

Geociencias UO

Órgano de difusión científica de la Universidad Olmeca

Enero-junio 2024, Volumen 13, número 1.

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



Imagen de la portada / Cover image / Imagem da capa

El Cañón del Sumidero, es un estrecho cañón de gran profundidad localizado en el municipio de Chiapa de Corzo del estado de Chiapas, México. Es una falla geológica que se abrió hace aproximadamente doce millones de años. Tiene acantilados que se erigen a más de 1 300 m desde la profundidad del cañón, en el que corren las aguas del río Grijalva, el cual franquea los estados de Chiapas y Tabasco hasta desaguar en el Golfo de México. El cañón inicia en Chiapa de Corzo, y desemboca en el embalse artificial de la presa hidroeléctrica Manuel Moreno Torres, conocida popularmente como Presa Chicoasén.

The Sumidero Canyon is a narrow, very deep canyon located in the Chiapa de Corzo municipality in Chiapas, Mexico. It is a geological fault that opened approximately twelve million years ago. It has cliffs that rise more than 1,300 m from the canyon's depth, in which the waters of the Grijalva River flow, which crosses the states of Chiapas and Tabasco until it empties into the Gulf of Mexico. The canyon begins in Chiapa de Corzo and flows into the artificial reservoir of the Manuel Moreno Torres hydroelectric dam, popularly known as the Chicoasén Dam.

O Sumidero Canyon é um cânion estreito e profundo localizado no município de Chiapa de Corzo, no estado de Chiapas, México. É uma falha geológica que se abriu há aproximadamente 12 milhões de anos. Possui penhascos que se elevam a mais de 1.300 m da profundidade do cânion, onde correm as águas do Rio Grijalva, que atravessa os estados de Chiapas e Tabasco até desaguar no Golfo do México. O cânion começa em Chiapa de Corzo e deságua no reservatório artificial da represa hidrelétrica Manuel Moreno Torres, popularmente conhecida como represa Chicoasén.

Comisión Técnica

Editores	Julio César Javier Quero	Tomas Ramirez Maldonado
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. Órgano de difusión científica de la Universidad Olmeca, enero-junio 2024, volumen 13, número 1, 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. Teléfono: + 52 (993) 187 9700. Ext. 1140 y 1141, correos electrónicos: editorial@olmeca.edu.mx

Reserva del Derecho al Uso Exclusivo: 04-2019-092513413800-102. ISSN versión impresa: 2683-3174, ISSN versión electrónica: 2954-3533. Certificado de Licitud de Título, en trámite y Certificado de Licitud de Contenido, en trámite, ambos otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación.

Impresa por MA impresores, S.A. de C. V., Av. Hierro Núm. 3, Cd. Industrial, C. P. 86010, Villahermosa, Tabasco, México.

Este número se terminó de editar el 29 de junio de 2024.

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

D. R. © 2019. 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
1962

<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



<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>	4
Carta al editor	<i>Zulema Domínguez Sardiñas</i>	5
Nota científica Informe sobre investigación <i>in situ</i> de meteoritos de Cuba	<i>Pierre Rochette, Reinaldo Rojas Consuegra, Vlaeria Adrieu y Jesús Moreira Martínez</i>	6
Modelo geólogo-estructural del cinturón plegado y cabalgado al este de Cuenca Central, provincia Ciego de Ávila, Cuba	<i>Carlos Manuel Valdivia Tabarez, Yeniley Fajardo Fernández, Manuel Pardo Echarte y Lourdes Jiménez de la Fuente</i>	11
Interpretación geofísica en apoyo a la cartografía geológica de la hoja cartográfica Sibanicú (4679-1) a escala 1:50 000, Cuba	<i>Elizabeth Hechavarria Govin</i>	26
Reelaboración tafonómica de entidades fósiles del Cretácico en depósito del Paleógeno San Vicente, Cuba central	<i>Reinaldo Rojas Consuegra</i>	37
Mapa de escenarios para la exploración de yacimiento de petróleo y gas de la República de Cuba	<i>Yeniley Fajardo Fernández, Juan Guillermo López Rivera, Evelio Linarez Cala, Lorenza Mejías Rodríguez y Orelvis Delgado López</i>	54
Comprobación de una manifestación de gas en la península de Guanahacabibes, Cuba	<i>Manuel Enrique Pardo Echarte, Zulema Domínguez Sardiñas, Osvaldo Rodríguez Morán, Lester Rivas Transancos, Lourdes Jiménez de la Fuente, Octavio del Sol Ortega y Leodegario Lufriú Díaz</i>	65



Presentación



Estimados académicos, investigadores, jóvenes universitarios y lectores en general: nos complace presentarles la edición de junio de la revista Geociencias UO, dedicada esta vez a las geociencias en Cuba. Esta edición reúne una selección de artículos que abarcan diversos aspectos de la geología, desde la exploración de gas natural hasta la tafonomía de fósiles del Cretácico.

En el primer artículo, «Modelo geólogo-estructural del cinturón plegado y cabalgado al este de Cuenca Central», ofrece un modelo detallado de dicho cinturón, elaborado con diversas técnicas geológicas y geofísicas, es fundamental para comprender la evolución tectónica del territorio y su potencial de exploración petrolera.

El segundo artículo, «Interpretación geofísica en apoyo a la cartografía geológica de la hoja cartográfica Sibanicú», describe la aplicación de técnicas geofísicas para la mencionada cartografía; la integración de datos geofísicos con información geológica y geomorfológica permite una mejor comprensión de la estructura del área y facilita la identificación de unidades litológicas y rasgos estructurales.

En el tercer artículo, «Reelaboración tafonómica de entidades fósiles del Cretácico en depósito del Paleógeno San Vicente», los autores demuestran que estos fósiles han sido reelaborados y depositados en un contexto diferente al de su origen primigenio, lo que tiene importantes implicaciones para la interpretación paleontológica del área.

En el cuarto artículo, «Mapa de escenarios para la exploración de yacimientos de petróleo y gas de la República de Cuba», presenta un mapa que identifica las franjas y sectores con mayor potencial petrolero, tomando en cuenta la información geológico-petrolera disponible y los criterios sobre el potencial petrolero de la isla.

Finalmente en el quinto artículo, «Comprobación de una manifestación de gas en la península de Guanahacabibes, Cuba», los autores presentan los resultados de una investigación sobre un potencial yacimiento de gas natural en la península de Guanahacabibes. El estudio demuestra que las anomalías creadas por la microfiltración de gas biogénico son idénticas a las producidas por la microfiltración de un depósito de hidrocarburos termogénicos, lo que puede llevar a errores en la exploración.

Esta edición de Geociencias UO ofrece una valiosa contribución al conocimiento de la geología, así que esperamos que sea de interés para nuestros lectores cotidianos: investigadores, estudiantes y profesionales del sector.

Dr. Emilio De Ygartua Monteverde
Rector

Carta al editor¹:

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

Reciba mis saludos respetuosos. Me dirijo a usted para manifestar mi opinión sobre el artículo «Biotensoactivos y características de interés para recuperación de petróleo con bacterias aisladas de crudo cubano», de los autores Thais Hernández Gómez, Freya González Núñez, Lisset Miquel Gonzalez, Saúl Fernández Valenzuela y Alexander Govin Sanjudo, publicado en la revista Geociencias UO, volumen 2, número 2, diciembre 2019.

El artículo refiere como problemática la baja eficiencia de extracción de hidrocarburos de sus reservas naturales (Al-Sulaimani *et al.*, 2011) y señala la capacidad de los microorganismos, de producir biotensoactivos, que son moléculas de origen biológico indispensables en los procesos de *Microbial Enhanced Oil Recovery*, MEOR. (Satter & Igbal, 2016)

La MEOR es una tecnología que puede ser dividida en dos categorías principales. a) Procesos in situ. En ellos se generan biopolímeros y gases por estimulación de diferentes cepas microbianas autóctonas y b) Por inyección de cepas microbianas alóctonas. En el caso de la presente investigación se utilizó la primera categoría y se demostró la eficiencia de seis cepas para este objetivo.

La metodología aplicada reviste gran importancia para la industria petrolera cubana dado que se cuenta con biotensoactivos aplicables a cualquier yacimiento del país y amigables con el medioambiente (Tatar, 2018)

Para concluir, reitero la importancia que reviste contar con un set de microorganismos capaces de producir biotensoactivos aplicables para los yacimientos petroleros cubanos, muchos de los cuales precisan de

que le sean extraídas las reservas in situ que poseen.

Agradezco a usted la oportunidad de brindar mis consideraciones respecto al tema y le reitero mis respetos



Dra. C. Ing. Zulema Domínguez Sardiñas
Investigador Titular
UCTB Geología. Grupo Exploración CEINPET.
CUPET
3 de noviembre 2022

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Al-Sulaimani, H., S. Joshi, Y. AlWahaibi, S., Al Bahry, A. Elshafie and AlBemani, 2011.** Microbial biotechnology for enhancing oil recovery: Current development and future prospects. *Biotechnol. Bioinf. Bioeng.* 1(2): 147-158
- 1 Satter, A. and G.M. Igbal, 2016.** Cap 17 Enhanced oil recovery processes: Thermal, chemical and miscible floods. *Reservoir Engineering. The Fundamentals, Simulation, and Management of Conventional and Unconventional Recoveries*
- 2 Tatar, A, 2018** Microbial Enhanced Oil Recovery: Microbiology and Fundamentals, Chapter Ten. *Fundamental of Enhanced Oil and Gas Recovery from Conventional and Unconventional Reservoir.* Gulf Professional Publishing. Australia. Pages 291-508

Informe sobre investigaciones *in situ* de meteoritos de Cuba

Pierre Rochette¹, Reinaldo Rojas Consuegra², Valérie Andrieu³ y Jesús Moreira Martínez⁴

¹ *Phylosophycal Doctor. Profesor. Aix-Marseille Université, CNRS technople de l'Arbois BP80 1345, CEREGÉ, Aix en Provence Francia. Calle Jardin du Pharo 58, Boulevard Charkles Livon, C.P.13007. Marcelle, Francia. ORCID ID: 0000-0002-7362-0660. Correo Electrónico: rochette@cerege.fr*

² *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.*

³ *Valérie Andrieu. Universidad de Aix-Marseille Université, CNRS, CEREGE, Aix en Provence Francia. Calle Jardin du Pharo 58, Boulevard Charkles Livon, C.P.13007. Marcelle, Francia. ORCID ID: 0000-0001-7044-967X.*

⁴ *Empresa Minera del Caribe S.A. Edificio Santa Clara, Oficina 130, Miramar Trade Center, Playa, La Habana, Cuba. ORCID ID: 0000-0004-0529-6573. Correo Electrónico E: jesus.moreira@emincar.com*

RESUMEN

Recientemente, cuatro piezas consideradas como meteoritos fueron examinadas en La Habana, visualmente y usando instrumentos de mano no destructivos, midiendo la susceptibilidad magnética y la composición química, en particular el contenido de níquel característico del material extraterrestre. Como resultado fueron confirmados dos meteoritos (procedentes de Lajas y Viñales) como condritas tipo L. Por otro lado, dos piezas expuestas previamente como meteoritos en los museos (colectados en playa Bacuranao y en Mango Jobo), fueron identificados como productos elaborados por el hombre.

Palabras clave: meteoritos, análisis no destructivos, Cuba

ABSTRACT

Simple of four different alleged meteorites were ex-

amined in la Havana visually and using portable non-destructive instruments measuring the magnetic susceptibility and the chemical composition, in particular nickel content, characteristic of extraterrestrial material. Two meteorites were confirmed (Lajas and Viñales) as L chondrite. Two samples previously exposed as meteorites at the museums, "Bacuranao and Mango Jobo", have been identified as man-made products.

Key words: meteorites, non-destructive analyses, Cuba

RESUMO

Recentemente, quatro peças consideradas meteoritos foram examinadas em Havana, visualmente e com instrumentos portáteis não destrutivos, medindo a susceptibilidade magnética e a composição química, em particular o teor de níquel característico do material extraterrestre. Como resultado, dois meteoritos (de Lajas

e Viñales) foram confirmados como condritos do tipo L. Por outro lado, duas peças anteriormente expostas como meteoritos em museus (coletadas na praia de Baruranao e em Mango Jobo), foram identificadas como produtos artificiais.

Palavras-chave: meteoritos, análise não destrutiva, Cuba

INTRODUCCIÓN

En diciembre de 2022 fue posible, gracias al apoyo de la Oficina del Historiador de La Habana, Cuba, realizar el estudio de materiales catalogados como meteoritos cubanos. De unos ocho meteoritos reportados históricamente (Pérez-Doval, 1996; Ceballos, 2019), fueron revisados cuatro de ellos, cuyos resultados se ofrecen en esta breve nota.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este informe se dio la oportunidad de estudiar cuatro piezas identificadas como posibles meteoritos encontrados en Cuba. Dos de ellos se recuperaron, según observadores presentes, luego de que ambos impactos ocurrieran a plena luz del día, en las localidades de Lajas (centro de Cuba) y Viñales (occidente). Se accedió a otras dos piezas en el Museo Nacional de Historia Natural de Cuba (MNHNC).

Se realizaron mediciones de la susceptibilidad magnética χ (utilizando una sonda de contacto, SM30) y la composición química (utilizando el instrumento portátil de fluorescencia de rayos X, Bruker Tracer IV), para comprobar la naturaleza meteorítica de la muestra y evaluar su clasificación. Los detalles sobre los procedimientos experimentales y los esquemas de interpretación están disponibles en Rochette *et al.* (2012, 2022a, 2022b).

RESULTADOS

A continuación, se hace un breve comentario sobre elementos históricos relacionados con las piezas estudiadas, y además se proporcionan los nuevos datos obtenidos a través de las mediciones realizadas a cada ejemplar.

Meteoros e impactos

De los tres o cuatro meteoritos, cuyos impactos han sido sentidos y observados por un amplio público en el país, durante el presente estudio se pudo acceder a dos de ellos. No fue posible acceder al que cayó en Ramón de Las Yaguas.

Meteorito de Lajas

El meteorito de Lajas fue recuperado por campesinos que cultivaban la tierra al momento de su explosión (en 1994), y cayó a plena luz del día en la zona de Lajas, provincia de Cienfuegos (**Figura 1, A**). Este fue cortado y se hizo una lámina delgada, sin que se publicara esta información. La preparación y una pequeña porción fueron enviados a España, al parecer hoy extraviados. Este ejemplar fue conservado por un geólogo hasta la actualidad, lo que hizo posible su estudio.

Se observó una muestra de alrededor de 300 g en gran parte cubierto de costra de fusión, con una superficie pulida que muestra una textura condritica típica, de color gris claro con venas de choque. La susceptibilidad magnética es fuerte: $\log \chi = 4.95$. Esto es típico de la condrita tipo L. El análisis XRF de la superficie de corte para Ni y Cr arrojó 0.17 y 0.3 %, respectivamente; junto con un FeO del 11.7 %, esto es típico de la condrita ordinaria (**Tabla 1**). La oxidación moderada visible en la superficie cortada es compatible con una fecha de caída en 1994 y su conservación en las condiciones climáticas cubanas.

Meteorito de Viñales

Este meteorito produjo un amplio campo de fragmentos en el momento del impacto a plena luz del día (Iturralde-Vinent *et al.*, 2019). Un pequeño fragmento de este se exhibe en el Planetario de la Oficina del Historiador de La Habana (**Figura 1, B**). Este fue posible estudiar en esta ocasión, gracias al acceso brindado por investigadores del Instituto de Geofísica y Astronomía de Cuba.

Se observó una muestra de 43 g que está casi totalmente cubierta por corteza de fusión, con morfología típica (*regmaglypts*). Las pequeñas ventanas muestran

el interior de un material gris. La susceptibilidad magnética es fuerte: $\log \chi = 4.88$. Esto es típico de la condrita L, según la clasificación oficial como condrita L6. Antes, ya se midió en CEREGÉ otro fragmento de Viñales, mostrando $\log \chi = 4.93$, compatible dentro del error del instrumento SM30. El análisis XRF de una pequeña ventana en la corteza de fusión produjo Ni y Cr 0.35 y 0.22 %, respectivamente, junto con un FeO del 18 %, esto es típico de la condrita ordinaria (**Tabla**



A. Meteorito de Lajas.



B. Meteorito de Viñales.

Figura 1. Muestras de los meteoritos reales estudiados de Lajas y Viñales.

1). El aspecto muy fresco y sin oxidar de la pieza corresponde a la fecha del otoño de 2019.

Meteoritos en colección

Al momento de realizar este estudio se logró tener acceso a dos piezas, anteriormente consideradas meteoritos y que formaban parte de colecciones.

“Meteorito Bacuranao”

Este ejemplar, fue recuperado del fondo marino en 1974, en la playa de Bacuranao ubicada al este de La Habana. Mediante análisis petrográficos a través de lámina delgada se identificó como un meteorito tipo siderita. Originalmente, la pieza estudiada medía 8.4 cm en su eje mayor y 7.0 cm en su sección transversal (Segura-Soto, 1983).

El ejemplar estuvo expuesto durante décadas en la sala de Astronomía del Museo de Ciencias Naturales “Felipe Poey” de la Academia de Ciencias de Cuba; a principios de los 90 este desapareció.

Se sabe que una pequeña parte de este objeto fue enviado a EE.UU., donde fue analizado y se concluyó que no se trataba de un meteorito, sino posiblemente de basalto. El pequeñísimo fragmento devuelto es el material que fue inspeccionado en esta ocasión.

Se observó una muestra de alrededor de 3 g (**Figura 2, A**). Tiene 4 caras cortadas y una cara rota que muestra un material fino, de color gris negro, con una textura fibrosa (imagen insertada muy aumentada). No se ve ningún rastro de oxidación, a pesar de que la muestra permanecía en agua marina cuando fue descubierta, lo que excluye la presencia de hierro metálico.

La susceptibilidad magnética es fuerte: $\log \chi = 4.7$ que encaja con meteoritos o artefactos magnéticos, y no con rocas terrestres habituales. El análisis semicuantitativo XRF en modo traza (es decir, sin medir elementos más ligeros que K) revela que el Fe es el elemento principal (33.8 %), seguido del Zn (7.3 %), Pb (1.4 %) y K (1.1 %). Otros elementos por encima del 0.1 % son Ca, Ti, Mn, Cu, As, W. En cambio, Cr y Ni se encuentran sólo en 338 y 56 ppm (**Tabla 1**).

Todas estas observaciones excluyen por com-

pleto un origen meteorítico para esta pieza, y apuntan hacia una escoria metalúrgica, formada por silicatos y óxidos obtenidos tras la fusión de un depósito polimetálico (formado por Zn, Pb, Cu, As, W). Téngase en cuenta, que la escoria suele ser fuertemente magnética. Se conoce que durante la colonia en el área al sur de Guanabo se llevó a cabo la explotación de menas para la extracción de cobre (Calvache, 1965).

“Meteorito Mango Jobo”

La etiqueta que acompaña a esta pieza indica que fue recuperada en el poblado de Mango Jobo, en San Cristóbal, actual provincia de Artemisa, por que perteneció a René Herrera y fue recolectado en 1938. Este ejemplar estaba en exhibición en el Museo Nacional de Historia Natural de Cuba. Gracias a sus autoridades se pudo acceder para este análisis.

Se observó un objeto metálico oxidado de aproximadamente 1 kg (**Figura 1, B**). Parece estar formado por glóbulos metálicos adheridos, que encierran un fragmento burbujeante de escoria silicatada. La susceptibilidad magnética es muy fuerte: $\log \chi = 5.3$, típica de objetos ricos en metales. La composición es esencialmente hierro, con solo trazas de Cr y Ni, excluyendo un meteorito de hierro (que debería mostrar $Ni/Fe \geq 5 \%$), y en cambio, típico de un producto de fundición de hierro fabricado por el hombre (**Tabla 1**).

Tabla 1. Datos analíticos proporcionados por el software Bruker (todos en porciento, excepto cursiva y subrayados en ppm). Debido a las condiciones experimentales y a los sesgos inherentes al método, los valores absolutos se subestiman de forma variable. Por otro lado, las proporciones de elementos están menos sesgadas.

Elements Meteorites	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	FeO	Cr	Ni	Cu	Zn	Ce	W	Pb	Ni/Fe
Viñales	-	1.5	0.27	0.21	11.7	0.3	0.17	<u>98</u>	<u>47</u>	<u>145</u>	-	-	1.9
Lajas	0.21	2.1	0.28	0.25	16.9	0.22	0.35	<u>182</u>	<u>36</u>	<u>312</u>	W	31	2.7
“Bacuranao”	1.1	0.37	0.52	0.18	31.3	<u>338</u>	<u>56</u>	0.51	7.3	-	0.37	1.34	0.02
“Mango Jobo”	-	0.4	0.66	0.24	50.7	<u>781</u>	<u>200</u>	<u>206</u>	<u>48</u>	<u>851</u>	-	<u>358</u>	0.05



A. “Meteorito de Bacuranao”



B. “Meteorito de Mango Jobo”

Figura 2. Muestras de los supuestos meteoritos (Bacuranao y Jobo Rosado) estudiados.

CONCLUSIONES

El presente estudio, sobre el patrimonio particular de los meteoritos cubanos, permitió confirmar la autenticidad de dos de los ejemplares valorados: el meteorito condrita tipo L6 Viñales, y el meteorito condrita tipo L Lajas. Este último queda por declarar en el Meteoritical Bulletin (ver <https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php>); donde una búsqueda de meteoritos cubanos, muestra actualmente sólo el de Viñales y el meteorito de hierro “Cuba”, presentes en el Museo de Historia Natural de Madrid.

Otras dos piezas, antes consideradas como meteoritos, son descartadas como parte del patrimonio atesorado hasta hoy en los museos del país, por tratarse de materiales metálicos artificiales (los que provenían de Bacuranao y Mango Jobo).

AGRADECIMIENTOS

Dr. C. Jorge Perdigón - Director de Museos, Oficina del Patrimonio Cultural del Historiador de La Habana; M.Sc. Rudy Montero- Director del IGA y a los especialistas del Planetario de La Habana; Lic. Juliette Díaz - Vicedirectora de Museología y Educación del MNHNC, y especial al Lic. Jorge Isaac Mengana - musicólogo del Museo “Casa Alejandro de Humboldt”, por su coordinación y ayuda en este trabajo. A todos los compañeros que nos apoyaron en esta ocasión. Además, extendemos nuestro reconocimiento a los colegas del Ceinpet que realizaron la revisión inicial del trabajo: Dra.C. Olga Castro Castiñeira y Dr. C. Mnauel E. Pardo Echarte; así como al Dr. C. Osvaldo Rodríguez Morán Presidente del Comité de Arbitraje de la revista Geociencias UO.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Calvache, A., 1965, Bosquejo sobre Geología de Cuba: Academia de Ciencias de Cuba, Departamento de Geología, 105 pp.

Ceballos-Izquierdo, Y., 2019, Recuento de los meteoritos reportados en Cuba y bibliografía sobre el tema: Anales de la Academia de Ciencias de Cuba, 9 (1), 1-18.

Iturralde-Vinent, M. A. Llanes Castro, A.I., Santa Cruz Pacheco, M., Toledo Sánchez, C.A., Cabrera Díaz, I. 2019, Estudio espectroscópico, composicional y mineralógico de un fragmento del meteorito Viñales, caído en Los Jazmines, Cuba occidental: Anales Academia de Ciencias de Cuba, 9(1).

Pérez-Doval, J., (Ed.), 1996, Meteoritos cubanos. Datos Astronómicos para Cuba, 101.

