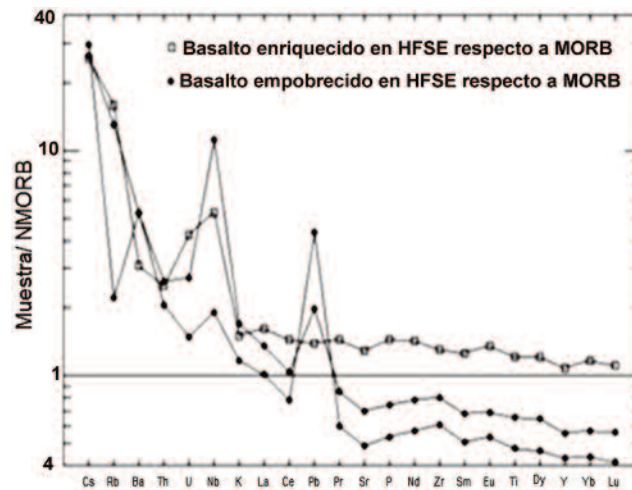


Figura 8. Aumento del contenido de los basaltos de la Formación Margot frente a elementos móviles como el Nb (Llanes *et al.*, 1997).

metamorfismo. De acuerdo con las características petrologo-geoquímicas de las lavas basálticas estudiadas, los autores separan dos tipos fundamentales de efusivos ofiolíticos: transicionales entre IAT (toleítas de arco de isla) y MORB (basaltos de dorsal centrooceánica) y transicionales entre MORB-N (MORB normal) y MORB-E (MORB enriquecido). En opinión de Kerr *et al.* (1999) (Figura 7, A y B) las dos muestras de basaltos colectadas durante sus investigaciones se encontraban dentro del área norteña de melange de las ofiolitas, de forma moderada enriquecidas en REEs claros ($[(La/Y)_n \sim 1.5]$). De esta forma opinan, que los basaltos no se clasifican como MORB-N, que son enriquecidos respecto a MORB, del tipo lavas intraplacas oceánicas. Adicionado a esto explican que los mismos no poseen suficientes anomalías negativas de Nb, característico para las lavas de zona de subducción y que no están de modo significativo enriquecidos en el LILEs (*Large ion valency cations elements*). Más tarde, Llanes *et al.* (2015) proponen que los basaltos de la Formación Margot parecen corresponder con toleítas tipo dorsal centrooceánica contaminada (C-MORB), con un componente de subducción, lo que difiere de su distinción como toleítas intraplacas, propuesto por otros autores.

En este trabajo se propone, a partir del procesamiento geoquímico de los basaltos (Figuras 9, 10, 11,

12), que las lavas existentes en la Formación Margot corresponden con basaltos de dorsal centrooceánica normal (MORB-N) con tendencia a comportarse como basaltos de dorsal centrooceánica enriquecida (MORB-E) y basaltos con componentes de zona de suprasubducción (ZSS). Por este motivo, las autoras de esta investigación están en desacuerdo que la unidad litoestratigráfica deba estudiarse como una sola sección como lo expresaron los autores Piotrowski & Myczynski (1986) y Pszczółkowski (2002), pues la misma está dividida por dos tipos de basaltos, que se formaron en edades geológicas diferentes. En la parte superior del corte se tienen basaltos porfídicos y en la inferior afíricos, tal y como lo plantearon los autores Meyerhoff & Hatten (1957) y Fonseca *et al.* (1989).

De acuerdo con esta información y a todo lo planteado con anterioridad, al considerar que la Formación Margot está dividida en tres secciones fundamentales en base a criterios paleontológicos, según la composición litológica de la unidad y al procesamiento geoquímico de sus basaltos. Sobre esta base se expresa que la sección inferior es de edad Albiano Superior-Cenomaniano y Aptiano-Albiano, la cual está compuesta por materiales finos que transicionan a sedimentos más gruesos de edad Cenomaniano. La parte superior de la formación está conformada por sedimentos de grano fino de edad Turoniano.

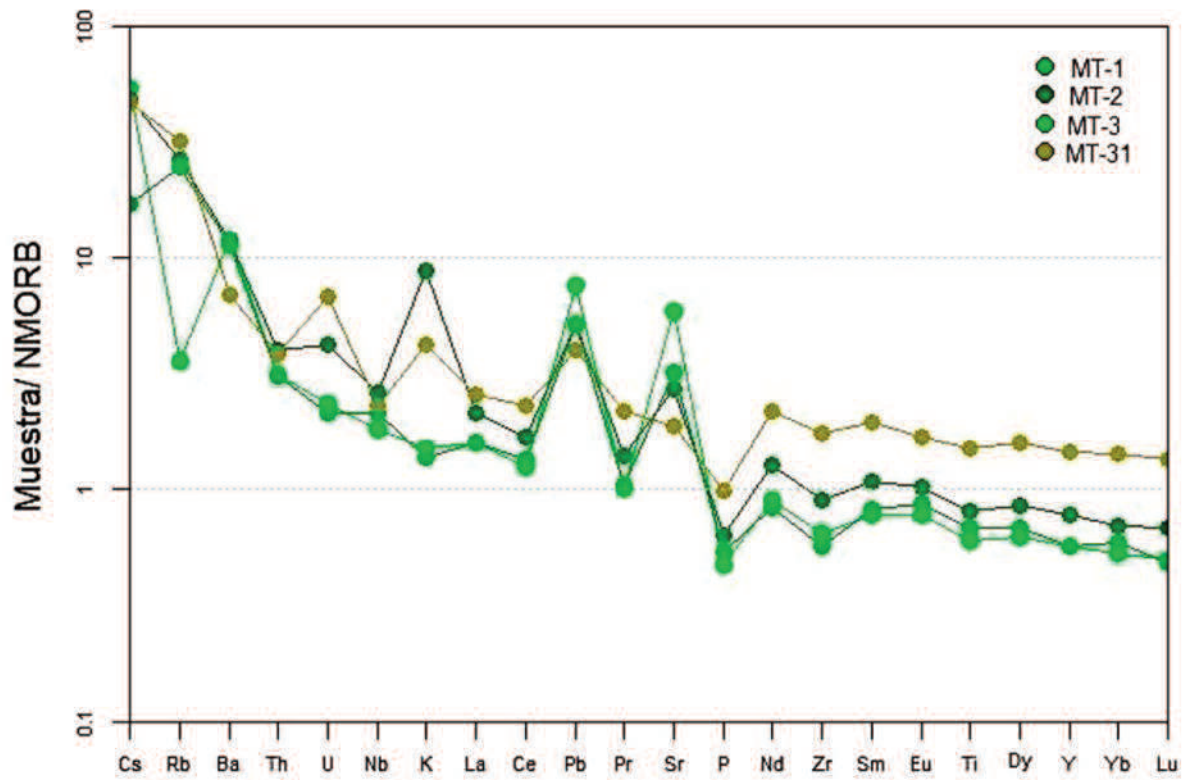


Figura 9. Diagrama de multielementos de basaltos de la Formación Margot, con dos patrones de comportamiento respecto a N-MORB (Sun and McDonough, 1989).

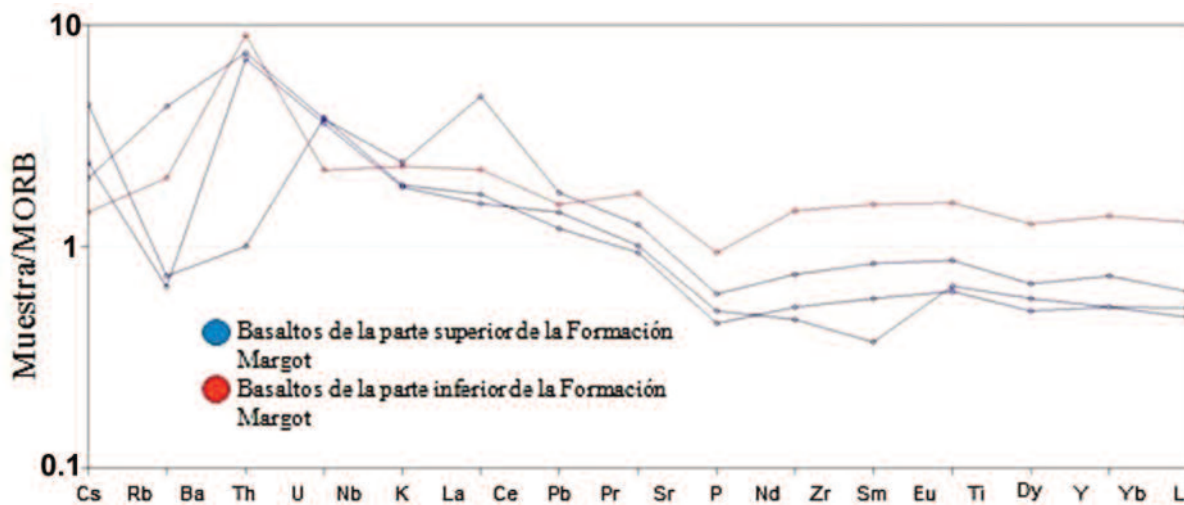


Figura 10. Procesamiento geoquímico de las muestras de basaltos de la Formación Margot, donde se ilustra la distribución de los basaltos.

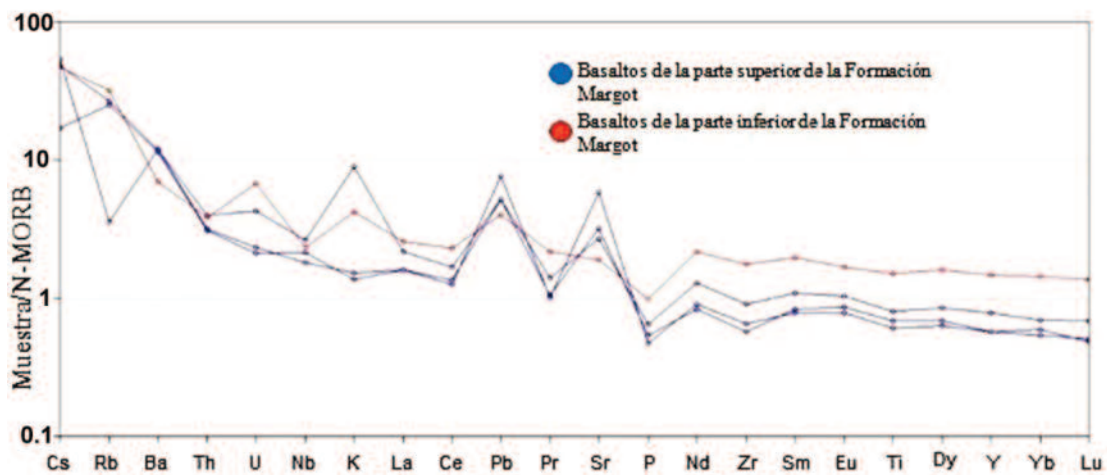


Figura 11. Procesamiento geoquímico de las muestras de basaltos de la Formación Margot, donde se ilustra la afinidad de los basaltos de la parte superior del corte geológico hacia un área de MORB normal.

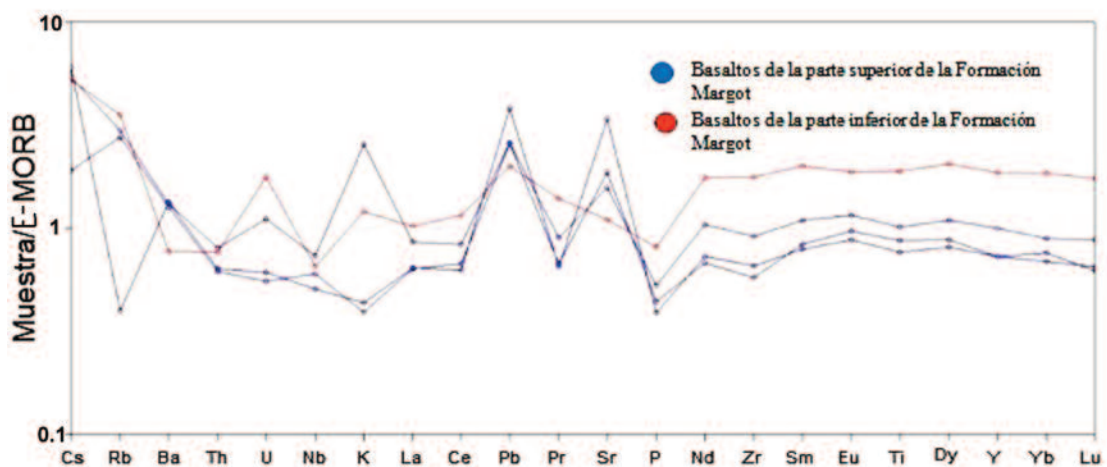


Figura 12. Procesamiento geoquímico de las muestras de basaltos de la Formación Margot, donde se ilustra la afinidad de los basaltos de la parte inferior del corte geológico hacia un área de tipo MORB enriquecido.

La propuesta de columna estratigráfica (**Figura 13**) para la Formación Margot, comienza con la deposición de calizas micríticas-esparíticas oscuras, intercaladas con basaltos afíricos que corresponden al Albiano-Cenomaniano. Sobre ellos se depositan un conjunto de basaltos cuyo contacto con las calizas no queda definido para los autores, pero que será intrusivo o eruptivo. En la base de dichos basaltos ocurre una inclusión de calizas del Turoniano. Estos basaltos aparecen de manera discordante debajo de los esquis-

tos, los cuales están intercalados con lutitas tobáceas del Aptiano-Albiano. Sobre estos sedimentos se depositan las calizas oscuras sobreyacidas por un conjunto de basaltos afíricos y esquistos oscuros. Sobre ellas se depositan un complejo de tobas litoclásticas intercaladas con tobas cristaloclásticas con inclusiones, lentes y nódulos de pedernales, esquistos y calizas. Sobre ellas hay un conjunto de calizas, sobre las que hay basaltos porfídicos intercalados con calizas del Turoniano.

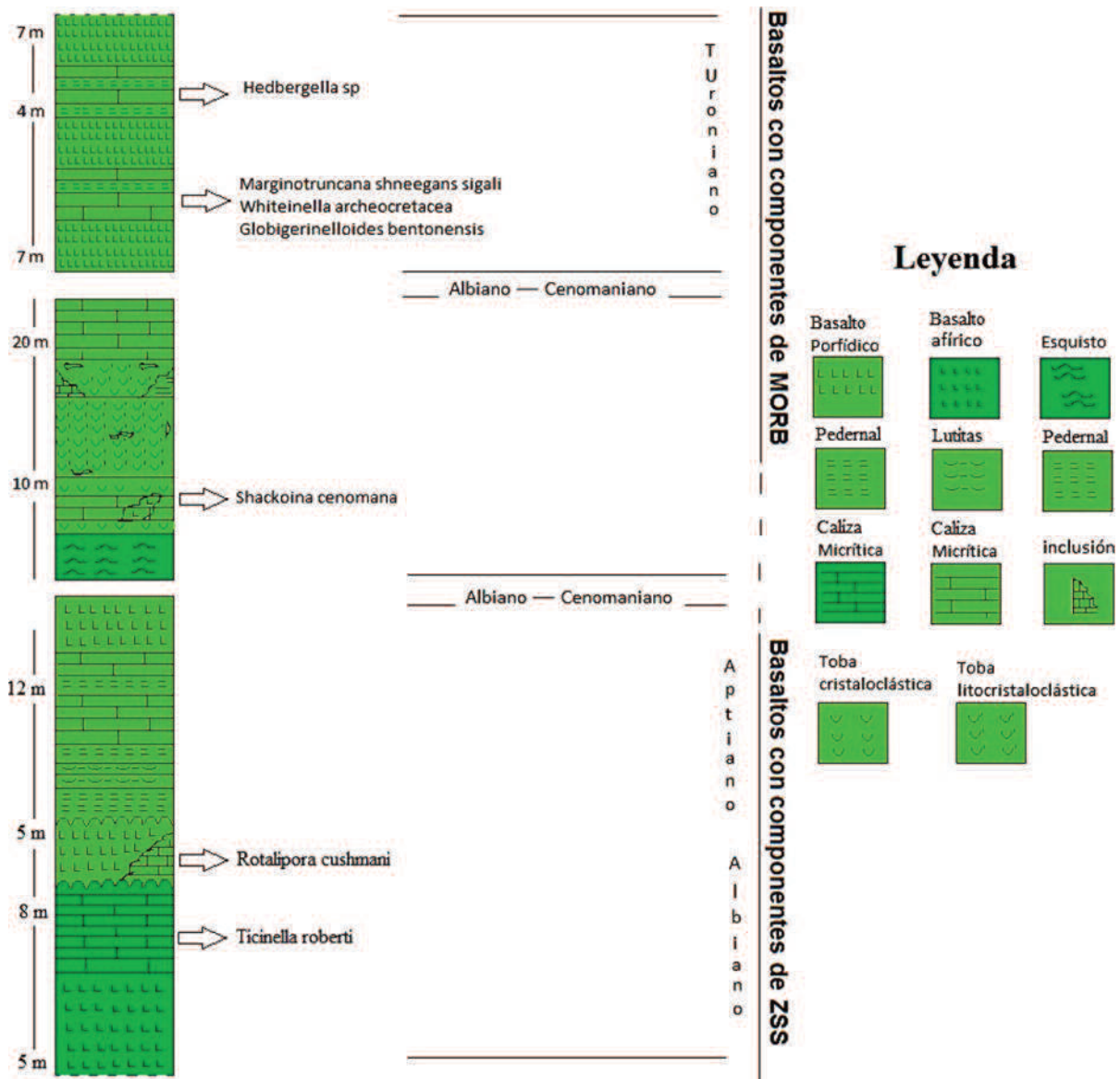


Figura 13. Propuesta de columna estratigráfica para la Formación Margot a partir de los datos paleontológicos y estratigráficos obtenidos de las investigaciones precedentes y el procesamiento de muestras de basaltos utilizadas en este trabajo.

CONCLUSIONES

1. Se comprobó mediante la reelaboración de la columna estratigráfica, que la Formación Margot está dividida en tres secciones con una variada litología, desde calizas de grano fino (micritas) y lavas afíricas, que transicionan a una sección intermedia de calizas esparíticas, que se intercalan con lutitas tobáceas, tobas cris-
2. De acuerdo con los datos paleontológicos obtenidos de las investigaciones precedentes, se propuso para la Formación Margot la edad Cretácico Inferior (Aptiano-Albiano)-Cretácico Superior (Cenomaniano-Turoniano).

3. Mediante el procesamiento geoquímico de sus basaltos se constató que existen dos tipos de lavas en la Formación Margot: MORB-N a MORB-E y de zona de suprasubducción (ZSS).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Sun, W. F. McDonough**, 1989, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Geological Society, London, Special Publications, 42, 313-345.
- De Huelbes, A. J & Bernal. L.**, 2014, Código Estratigráfico de Cuba. Instituto de Geología y Paleontología. Ministerio de Energía y Minas. Proyecto 613410. La Habana, pp. 1-64
- Ducloz, C.**, 1963, Apuntes sobre el yeso del valle de Yumurí, Matanzas. Sociedad Cubana de Historia Natural, p. 25
- Fonseca, E., Gonzáles, R. & Delgado, R.** (1989). Presencia de efusivos ofiolíticos y de boninitas en las provincias de La Habana y Matanzas. Boletín Técnico de Geología, p. 9
- Grupo Empresarial GEOCUBA**, 2014, Mapa Topográfico de Cuba, La Habana, Cuba.
- Kerr, A. C., Iturralde-Vinent, M. A., Saunders, A. D., Babbs, T. L. & Tarney, J.**, 1999, A Geochemical reconnaissance of Cuban Mesozoic volcanic rocks. Implications for plate tectonic models of the Caribbean. A contribution to UNESCO/ IUGS IGCP Project 364, p. 19
- Llanes, A. I., Santa Cruz-Pacheco, M., García, I., Morales, A., Palacio, B & Fonseca, E.**, 1997, Informe del Proyecto I+D «Petrología y mineralización de la asociación ofiolítica de Habana-Matanzas (Cuba occidental)». Centro Nacional de Información Geológica (CNDIG). Instituto de Geología y Paleontología, La Habana. Inventario No 1188, p. 65
- Llanes, A. I., Díaz de Villalvilla. L., Despaigne-Díaz, A. I., Ronneliah, S. M., García, J. D.**, 2015, Geoquímica de las rocas volcánicas máficas de edad cretácica de la región de Habana-Matanzas (Cuba occidental): implicaciones paleotectónicas. Instituto de Ciencias de la Tierra y el Espacio, Vol.16, No.2, pp.117-133.
- Meyerhoff, A. A., Hatten, C. W. & Norton, P.**, 1957, Geology and paleontology of Margot mine, Matanzas (inédito). Oficina Nacional de Recursos Minerales, La Habana, Cuba, Inventario No. 971, p. 8.
- Oliveros, B. A.**, 2010, Población, ambiente y desarrollo: una mirada desde la ruralidad en Cuba. Geocuba, p. 17.
- Piotrowski, J. & Myczynski, R.**, 1986, Los depósitos vulcanógeno-sedimentario de la zona Zaza en la provincia de Matanzas. Bull. Pol. Acad. Sci., p. 34.
- Pszczólkowski, A.**, 2002, The Margot Formation in western Cuba, A volcanic and Sedimentary Sequence of Cenomanian-Turonian age, p. 15.

Fecha de recepción: 18 de junio de 2021

Fecha de arbitraje: 24 de junio de 2021

Fecha de aprobación: 28 de junio de 2021

Estratigrafía del yacimiento cuaternario de microvertebrados fósiles El Abrón, en el karst de Sierra La Güira, provincia Pinar del Río, Cuba

Reinaldo Rojas Consuegra¹, Jesús M. Pajón Morejón², Ernesto Aranda Pedroso³, Luis A. Bázquez Rodríguez⁴, Soraida Freol González⁵ y Esther Pérez Lorenzo⁶

¹ *Doctor en Ciencias Geológicas. Investigador Titular. Centro de Investigación del Petróleo. CUPET-MINEM. Churrucá No 481, Cerro, La Habana, Cuba C.P. 12000. ORCID ID: 0000-0003-1572-2527. Correo Electrónico: rojas@ceinpet.cupet.cu.*

² *Profesor, Investigador Auxiliar. Museo Nacional de Historia Natural de Cuba, AMA-CITMA. Obispo No. 61, e/ Obispo y Baratillo. La Habana Vieja, La Habana., Cuba, CP 10100. ORCID ID: 0000-0002-0089-6244. Correo Electrónico: jesusmpajon@gmail.com.*

³ *Master en Geología, Investigador Agregado. Museo Nacional de Historia Natural de Cuba, AMA-CITMA. Obispo No. 61, e/ Obispo y Baratillo. La Habana Vieja, La Habana., Cuba, CP 10100. ORCID ID: 0000-0003-4550-343X. Correo Electrónico: ernesto.aranda87@gmail.com.*

⁴ *Ingeniero Geólogo, Curador. Museo Nacional de Historia Natural de Cuba, AMA-CITMA. Obispo No. 61, e/ Obispo y Baratillo. La Habana Vieja, La Habana., Cuba, CP 10100. ORCID ID: 0000-0002-4564-1747. Correo Electrónico: barzaga920310@gmail.com.*

⁵ *Licenciada en Biología, Curadora. Museo Nacional de Historia Natural de Cuba, AMA-CITMA. Obispo No. 61, e/ Obispo y Baratillo. La Habana Vieja, La Habana., Cuba, CP 10100. ORCID ID: 0000-0002-9287-0534. Correo Electrónico: sory1090@gmail.com.*

⁶ *Licenciada en Ciencias Sociales. Directiva. Museo Nacional de Historia Natural de Cuba, AMA-CITMA. Obispo No. 61, e/ Obispo y Baratillo. La Habana Vieja, La Habana., Cuba, CP 10100. ORCID ID: 0000-0003-2698-2674. Correo Electrónico: estherperez2702@gmail.com.*

RESUMEN

El yacimiento paleontológico cuaternario El Abrón, ha sido objeto de estudio durante la ejecución de los proyectos de investigación del Museo Nacional de Historia Natural de Cuba. Como resultado de una amplia prospección, en general de modo empírico y mediante procedimientos inadecuados, son raros los depósitos paleontológicos en el país, que no hayan sido perturbados y hasta destruidos, con pérdida de información y materiales científicos, irre recuperables. Este trabajo, como

objetivo principal, ofrece la estratigrafía sensu lato de este yacimiento prístino de microvertebrados fósiles, situado en el karst de la Sierra de la Güira en el este de la Cordillera de Guaniguanico, de provincia de Pinar del Río, en Cuba occidental. En varias temporadas han sido realizadas excavaciones, con documentación detallada por capas naturales y colecta de vertebrados fósiles. La metodología clásica de la estratigrafía, es la base de la presente comunicación. Hasta el momento se compiló la existencia de más de 40 taxones de di-

ferentes tipos de vertebrados en el yacimiento. Se definieron cinco secuencias de facies (con agrupación de capas), se valoró por su abundancia el contenido fósil del depósito y la interpretación paleoambiental general se enmarca en cinco etapas, correlacionadas con las secuencias definidas. Se constató que El Abrón representa uno de los escasos yacimientos cuaternarios en el karst del país, que aún conserva su estratigrafía natural, con escasa intervención antrópica, lo cual lo convierte en un valioso geosítio para la Paleontología de vertebrados en Cuba, de alta importancia desde el punto de vista del patrimonio geológico y para su geoconservación.

Palabras clave: Depósito paleontológico, karst, restos fósiles.

ABSTRACT

The El Abrón quaternary paleontological site has been the subject of study during the execution of the research projects of the National Museum of Natural History of Cuba. The main objective of this work is to present the stratigraphy of this deposit of fossil microvertebrates, located in the karst of the Sierra de la Güira in the east of the Cordillera de Guaniguanico, Pinar del Río province, in western Cuba. Excavations have been carried out in several seasons, with detailed documentation by natural layers, and a collection of fossil vertebrates. The classical methodology of stratigraphy, which is the basis of this communication. So far, the existence of more than 40 taxa of different types of vertebrates in the site has been compiled. Five facies sequences were defined, with grouping of layers, the fossil content of the deposit was valued by its abundance, and the general paleoenvironmental interpretation is framed in five stages, correlated with the defined sequences. It was found that El Abrón represents one of the few quaternary deposits in the country's karst, which still preserves its natural stratigraphy, with little anthropic intervention, which makes it a valuable geosite for vertebrate paleontology in Cuba; in addition, of high importance from the point of view of the geological heritage, and for its geoconservation.

Key words: Paleontological deposit, karst, fossil remains.

RESUMO

O sítio paleontológico quaternário El Abrón foi estudado durante a execução dos projetos de pesquisa do Museu Nacional de História Natural de Cuba. O objetivo principal deste trabalho é apresentar a estratigrafia sensu lato deste depósito de microvertebrados fósseis, localizado no cárstico da Sierra de la Güira a leste da Cordillera de Guaniguanico, na província de Pinar del Río, em Cuba. ocidental. As escavações foram realizadas em várias temporadas, com documentação detalhada por camadas naturais e uma coleção de vertebrados fósseis. A metodologia clássica da estratigrafia, que está na base desta comunicação. Até o momento, foi compilada a existência de mais de 40 táxons de diferentes tipos de vertebrados no local. Foram definidas cinco sequências de fácies (com agrupamento de camadas) o conteúdo fóssil do depósito foi valorizado por sua abundância, e a interpretação paleoambiental geral é enquadrada em cinco estágios, correlacionados com as sequências definidas. Verificou-se que El Abrón representa um dos poucos depósitos quaternários do cárstico do país, que ainda preserva sua estratigrafia natural, com pouca intervenção antrópica o que o torna um geossítio valioso para a paleontologia de vertebrados em Cuba; de elevada importância do ponto de vista do patrimônio geológico, e para a sua geoconservação.

Palavras chave: Depósito paleontológico, carste, restos fósseis.

INTRODUCCIÓN

En Cuba los estudios paleontológicos, en cavidades kársticas, tienen una larga historia y se ha generado una amplia literatura especializada (Rojas-Consuegra, 2021). Sin embargo, como resultado de esa amplia prospección, en general de modo empírico y mediante procedimientos ya hoy en desuso, son raros los depósitos paleontológicos en el país, que no hayan sido perturbados y hasta destruidos, con pérdida de información

y materiales científicos irrecuperables (Rojas-Consuegra, 2005, 2008; Rojas-Consuegra *et al.*, 2007).

Ante la anterior problemática, recientemente se ha tenido la oportunidad de realizar una investigación paleontológica en detalle, de un depósito casi prístino, de potencial valor informativo. El yacimiento paleontológico cuaternario El Abrón, ha sido antes objeto de estudio durante la ejecución de los proyectos de investigación del Grupo Paleogeografía y Paleobiología del Museo Nacional de Historia Natural (Suárez-Duque *et al.* 2011; Rojas-Consuegra, 2015a), los cuales se han retomado en los últimos tres años.

El objetivo del trabajo, es dar a conocer el contexto estratigráfico general del yacimiento de microvertebrados fósiles El Abrón, situado en el karst de la Sierra de la Güira en la parte este de la Cordillera de Guaniguanico, en la provincia de Pinar del Río, Cuba occidental. Como objetivo específico se planteó el ensayo de la interpretación paleoambiental de este particular depósito fosilífero. Además, realiza la recopilación el registro fósil de vertebrados conocido hasta el momento y se destaca la importancia que representa este geosítio para su conservación patrimonial (Rojas-Consuegra, 2015b).

Los trabajos paleontológicos previos ya han reportado varias especies fósiles procedentes de esta localidad (Suárez y Díaz-Franco; Jiménez-Vázquez *et al.*, 2005; Suárez y Olson, 2015).

En los últimos años se han desarrollado trabajos de excavación y colecta en este sitio con fines científicos (Zelenkov *et al.*, 2020; Pérez-Lorenzo *et al.*, 2020; Pajón *et al.*, 2020; 2021), cuyos materiales están en procesamiento por parte de varios especialistas que han obtenido algunos resultados ya publicados en varias comunicaciones, sobre todo hallazgos taxonómicos (Zelenkov y González, 2020; Syromyatnikova *et al.*, 2020; 2021).

Este trabajo contribuye a la diseminación científica sobre este tipo de investigación y a la vez, acerca sus resultados a los actores sociales a quienes interesa este geosítio especial, dados sus valores científicos, a los fines de su geoconservación.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Estratigrafía es una rama principal de la Geología, sus principios y métodos son hoy ciencia constituida, los cuales están contenidos en una amplia literatura y monografías (Arche, 1992; Vera, 1994). En las excavaciones manuales realizadas la documentación y muestreo se hizo de acuerdo con las capas naturales que conforman el depósito, como se muestra en el esquema textual incluido. Los métodos y técnicas aplicados son los clásicos para este tipo de labor estratigráfica, suficientes para cumplir el objetivo propuesto.

Este depósito fosilífero tuvo su origen en una cavidad kárstica (**Figura 1**), desarrollada en caliza microgranular clara de estratificación gruesa, perteneciente al Miembro Tumbitas (Housa y Nuez, 1972), de la Formación Guasasa (Herrera, 1961). La edad de esta secuencia karstificada es Cretácico Inferior (Valanginiense), según Cobiella-Reguera (2008) y el Léxico Estratigráfico de Cuba (De Huelbes, ed., 2013).

El Abrón es una solapa kárstica semicircular, abierta al sureste, con un ancho de unos 20 metros, un techo alto en forma de campana de derrumbe, donde el material clástico caído es común. El ambiente diagenético de la cavidad ha favorecido la acumulación de los restos de vertebrados terrestres bien conservados. Se considera la acumulación ósea que lo constituye como resultado del aporte biogénico de egagrópilas de lechuzas (*Tytos* spp.). Estas peculiaridades han permitido la formación del yacimiento de micromamíferos fósiles pleisto-holocénico, tal vez hoy, mejor conservado en el país y la región antillana.

Aquí se considera, solo condicionalmente, el término microvertebrados, por tratarse de aquellos restos óseos recuperados, en su mayoría pertenecientes a especímenes de tallas pequeñas en general (aves, reptiles, anfibios, mamíferos), pero donde también se incluyen elementos esqueléticos de individuos juveniles pertenecientes a grupos de macromamíferos (perezosos, roedores y otros).

La estratigrafía bien conservada de este sitio, lo hace una localidad de alto valor para el estudio de las asociaciones de vertebrados cuaternarios y el revelado



Figura 1. Mapa de ubicación del sitio fosilífero El Abrón en el contexto del karst (tomado de (Syromyatnikova *et al.*, 2021).

de una posible biozonificación en el tiempo geológico, que abarca con toda probabilidad los últimos 50 miles años del Cuaternario. Al tomar en cuenta la preservación de la estratigrafía natural del depósito, los datos y procesos documentados en la localidad y su entorno, se asume una interpretación paleoambiental.

Las secuencias delimitadas en el depósito siguen varios criterios: cambios granulométricos notables; presencia de clastos, fragmentos o bloques, cantidad o abundancia relativa de restos fósiles (riqueza), presencia de horizontes con posibles asociaciones fosilíferas condensadas (capas muy fosilíferas), coloración en general, posibles diastemas (hiatos cortos) en la acumulación sedimentaria y cambios estructurales deducidos en el entorno kárstico del sitio.

La ubicación exacta del presente sitio paleontológico se mantiene protegida mientras se realiza la investigación en curso y deberá ser limitada a especialistas o autoridades oficiales, como aconseja la práctica paleontológica, para evitar acciones de expolio y daños potenciales a este destacado acervo científico-patrimonial.

En este estudio se consultó la literatura paleontológica sobre el sitio, incluyendo los informes técnicos presentes (inéditos) y se valoró de forma preliminar la información resultante de las excavacio-

nes realizadas previamente. Los presentes resultados, se espera que sean mejorados en el futuro, con la disponibilidad de nueva información que aporten los estudios sistemáticos y paleontológicos específicos en curso.

RESULTADOS

El Abrón es un sitio con un registro fósil que abarca varios grupos de vertebrados y escasos invertebrados (moluscos pulmonados). Se encuentran restos de anfibios, reptiles, aves y mamíferos. En este trabajo, se brinda a continuación, la compilación de los taxones descritos hasta la fecha, algunos ya resultado de la actual investigación conjunta (ver citas).

Registro Fósil de Vertebrados

Hasta ahora la mayoría de los registros de entidades fósiles de El Abrón se encuentran inéditos, reportados en informes, tesis o en catálogos de colecciones. Así, entre los anfibios hay evidencia de las tres familias autóctonas: *Eleutherodactylidae*, *Bufo* y *Hylidae* (Aranda y Suárez, 2013), sin profundizar aún en géneros y especies; en los reptiles se han descrito los lagartos *Anolis* sp., *Tarentola* sp. (Aranda y Suárez, 2013), anfisbenios como *Cadea* cf. *blanoides* (Syromyatnikova *et al.*, 2020) y las serpientes cf. *Cubatyphlops* sp.,

Tropidophis melanurus, *Tropidophis* sp., *Cubophis* cf. *cantherigerus*, *Arrhyton* sp., *Caraiba* cf. *andreae*, *Dipsadidae* indet. y *Natricidae* indet. (Syromyatnikova et al., 2021); de las aves se registraron *Capella* sp., *Tyto noeli*, *Falco kurochkini*, *Siphonorhis daiquiri*, *Athene cunicularia*, *Torreornis inexpectata* (Suárez, 2004), además *Psittacara euops*, *Ferminia cerverai*, *Tyto maniola* (Suárez y Olson, 2020) y *Todus* sp. (Zelenkov y González, 2020).

También, entre los mamíferos se encontraron los roedores *Boromys ofella* (Díaz-Franco, 2001), *B. torrei* (Díaz-Franco, 2002), *Geocapromys columbianus* (Suárez y Olson, 2015), *Mesocapromys* sp. (González, 2016); el insectívoro *Nesophontes micrus* y el perezoso *Neocnus gliriformis* (Suárez y Díaz-Franco, 2008); los murciélagos *Antrozous pallidus*, *Artibeus anthonyi*, *Brachyphylla nana*, *Macrotus waterhousei*, *Phyllops silvai* (Suárez y Díaz-Franco, 2003) y *Eptesicus fuscus*, *Erophylla sezeorni*, *Monophyllus redmani*, *Phyllonycteris poeyi*, *Pteronotus parnelli* y *Tadarida brasiliensis* (González, 2016).

Además, han salido dos resultados sobre el estudio del reemplazamiento dental en nesofóntidos (musarañas) (Lopatin, 2021a) y anomalías su dentición (Lopatin, 2021b).

Sucesión Estratigráfica

Se describe la estratigrafía del depósito con un carácter de secuencias, según los diferentes criterios que pudieron ser distinguidos. Los estudios en desarrollo proporcionarán información complementaria que aportará nuevos detalles, como la composición taxonómica por niveles estratigráficos (bioestratigrafía), sus edades y aquellos aspectos paleoecológicos más relevantes, incluyendo valoraciones sobre las variaciones paleoclimáticas del Cuaternario en la región.

La sección reexcavada ha alcanzado 3.20 metros de profundidad, sin llegar aún al fondo de la cavidad kárstica (Pérez-Lorenzo et al., 2020; Pajón et al., 2020).

Los límites de secuencias establecidos aquí, no corresponden siempre o exactamente, con las divisiones estratigráficas documentadas en trabajos previos:

I-IX (Suárez y Díaz-Franco, 2008; Suárez et al., 2011), pues responden a criterios de agrupamiento diferentes (Figura 1).

Aquí la información estratigráfica sirve de marco espacial y temporal para los estudios subsiguientes, que se llevan a cabo y aquellos que en el futuro se realicen, sobre aspectos paleontológicos (taxonómicos y sistemáticos), fechados, cronobioestratigráficos, paleoecológicos, paleoclimáticos detallados, etc., referentes al yacimiento El Abrón.

Secuencias de facies

Las cinco secuencias de facies (SF), de forma simplificada de SF1 a SF5, que conforman el yacimiento, son de arriba a abajo, (Figura. 2):

SF1 (0,00-0,28 m). Comprende las capas I-III. Secuencia areno-arcillosa, friable, en la superficie expuesta activa, muy rica en material óseo, de coloración pardo cremosa-grisácea-pardo

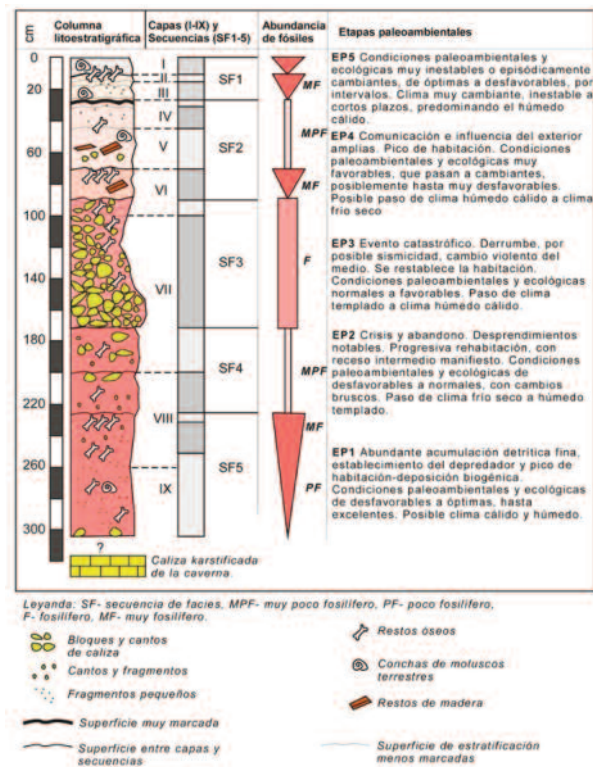


Figura 2. Columna litoestratigráfica del yacimiento paleontológico El Abrón, con una interpretación secuencial y paleoambiental generales.

claro. En la base rica en fósiles (10 cm), con fragmentos pequeños, carbonatados, fosilífera (6 cm) a tope muy rica en fósiles y poco fragmentaria (12 cm). Espesor 28 cm. Esta capa revela una cierta influencia antrópica, con destaque de cenizas de posibles fogatas. Por su edad más joven correspondería al Holoceno Tardío-Antropoceno.

SF2 (0,28-0,95 m). Capas IV-VI, (parte). Secuencia areno-arcillosa, carbonatada, con fragmentos de coloración crema-pardo claro-pardo oscuro, con madera en la parte baja (15 cm); hacia arriba más carbonatada, clástica, pobremente fosilífera con madera (35 cm); poco fosilífera (17 cm); capa oscura (mineralizada) a tope (3 cm). Espesor 67 cm. Existe un límite muy marcado a tope, posible expresión de un cambio ambiental drástico.

SF3 (0,95-1,72 m). Capa IV-VII. Secuencia clásica, brechosa, areno-arcillosa parda rojiza (72 cm); con capa muy fosilífera a tope (15 cm). Espesor 87 cm. Derrumbe de la roca de caja, ampliación de la cavidad kárstica con posible establecimiento de una comunicación abierta al exterior.

SF4 (1,72-2,25 m). Capa VII-VIII partes. Secuencia areno-arcillosa, coloración parda rojiza, parte inferior (25 cm); a clástica parte superior (38 cm), con presencia de fragmentos. Espesor 63 cm.

SF5 (2,25-2,90 m). Capas VIII-IX, partes. Secuencia areno-arcillosa, coloración pardo rojiza a crema, pobre en restos óseos en la parte inferior (40 cm); con aumento ligero del material óseo hacia arriba (20 cm); y con una capa fosilífera muy rica a tope (5 cm). Espesor 65 cm.

SF6 (2,90-3,20 m). Capas IX, continuación. Secuencia areno-arcillosa, parda rojiza a crema, contiene de modo relativo, pocos restos óseos

(15 %), con clastos y cristales de calcita. Se observa algún carbonato. Espesor 30 cm. Continúa hacia abajo.

Observaciones tafonómicas

La acumulación de sedimentos y restos óseos que ha dado origen al depósito fosilífero indagado es muy rica en vertebrados cuaternarios (Pleisto-Holoceno). El Abrón, desde el punto de vista granulométrico, está compuesto por sedimentos de grano muy fino (tamaño limo y arcilla), cuyo origen muestra un carácter múltiple (**Figura 3**): residuos de la erosión-disolución de la roca caliza parietal y cenital de la cavidad kárstica, fragmentos y bloques por derrumbes y desprendimientos de la roca de caja, precipitados bioquímicos finos (micritas), probables materiales eólicos y predominio de material orgánico (óseo), descompuesto (disgregados, fracturados o disueltos).

El material detrítico, fracción limo-arena, hasta muy grueso (grava), parece estar integrado por granos líticos carbonáticos, pequeños nódulos químicos, fragmentos óseos y madera. La fracción muy gruesa a fragmentaria (brechas y bloques aislados) está formada por clastos de caliza cavernarios, gravitacionales, caídos o desplazados por rodamiento *cuasi in situ*.

Los sedimentos están coloreados (desde el tope) de negruzcos, grisáceos, parduzcos, amarillentos y rojizos, en parte, sin los límites definidos con nitidez. Los fósiles están en general mineralizados y coloreados en dependencia del color de los sedimentos de las capas que los contienen Suárez y Díaz, 2003; (**Figura 3**).

Como se comprueba, en la sección estratigráfica la coloración de los restos óseos, en general parece deberse a cambios en las condiciones locales del ambiente tafonómico (Fernández-López, 2000). En los niveles más profundos predominan los restos de color pardo rojizo, a veces oscuros, húmedos, por efecto de una permineralización más acentuada. No se descarta la posible influencia de arrastres arcillosos externos, ocurridos a través del sistema kárstico en su etapa inicial, cuando pudo existir algún flujo episódico.

Se valora que la matriz principal del depósito (60-80 %) está constituida por el material fino, no cementado y deleznable, tamaño limo-arcilla, en partes

algo carbonático. En este material de la matriz «flotan» los restos óseos, en diferentes proporciones por intervalos estratigráficos. Todos los niveles se consideran, desde el punto de vista de la acumulación mecánica, como asociaciones fósiles autóctonas o en extremo para-autóctonas (Fernández-López, 2000).

La coloración grisácea está relacionada con el recubrimiento carbonático, en forma de película externa y microcrecimientos cristalinos, que exhiben muchos restos. Ello se supone conexo con procesos de intercambio en alta humedad; aunque no parece

bida a cierta oxidación, con presencia de manganeso (pirolusita) y hierro (limonita) expresada de forma superficial sobre algunos restos óseos. Existen pequeñas manchas aisladas de otros tonos, que parecen resultado de la actividad de microorganismos (hongos, algas y bacterias) y en general, hay películas o cutículas de meteorización físico-química (Rojas-Consegra, 2015c).

Las coloraciones amarillentas a gris clara, están asociadas a la carbonatización, por disolución de las calizas parietales y los litoclastos acumulados, los fragmentos y nódulos carbonatados presentes en algunos niveles y en general, por la influencia del entorno carbonático propio del ambiente kárstico, interior cavernario.

La ocurrencia de fuegos naturales y la existencia de fogatas (posibles cocinas) en la etapa histórica (antropocénica), atestiguados en las cenizas identificadas, indujeron coloraciones oscuras por calcinación en algunas entidades conservadas, sobre todo en niveles superficiales.

Otros criterios sobre partición, concentración, abundancia, etc., de los restos conservados, podrán obtenerse en el futuro, mediante los estudios de detalle que se realizan en la actualidad con los materiales paleontológicos colectados en el yacimiento.



Figura 2. Columna litoestratigráfica del yacimiento paleontológico El Abrón, con una interpretación secuencial y paleoambiental generales.

haber existido ningún estancamiento o inundación en el sitio de larga duración y mucho menos permanente, hasta la profundidad ya reconocida.

La coloración gris oscura a negra, parece de-

DISCUSIÓN

Con base en la estratigrafía realizada con enfoque secuencial y las observaciones tafonómicas, valorados como los datos más objetivos recopilados en el sitio de estudio (**Figura 4**), en lo adelante se ensaya una interpretación general de los procesos que han sido posible deducir. Así este acápite, resulta el producto de una mayor subjetividad, en asunciones y criterios empíricos, propios de la reconstrucción histórica de procesos naturales y que se remontan a miles o decenas de miles de años atrás.

Una aproximación sucesiva, cualitativamente superior, a la evolución del paleoambiente en el entorno del área de estudio, se logrará a medida que avancen las investigaciones paleontológicas y de otras índoles, en ejecución. Este tipo de enfoque, no posee

antecedentes en los estudios realizados hasta el momento en el área, dado por la rareza en la preservación de esta acumulación sedimentaria.

Interpretación Paleoambiental

La sucesión de facies (secuencias de facies SF1 a SF5), sirven de base para realizar una interpretación muy preliminar sobre los procesos y eventos ocurridos a lo largo de la evolución del yacimiento El Abrón (Etapas paleoambientales-EP: EP1 a EP5) y su relación con otros factores paleoambientales influyentes en el área y la región (columna de la derecha del esquema de la **Figura 2**).

Según la secuencia más profunda conocida, en la cavidad ocurría la acumulación de sedimentos grano arena fina o limo, con toda probabilidad resultado de la descalcificación de la roca de caja de la cavidad kárstica, caída de granos y cristales, formación de nódulos carbonatados y la descomposición de restos orgánicos. El ambiente interno de la cavidad tenía, eventualmente, una limitada comunicación directa al exterior y el aporte ocurría en condiciones probable de humedad, sin acumulación perenne, tal vez con flujos ocasionales, episódicos de baja energía. Se recibió una influencia biológica con aporte escaso de eagrópilas desde la etapa más temprana documentada (EP1).

Hacia arriba se mantuvo la acumulación de sedimentos finos. Se manifiesta un notable aumento hasta un intenso aporte biogénico, donde se deduce una etapa de habitación estable por parte de los depredadores (Lechuzas y búhos) tendencia señalada por el enriquecimiento máximo de restos óseos de abajo a arriba (EP1 tardía). Se deduce el establecimiento de condiciones ambientales favorables en el entorno, en general con un posible óptimo ecológico para la fauna y la flora.

La acumulación fina recibió aporte de clastos, los restos orgánicos se hacen pobres y aparecen conchas de moluscos terrestres, lo cual sugiere la actuación de un proceso de relativa energía de transportación (tal vez inundación con flotación de las conchas); a tope queda una superficie, al parecer de inte-

rrupción de la deposición, que podría ser coherente con un evento de inundación rápida y corta (EP2 temprana). Este intervalo, al parecer, refleja un cambio ambiental, respecto a las condiciones anteriores.

Aumentó el aporte de fragmentos al depósito y hay una disminución de los restos de vertebrados (EP2 tardía) con posible aumento la descalcificación de la roca de caja de la cavidad, tal vez inducida por factores ambientales (humedad y erosión bioquímica). Otro factor inductivo sería incluso la sismicidad, que daría inicio a los desprendimientos desde la bóveda kárstica.

En el depósito se produjo un evento catastrófico y alocíclico, dado por el derrumbe del techo y



Figura 4. Restos óseos en la superficie activa del sitio El Abrón (Arriba). Excavación paleontológica en el yacimiento fosilífero, con la documentación y muestreo detallado de la sección estratigráfica bajo investigación (Abajo).

con probabilidad, otras partes de la cavidad, que interrumpió la acumulación normal que se producía hasta ese instante (EP3). Se da un enriquecimiento en bloques, clastos y fragmentos de carbonatos, que influyó en la composición de la acumulación, tanto granulométrica como, posiblemente, geoquímica. Los restos óseos disminuyen y se deduce resedimentación, compactación, cierta partición, debido al movimiento limitado de materiales. A nivel local del entorno, es inferida la ampliación de la cavidad y hasta su comunicación con el medio exterior a través de su entrada cercana. Según su duración en el tiempo, este es un tipo de evento rápido o instantáneo.