Rochette P., Gattacceca J. and Lewandowski M., 2012. Magnetic classification of meteorites and application to Soltmany fall: Meteorites, 2, 67–71.

Rochette P., J.P. Ambrosi, T. Amraoui, V. Andrieu, A. Badie, Ph. Borgard, J. Gattacceca, A. Hartmann-Virnich, M. Panneau, J. Planchon, 2022a, Systematic sourcing of granite shafts from Gallia Narbonensis and comparison with other western Mediterranean areas: Journal Archeological Sciences. Rep. 42, 103-372. <https://doi.org/10.1016/j.jas-rep.2022.103372>

Rochette P, C Sciuto, S Raneri, A Sutter, A Rovazani, L. Folco, JP Ambrosi, V Andrieu, J Gattacceca and A Hartmann-Virnich, 2022b, Non-destructive magnetic and chemical characterization of granite column shafts traded in the Mediterranean area: the case of Piazza dei Miracoli in Pisa (Italy) and Basilica of Saint-Martin d'Ainay in Lyon (France). Journal of Physics: Conference Series, Volume 2204, 2021 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage (MetroArchaeo 2021) 20-22 October 2021. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2204/1/012037/meta>

Segura-Soto, R., 1983, Hallazgo de un meteorito en la Playa de Bacuranao, Cuba: Boletín de la Sociedad Cubana de Geología, 1(1), 76-82.

Modelo geólogo-estructural del cinturón plegado y cabalgado al este de Cuenca Central, provincia Ciego de Ávila, Cuba

Carlos Manuel Valdivia Tabares¹, Yeniley Fajardo Fernández², Manuel Pardo Echarte³ y Lourdes Jiménez de la Fuente

¹ Ingeniero Geólogo del Centro de Investigación del Petróleo, Churruca, No.481, e/ Vía Blanca y Washington, Cerro, La Habana, CP 10 600. ORCID ID: 0000-0001-8540-2559. Correo E.: cvaldivia.2303@gmail.com.

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

³ Ingeniero Geofísico, Doctor en Ciencias Geológicas, Investigador Titular y Profesor Titular del Centro de Investigación del Petróleo, Churruca, No.481, e/ Vía Blanca y Washington, Cerro, La Habana, CP 10 600. ORCID ID: 0000-0003-0669-4413. Correo E.: pardo@ceinpet.cupet.cu; pardo@gmail.com.

⁴ Licenciada en Geografía, Máster en Geología Petrolera, Investigador Agregado, Centro de Investigación del Petróleo. Churruca No 481, El Cerro, La Habana, Cuba C.P. 12000. ORCID ID: 0000-0003-3735-442X. Correo E.: lourdes@ceinpet.cupet.cu; loujdf@gmail.com.

RESUMEN

El sector conocido como Bloque 21 ubicado al este de Cuenca Central, Provincia Ciego de Ávila en la República de Cuba, carece de un grupo de datos geólogo-petroleros necesarios para una efectiva evaluación del potencial de hidrocarburos. Por este motivo, el presente trabajo tiene el objetivo de generar el modelo geólogo-estructural que define al Cinturón Plegado y Cabalgado en este sector. Para ello se emplearon distintos mapas temáticos e informaciones geológicas y geofísicas, que fueron analizadas a partir de la aplicación de métodos cartográficos, gravimétricos, magnetométricos, sísmicos, geomorfológicos y de teledetección y con posterioridad integrado de forma compleja en el *software Petrel*. La modelación obtenida permitió dilucidar la evolución tectónica del territorio y resaltar su importancia exploratoria, determinada por su posición geográfica y la presencia de las secuencias

carbonatadas del Dominio Paleogeográfico del Margen Continental con su respectivo sello sinorogénico en el subsuelo. El modelo geólogo-estructural obtenido, fue correlacionado y validado con su entorno y explicó no solo la evolución geológica del Bloque 21 sino de las zonas aledañas, las cuales poseen un mayor componente compresivo y una colisión más fuerte con la plataforma carbonatada. La definición de este modelo permitirá la planificación estratégica de la exploración petrolera en la región y la toma acertada de decisiones.

Palabras clave: integración compleja, modelo geólogo-estructural, secuencias del Margen Continental, evaluación del potencial de hidrocarburos.

ABSTRACT

The sector known as Block 21 located to the east of

Valdivia-Tabares, C.M., Fajardo-Fernández, Y., Pardo-Echarte, M., Jiménez-De la Fuente, L., 2021, Potencialidades de bacterias aisladas de crudo en la recuperación mejorada de petróleos pesados: Geociencias UO. v. 13, núm. 1, junio 2024. pp. 11-25.

Cuenca Central, Ciego de Ávila Province in the Republic of Cuba, lacks a group of geological-petroleum data necessary for an effective evaluation of the hydrocarbon potential. For this reason, the present work has the objective of generating the geological-structural model that defines the Folded and Thrust Belt in this sector. For this, different thematic maps and geological and geophysical information were used, which were analyzed from the application of cartographic, gravimetric, magnetometric, seismic, geomorphological and remote sensing methods, and later integrated in a complex way in the Petrel software. The modeling obtained allowed elucidating the tectonic evolution of the territory and highlighting its importance exploratory, determined by its geographical position and the presence of the carbonate sequences of the Paleogeographic Domain of the Continental Margin with its respective synorogenic seal in the subsol. The geological-structural model obtained was correlated and validated with its environment and explained not only the geological evolution of Block 21 but of the surrounding areas, which have a greater compressive component and a stronger collision with the carbonate platform. The definition of this model will allow the strategic planning of oil exploration in the region and the correct decision making.

Key words: complex integration, geological-structural model, Continental Margin sequences, evaluation of hydrocarbon potential.

RESUMO

O setor conhecido como Bloco 21, localizado a leste de Cuenca Central, província de Ciego de Ávila, na República de Cuba, carece de um conjunto de dados geológico-petrolíferos necessários para uma avaliação efetiva do potencial hidrocarbônico. Por esta razão, o presente trabalho tem como objetivo gerar o modelo geológico-estrutural que define a Cintura Dobrada e Empurrada neste setor. Para isso, foram utilizados diferentes mapas temáticos e informações geológicas e geofísicas, que foram analisadas a partir da aplicação de métodos cartográficos, gravimétricos, magnetométricos,

sísmicos, geomorfológicos e de sensoriamento remoto, e posteriormente integrados de forma complexa no software Petrel. A modelagem obtida permitiu elucidar a evolução tectônica do território e destacar sua importância exploratória, determinado pela sua posição geográfica e pela presença das sequências carbonáticas do Domínio Paleogeográfico da Margem Continental com seu respectivo selo sinorogênico no subsolo. O modelo geológico-estrutural obtido foi correlacionado e validado com o seu ambiente e explicou não só a evolução geológica do Bloco 21 mas das áreas envolventes, que apresentam uma maior componente compressiva e uma colisão mais forte com a plataforma carbonática. A definição deste modelo permitirá o planejamento estratégico da exploração de petróleo na região e a correta tomada de decisão.

Palavras-chave: integração complexa, modelo geológico-estrutural, sequências da Margem Continental, avaliação do potencial hidrocarbônico.

INTRODUCCIÓN

El sector de interés, conocido como Bloque 21, está ubicado en la República de Cuba al este de la Cuenca Central (**Figura 1**); abarca en su mayor parte a la provincia de Ciego de Ávila y una pequeña parte de Sancti Spiritus, ocupa un área aproximada de 1520 km². El mismo cuenta con una importancia exploratoria indiscutible por su posición geográfica, cuya sección norte se encuentra dentro del Mínimo Gravimétrico Norte Cubano (MGNC).

En un principio, el Bloque 21 incluía el área de la Cuenca Central entre la falla La Trocha y la falla Cristales, donde se tenía gran cantidad de información de pozos por el descubrimiento de yacimientos someros en secuencias vulcanógeno-sedimentarias, que validan la posibilidad de existencia de acumulaciones mayores más profundas en las unidades cabalgadas del Margen Continental. En la última actualización de los bloques terrestres, se decidió dividir en dos, Bloque 21 y 21A, ya que, aunque en un principio su conformación y configuración geológica debió ser similar,

en este último ocurrió una subsidencia transtensiva con la consecuente deposición de espesores considerables de sedimentos postorogénicos, que dio origen a la Cuenca Central, donde se localizan los yacimientos pequeños Pina, Brujo, Cristales, Jatibonico, Reforma y Catalina.

De los pocos intentos exploratorios realizados en el bloque, el de mayor envergadura fue el pozo Violeta 1X, perforado por la compañía Premier Oil en el año 1998 y que no logró confirmar el modelo exploratorio propuesto por dicha compañía, al quedar la base del pozo en el Complejo Ofiolítico (**Figura 1**) con manifestación de petróleo y gas según Linares, *et al.*, 2011.

El Bloque 21 carece del conjunto de datos geológico-petroleros necesarios para una efectiva evaluación del potencial de hidrocarburos. Esto, unido a la

ausencia de un modelo geólogo-estructural eficiente condujo a proponer como objetivo del trabajo, realizar el modelo geólogo-estructural que permitiera direccionar la exploración petrolera en el área. Para ello, se ha realizado el análisis de datos de diferentes disciplinas como geología de superficie, geomorfología, campos potenciales y sísmica, que fueron integrados de forma compleja en el *software Petrel*, el cual permite unificar en un solo sistema los resultados alcanzados por cada especialidad, así como la posterior interpretación e integración espacial (3D).

Los resultados obtenidos permitirán realizar pronósticos más certeros, relacionados con descifrar la gran complejidad geólogo-estructural, así como reducir los riesgos asociados a la búsqueda y prospección de hidrocarburos que conlleva un área con bajo grado exploratorio como el Bloque 21.

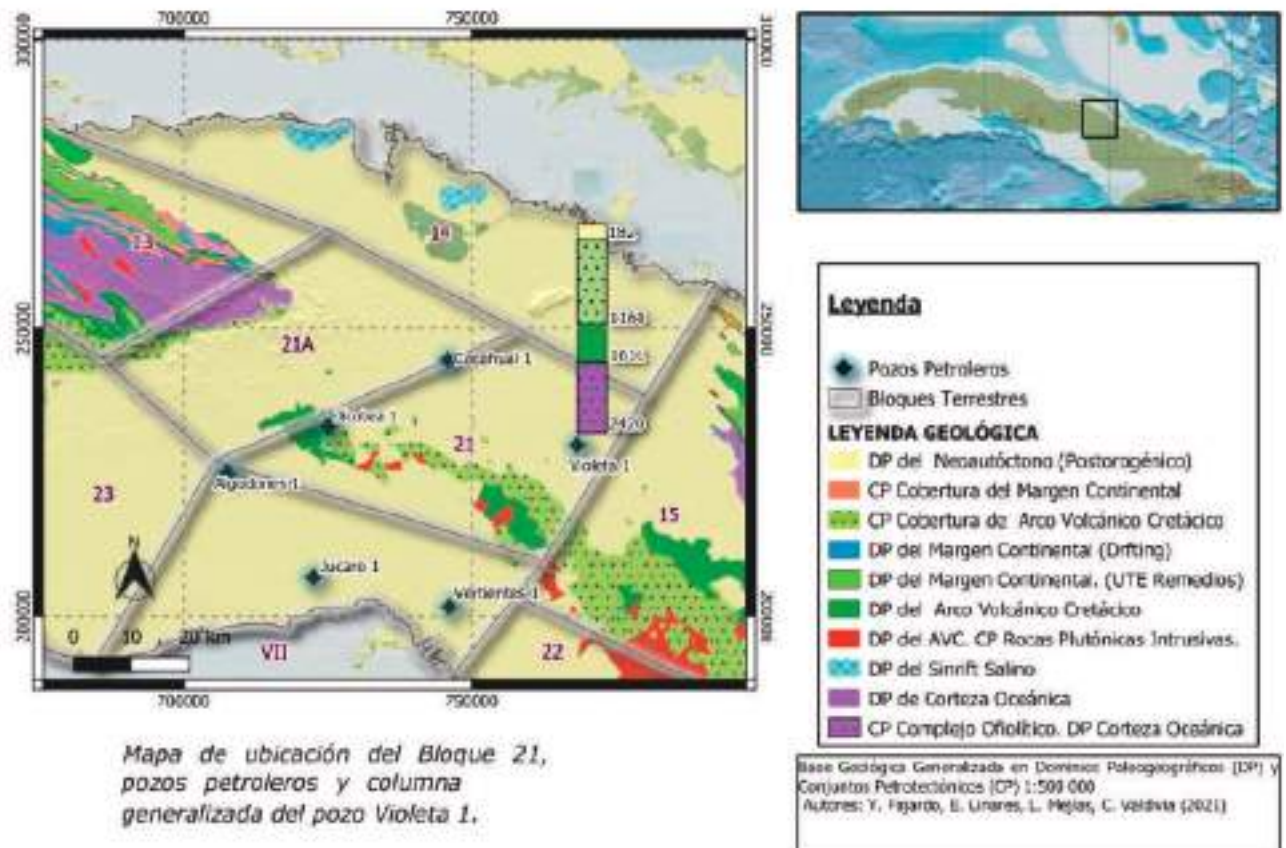


Figura 1. Mapa de ubicación del Bloque 21, geología de superficie y pozos perforados en el Bloque 21

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del estudio se emplearon los siguientes materiales:

- Mallas del campo gravimétrico y aeromagnético a escala 1:50000
- El MED empleado en este trabajo fue tomado de Sánchez-Cruz *et al.* (2015), con fuente en: <http://www.cgiar-csi.org/data/srtm-90m-digital-elevation>
- Mapa digital de Dominios Paleogeográficos (DP) y Conjuntos Petrotectónicos (CP) de la República de Cuba. (Colectivo de autores, 2020)
- Imágenes de Radar tomado de SRTM 30 metros
- Siete líneas sísmicas curvilíneas en tiempo (Bloque 21) y una del adyacente Bloque 14 (**Figura 2**), resultantes de la adquisición llevada a cabo en 1997 por la compañía Premier Oil y procesada hasta los 5 segundos.

Para la interpretación geomorfológica se realizó un análisis regional que abarcó el Bloque 21 y su entorno. A partir de la interpretación de imágenes de radar se construyó un esquema morfoestructural del área, con especial énfasis en la zona que comprende

el oeste de la Cuenca Central (Bloque 21).

Se empleó como base cartográfica el Modelo Digital del Terreno (MDT) obtenido a partir del radar SRTM, del cual a su vez generaron mapas de sombras del relieve y el mapa de pendientes. Como apoyo a la interpretación también fue utilizado el mapa geológico de Dominios Paleogeográficos y Conjuntos Petrotectónicos.

Las combinaciones escogidas para la interpretación estructural de los mapas de sombras responden a los parámetros Inclinación 10° Azimut 45° e Inclinación 10° Azimut 225° (**Figura 3**). Estos mapas y el de pendientes del terreno resultaron de gran utilidad en la interpretación estructural por las características de radares. La interpretación se llevó a cabo a una escala regional 1:250000 y otra local 1:50000, lo que permitió la determinación de rasgos alineados del relieve que estuvieran vinculados con elementos tectónicos.

Además, se utilizaron métodos cartográficos para el análisis de la geología de superficie y su comparación con los datos litológicos y paleontológicos obtenidos del pozo Violeta 1X.

De manera general los campos potenciales se analizaron en un área que abarca todo el Bloque 21 y una perspectiva regional con el objetivo primario de delimitar el frente de avance del Terreno Zaza hacia

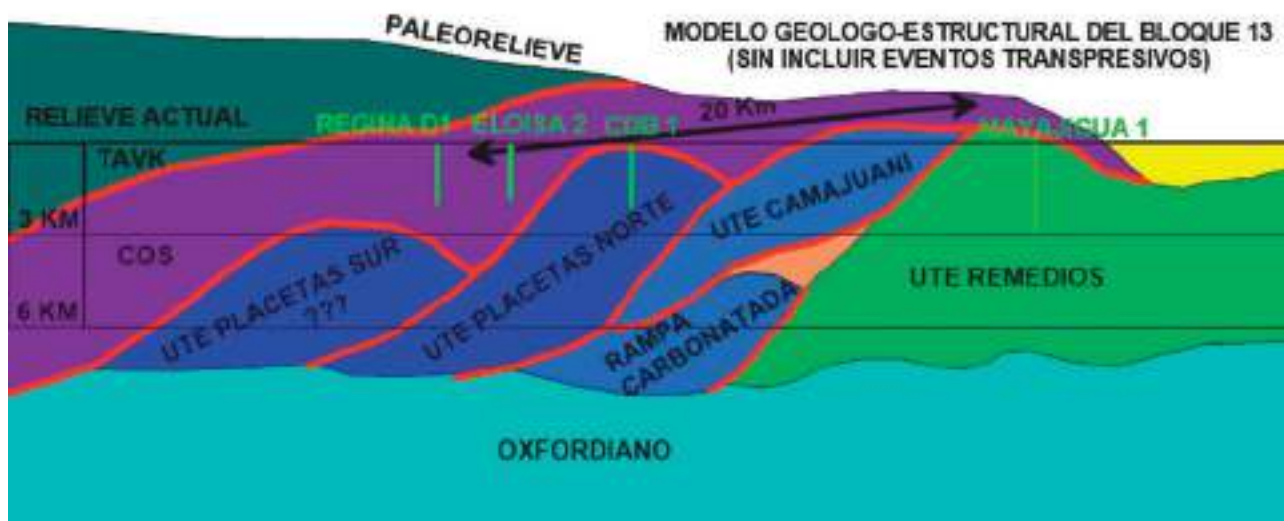


Figura 2. Mapa de ubicación de las líneas sísmicas empleadas.

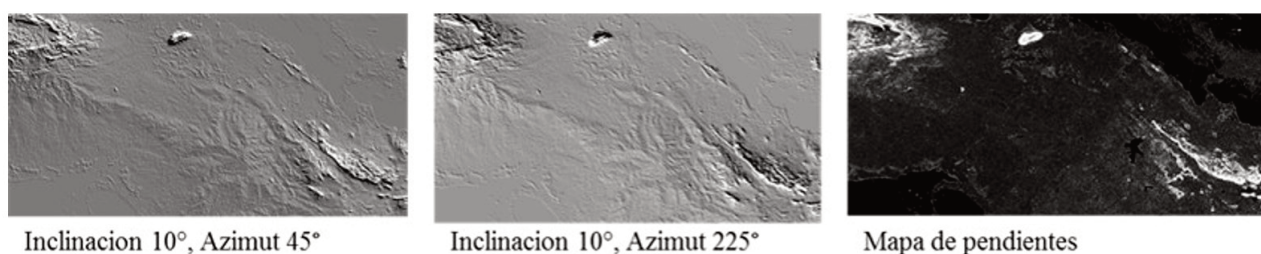


Figura 3. Resultados del procesamiento de la imagen de Radar. Mapas sombreados escogidos para la interpretación con sus parámetros y mapa de pendientes.

el norte y el borde superior del talud sur de la Unidad Tectónico-Estratigráfica Remedios.

El campo gravimétrico (Reducción Bouguer, 2.3 t/m^3) se sometió a la separación regional-residual a partir de la Continuación Analítica Ascendente (CAA) para las alturas de 500 (equivalente a la derivada vertical DV), 2000 y 6000 m, dadas por el orden de profundidad de los posibles objetivos gasopetrolíferos y del estudio sísmico.

El empleo del campo aeromagnético fue dirigido en esencia, a la definición del límite de avance de la cuña del Terreno Zaza. Con este fin se procedió a efectuar la reducción al polo del campo ΔT y al cálculo de la derivada vertical del mismo

La necesidad de obtener y evaluar la mayor cantidad de información presente en el espectro sísmico y que es imperceptible al ojo humano, ha conllevado al desarrollo de algoritmos matemáticos que extraen, agrupan, combinan y muestran los distintos eventos presentes en el dato sísmico primario. Se emplea de forma básica, la frecuencia, la amplitud y la impedancia acústica, con el fin de esclarecer el trazado de las fronteras sísmicas, sobre todo en ambientes geológicos complejos como es el caso en cuestión, todo esto contribuye a la realización de una interpretación más confiable (Valdivia-Tabares, *et al.*, 2015).

Como plataforma común de carga de datos se usó el *software Petrel*, el cual permitió realizar la interpretación sísmica y unificar en un solo sistema los resultados alcanzados por cada especialidad, así como la posterior interpretación compleja e integración espacial (3D), lo que contribuyó a descifrar la gran com-

plejidad geólogo-estructural del área. También se empleó el *software Oasis Montaj* versión 7.01 para el procesamiento y la interpretación de la información geofísica de campos potenciales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis geólogo-petrolero del entorno del Bloque 21. En el sector objeto de investigación, se emplaza el pozo profundo Violeta 1X, perforado por la compañía Premier Oil en el año 1998, que alcanzó una profundidad de 2420 m y no logró confirmar el modelo exploratorio propuesto por dicha compañía, al quedar la base del pozo en el Complejo Ofiolítico (**Figura 1**), con manifestación de petróleo y gas, según Linares, *et al.*, 2011.

A tres kilómetros al NW del pozo Violeta 1X, en las cercanías del poblado Veracruz, durante la perforación de los pozos estructurales PE-14 y PE-15 se reportó la presencia de aguas sulfurosas con manifestaciones de hidrocarburos (Linares, *et al.*, 2011). Cabe destacar que por su posición geográfica respecto al pozo Violeta 1X, ambos describen un segmento con rumbo cubano, aspecto a tener en cuenta para la prognosis de posibles altos estructurales y yacimientos en los alrededores, ya que ambos pozos presentaron manifestaciones considerables de petróleo.

El bloque más cercano de referencia con suficientes afloramientos de unidades orogénicas es el Bloque 13 (**Figura 1**), el cual cuenta con un grado de estudio superior y donde ha sido propuesto un modelo geólogo-estructural de cabalgamientos en secuencia entre las Unidades Tectónicas Estratigráficas (UTE)

Placetas y Camajuaní Sur, mientras que esta última avanza fuera de secuencia sobre Camajuaní Norte durante el proceso de colisión contra un talud suave de la plataforma (UTE Remedios) (**Figura 4**). En este modelo existe un levantamiento meridional de la UTE Placetas, separado por una depresión estructural de las secuencias septentrionales de la UTE Camajuaní Sur, y que se encuentra rellena con el Complejo Ofiolítico, como evidencia del cabalgamiento fuera de secuencia generalizado de las ofiolitas sobre las unidades comprimidas del Paleomargen (**Figura 4**). Este modelo es apreciable en la geología de superficie. Es importante señalar que, aunque en trabajos anteriores (Pérez-Martínez, *et al.*, 2013), se ha interpretado para el Bloque 13 un rediseño tectónico transpresivo con la formación de estructuras en flor positivas, de igual cinemática a las fallas principales que las generan (Ej. Falla Zaza-Tuinicú), sin embargo, para el Bloque 21 no se esperaba tal efecto, por la inexistencia o no evidencia en superficie de este patrón estructural.

Geología de superficie

A partir del análisis del mapa geológico, en el sur del Bloque 21 se aprecia una franja de afloramientos de

las rocas del DP del Arco Volcánico Cretácico (AVK) y sus cuencas sinorogénicas (DP Etapa Orogénica). Estos afloramientos se encuentran dispuestos en sentido del rumbo cubano (NW-SE), con excepción del sector suroccidental, donde ocurre un pandeo izquierdo (**Figura 1**), que se interpreta como la fuerte influencia sinistral del sistema de fallas de la Cuenca Central como la falla Cristales que más adelante se explicará.