La acumulación continuó con la marcada presencia de fragmentos y clastos, por caídas hasta su equilibrio o por rodamientos y acomodo de cargas en el depósito. Hay un aumento a tope de los restos óseos, con una máxima acumulación en la parte superior de la secuencia (EP3 tardía) ello significaría el restablecimiento de las condiciones ambientales en la cavidad, con plena apertura y también a nivel territorial, donde parece haber existido condiciones ecológicas favorables a la flora y la fauna.

Le continúa una secuencia con empobrecimiento de restos óseos, carbonatada, algo clástica hacia arriba, con fragmentos de madera, la cual concluye a tope en una capa fina oscura, algo mineralizada y de escasos fósiles (EP4). Esta secuencia muestra una mayor influencia del medio exterior al depósito, a juzgar por el aporte de madera, el cambio de coloración de los materiales de crema amarillentos a pardo, hasta oscuros; en ello influiría el viento y los factores ambientales.

Esta contiene varias subetapas, al parecer testigos de cambios drásticos, incluso con abandono de la cavidad por las aves cazadoras, sus moradores usuales. El menor contenido fosilífero sugiere cambios ambientales desfavorables en el área, con posible enfriamiento y sequía, con influencia negativa en la flora y la fauna del entorno. Se denota un diastema (hiato corto), por posible evento erosivo.

La secuencia superior del depósito, friable, es rica a muy rica en fósiles de base a tope, con algunos clastos y muestra coloración de crema grisácea a pardo

claro en la superficie expuesta, activa (EP5), lo cual parece representar la influencia de arriba hacia abajo de la meteorización sobre los materiales, acorde a las condiciones ambientales que han predominado en el área, en los últimos cientos de años y hasta el presente.

Los niveles superficiales de cenizas, con aspectos en sección de promontorios o lenticulares, denota una etapa de habitación histórica en la cavidad, sin embargo, ésta no parece haber tenido impacto notable en la estratigrafía del subsuelo en el depósito. Se espera lograr el fechamiento de estos materiales (**Figura. 2**). En este mismo sentido, se señala que, en un nivel altitudinal inferior, existe una estación arqueológica, donde destacan dibujos coloreados de figuras antropomórficas.

CONCLUSIONES

El depósito fosilífero El Abrón, representa uno de los escasos yacimientos cuaternarios que aún conservan su estratigrafía natural en el país, con escasa influencia de actividad antrópica moderna, lo cual lo convierten en una valiosa localidad para la Paleontología de vertebrados en Cuba.

El registro fósil de vertebrados de El Abrón, según la lista de elementos conservados que ha sido compilada, muestra que ya, este depósito en proceso de estudio, cuenta más de 40 taxones a diferentes niveles de identificación, lo cual valoriza su significación científica y patrimonial y subraya su potencialidad en resultados científicos futuros.

La estratigrafía documentada del yacimiento permitió la identificación de las principales capas que lo conforman, así como la realización de un análisis secuencial, como base para la reconstrucción de la génesis del depósito fosilífero, la cual ocurrió a costa del principal aporte realizado por la acumulación resultante de la actividad trófica de las aves del género *Tyto*, que ocuparon de forma prolongada, aunque al parecer episódica, el espacio cavernario y su entorno natural.

En la sucesión estratigráfica estudiada se denotan cambios durante distintas etapas paleoambientales ocurridas a lo largo de la génesis del depósito, con

variabilidad de las características de los sedimentos y la abundancia de elementos conservados, con toda probabilidad, relacionados con los efectos de la evolución climática en el tránsito Pleistoceno-Holoceno en la región.

El predominio del carácter arcilloso limoso, la textura deleznable «polvorienta» y la ausencia de cementación en los sedimentos del depósito, sugieren un aporte eólico (por vientos que azotaron a través de su cara abierta al S-SE), como fuente importante de material fino, aunque la acumulación residual de la meteorización y la disolución de la caliza karstificada, también fueron una fuente destacada de aporte.

RECOMENDACIÓN

El yacimiento fosilífero El Abrón merece una protección patrimonial, dadas sus características únicas y su valor excepcional para la investigación científica, por el rico registro fósil de vertebrados contenido, de potencial importancia para la crono y la bio-estratigrafía del Cuaternario en Cuba occidental y válido en general para la región antillana.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Dirección del Museo Nacional de Historia Natural de Cuba por su apoyo en la presente comunicación, sobre los primeros resultados del proyecto conjunto Cuba-Rusia, además, a los árbitros por su revisión y opiniones para mejorar nuestro artículo. Agradecimiento también en especial al presidente del Comité de Arbitraje, el Dr. C. Osvaldo Rodríguez Morán y al Comité Editorial de la *Revista Geociencias UO* de la Universidad Olmeca, por aceptar la publicación sobre nuestra labor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aranda, E. y Suárez, W.**, 2013, Anfibios y Reptiles fósiles de Cueva El Abrón, Pinar del Río, Cuba. Sesión de Estratigrafía y Paleontología, X Congreso Cubano de Geología, V Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. La Habana.
- Arche, A. (Ed.)**, 1992, Sedimentología, tomos I y II.

Nuevas tendencias. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.

- Cobiella-Reguera, J. L.**, 2008, Reconstrucción paleogeográfica del paleomargen mesozoico de América del Norte en Cuba occidental y el sudeste del Golfo de México. Implicaciones para la evolución del SE del Golfo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 25(3): 382-401.
- De Huelbes, J. ed.**, 2013, *Léxico Estratigráfico de Cuba*. Instituto de Geología y Paleontología Servicio Geológico de Cuba / Ministerio de Energía y Minas. Tercera Versión, La Habana. ISBN 978-959-7117-58-2.
- Díaz-Franco, S.**, 2001, Estructura dental interna y modificación del diseño oclusal inferior en *Boromys offella* (Rodentia: Echimyidae). *Revista de Biología*, 15 (2): 152-157.
- Díaz-Franco, S.**, 2002, La variación del diseño oclusal inferior en *Boromys torrei* (Rodentia: Echimyidae). *Revista de Biología*, 16 (1): 60-65.
- Fernández-López, S.**, 2000, *Temas de Tafonomía*. Departamento de Paleontología, Universidad Complutense de Madrid.
- González, S. F.**, 2016, La Fauna de mamíferos fósiles del depósito paleontológico «El Abrón» (Nivel IX), Pinar del Río, Cuba. Tesis de Diploma, Facultad de Biología, Universidad de La Habana. pp 69.
- Herrera, N. M.**, 1961, Contribución a la estratigrafía de la provincia de Pinar del Río. *Revista de la Sociedad Cubana de Ingenieros*, 61(1-2): 2-23.
- Housa, V. y Nuez, L. M.**, 1972, Hallazgo de Ammonites del Kimmeridgiano en la hacienda "El Americano", Pinar del Río. Acta No. 2, Resúmenes del 4to. Consejo Científico, Instituto de Geología y Paleontología, La Habana.
- Jiménez-Vázquez, O., Condis-Fernández, M.M. y García-Cancio, E.**, 2005, Vertebrados post-glaciales en un residuario fósil de *Tyto alba scopoli* (Aves: Tytonidae) en el occidente de

- Cuba. *Revista Mexicana de Mastozoología*, 9: 85-112.
- Lopatin, A. V.** (2021a, Dental replacement in Nesophontidae (Lipotyphla, Mammalia) from the Pleistocene of Cuba [In Russian]. *Doklady Biological Sciences*, 497: 118–124. 10.31857/S2686738921020189.
- Lopatin, A. V.**, 2021b, Dentition anomalies in Nesophontidae (Lipotyphla, Mammalia) from the Pleistocene of Cuba [In Russian]. *Doklady Biological Sciences*, 497: 125–130. 10.31857/S2686738921020190.
- Pajón, J. M., Zelenkov, N. V., Lopatin, A. V., Pérez Lorenzo, E., Pajón, J. M., Rojas-Consuegra, R., Syromyatnikova E., Agadzhanyan, A. K., Aranda E., Fiol S., Bárzaga, L. A.**, 2020, Russia-Cuba Project «Late Quaternary Cuban Vertebrates: Relictual Faunas on the Eve of the Holocene Extinction». Informe Ejecutivo a la AMA/CITMA del Proyecto Cuba-Rusia, Fondo de Investigaciones Básicas de Rusia (Inédito).
- Pajón, J.M., Zelenkov, N., Rojas-Consuegra, R., Lopatin, A. V., Syromyatnikova, E. E., Pérez Lorenzo, E., Agadzhanyan, A. K., Aranda, E., Bárzaga L. A., Fiol-González, S.**, 2021, Late Quaternary Cuban vertebrates: relictual faunas on the eve of the Holocene extinction. Sierra de la Güira, Los Palacios, Pinar del Río, Cuba. En: *Memorias IX Convención de Ciencias de la Tierra*. La Habana, Póster, 1 p.
- Pérez, E., Rojas-Consuegra, R., Pajón, J. M., Aranda E., Bárzaga, L. A. y Fiol S.**, 2020, Expedición paleontológica Cuba-Rusia a la Cueva El Abrón: yacimiento fosilífero cuaternario de la Provincia de Pinar del Río, Cuba. *SAVIA Revista Digital del Museo Nacional de Historia Natural de Cuba*, No. 85 (10), p 4. ISSN 2224-9532.
- Rojas-Consuegra, R.**, 2005, Patrimonio paleontológico cubano: una categoría que merece ser reconocida y protegida. *Boletín de la Sociedad Cubana de Geología*, 5(3): 14-15.
- Rojas-Consuegra, R.**, 2008, Desconocimiento del patrimonio paleontológico cubano: una categoría emergente, su identidad y protección. 7mo. Congreso Internacional de Patrimonio Cultural: salvaguarda y gestión. La Habana. p 26.
- Rojas-Consuegra, R.**, 2015a, Análisis sobre la estratigrafía del depósito fosilífero cuaternario El Abrón, Pinar del Río. pp 6. En: *Rojas-Consuegra, R. et al.*, 2015. Informe de Cierre del proyecto «Registro Paleontológicos y paleoclimáticos de Cuba: una visión integradora». 07 MNHNC-AMA (CITMA). (Inédito).
- Rojas-Consuegra, R.**, 2015b, Geodiversidad cubana: oportunidad de gestión del patrimonio geológico como un georrecurso para el desarrollo. V Simposio de Museos de Historia Natural, X Convención Intern. sobre Medio Ambiente y Desarrollo. La Habana. p. 9.
- Rojas-Consuegra, R.**, 2015c, Gradientes tafonómicos y paleoambientales deducidos en el yacimiento de vertebrados Plio-Cuaternario «Las Llanadas» (Yaguajay), en la provincia Sancti Spiritus, Cuba central. XI Congreso Cubano de Geología, VI Convención Cubana de Geociencias. Editado Sociedad Cubana de Geología. Geo2-P11: p. 36 La Habana. ISSN 2307-499X.
- Rojas-Consuegra, R.**, 2021, Synthesis of fossil record of Cuba - A bibliographic compilation. En: Manuel E. Pardo-Echarte (Ed.), *Geology of Cuba*, Chapter 3, pp. 71-142. Springer. Book ISBN: 978-3-030-67797-8.
- Rojas-Consuegra, R.**, Díaz Franco, S., Isaac Mengana, J., Suárez Duque, W. y López Martínez, R., 2007, Paleobiota y Bioeventos en Cuba: Herencia de la Tierra y Patrimonio Natural. Informe Final proyecto PRCT-2079. MNHN-AMA. (Inédito).
- Suárez, W. y Díaz-Franco, S.**, 2003, A new fossil bat (Chiroptera: Phyllostomidae) from a Quaternary cave deposit in Cuba. *Caribbean Journal of Science*, 39(3): 371-377.

- Suárez, W.** (2004, The enigmatic snipe *Capella* sp. (Aves: Scolopacidae) in the fossil record of Cuba. *Caribbean Journal of Science*, 40(1): 155-157.
- Suárez, W. y Díaz-Franco, S.**, 2008, Estudio paleontológico del depósito fosilífero El Abrón, Pinar del Río. Informe Científico Técnico, 13 pp., en Suárez-Duque *et al.*, 2011. Biodiversidad Paleontológica del Archipiélago Cubano: Bases Cartográficas y Conservacionistas. Informe final del proyecto 074 MNHN-AMA (inédito).
- Suárez, W., R. Rojas-Consuegra, G. Silva-Taboada, L. Menéndez-Peñate**, 2011, Biodiversidad Paleontológica del Archipiélago Cubano: Bases Cartográficas y Conservacionistas. Informe final proyecto 074 MNHN-AMA (inédito).
- Suárez, W. y Olson, S.**, 2015, Systematics and distribution of the giant fossil barn owls of the West Indies (Aves: Strigiformes: Tytonidae). *Zootaxa*, 4020 (3): 533–553.
- Suárez, W. y Olson, S.**, 2020, Systematics and distribution of the living and fossil small barn owls of the West Indies (Aves: Strigiformes: Tytonidae). *Zootaxa*, 4830 (3): 544–564.
- Syromyatnikova, E., Aranda, E. y González, S.**, 2020, The First Fossil Record of *Cadea* (Amphisbaenia, Cadeidae) and other Amphisbaenian Remains from the Upper Pleistocene of Cuba. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 39. e1729167. 10.1080/02724634.2019.1729167.
- Syromyatnikova, E., Aranda, E. y González, S.**, 2021, First insight into the diversity of snakes in the Pleistocene of Cuba. *Acta Palaeontologica Polonica*, 66. 10.4202/app.00766.2020.
- Vera-Torres, J. A.**, 1994, Estratigrafía, principios y métodos. Editorial Ruedas, S. L. Madrid.
- Zelenkov, N. V., Lopatin, A. V., Pérez Lorenzo, E., Pajón, J. M., Rojas-Consuegra, R.**, 2021, First Results of the Joint Russian-Cuban Paleontological Expedition [In Russian]. 10.22204/2410-4639-2021-111-03-19-24.
- Zelenkov, N. y González, S.**, 2020, The First Fossil Tody (Aves: Todidae) from Cuba. *Paleontological Journal*, 54: 414-419. 10.1134/S0031030120040164.
- Fecha de recepción: 01 de diciembre de 2021
Fecha de arbitraje: 01 de diciembre de 2021
Fecha de aprobación: 03 de diciembre de 2021



Estratigrafía de la Formación Santa Teresa: Dominio paleogeográfico del margen continental norteamericano. Unidad Tectono-Estratigráfica Placetás. Cuba

Evelio Linares Cala¹, Yeniley Fajardo Fernández², Osmany Pérez-Machado Milán³✉, Pavel M. Blanco Amador⁴

¹ *Ingeniero Geólogo, Doctor en Ciencias Geológicas, Investigador Auxiliar, Centro de Investigación del Petróleo, Churrucá No 481, El Cerro, La Habana, Cuba C.P. 12000. ORCID ID 0000-0003-1246-602X. Correo Electrónico: bello@ceinpet.cupet.cu*

² *Licenciada en Geografía, Master en Negocios de Petróleo y Gas, Investigador Agregado, Centro de Investigación del Petróleo, Churrucá No 481, El Cerro, La Habana, Cuba C.P. 12000. ORCID ID 0000-0002-5686-6490. Correo Electrónico: yeniley@ceinpet.cupet.cu*

³ *Ingeniero Geólogo. Máster en Geología Petrolera. Investigador Agregado. Centro de Investigación del Petróleo, Cuba, CP 10200, Cuba. ORCID ID 000-0003-2326-5469. Correo Electrónico: milan@ceinpet.cupet.cu*

⁴ *Ingeniero Geólogo, Master en Negocios de Petróleo y Gas, Especialista en Innovación y Desarrollo, Centro de Investigación del Petróleo, Churrucá No 481, El Cerro, La Habana, Cuba C.P. 12000. ORCID ID 0000-0001-8230-429. Correo Electrónico: pmblanco@ceinpet.cupet.cu*

RESUMEN

En Cuba, la Formación Santa Teresa, posee una amplia distribución regional. Es una de las unidades litoestratigráficas que mejor caracteriza al Paleomargen Continental Norteamericano en la República de Cuba. Es específica por sus rasgos petrológicos y paleontológicos, representa el Conjunto Petrotectónico de la batimetría más profunda de este paleomargen, superior a los 3 000 metros. El amplio desarrollo de esta formación, su asociación a otras unidades carbonatadas de aguas profundas, agrupadas en la Unidad Tectono-Estratigráfica Placetás, la hacen un buen indicador para la búsqueda regional de hidrocarburos. Se considera que intercaladas entre sus pedernales radioláricos, ocurren rocas arcillosas carbonatadas, ricas en materia orgánica que, en condiciones favorables de yacencia, resultan potenciales generadoras de hidrocarburos. El

objetivo de esta investigación, es ilustrar la distribución de la Formación Santa Teresa en toda la mitad norte del territorio nacional y describir sus rasgos petrológicos y paleontológicos, los que identifican el Dominio Paleogeográfico del Margen Continental Norteamericano; se aportan datos de la existencia de esta unidad litoestratigráfica aflorando, por el norte, desde Arroyos de Mantua hasta La Esperanza en la provincia de Pinar del Río y en el subsuelo, desde Soroa, provincia de Artemisa, hasta Varadero, provincia de Matanzas. Además, se informa sobre determinaciones de Carbono Orgánico Total (COT) en la misma, lo que la hacen de interés como rocas madre. Adicionalmente, se ilustra con resultados de algunas determinaciones de palinomorfos, la precisión de su edad al emplear fauna fósil de rocas que afloran en el Valle de Pons, en Pinar del Río y en otras áreas de Cuba. Se re-

conocen varias exposiciones de la Formación Santa Teresa en Cuba Central, Esmeralda en la provincia de Camagüey y en el norte de la provincia de Holguín.

Palabras clave: Formación Santa Teresa, pedernales radioláricos, carbono orgánico, hidrocarburos, palinomorfos, rocas madre.

ABSTRACT

In Cuba, the Santa Teresa Formation has a wide regional distribution. It is one of the lithostratigraphic units that best characterizes the North American Continental Paleomargin in the Republic of Cuba. It is particular, due to its petrological and paleontological features, it represents the Petrotectonic Set of the deepest bathymetry of this paleomargin. The extensive development of this formation, its association with other deep-sea carbonated units grouped in the Placetos Tectono-Stratigraphic Unit (TSU), make it a good indicator for the regional search for hydrocarbons. It is considered that intercalated between its radiolaric chert, carbonated clay rocks occur, rich in organic matter that, under favorable conditions of lying, are potential hydrocarbon generating. The objective of this research is to illustrate the distribution of the Santa Teresa Formation throughout the northern half of the national territory and describe its petrological and paleontological features, which identify the DP of the North American Continental Margin. This investigation provides data on the existence of this formation on the surface, from the north, from Arroyo de Mantua to La Esperanza and, in the subsoil, from Soroa to Varadero. In addition, information on Total Organic Carbon (TOC) determinations is reported therein. Additionally, the accuracy of its dating is illustrated with the results of some palinomorphic determinations, using, in addition, fossil rock fauna that emerge in the Pons Valley, in Pinar del Río and in other areas of Cuba. Other outcrops of the Santa Teresa Formation are recognized in Central Cuba, the province of Camagüey and northern Holguín.

Key words: Santa Teresa Formation, organic matter, hydrocarbons, radiolar flint, palynomorphs, sources rocks.

RESUMO

Em Cuba, a Formação Santa Teresa tem ampla distribuição regional. É uma das unidades litoestratigráficas que melhor caracterizam a Paleomargem Continental da América do Norte na República de Cuba. É particular por suas características petrológicas e paleontológicas; representa o conjunto petrotectônico da batimetria mais profunda dessa paleomargem. O amplo desenvolvimento dessa formação, sua associação com outras unidades de carbonato de águas profundas agrupadas na Unidade Tectono-Estratigráfica Placetos, fazem dela um bom indicador para a busca regional de hidrocarbonetos. Considera-se que rochas de argila carbonatada ensanduichada, ricas em matéria orgânica, ocorrem entre suas pedreiras radiolares, que, em condições favoráveis de repouso, são potenciais geradores de hidrocarbonetos. O objetivo da presente investigação é ilustrar a distribuição da Formação Santa Teresa pela metade norte do território nacional e descrever suas características petrológicas e paleontológicas, que identificam o Domínio Paleogeográfico da Margem Continental da América do Norte. Esta pesquisa fornece dados sobre a existência dessa formação na superfície, do norte, de Arroyos de Mantua a La Esperanza e no subsolo, de Soroa a Varadero. Além disso, ele informa sobre determinações de carbono orgânico total nele. Além disso, a precisão de sua datação é ilustrada com os resultados de algumas determinações palinomórficas, também usando a fauna fóssil de rochas que emergem no vale de Pons, em Pinar del Río e em outras áreas de Cuba. Outros afloramentos da Formação Santa Teresa são reconhecidos no centro de Cuba, Esmeralda, na província de Camagüey e no norte de Holguín.

Palavras chave: Formação Santa Teresa, matéria orgânica, hidrocarbonetos, sílex radiolar, palinomorfos, rochas parentais.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con los estudios de microfacies para la exploración petrolera (Valladares y otros, 1997), así como por levantamientos geológicos de superficie (Kantchev y otros, 1978; Linares y otros, 1985, Martínez y otros, 1988, Pentelenyi y otros, 1988, Vázquez y otros, 1993), dentro del elemento estructural principal denominado Cinturón Plegado y Sobrecorrido de Cuba, resalta un conjunto de mantos tectónicos de rocas carbonatadas y en menor proporción siliciclásticas y silíceas del Paleomargen Continental Norteamericano, las que afloran o se registran en la profundidad de varios yacimientos petroleros a lo largo de la mitad norteña del territorio nacional, desde la provincia de Pinar del Río hasta Cuba Central (**Figura 1**).

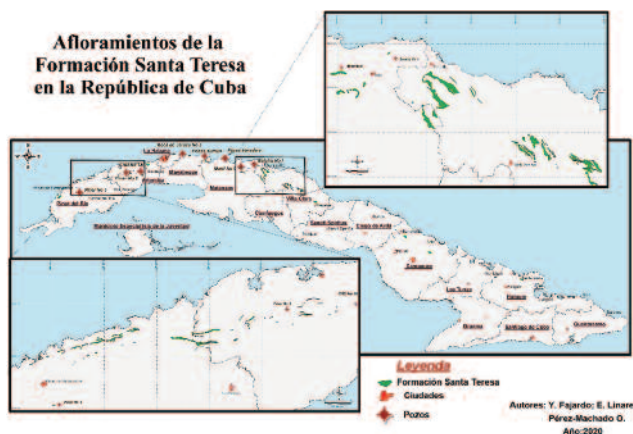


Figura 1. Afloramientos de la Formación Santa Teresa al norte de Cuba

Es característica distintiva de estos mantos, estar compuestos por una secuencia que de forma original tuvo entre 1 500-2 000 metros de espesor, depositada entre el Oxfordiano y Maestrichtiano Temprano. La cubierta de la misma, fueron rocas que se depositaron en otros escenarios, tras un receso en la sedimentación y tienen edad Maestrichtiano y Paleógeno. El substrato del conjunto tratado, fueron las rocas siliciclásticas y en menor proporción, calcáreas del Dominio Paleogeográfico (DP) del Synrift de edad Jurásico Inferior- Jurásico Superior Oxfordiano (Dueñas y Linares-Cala, 2001, 2003).

Estos mantos tectónicos agrupados, se han llamado en la literatura geológica Unidad Tectono-Estratigráfica (UTE) Placetas (Ducloz y Vaugnat, 1962), bien reconocidos al norte de Cuba Central. En Cuba Occidental rocas similares ocurren en la UTE Rosario, de forma parcial en la UTE Los Órganos y en la UTE La Esperanza. Hasta el presente uno de los criterios rectores para la búsqueda de yacimientos de hidrocarburos en Cuba, es su asociación principal con rocas del Margen Continental Norteamericano (yacimientos del norte de La Habana, Mayabeque y Matanzas) de modo especial los conjuntos agrupados en la Unidad Tectono-Estratigráfica Placetas y en menor cuantía en la UTE Camajuani.