Se precisa que esta deformación en las proximidades de dicha falla es de gran importancia, ya que se esperaría un comportamiento similar en el resto de unidades tectónicas en profundidad y a lo largo de esta, como un parámetro de control para la interpretación sísmica, sobre todo en los carbonatos de cuenca del Margen Continental (CCMC) que comprenden las UTE Placetas y Camajuaní y constituyen el objetivo petrolero principal en el modelo geológico a obtener.

El resto del bloque se encuentra cubierto por sedimentos postorogénicos del DP del Neoautóctono (**Figura 1**), los cuales aumentan sus espesores en pequeñas cuencas desarrolladas en los alrededores de fallas normales resultantes de la neotectónica.

Un aspecto que resalta es la ausencia en superficie de rocas del Complejo Ofiolítico del DP de Cor-

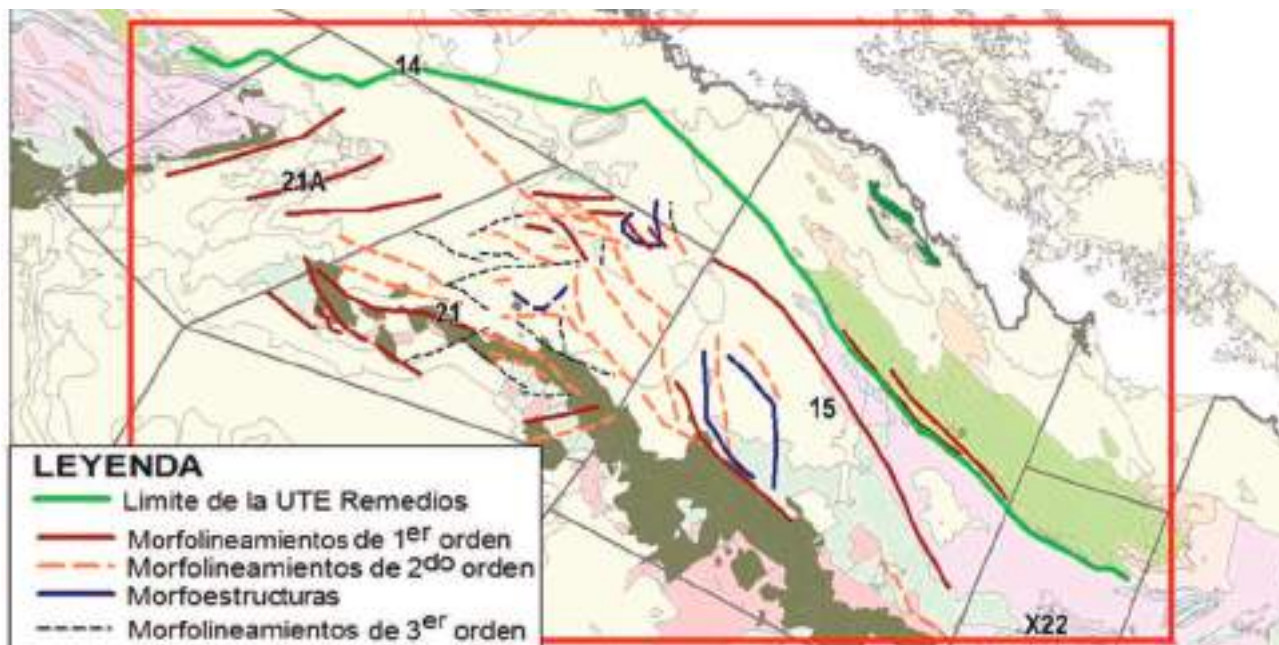


Figura 4. Reconstrucción del Modelo Geólogo-Estructural propuesto para el Bloque 13 previo a los eventos transpresivos.

teza Oceánica, no obstante, en el pozo Violeta 1X a partir de los 1611 m se describen los paquetes superiores del mismo como se aprecia en la **Figura 1**, sin encontrarse peridotitas ni serpentinitas.

Geomorfología.

En el ámbito regional la variabilidad del relieve es muy amplia y está dominada por el afloramiento de las formaciones geológicas presentes, (UTE Remedios en los alrededores y Terreno Zaza en lo fundamental al NE y W del área). En estos sectores el relieve se observa muy diseccionado. En el centro se encuentran ampliamente distribuidas las formaciones postorogénicas del DP del Neoaútctono, que corresponde con la Cuenca Central y sus alrededores (Bloque 21), donde el relieve es llano, poco diseccionado y con limitado reflejo estructural.

Se detectaron morfolineamientos de rumbo SW-NE, que coinciden en rumbo con la falla La Trocha. De igual forma, con rumbo latitudinal se pudo interpretar el límite de la UTE Remedios, que de forma inferida se continuó en el área central del sector con el apoyo de los trabajos realizados en (Pardo-Echarte, *et al.*, 2017).

Según el esquema morfoestructural, se aprecia que existen morfolineamientos de 1ro, 2do y 3er orden (**Figura 5**), interpretados a partir de los productos del MDT y clasificados de esta forma por su expresión en el relieve. En el Bloque 21 predominan los morfolineamientos de 2do y 3er orden, sus rumbos predominantes son NW-SE, aunque también se expresan direcciones NE-SW. Esta disposición de los rumbos corresponde con los rumbos de las unidades geológicas aflorantes al E y W, dispuestas en bandas alargadas y estrechas. En esta misma área se reflejan de forma muy sutil rumbos NE-SW, que si se extrapola al ámbito regional pudiera asumirse que están relacionados con los movimientos por el rumbo sinistral que afectaron a toda el área y que corresponden al sistema de grandes fallas regionales que limitan la Cuenca Central.

La interpretación morfoestructural a partir de imágenes de radar permitió la diferenciación de morfolineamientos dentro del Bloque 21 y los bloques adyacentes, que correspondería con estructuras tanto disyuntivas como posibles levantamientos en profundidad y que, además, se refleja de forma sutil en el relieve actual.

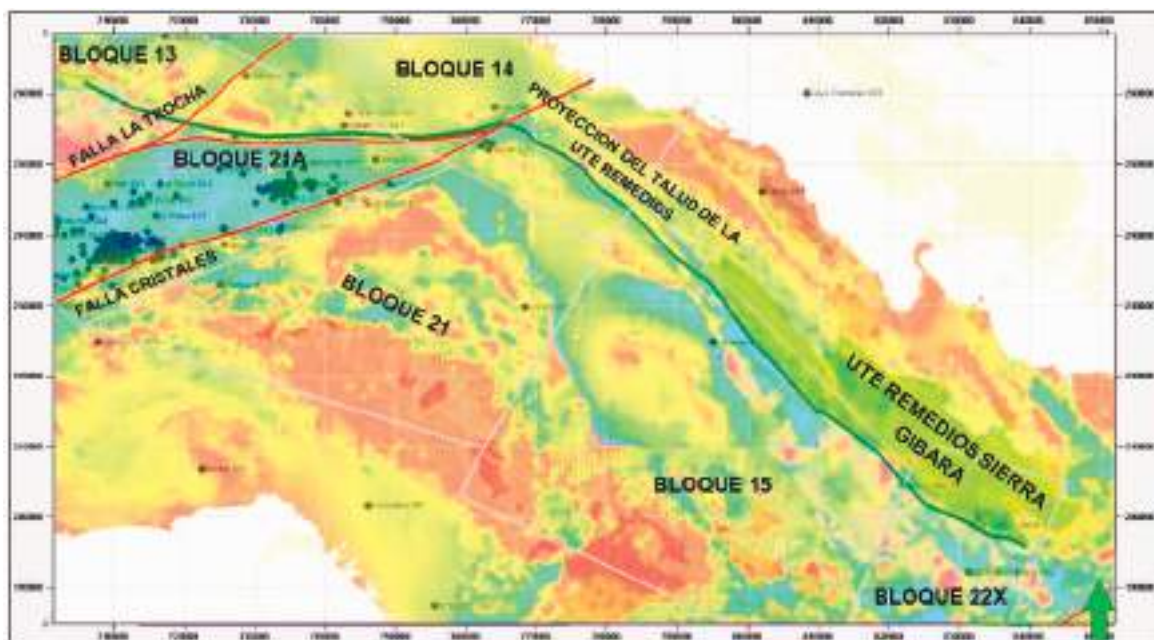


Figura 5. Esquema morfoestructural integrado.

Gravimetría.

Para la cartografía gravimétrica, se utilizó la primera derivada vertical (DV), donde a primera aproximación, resalta la depresión asociada a los sedimentos de la Cuenca Central, representada por un gran mínimo bien delimitado entre las fallas La Trocha y Cristales (**Figura 6**). Aunque en menor medida, también se aprecia la presencia del Mínimo Gravimétrico Norte Cubano, el cual ha sido asociado en diversas literaturas a la presencia en profundidad de los CCMC. Sin embargo, en el presente caso se encuentra resaltado en algunos sectores por la presencia de cuencas sedimentarias neotectónicas de carácter local.

Debido a la inconsistencia entre los datos de los pozos Morón Norte 1 y 2, donde son cortadas las secuencias de la UTE Remedios con la interpretación inferida del borde de la Plataforma en el acápite anterior (**Figura 5**), se reinterpretó el límite superior del talud sur de la misma, con el apoyo de datos sísmicos del Bloque 14, obteniéndose un patrón de deformación en pandeo izquierdo, correspondiente con una cinemática

sinistral de las fallas regionales NE-SW (**Figura 6**). Tras aplicar la Continuación Analítica Ascendente (CAA) para los tres radios de promediación (6000, 2000 y 500 m), se pudo apreciar que el talud sur de la Plataforma transiciona de una pendiente suave en el Bloque 14 (similar al Bloque 13) a abrupta en los bloques 15 y 22X, como se ha comprobado en los pozos Camagüey Norte 1, 2, 3 y Pontezuela 1 (**Figura 6**).

Los máximos que se observan en el sur del Bloque 21 y se extienden hacia el Bloque 15, se asocian a la presencia de grandes volúmenes de rocas del AVK que afloran en superficie y CO en profundidad. En principio este comportamiento viene dado por la norma conocida para la geología petrolera cubana, la cual indica que hacia el sur aumentan los espesores relativos de estas unidades, lo que no implica, que en tales condiciones, al sur del MGNC, no se encuentren sistemas cabalgados asociados a los CCMC quedando apantallada su respuesta a consecuencia de los grandes espesores de rocas volcánicas y ultramafitas (Valdivia-Tabares, *et al.*, 2015).

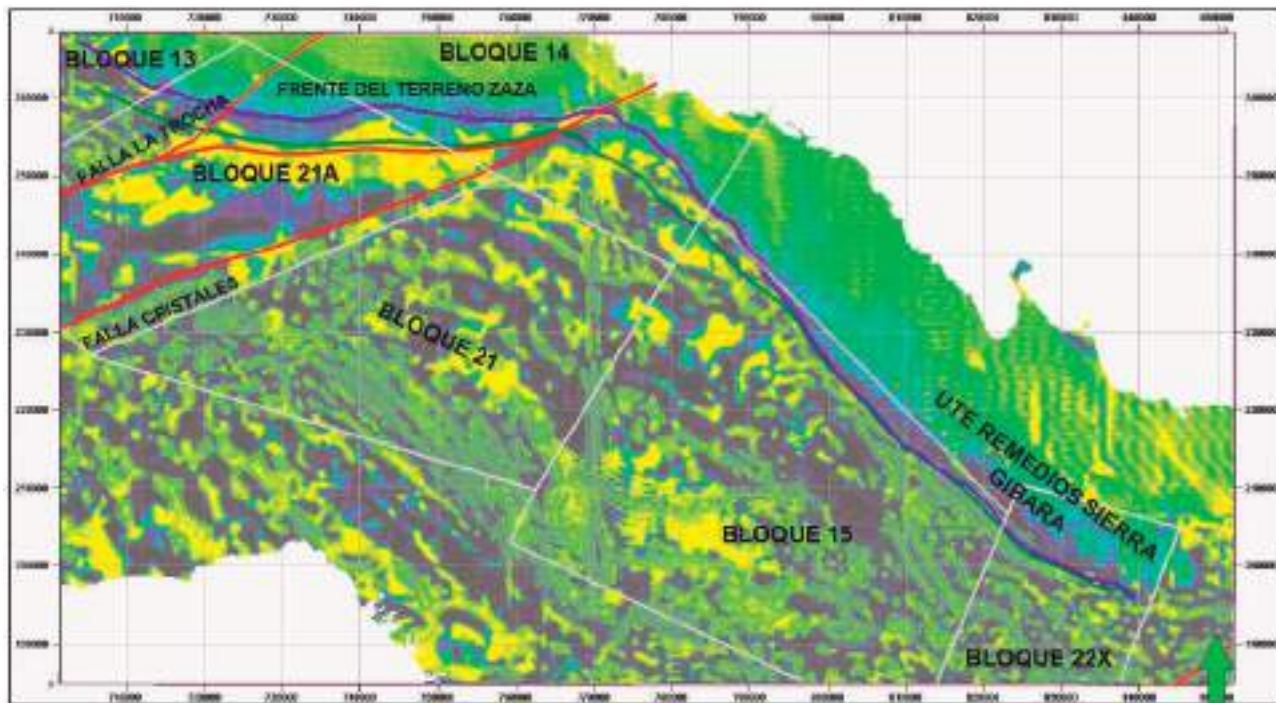


Figura 6. Mapa de la derivada vertical del campo gravimétrico en transparencia con el mapa geológico. Se muestra la interpretación de los sistemas de fallas regionales, así como el borde superior del talud sur de la UTE Remedios.

Magnetometría.

En la **Figura 7** se muestra el mapa de DV del campo magnético, en el cual se logró interpretar el frente de la cuña del Terreno Zaza, apreciándose patrones sinusoidales similares al observado al interpretar el talud de Remedios. Ambos límites se muestran subparalelos, llegando a superponerse al sur de Sierra Cubitas como evidencia del alto ángulo del talud de la plataforma en este sector. Estos elementos estructurales, así como la morfología pandeada que presentan los afloramientos del DP del Arco Volcánico Cretácico al sur del Bloque 21, son elementos suficientes para estimar un régimen deformacional dúctil-frágil en todo el sistema de fallas que componen la Cuenca Central y que desplazan de modo sinistral hacia el NE, el bloque este de la Falla Cristales.

Interpretación Sísmica.

Como el objetivo es detectar y cartografiar los horizontes correspondientes a los CCMC, entre ellos las UTE Placetas y Camajuaní que componen el modelo estructural del área, los autores se enfocaron en determinar los atributos sísmicos que mejor respondieran al cuadro de onda que resalte estas secuencias. Por no aflorar en superficie, fue necesario recurrir en analogía al modelo geológico establecido para el aledaño Blo-

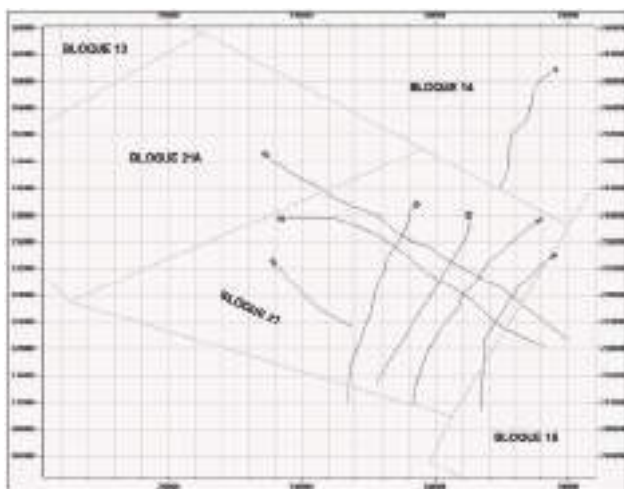


Figura 7. Mapa de derivada vertical del campo magnético, se interpreta el límite de máximo avance de la cuña del Terreno Zaza.

que 13, así como definir la posición estructural que deberían ocupar estos paquetes dentro del corte sísmico. A partir de estos principios, luego de calcular varios atributos revisados en *Schlumberger* (2010) los que mejores resultados aportaron fueron la Magnitud Gradiente (Gradient Magnitude) y la combinación del Time Gain con Envelope, este último aplicado sobre el resultado del primero. En dichos atributos se expresaron patrones y cuadros sísmicos que al ser interpretados se mostraba un modelo geólogo-estructural coherente y consecuente con los ya conocidos de manera general para la Provincia Petrolera Norte Cubana (PPNC). Aunque estos atributos fueron aplicados en todas las líneas sísmicas, se emplearon como patrón regional por su longitud, calidad, así como por brindar un transecto perpendicular al rumbo cubano, la línea 61 del Bloque 21 y la línea 9 del Bloque 14. La primera define muy bien el cinturón plegado y cabalgado y la segunda caracteriza la Plataforma y la Cuenca Sinorogénica Frontal del orógeno (**Figuras 8, 9 y 10**).

Fueron interpretados los horizontes guías, como son el tope de la Plataforma (UTE Remedios), el tope de los apilados de carbonatos septentrionales (UTE Camajuaní Norte y Sur), apilados de carbonatos meridionales (UTE Placetas y otro nombrado Margen Continental por carecer de análogo conocido en la región), el horizonte base o despegue de los cabalgamientos con posible edad Oxfordiano, la Cuenca Frontal Sinorogénica (olistostroma) y el Terreno Zaza (CP Complejo Ofiolítico + DP Arco Volcánico Cretácico). Destacar, que resultó poco fiable separarlos por la resolución de la sísmica disponible. Es importante señalar que, aunque no se distingue en la sísmica por coincidir con el borde de ambas líneas, es posible la existencia de la UTE Colorados (Brechas de talud de la Plataforma con excelentes propiedades colectoras) en la zona frontal de los cabalgamientos sobre los carbonatos de Camajuaní Norte, ocupando una posición favorable para contener acumulaciones importantes de hidrocarburos.

A partir del transecto regional (**Figuras 8, 9 y 10**) se interpretaron en el resto de líneas sísmicas los

topes asociados a los CCMC cabalgados. El primero y más norteño asociado a la UTE Camajuaní Norte, acrecionado contra los promontorios de Remedios. Hacia el sur, se observa una gran depresión seguida de un levantamiento estructural denominado Camajuaní Sur. En una posición más meridional fue interpretado un apilamiento definido como UTE Placetas. Por último, en el final de las líneas sísmicas, se observa la ocurrencia de otra morfología positiva denominada Margen Continental.

Se aprecia el cabalgamiento fuera de secuencia del Terreno Zaza sobre todo el Paleomargen llegando hasta la Plataforma, donde a su paso desprende y arrastra en su frente la porción meridional y superior (más joven) de la Cuenca Frontal, esto se ha comprobado en el pozo Morón Norte 1, donde se atraviesan dos repeticiones cabalgadas del paquete superior proximal (Eoceno) de esta secuencia y bajo las ofiolitas un paquete más distal arcilloso del Paleoceno Superior. Finalmente se distingue la influencia de la relajación de los esfuerzos compresivos en la etapa postorogénica con la generación de cuencas jóvenes a partir de fallas normales.

Con la interpretación realizada se obtuvieron los mapas de isócronas para cada horizonte, que poste-

riormente fueron llevados a profundidad a partir de un cubo de velocidades promedio extraídas del procesamiento sísmico, para así obtener los mapas estructurales de los CCMC en el Bloque 21.

Mapas estructurales

Un elemento que se consideró es la carencia de información sísmica en el oeste y noroeste del bloque, lo que limita la certidumbre de los mapas estructurales. No obstante, por la coherencia que se observó en la extrapolación de estos horizontes a partir del comportamiento de los campos potenciales, los autores consideraron estos mapas aceptables, aunque no concluyentes para este sector del Bloque 21 (**Figura 11**).

En la **Figura 11** se presentan los cuatro horizontes principales resultantes de la interpretación sísmica llevados a profundidad. Se observa, en el mapa por el tope de apilados de la UTE Camajuaní, el alto estructural norteño que llega en su cima a los 3200 m de profundidad, mientras que el sistema de apilados sureños en su área apical, alcanza de forma aproximada los 3000 m, con una continuidad bastante homogénea a lo largo de la dirección NW-SE (rumbo cubano). Entre ambos levantamientos se observa una depresión que alcanza los 4800 m de profundidad y que se encuentra

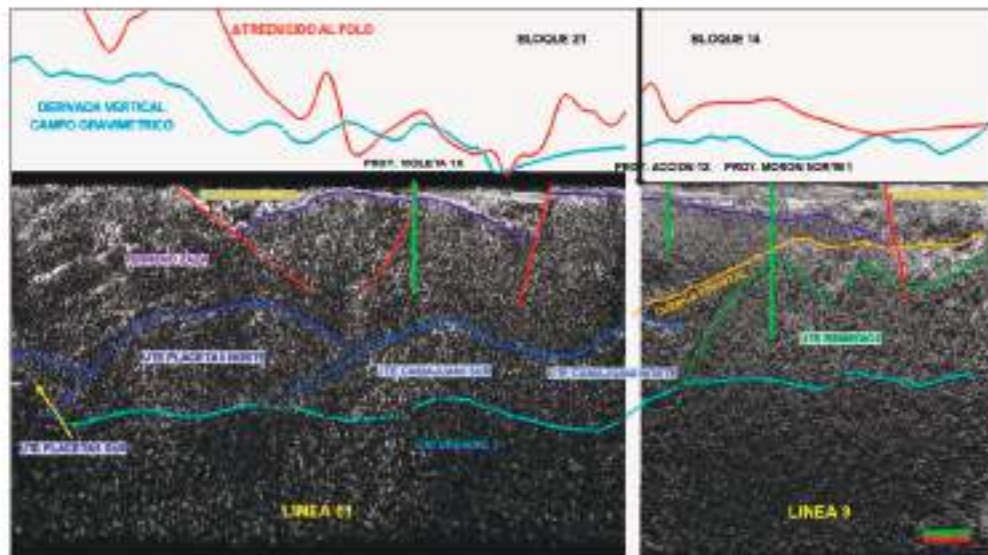


Figura 8. Transecto SW-NE entre los Bloques 21 y 14, perpendicular al rumbo cubano. Interpretación en tiempo sobre el atributo Gradient Magnitude. Se resalta la base de los cabalgamientos en tonos oscuros (Oxfordiano y unidades inferiores). Se aprecia una textura distintiva asociada a los CCMC y Plataforma carbonatada.

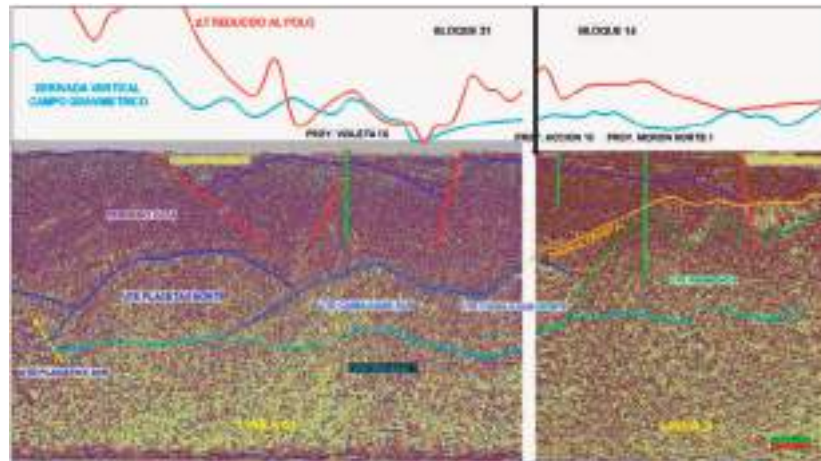


Figura 9. Transecto SW-NE entre los Bloques 21 y 14, perpendicular al rumbo cubano. Interpretación en tiempo sobre el atributo Time Gain. En colores predominantemente claros se representa el cuadro de onda asociado a los CCMC y la Plataforma de Remedios.

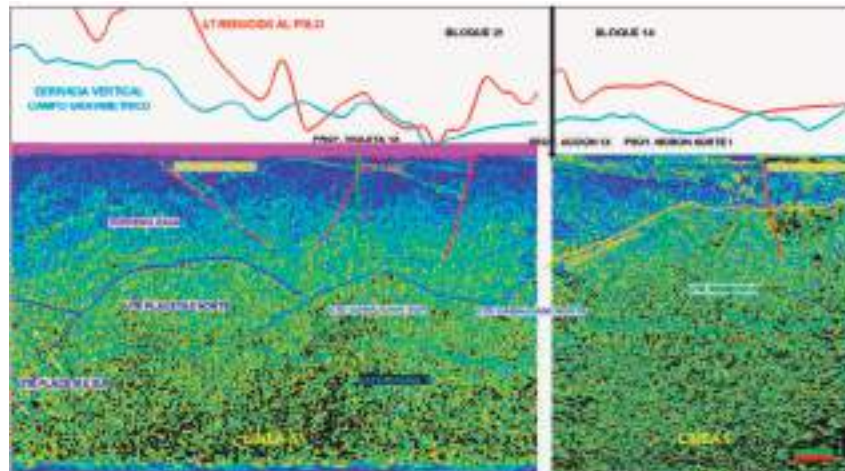


Figura 10. Transecto SW-NE entre los Bloques 21 y 14, perpendicular al rumbo cubano. Interpretación en tiempo sobre el atributo Envelope posterior al atributo Time Gain. Se resaltan dos zonas de contorno difuso dentro del Terreno Zaza. En sombreados predominantemente oscuros se representa el cuadro de onda asociado a los CCMC, Plataforma y paquetes sedimentarios.

rellena por las rocas del Terreno Zaza y que pudiera funcionar como zona de cocina para la generación de hidrocarburos.

En el caso del horizonte Placetas se aprecian dos levantamientos al NW y SE; el primero es más pronunciado al llegar a los 1400 m de profundidad (**Figura 11**) y constituye el punto más cercano a la superficie. Ambos levantamientos son separados por una zona hundida con hasta 3000 m de profundidad. En el cuarto horizonte (Margen Continental), ubicado

en una posición bastante meridional, resalta un levantamiento central con 3000 m de profundidad en su cresta (**Figura 11**).

Un aspecto que favorece la coherencia del estilo y disposición estructural del Modelo Geológico resultante para los CCMC es la morfología sigmoidal y la flexión izquierda que se aprecia en todos los grupos de apilados en la cercanía a la Falla Cristales (**Figura 11**), al ser consecuente con la cinemática conocida de este sistema disyuntivo y coincidir además con la es-

tructura y curvatura que presentan los afloramientos del DP del Arco Volcánico Cretácico en superficie.

Resulta evidente que según los resultados obtenidos los cuatro horizontes por su posición estructural son viables para la ocurrencia de acumulaciones importantes de hidrocarburos y alcanzables mediante la perforación de pozos verticales no superiores a los 4000m.

En el caso del horizonte Placetas se aprecian dos levantamientos al NW y SE, el primero es más pronunciado al llegar a los 1400 m de profundidad (**Figura 11**) y constituye el punto más cercano a la superficie. Ambos levantamientos son separados por una zona hundida con hasta 3000 m de profundidad. En el cuarto horizonte (Margen Continental), ubicado en una posición bastante meridional, resalta un levantamiento central con 3000 m de profundidad en su cresta (**Figura 11**).

Un aspecto que favorece la coherencia del estilo y disposición estructural del Modelo Geológico resultante para los CCMC es la morfología sigmoidal y la flexión izquierda que se aprecia en todos los grupos de apilados en la cercanía a la Falla Cristales (**Figura 11**), al ser consecuente con la cinemática conocida de este sistema disyuntivo y coincidir además con la estructura y curvatura que presentan los afloramientos del DP del Arco Volcánico Cretácico en superficie.

Resulta evidente que según los resultados obtenidos los cuatro horizontes por su posición estructural son viables para la ocurrencia de acumulaciones importantes de hidrocarburos y alcanzables mediante la perforación de pozos verticales no superiores a los 4000 m.

Modelo Geólogo-Estructural

El primer aspecto que resalta al observar el Modelo Geólogo-Estructural del Bloque 21 es que, aunque existe un cabalgamiento del Terreno Zaza, presenta una gran similitud con el estilo estructural de la Franja Petrolera Norte Cubana (FPNC) en el Perfil Cantel-Cayo Blanco (**Figura 12 A y B**), con similar grado de compresión al que fueron expuestas las unidades del Paleomargen en el cinturón plegado y cabalgado. Esto se explica a partir del alivio de esfuerzos tectónicos en las unidades superiores del Margen Continental cabalgadas, a través de los sistemas de fallas transcurrentes regionales y profundas que limitan la Cuenca Central durante su avance sinistral transtensional, transfiriendo el esfuerzo a grandes bloques del basamento, moviéndolos con el cinturón plegado y Plataforma a cuestras, manteniendo así el cabalgamiento en secuencia de las unidades de los CCMC bajo un régimen de menor compresión y el sobrecabalgamiento paulatino del Terreno Zaza. Todo esto incide directamente de manera positiva en

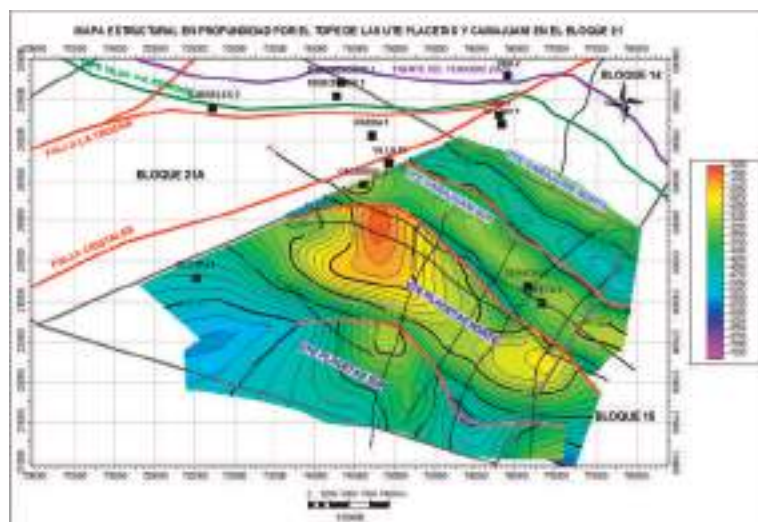


Figura 11. Mapa en profundidad por el tope de los CCMC cabalgados y sus sinorogénicos, se muestra su interacción y estilo estructural.

el potencial de generación, maduración y preservación de acumulaciones de hidrocarburos en las unidades del Paleomargen cabalgadas.

El Modelo obtenido permite explicar y comprender la evolución tectónica de áreas aledañas con mayor componente compresiva y una colisión más fuerte con la plataforma carbonatada, como es el caso del Bloque 13, donde también se exhibe un cabalgamiento fuera de secuencia del Terreno Zaza y el horizonte interpretado como Camajuaní Norte es cabalgado fuera de secuencia por las unidades más meridionales (aun en secuencia) durante el enfrentamiento contra la UTE Remedios (**Figura 12 B y C**). De modo que se puede considerar que el modelo definido para el Bloque 21 es un híbrido o intermedio entre los modelos establecidos para la FPNC (Sector Cantel-Cayo Blanco) y el Bloque 13 (**Figura 12**).

En la **Figura 13** se presenta un mapa donde se interpretó en forma de franjas la extensión hacia el Bloque 13 de cada uno de los grupos de apilados cartografiados con el objetivo de correlacionarlos con afloramientos conocidos y reubicar su posición estructural. Nótese que la banda de Camajuaní Norte desaparece hacia el Bloque 13 en el límite oeste de la Cuenca Central, debido a que es sobrecorrido por los apilados de Camajuaní Sur como se aprecia en la **Figura 12 C**.

La franja correspondiente a Camajuaní Sur aflora en el Bloque 13 acrecionada contra la UTE Remedios y en la Cuenca Central coincide con yacimientos someros asociados a la Familia II (posible

Rampa Carbonatada), que también pudieran ser el resultado del hundimiento bajo éste de Camajuaní Norte con mejores condiciones de enterramiento, en mezcla con los petróleos generados en el horizonte superior.

Al observar la franja correspondiente al horizonte Placetitas (**Figura 13**) se muestra que en ella se encuentran la ventana tectónica de Jarahuca y otros afloramientos de la UTE Placetitas más al NW, donde afloran las rocas de cuenca del Neocomiano y del Cretácico Inferior. Por tanto, para el Bloque 21 se estima que dentro de los apilados definidos como Placetitas se encuentren imbricados tanto las secuencias del Grupo Veloz (J3-K1) al norte, como la asociación Carmita-Santa Teresa (K1-K2) al sur, separados por el sello sinorogénico (Fm. Vega Alta). Otro elemento que tributa a esta hipótesis es la presencia del yacimiento Cristales, localizado justamente en la zona sur de esta franja y que se caracteriza por petróleos de la Familia III (ambiente terrígeno-carbonatado) (**Figura 13**). Además, esto podría explicar a su vez la ausencia de yacimientos someros con petróleos de la Familia I (ambiente carbonatado-terrágeno), ya que la existencia de las formaciones Carmita y Santa Teresa en una posición estructural superior y al sur, debería tender a proteger y preservar el sello regional del play Veloz durante el avance fuera de secuencia del Terreno Zaza.

El horizonte Margen Continental al sur, es el de mayor grado de incertidumbre puesto que no presenta análogo en el perfil Cantel-Cayo Blanco y nunca ha sido descubierto en perforaciones. No obstante, resulta innegable su presencia, debido a la existencia (dentro

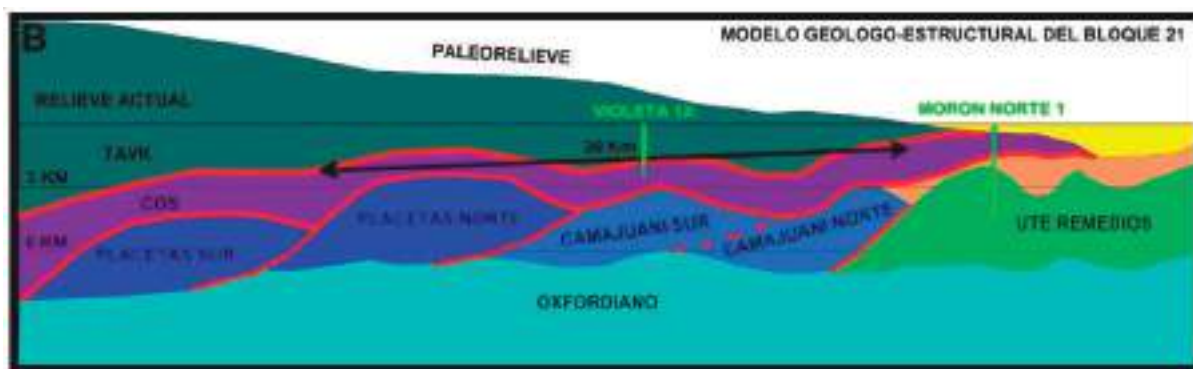


Figura 12. Correlación de Modelos Geológico-Estructurales de los Bloques 21-14, 13 y FPNC (Sector Cantel-Cayo Blanco).

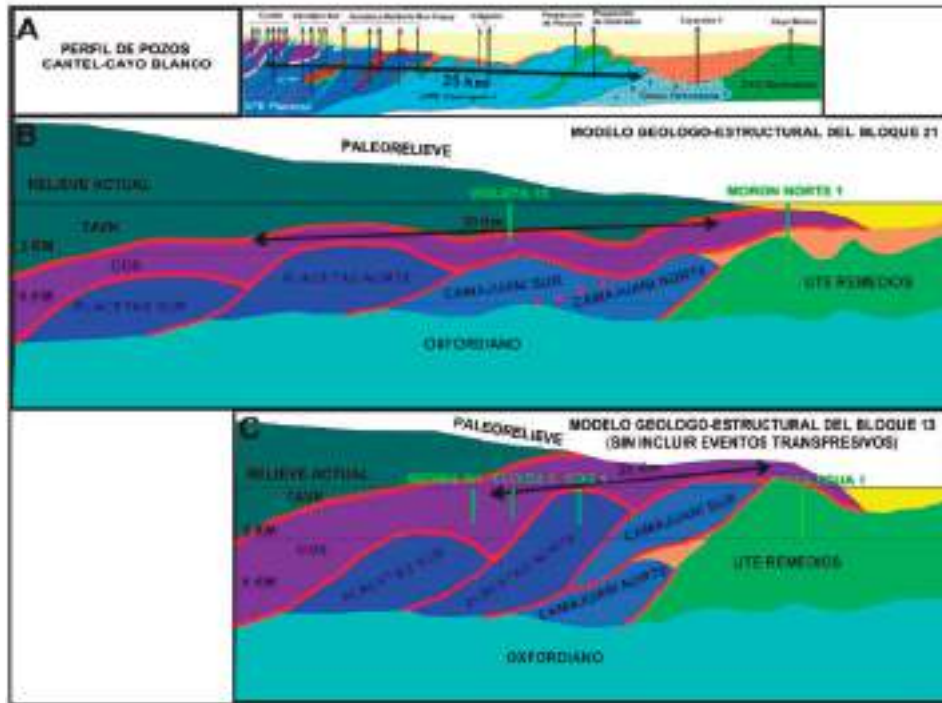


Figura 13. Mapa integrado de criterios donde se muestra el desarrollo de las franjas asociadas a los grupos de apilados interpretados en el Bloque 21 hacia el Bloque 13 y su correlación con los yacimientos conocidos en la Cuenca Central. Se muestra la ubicación de los perfiles C y B de la **Figura 13**.

de su franja) de varios yacimientos someros en volcánicos (**Figura 13**), cuyos petróleos se asocian a la Familia II en su totalidad. Estos petróleos evidencian la presencia subyacente de rocas depositadas en un ambiente con predominio de carbonatos (posible Rampa Carbonatada). A lo largo del país hasta Camagüey, en la Provincia Petrolera Sur Cubana existen varios ejemplos de petróleos asociados a esta familia, lo que demuestra el potencial existente. El principal aspecto negativo para su exploración son las grandes profundidades a las que se deberían encontrar.

CONCLUSIONES

- El modelo interpretado en el Bloque 21 constituye un híbrido o intermedio en cuanto a estilo estructural y grado de compresión entre los definidos para la FPNC (Sector Cantel-Cayo Blanco) y el Bloque 13 como referencia, manteniendo un sistema de cabalgamiento en secuencia en apilados de los CCMC bajo un régimen de

menor compresión, mientras que ocurre una colisión frontal contra la Plataforma (UTE Remedios) y un avanzado cabalgamiento fuera de secuencia del Terreno Zaza sobre los carbonatos. Esto incide directamente en el potencial de generación, maduración y preservación de acumulaciones de hidrocarburos en las unidades del Paleomargen cabalgadas.

- Se definen de norte a sur, dos grupos de apilados asociados a la UTE Camajuaní (Sur y norte) que correlacionan lateralmente hacia el oeste con los yacimientos Pina y Brujo (Familia II), continuando hacia la franja correspondiente a esta unidad que aflora en el Bloque 13. Un tercer conjunto de apilados más someros, asociados a la UTE Placetás, se extiende en una franja hacia el oeste que abarca el yacimiento Cristales (Familia III), prolongándose hasta la ventana tectónica de

Jarahueca (UTE Placetas en el Bloque 13). Se interpretó un cuarto grupo de apilados meridionales, denominado Margen Continental que por su asociación con los yacimientos Catalina, Jatibonico y Reforma (Familia II) deben constituir secuencias eminentemente carbonatadas similares a las encontradas al Norte.

- Los cuatro horizontes por su posición estructural son viables para la ocurrencia de acumulaciones importantes de hidrocarburos y alcanzables mediante la perforación de pozos verticales no superiores a los 4000 m.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

Colectivo de autores, 2020, Mapa digital de Dominios Paleogeográficos (DP) y Conjuntos Petrotectónicos (CP) de la República de Cuba, escala 1:500 000. Inédito. Centro de Investigaciones del Petróleo, La Habana.

Linares, E., García, D., Delgado, O. López, J. G., Strazhevich, V., 2011, Yacimientos y manifestaciones de hidrocarburos de la República de Cuba. ISBN 978-959-7117-33-9. CEINPET, Cuba, 480p

Pardo-Echarte, M.E., Cobiella-Reguera, J.L., 2017, Oil and gas exploration in Cuba. Geological-structural cartography using Potential Field and Airborne Gamma Spectrometry, ISSN

2191-589X, ISBN 978-3-319-56744-0, SpringerBriefs in Earth System Science.

Pérez-Martínez, Y., 2013, Proyecto 7054. Etapa 1.4. Informe final sobre fundamentación de pozo en el Bloque 13. Archivo técnico CEINPET.

Sánchez-Cruz, R., Mondelo, F., 2015, Mapas Morfométricos de la República de Cuba para las escalas 1:1000000–1:50000 como apoyo a la Interpretación Geofísica. Memorias VI Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, VIII Congreso Cubano de Geofísica. Fuente: <http://www.cgiar-csi.org/data/srtm-90m-digital-elevation>.

Schlumberger, 2010, Petrel 2010 Attribute Matrix. Copyright © Schlumberger 2010. All rights reserved. Schumacher, D., Leschack, L.A., 2002, Surface Exploration Case Histories. Applications of Geochemistry, Magnetics, and Remote Sensing. ISBN 0-89181-055-2 Tulsa, Oklahoma, USA. 486p

Valdivia-Tabares C.M., Veiga-Bravo C., Martínez-Rojas E., Delgado-López O., Domínguez-Sardiñas Z., Pardo-Echarte, M.E., Jiménez de la Fuente L., Cruz-Toledo R., Gómez-Herrera J.E., Rodríguez-Morán O., Rosell-Armenteros Y., 2015, Informe de resultados de la evaluación del potencial de hidrocarburos del Bloque 17. Archivo técnico CEINPET.



Interpretación geofísica en apoyo a la cartografía geológica de la hoja cartográfica Sibanicú (4679-I) a escala 1:50 000, Cuba

Elizabeth Hechavarria Govin¹

¹ Ingeniera geofísica. Aspirante a Investigador del Instituto de Geología y Paleontología-Servicio Geológico de Cuba. Vía Blanca 1002, entre Calzada de Güines y Línea del Ferrocarril, San Miguel del Padrón, C.P. 11 000, La Habana, Cuba, ORCID: 0000-0002-9487-4408. Correo E.: elishin96@gmail.com.²

RESUMEN

La interpretación de datos geofísicos en la cartografía geológica del terreno, permite obtener información relacionada con el medio geológico y proponer la geometría de las estructuras. Los datos geofísicos más utilizados en esta tarea geológica son los espectrométricos, gravimétricos y magnéticos que posibilitan la identificación de las principales unidades litológicas y rasgos estructurales, así como cartografiar los principales límites tectónicos del área. Los levantamientos geofísicos con esta finalidad han sido numerosos en sectores de Camagüey, aunque ha sido insuficiente la integración de la información geofísica para realizar una cartografía geológica a escala 1:50 000 del sector Sibanicú, razón por la cual esta investigación expone la interpretación de los datos gamma-espectrométricos, aeromagnéticos y gravimétricos en dicha área. El procesamiento e interpretación de los datos fue realizado por medio del *software* informático de interpretación geólogo-geofísica *Oasis Montaj* y los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se determinaron las relaciones entre las variables espectrométricas ya que son más expresivas que los valores de las componen-

tes espectrométricas originales para delimitar contactos litológicos. Se confeccionó el mapa ternario para establecer unidades gamma-espectrométricas a partir de las concentraciones relativas de los radioelementos. Para la interpretación de los datos aeromagnéticos y gravimétricos fueron aplicados filtros matemáticos como la derivada vertical y la derivada horizontal total, para identificar alineamientos tectónicos. Fueron utilizados datos de yacimientos minerales presentes en el área para determinar su relación con el comportamiento de los datos gamma-espectrométricos. Como resultado final fueron identificadas unidades gamma-espectrométricas y alineamientos que fueron descritos en un mapa de interpretación integrada.

Palabras clave: cartografía geológica, interpretación geofísica, gamma-espectrometría, radioelementos, mapa ternario.

ABSTRACT

The interpretation of geophysical data in the geological cartography of the terrain allows obtaining infor-

Hechavarria-Govin, E., 2024, Interpretación geofísica en apoyo a la cartografía geológica de la hoja cartográfica Sibanicú (4679-I) a escala 1:50 000, Cuba: Geociencias UO. v. 13, núm. 1, junio 2024. pp. 26-36

mation related to the geological environment and proposing the geometry of the structures. The geophysical data most used in this geological task are spectrometric, gravimetric, and magnetic data that enable the identification of the main lithological units and structural features, as well as mapping the main tectonic limits of the area. Geophysical surveys for this purpose have been numerous in sectors of Camagüey, although the integration of geophysical information to carry out a geological cartography at a scale of 1:50 000 of the Sibanicú sector has been insufficient, which is why this research exposes the interpretation of the gamma-spectrometric, aeromagnetic, and gravimetric data in said area. The processing and interpretation of the data was carried out using the Oasis Montaj geologist-geophysics interpretation computer software and Geographic Information Systems (GIS). The relationships between the spectrometric variables were determined since they are more expressive than the values of the original spectrometric components to delimit lithological contacts. The ternary map was created to establish gamma-spectrometric units based on the relative concentrations of the radioelements. For the interpretation of the aeromagnetic and gravimetric data, mathematical filters such as the vertical derivative and the total horizontal derivative were applied to identify tectonic alignments. Data from mineral deposits present in the area were used to determine their relationship with the behavior of the gamma-spectrometric data. As a result, gamma-spectrometric units and alignments were identified and described in an integrated interpretation map.

Key words: geological cartography, geophysical interpretation, gamma-spectrometry, radioelements, ternary map.

RESUMO

A interpretação dos dados geofísicos na cartografia geológica do terreno permite obter informação relativa ao meio geológico e propor a geometria das estruturas. Os dados geofísicos mais utilizados nesta tarefa geológica são espectrométricos, gravimétricos e mag-

néticos, que permitem identificar as principais unidades litológicas e feições estruturais, bem como mapear os principais limites tectônicos da área. Os levantamentos geofísicos com essa finalidade foram numerosos em setores de Camagüey, embora a integração da informação geofísica tenha sido insuficiente para realizar uma cartografia geológica em escala 1:50.000 do setor Sibanicú, razão pela qual esta pesquisa expõe a interpretação de os dados, levantamentos gama-espectrométricos, aeromagnéticos e gravimétricos na referida área. O processamento e interpretação dos dados foram realizados usando o software de computador de interpretação geológico-geofísica Oasis Montaj e Sistemas de Informação Geográfica (SIG). As relações entre as variáveis espectrométricas foram determinadas uma vez que eles são mais expressivas que os valores dos componentes espectrométricos originais para delimitar os contatos litológicos. O mapa ternário foi feito para estabelecer unidades espectrométricas gama a partir das concentrações relativas de radioelementos. Para a interpretação dos dados aeromagnéticos e gravimétricos, foram aplicados filtros matemáticos como o drift vertical e o drift horizontal total para identificar alinhamentos tectônicos. Dados de depósitos minerais presentes na área foram utilizados para determinar sua relação com o comportamento dos dados gama-espectrométricos. Como resultado final, foram identificadas unidades gama-espectrométricas e alinhamentos, que foram descritos em um mapa integrado de interpretação.