En el subsuelo, las unidades litoestratigráficas que conforman la UTE Placetas, son las formaciones Cifuentes (Kantchev y otros, 1978); Morena (Shopov, 1978), Ronda (Wasall y Truitt, en Truitt y Pardo, 1955), Santa Teresa (Wassal y Pardo, 1952), Carmita (Dodekova y Zlatarki, en Kantchev y otros, 19789) y Bacunayagua, (Ducloz, 1960). Ellas forman mantos que se repiten, que no suelen estar tal y como se depositaron originalmente. En ocasiones en conjunto alcanzan 4 000 metros de espesor aparente. Con frecuencia, los ángulos de inclinación de las capas, tanto en superficie como en los pozos petroleros, tienen valores desde 60 grados hasta verticales.

La UTE Placetas contiene los sedimentos de paleo batimetría más profunda del DP del Margen Continental Norteamericano de hasta 3 000 metros o de pendiente continental, aquí entre otras, se incluye la Formación Santa Teresa donde imperan los pedernales y arcillas.

Los Conjuntos Petrotectónicos (CPT) de este dominio en todo el norte de Cuba, son muy similares. A pesar de ello, algunos investigadores en lugar de resaltar los rasgos que los acercan, observan variaciones muy particulares de microfacies, rasgos exclusivos de una u otra cualidad, que a veces los llevan a proponer delimitaciones de otra cuenca con condiciones desiguales.

«El Conjunto Petrotectónico (CPT), es una unidad física objetiva que se identifica en el campo. Un CPT puede contener una o más secuencias estra-

tigráficas que son unidades coherentes dentro de él y lo define» (Longoria, 1993).

La presencia de rocas madre, atractivas para la búsqueda en el DP del Margen Continental Norteamericano, está más que probada por numerosos análisis de Carbono Orgánico Total (COT) en cada formación y la presencia de más de veinte yacimientos gasopetrolíferos en sus rocas y centenares de manifestaciones superficiales de asfaltos, asfaltitas y petróleos gruesos, en el territorio donde se desarrollan.

El objetivo de esta investigación, es ilustrar con diferentes gráficos, fotografías y tablas, la distribución de la Formación Santa Teresa en toda la mitad norte de la República de Cuba y mediante su descripción, insistir que es inconfundible por sus rasgos petrológicos y paleontológicos, los que identifican el Dominio Paleogeográfico (DP) del Margen Continental Norteamericano. De acuerdo con Longoria (1993) un DP:

«...es una región de la superficie terrestre de dimensiones considerables en el presente o pasado geológico, individualizada por un asentamiento geodinámico de una tectónica de placas...»

Las rocas de la formación que se trata, se conceptúan como rocas madre, de modo preferente los sedimentos arcillosos y arcilloso-carbonatados, que se intercalan con los pedernales. La presencia de calizas en su contenido, se ha resaltado por los geólogos petroleros (Valladares y otros, 1997; Linares-Cala y otros, 1985, 1986, 1987, 2011; 2020). Aunque en pocos afloramientos se muestran íntegramente, tal disposición de los carbonatos y silicitas, anuncian su transición a las calizas de la Formación Carmita.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las informaciones e ideas reflejadas en esta investigación, provienen en su mayoría, de los trabajos de cartografía geológica e itinerarios geológicos realizados por los autores en la República de Cuba y publicaciones e informes geológicos entre los años 1985 y 2020 (Linares y otros, 1985, 1986, 1987, 2003, 2020). Parte de esta información se refleja en la bibliografía utilizada. Los

fundamentos se encuentran registrados como reportes inéditos en la Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM) y en el Archivo Técnico del Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET). Consta también, en tarjetas de determinaciones paleontológicas y petrográficas de miles de secciones delgadas o lavados de rocas colectadas en afloramientos en varias provincias cubanas.

Proceden de mapas de los autores, como son los de escala 1:500 000 de la República de Cuba (Linares y colectivo de autores, 1985), 1:100 000 de la provincia de Pinar del Río (Mormill y otros, 1980) y varios de escalas 1:50 000 y 1:20 000 de las zonas del norte de las provincias La Habana, Matanzas y Sancti Spíritus (Linares y otros, 1986 y 1987). La mayoría de estos mapas geológicos, se hicieron en conjunto con pesquisas geoquímicas enfocadas hacia la prospección de hidrocarburos. Se emplearon los informes de distintos colectivos de investigadores del CEINPET sobre Sistemas Petroleros, Geoquímica para Petróleo y Reservorios Carbonatados de las Unidades Tectono-Estratigráficas Placetas, Camajuaní y Remedios.

Fueron útiles como guía documental, tesis de doctorado sobre temas estratigráficos, informes multidisciplinarios de levantamientos geológicos a escala 1:50 000 y 1:250 000 de las provincias de Pinar del Río, La Habana, Matanzas, Villa Clara y Sancti Spíritus, así como de los bloques petroleros.

Se revisó un voluminoso archivo de tarjetas de determinaciones paleontológicas y petrográficas a partir de secciones delgadas y lavados de cortes y núcleos de cientos de sondeos de las áreas septentrionales de Cuba Central, Occidental y Oriental.

Otro material empleado fue la «Guía Práctica para el estudio sobre el terreno, de localidades de interés gas petrolífero». Esta guía culminó con la presentación de toda la información en un CD-ROM titulado *Oil and Geosite* (Linares-Cala y otros, 2000). Tal soporte, contiene detalles geológicos visibles en las 750 localidades reseñadas, un mapa de unidades tectono-estratigráficas y geológicas a escala 1:500 000 donde están ubicadas mediante símbolos convencionales y números, las novedades de la base de datos. Esta premisa fundamentó la ejecución de la presente investigación.

Desde el punto de vista metodológico, se tuvo en cuenta que en Cuba, durante un largo período existió divorcio entre las correlaciones estratigráficas que hacían los geólogos de los yacimientos petroleros y las unidades litoestratigráficas y tectónicas reconocidas en la superficie por las brigadas de levantamiento. De manera, que la orientación metodológica de esta comunicación, reconoce la estrecha relación entre los fenómenos tectónicos y los estratigráficos. Esta interrelación ha sido bien expresada por el famoso geólogo francés Maurice Gignoux (1950) quien expresó:

La Estratigrafía y la Tectónica son dos ramas inseparables de las ciencias geológicas. Un geólogo, estructuralista que no sea estratígrafo, es sólo un geómetra, porque él razona sobre superficies abstractas y volúmenes, olvidándose de la historia geológica y por otro lado, un estratígrafo que nunca por sí mismo ha trabajado la tectónica, sólo producirá una Estratigrafía muerta.

Se estudiaron todos los afloramientos de la Formación Santa Teresa en Cuba.

Aunque algunos geólogos la reconocieron en las provincias de Pinar del Río y Artemisa, los autores exponen datos recientes, resultado de sus investigaciones en las sierras de Los Órganos y Rosario y en la franja norteña en las zonas Mantua-La Esperanza. Se quiere, divulgar la extensión de esta unidad litoestratigráfica en la profundidad, desde la ubicación del pozo Pinar 2 al norte de Soroa, hasta el yacimiento de Varadero. Es un testimonio más, de la extensión del DP del Margen Continental Norteamericano y sus Conjuntos Petrotectónicos, al partir del occidente de Cuba hasta la región oriental, lo que resulta importante para la exploración petrolera.

Los autores, lejos de desmotivar la búsqueda al pensar en distintos «Terrenos», pretenden motivarla, al indicar la ampliación hacia aquellas zonas poco exploradas, donde existen condiciones geológicas y tectónicas similares, que difieren poco de las áreas exitosas conocidas en los yacimientos gasopetrolíferos de la Franja Noroccidental de Hidrocarburos de Cuba (FNHC).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Formación Santa Teresa (Wassall y Pardo, 1952), es una unidad litoestratigráfica conocida, que se observa al norte de Cuba Central y testimonia por sus cualidades distintivas, la presencia del Dominio Paleogeográfico del Margen Continental Norteamericano y la UTE Placetas, incluso en lugares donde aflora exclusivamente.

De occidente hacia oriente, se reconoce por afloramientos desde Mantua (**Figura 2**) hasta Consolación del Norte (La Palma) en la UTE La Esperanza (muy similar a la UTE Placetas) (**Figuras 3 y 4**); por afloramientos y en el pozo Pinar 2, en las UTE Los Órganos y Rosario (**Figuras 5, 6, 7 y 8**). En singulares exposiciones en el bloque Martín Mesa y en el Valle de Yumurí en las provincias de Artemisa y Matanzas y en la profundidad por pozos de los yacimientos de la FNHC. Excelentes afloramientos se describen al norte de las provincias de Matanzas (sur de Varadero) y Villa Clara (**Figura 10**). En la provincia de Camagüey aflora solo por la zona de Esmeralda (**Figura 11**) y en la Sierra de Camaján. Por último, silicitas radioláricas de esta unidad, se observan por la Escondida en Rafael Freyre, provincia de Holguín (**Figura 12**).



Figura 2. Afloramiento más occidental de la Formación Santa Teresa, sureste de Arroyos de Mantua, Pinar del Río.

La Formación Santa Teresa aflora en varias zonas de la UTE La Esperanza. Las principales exposiciones ocurren al norte y noroeste de Consolación del Norte, con forma de pequeños cuerpos alargados que se destacan en el relieve como colinas, sobre la For-

mación Esperanza, con un contacto transicional. Hay excelentes afloramientos en antiguas canteras como El Tres por Ciento, Sitio Morales (**Figura 4**) y Malas Aguas, por la región de Puerto Esperanza, en el poblado de Santa Lucía y en la cantera El Cocuyo al suroeste de Santa Lucía. También ocurre en varias áreas en la zona entre Dimas y Santa Lucía (**Figura 3**). Otros afloramientos se observan en las UTE Sierra del Rosario (**Figuras 5, 6, 7, 8**), de modo principal en la zona de Soroa, alrededores de Rancho Mundito, Sabanilla, Valdés, Mango Bonito y Mameyal, entre otros.

Existe un gran bloque incluido dentro de la secuencia caótica de la Formación Manacas en el Valle de Pons, donde la unidad conserva todas sus características e incluso, la asociación fosilífera encontrada en algunas capas de calizas intercaladas, confirman la edad de la formación.



Figura 3. Contacto entre las rocas del Grupo Esperanza y la Formación Santa Teresa, oeste de Santa Lucía, Pinar del Río.



Figura. 4. Formación Santa Teresa en Sitio Morales, provincia de Pinar del Río.

En la región de Pinar del Río, en el Mapa a escala 1:250 000 de las Academias de Ciencia de Cuba y Polonia (Pszczolkowski *et al.*, 1986a), esta secuencia fue cartografiada dentro de la Formación Buenavista, como su Miembro Sabanilla. La Formación Santa Teresa fue propuesta en sus inicios por Wassall y Pardo (1952), en la región central de Cuba y con posterioridad, se ampliaron los estudios por Kantchev *et al.* (1978), Linares-Cala (2003), Pszczolkowski (1986a, 1994), Cobiella (2000). La denominación de estos depósitos como Formación Santa Teresa, en la provincia de Pinar del Río, tanto en la Cordillera de Guaniguanico como en la franja norteña de la provincia, ha sido utilizada por Linares-Cala *et al.* (1985; 2020), Martínez (1991) y Pszczolkowski, (1994).



Figura 5. Silicita radiolárica y tufita de la Fm. Santa Teresa, en la Loma Benzoní, carretera hacia Bahía Honda al norte de Luis Carrasco, provincia de Artemisa.

En la Hoja 10 (F-17-5) del Mapa Geológico de Cuba 1:250 000 de la Academia de Ciencias de Cuba (Albear *et al.*, 1988), de la región de Cuba Central, se observa la mayor área de distribución de la Formación Santa Teresa y que en la leyenda se atribuye al Albiano-Cenomaniano. Se trata de pedernales y radiolaritas de colores gris claro y carmelita, estratificados en capas finas e intercaladas por rocas arcillosas rojizas, violáceas y blancas, algo esquistasas.

Uno de los primeros geólogos que distinguió estas silicitas y arcillas en Pinar del Río fue Hatten (1957), bajo el apelativo de *Cherts Canalete*. Dani-

lewski (1972), situó sobre las secuencias de calizas y areniscas de la Formación Santa Lucía, un conjunto de pedernales radioláricos, con rocas arenosas y arcillosas, que denominó Formación Panchita, al señalar el estratotipo en Villa Panchita, dos km al sur del Puerto Esperanza. De acuerdo con su descripción, en una cantera cerca de Villa Panchita, afloran pedernales y radiolaritas de colores gris claro y carmelita, estratificados en capas finas e intercaladas por rocas arcillosas rojizas, violáceas y blancas, algo esquistosas. En muestras de rocas similares, tomadas en los alrededores de Sitio Morales, se observaron radiolarios bien conservados, así como material tufogénico en las intercalaciones arcillosas. Danilewski reconoce la Formación Panchita en otras zonas de Pinar del Río, en la carretera de La Palma a Bahía Honda.

Varvarov, Linares-Cala y Smolentsev (en Mormill *et al.*, 1980), presentaron un mapa geológico de la provincia de Pinar del Río escala 1:100 000, donde se formula el rango de formación para el conjunto de silicitas, tufitas y rocas arcillosas de la unidad informal *Cherts Canalete*, al proponer su edad como Cretácico Albiano–Turoniano, a juzgar por los fósiles colectados en un corte de la carretera entre Luis Carrasco y Bahía Honda (**Figura 5**). Los autores conservaron el nombre Formación Canalete para esta unidad litoestratigráfica.

En el mapa Geológico de Cuba, escala 1:500 000 (Linares-Cala y colectivo de autores, 1985), los autores reconocieron y cartografiaron la Formación Santa Teresa, en la provincia de Pinar del Río, al reseñar las mismas características y edad que los conjuntos expuestos en Cuba Central y en la Sierra de Camaján de Camagüey: Aptiano-Cenomaniano.

Pszczolkowski (1994) extendió la edad de la unidad, desde el Valanginiano Superior hasta el Aptiano Inferior, en el cinturón meridional de la Sierra del Rosario, al suprayacer la parte superior de la Formación Artemisa y al miembro Sumidero desde del Hauteriviano.

En el cinturón septentrional de la Sierra del Rosario, situó las silicitas de esta unidad sobre la Formación Polier, al restringir la edad desde el techo del Barremiano al Aptiano Inferior. Cobiella y colaboradores (1990; 2000), han reconocido las formaciones Santa

Teresa y Carmita en la Sierra del Rosario, incluso los investigadores van más allá, al estar de acuerdo con Pszczolkowski (1986a), en que «los nappes de las Alturas de Pizarras del Norte» y la «Zona La Esperanza», son la prolongación hacia el oeste de las estructuras de la Sierra del Rosario.

Linares-Cala y Sosa-Meisozo del Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET), han reportado la Formación Santa Teresa con fósiles de edad Aptiano-Albiano, en las rocas carbonatadas y silicitas de la localidad Pozos de Agua, Valle de Pons en la Sierra de Los Órganos. La estación EL-118-20 fue descrita como *wackestone* bioclástico con abundante materia orgánica, que tiñe la roca dándole una coloración negra. Respecto a su fauna: *Ticinella* sp., *Ticinella* aff. *T. primula*, *Rotalipora* sp., *Rotalipora* aff. *R. baleinaensis*, *Rotalipora* cf. *R. ticinensis*, *Rotalipora* aff. *R. apenninica*, *Praeglobotruncana* sp., *Muricohedbergella* sp., *Macroglobigerinelloides* sp., *Pithonella* sp., moldes de radiolarios. Se atribuyen a la parte alta del Albiano.

En las muestras EL-115-20, 206-20, 206-1-20, EL-116-2-20, de una caliza negra silicificada con pedernales intercalados y de un *wackestone* bioclástico, se determinó *Ticinella roberti*, *Ticinella* aff. *T. primula*, *Rotalipora subticinensis*, *Rotalipora* cf. *R. ticinensis*, *Rotalipora* aff. *R. apenninica*, *Praeglobotruncana* sp., *Muricohedbergella* spp., *Macroglobigerinelloides* spp., abundantes radiolarios, *Pithonella* sp. (pared gruesa); *Nannoconus* sp.; *Nannoconus* cf. *N. truiti*; *Globochaeta alpina*. Este conjunto también se atribuye a la parte alta del Albiano.

En la muestra EL-117-20, muy cerca de las anteriores, afloran *wackestones* bioclásticos donde un 20 % son bioclastos, conservados en una matriz micrítica impregnada por materia orgánica. Blanco determinó los fósiles *Ticinella primula*, *Schackoia cabri*, *Biticinella breggiensis*, *Ticinella roberti*, *Ticinella* sp., *Hedbergella* spp., *Globigerinelloides* spp., *Colomisphaera* aff. *C. heliosphaera*. La edad también es Albiano (parte inferior). Lo que corresponderá con la parte alta de la formación.

A partir de la muestra EL-206-1-20, en un *wackestone* bioclástico, se determinaron los fósiles *Globigerinelloides* cf. *Globigerinelloides prairiellensis*;

abundantes moldes de radiolarios; abundantes especies de *Globigerinelloides* sp.; *Globigerinelloides alvarezii*; fechándola como la parte alta de edad Albiano-Cenomaniano.



Figura 6. Formación Santa Teresa en Arroyo Seco al noroeste de Sabanilla, provincia de Artemisa.

Palinomorfos en la Formación Santa Teresa

Dueñas y Linares-Cala (2001), reportaron por determinaciones palinológicas de una muestra de la Formación Santa Teresa (EL-114-20), los palinomorfos: *Cicatricosisporites* sp., *Cyathidites* spp., *Inaperturopollenites* sp., *Exesipollenites* sp., *Cycadopites* sp., *Retitriletes* sp., *Leptolepidites* spp., *Callialasporites* sp., *Marattisporites* sp., *Criboperidinium* sp. Este conjunto de palinomorfos sólo permite determinarlos como Jurásico al Cretácico Medio, depositados con probabilidad, en un ambiente marino.

En la Sierra del Rosario en la carretera de Las Terrazas a Soroa (Mango Bonito), en un afloramiento muy fresco, se reportaron en calizas silicificadas *Ticinella* spp., *Hedbergella* spp., radiolarios, espículas de esponjas, que datan este corte como Aptiano-Albiano.

En la región de Cuba Central se reportaron al noroeste de Villa Clara, la presencia de *Schackoia* sp., *Muricohedbergella* spp., *Globigerinelloides* spp., en calizas intercaladas en la secuencia silíceas, de igual manera que en Sierra del Rosario, restringen la edad de la formación a no más vieja que el Aptiano, por la biozona

de la Leupoldina cabrique que se encontró en las capas más altas de la infrayacente Formación Veloz. Por lo que, la edad para esta formación se restringe tanto en la región de Pinar del Río-Artemisa como para Cuba central, al Cretácico Inferior Aptiano-Albiano, con probabilidad la base del Cenomaniano, Vraconiano.



Figura 7. Silicitas, arcillas y tufitas de la Formación Santa Teresa, Mango Bonito, provincia de Artemisa.



Figura 8. Formación Santa Teresa en Mameyal, Artemisa. A lo lejos el Pan de Guajaibón, provincia de Pinar del Río.

Franja noroccidental de hidrocarburos de Cuba (FNHC) La Formación Santa Teresa se caracteriza muy bien en la FNHC por numerosas perforaciones petroleras realizadas en este territorio. Posee las mismas características petrográficas y paleontológicas que en el norte de Pinar del Río, Artemisa y Cuba Central. Linares y colabora-

dores (1986), reportaron al sur del Valle de Yumurí (caserío La Carioca) y por las zonas de Cantel y Camarioca (sur de Varadero), singulares afloramientos de esta unidad. Por los pozos petroleros se destaca muy bien la presencia de pedernales, arcillas y calizas con determinaciones de *Nannoconus* s.l. y foraminíferos planctónicos, como: *Globigerina infracretácea*, *Ticinella* sp. y *Muricohedbergella* sp. de edad Aptiano-Albiano.

Como regla general, en las áreas estudiadas por los pozos, las escamas de la UTE Placetas muestran un nivel de despegue de los cabalgamientos por la base de la Formación Santa Teresa. A los estratígrafos petroleros no les resulta fácil dividir las formaciones Santa Teresa y Carmita, por lo que, informalmente, les han llamado a sus horizontes Santa Teresa-Carmita. Estos mantos imbricados, se notan en muchos esquemas estratigráficos de los yacimientos Cantel, Varadero, Varadero Sur y Guásimas, donde se repiten las rocas de estas dos formaciones. A veces han sido separadas como formaciones Carmita y Santa Teresa y en ocasiones unidas como Santa Teresa-Carmita (Sánchez-Arango, 1996).

Hacia el este ocurren en los pozos Martí 5 y Bolaños 1. Al norte de la región Habana-Matanzas, donde mejor se conoce la Formación Santa Teresa es en la profundidad del yacimiento Yumurí. Allí abundan las silicitas radioláricas y rocas silicio-arcillosas. Los pozos más representativos son Yumurí 1, 7-A, 8, 12, 18 y 20.

También se han podido diferenciar en el pozo Boca de Jaruco 3 (núcleo 5). Como en toda Cuba yace de forma alóctona, se observan frecuentes estrías de desplazamiento y superficies de despegue. Se han medido en los pozos espesores del orden de 100 metros.

La Formación Santa Teresa se evidencia entre otros, en los pozos Varadero 201 de 1 853-1 500 m, junto con la Formación Carmita en el Varadero 41 entre 1 525-700 m; Varadero 31 entre 1 284-910 m; Martí 5 intervalo 3 092-2 616 m; Bolaños 1 entre 2 647-2 562 metros.

En esta región consta de forma esencial de turbiditas siliciclásticas, que se disponen como una alternancia rítmica de silicitas radioláricas, arcillas y limonitas de forma subordinada, margas y *mudstone*.

De vez en cuando, ocurren areniscas cuarzosas de grano fino y cemento silíceo. Una característica de esta unidad, es el plegamiento pronunciado de sus capas, al formar pliegues tumbados, así como fallas pequeñas que provocan desplazamientos y fracturación de las rocas. Esto se observa, tanto en Cuba Central como en la provincia de Pinar del Río. El fechado de esta unidad mediante radiolarios resulta difícil. Los fósiles diagnósticos como *Nannoconus* s.l., *Ticinella*, *Muricohedbergella*, *Schackoina*, *Macroglobigerinelloides*, proceden de *mudstones* que se intercalan. Los foraminíferos planctónicos mencionados, permiten asignar edad Aptiano-Albiano para la Formación Santa Teresa.

Formación Santa Teresa en Cuba central

Los afloramientos de esta unidad fueron reconocidos por Wassall (1952), cerca del poblado de Sitecito, en la actual provincia de Villa Clara y su nombre es debido al antiguo central azucarero Santa Teresa. Aflora en franjas alargadas con dirección NO-SE en las inmediaciones del caserío San Pedro, localidad Córdova en la zona sur de Corralillo, por el pobladito La Sierra (**Figura 10**). En los inicios, el descriptor de esta unidad informó sobre un conjunto bien estratificado de capas finas de silicitas radioláricas, disgregables de forma fácil, con calizas fragmentarias como lentes.

Truitt (Truitt y Pardo, 1953), señaló que las calizas no son intercalaciones o lentes, sino que estaban intercaladas y pertenecían a la formación, separándola en tres miembros: Santa Teresa «Superior», formado por calizas laminares grises con pedernales; Santa Teresa «Medio», representado en su totalidad por silicitas y arcillas y Santa Teresa «Inferior», de calizas con inclusiones de pedernales, muy parecidas a las de la Formación Ronda (hoy perteneciente al Grupo Veloz). Posteriormente, el propio Truitt (Brönnimann y Pardo, 1954), excluyó su miembro Santa Teresa «Superior», asignándolo a la Formación Carmita.

Wassall (Brönnimann y Pardo, 1954) caracterizó a la Formación Carmita litológicamente al señalar su estratotipo y opinar que este conjunto estratigráfico responde al miembro Santa Teresa «Medio» de la Forma-

ción Santa Teresa, en el sentido dado por Truitt (Truitt y Pardo, 1953), aspecto que no está acorde con la litología que en su totalidad son pedernales y arcillas.

Wassall (1952), complementó la información, al precisar que las silicitas de la Formación Santa Teresa, están saturadas por óxido de manganeso y la unidad yace sobre la Formación Ronda (en la actualidad se establece que lo hace sobre la Formación Morena de edad Hauteriviano-Barremiano) y está cubierta de forma discordante por la Formación Amaro. En los últimos estudios se reconoce una transición entre la Formación Santa Teresa y la Formación Carmita y sobre ella yacen las formaciones Bacunayagua y Amaro con carácter discordante. Wassall (1952), opinaba que la Formación Santa Teresa era el equivalente meridional de la Formación Carmita.

Brönnimann (Truitt y Brönnimann, 1956), consideró que la edad de las silicitas y arcillas de la Formación Santa Teresa era el Cretácico Superior y podrían bajar al Cretácico Tardío. En su esquema de correlación la sitúan en el Aptiano-Turoniano. Por aquellos tiempos, la litología que se describía constaba de modo simple de pedernales primarios, de colores negros y carmelitas, esquistos calcáreos oscuros y a veces esquistos carbonosos, con un espesor de 150 metros.