Palavras-chave: cartografia geológica, interpretação geofísica, gama-espectrometria, radioelementos, mapa ternário.

INTRODUCCIÓN

Para una cartografía geológica de calidad, es importante el empleo de métodos geofísicos ya que permiten el estudio de las propiedades físicas de los macizos rocosos y proponen su geometría basándose en el comportamiento de los campos físicos en la superficie terrestre, el aire o en pozos. Dentro de los métodos geofísicos más utilizados en esta tarea geológica se en-

cuentran los espectrométricos, magnéticos y gravimétricos, ya que permiten cartografiar los principales límites tectónicos y contactos litológicos entre las unidades geológicas.

La mayoría de las investigaciones en las que se ha realizado la interpretación de datos geofísicos para la cartografía geológica de un territorio, se han centrado en el análisis integrado de la información y en el uso de técnicas modernas de procesamiento. Desde la segunda mitad del siglo pasado, estos estudios geofísicos con fines cartográficos tomaron mayor auge a nivel mundial y nacional, destacándose las investigaciones de Mero (1960), Russell y Steinhoff (1961), Duval (1983), Pardo et al. (1989), Shives et al. (2000), Carrino et al. (2007), Sousa y Lacerda (2009), Pujalte (2010), Serrano (2015), Batista (2017) y Báez (2019). Gran parte de estas investigaciones tuvieron como eje central los métodos espectrométricos, en las cuales se delimitaron unidades geológicas diferentes a partir de su expresión espectrométrica, se utilizaron las relaciones e índices espectrométricos como ayuda a la interpretación, fueron detectadas alteraciones de potasio asociadas con mineralización y fue determinado el contenido mineral mediante el análisis espectrométrico. Otros estudios utilizaron esos métodos de manera combinada con los métodos de campos potenciales para el reconocimiento geológico en terrenos con intensa meteorización, en la visualización de la distribución y configuración del espacio de las unidades litológicas y las estructuras tectónicas, para delimitar

las principales unidades o bloques geólogo-geofísicos de un territorio, para precisar la base estructuro-tectónica y litológica y para la confección de un modelo estructuro-metalogénico.

Como parte del proyecto de la cartografía geológica de Cuba a escala 1:50 000 que ejecuta el Instituto de Geología y Paleontología-Servicio Geológico de Cuba (IGP-SGC), empresas geomineras y algunas universidades, se realiza la interpretación de datos geofísicos obtenidos en el levantamiento aerogamma-espectrométrico y magnético a escala 1:50 000 en la República de Cuba entre los años 1979 y 1993. Dicha interpretación se les realiza a las diversas hojas cartográficas entre las que se encuentra la hoja Sibanicú (4679-I) la cual es objeto de estudio en este trabajo.

El objetivo principal del trabajo es aplicar técnicas de procesamiento e interpretación de datos geofísicos en dicha hoja cartográfica. Los objetivos específicos son:

- Obtener los mapas interpretativos del método gamma-espectrométrico.
- Cartografiar los alineamientos presentes en el sector a partir del procesamiento de los datos aeromagnéticos y gravimétricos.
- Analizar el vínculo de los datos gamma-espectrométricos con los datos de yacimientos minerales presentes en el área.
- Obtener un mapa de interpretación integrada de los datos geofísicos.



Figura 1. Mapa en profundidad por el tope de los CCMC cabalgados y sus sinorogénicos, se muestra su interacción y estilo estructural.

Ubicación geográfica

La hoja cartográfica Sibanicú (4679-I) se ubica en la provincia de Camagüey (**Figura 1**). El territorio se encuentra entre los municipios Sibanicú, Jimaguayú y Najasa. Al tener en cuenta el sistema de coordenadas proyectadas NAD 27 el área se encuentra en Cuba Sur en las coordenadas que se muestran en la **Tabla 1**.

Vértices	Cuba Sur	
	x	y
1	404800.96	279275.64
2	404905.38	297727.67
3	430840.10	297600.90
4	430764.15	279148.74

Tabla 1: Coordenadas de la hoja 4679-I.

Características geológicas del área de estudio

El área se caracteriza por una estructura geológica constituida por formaciones del Arco Volcánico Cretácico, secuencias sedimentarias, complejos intrusivos y depósitos no consolidados. En cuanto a la tectónica, el área presenta diversas fallas algunas de las cuales coinciden con contactos litológicos entre las unidades geológicas (**Figura 2**).

Las rocas volcánicas, vulcanógeno-sedimentarias y sedimentarias asociadas al Arco Volcánico Cre-

tácico se encuentran representadas por las unidades lito-estratigráficas Camujiro, Guáimaro, La Sierra, Martí y Piragua. Los complejos intrusivos presentes en el territorio son el Gabrosienítico y el Granodiorítico, con rocas ígneas plutónicas de composición ácida, intermedia y básica. Solo se encuentran los depósitos aluviales en representación de los depósitos no consolidados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales utilizados fueron:

- Mallas del campo gravimétrico y aeromagnético a escalas 1:50 000 y de espectrometría gamma aérea (canales: U, Th y K) a escala 1:100 000 de la República de Cuba (Mondelo Diez *et al.*, 2011)
- Mapa Geológico Digital de la República de Cuba a escala 1:100 000 del Instituto de Geología y Paleontología-Servicio Geológico de Cuba (IGP-SGC) (Colectivo de Autores, 2010)
- Base de datos de los yacimientos minerales presentes en el área, del Instituto de Geología y Paleontología-Servicio Geológico de Cuba (IGP-SGC) (Colectivo de Autores, 2015).

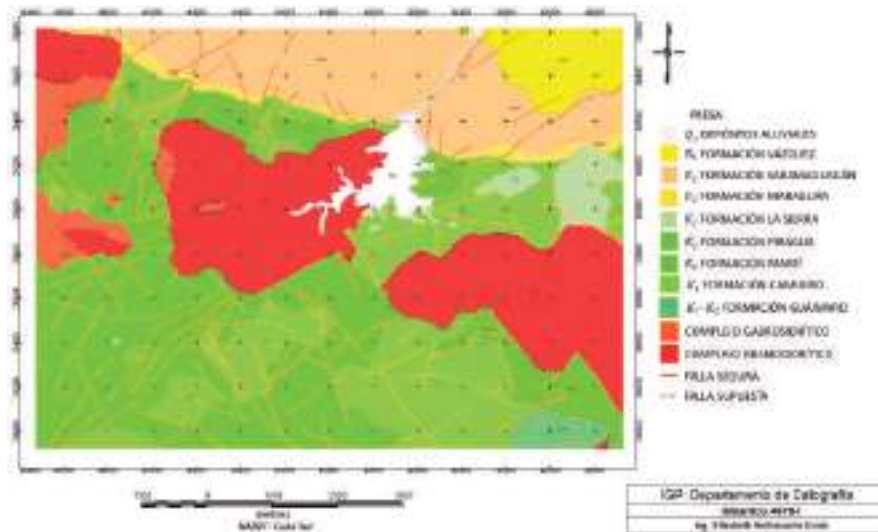


Figura 2: Mapa geológico del área de estudio.

Los métodos utilizados en la investigación fueron:

- Gravimetría (ΔG)
- Aeromagnetometría (ΔT)
- Espectrometría Gamma Aérea (EGA).

Para el análisis de estos datos se empleó el sistema de procesamiento e interpretación de datos geofísico-geológicos (*Oasis Montaj*), y los sistemas de información geográfica *ArcGis* y *QGis*.

Gravimetría

Para la interpretación de datos gravimétricos se utilizó la primera derivada vertical (ΔG_{DV}), equivalente a una residual a 500 m. La derivada horizontal total se empleó para el trazado de los alineamientos tectónicos.

Aeromagnetometría

Para la interpretación de los datos aeromagnéticos se utilizó el mapa de campo aeromagnético reducido al polo ($RP_{\Delta T}$) al cual se le aplicaron filtros matemáticos como la derivada vertical de primer orden y la derivada horizontal total, para determinar los alineamientos del área asociados a contactos litológicos o tectónicos.

Espectrometría Gamma Aérea

Para la EGA se determinaron las relaciones entre las variables espectrométricas ya que son más expresivas que los valores de las componentes espectrométricas originales para delimitar contactos litológicos. También se confeccionó el mapa ternario RGB (*red, green, blue*) para establecer unidades gamma-espectrométricas a partir de las concentraciones relativas de los radioelementos.

Base de datos de yacimientos minerales

Fue utilizada para determinar su relación con el comportamiento de los datos aerogamma-espectrométricos. A partir de todo este procesamiento se realizó un mapa de interpretación integrada con las principales unidades gamma-espectrométricas y los alineamientos cartografiados.

RESULTADOS

Gravimetría

La interpretación de los datos gravimétricos se observa en el mapa de la **Figura 3**. Los valores máximos están asociados a algunas áreas dentro de los complejos intrusivos y de las formaciones Camujiro y Piragua. Los valores mínimos se ubican en zonas de las formacio-

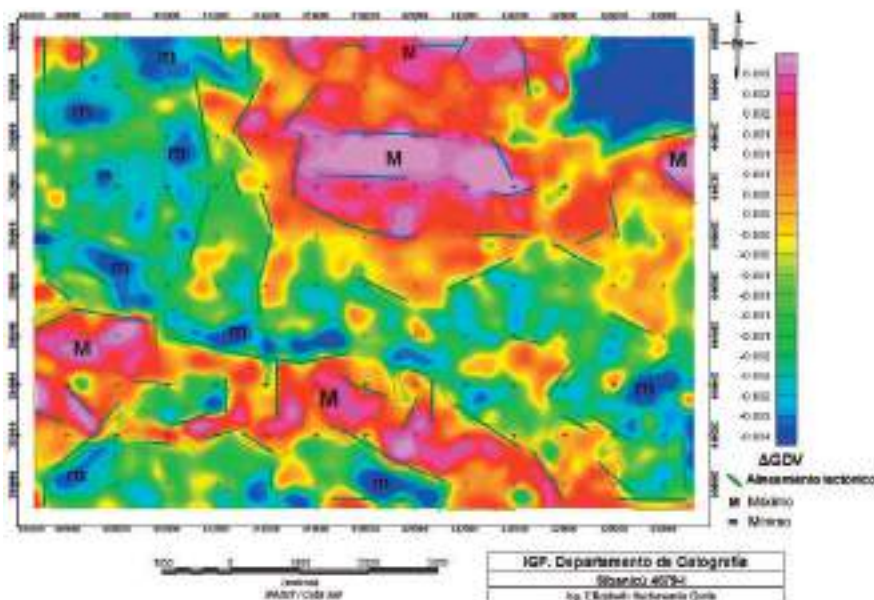


Figura 3: Interpretación geólogo-estructural por datos gravimétricos.

nes Saramaguacán y Maraguán, sin embargo, en pequeñas áreas de la Formación Piragua también se encuentran bajos valores.

Aeromagnetometría

Los resultados del procesamiento e interpretación de los datos aeromagnéticos se presentan en la **Figura 4**. Los máximos están asociados a rocas de los complejos intrusivos y a las rocas del Arco Volcánico Cretácico correspondientes a las formaciones Camujiro y Piragua, mientras que los valores mínimos se asocian a rocas de las formaciones Saramaguacán y Vázquez.

Espectrometría Gamma Aérea

Las relaciones que dieron una mejor interpretación fueron eTh/K y eU/K (**Tabla 2**).

En la relación eTh/K (**Figura 5**) se distinguen zonas de máximos que son delimitadas a partir de alineamientos los cuales coinciden con algunos contactos

litológicos presentes en el mapa geológico del territorio. Los valores máximos ubicados al norte son delimitados por un alineamiento que coincide en algunas zonas con los contactos litológicos de la Formación Maraguán con las formaciones Saramaguacán, Camujiro y Piragua. El alineamiento ubicado al sur no coincide con contactos litológicos, se encuentra en áreas de la Formación Piragua, esta zona pudiera ser estudiada para comprobar de manera geológica ese resultado espectrométrico.

En el mapa de relación espectrométrica eU/K (**Figura 6**) se vuelve a observar la zona de máximos ubicada al norte, delimitada por un alineamiento que coincide en algunas áreas con el contacto entre rocas de la Formación Maraguán con otras litologías. Los alineamientos que se encuentran hacia el este y sur no coinciden con contactos litológicos, se ubican en zonas de las formaciones Camujiro, Piragua y del Complejo Granodiorítico.

Datos gamma-espectrométricos	<i>X</i>	<i>σ</i>	<i>Um</i>
Intensidad gamma total	3.974	1.765	5.739
Uranio equivalente (eU)	1.719	0.605	2.324
Torio equivalente (eTh)	2.043	0.738	2.781
Potasio (K)	1.505	0.857	2.362

Tabla 2: Principales estadígrafos de los datos gamma-espectrométricos.

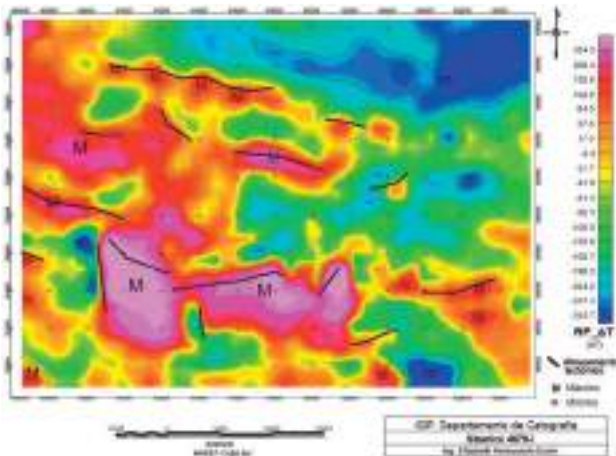


Figura 4: Interpretación geológico-estructural por datos aeromagnéticos.

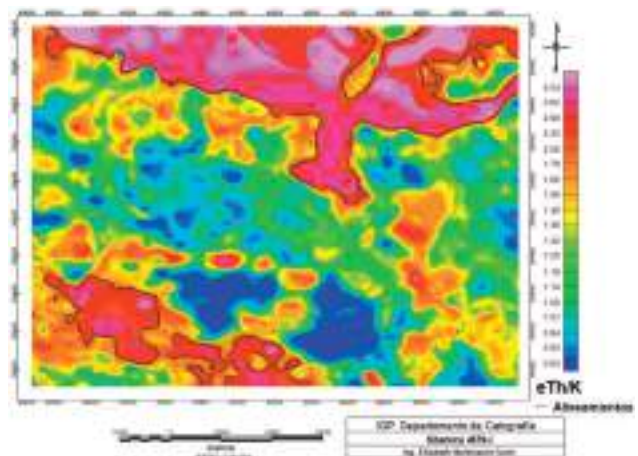


Figura 5: Mapa de relación espectrométrica eTh/K.

Yacimientos minerales y su relación con los datos gamma-espectrométricos

Los puntos de ubicación correspondientes a los yacimientos minerales presentes en el área de estudio, fueron ploteados sobre los mapas de concentración de radioelementos para analizar su vínculo (Figuras 7, 8 y 9). Como los mapas de concentración poseen un comportamiento casi similar el análisis fue realizado de forma general.

En los mapas se muestra cómo los yacimientos minerales se ubican en las áreas de valores máximos de concentración de los radioelementos, en las cuales se encuentran las rocas ígneas de los complejos intru-

sivos, y litologías de las formaciones Camujiro, Piragua, Guáimaro y Martí correspondientes al Arco Volcánico Cretácico. En esas áreas se encuentran yacimientos de tipo metálico y no metálico, donde se tienen manifestaciones y puntos de mineralización de oro en el caso de los metálicos y manifestaciones de piedra, feldspatos, arena y calcedonia, como yacimientos no metálicos.

Mapa de interpretación integrada

A partir del procesamiento e interpretación de los datos geofísicos utilizados se confeccionó un mapa de interpretación integrada (Figura 10) donde han sido

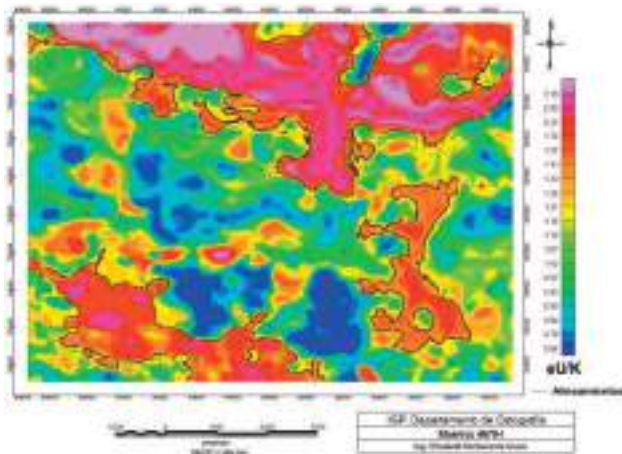


Figura 6: Mapa de relación espectrométrica eU/K.

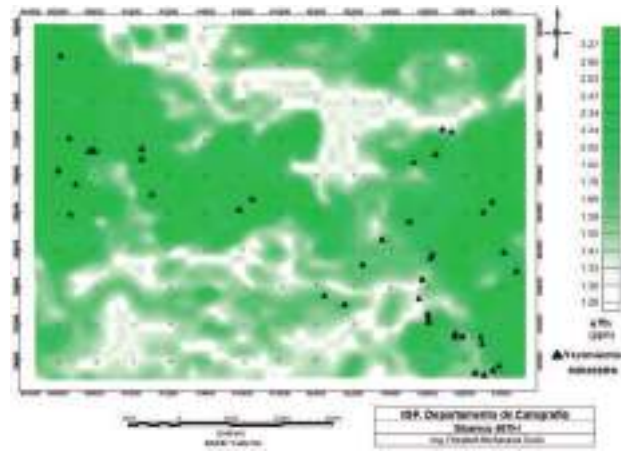


Figura 8: Mapa de concentración de torio con puntos de ubicación de yacimientos minerales.

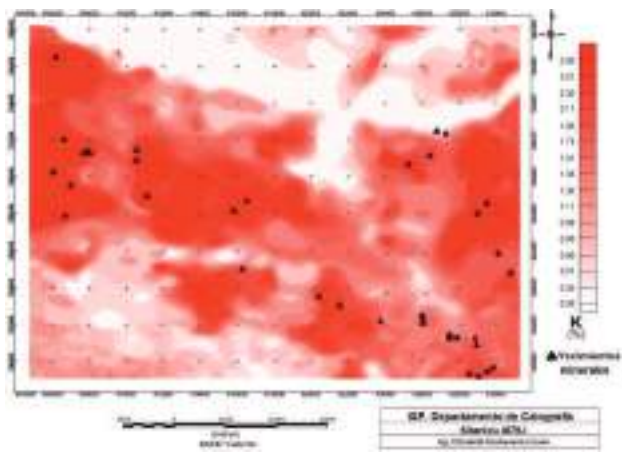


Figura 7: Mapa de contenido de potasio con puntos de ubicación de yacimientos minerales.

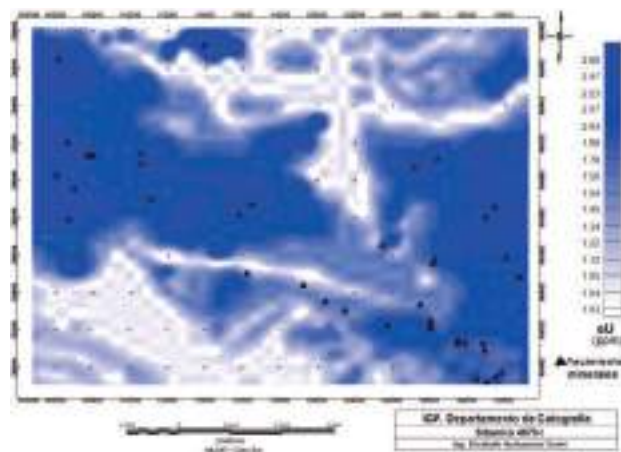


Figura 9: Mapa de concentración de uranio con puntos de ubicación de yacimientos minerales.

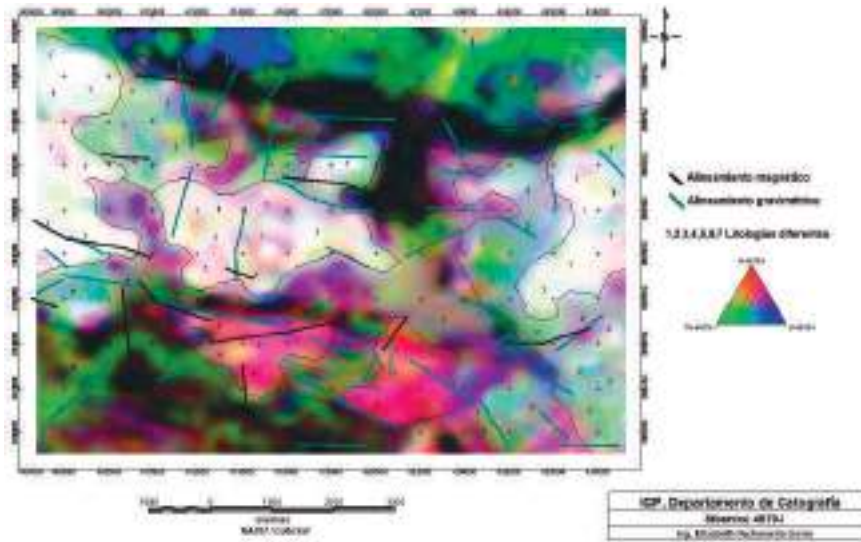


Figura 10: Mapa de interpretación integrada.

Unidades geológicas	Principales características geológicas	Principales características geofísicas
1- Complejos intrusivos y Formación La Sierra	Predominan los complejos intrusivos (Gabrosienítico y Granodiorítico) constituidos por rocas igneas plutónicas. Además presenta rocas de la Formación La Sierra: lava y lavobrecha, fluidal, riolítica, riodacítica y dacítica, calcoalcalina con tendencias alcalina potásico.	Presenta concentración de los tres radioelementos lo que responde a las rocas igneas de composición media y ácida presente en esas áreas. Los valores gravimétricos y magnéticos van de medios a altos.
2- Formaciones del Arco Volcánico Cretácico, Complejo Granodiorítico	Presenta rocas de las formaciones Camujiro, Piragua, Martí y La Sierra correspondientes al Arco Volcánico Cretácico. En algunas zonas se manifiesta el gabro, la gabro diorita, diorita, diorita cuarcifera, granodiorita y granito del Complejo Granodiorítico.	Se caracteriza por tener valores medios de concentración de uranio equivalente y de contenido de potasio, mientras que los valores de concentración de torio equivalente van de medios a altos. Es característico de la unidad los valores gravimétricos medios y bajos, mientras que los magnéticos son valores medios.
3- Formaciones sedimentarias, Presa	Constituida por las rocas de las formaciones Maraguán y Saramaguacán, y el contacto litológico entre ellas. Gran parte de esa unidad está cubierta por la presa.	Caracterizada por valores bajos de concentración de los tres radioelementos. Con bajos valores gravimétricos y magnéticos.
4- Formación Camujiro	Presenta rocas de la Formación Camujiro: lavobrecha, lava, clastolava, toba, toba aglomerática de composición andesítica y andesitobasáltica, con alcalinidad potásica, roca alcalina dominante y calcoalcalina, caliza arenosa y detrítica.	Presenta un alto contenido de potasio lo que responde a la alcalinidad potásica en algunas de sus rocas. Posee baja concentración de torio equivalente mientras que su concentración de uranio va de media a baja. Se caracteriza por altos valores magnéticos y gravimétricos.