Kantchev y colaboradores (1978), reportaron silicitas cuarzo-calcedónicas y calcedónicas en capas de 0.1 hasta 10 centímetros, silicitas laminares de colores negros, grises-oscuros, grises-verdosos, grises-carmelitosos, herrumbrosos pigmentados por óxidos de hierro y manganeso, compactas y de forma ocasional porosas. A veces, la presencia de manifestaciones de minerales de manganeso en las silicitas, ha llamado la atención de los metalogenistas y existen viejos centros mineros en varias localidades donde aflora. Las silicitas alternan con finas intercalaciones, desde milímetros hasta de 1-6 centímetros de espesor, de arcillas bentoníticas y tufitas.

Las arcillas son de colores grises, verdosas y verdes, las tufitas son grises claras o blancuzcas. Con frecuencia se observan arcillas amarillas, pardas, herrumbrosas, con muchos óxidos de hierro. En oca-

siones se observan lentes de calcedonia. En algunas áreas alternan argilitas, pedernales, margas, limolitas, calizas y areniscas cuarzosas. Estudios petrográficos a partir de muestras de los autores, han revelado la presencia de pedernales de varios colores, entre ellos violáceos, a veces amarillentos, formados por sílice cristalina, con grietas rellenas por óxidos de hierro o cuarzo. En las muestras de toda Cuba, abundan moldes recristalizados de radiolarios, formados por sílice cristalina.

Esporádicamente, se observa un mosaico muy fino de calcedonia, impregnada por materia orgánica y relictos de minerales arcillosos, donde abundan los radiolarios como esferulitas de calcedonia. Los pedernales radioláricos carbonatizados suelen ser de color negro. Se trata de una roca compuesta por calcedonia y cuarzo de grano muy fino, con materia orgánica finamente dispersa. Los radiolarios de forma eventual, están deprimidos en forma elipsoidal. Las venillas de calcita secundaria se entrelazan por las rocas. En algunos de estos pedernales radioláricos, la materia orgánica está acompañada por minerales arcillosos en la masa principal, que suele ser de cuarzo muy fino y calcedonia.

Las calizas son fragmentarias más o menos organógenas, que han sido silicificadas de modo intenso, pero conservan la impronta de las rocas primarias, con venillas de calcedonia y metálicos. Las calizas fragmentarias representan un volumen insignificante de la unidad y aumentan hasta ser calizas, cuando ocurre la transición hacia las calizas de la Formación Carmita, aspecto que también se observa en el occidente de Cuba, en el valle de Pons en Pinar del Río, donde llegan a ser micritas radioláricas.

En la zona de Corralillo, se describieron micritas organógenas radioláricas dentro de la Formación Santa Teresa (Linares-Cala *et al.*, 1987). Adicionalmente, calizas algo organógenas, fragmentarias y grumosas, micritas finamente recristalizadas y calizas organógenas grumosas con matriz arcillosa. Este estudio resultó importante para relacionar los horizontes de rocas carbonatadas del Aptiano-Albiano que se reportaban en las perforaciones petroleras de la Franja

Noroccidental de Hidrocarburos de Cuba, con la unidad litoestratigráfica que se está tratando.

Las micritas radioláricas son rocas constituidas por calcita, con moldes de radiolarios, carbonatizados, recristalizados y algunos deprimidos y orientados, que a veces se conservan silíceos. La fracción micrítica fina es escasa y en lo esencial de cuarzo y plagioclasas. Las calizas fragmentarias y algo grumosas, constan de fragmentos de diferentes tipos de micritas y calizas y calizas relicto-organógenas. Los fósiles no abundan excepto los radiolarios y están mal conservados. Los grumos son calcáreos-arcillosos. La fracción arenosa es de cuarzo, glauconita y pedernales.

Como se expresó, una característica de la Formación Santa Teresa en todo el norte de Cuba, es que sus capas de pedernales, arcillas, tufitas y calizas, están muy plegadas de forma complicada, lo cual dificulta la medición de sus elementos de yacencia y las interpretaciones de los perfiles sísmicos (**Figuras 6, 7 y 10**). Los fósiles descritos en las perforaciones petroleras del Cinturón Noroccidental de Hidrocarburos de Cuba (CNHC) son los mismos que en los afloramientos de toda Cuba.

Linares-Cala *et al.*, (1987, 2003, 2011), relacionaron en la zona Motembo-Corralillo, el siguiente conjunto fósil: Abundancia de radiolarios *Sethocapsa* sp., *Stichocapsa* sp. cf. *S. asymbatos*, *Cryptamphorella* sp., *Crucella* sp., *Conosphaera* sp., *Conosphaera sphaeroconus*, *Dictyomitra* sp., *Eucyrtidium* sp., la mayoría imposible de ser determinados a nivel específico por la fuerte recristalización. Todas estas taxa pertenecen a las familias *Williriedellidae*, *Hagiastridae*, *Conosphaeridae*, *Eucyrtidiidae* y *Sethoperidae*. Dado el predominio de radiolarios del orden Nassellaria, se está en presencia de especies de aguas bien profundas, por debajo de los 3000 metros de profundidad, bajas latitudes, ambiente anóxico y en una zona batial superior.

La Familia *Sethoperidae*, a pesar de que su distribución estratigráfica, es desde el Jurásico Inferior Pliensbachiano al Cenozoico, posee un predominio en estratos del Cretácico Inferior Albiano Medio hasta el Cretácico Superior Turoniano Inferior.

También se reportan foraminíferos, tales como

Macroglobigerinelloides sp., *Heterohelicidae* (formas sin estrías), *Muricohedbergella* sp., *Biticinella breggiensis*; *Praeglobotruncana stephani*, *Rotalipora appenninica*, *Rotalipora subticinensis*, *Rotalipora* cf. *R. greenhornensis*, *Rotalipora* spp., *Rotalipora subtinicensis*; *Rotalipota greenhornensis*, así como *Nannoconus* si además, se observan foraminíferos bentónicos pequeños.

En la mayoría de los afloramientos, es difícil determinar las relaciones estratigráficas superiores de la Formación Santa Teresa, por ser mantos plegados y sobrecorridos en evidente aloctonía. Algunas observaciones locales en Cuba Central, sugieren su transición hacia la Formación Carmita. Un aumento de las calizas con edad Cenomaniano, especialmente de su horizonte Vraconiano, testimonian a favor de esta propuesta.

Por la carretera del aeropuerto de Santa Clara y en el norte del antiguo Central Benito Juárez, se han reconocido rocas de esta edad sobre las silicitas de la Formación Santa Teresa. Fueron descritos singulares afloramientos similares en el Valle de Pons, Pinar del Río.

El área tipo de la Formación Santa Teresa está precisamente en esta región. Se exponen en las cercanías de Sitiecito y en amplias franjas con dirección noroeste-sureste en las inmediaciones de los poblados de San Pedro, hasta la localidad de Córdova en la zona sur de Corralillo, por los caseríos La Sierra (**Figura 9**), hasta la desaparecida localidad Socorro y por Guillermo Llabré, en la provincia de Villa Clara. Aquí Kantchev y colaboradores (1978), reportaron silicitas cuarzo-calcedónicas y calcedónicas en capas de 0.1 hasta 10 cm, silicitas laminares de colores negros, grises-oscuras, grises-verdosas, grises carmelitosas, herrumbrosas, pigmentadas por óxidos de hierro y manganeso, son compactas y de forma ocasional, porosas.

Los estudios de esta unidad, realizados por Linares-Cala y colaboradores, por la zona de Corralillo, indican que las micritas radioláricas, son rocas constituidas por calcita, con moldes de radiolarios carbonatizados, recristalizados, algunos deprimidos y orientados que a veces se conservan silíceos. La frac-



Figura 9. Pedernales, arcillas y tufitas de la Formación Santa Teresa. Localidad la Sierra, Corralillo, provincia Villa Clara.

ción aleurítica fina, es escasa y en esencia, de cuarzo y plagioclasas.

Región de Esmeralda y Sierra de Camaján

Pedernales radioláricos, rocas arcillosas y tufitas intercaladas, se observan en áreas aisladas en Santa Rita, al este de Esmeralda (**Figura 10**) y en la Sierra de Camaján, en la provincia de Camagüey. Allí la Formación Santa Teresa se asocia con rocas del Neocomiano del Grupo Veloz, UTE Placetas, al yacer ambos conjuntos en forma de mantos tectónicos sobrecorridos y



Figura 10. Afloramientos de la Formación. Santa Teresa al este de Esmeralda, provincia de Camagüey.

plegados. En Santa Rita, se han descrito calizas con abundantes *Nannoconus* y en la Sierra de Camaján, con diferentes ammonites del Neocomiano.

Región del norte de la provincia de Holguín

En la localidad La Escondida y por los alrededores del poblado de Santa Lucía, en la provincia de Holguín, se han descrito pedernales con abundantes radiolarios, muy parecidos a los que afloran en Cuba Central. Pentelenyi y Garcés (1988), reportaron estas silicitas con el apelativo Formación Santa Lucía, asociándolas con las ofiolitas. Pero la presencia de rocas carbonatadas de aguas profundas, descritas por los autores en la Loma La Morena cerca del lugar, permite asociarlas con mayor propiedad con singulares afloramientos de rocas de cuenca del Dominio Paleogeográfico del Margen Continental Norteamericano.

Investigaciones palinológicas en la Formación Santa Teresa

De una localidad al sur de Candelaria del Aguacate, en la carretera del poblado de Ciro Redondo a Niceto Pérez, provincia de Artemisa, se estudió por métodos palinológicos la muestra EL-114-1-20. Se describieron: *Cicatricosporites* sp., *Cyathidites* spp., *Inaperturopollenites* sp., *Exesipollenites* sp., *Cycadopites* sp., *Retitriletes* sp., *Leptolepidites* spp., *Callialasporites* sp., *Marattisporites* sp. y *Criboperidinium* sp. De acuerdo con Dueñas y Linares-Cala (2001), estos fósiles indican edad desde el Jurásico al Cretácico Medio y consideran que las arcillas de la Formación Santa Teresa se depositaron en un paleoambiente marino.

Carbono Orgánico Total (COT)

Varias determinaciones muestran valores notables de COT en la Formación Santa Teresa, en diferentes localidades. Para ejemplificar, la estación del sur de Candelaria del Aguacate, provincia de Artemisa y la Cantera El Cocuyo, Santa Lucía, en la provincia de Pinar del Río. El COT de ocho muestras de la Formación Santa Teresa arrojó valores máximos de 3.1, mínimo de 0.14 y promedio de 1.16, lo que permiten catalogar la unidad como rocas madre.

CONCLUSIONES

La Formación Santa Teresa pertenece al Dominio Paleogeográfico del Margen Continental Norteamericano y se relaciona con el Conjunto Petrotectónico (CPT) de Rocas Pelágicas, de la UTE Placetas que pueden tener batimetría de hasta 3 000 metros. La presencia de esta unidad en el norte de Cuba, tanto por afloramientos como en la profundidad, desde Mantua en Pinar del Río, hasta La Escondida en la provincia de Holguín, indican una amplia franja con perspectivas petroleras.

Consta en esencia de pedernales radioláricos y arcillas, en menor proporción tufitas y calizas de edad Aptiano-Albiano, pero algunos horizontes superiores carbonatados pueden ser la base del Vraconiano del Cenomaniano. Si se separan las formaciones Santa Teresa y Carmita, no resulta favorable para las correlaciones estratigráficas, el término Santa Teresa-Carmita. Muchas de las capas que se describen macroscópicamente como pedernales, resultan al microscopio calizas silicificadas, ricas en radiolarios. Los tanteos geoquímicos por *Rock-Eval* del Carbono Orgánico Total, revelan los componentes de la formación como rocas madre, capaces de generar hidrocarburos. Los análisis de polen y esporas en las arcillas de la Formación Santa Teresa, indican edad Cretácico Medio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albear, J.; Boyanov, I.; Brezsnyszky, K.; Cabrera, R.; Chejovich, V.; Echevarría, B.; Flores, R.; Formell, F.; Franco, G.; Haydutov, I.; Iturralde-Vinent, M.; Kantchev, I.; Kartashov, I.; Kostadinov, V.; Millán, G.; Myczynski, R.; Nagy, E.; Oro, J.; Peñalver, L.; Piotrowska, K.; Pszczolkowski, A.; Radocz, J.; Rudnicki, J.; Somin, M. L.**, 1988. Mapa Geológico de Cuba. Escala 1:250 000.
- Brönnimann, P. y Pardo, G.**, 1954, Annotation to the correlation chart and catalogue of Formations (Las Villas province) ONRM MINEM. La Habana (Inédito).
- Cobiella, J. L. y Hernández, A.**, 1990. Estudio geológico de la Sierra del Rosario entre Soroa y Cayajabos, Provincias de Pinar de Río y La Habana. Archivo del CEINPET, La Habana (Inédito).
- Cobiella, J. L.**, 2000, Jurassic and Cretaceous Geological History of Cuba. *International Geological Review*, 42(7): 594-616.
- Danilewski, D.**, 1972, Esquema general de la composición tectónico-estructural de la zona Los Mogotes en el área de Pons-San Vicente (Sierra de Los Órganos). *Actas Academia de Ciencias de Cuba. Instituto de Geología y Paleontología*. 2(42-44). La Habana.
- Ducloz, Ch. y Vuagnat, M.**, 1962, A propos de l'âge des serpentinites de Cuba. *Arch. Sc. Geneve*, 15 (2): 309-332. 1962.
- Dueñas, Hernando y Linares-Cala, E.**, 2001, Proyecto Synrift Cuba. Determinaciones Palinológicas de muestras de superficie correspondientes varias formaciones. O-1674. Archivo del CEINPET. La Habana. Inédito.
- Dueñas, Hernando, Linares-Cala, E. y García-Sánchez, R.**, 2003, Palinomorfos en rocas de la Formación San Cayetano. Pinar del Río Cuba. *Revista Minería y Geología* 19 (1-2): 59-70.
- Gignoux, M.**, 1950, *Stratigraphic Geology*: W.H. Freeman and Co., San Francisco, 682 p. English Translation from the Fourth French Edition (1950) by Gwendolyn G. Woodford.
- Hatten, Ch. W.**, 1957, *Geology of the Central Sierra de Los Órganos*, Pinar del Río province, Cuba. ONRM, MINEM, La Habana. Inédito.
- Kantchev, Il; Y. Boyanov, N. Popov, R. Cabrera, A. Goranov, N. Iolkichv, M. Kanazirski, M. Stancheva.**, 1978, *Geología de la provincia de Las Villas. Resultados de las investigaciones geológicas y levantamiento geológico a escala 1: 250 000 (1969-1975)*. Brigada Cubano-Búlgara. ONRM. MINEM. La Habana. Inédito.
- Linares-Cala, E., Sosa Meisozo, C. García-Sánchez, R.; Valdés Pino P.**, 2002, *Formación Santa Teresa. Unidad Tectonoestratigráfica*

- Placetos. Importancia para la búsqueda del petróleo. *Revista Minería y Geología* (en prensa).
- Linares-Cala, E., García, D. E. Delgado, O.; López, J. G. Strazhevich, V.**, 2011, Yacimientos y manifestaciones de hidrocarburos de la República de Cuba. Centro Nacional de Información Geológica. IGP- CEINPET. Imprenta Palcograf. 480 pp. ISBN 978-959-7117-33-9. La Habana.
- Linares-Cala, E., Gómez, J.; García, R.; Yero, M.; Valdés Pino, P. Blanco, S. I. Hernández; Fariñas, C.**, 2000, *Oil and Geosite: Guía Práctica de Localidades de Interés Gasopetrífero*. ISBN 959-7160-03-X.
- Linares-Cala, E. López, J. O. y Valdés Pino, P.**, 1986, Informe del levantamiento geológico Cantel-Camarioca escala 1:20 000. Código 448. Archivo del CEINPET. La Habana. Inédito.
- Linares-Cala, E.**, 2003, Comparación entre las secuencias mesozoicas de aguas profunda y someras de Cuba central y occidental, significado para la exploración petrolera. Tesis de doctorado en Ciencias Técnicas, Departamento de Estratigrafía y Geología Regional, Centro de Investigación del Petróleo. Archivos CEINPET y ISPJAE. La Habana.
- Linares-Cala, E.; García-Delgado, D.; Blanco, S.; Fajardo-Fernández, Y.; Gil-González, S.**, 2020, Estratigrafía de las zonas petroleras de la República de Cuba. Archivo CEINPET. La Habana. Inédito.
- Linares-Cala, E.; Osadchiy, P. G.; Dovbnia, A. V.; Gil, S.; García, D. E.; García, L. M.; Zuazo, A.; González, R.; Bello, V.; Brito, A.; Bush, W. A.; Cabrera, M.; Capote, C.; Cobiella, J. L.; Díaz de Villalvilla, L.; Eguipko, O.; Evdokimov, J. V.; Fonseca, E.; Furrázola, G.; Hernández, J.; Judoley, C. M.; Kondakov, L. A.; Markovskiy, B. A.; Pérez, M.; Peñalver, L.; Tijomirov, Y. N.; Vtulochkin, A. N.; Vergara, F.; Zagoskin, A. M.; Zelepuguin, V. N.**, 1985, Mapa Geológico de la República de Cuba a escala 1:500 000. Ministerio Industria Básica. Fábrica Cartográfica, Instituto de Investigaciones Geológicas A. P. Karpinski, Leningrado. URSS. 4 Hojas.
- Linares-Cala, E.; P. Valdés Pino; Betancourt, M. y Galbán, M.**, 1987, Informe de los trabajos de levantamiento geológico en la región Motembo-Corralillo. Archivo del CEINPET. La Habana. Inédito.
- Longoria, J. F.**, 1993, La Terrenoestratigrafía: Un Ensayo de Metodología para el Análisis de los Terrenos con un ejemplo de México: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros Vol. XLVIII, N0.2, Julio-Diciembre, 1993, pp. 30-48.
- Martínez, D. y Fernández, R.**, 1988, Informe sobre los Resultados del Levantamiento Geológico y de Búsqueda Acompañante a escala 1:50 000 en la parte central de la Provincia de Pinar del Río. O.N.R.M-MINBAS, La Habana (Inédito).
- Martínez, D.; Fernández, R.; Peláez, R.; Vázquez, M.; Barrios, E.; Valido, A.; Reinoso, R.; Chang, J. C.; Fernández, O.; Denis, R.; Gómez, L.; García, D.; Gil, S.; Pérez, D.; Reyes, R.; Valdivia, M.; Núñez, R.; Pérez, R.; J. Langs, J.**, 1991, Informe sobre los Resultados del Levantamiento Geológico y Prospección Preliminar a escala 1:50 000 Pinar-Habana: ONRM-MINEM, La Habana (Inédito).
- Moretti, I.; Tenreyro, R.; Linares, E.; López, J. G.; Letousey, J.; Magnier, C.; Gaumet, F.; Lecomte, J. C.; López, J. O.; Zimine, S.**, 2002, Petroleum system of the Cuban North-West Offshore: Gulf of México-A.A.P.G.-memoir.
- Mormill, S.; Norman, A. Varvarov, A.; Skosiriev, V.; Linares-Cala, E. y F. Vergara**, 1980, Geología y Metalogenia de la Provincia de Pinar del Río: Instituto Geol. Paleontología, MINEM, La Habana. Inédito.

- Pentelenny, L. y Garcés-Leyva,** 1988, Sobre los resultados del levantamiento geológico y búsqueda acompañante a escala 1: 50 000 en el polígono Cuba-Hungría. ONRM. MINEM. Inédito.
- Pszczolkowski, A.,** 1986a, Composition of the clastic material from the arenites of the San Cayetano Formation in Sierra de los Órganos (Pinar del Río province, Cuba) (in Spanish): Ciencias de la Tierra y del Espacio, v. 11.
- Pszczolkowski, A.,** 1994, Geological cross-section through the Sierra del Rosario thrust belt, western of Cuba, Studia Geologica Polonica 105.
- Sánchez-Arango, J. R. y Tenreiro, R.,** 1996, Stratigraphy and Geological Evolution of the Continental Margins in Cuba. SAMC NEWS, 5, August, ISSN 1413-6813M, Río de Janeiro, pp. 54-57.
- Sánchez-Arango, J.; Castro, O.; García, R. y Rodríguez, M.,** 1996, Correlación Estratigráfica Preciosa-Varadero. Archivo del CEINPET. La Habana
- Shopov, V.,** 1982, Estratigrafía y Subdivisión de las Zonas de Placetas y Camajuaní en la antigua provincia Las Villas (Cuba Central): Ciencias de la Tierra y El Espacio. No. 4 pp. 39-46.
- Truitt, P. y Pardo G.,** 1953, Reconnaissance of Santa Clara-Calabazar-Camajuaní-Placetas Área. ONRM. MINEM. La Habana. Inédito.
- Truitt, P. y P. Brönnimann,** 1956, Geological Memorandum PT-47. Stratigraphic dates of Las Villas and Camagüey provinces. ONRM. MINEM. La Habana. Inédito.
- Valladares, S.; D. Brey; B. Villavicencio; O. Castro; M. Rodríguez; C. Núñez; R. Segura; J. Álvarez; J. Hernández,** 1997, Informe reservorios carbonatados pertenecientes a la UTE Placetas, Etapa 1. Proyecto 6-95. Reservorios carbonatados de Cuba. E-251. Archivo del CEINPET. La Habana. Inédito.
- Valladares, Silvia, Brey, D., Villavicencio, B. Castro, O., Rodríguez, M. Núñez, C., Segura, R., Álvarez, J., Hernández, J.,** 1998, Reservorios de rocas carbonatadas del Margen Continental pertenecientes al Dominio Las Villas y en las bioconstrucciones del Cretácico. Geología y Minería '98. Memorias I. pp. 717-720 CNDIG, La Habana.
- Vázquez, C.; Prieto, R.; Rodríguez M.; Milian, E.,** 1993, Informe al levantamiento geológico 1:50 000 y búsqueda norte las Villas III. Oficina Nacional de Recursos Minerales. MINEM. La Habana. Inédito.
- Wassall, H. y Pardo, G.,** 1952, Geological Memorandum HW-11, Sagua-Calabazar área, ONRM, La Habana (Inédito).

Fecha de recepción: 01 de diciembre de 2021

Fecha de arbitraje: 01 de diciembre de 2021

Fecha de aprobación: 03 de diciembre de 2021

Interrupción al proceso de cambio de etapa TR20” por emanación de gas durante la cementación de la tubería superficial.

Celia Soriano Hernández¹ y Omar Óscar Ramírez Amayo²

¹ *Maestrante de Ingeniería Petrolera en la Universidad Olmeca. ORCID ID 0000-0003-1930-7670. Correo Electrónico: soriano.cly@gmail.com*

² *Asesor Externo, Coordinador de Diseño y Seguimiento Operativo de Activo de Exploración Terrestre Sur, Pemex Exploración y Producción. ORCID ID: 0000-0002-6371-5316. Correo Electrónico: omar.oscar.ramirez@pemex.com*

RESUMEN

La cementación de pozos es considerada como una operación de alto riesgo y costo dentro de la construcción de un pozo, ya que la integridad y la continuidad de las operaciones depende de la calidad del sello hidráulico que se genera en el espacio anular de cada zapata, con el fin de que la prueba de goteo sea efectiva y proporcione acciones pertinentes permita dar la información correspondiente para programar las condiciones adecuadas para continuar con la perforación del pozo. En este trabajo se describe un caso real de una falla en la cementación primaria en el pozo Z, donde se observó una emanación de gas entre el espacio anular de la tubería conductora de 30” y la tubería superficial de 20”, lo que ocasionó realizar trabajos correspondientes a una cementación secundaria, así como un incremento en los tiempos no productivos e incremento y de costos del proyecto. El Análisis de Causa Raíz de incidente, deja como lección aprendida, la importancia de diseñar la cementación de las tuberías superficiales, en pozos donde durante la perforación de estas etapas se detecten manifestaciones de gas, la utilización de controlador de gas en las lechadas, el tiempo de bombeo corto y tiempo de transición menores a 45 minutos.

Palabras Clave: Cementación de tubería, interrupción del proceso, manifestación de gas, etapa TR20”

ABSTRACT

Well cementing is considered a high-risk and costly operation within the construction of a well project, since the integrity and continuity of operations depends on the quality of the hydraulic seal that is generated in the annular space of each shoe, so that the drip test can be effective and allow the corresponding information to be provided to program the appropriate conditions to continue drilling the well. In the following work, a real case of a failure in the primary cementation in well Z is described, where a gas emanation was observed between the annular space of the 30” conductive pipe and the superficial 20” pipe, which caused carry out works corresponding to a secondary cementation, as well as an increase in non-productive times and an increase in project costs. The Root Cause Analysis of this incident, leaves as a lesson learned, the importance of designing the cementation of superficial pipes, in wells where gas manifestations are detected during the drilling of these stages, the use of a gas controller in the slurries, the short pumping time and transition time less than 45 minutes.

Key words: Pipe cementation, process interruption, gas manifestation, stage TR 20"

RESUMO

A cimentação de poços é considerada uma operação de alto risco e custosa dentro da construção de um projeto de poço, pois a integridade e continuidade das operações dependem da qualidade da vedação hidráulica que é gerada no espaço anular de cada sapata, para que o teste de gotejamento pode ser eficaz e permitir que as informações correspondentes sejam fornecidas para programar as condições adequadas para continuar a perfuração do poço. No trabalho a seguir é descrito um caso real de falha na cimentação primária do poço Z, onde foi observada uma emanção gasosa entre o espaço anular do tubo condutor de 30" e o tubo superficial de 20" o que ocasionou a realização de obras correspondentes a uma cimentação secundária, bem como um aumento dos tempos não produtivos e um aumento dos custos do projeto. A Análise da Causa Raiz deste incidente, deixa como lição aprendida, a importância do dimensionamento da cimentação de tubulações superficiais, em poços onde são detectadas manifestações de gás durante a perfuração dessas etapas, a utilização de um controlador de gás nas lamas, o curto tempo de bombeamento e tempo de transição inferior a 45 minutos.

Palavras chave: Cimentação do tubo, interrupção do processo, manifestação de gás, estágio TR 20"

INTRODUCCIÓN

Durante la fase de seguimiento, el diseño de la lechada de cemento, se ajusta al final de la perforación de la etapa, de acuerdo con las condiciones reales de perforación del proyecto pozo, donde se realizan distintas simulaciones de la Densidad Equivalente de Control (DEC) con las condiciones actuales para seleccionar la mejor opción, una vez que se varían los diferentes parámetros, como son: densidad y reología de lodo de perforación, los volúmenes y densidades del bache lavador y espaciador, el volumen y densidad de la lechada de cemento, etc. (Instructivo operativo, 2022).

De igual forma, es responsabilidad del personal de seguimiento táctico del Activo, realizar las pruebas de laboratorio del cemento a suministrar por parte de la compañía prestadora de servicios, como forma de mantener un control de la calidad de todos los factores que influyen en el diseño de lechada (Guía operativa, 2019).

La cementación secundaria surge si existe la necesidad de efectuar trabajos remediales para garantizar la integridad del pozo cuando la cementación primaria no cumple con su objetivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los métodos están en función de la presencia de gas en superficie, durante todas las actividades realizadas en la cementación secundaria.

1. Descripción del pozo z

El Proyecto Pozo Z, se ubica en el estado de Tabasco y su objetivo fue incorporar reservas de hidrocarburos en los carbonatos fracturados, dolomitizados de forma parcial del Cretácico.

El estado mecánico programado para el Proyecto Pozo Z (**Figura 1**), consideraba una arquitectura robusta, para perforar hasta los 6 665.00 metros.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante la perforación de la etapa con tubería 26", se utilizó una barrena PDC 26" y una sarta estabilizada a 1050 metros, se terminó de perforar la etapa con fluido polimérico de 1.31 gr/cc.

Durante toda la perforación no se observaron pérdidas ni ganancias y se mantuvo un ROP promedio de 25 m/hr.

Sin embargo, durante la perforación, se presentaron manifestaciones en dos ocasiones (**Figura 2**):

- **Manifestación 1:** 380 m a 400 m. Lectura máxima de gas 50 584 ppm, lo que ocasionó una variación de la densidad de 1.31 a 1.29 g/cm.
 - **Manifestación 2:** 748 m a 765 m. Lectura máxima de gas 50 584 ppm, lo que ocasionó una variación de la densidad de 1.31 a 1.30 g/cm³
- Durante la operación de introducción de la tube-

ría de revestimiento (TR) de 20" no se reportó problemas operativos, la tubería superficial de 20" 133 lb/ft, k55, TSH-ER bajó con equipo para correr tuberías de revestimiento (CRT) con rotación y circulación a 1048 m, donde se circuló homogenizando columnas con $D= 1.35 \text{ g/cc}$, se instaló la cabeza de cementar y se procedió a realizar la cementación primaria, donde se observó salir 35 m³ de cemento a superficie. Se procedió a seguir con el cambio de etapa, sin esperar fraguado.

2. Cementación primaria y anillos fallidos

El reporte de la cementación primaria de la TR 20" se notificó como una operación satisfactoria, ya que fue realizada de acuerdo con el programa. En esta operación se realizaron las siguientes actividades:

- Bombeo 14.31 m³ (90 bbl) de bache espaciador de 1.40 g/cm³, Q= 8 bpm, Pb= 380 psi. Se liberó tapón diafragma.
- Mezcla y bombeo de 138.6 m³ (872 bbl) de lechada de llenado de 1.50 g/cm³, Q= 6 bpm, Pb= 211-274 psi.
- Mezcla y bombeo de 37.2 m³ (234 bbl) de le-

chada de amarre de 1.90 g/cm³, Q= 4-5 bpm, Pb= 540-180 psi.

- Liberación de tapón sólido.
- Se observó desplazamiento al realizar el bombeo de 1.59 m³ de lechada de 1.90 g/cm³, Q= 2 bpm, Pb= 200 psi.
- Bombeo de 1.59 m³ (10 bbl) de bache espaciador de 1.40 g/cm³, Q= 2 bpm, Pb= 150 psi.
- Bombeo de 254.4 m³ (1110 bbl) de lodo de 1.35 g/cm³, Q= 3-8 bpm, Pb= 322-1000 psi. Bombeo 10.3 m³ (65 bbl) de agua de 1 g/cm³, Q= 3 bpm, Pb= 700-770 psi, hasta acoplar tapón con presión final= 1370 psi.
- Prueba de equipo de flotación y se observó retorno de 8 bbl a cajas de la Unidad de Alta Presión (UAP).
- Se procede con seguir con el cambio de etapa.

En la gráfica de la **Figura 3** se observa esta secuencia de actividades. Se puede observar que hay circulación sin reporte de gas en superficie, así como salida de cemento a superficie.

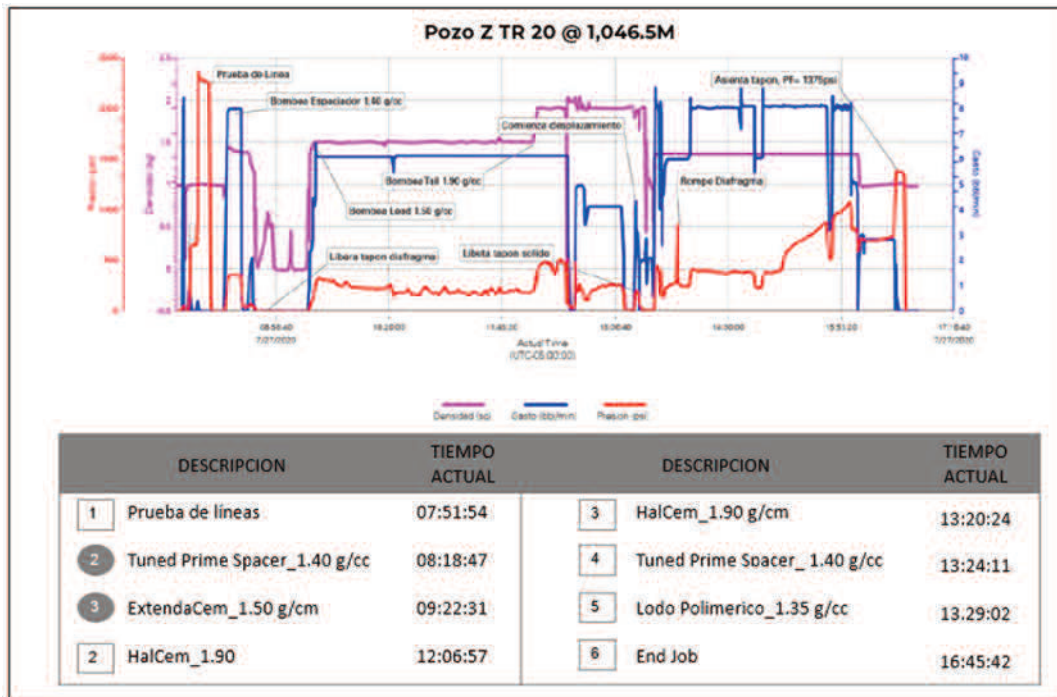


Figura 3. Operación de la cementación primaria

2.1 Burbujeo después de cementación primaria

Durante las actividades de cambio de etapa, cuando se procedió a aflojar la tornillería del diverter, se observó al pozo con escurrimiento e incremento de este. Se cerró el pozo y hubo una espera de un total de 22 horas de fraguado para 431 psi de esfuerzo compresivo en la lechada de llenado. Al finalizar se observó un escurrimiento y burbujeo en el pozo.

2.2 Colocación de primer anillo de cemento

Con el fin de reparar los problemas originados en la cementación primaria, se inicia la colocación de la cementación del 1er Anillo de cemento (**Figura 4**), en el espacio anular entre la TR de 30" y la TR de 20" se utilizó tubería macarroni de 1.25", la cual se introdujo a 17 mD, donde encontró resistencia franca, se llenó la línea superficial con 1.03 m³ (6.5 bbl) de agua fresca D=1.0 g/cc, Q=1 bpm, P= 22 psi.

Después se mezcló y bombeó 2.46 m³ (15.5 bbl) de lechada única de cemento de 1.90 g/cc, Q=1 bpm, P= 34-85 psi, y se observó lechada en superficie con una densidad máxima de 1.80 g/cc.

El trabajo finalizó cuando se realizó lavado de equipo y se esperó 6 horas de fraguado, luego se abrió diverter y se observó un anillo de cemento sin fraguar y con burbujeo constante, por lo que se procedió a cerrar pozo.

2.3 Colocación de segundo anillo de cemento

Para la colocación de la cementación 2do Top Job en anular entre TR de 30" y TR de 20" se colocó manguera metálica de 2" en claro anular a 13 m y con la unidad de alta presión (UAP) se procede con el bombeo 2 bbl de bache reactivo injectrol de 1.03 g/cc, Q= 0.5 bpm, Pb= 19 psi, se continúa con la mezcla y colocación por gravedad de lechada única de cemento de 2.02 g/cc, Q=0.5 bpm, Pb=27-38 psi y se bombea 7 bbl de lechada.

Se esperó 18 horas de fraguado, se abrió de forma controlada el pozo a través de la válvula mecánica de diverter 29 1/2" hacia presa de quema, se observó salir gas con lecturas de 80-100 % de explosividad. Se abrió por completo la válvula mecánica de diverter y observó desfogar gas y burbujeo aun constate.

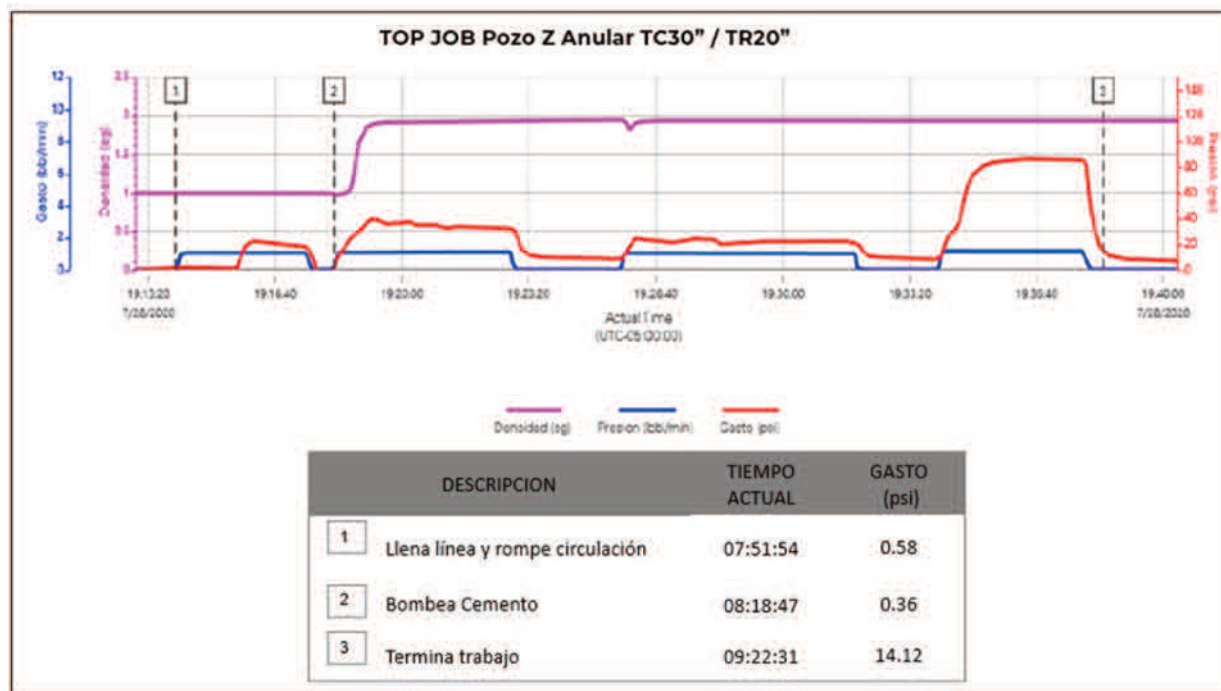


Figura 4. Operación de la colocación del primer anillo de cemento

3. Remediación

3.1 Encapsulado de contrapozo con resina epóxica de alta densidad

Para la remediación de la fuga de gas se procedió al vaciado de fluido oleoso del contrapozo, para colocación de encapsulado de resina por capas, sin embargo, se advierte que el cemento de la jaula de venteo se encuentra crackeado por diversas partes, por lo que se procedió al armado de cimbra de contención para encapsulado y recubrimiento de jaula de venteo.

Se aplicaron la primera capa con resina epóxica de calidad aeroespacial para efectuar el primer control de gas, y se observó que la derivación de gas combustible al quemador aumentó del 20 % al 80 % y una reducción de presencia de gas en el contrapozo, los tiempos de consolidación de resina fueron de 5 horas al tacto para la primera capa.

Se le aplicó 3 capas adicionales para un total de 4 capas de encapsulado total (**Figura 5**)

En la **Figura 6**, se observa el esquemático de la secuencia de actividades realizadas para la colocación de la resina, (a) se muestra cómo se encontraba el contrapozo después de las actividades de colocación de los anillos de cemento, donde todavía se tenía burbujeo en superficie. **La Figura 6 (b)** muestra la primera capa de resina sellante y alta viscosidad, mientras que en la **Figura 6 (c)**, la continuidad, con la aplicación de la resina sellante, pero una viscosidad diferente.

Finalmente, en la **Figura 7**, se aprecia el resultado final, en el que el volumen suministrado de resina para recubrimiento de jaula de venteo fue de 34.31 bbl. A este punto ya se contaba con el 100 % de flujo derivado al quemador, sin detectar presencia de



Figura 5. Encapsulado de contrapozo

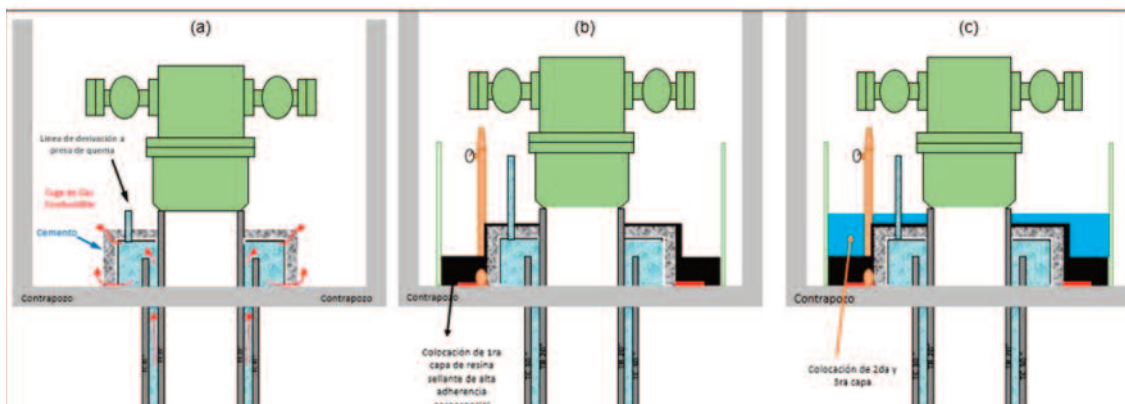


Figura 6. Secuencia esquemática de remediación con resina

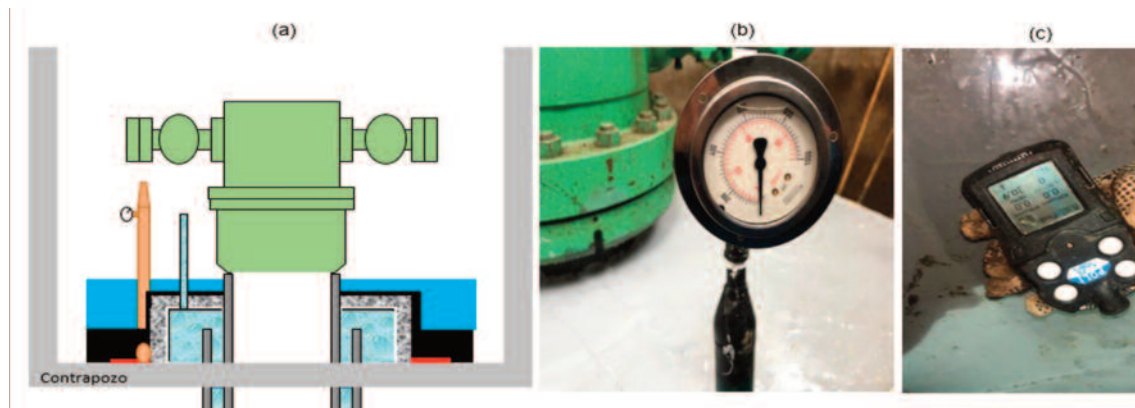


Figura 7. Verificación de la remediación con resina

gas en contra pozo, lo cual fue comprobado con la verificación de presión y presencia de gas.

3.2 Disparo *puncher*

Para cumplir con los requerimientos normativos se programó un Tapón por Circulación Inyectado (TxC), lo que inició el armado de pistola 4 5/8" OD.17c x m, F-60 y se procedió a disparar 2 m del intervalo 325-327 m con éxito. Levanto sonda a superficie y se observó el venir 100 % disparada. Al mismo tiempo con personal de operación abrió válvula hidráulica y cerró preventor ciego. Observó pozo a través del ensamble de estrangulación. Presión inicial = cero Presión final = cero. Metió Tubería de perforación (TP) a 338 m.

Se realizó prueba de admisión a 0.5 bpm donde se observó un comportamiento escalonado con tendencia a subir, hasta llegar a 290 psi con 6 bbl bombeados, con retorno de 0.5 bbl. Se realizó una segunda prueba de admisión con 0.8 bpm y se observó el mismo comportamiento escalonado, en esta ocasión llega a los 290 psi con 1.9 bbl bombeados.

Se procedió a realizar TxC inyectado a 338 m con rotación a 10 rpm, bombeó 65.54 bbl (10.42 m³) de bache espaciador $d= 1.40 \text{ g/cm}^3$, $q= 8-6 \text{ bpm}$ $pb= 410-250 \text{ psi}$. Se continuó con el programa y bombeó 67.08 bbl (10.65 m³) de lechada única $d= 1.95 \text{ g/cm}^3$, $q= 3 \text{ bpm}$, $pb= 260 \text{ psi}$. Inició el desplazamiento con 4.46 bbl (0.71 m³) de bache espaciador por detrás, $d= 1.40 \text{ g/cm}^3$, $q= 3 \text{ bpm}$ $pb= 60 \text{ psi}$ y finalizó con 13

bbl (2.07 m³) de lodo $d= 1.35 \text{ g/cm}^3$, $q= 2 \text{ bpm}$, $pb= 45 \text{ psi}$ (se desplazaron 1.98 bbl del volumen teórico de desplazamiento). Después se levantaron 5 lingadas a velocidad controlada, para quedar por encima del seno del bache espaciador y observó 5 lingadas vacías. Se conectó otra vez la UAP a TP y rompe circulación con 7 bbl, se cierra preventor y forzó un volumen total de 1.8 bbl de cemento y se logra alcanzar los 220 psi acordados. para bombeo y cierra pozo con 31 psi.

Para la realización del Análisis de Causa Raíz, se nombró este evento como «Interrupción de proceso de cambio de etapa de TR20"» por observar emanación de gas entre espacio anular de TR30" y 20", dando como resultado las siguientes causas:

- Causas físicas: Cemento sin fraguar y canalizado por presencia de gas.
- Causas Humanas: Mal diseño de las lechadas de cemento.
- Causas sistémicas: Homologación de criterios de diseño de lechada de cemento para pozos con manifestación de gas.

CONCLUSIONES

La manifestación de gas en el contrapozo «Z» fue derivado de una falla de la cementación primaria, donde se observó mala consistencia de cemento en espacio anular, por mal diseño de lechada de llenado, donde no se agregó aditivo controlador de gas, lo que ocasionó un tiempo de tránsito mayor a 45 min. y un esfuerzo compresivo menor a 500 psi en 24 horas y

provocó emanación de gas y burbujeo constante en el espacio anular TC 30" y TR 20"

Lo que deja las siguientes lecciones aprendidas:

- Agregar aditivos controladores de gas someros, en etapas superficiales con presencia de gas
- Diseño de lechadas de llenado mayor densidad de 1.50 g/cc en presencia de gas.
- Tiempos de tránsito menores a 45 min
- Lechadas de densidad que generen un mínimo esfuerzo compresivo de 500 psi en 24 horas

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Instructivo operativo para cementación de tubería

de revestimiento corrida, clave IO-SP-OP-0123-2020. Noviembre 2020, versión primera.

Guía operativa única para diseño y seguimiento a la ejecución de la cementación de pozos en Pemex Exploración y Producción (PEP), clave GO-DP-TC-0007-2019. Diciembre 2019, versión Segunda.

Fecha de recepción: 10 de mayo de 2022

Fecha de arbitraje: 30 de mayo de 2022

Fecha de aprobación: 17 de noviembre de 2022



Integración geológica, geofísica y geoquímica en la estimación del potencial generador de rocas con altos contenidos orgánicos

Demetrio Santamaría Orozco¹ y Tomás Ramírez Maldonado²

¹ Doctor en Ciencias Naturales por el Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, Alemania. División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de México. Correo Electrónico: demsant@unam.mx

² Doctor en Ciencias de la Ingeniería por la Universidad Nacional Aeroespacial de Ucrania. Correo Electrónico: tr Ramirez24@hotmail.com

RESUMEN

En una cuenca petrolera, las cocinas de generación son las zonas más atractivas para la búsqueda de las mayores concentraciones de hidrocarburos, para ello es indispensable determinar el volumen de roca generadora y la etapa de madurez en la que se encuentra la materia orgánica que contiene. Como esta materia no es continua y tampoco homogénea, es necesario determinar *in situ* los posibles volúmenes de hidrocarburos que se generaron y la cantidad que pudo quedar almacenada en las trampas cercanas a las cocinas de generación. La determinación se facilita por la integración y el procesamiento de información geofísica, geológica y geoquímica. Para demostrar que la integración de las disciplinas mencionadas facilita la determinación de volúmenes de hidrocarburos, se analizó la información de 11 pozos que atraviesan las rocas generadoras del *Tithoniano* al sur del Golfo de México, en la porción marina de las cuencas del sureste. Para el caso se integró información de registros geofísicos de pozos, de estratigrafía de secuencias, de pirólisis *Rock Eval* y de petrografía orgánica de varios núcleos obtenidos en esos pozos. Los resultados mostraron la distribución

espacio-temporal de la materia orgánica contenida en esas rocas y la madurez térmica que alcanzaron en distintas regiones dentro de la ventana de generación de petróleo y gas. Para lograr lo anterior se aplicó el método $\Delta \log R$ para calcular el total de carbono orgánico (TOC por sus siglas en inglés) con continuidad vertical y se calcularon los volúmenes totales de los distintos intervalos estratigráficos del lugar. También se estableció su distribución geográfica y las concentraciones máximas de materia orgánica, además se encontró la relación de transformación con respecto al incremento de la madurez y se corroboró que las variaciones verticales coinciden con 7 ciclos de tercer orden de las curvas eustáticas propuestas por varios autores.

Palabras clave: Registros de pozo, rocas generadoras, geoquímica orgánica, estratigrafía de secuencias, volumen de hidrocarburos.