<p>5- Formaciones sedimentarias</p>	<p>Ubicada al norte-noreste presenta rocas de las formaciones Saramaguacán y Vázquez.</p>	<p>Caracterizada por una alta concentración de torio equivalente y baja concentración de los otros dos radioelementos. Estos valores de Th responden a la presencia de arcillas en esas formaciones. Hacia el este se encuentra una pequeña zona con altos valores de concentración de uranio equivalente lo que responde al contenido orgánico en rocas de la formación Saramaguacán. Posee valores gravimétricos bajos, mientras que los magnéticos son valores medios.</p>
<p>6- Formaciones Piragua y Camujiro</p>	<p>Constituida por dos formaciones del Arco Volcánico Cretácico en este caso son las unidades Piragua y Camujiro.</p>	<p>Posee una baja concentración de uranio equivalente y contenido de potasio, sin embargo, presenta zonas con concentración media de torio equivalente. Se caracteriza por altos valores magnéticos y gravimétricos.</p>
<p>7- Formaciones del Arco Volcánico Cretácico</p>	<p>Conformada por las formaciones Martí, Camujiro, Guáimaro correspondientes al Arco Volcánico Cretácico constituidas por rocas ígneas.</p>	<p>Presenta valores medios de los tres radioelementos. Los valores gravimétricos y magnéticos van de medios a altos.</p>

Tabla 3: Tabla resumen con las principales características geofísicas y geológicas de las unidades cartografiadas.

trazados los principales alineamientos tectónicos que responden al cuadro geológico más superficial, así como los principales campos litológicos con expresión radioactiva (verde-naturaleza torífera-presencia de arcillas en las formaciones Saramaguacán y Vázquez, hacia el norte y presencia de rocas del Arco Volcánico Cretácico de composición intermedia a ácida, hacia el suroeste; rojo-naturaleza potásica-presencia de otra facie de magmatismo cuya naturaleza es potásica, en la Formación Camujiro y azul-naturaleza uranífera-contenido orgánico en rocas carbonatadas, en zonas de la Formación Saramaguacán y negro-ausencia de radioelementos-zona en la que se ubica la presa y áreas de la Formación Maraguán).

Con este mapa se confeccionó la **Tabla 2** con las principales características geofísicas y geológicas de esas unidades. Al referirse a valores medios, bajos

o altos es con respecto a la media de los datos gamma-espectrométricos, gravimétricos o magnéticos.

DISCUSIÓN

La interpretación geofísica integrada ofrecida en esta investigación resulta, sin dudas, de utilidad para la cartografía geológica del área de estudio en elaboración ya que permite:

- Cartografiar la estructura geológica subsuperficial (~ 500 m) del territorio partir de la interpretación integrada gravimétrica y magnética donde se reconocen límites tectónicos, presencia de rocas volcánicas, complejos intrusivos y carbonatos.
- Establecer y cartografiar la composición litológica superficial a partir de la natura-

leza radioactiva de los suelos residuales, donde se reconoce la presencia de rocas con contenidos de arcillas, con naturaleza potásica, de carbonatos con materia orgánica y de rocas volcánicas.

CONCLUSIONES

- La interpretación de los mapas de datos espectrométricos permitió determinar unidades gamma-espectrométricas con diferentes características que responden a la litología presente.
- A partir de la interpretación de los datos de los campos potenciales se definió alineamientos tectónicos de interés para la cartografía geológica.
- El análisis de los datos de yacimientos junto a los datos gamma-espectrométricos arrojó que en esta área de estudio las zonas de mínimos valores asociadas a formaciones carbonatadas presentan yacimientos no metálicos, mientras que las zonas de valores máximos con presencia de rocas intrusivas presentan yacimientos de tipo metálico o no metálico.
- El mapa de interpretación integrada se obtuvo a partir del procesamiento e interpretación de los datos geofísicos analizados y fue conformado con las unidades y los alineamientos, el mapa mostró la efectividad de los métodos geofísicos en la cartografía geológica que aportan información sobre la constitución geológica del terreno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Báez, R.**, 2019, Contribución de los métodos geofísicos, espaciales y la minería de datos a la cartografía geológica del sector Vidot-Camagüey: La Habana, Cuba, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Tesis en opción al grado de Ingeniero Geofísico, 73 pp.
- Batista, J.C.**, 2017, Interpretación geofísica integrada para identificar el control estructural metalogénico de la zona favorable aurífera La Unión-La Botija, provincias Camagüey-Las Tunas, Cuba: La Habana, Cuba, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Tesis en opción al grado de Ingeniero Geofísico.
- Carrino, T.A., Filho, C.S., Leite, E.P.**, 2007, Avaliação do uso de dados aerogeofísicos para mapeamento geológico e prospecção mineral em terrenos intemperizados: o exemplo de Serra Leste, provincia mineral de Carajás: Revista Brasileira de Geofísica, 25 (3), 307-320.
- Colectivo de autores**, 2010, Mapa Geológico Digital de Cuba, escala 1:100000, Instituto de Geología y Paleontología-Servicio Geológico de Cuba, La Habana, Cuba.
- Colectivo de autores**, 2015, Base de datos de los yacimientos minerales de Camagüey, Instituto de Geología y Paleontología-Servicio Geológico de Cuba, La Habana, Cuba.
- Duval, J.S.**, 1983, Composite color images of aerial gamma-ray spectrometric data: Geophysics, 48, 722-735.
- Mero, J.L.**, 1960, Uses of the Gamma-Ray Spectrometer in Mineral Exploration: Geophysics, XXV (5), 1054-1076.
- Mondelo, F., Sánchez, R., et. al.**, 2011, Mapas geofísicos regionales de gravimetría, magnetometría, intensidad y espectrometría gamma de la República de Cuba, 1: 2 000 000 hasta 1: 50 000, La Habana, Cuba.
- Pardo, M.E., Bello, V., Amador, H., Taba, S., Soussin, O., Matamoros I., Moya I.D.**, 1989, Interpretación de los datos geofísicos con fines de la cartografía geólogo-estructural de la República de Cuba, Instituto de Geología y Paleontología, La Habana.
- Pujalte, E.**, 2010, Introducción a la Teledetección. Diplomado Evaluación de Riesgo, Ecológicos y Climáticos e Impacto Ambiental, La Habana.
- Russell, W.L., Steinhoff, R.O.**, 1961, Radioactivity

of Volcanic Sediments in Brazos County, Texas. *Geophysics*, XXVI (5), 618-625.

Serrano, K., 2015, Cartografía geólogo-estructural del área de Rodas-Fomento en Cuba Central a partir de datos geofísicos: La Habana, Cuba, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Tesis en opción al grado de Ingeniero Geofísico.

Shives, R.B., Charbonneau, B.W., Ford, K.L., 2000,

The detection of potassic alteration by gamma-ray spectrometry. Recognition of alteration related to mineralization: *Geophysics*, 65 (6), 2001–2011.

Sousa, C., Lacerda, M., 2009, A importância da aerogeofísica de alta resolução no mapeamento geológico: exemplo Domínio Erepecuru-Trombetas noroeste do estado do Pará: Sociedade Brasileira de Geofísica.



Reelaboración tafonómica de entidades fósiles del Cretácico en depósito del Paleógeno San Vicente, Cuba central

Reinaldo Rojas Consuegra¹

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 E: rojas@ceinpet.cupet.cu.*

RESUMEN

La localidad en donde se colectaron los restos fósiles estudiados es la finca San Vicente, situada al noreste del poblado Jicotea, parte oeste de la provincia Ciego de Ávila, en Cuba central. En el depósito fosilífero paleogénico, la mayoría de las entidades observadas son macrofósiles del Cretácico Tardío. Este problema, de aparente contradicción es posible dada la manifestación del proceso de reelaboración tafonómica en el registro fósil de la secuencia investigada. El objetivo principal del presente trabajo es el de dar a conocer los resultados de las observaciones realizadas sobre los sedimentos y las entidades conservadas recuperadas (macrofósiles de invertebrados y vertebrados) en esta localidad. Los métodos empleados fueron aquellos propios del análisis tafonómico, sobre las entidades y elementos conservados, registrados mediante colectas repetidas, y la deducción de los procesos tafonómicos que tuvieron lugar en el contexto paleontológico examinado, en relación directa con la estratigrafía y la evolución paleogeográfica regionales. Se determinaron los procesos de producción biogénica y tafogénica acaecidos durante la evolución geoambiental del de-

pósito. Allí tuvo lugar la producción biogénica inicial, acumulación y enterramiento de diversidad de conchas de rudistas, así dio comienzo su alteración tafonómica, mediante recristalización, rellenamiento, cementación, fragmentación, encostramiento y bioerosión. Estos procesos ocurrieron en el ambiente de una plataforma carbonatada nerítica durante el Cretácico Tardío Mastrichtiano. Las entidades reelaboradas exhiben fracturación, abrasión, disolución, redondeamiento, pulimento, encostramiento, rellenamiento, cementación y permineralización. La acumulación final de las entidades reelaboradas ocurrió en el lapso Paleoceno a Eoceno Medio. Entre los fósiles identificados, los rudistas mostraron una alta redundancia tafonómica. El predominio de sus diversos moldes internos, apunta a la máxima eficacia tafonómica de estos y a una mayor conservabilidad que las propias conchas. Algunas especies como *Titanosarcólites giganteus* y varios radiolítidos, fueron los responsables de la producción tafogénica de numerosos y variados moldes, en su mayoría derivados del relleno de sus cavidades corporales, las accesorias y los canales paleales. La caracterización tafonómica de los elementos y entida-

Rojas-Consuegra, R., 2021, Reelaboración tafonómica de entidades fósiles del Cretácico en depósito del Paleógeno San Vicente, Cuba central: Geociencias UO. v. 13, núm. 1, junio 2024. pp. 37-53

des registradas (macrofósiles) en el sitio, permitió mediante el análisis tafonómico, reconocer el estado mecánico de aquellos taxoregistros, como entidades reelaboradas. Las entidades acumuladas, que contienen los sedimentos más finos o la matriz del depósito fosilífero, son microfósiles como los foraminíferos, de edades propias del Paleógeno. Es así que, la asociación registrática de San Vicente corresponde a un depósito fosilífero secundario paleogénico, pero originado a consecuencia de la destrucción y reelaboración de una acumulación primaria cretácica. El contexto geológico, la diversidad de elementos conservados, los procesos tafonómicos verificados y la probable paleogeografía deducida, hacen de San Vicente un geosítio de particular interés paleontológico y excelente objeto de significativa relevancia patrimonial, útil para contribuir al conocimiento sobre el registro fósil de Cuba.

Palabras clave: Alteración y reelaboración tafonómica, invertebrados cretácicos, depósito paleontológico del Paleógeno, Cuba.

ABSTRACT

The collection location of the studied fossil remains is the San Vicente farm, located northeast of the Jicotea town, western part of the Ciego de Ávila province, in central Cuba. In the paleogenic fossiliferous deposit, most of the entities observed are Late Cretaceous macrofossils. This apparent contradiction is possible given the manifestation of the process of taphonomic re-elaboration in the fossil record of the investigated sequence. The main objective of this work is to present the results of the observations made in the sediments and the preserved entities recovered (invertebrate and vertebrate macrofossils) in this locality. The methods used were those typical of taphonomic analysis, on the entities and conserved elements recorded through repeated collections, and the deduction of the taphonomic processes that took place in the investigated paleontological context; intrinsically linked to stratigraphy and regional paleogeographical evolution. The biogenic and taphogenic production processes that

occurred during the geoenvironmental evolution of the deposit were determined. The initial biogenic production, accumulation and burial of rudista shell diversity took place, thus beginning its taphonomic alteration, through recrystallization, filling, cementation, fragmentation, crusting and bioerosion. These processes occurred in the environment of a neritic carbonate platform during the Maastrichtian Late Cretaceous. Reelaborated entities exhibit fragmentation, abrasion, dissolution, rounding, polishing, crusting, filling, cementation, and permineralization. The final accumulation of the reelaborated entities occurred in the Paleocene to Eocene epoch. Among the fossils studied, the rudists showed a high taphonomic redundancy. The predominance of its various internal moulds, points to the maximum taphonomic efficacy of these and to a greater conservability than the shells themselves. Some species, such as *Titanosarcolithes* gigantes and several radiolitids, were responsible for the taphogenic production of numerous and varied molds, mostly typical of their body cavities, accessories, and paleal canals. The taphonomic characterization of the elements and entities recorded (macrofossils) in the study site, allowed through taphonomic analysis, to recognize the mechanical state of those taxorecords as reelaborated entities. The accumulated entities, which contain the finest sediments or the matrix of the fossiliferous deposit, correspond to microfossils such as foraminifera of Paleogene ages. Thus, the San Vicente registratic association corresponds to a Paleogene secondary fossil deposit, but originated as a consequence of the destruction and reelaboration of a Cretaceous primary accumulation. The geological context, the diversity of preserved elements, the verified taphonomic processes and the probable deduced paleogeography, make San Vicente a geosite of particular paleontological interest and an excellent object of significant patrimonial relevance to increase knowledge about the fossil record of Cuba.

Key words: Taphonomic alteration and reelaboration, Cretaceous invertebrates, Paleogene paleontological deposit, Cuba.

RESUMO

O local de coleta dos restos fósseis estudados é a fazenda San Vicente, localizada a nordeste da cidade Jicotea, parte ocidental da província de Ciego de Ávila, no centro de Cuba. No depósito de fósseis paleogênicos, a maioria das entidades observadas são macrofósseis do Cretáceo Superior. Essa aparente contradição é possível dada a manifestação do processo de reelaboração tafonômica no registro fóssil da sequência investigada. O objetivo principal deste trabalho é apresentar os resultados das observações feitas nos sedimentos e nas entidades preservadas recuperadas (invertebrados e macrofósseis de vertebrados) nesta localidade. Os métodos utilizados foram os típicos da análise tafonômica, sobre as entidades e elementos conservados registrados por meio de coletas repetidas, e a dedução dos processos tafonômicos ocorridos no contexto paleontológico investigado; ligada à estratigrafia e à evolução paleogeográfica regional. Foram determinados os processos de produção de acaésídeos biogênicos e tafogênicos durante a evolução geoambiental do depósito. Al inicio ocorreu a produção biogênica, acúmulo e soterramento da diversidade de conchas rudistas, dio comienzo a sua alteração tafonômica, por meio de recristalização, preenchimento, cimentação, fragmentação, descoberta e bioerosão. Esses processos ocorreram no ambiente de uma plataforma de carbonato nerítico durante o Maastrichtiano do Cretáceo Superior. As entidades reelaboradas apresentam fragmentação, abrasão, dissolução, arredondamento, polimento, crostas, preenchimento, cimentação, permineralização. A acumulação final das entidades re-trabalhadas ocorreu no período Paleoceno ao Eoceno. Entre os fósseis estudados, os ruditos apresentaram alta redundância tafonômica. A predominância de seus diversos moldes internos aponta para sua máxima eficiência tafonômica e maior conservabilidade do que as próprias conchas. As conchas de algumas espécies de rudistas, como Titanosarcolites gigantes e vários radiolítídeos, foram responsáveis pela produção tafogênica de numerosos e variados moldes, a maioria deles típicos de seu corpo e cavidades acessórias, e canais paliais. A caracterização tafonômica dos elementos e

entidades registradas (macrofósseis) no local de estudo, permitiu, por meio da análise tafonômica, reconhecer o estado mecânico desses taxoregistros, como entidades reelaboradas. Os sítios acumulados, que contêm os sedimentos mais finos, ou a matriz do depósito fossilífero, correspondem a microfósseis como os foraminíferos, de idades paleogênicas. Assim, a associação de registro de São Vicente corresponde a um depósito fossilífero secundário do Paleógeno, mas originado como resultado da destruição e reelaboração de uma acumulação primária do Cretáceo. O contexto geológico, a diversidade de elementos conservados, os processos tafonômicos verificados e a provável paleogeografia deduzida, fazem de San Vicente um sítio de particular interesse paleontológico, um objeto de significativa relevância para aumentar o conhecimento sobre o registro fóssil cretáceo de Cuba.

Palavras-chave: Alterção e reelaboração tafonômica, invertebrados cretáceos, depósito paleogênico, Cuba.

INTRODUCCIÓN

La localidad de colecta de los restos fósiles estudiados es la finca San Vicente, situada al noreste del poblado Jicotea, parte oeste de la provincia Ciego de Ávila, en Cuba central. Allí existe un área de cantera o préstamo para la extracción de materiales de construcción. En este depósito se reportó uno raro hallazgo de probables vertebrados fósiles cretácicos, que ahora se logró reconocer, que se trata de una acumulación secundaria, de materiales cretácicos reelaborados en sedimentos del Paleógeno.

En aquella pequeña cantera, activa por temporadas, en rocas sedimentarias marinas paleogénicas, están contenidos abundantes invertebrados cretácicos y los posibles restos de vertebrados, todos muy mineralizados. Estos elementos de vertebrados conservados, con fuerte transformación, han sido identificados solo como pertenecientes a algún animal tetrápodo (Rojas-Consuegra, 2014a, 2014b; 2021).

En el depósito paleogénico de San Vicente, la mayoría de las entidades observadas son macrofósiles de invertebrados del Cretáceo Tardío (Rojas-Consue-

gra *et al.*, 2011; Menéndez-Peñate *et al.*, 2011; Rojas-Consuegra, 2015a). Este problema, de una aparente contradicción, es posible dada la manifestación del proceso de reelaboración tafonómica en el registro fósil de la secuencia investigada.

La reelaboración constituye un proceso fosil-diagenético, donde los restos antes enterrados, que ya han sufrido ciertas transformaciones tafonómicas, son desenterrados; con posterioridad, en general, son transportados y vueltos a acumular (enterramiento secundario) en un depósito más joven. Este proceso ocurre de forma alocrónica, y en ocasiones, va a favorecer la conservación de algunas entidades reelaboradas (Fernández-López, 1989, 2000).

Para las investigaciones paleontológicas una localidad como San Vicente se presenta en escasas ocasiones. Tampoco hoy son numerosos los estudios, desde el punto de vista tafonómico, dados a conocer en la literatura sobre paleontología en la región. Por tales razones, por varios años ha continuado la revisión del depósito de San Vicente (2005-2022), con el propósito de esclarecer y profundizar en el origen del registro fósil allí contenido. Así, el objetivo principal de la presente contribución, es el de dar a conocer los resultados de las observaciones realizadas sobre los sedimentos y las entidades conservadas recuperadas (macrofósiles de invertebrados y vertebrados) en este geosito y compartir el análisis tafonómico llevado a cabo sobre los procesos registrados y deducidos en aquel depósito paleontológico.

Según el contexto geológico de la región, la paleogeografía del área estuvo relacionada con terrenos volcánicos, que fueron cubiertos por sedimentos fosilíferos del Cretácico Tardío, los cuales con posterioridad fueron erosionados y vueltos acumular en una cuenca paleogénica. En este lapso tuvo lugar la reelaboración del registro fósil cretácico, que mediante procesos tafonómicos complejos fue transferido al Paleógeno. En este caso, de cierto modo paradójico, es posible estudiar entidades conservadas cretácicas en un registro fósil alóctono paleogénico.

El presente trabajo se basa en los estudios de campo realizados en varias campañas, en las observa-

ciones sobre material fósil *in situ* y en las muestras ya disponibles de las coletas procedentes. La recuperación de restos adicionales de vertebrados, presumibles presentes y el avance en su conocimiento, es el reto de la investigación futura, de potenciales resultados para la bioestratigrafía regional. La investigación tafonómica realizada, en general tiene un carácter empírico. Se ha visitado la localidad fosilífera de forma sistemática durante más de una década. En varias oportunidades se recolectó material fósil, que ha sido depositado en colección (Museo Nacional de Historia Natural de Cuba-MNHNC). Así, se han llevado a cabo observaciones de los materiales en detalle en gabinete. Se ha ido generado una información que ha sido posible aumentar a medida que se han estudiado diferentes aspectos tafonómicos sobre el material, y se ha logrado interpretar las características estratigráficas y paleontológicas del sitio fosilífero. La deducción de los procesos y regularidades principales han emergiendo por aproximaciones sucesivas, con base en los caracteres tafonómicos determinados.

El estudio de la literatura especializada sobre Tafonomía (Efremov, 1940; 1950), en lo esencial sobre invertebrados fósiles, como la de Fernández-López (2000 y numerosos previos), ha sido la base para obtener de la información y para su interpretación. Los resultados que brinda el presente trabajo, poseen un contenido de mayor madurez e integración, que los anteriores (ver referencias). La estratigrafía y la evolución tafonómica de este yacimiento paleontológico del Paleógeno, contentivo de entidades fósiles reelaboradas más antiguas, se aborda en otro trabajo en esta propia revista. La presente, es una contribución a la investigación «Registros paleontológicos y paleoclimáticos de Cuba», que mantiene el MNHNC (Agencia de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente) con participación del Instituto de Investigación del Petróleo-Ceinp, donde se aporta al proyecto 6511 (Ministerio de Energía y Minas).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los fósiles (entidades conservadas) objeto de la presente comunicación, han sido colectados durante va-

rias visitas exploratorias al punto de interés paleontológico, por el autor y otros colectores. Ya desde 2008, se habían realizado un estudio y colecta de fósiles durante prácticas docentes; En años posteriores, otros colegas han atendido el estudio de la colección procedente del sitio.

Contexto geológico

La cantera en estudio se localiza cerca del centro de la finca San Vicente, situada hacia el NO de la ciudad de Ciego de Ávila y unos kilómetros al E-NE del poblado de Jicotea (N21 53'.9749; W078.49'.1376). El contexto geológico se describe basado en el Mapa Geológico de Cuba (escala 1: 100 000) del Instituto de Geología y Paleontología (IGP-Servicio Geológico de Cuba, 2010). Las unidades litoestratigráficas referidas están acorde al Léxico Estratigráfico-LEC (De Huelbes, ed., 2013).

Según el mapa geológico del área, en la base de la secuencia sedimentaria, aparecen las rocas clástico-calcareas del Miembro El Brazo, de la Formación geológica Presa Jimaguayú (Iturralde-Vinent, 1981; Belmustakov *et al.*, 1981; De Huelbes, ed., 2013), de edad Cretácico Superior Maastrichtiano (**Figura 1**). No

obstante, esta unidad no aflora en la zona expuesta por la excavación hasta el momento.

El material rocoso en explotación está constituido por brecha-conglomerado, microconglomerado o gravelita, arenisca, limolita, lutita, marga y escasa caliza, de más de 40 m de espesor, pertenece a las formaciones geológicas Vertientes (Lewis, 1957) y Florida (Iturralde-Vinent, 1981), de edad Paleógeno Inferior a Medio. Se ha comprobado en la secuencia excavada la edad de Paleoceno Superior-Eoceno Medio (Menéndez-Peñate *et al.*, 2011; Rojas-Consuegra *et al.*, 2011).

El sitio destaca por el rico conjunto de elementos conservados pertenecientes a diversos grupos de invertebrados marinos maastrichtianos (Rojas-Consuegra *et al.*, 2011; Menéndez-Peñate *et al.*, 2011; Rojas-Consuegra, 2015a). En las colectas se han recuperado numerosos y diversos elementos de invertebrados que, junto a otros indicios sedimentológicos, señala la posibilidad de su cercanía paleogeográfica a una costa cretácica (Menéndez-Peñate *et al.*, 2011). Los materiales colectados forman parte de la Colección de Paleontología del MNHNC, con acceso para su consulta. Para el presente trabajo, se utilizaron los fósiles



Figura 1. Mapa geológico de la región a escala 1:100 000 (IGP, 2010).

siles tanto colectados u obtenidos, como los observados en el campo, a lo largo de varios años (2008-2022).

Se realiza la caracterización tafonómica de los restos documentados acorde a los conceptos y criterios establecidos por Fernández-López (1989, 2000). Así, se definen los principales caracteres tafonómicos o secundarios apreciados en los elementos conservados y se deducen los procesos sufridos a lo largo de la fosilización de las entidades obtenidas, al atravesar por distintas etapas en su evolución tafonómica.

Para facilitar la observación de la estructura y textura de los materiales se realizó la preparación manual de más de 50 secciones pulidas de áreas pequeñas de las piezas, que va desde varios milímetros a algunos centímetros cuadrados. El procedimiento se realizó mediante el uso de abrasivos de distintas granulometrías, con posteridad las superficies pulidas fueron cubiertas con esmalte, para aumentar su reflexión y facilitar la toma de fotografías.

La observación de las texturas se hizo a través de lupas de mano, con aumentos respectivos de 8x, 10x, 12x y 21x. Además, se utilizó un microscopio o lupa binocular fija, con mayores aumentos (escala mi-

limétrica). Se tomaron macrofotografías a diferentes detalles, con cámara digital (12 megapixel) y la lupa acoplada. Otras imágenes más precisas fueron hechas con cámara digital fija Motic Images Plus 2.0.

Los restos de vertebrados, en particular, asignables a tetrápodos indeterminados, exhiben un alto grado de transformación tafonómica (fosilización por permineralización). Para confrontar aquellas entidades o elementos conservados considerados como restos de vertebrados, fueron utilizados tres criterios principales: morfología o aspecto general comparable con alguna parte del esqueleto de vertebrados, estructura externa, que fuera tejido óseo fosilizado y estructura interna, observada en sus bordes o en su interior, relativa a tejido óseo, muy transformado.

Para expresar el peso individual de los diferentes criterios asumidos empíricamente, en cada uno de los ejemplares evaluados, se emplearon tres signos positivos (+++) para los criterios más seguros (presentes) y hasta tres signos negativos (---) para los criterios más débiles. Las combinaciones transicionales, de signos entre ambos extremos (presencia-ausencia), expresan estados intermedios en la identificación general asumida. Se tomaron las medidas en centímetros de todos

No.	Ejemplar	Largo (cm)	Ancho (cm)	Grueso (cm)
1	Hp00	4.2	3.2	2.3
2	Hr01	3.4	2.3	1.2
3	Hr02	3.8	1.4	1.1
4	Hr03	2.8	1.9	1.3
5	Hg04	5.5	3.3	3.2
6	Hg05	6.4	3.2	2.8
7	Hg06	8.0	3.8	2.5
8	Hm07	4.4	2.3	1.6
9	Hc08	3.2	2.2	2.0
10	Hd09	3.0	1.6	1.1
	Máximo	8.0	3.8	3.2
	Mínimo	2.8	1.4	1.1
	Promedio	4.47	2.29	1.91

Tabla 1. Tamaños de los posibles restos fósiles de vertebrados en la localidad San Vicente.

No.	Ejemplar	Morfología general	Estructura externa	Estructura interna	Observaciones
1	Hp00	+++	+++	+–	Frag epífisis de hueso largo
2	Hr01	+++	+++	—	Frag hueso largo, plano, en forma de T
3	Hr02	+++	+++	—	Frag de hueso fino, largo
4	Hr03	+++	+++	+–	Frag ? falange
5	Hg04	+++	++-	+–	Frag ? hueso fuerte
6	Hg05	++-	++-	+–	Frag ? hueso fuerte
7	Hg06	++-	++-	—	Frag ? hueso fuerte
8	Hm07	++-	++-	—	Frag ? hueso largo
9	Hc08	++-	++-	—	Frag ? hueso largo
10	Hd09	++-	++-	—	Frag ? hueso plano

Tabla 2. Criterios principales para la valoración de los elementos conservados relacionados a vertebrados fósiles en San Vicente.

los elementos referidos a vertebrados (**Tablas 1 y 2**). Se aplicó el criterio de clasificación de los tipos de textura deposicional de acuerdo con Dunham (1962), para las matrices o rellenos internos de las entidades o elementos conservados con valor para- y taxonómico, predo-

minantes en el depósito (**Tabla 3**). El listado de los foraminíferos identificados antes por Menéndez-Peñate *et al.* (2011) fue revisado, con la actualización de la nomenclatura taxonómica y la biocronología, lo cual llevó a ajustes en la edad de la secuencia estudiada.

No.	Ejemplar	Grainst.	Packst.	Wackest.	Mudst.	Biológica	Observación
1	Hr00	x					No se cortó
2	Hr01		x	x		?	heterogénea
3	Hr02		x	x		?	grumosa
4	Hr03			x		?	finá
5	Hg04	x	x				detrit. media
6	Hg05	x					detrit. gruesa
7	Hg06	x					recristalizada
8	Hm07		x	x		?	grumosa
9	Hc08		x	x		?	grumosa
10	Hd09				x	?	arenácea
11	Ra01					x	recrist.

12	Ra02					x	recrist.
13	Ra03				?x	x	?invertebrado
14	Bi01		x	x		x	microfósil
15	Bi02			x	x		frag. negro
16	Bi03	x	x				recrist.
17	Bi04		x	x			recrist.
18	R01	x	x				microfósil
19	R02		x	x			microfósil
20	R03		x	x			microfósil
21	R04	x	x				microfósil
22	Ca1	x	x				
23	Ca2			x	x		
24	Ca3		x	x			
25	Ca4	x	x				recrist.
26	Ca5	x	x				
27	Ca6	x	x				recrist.
28	Ca7	x	x				recrist.
29	Ca8	x					recrist.
30	Ca9			x	x		recrist.
31	Ca10			x	x		recrist.
32	Ca11		x	x			recrist.
33	Ca12	x	x				recrist.
34	Ca13	x	x				recrist.
35	Ca14				x		recrist.
36	Ca15			x	x		microfósil
37	Ci01	x	x				recrist.
38	Ci02			x	x		bioturbación
39	Ci03	x	x				recrist.
40	Ci04	x	x				
41	Ci05				?x	x	?coral
42	Ci06				x	?x	arenácea
43	Gm02	x	x				rc
44	Gp03		x	x			rc
45	Gr04		x	x			rc
46	Gr05	x	x				rc
47	Gr05a			x	x		rc
48	Gr06				x	?x	laminar
49	Gf07			x	x	?x	arenácea
50	Gm08					?x	recrist.
TOTAL [%]		20 (40)	28 (56)	21 (42)	14 (28)	13 (26)	

Tabla 3. Tipos de textura deposicional (matrices o rellenos internos) de las entidades o elementos conservados con valor para y taxonómico, más comunes en San Vicente.

*H(r, g, m, c, d, q) - posibles huesos; Ra - radiolítidos; Bir - Biradiolites; R - cavidad corporal de rudistas; Ca - rellenos de canales; Ci - moldes cilíndricos; G (m, p, r, f) - moldes cónicos, curvos; ? - criterio inseguro.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La estratigrafía expuesta en esta cantera fosilífera se ha reconocido a medida que las labores de excavación y extracción de los materiales ha avanzado con los años. Otro trabajo, en esta misma revista, se dedica a la estratigrafía, la paleogeografía y los procesos tafonómicos ocurridos durante en el marco temporal de evolución y consolidación del yacimiento San Vicente, dadas sus características particulares.

Regularidades tafonómicas

Al tomar en cuenta la fuerte transformación tafonómica que exhiben los restos de invertebrados y vertebrados recuperados en San Vicente, fue posible la realización del examen tafonómico de los materiales observados y registrados, para extraer la mayor in-

formación posible, que apoyara la interpretación sobre la evolución geoambiental de los elementos conservados, del depósito fosilífero y la región.

La meteorización tropical sufrida hasta la actualidad por la secuencia aflorada permite la liberación desde la matriz de los bioclastos y biodetritos, su arrastre eventual, un cierto lavado natural y la reconcentración en otros puntos (**Figura 2**). Aunque es obvia la mezcla mecánica de materiales sueltos de distintas edades, también se hace posible la colecta in situ de las entidades y elementos fósiles, vinculados a las capas clásticas de grano más grueso (brecha-conglomerado) afloradas y que, en partes, se presentan algo deleznable.

Los restos fósiles, muy abundantes, con predominio de invertebrados fragmentados o disgregados en sus diferentes elementos conservados, son recolectados sueltos y fuera de su posición topológica y estratigráfica original. Algunos elementos reelaborados, se hallan asociados a las rocas del Paleógeno en forma de bioclastos, entre las rocas algo blandas y deleznable destapadas. Así, los restos cretácicos alóc-



Figura 2. Detalle del aspecto de la brecha-conglomerado calcárea de donde se obtiene la mayor parte del material fósil en San Vicente

tonos, liberados de la matriz original, se mezclan entre ellos de nuevo y, además, con los paleogénicos acumulados, lo cual imprime una complejidad adicional al control de la recolecta.

Procesos de alteración tafonómica

Para las entidades y elementos conservados documentados se han identificado los principales caracteres tafonómicos o secundarios, los cuales revelan la acción de varios mecanismos de alteración tafonómica (según Fernández-López, 2000), actuantes durante la fosilización, entre los que se destacan: el relleno sedimentario y la cementación de cavidades, la permineralización carbonática, el neomorfismo (recristalización), la abrasión, la bioerosión, la disolución, la distorsión mecánica, la fracturación y la reelaboración, entre otros (**Figuras 3 - 6**). La presencia de estos mecanismos está entre el 70-90 % de todos los elementos y entidades reelaboradas; lo cual sugiere una misma evolución tafonómica para el material conservado en el depósito.

La fracturación de los restos, al haber sufrido una abrasión significativa, tendente al pulimento y el desgaste, así como su inclusión entre sedimentos clásicos caóticos, indican su participación en procesos intensos de transportación en el medio sedimentario, que conllevó a una marcada reelaboración tafonómica. Los niveles clásicos exhiben además un afinamiento del grano a techo, propio de flujos gravitacionales debrítico-turbidíticos.

La presencia en el depósito de litoclastos redondeados y bien pulidos, tanto de carbonatos como de siliciclásticos, e incluso volcánicos, al parecer pertenecientes a facies previas de origen aluvio-marino y marino costero, sugiere un arrastre proveniente de zonas someras, poco profundas (Menéndez-Peñate *et al.*, 2011). Incluso, aparecen clastos planos elipsoidales, con facetas de abrasión paralelas, bien pulidos, sugerentes de facies de playa.

La bioerosión sobre los restos, con su relleno sedimentario, revela una ocurrencia previa a la reelaboración sufrida (**Figura 6D**). Este hecho, también sugiere que el depósito actual, donde están acu-

mulados los restos de vertebrados e invertebrados obtenidos, es de tipo secundario. Obviamente, formado a consecuencia de la destrucción de un depósito primario, donde los restos ya habían sido acumulados y litificados. Entonces, para que sucediera el desenterramiento y el desplazamiento mecánico lateral del material recuperado, ocurrieron procesos intensos de erosión y abrasión en el área fuente, con la acción de flujos tractivos de alta intensidad. Lo anterior coincide con la secuencia en varios niveles, donde se verifican ciclos repetitivos de debritas y turbiditas proximales (Menéndez-Peñate *et al.*, 2011).

La bioerosión sobre moldes constituye una muestra de retroalimentación tafonómica (**Figura 6D**). Algunos orificios no poseen relleno sedimentario, lo cual sugiere una producción tafogénica de los elementos perforados, posterior a su reelaboración. Para que esta se produjera, tuvo que haber sido destruida la entidad primaria (entidad biogénica producida). Por ejemplo, las conchas de las especies de rudistas cuyas cavidades corporales habían tenido un relleno sedimentario inicial, post mortem. Estas quedarían acumuladas y sufrirían la litificación (cementación, carbonatización y posible recristalización) en el yacimiento primario, durante el Maastrichtiano, en un primer estadio de transformación tafonómica.

Con posteridad al enterramiento inicial, debió actuar la erosión (con desenterramiento), la fracturación de la concha fosilizada primaria (producción tafogénica), la liberación del molde interno, su transportación y reaccumulación, con ocurrencia de selección, reorganización y reagrupamiento, parciales, en el depósito secundario final, eocénico. En este lapso, la entidad tafogénica producida sufriría la acción de un perforador litófago (huellas de bioerosión), mientras permaneció en la zona tafonómica activa. Tales procesos de retroalimentación tafonómica son una prueba también de la ocurrencia de una reelaboración (López-Martínez y Rojas-Consuegra, 2008; Rojas-Consuegra, 2015b). Este proceso ocurría al final del Maastrichtiano Tardío o ya durante el Paleoceno Temprano, en el borde o zona somera nerítica de la propia cuenca.

Estos restos calcáreos fosilizados y obtenidos, se han comportado como partículas sedimentarias. Desde este punto de vista, acorde a sus caracteres secundarios, se clasifican por su estado mecánico en el depósito, como entidades reelaboradas. Por su origen son entidades y elementos alóctonos y adémicos y por su edad, son alocrónicos respecto al depósito secundario de reenterramiento, que contiene las entidades acumuladas démicas del Paleógeno (Fernández-López, 2000).

Producción tafogénica

En el contexto del depósito fosilífero indagado, diferentes grupos taxonómicos dieron lugar a una significativa producción tafogénica. Las grandes conchas de rudistas destacan por el aporte de una población tafo-

génica amplia y variada, donde se cuentan tafones representados por algunas conchas pequeñas, fragmentos de conchas en varios estados de conservación y diversidad de abundantes moldes de cavidades internas (**Figura 3**).

Moldes de rudistas y otros elementos tafogénicos

En el depósito junto a los restos óseos reconocidos, aparece una diversa asociación de invertebrados marinos y se destaca la gran variedad de elementos de valor taxonómicos acompañantes; tales como, los moldes de diferentes cavidades accesorias, canales y orificios, intrínsecos a las conchas y esqueletos de los invertebrados, en particular pertenecientes a varias especies de rudistas (Rojas-Consuegra *et al.*, 1995; Rojas-Consuegra, 1998, 2005).

En el depósito son muy comunes los moldes de las cavidades corporales de los rudistas que son referidas a las especies *Titanosarcolites giganteus* y a diferentes especies de radiolítidos. En general, los moldes relativos a *T. giganteus*, son cilíndricos a cónicos, con el mayor tamaño, de hasta cinco centímetros de largo, por tres de diámetro o grueso. Las grandes conchas (50-90 cm), meteorizadas y fragmentadas de esta especie, generaron numerosos moldes de estas cavidades (2-5 cm), que conllevó a una abundante producción tafogénica de distintas poblaciones tafónicas.

Son muy abundantes en el depósito otros moldes, de variadas formas, en general cilíndricas a subcilíndricas, alargadas, rectas o curvas, algunas con ciertas torceduras. Por sus diámetros son más finas, desde cerca de uno a medio centímetro o menores. La mayoría de estos parataxones son atribuidos al relleno de los canales paleales de las conchas de rudistas, algunas son comparable con especies de los géneros *Radiolites* y *Biradiolites*. Otros moldes parecen corresponder a rellenos de perforaciones de bioerosión sobre las conchas (icnofósiles) o incluso disolución local. Algunas estructuras serían relativas a invertebrados y sus partes, incluidos los crustáceos (**Figura 3**).

La textura deposicional de los rellenos de cavidades recuperados como moldes internos, e incluso, de los posibles restos de vertebrados, resulta variable, sin



Figura 3. Varios elementos de valor parataxonómicos son muy abundantes en el depósito. Ca –moldes internos de antilocaprinidos; Ci –moldes cilíndricos y Bi –moldes de posibles radiolítidos, confundibles con elementos de vertebrados (derecha, centro y debajo).

una clara regularidad para distinguir con seguridad entre unos y otros tipos de elementos conservados, con valor taxonómico referente a vertebrados o no (**Figura 4**).

La variación textural, entre 50 muestras analizadas, se presenta del siguiente modo (**Tabla 2**, Anexo 1): grainstone (40 %), packstone (56 %), wackestone (42 %) y mudstone (26 %). Si se analiza en rangos con la asociación de texturas vecinas, se obtiene: grainstone-packstone (48 %), packstone-wackestone (49 %), wackestone-mudstone (35%).

Ninguna textura biológica ha sido posible atribuir con seguridad a elementos conservados relativos a vertebrados fosilizados. Algunas de tipo celular, sin dudas, corresponden a invertebrados, en lo esencial a ruditas. No obstante, también, al contrario, los restos aquí atribuidos a vertebrados (indeterminados) no parecen corresponder a ningún elemento imputable a algún grupo de invertebrado, reportado para estas edades y región.

Estos datos parecen mostrar, que el relleno sedimentario de los elementos conservados en la localidad, ocurrió en medios de un ambiente marino somero, con facies de energía alta a moderada, propios de una plataforma carbonatada nerítica. Son comunes en la matriz las microconchas de foraminíferos orbitoidales bentónicos grandes (FOBG), maastrichtianos. Algunas partículas, granos minerales y litoclastos, en ciertas facies, muestran cercanía relativa al ambiente terrestre emergido (microfacies estándar de Wilson, 1975).

Otros moldes comunes, son los correspondientes a las cavidades corporales de radiolítidos, sin distinción establecida con seguridad entre los géneros Radiolites y Biradiolites o hipurítidos (**Anexo 1**). Algunas conchas pequeñas identificables, aunque escasas, de especies pertenecientes a los dos primeros géneros, también aparecen rellenas (**Figuras 3 y 4**).

En general, en el depósito estudiado, las conchas de rudistas mostraron una destacada producción tafogénica ya que, durante los procesos de alteración tafonómica sufridos, dieron lugar a numerosos elementos conservados, pertenecientes a unos tres conjuntos tafonómicos diferentes (poblaciones tafónicas):

conchas escasas, fragmentos abundantes y moldes internos múltiples (Fernández-López, 2000). Este grupo mostró una alta redundancia tafonómica y, el predominio de diversos moldes internos, apunta a la máxima eficacia tafonómica de estos, con una mayor conservabilidad, que las propias conchas.

Identificación de restos de vertebrados

Los restos asignados con duda a vertebrados en San Vicente, en general, presentan una coloración de crema a amarillenta hasta grisácea, propia del material carbonatado, en partes muy meteorizado. Bajo la lupa, en la textura interna, presenta tonos grises a blanquecinos cristalinos para los bioclastos, detritos calcáreos y microfósiles, mientras la matriz más fina es de color crema. Algunas otras tonalidades claras se aprecian de forma parcial a diferentes escalas. Las

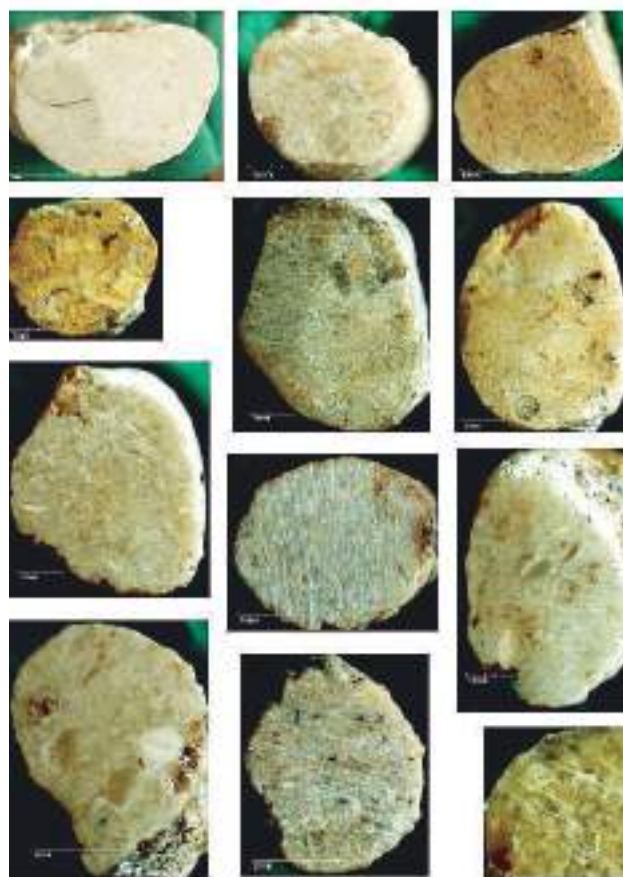


Figura 4. Variación de la textura deposicional y la composición del relleno o matriz de los moldes y cavidades distinguidos.

partes internas, recristalizadas, exhiben más o menos los mismos tonos mencionados, blanquecinos o cristalinos.

Los restos fósiles recuperados están cubiertos o rellenos, en su estado primario de colecta, por un sedimento detrítico arenoso, calcáreo, que constituye la matriz de la brecha-conglomerado. Entre el detrito se distinguen granos formados por restos de invertebrados, con predominio de granos de cuarzo, minerales y litoclastos de varios tipos de rocas, más oscuros, de origen volcánico y metasomático. También se identifican diversas conchas (testas) milimétricas de FOBG, típicos del Maastrichtiano en la región. Los elementos de posibles vertebrados fósiles obtenidos (**Figuras 5 y 6**), son de pequeños tamaños relativos (**Tabla 1**).

Por sus pequeñas dimensiones relativas, los restos recuperados hasta el momento, son difíciles de distinguir dentro de los sedimentos brecha-conglomeráticos donde están contenidos. Aunque resulta algo obvio,

parece útil apuntar que, el contexto caótico de su búsqueda explicada, exige una alta concentración y conocimiento sobre los litoclastos y bioclastos predominantes en el depósito, por parte de los colectores (**Figuras 2-6**). Y en particular, la recuperación de otros elementos anatómicos de vertebrados a futuro, exige intentarse con una metodología de recolecta adecuada a estas condiciones específicas.

La mayor dificultad, que se afronta en el estudio de los presuntos vertebrados fósiles registrados, es la identificación taxonómica segura de los «restos óseos» (elementos) conservados. El criterio más fuerte, y es de común empleado en la paleontología de vertebrados para la identificación de los taxones, es el de la morfología comparada. La existencia de una estructura ósea, con diferentes grados de mineralización (alteración tafonómica), en los tejidos externo o interno, contribuye a la confirmación de la génesis biológica de los restos.

En el presente caso la morfología general ex-



Figura 5. El resto mejor conservado (Hp00), parece corresponder a la región de la apófisis de hueso largo de algún tetrápodo no identificado. Fotos cortesía de J. G. Martínez López.



Figura 6. Restos fosilizados de posibles vertebrados en San Vicente. A- ejemplares Hr01 y Hr02 (Tabla 2); B- elemento conservado (ej. Hg04) parece corresponder a huesos fuertes por su aspecto externo; C- algunos caracteres tafonómicos apreciables en los restos conservados: relleno, permineralización carbonática, abrasión, disolución, fracturación y pulimento; D- huellas de perforaciones por bioerosión sobre restos y en moldes internos.

terna del posible resto de vertebrado (**Figura 5 y 6**), es el criterio más confiable asumido (**Tabla 2**). La estructura externa en algunos elementos parece también confirmar una producción biogénica de los restos, mientras que la interna, es un criterio que ha resultado débil o contradictorio, en la identificación del posible material óseo transformado. Como se comprueba, solo cuatro elementos conservados son los que con alguna certidumbre han sido relacionados a vertebrados (Hp00, Hr01, Hr02, Hr03), (**Figura 5 y 6**). Aquí la morfología general externa (a saber, estructura hidroxiapatítica, estructuras de osteocitos, superficies de anclaje de músculos, forámenes) sería el criterio de

identificación más seguro; no obstante, la presencia de la estructura externa es asumida como válida, pero solo por su aspecto.