ABSTRACT

In an oil basin, the generation kitchens are the most attractive areas in the search for large concentrations of hydrocarbons, for this it is essential to determine

the volume of source rock and the stage of maturity in which the organic matter it contains is found. As this material is not continuous or homogeneous, it is necessary to locally determine the possible volumes of hydrocarbons that were generated and the amount that could have been stored in the traps near the generation kitchens. The determination is facilitated by integrating and processing geophysical, geological and geochemical information. To demonstrate that the integration of the aforementioned disciplines facilitates the determination of hydrocarbon volumes, information from 11 wells that cross the Tithonian source rocks in the southern Gulf of Mexico, in the marine portion of the southeastern basins, was analyzed. For this case, information from geophysical well logs, sequence stratigraphy, Rock Eval pyrolysis and organic petrography of various cores obtained in those wells was integrated. The results showed the spatio-temporal distribution of the organic matter contained in these rocks and the thermal maturity reached in different regions within the oil and gas generation window. To achieve the above, the $\Delta \log R$ method was applied to calculate the total organic carbon (TOC) with vertical continuity and the total volumes of the different stratigraphic intervals of the place were calculated. Its geographical distribution and the maximum concentrations of organic matter were also established, in addition, the transformation relationship was found with respect to the increase in maturity and it was confirmed that the vertical variations coincide with 7 cycles of the third order of the eustatic curves proposed by several authors.

Key words: well logs, source rocks, organic geochemistry, sequential stratigraphy, hydrocarbon volume.

RESUMO

Em uma bacia de petróleo, os fogões de geração são as áreas mais atrativas para a busca das maiores concentrações de hidrocarbonetos, para isso é essencial determinar o volume de rocha geradora e o estágio de maturidade em que se encontra a matéria orgânica que contém. Como esse material não é contínuo e ho-

mogêneo, é necessário determinar *in situ* os possíveis volumes de hidrocarbonetos que foram gerados e a quantidade que poderia ser armazenada nas armadilhas próximas às cozinhas de geração. A determinação é facilitada pela integração e processamento de informações geofísicas, geológicas e geoquímicas. Para demonstrar que a integração das disciplinas supracitadas facilita a determinação dos volumes de hidrocarbonetos, foram analisadas informações de 11 poços que atravessam o *Tithoniano* gerando rochas ao sul do Golfo do México, na porção marinha das bacias do sudeste. Para este caso, foram integradas informações de registros geofísicos de poços, estratigrafia sequencial, pirólise de *Rock Eval* e petrografia orgânica de diversos núcleos obtidos nesses poços. Os resultados mostraram a distribuição espaço-temporal da matéria orgânica contida nessas rochas e a maturidade térmica que atingiram em diferentes regiões dentro da janela de geração de petróleo e gás. Para tanto, aplicou-se o método $\Delta \log R$ para calcular o carbono orgânico total (COT) com continuidade vertical e calculados os volumes totais dos diferentes intervalos estratigráficos do local. Sua distribuição geográfica e concentrações máximas de matéria orgânica também foram estabelecidas, além da relação de transformação foi encontrada com relação ao aumento da maturidade e foi corroborado que as variações verticais coincidem com 7 ciclos de terceira ordem das curvas eustáticas propostas por vários autores.

Palavras chave: perfis de poços, rochas geradoras, geoquímica orgânica, estratigrafia sequencial, volume de hidrocarbonetos.

INTRODUCCIÓN

Durante la exploración petrolera es indispensable determinar, en una cocina de generación de hidrocarburos, el volumen y la temperatura que alcanzan las rocas generadoras, la geometría de éstas y la madurez de la materia orgánica (MO) que contienen. Como esta MO no es continua y tampoco homogénea, hay que determinar localmente, tanto los volúmenes de

hidrocarburos generados por esas rocas como los atrapados en las trampas cercanas.

Un enfoque usado en la industria petrolera para el cálculo del volumen de roca generadora, es utilizar valores promedio de TOC y del índice del potencial generador (Demaison & Huizinga, 1991) para obtener el espesor neto generador (ENG) de la secuencia productiva. Otro enfoque se relaciona con la simplificación del sistema petrolero, en donde los valores de TOC de roca generadora varían lateral y verticalmente. Ésta genera y expulsa los hidrocarburos, los cuales migran hacia zonas de menor presión, que carga de líquidos y/o gases los yacimientos petroleros convencionales. Si se trata de un *play* no convencional, la roca generadora engloba todo el sistema petrolero (gas de lutita o aceite de lutita) (Curtis, 2002).

Como ejemplo de cálculo de volúmenes, se consideran varios pozos de una secuencia del *Tithoniano*, donde se integran datos de registros de pozos, estratigrafía de secuencias, geoquímica orgánica, e información adicional de análisis de laboratorio de las muestras disponibles de roca generadora, entre otros: análisis estructural, sedimentológico, petrográfico, paleontológico, etc., complementándose con interpretaciones sísmicas y de secuencias estratigráficas similares.

La combinación e integración de estos datos proporciona una imagen a gran escala de la distribución del TOC en la roca generadora y se obtiene información más detallada sobre la heterogeneidad vertical y horizontal de esa riqueza orgánica.

1.1 Registros geofísicos de pozo y estratigrafía de secuencias

1.1 Registros de pozo

El análisis de registros de pozo se ha utilizado en varias cuencas sedimentarias para estimar la cantidad de TOC en las rocas generadoras (Mendelson y Toksöz, 1985; Meyer y Nederrlof, 1985, Carpentier *et al.*, 1989, y Passey *et al.*, 1990). Los resultados de estos análisis han demostrado la alta variabilidad del TOC tanto en el tiempo como en espacio a lo largo de

una cuenca petrolera y su columna sedimentaria. Con los registros de pozo se obtienen varias propiedades petrofísicas: litología, facies, porosidad, permeabilidad, saturación de fluidos, etc. El análisis de estas propiedades permite determinar el espesor productivo, la riqueza orgánica y el grado de evolución térmica (cf. Asquith, 1982; Serra, 1986; Schlumberger, 1987) en las rocas generadoras de aceite.

Los registros de pozo también pueden utilizarse para determinar intervalos estratigráficos, o para correlacionar facies orgánicas entre pozos cercanos.

En geoquímica orgánica, con los registros de pozo se evalúa de forma cualitativa la madurez de la roca generadora (Krystinik & Charpentier, 1987; Mathis *et al.*, 1987; Mann & Müller, 1988; Mathis, 1993, Lang, 1994) y en conjunción con estratigrafía de secuencias, se determinan los cambios verticales y laterales en la riqueza orgánica, la distribución espacio temporal de la roca generadora o bien, para relacionar la tectónica y la sedimentación (Bourquin *et al.*, 1990; Leckie *et al.*, 1991, Creaney *et al.*, 1991; Bohacs & Isaken, 1991; Creaney & Passay, 1993, y Lamber, 1993, Carpentier *et al.*, 1993; Bessereau *et al.*, 1995).

1.2 Estratigrafía de secuencias

La estratigrafía de secuencias es una herramienta muy útil en el análisis de cuencas sedimentarias. Las secuencias individuales reconocidas se caracterizan por diversos factores, tales como: subsidencia, eustatismo y tasa de sedimentación. La distribución de la materia orgánica en un marco estratigráfico de secuencia se relaciona con la productividad y la preservación de la materia orgánica (Carpentier *et al.*, 1993; Bessereau *et al.*, 1995).

Con la estratigrafía de secuencias se definen los sistemas de depósito, que son los principales conjuntos de litofacies cerradas dentro de los límites de la secuencia (Vail *et al.*, 1977). La superposición de secuencias estratigráficas depende de cambios eustáticos, tasas de sedimentación, subsidencia y fisiografía. La clasificación de secuencias (Haq *et al.*, 1987) permite distinguir:

- a) Un ciclo de quinto orden (duración entre 0.01 y 0.2 m.a.), que se ajusta a los ciclos de Milankovitch o ciclos orbitales.
- b) Un ciclo de cuarto orden (duración entre 0.2 y 1 m.a.), que corresponde con variaciones del nivel del mar.
- c) Un ciclo de tercer orden (duración entre 1 y 10 m.a.), que coincide con grandes eventos transgresivos y regresivos en las cuencas sedimentarias.

Los eventos transgresivos y regresivos ocurren por movimientos de bloques tectónicos o reactivaciones del basamento, estos controlan la evolución de la cuenca y dependen del tipo de sepultamiento y del régimen de flexión (Mitchum & Van Wagoner, 1991).

MATERIALES Y MÉTODOS

2 Método y muestra

2.1 Método ΔU

Las rocas generadoras de petróleo contienen minerales de arcilla, que se asocian con alta radiactividad y abundante materia orgánica (Tissot & Welte, 1984).

Por regla general se ha asumido que la matriz inorgánica en lutitas consiste en casi el 100 % de minerales de arcilla, lo que lleva a un error en la estimación del TOC, ya que el contenido de TOC aumenta de manera proporcional a la disminución en el tamaño de partícula.

El registro de rayos gamma (base del método ΔU) ha sido el más utilizado para la identificación de rocas con alto contenido de materia orgánica (Fertl & Rieke, 1980; Schmoker, 1979; 1981; Austric & Dumesnil, 1985; Mann *et al.*, 1986; Mann & Müller, 1988). La identificación de esas rocas está relacionada con la variación del contenido de uranio, el cual se identifica en el registro de rayos gamma.

El método ΔU se basa en una comparación de la curva de Rayos Gamma Total SGR (uranio+torio+potasio) y la curva de Rayos Gamma Corregida GRC (torio+potasio). El resultado de la comparación dará el contenido de uranio, el cual describe de forma cualitativa el contenido de materia orgánica de una roca generadora, ya que la materia orgánica y los ácidos

húmicos tienen una afinidad química con el uranio, mientras que el torio y potasio están asociados con la afluencia clástica.

El contenido de uranio así determinado se utiliza para definir en dónde se encuentra o dónde estuvo presente la materia orgánica en los sedimentos marinos ricos en arcilla.

2.2 Método $\Delta \log R$

Passey *et al.* (1990), desarrollaron el método $\Delta \log R$ para identificar y calcular el porcentaje de TOC en rocas ricas en materia orgánica. La técnica consiste en superponer las curvas de resistividad y del tiempo de tránsito del registro sónico de porosidad) y se mide la separación entre ellas con respecto a una línea base. La separación entre las curvas ocurre porque la curva del sónico responde a la baja densidad del kerógeno y la curva de resistividad responde al tipo de fluidos de la formación. La separación entre las dos curvas es mayor en rocas generadoras ricas en materia orgánica, donde las altas proporciones de TOC reducen la densidad aparente del sedimento y si las rocas se encuentran en la ventana de generación del petróleo, entonces la presencia de hidrocarburos aumenta el valor de la resistividad. Esta separación la definieron como $\Delta \log R$. Si de manera previa se determinó o estimó la madurez del intervalo generador, la separación entre las curvas se transforma a un valor de TOC. Esta separación se determina por medio de la Expresión (1):

$$\Delta \log R = \log_{10} (R / R_{\text{línea base}}) + 0.02 \times (\Delta t - \Delta t_{\text{línea base}}) \quad (1)$$

donde $\Delta \log R$ es la separación entre las curvas, R es la resistividad medida en Ω -m, Δt es el tiempo de tránsito medido en $\mu\text{sec}/\text{ft}$, $R_{\text{LÍNEA BASE}}$ es la resistividad correspondiente a la línea base Δt . La línea base varía en función de la riqueza orgánica (por ejemplo, de 0.2 Ω -m a 50 $\mu\text{sec}/\text{ft}$ para rocas pobres orgánicamente y de 20 Ω -m a 100 $\mu\text{sec}/\text{ft}$ para rocas ricas en material orgánico). Por otro lado, el tiempo de tránsito varía de 70 a 120 $\mu\text{sec}/\text{ft}$ respectivamente, por lo que la velocidad media de la materia orgánica

es cercana a los 180 $\mu\text{sec}/\text{ft}$ (Meldenson & Toksoz, 1985).

El TOC se calcula a partir de la Expresión empírica (2): donde TOC es el carbono orgánico total medido en % en peso y el LOM (Nivel de Metamorfismo Orgánico) es el valor de madurez alcanzado por la materia orgánica en la escala definida por Hood *et al.* (1975).

$$\text{TOC} = (\Delta \log R) \times 10^{(2.297 - 0.1688\text{LOM})} \quad (2)$$

Una vez calculado el $\Delta \log R$, se calibran los resultados con análisis de laboratorio de muestras de núcleo (del mismo pozo), lo que permite estimar el contenido de TOC de una roca generadora en forma semicuantitativa y continua (intervalos verticales de hasta 1 m) tanto para el área analizada como para pozos en los que se encontró la misma roca generadora con la misma madurez.

3 Muestras y enfoque

Como la secuencia de roca generadora del *Tithoniano* de la Sonda de Campeche muestra un rango de madurez muy amplio, ya que el rango de variación del índice de reflectancia de la vitrinita tiene una variación de 0.35 a 1.35 % RO, se desarrolló un método de interpretación de registros geoquímicos que considera estos cambios severos de madurez. Este método se basa en algunas publicaciones (Phillipi, 1965; Meyer y Nederlof, 1985; Mendelson y Toksöz 1985; Austric y Dumesnil, 1985; Passey *et al.*, 1990) y permite el reconocimiento y cuantificación de los cambios que sufre la secuencia de roca generadora durante la generación y expulsión de petróleo. El método es el siguiente:

- a) Se reconocen y definen los intervalos de la roca generadora de interés mediante la técnica ΔU .
- b) Se define la línea base para cada serie de registros de pozos y se mide la separación entre las curvas de porosidad y resistividad.
- c) Se calcula el contenido de TOC con la técnica $\Delta \log R$ para los intervalos en los que se dispone de datos de calibración.

- d) Se aplica la técnica $\Delta \log R$ para estimar el contenido de TOC para los intervalos de roca generadora de todos los pozos.

El método se aplicó a la secuencia de roca generadora del *Tithoniano* de un total de 11 pozos (llamados A, B, C, D, E, F, G, H, I, J y K para este caso), que se encuentran ubicados en la llamada Sonda de Campeche (**Figura 1**). Posteriormente, se realizó una interpretación estratigráfica de la secuencia con base en los resultados del análisis de los registros de pozos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se ha mencionado, las curvas del registro de rayos gamma se utilizan para delimitar la extensión de los intervalos de roca generadora de todos los pozos. La caracterización litológica se deriva de la revisión y análisis de muestras de núcleo que se obtuvieron de varios intervalos. De la información obtenida se observaron cambios drásticos en la respuesta de los rayos gamma, tanto en la parte superior como en la base de la secuencia del *Tithoniano*. Se observaron valores de rayos gamma de más de 100 unidades API en la roca generadora, lo que hace posible una diferenciación del intervalo de fuente de las unidades vecinas.

En la **Tabla 1** se describen los resultados obtenidos del análisis de registros y las metodologías aplicadas para el cálculo de TOC de los 11 pozos que conforman el caso. Con base en la información de esta tabla, es posible estimar el potencial genético de las secuencias de rocas generadoras del *Tithoniano* en forma vertical con base en el promedio de cada propiedad geoquímica y con la ayuda de mapas de isopacas, se calcula el volumen de roca generadora en la Sonda de Campeche. Esta es una forma aproximada para estimar el volumen de hidrocarburos que se generan.

4 Técnicas

4.1 Estimación del carbono orgánico total

La técnica $\Delta \log R$ se utilizó para estimar el contenido de TOC in situ de los intervalos de roca generadora del

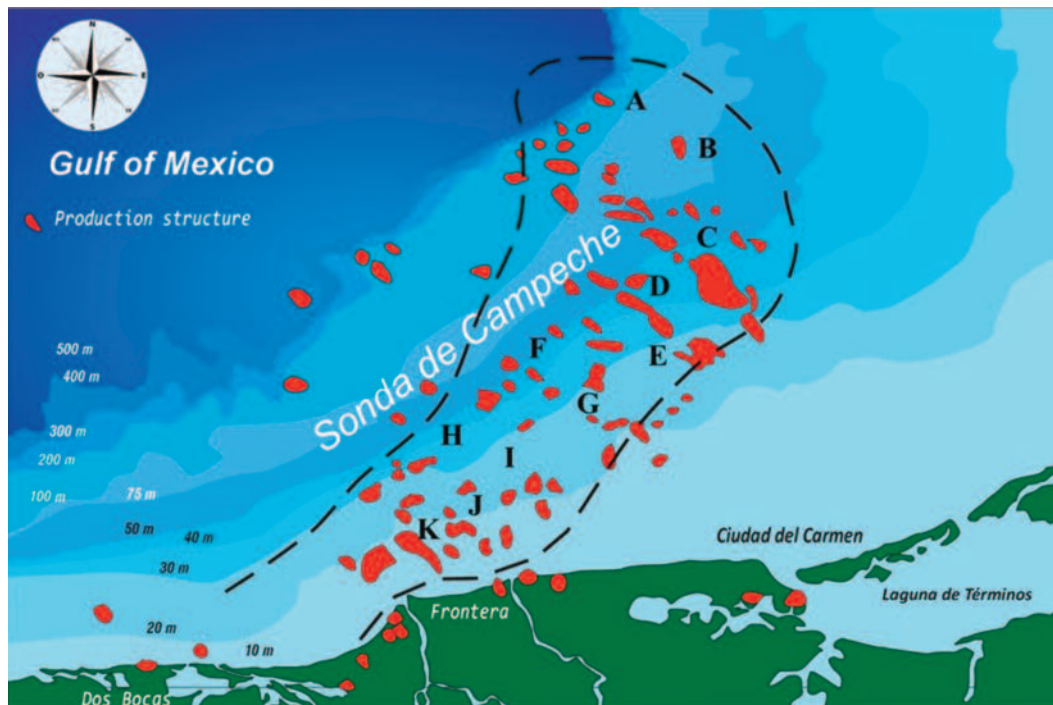


Figura 1. Localización de los Pozos estudiados

Fuente Rocas	Uranio	Resistividad	Tiempo de tránsito	Densidad
Promedio	10 [ppm]	200 [ohms-m]	80 [μ s/ft]	2.0 [g/cm^3]
Maduro	3 [ppm]	20 [ohms-m]	50 [μ s/ft]	2.3 [g/cm^3]
Inmaduro	14 [ppm]	2000 [ohms-m]	150 [μ s/ft]	1.8 [g/cm^3]

Pozo	Rayos gamma [Unidades API]		Resistividad [ohm-m]		Tiempo de tránsito [μ seg/ft]		Densidad [g/cm^3]		Espesor [metro]	Espesor de generación neta [metro]	TOC [% en peso]
	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.			
A	25	145	2	30	80	166	1.5	2.8	92	69	7
B	40	178	1.2	200	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	128	70	4
C	25	175	0.2	150	70	140	2.3	2.8	253	58	5
D	35	140	5	1800	60	120	n.d.	n.d.	62	42	2
E	30	120	2	200	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	250	80	2
F	60	190	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	114	65	?
G	30	135	n.d.	n.d.	80	140	2.2	2.5	115	69	2
H	50	180	2	2000	55	90	n.d.	n.d.	143	83	2
I	40	170	2	2000	50	110	2.2	2.6	92	55	2
J	20	120	20	2000	50	75	1.6	2.8	155	72	1
K	25	120	20	2000	55	80	1.8	2.7	230	86	1

Tabla 1. Resumen de propiedades petrofísicas de 11 pozos. El intervalo cubre la secuencia de roca generadora del *Tithoniano* para la Sonda de Campeche

Tithoniano en los 11 pozos de la Sonda de Campeche. El TOC estimado se basó en datos analíticos de muestras de núcleo (TOC y análisis *Rock-Eval*).

Para el caso de rocas generadoras de baja madurez o inmaduras, la separación de las curvas de porosidad y resistividad es, en general, amplia y continua. En contraste, tal separación fue corta y discontinua para las rocas generadoras sobre maduras.

En la **Figura 2** se calcula el TOC para los pozos A y K. En el primer caso, la curva ΔU (cantidad de uranio) no muestra variaciones significativas en in-

tervalos de 2 a 3 m de la secuencia de 30 m de espesor del *Tithoniano*. Para el pozo K, esta curva contiene valores con un promedio de 3 ppm, pero muestra mayores variaciones en intervalos de 1 a 2 m. Por otro lado, el espesor de la secuencia del *Tithoniano* es de 250 m, casi tres veces más que la del primer pozo. Además, las separaciones $\Delta \log R$ en el primer pozo son amplias y continuas, mientras que en el segundo caso son de dimensión reducida y discontinuas. Dichas diferencias son resultado de la maduración de la materia orgánica. En el pozo A la materia orgánica

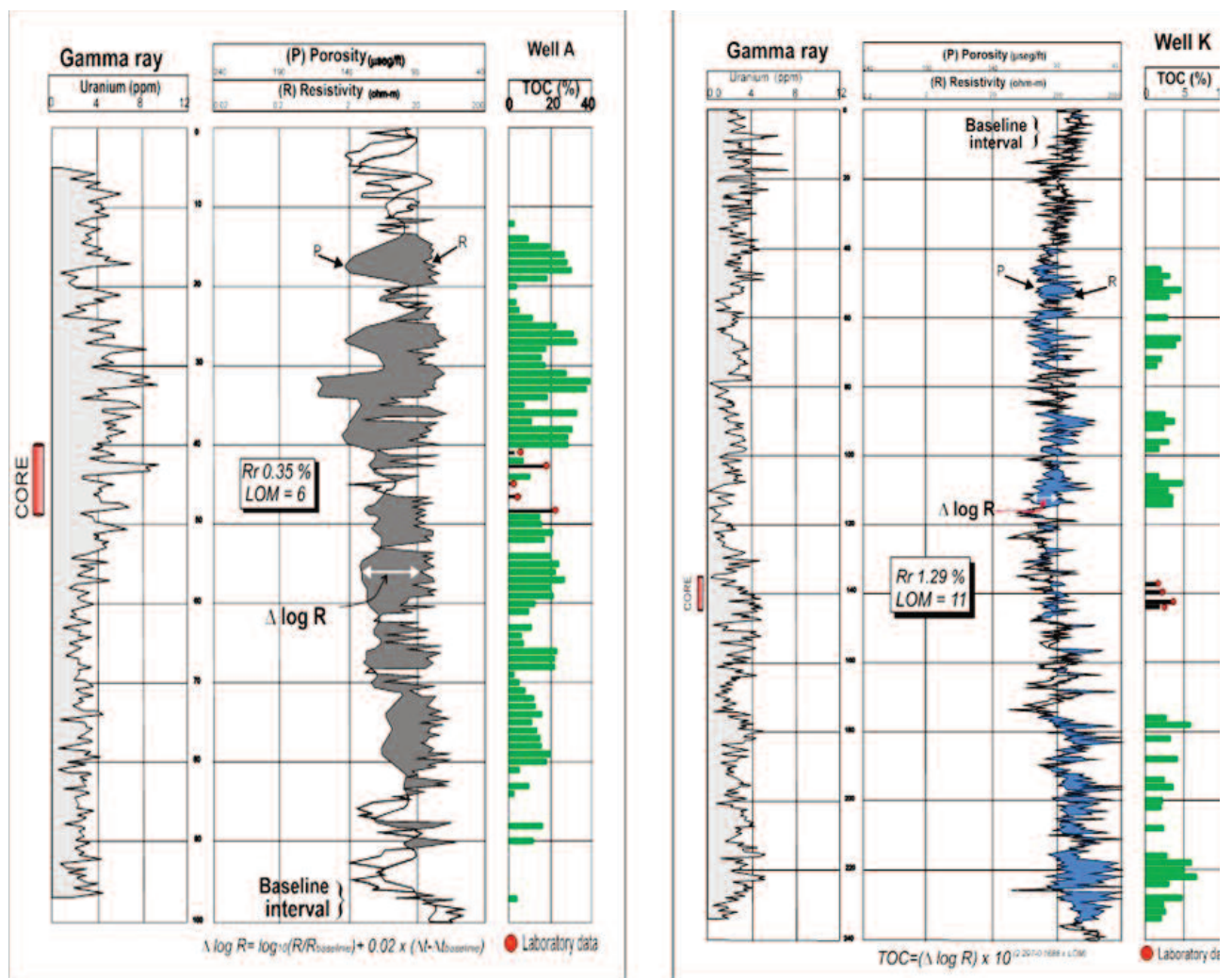


Figura 2. Cálculo del TOC del intervalo del *Tithoniano* basado en el análisis de registro de pozos. Los datos son de los pozos A y K, en A la secuencia de roca generadora es inmadura con un alto contenido de materia orgánica. En K, la secuencia de roca generadora es madura con un contenido de materia orgánica muy bajo. La ubicación de los pozos se muestra en la **Figura 1**.

de la roca generadora es inmadura ($RO < 0.4\%$) y por lo tanto no ha generado hidrocarburos. En consecuencia, es rico en materia orgánica ($TOC > 10\%$ en peso). Mientras que en el pozo κ la materia orgánica se encuentra en una fase avanzada de madurez ($RO > 1.3\%$) y una parte importante de la materia orgánica se ha transformado en hidrocarburos y ha sido expulsada ($TOC < 2\%$ en peso).

En los registros se sobreponen los valores de TOC medidos en laboratorio de varios pozos que se encuentran distribuidos a lo largo de la Sonda de Campeche (barras de color negro en el carril de la derecha). El contenido de TOC medido en el laboratorio indicó que las muestras de pozos provenientes de la zona inmadura de la Sonda de Campeche (NE) tienen el contenido de TOC más alto, seguidos por los pozos de la zona madura ubicada en el centro de la Sonda de Campeche y por los de la zona sobre madura (al SW), con valores de TOC promedio en peso de 5.0, 2.5 y 1.5 respectivamente.

4.2 Reconocimiento de patrones cíclicos de depósito

Para el reconocimiento de patrones se utilizó un enfoque similar al utilizado por Bessereau *et al.* (1995).

Una combinación de estratigrafía de secuencias y registros de pozo, con el soporte de datos geoquímicos de núcleos de roca generadora del *Tithoniano* de la Sonda de Campeche, reveló que existen patrones cíclicos en la distribución vertical de TOC. Los resultados de las tres técnicas utilizadas se correlacionan muy bien en la parte noreste del área de estudio, donde el contenido de TOC es más alto. La curva eustática, la curva ΔU del registro de rayos gamma y los datos de contenido de TOC obtenidos con la técnica $\Delta \log R$ en los intervalos de roca generadora tienen un alto grado de similitud. En esta área la materia orgánica es aún inmadura y la geología no es compleja desde un punto de vista tectónico (**Figura 3**). Por otro lado, en el área central (madura) y el área suroeste (sobre madura) no hubo una buena correlación debido a que en algunos pozos existen problemas estructurales.

5 Caracterización del entorno deposicional

Los resultados del análisis de registro de pozos, estratigrafía de secuencias y petrología orgánica se integran para determinar el ambiente de profundidad del Tithoniano en la Sonda de Campeche. La roca generadora del *Tithoniano* de la Sonda de Campeche fue depositada en mares epicontinentales, sobre una plataforma continental (0-200 m), donde los ambientes de deposición fueron marinos de terrígeno-carbonato con condiciones anóxicas y muestran tres zonas diferentes (Guzmán *et al.*, 1994; Santamaría *et al.*, 1995). Esta diferenciación se realizó según la cantidad y tipo de materia orgánica, madurez y facies sedimentarias. Sin embargo, los ambientes de deposición fueron marinos en todos los casos por debajo de la base de olas de tormenta (SWB). El área NE mostró las coproducciones marinas menos profundas, seguida por el área central y por el área SW, donde la profundidad del agua fue mayor.

Las rocas depositadas durante el Jurásico Medio son secuencias de evaporitas, compuestas por haluros y sulfatos, esos minerales que preceden a las rocas generadoras del *Tithoniano* y que fueron encontradas en el área de estudio, tuvieron un papel importante en el desarrollo de altos contenidos de compuestos orgánicos de azufre que las caracteriza (Santamaría *et al.*, 1995). Tales compuestos indican que durante la deposición de materia orgánica (en la que predominan las algas) y minerales (arcillas y carbonato) prevalecieron las condiciones anaeróbicas que condujeron en última instancia a la reducción de los sulfatos y la liberación bacteriana de proporciones elevadas de H_2S . Es posible que los altos contenidos de ácido sulfhídrico fueran responsables de un envenamiento del agua del fondo, lo que podría explicar la ausencia de fauna bentónica y la aparición de formas planctónicas.

Las facies orgánicas de las rocas generadoras del *Tithoniano* de la Sonda de Campeche son de tipo marino B (según Jones, 1987), aunque existen pequeñas diferencias en el tipo de materia orgánica (Santamaría *et al.*, 1995). Sin embargo, en general, la secuencia se considera bastante homogénea, por lo

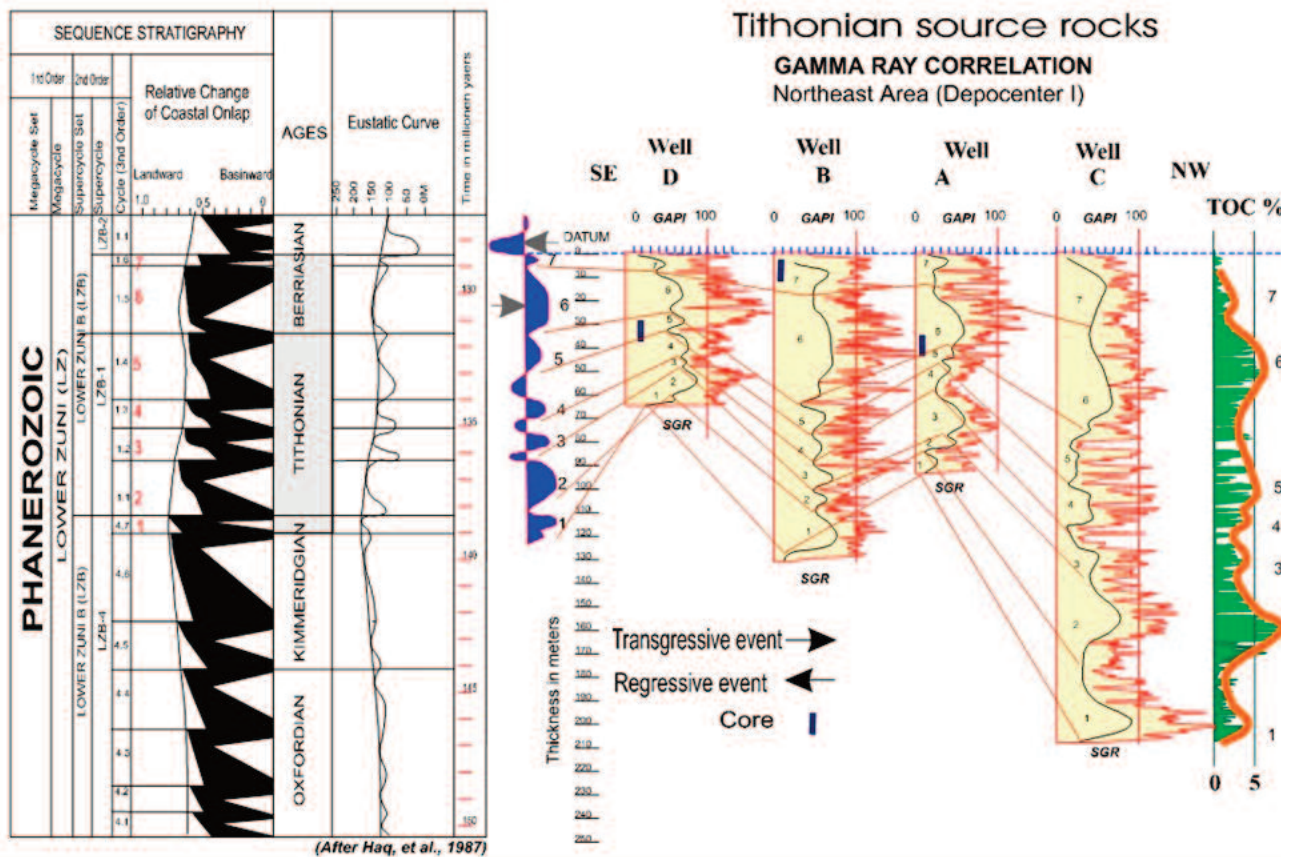


Figura 3. Interpretación de la riqueza orgánica en la parte noreste del área de estudio y sus cambios en una dirección vertical y lateral de toda la secuencia estudiada. La correlación se realizó en base a la respuesta del registro de rayos gamma y en la ciclicidad del TOC observada de los registros de pozos individuales con el uso de la técnica $\Delta \log R$ para el cálculo de TOC.

que solo se notaron grandes variaciones cuando se produjeron cambios brutos en el entorno sedimentario. Un ambiente de rampa carbonatada sin grandes irregularidades topográficas dominó el escenario de depositación de la antigua bahía o golfo de Campeche durante la época tithoniana. La abundancia de materia orgánica fue controlada de manera predominante por la velocidad de sedimentación (entrada de terrígenos), así como por la ocurrencia de condiciones anóxicas (que preservaron esta materia orgánica). Los altos contenidos de TOC observados durante las transgresiones indican que en esa época se produjeron mejores condiciones anóxicas, lo que mejoró la preservación de la materia orgánica.

El espesor total máximo de la secuencia de roca generadora del *Tithoniano* de la Sonda de Campeche se encuentra en las tres cocinas de generación principales de la intraplataforma, que están alineadas con una tendencia NNE-SSW y se concentran en la parte media donde los contenidos de TOC también se maximizan (con algunas excepciones, **Figura 4**). Ese espesor total varía de menos de 50 a más de 450 m. El contenido de TOC aumenta de SW a NE. La utilización de este mapa junto con los análisis de los registros de pozos, la interpretación sísmica, los análisis de laboratorio de TOC y S_2 , se encuentra la extensión y el volumen de las capas ricas en materia orgánica.

CONCLUSIONES

- Los registros geofísicos de pozo se utilizaron para estimar de forma semi cuantitativa el contenido de TOC de toda la secuencia del *Tithoniano*.
- La distribución vertical del TOC coincide con patrones de sedimentación y muestra su variación vertical y lateral.
- La variación vertical del TOC coincide con 7 eventos de tercer ciclo, mientras que la varia-

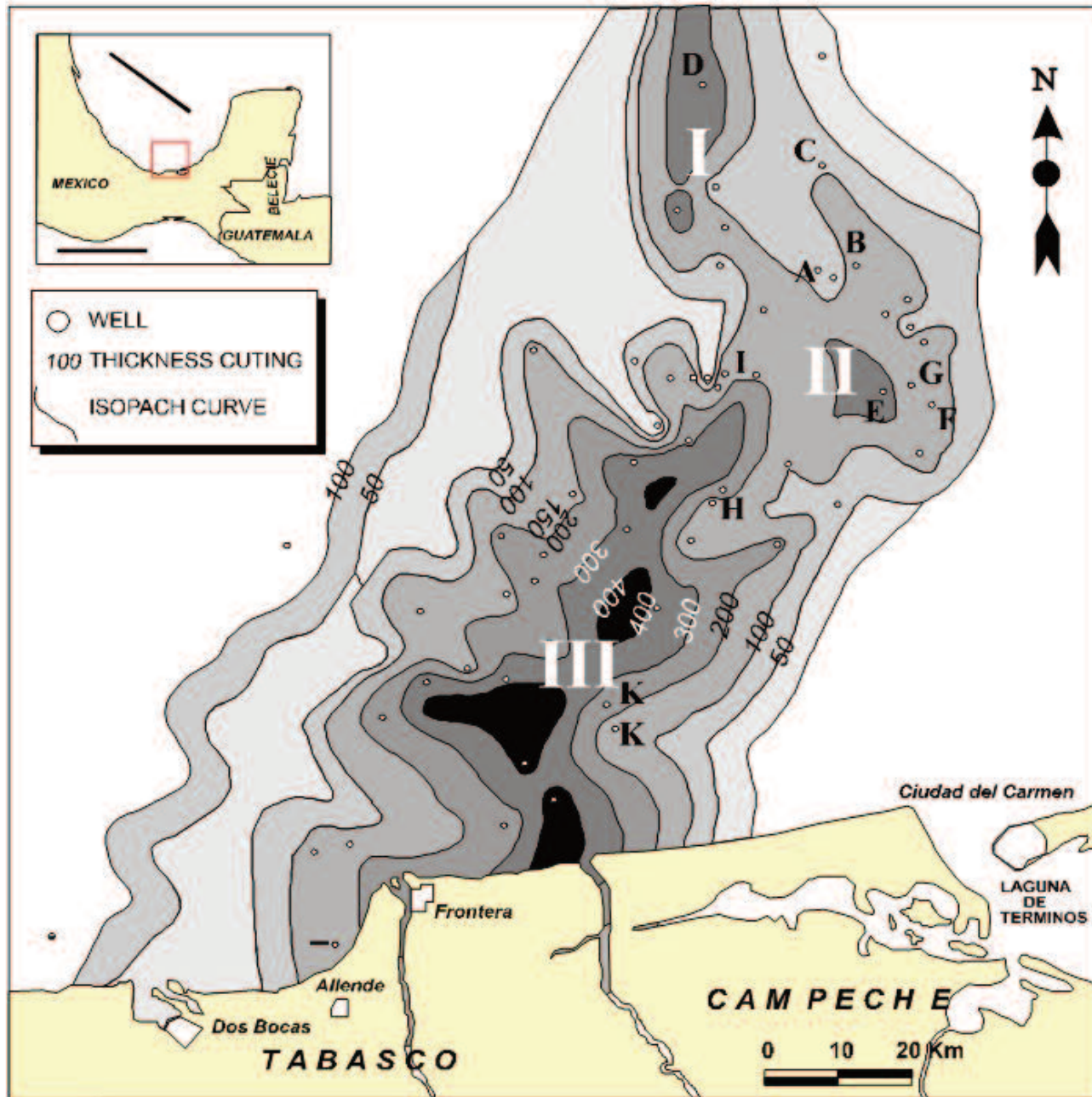


Figura 4. Mapa de isopacas del *Tithoniano*. El espesor se estimó sin tener en cuenta los problemas estructurales. Se reconocen con claridad tres cocinas de generación (I, II y III).

ción horizontal va desde valores mayores de 20 % hasta menores de 2 % disminuyendo en sentido de NNE-SSW y es resultado del incremento de la madurez en ese mismo sentido.

- Las altas concentraciones de TOC en esta secuencia estratigráfica corresponden con la época mundial generadora del Jurásico Superior y sus altos valores con varios sistemas transgresivos, aunque los valores más altos están presentes en las superficies de máxima inundación.
- La combinación entre registros de pozo, estratigrafía de secuencias y datos geoquímicos orgánicos son útiles para calcular el potencial genético y el volumen del espesor neto generador.
- El espesor promedio de la secuencia del *Tithoniano* es de 200 m, pero varía de menos de 50 m a más de 450 m en los depocentros, los cuales están alineados en el mismo sentido de la madurez.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asquith, G.**, 1982, Basic well log analysis for Geologists: AAPG Methods in Exploration Series, p. 216
- Bessereau, G., Guillocheau F and Huc A. Y.**, 1995, Source rock occurrence in a sequence stratigraphic framework: The example of Lias of the Paris Basin: AAPG Studies of Geology # 40, pp. 273-301.
- Bohacs, K. M. and Isaksen G. H.**, 1991, Source Quality Variations tied to Sequence Development: Integration of Physical and Chemical Aspect, Lower to Middle Triassic, Western Barents Sea: AAPG Bulletin, v. 75, p. 544.
- Bourquin, S., Clemonte J., Durand B., Ganem-A G., Le Roux J., Mathis B. and Didelot B.**, 1990, Approche Methodologique et exemples d'application dans le Bassin Parissien et le Fosse Rhenan: Bull. Soc. Geol. France v. 6, No. 4, pp. 693-707.
- Carpentier, B, Bessereau G. and Huc A. Y.**, 1989, Estimation des Teneurs en Carbone Organique par la Méthode de Carbolog: Rev. Inst. Franc. du Petrol. v. 44, p. 699-719.
- Carpentier, B., Huc A. Y., Gély J. P., and Blanc-Valleron M. M.**, (1993) Geological geochemical modeling, an approach for understanding organic cyclic sedimentation in evaporitic sequences: Application to the Mulhouse Basin (France): Org. Geochem. v. 20, pp. 1153-1163.
- Creaney, S. and Passey Q. R.**, 1993, Recurring Patterns of Total Organic Carbon and Source Rock Quality within a Sequence Stratigraphic Framework: AAPG Bulletin, v. 77, pp. 386-401.
- Creaney, S., Passey Q. R., and Allan J.**, 1991, Use of Well Logs and Core Data to Assess the Sequence Stratigraphic Distribution of Organic-Rich Rocks: AAPG Bulletin, v. 75, p. 557.
- Curtis, J. B.**, 2002, Fractured Shale-Gas Systems. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin v. 86 n. 11, pp. 1921-1930.
- Demaison, G. J. and Huizinga B. J.**, 1991, Genetic classification of petroleum system. AAPG Bulletin, v. 75. pp. 1626-1643.
- Fertl, W. H. and Rieke H. H. III**, 1980, Gamma Ray Spectral Evaluation Techniques Identify Fractured Shale Reservoirs and Source Rocks Characteristics: Journal of Petrol. Technology, Dallas, v. 32, No. 11, pp. 2053-2062.
- Guzmán, V. M. A., Mello M. R., León G. C., and Holguín N. Q.**, 1994, Tithonian Oils from the Sureste Basin, Mexico: the facies variability of their source rocks: (in: IV. Latin American Congress on Organic Geochemistry, Oct. Bucaramanga, Colombia) pp. 4-7.
- Haq, B. V., Handerbol, V. and Vail, P. R.**, 1987, Mesozoic and Cenozoic Chronostratigraphic and Cycles of Sea-Level Change, pp. 71-108. (in: Sea-Level Changes: An Integrated Approach. S.E.P.M., Special Publication No. 42, p. 407 , Tulsa, Oklahoma, USA).

- Jones, R. W.**, 1987 Organic facies. (in: Advances in Petroleum Geochemistry. Eds. J. Brooks and D. H. Welte, London: Academic Press), v. 2. pp. 1-90.
- Krystinik, K. B. and Charpentier, R. R.**, 1987, Statistical Model for Source Rock Maturity and Organic Richness Using Well-Log Data. Bakken Formation, Williston Basin. Unites States: AAPG Bulletin, v.71, pp. 95-102
- Lang, W. H.**, 1994, The Determination of Thermal Maturity in Potential Source Rocks Using Interval Transit Time / Interval Velocity: The Log Analyst, v. 35, No. 6, pp. 47-59.
- Leckie, D. A., Singh Ch., Goodarzi F., and Wall J. H.**, 1991, Organic - Rich, Radioactivity Marine Shale: A Case Study of a Shallow - Water Condensed Section, Cretaceous Shaftesbury Formation Alberta, Canada: AAPG Bulletin, v. 75, p. 1529.
- Mann, U., and Müller P. J.**, 1988, Source Rock Evaluation by Well Log Analysis (Lower Toarcian, Hils syncline): Org. Geochem., v. 13, pp. 109-119.
- Mann, U., Leythaeuser D., and Müller P. J.**, 1986, Relation between Source Rock Properties and Wireline Log Parameters: An Example from Lower Jurassic Posidonia Shale, NW-Germany: Org. Geochem., v. 10, pp. 1105-1112.
- Mathis, B.**, 1993, Well Logging and Diagenesis: Case Studies and New Means of Research: Bull. Center Research. Explro. -Prod. Elf Aquitanie, v. 17, No. 2, pp. 385-393.
- Mathis, B., Bourquin S., Clermonte J., Didelot B., and Alkhaddour G.**, 1987, Lithologic identification and sequential organization in the Paris Basin and in the Rhine Graben (France). 12th SPWLA French Sect. (SAID) Int. Formation Evaluation Symp. (Paris, Fr. 24-27 Oct.) Trans. pap. No. DD.
- Mendelson, J. D., and Toksöz M. N.**, 1985, Source Rock Characterization Using Multivariate Analysis of Log Data: SPWLA 26 Th. Annual Logging Symposium, June, paper U.
- Meyer, B. L., and Nederlof M. H.**, 1985, Identification of Source Rocks on Wireline Logs by Density/Resistivity and Sonic Transit Time/Resistivity Cross plots: AAPG Bulletin, v. 68, pp. 121-129.
- Mitchum, R. M. Jr., and Van Wagoner, J. C.**, 1991, High-frequency sequences and their stacking patterns: sequence stratigraphic evidence of high-frequency eustatic cycles. Sedimentary Geology, Vol. 70, pp. 131-160.
- Passey, Q. R., Creaney S., Kulla J. B., Moretti F. J., and Stroud J. D.**, 1990, A Practical Model for Organic Richness from Porosity and Resistivity Logs: AAPG Bulletin, v. 74, pp.1777-1794.
- Phillipi, G. T.**, 1965, On the depth, time, and mechanism of petroleum generation: Geochim. Cosmochim. Acta, v. 29, pp. 1021-1049.
- Santamaría-Orozco, D., di Primio R., Pickel W., Holguín N., and Horsfield B.**, 1995, Organic Facies and Maturity of Tithonian Source Rocks from the Sonda de Campeche, Mexico. In: Developments and Applications to Energy, Climate, Environment and Human History: Selected paper from 17th Internat. Meeting Org. Geochem: (Eds.), J. O. Grimalt and C. Dorrosoro, pp. 152-154.
- Schlumberger**, 1987, Log interpretation Charts p.146
- Schmoker, J. W.**, 1979, Determination of Organic Content of Appalachian Devonian Shales from Formation-Density Logs: AAPG Bulletin, v. 63, pp. 1504-1537.
- Schmoker, J. W.**, 1981, Determination of Organic Matter Content of Appalachian Devonian Shales from Gamma-Ray Logs: AAPG Bulletin, v. 65, pp. 1285-1298.
- Serra, O.**, 1986, Fundamentals of well-log interpretation v. 1, pp. 423 and v. 2 p. 684 Ed. by Elsevier and ELF Aquitanie.
- Tissot, B. P. and Welte D. H.**, 1984, Petroleum For-

mation and Occurrence: Springer Ed., pp. 699 Berlin.

Vail, P. R. Mitchum R. M., and Thompson S., 1977, Global cycles of relative changes of sea level. AAPG Memoir 26, pp. 83-98.

Fecha de recepción: 01 de agosto de 2022

Fecha de arbitraje: 13 de octubre de 2022

Fecha de aprobación: 17 de noviembre de 2022



Geociencias

Órgano de difusión científica de la Universidad Olmeca

año 1, v.1, núm. 1, octubre 2017 – marzo 2018



Geociencias

Órgano de difusión científica de la Universidad Olmeca

volumen 1, número 2, diciembre 2018

<http://www.olmeca.edu.mx/geociencias>



Geociencias

Órgano de difusión científica de la Universidad Olmeca

volumen 2, número 1, junio 2019

<http://www.olmeca.edu.mx/geociencias>



Geociencias UO

Órgano de difusión científica de la Universidad Olmeca

volumen 2, número 2, diciembre 2019

<http://www.olmeca.edu.mx/geociencias>



Geociencias UO

volumen 5, número 1, junio 2022

<https://geocienciasuo.olmeca.edu.mx>



5

Geociencias UO

Órgano de difusión científica de la Universidad Olmeca

volumen 5, número 2, julio-diciembre 2022

<https://geocienciasuo.olmeca.edu.mx>



Aniversario

Geociencias UO

Órgano de difusión científica de la Universidad Olmeca

Volumen 3, número 1, junio 2020

<http://www.olmeca.edu.mx/geociencias>



Geociencias UO

Órgano de difusión científica de la Universidad Olmeca

Volumen 3, número 2, diciembre 2020

<http://www.olmeca.edu.mx/geociencias>



Geociencias UO

Órgano de difusión científica de la Universidad Olmeca

Volumen 4, número 1, junio 2021

<http://www.olmeca.edu.mx/geociencias>



Geociencias UO

Volumen 4, número 2, julio-diciembre 2021

<https://geocienciasuo.olmeca.edu.mx>








A través de la Coordinación Editorial

CONVOCA

A profesores, investigadores, centros de investigación, alumnos universitarios nacionales y extranjeros, profesionistas y empresas relacionadas con los ámbitos cultural y académico a niveles nacional e internacional, a postular sus artículos originales para su publicación en nuestra revista *Geociencias UO*, de acuerdo con las siguientes bases:

- 1** Todos los artículos deben ser originales, no haber sido publicados antes y deben estar en idioma español, pueden ser uno o más autores.
- 2** Deberán observar las normas editoriales disponibles para su consulta en: <https://geocienciasuo.olmeca.edu.mx>
- 3** Los trabajos se reciben en formato Word que permita modificaciones; deben ser enviados a: editorial@olmeca.edu.mx
- 4** Los postulantes deberán aceptar el proceso de arbitraje y en su caso realizar las correcciones necesarias en tiempo y forma para ser incluidos.
- 5** La revista tiene periodicidad semestral.

Mayores informes:
Coordinación Editorial

   uolmeca | olmeca.edu.mx | +52(993)187 9700 Ext. 1141

Carretera Villahermosa-Macuspana km 14, Poblado Dos Montes, C.P. 86280, Centro, Tabasco, México



UNIVERSIDAD OLMECA

Raíz de sabiduría



<https://geocienciasuo.olmeca.edu.mx>

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2783-2248>

Versión impresa

Versión electrónica



ISSN-2683-3174



ISSN-2954-3533