Por otro lado, no se ha podido asegurar que se haya conservado algún relictos, ni siquiera alterado, del tejido interno apreciable (tales como densidad de las trabéculas del tejido esponjoso, vacíos internos de la pared externa, perforaciones de forámenes, canales internos de la nervios o médula). En este sentido, la composición de los restos, es resultado de una total permineralización, sin que haya sido posible apreciar ningún material biogénico producido, de potencial utilidad en algún análisis histológico.

Los elementos tafonómicos conservados (Hg04, Hgo5, Hg06), parecen corresponder a huesos fuertes, como «fémur o tibia», pero solo por su aspecto externo (**Figura 6**), donde la estructura externa remeda una organización biológica. Internamente, están compuestos por relleno sedimentario (matriz detrítica), y solo en algunos bordes, existe una alta recristalización que parece reflejar una estructura diferente, tal vez biogénica. Otros tres elementos (Hm07, Hc08, Hd09) pudieran corresponder también a restos de vertebrados.

Esta información caracteriza más bien el ambiente donde se producía el enterramiento primario de los elementos conservados, sin que tenga una correlación directa con las características sedimentológicas que exhibe el depósito fosilífero secundario, reconocido al presente. Este hecho, también reafirma la condición de entidades reelaboradas para el material de posibles vertebrados, obtenido en San Vicente.

La recuperación de nuevo material en la localidad es un imperativo para lograr un avance en la potencial taxonomía y sistemática del grupo (o grupos) paleobiológico representado. Del análisis precedente (**Tabla 2**), se infiere una baja confiabilidad relativa en cuanto a la identificación o la pertenencia de los elementos registrados, a restos óseos de vertebrados de valor taxonómico. No obstante, en general, estos indicios merecen atención futura por su posible importancia paleontológica y paleobiogeográfica.

CONCLUSIONES

Las conchas de ruditas en el depósito San Vicente mostraron una notoria producción tafonómica que, durante los procesos de alteración tafonómica sufridos, dieron lugar a tres conjuntos tafonómicos diferentes (tafones): conchas completas escasas, fragmentos erosionados abundantes y múltiples moldes internos diversos. El grupo mostró una alta redundancia tafonómica, con el predominio de sus moldes internos, que apunta a la máxima eficacia tafonómica de estos elementos, de mayor conservabilidad que las propias conchas.

La caracterización tafonómica de los elementos y entidades registradas cretácicas permitió reco-

nocerlas, según su estado mecánico, como entidades reelaboradas y adémicas. Así la asociación registrática de sitio corresponde a un depósito fosilífero secundario paleogénico, pero originado a consecuencia de la destrucción y reelaboración de una acumulación primaria cretácica. Este caso es un ejemplo de diacronía, entre registro estratigráfico s.s. versus el registro fósil reelaborado, contenido en secuencias debrito-turbidíticas.

La edad para los macrofósiles (entidades reelaboradas), contenidos en niveles clástico-caóticos paleogénicos del depósito, muestra la ocurrencia de este proceso de reelaboración tafonómica en el lapso Maastrichtiano / Paleoceno-Eoceno. Este evento coincidente con una discordancia regional, y una caída relativa del nivel del mar, deducida, con la formación de un depósito fosilífero alóctono, dentro de la etapa sinorogénica del territorio cubano.

El contexto geológico, la diversidad de elementos conservados, los procesos tafonómicos verificados y la probable paleogeografía deducida, hacen de San Vicente un sitio de interés paleontológico, un objeto de significativa relevancia para aumentar el conocimiento sobre el registro fósil de Cuba.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco la ayuda de todo tipo, prestada por colegas, amigos y familia, en particular a: MSc. Kenya Núñez, MSc. Reinier Torres, Lic. Jorge Isaac, Lic. Alejandro Jiménez, MSc. Osvaldo Jiménez, MSc. Lázaro W. Viñola, Lic. Invin Jiménez, Mario Rojas, Ana C. Rojas, Alipio Jiménez, Emilia A. Consuegra, Yudsony Rodríguez, Kevin y Kelin Jiménez Rodríguez. El agradecimiento a los especialistas que han colaborado: Dr. José Antonio Arz y Dr. Ignacio Arenillas (España), Dr. Daniel Perea (Uruguay) y el MSc Ernesto Aranda Pedroso por la revisión del manuscrito inicial. A la MSc. Lorenza Mejías Rodríguez por el mapa geológico. Al Dr. C. Osvaldo Rodríguez Morán y al Dr. Manuel E. Pardo Echarte por la invitación y apoyo para contribuir con la revista Geociencias UO de la Universidad Olmeca. Todos ellos han aportado de muchas maneras al presente resultado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Belmustakov, E., Dimitriva, E., Ganev, M., Hayduttov, I., Kostadinov, I., Ianev, S., Ianeva, J., Kojumdjieva, E., Eoshujarova, E., Popov, N., Shopov, V., Tcholakov, P., Tchounev, D., Tzankov, T., Cabrera, R., Díaz, C., Iturralde, M., Roque, F.**, 1981, Geología del territorio Ciego-Camagüey-Las Tunas. Resultado de las investigaciones y levantamiento geológico, escala 1: 250 000: La Habana, Instituto de Geología y Paleontología: Oficina Nacional de Recursos Minerales, MINBAS, 1 mapa y texto.
- Dunham, R.J.**, 1962, Classification of carbonate rocks according to the depositional texture, in Hamp, W.E. (ed.), Classification of Carbonate rocks: American Association of Petroleum Geologists Memoir, 1, 108-121.
- Efremov, J.A.**, 1940, Taphonomy: new branch of Paleontology: Pan-American Geologist, 74, 81-93.
- Efremov, J.A.**, 1950, Taphonomic et annales géologiques: Annales du Centre d'Etudes et de Documentation Paléontologiques, 4, 196 pp.
- Fernández-López, S.**, 1989, La materia fósil. Una concepción dinamicista de los fósiles, en Aguirre, E., (ed.), Nuevas tendencias: Paleontología: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 25-45.
- Fernández-López, S.**, 2000, Temas de Tafonomía: España, Dpto. Paleontología, Universidad Complutense de Madrid, 167 pp.
- De Huelbes, J. (ed.)**, 2013, Léxico Estratigráfico de Cuba: Instituto de Geología y Paleontología (IGP), La Habana, (cd-rom). ISBN 978-959-7117-58-2.
- Iturralde-Vinent, M.**, 1981, Geología del territorio Ciego-Camagüey-Las Tunas, en Belmustakov, E. (ed.), Resultados de las investigaciones y levantamiento geológico, escala 1:250 000: La Habana, Instituto de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba (inédito).
- Instituto de Geología y Paleontología (IGP)**, 2010, Mapa geológico de Cuba a escala 1:100000: La Habana, Cuba.
- Lewis Jr., P.D.**, 1957, Reconnaissance Geology of the Vertientes - Francisco area: Centro Nacional del Fondo Geológico, La Habana (inédito).
- López-Martínez, R.A. y Rojas-Consuegra, R.** 2008, Análisis tafonómico de los gasterópodos miocénicos de Cuba. Implicaciones paleobiogeográficas: Revista Minería y Geología, 24(2),1-21.
- Menéndez-Peñate, L., Rojas-Consuegra, R., Villegas-Martín, J. y López-Martínez, R.A.**, 2011, Taphonomy, Chronostratigraphy and paleoceanographic implications at turbidite of Early Paleogene (Vertientes Formation), Cuba: Revista Geológica de América Central, 45, 87-94.
- Rojas-Consuegra, R.**, 2021, Synthesis of fossil record of Cuba - A bibliographic compilation), in Pardo-Echarte, M. (ed.), Springer, Chapter 3, 71-142.
- Rojas-Consuegra, R.**, 2015a, San Vicente (Ciego de Ávila), primera localidad de vertebrados cretácicos para Cuba y Las Antillas, en XI Congreso Cubano de Geología: La Habana, Sociedad Cubana de Geología, (cd-rom), 22 pp.
- Rojas-Consuegra, R.**, 2015b, Gradientes tafonómicos y paleoambientales deducidos en el yacimiento de vertebrados Plio-Cuaternario "Las Llanadas" (Yaguajay), en la provincia Sancti Spiritus, Cuba central, en VI Convención Cubana de Geociencias: La Habana, Sociedad Cubana de Geología, (cd-rom), 36 pp.
- Rojas-Consuegra, R.**, 2014a, PROFCA: comentario sobre vertebrados fósiles pioneros: Boletín El Explorador, Sociedad Espeleológica de Cuba, 123. ISSN 1819-3765.
- Rojas-Consuegra, R.** 2014b, Columna ilustrada del registro microfósil de Cuba: Revista Anuario de la Sociedad Cubana de Geología, 2, 13-18.
- Rojas-Consuegra, R.**, 2005. Paleobiogeografía de los

Rudistas (Moluscos Cretácicos) reportados en el territorio cubano, en I Convención sobre Ciencias de La Tierra: Centro Nacional de Información Geológica (IGP), La Habana, (cd-rom), 15 pp.

Rojas-Consuegra, R., 1998, Facies marinas costeras en sedimentos carbonatados del Maastrichtiano en Ciego de Ávila, Cuba central, en III Congreso de Geología y Minería: La Habana, Sociedad Cubana de Geología, (cd-rom), 4 pp.

Rojas-Consuegra, R., Menéndez-Peñate, L., Villegas-Martín, J. y López-Martínez, R.A.,

2011, Manifestaciones paleontólogo-tafonómicas en la turbidita basal del Paleógeno temprano (Fm. Vertientes), al NW de Ciego de Ávila, Cuba central, en IV Convención sobre Ciencias de La Tierra: La Habana, Sociedad Cubana de Geología, (cd-rom), 12 pp.

Rojas-[Consuegra], R., Iturralde-Vinent, M., and Skelton, P.W., 1995, Stratigraphy, Composition and Age of Cuban Rudist - bearing deposits: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 12 (2), 272-291.

Wilson, J. L., 1975, Carbonate facies in Geologic History: Springer, Berlin, 471 pp.



Mapa de escenarios para la exploración de yacimientos de petróleo y gas de la República de Cuba

Yeniley Fajardo Fernández¹, Juan Guillermo López Rivera², Evelio Linares Cala³, Lorenza Mejías Rodríguez⁴ y Orelvis Delgado López⁵

¹ Licenciado en Geografía, Master en Negocios de Petróleo y Gas, Investigador Agregado, Centro de Investigación del Petróleo, Churruca No 481, El Cerro, La Habana, Cuba C.P. 12000. ORCID: 0000-0002-5686-6490. Correo E: yeniley@ceinpet.cupet.cu

² Ingeniero Geólogo, Doctor en Ciencias Geológicas, Investigador Titular, Centro de Investigación del Petróleo, Churruca No 481, El Cerro, La Habana, Cuba C.P. 12000. ORCID: 0000-0001-6004-6631. Correo E: lópez@ceinpet.cupet.cu

³ Ingeniero Geólogo, Doctor en Ciencias Geológicas, Investigador Auxiliar, Centro de Investigación del Petróleo, Churruca No 481, El Cerro, La Habana, Cuba C.P. 12000. ORCID: 0000-0003-1246-602X. Correo E: bello@ceinpet.cupet.cu

⁴ Ingeniero Química, Master en Manejo Integrar de Zonas Costeras, Investigador Agregado, Centro de Investigación del Petróleo, Churruca No 481, El Cerro, La Habana, Cuba C.P. 12000. ORCID: 0000-0001-9603-1853. Correo E: lorenza@ceinpet.cupet.cu.

⁵ Ingeniero Geólogo, Master en Ciencias Geológicas, Investigador Agregado, Centro de Investigación del Petróleo, Churruca No 481, El Cerro, La Habana, Cuba C.P. 12000. ORCID: 0000-0003-2499-1550. Correo E: orelvis@ceinpet.cupet.cu

RESUMEN

La evolución geológica del archipiélago cubano y sus mares adyacentes, dieron lugar a la formación de franjas y sectores denominados Escenario Exploratorio, en los que las perspectivas hidrocarburíferas son diferentes. Los mismos agrupan rocas de disímiles edades y variados ambientes geológicos que pueden constituir elementos demostrados de los sistemas petroleros conocidos en Cuba. Por ese motivo para la exploración petrolera es de gran interés la identificación y extensión de dichas franjas o sectores. El objetivo principal de este trabajo fue cartografiar los escenarios exploratorios existentes en Cuba, para la

búsqueda de petróleo y gas, a partir de la información geológico- petrolera disponible. Se emplearon métodos como la generalización y los análisis de superposición de capas en los Sistemas de Información Geográficas, apoyados por las investigaciones geológico-petroleras precedentes y los resultados alcanzados en el conocimiento de los criterios sobre el potencial petrolero. Se utilizó como material fundamental el Mapa de Dominios Paleogeográficos y Conjuntos Poretectónicos de la República de Cuba, el Mapa de Zonificación de los Espesores Sedimentarios del Territorio de Cuba y sus Mares Adyacentes y el esquema simplificado con la clasificación

Fajardo-Fernández, Y., López-Rivera, J.G., Linares-Cala, E., Mejías-Rodríguez, L., Delgado-López, O., 2024, Mapa de escenarios para la exploración de yacimientos de petróleo y gas de la República de Cuba : Geociencias UO. v. 13, núm. 1, junio 2024. pp. 54-64.

genética, distribución y calidad de los petróleos cubanos. Como resultado se obtuvo el Mapa de Escenarios para la Exploración de Yacimientos de Petróleo y Gas, que mostró la extensión espacial de las cinco franjas que cubren el territorio nacional, así como su descripción.

Palabras Clave: mapa de escenarios exploratorios, yacimientos de petróleo y gas, dominios paleogeográficos, exploración petrolera.

ABSTRACT

The geological evolution of the Cuban archipelago and its adjacent seas gave rise to the formation of strips and sectors called Exploratory Scenario, in which the hydrocarbon prospects are different. They group rocks of different ages and varied geological environments that can constitute proven elements of the known petroleum systems in Cuba. For this reason, for oil exploration, the identification and extension of these strips or sectors is of great interest. The main objective of this work was to map the existing exploratory scenarios in Cuba, for the search for oil and gas, based on the available geological-petroleum information. Methods such as generalization and layer superposition analyzes were used in Geographic Information Systems, supported by previous geological-petroleum investigations and the results achieved in the knowledge of the criteria on oil potential. The Map of Paleogeographic Domains and Pterotectonic Groups of the Republic of Cuba, the Zoning Map of the Sedimentary Thicknesses of the Territory of Cuba and its Adjacent Seas and the simplified scheme with the genetic classification, distribution and quality of Cuban oils were used as fundamental material. As a result, the Scenario Map for the Exploration of Oil and Gas Deposits was obtained, which showed the spatial extension of the five strips that cover the national territory, as well as their description.

Keywords: map of exploratory scenarios, oil and gas deposits, paleogeographic domains, oil exploration.

RESUMO

A evolução geológica do arquipélago cubano e seus mares adjacentes deu origem à formação de faixas e setores denominados Cenário Exploratório, em que as perspectivas de hidrocarbonetos são diferentes. Eles agrupam rochas de idades diferentes e ambientes geológicos variados que podem ou não constituir elementos comprovados dos sistemas petrolíferos conhecidos em Cuba. Por isso, para a exploração de petróleo, a identificação e extensão dessas faixas ou setores é de grande interesse. O objetivo principal deste trabalho foi mapear os cenários exploratórios existentes em Cuba para a busca de petróleo e gás, com base nas informações de geólogos de petróleo disponíveis. Foram utilizados métodos como generalização e análise de superposição de camadas em Sistemas de Informação Geográfica, apoiados em investigações geólogo-petrolíferas anteriores e nos resultados alcançados no conhecimento dos critérios sobre potencial petrolífero. Foram utilizados como material fundamental o Mapa de Domínios Paleogeográficos e Conjuntos Pterotectônicos da República de Cuba o Mapa de Zoneamento de Espessura Sedimentar do Território de Cuba e seus Mares Adjacentes e o esquema simplificado com a classificação genética, distribuição e qualidade dos óleos. Como resultado, obteve-se o Mapa de Cenários de Exploração de Jazidas de Petróleo e Gás, que mostrou a extensão espacial das cinco faixas que abrangem o território nacional, bem como sua descrição.

Palavras-chave: mapa de cenários exploratórios, jazidas de petróleo e gás, domínios paleogeográficos, exploração de petróleo.

INTRODUCCIÓN

Se cumplen 150 años desde el descubrimiento de la primera acumulación de petróleo en Cuba, en 1872, en el Ingenio Economía, al sur del pueblo de Cantel en la provincia de Matanzas, (Linares *et al.*, 2011), asociada a rocas ofiolíticas y más de 100 años (1918), en que uno de los profetas de la geología petrolera norteamericana, De Golyer (1918) apuntaba:

Cuba es uno de los países del mundo con mayor cantidad de manifestaciones superficiales de petróleo. Estas indicaciones superficiales de petróleo a pesar de su exhibición en gran escala y en amplias áreas, no son, de ninguna manera por sí mismos un índice de la fuente de riqueza perspectiva, sino más bien un incentivo para andar con cautela y cuidadosos con la perforación. Los pozos que han sido perforados, a la par que demuestran, que producirán petróleo, pero de forma moderada y por poco tiempo, son una indicación importante, de precaución y estímulo, para los gastos en experimentos.

En el tiempo transcurrido desde los albores de la exploración petrolera en Cuba, se han realizado muchos trabajos de variados tipos e investigaciones, que han permitido alcanzar un grado de conocimiento y resultados prácticos en la exploración-producción de petróleo y gas, que avalan, por una parte, el alto potencial exploratorio que posee el territorio de Cuba y por otra, las enormes dificultades en la materialización del citado potencial petrolero. Hoy se conoce de la existencia de yacimientos muy pequeños, con menos de 10 millones de barriles de petróleo extraíbles, de yacimientos grandes y gigantes, con 500 y más millones de barriles extraíbles, como el de Varadero (López *et al.*, 2020), así como los escenarios geológicos donde se desarrollaron cada uno de ellos.

La evolución geológica del archipiélago cubano y sus mares adyacentes incluyeron diversos procesos (ruptura de PANGEA (J1-2), deriva (J3 – K2t), con la formación de los márgenes continentales, orogenia (K2cp- P22) con la formación de los Arcos Volcánicos del Cretácico y del Paleógeno. La colisión de los citados arcos volcánicos con el margen continental, que provocaron procesos de plegamiento y cabalgamiento, del arco volcánico y de parte del margen continental, el reajuste isostático de los bloques y procesos de transurrencia de los elementos geológicos, formados al final de la orogenia

(K2cp- P22) y en la postorogenia (P23-Q), que han dado como resultado, la formación de la compleja estructura geológica actual de la isla y sus mares adyacentes.

El orógeno cubano, dio lugar a la existencia de franjas y sectores, en los que las condiciones para la formación de yacimientos, los tipos de petróleos, los riesgos y las características económicas para la exploración son diferentes, de ahí la conceptualización del término de: Escenarios Exploratorios, que no son más que sectores con características específicas para la formación de tipos de yacimientos de petróleo y gas. Sobre la base de lo planteado anteriormente, surge la necesidad de definir y ubicar de manera espacial los escenarios exploratorios para petróleo y gas existentes en Cuba mediante un mapa único.

El mismo será capaz de transmitir información, de manera visual, que contribuya a optimizar el desarrollo del proceso investigativo en la exploración de hidrocarburos, así como a la realización de proyectos futuros.

El objetivo del presente trabajo fue representar en un mapa los escenarios para la exploración de yacimientos de petróleo y gas en la República de Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó una gran cantidad de datos, informaciones y resultados de investigaciones temáticas, de trabajos geológico-geofísicos, de pozos perforados y de la geología del petróleo realizado en el entorno cubano, tales como:

- Mapa Geológico digital de La República de Cuba, escala 1:100000. Instituto de Geología y Paleontología-Servicio Geológico de Cuba (Colectivo de Autores, 2010).
- Mapa Geológico de la República de Cuba, escala 1:250000. Academia de Ciencia (Colectivo de Autores, 1988).
- Mapa digital de Dominios Paleogeográficos y Conjuntos Petrotectónicos de la República de Cuba (Fajardo *et al.* 2022).
- Mapa de zonificación de los espesores se-

dimentarios del territorio de Cuba y sus mares adyacentes (Prol *et al.* 2019).

- Mapa digital simplificado con la clasificación genética, distribución y calidad de los petróleos cubanos y diferentes secciones sísmicas y modelos exploratorios geológico-geoquímico (López, 2018).
- Secciones sísmicas terrestres y marinas de diferentes características técnicas, tecnologías y escalas, así como modelos exploratorios geológico-geoquímicos.

Se impone mencionar, que como método fundamental se empleó el análisis y la integración de los materiales recopilados mediante la superposición de capas. La sistematización de todos estos componentes se realizó sobre el Mapa de Dominios Paleogeográficos y Conjuntos Petrotectónicos de la República de Cuba (Fajardo *et al.* 2022) siendo esta la cartografía sobre la cual se derivó la delimitación de los escenarios que fueron definidos al emplear la generalización cartográfica dentro de este marco geológico y petrolero. La implementación de los datos e informaciones, el análisis de los mismos y la salida cartográfica final fueron resultados de la utilización del SIG QGIS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con la información revisada, así como la superposición y la generalización cartográfica realizada, se definieron cinco escenarios exploratorios principales en Cuba:

I - Escenario donde los sedimentos de cuenca profunda del Margen Continental Norteamericano están protegidos por depósitos de los Dominios Paleogeográficos de la Orogenia y del Neotóctono.

II - Escenario con sectores donde afloran los sedimentos de cuenca profunda del Margen Continental Norteamericano.

III- Escenario con desarrollo de sedimentos de cuenca del Margen Continental Norteamericano recubiertos por espesores del Arco

Volcánico Cretácico y las ofiolitas.

IV- Escenario con sectores de desarrollo de rocas de Plataforma Carbonatada y su periferia.

V- Escenario de rocas de cuencas profundas combinadas con las de retro-intra-arco, recubiertas por sedimentos de los Dominios Paleogeográficos de la Orogenia y del Neotóctono de la mitad sur cubana.

El mapa de escenarios exploratorios para la búsqueda de yacimientos en el territorio de la República de Cuba (**Figura 1**), muestra las áreas que ocupan los cinco escenarios exploratorios principales. Estos escenarios se representaron sobre una base geológica simplificada en Dominios Paleogeográficos (DP), bajo premisa que este último es un mapa de análisis que será moldeado según los intereses de cada investigación para resaltar aquellos elementos de peso según los objetivos de la temática.

Además, en el mapa se observan otros elementos geológico-petroleros de gran valor como:

- La división condicional de las provincias petrolíferas Norte y Sur cubanas.
- El límite norte del orógeno cubano, representado por la zona frontal del cinturón plegado y cabalgado.
- Sectores de cuencas combinadas Cretácico-Cuaternarias, con sustrato del DP del Arco Volcánico Cretácico de la mitad sur de Cuba, contenidas dentro de los escenarios exploratorios.
- Principales yacimientos petroleros descubiertos y desarrollados en el país.
- La ubicación de importantes minas de asfaltitas.

DESCRIPCIÓN DE LOS ESCENARIOS EXPLORATORIOS

A continuación, se describirán cada uno de estos escenarios, según el orden de potencialidad exploratoria, se comenzará por el de mayor importancia.

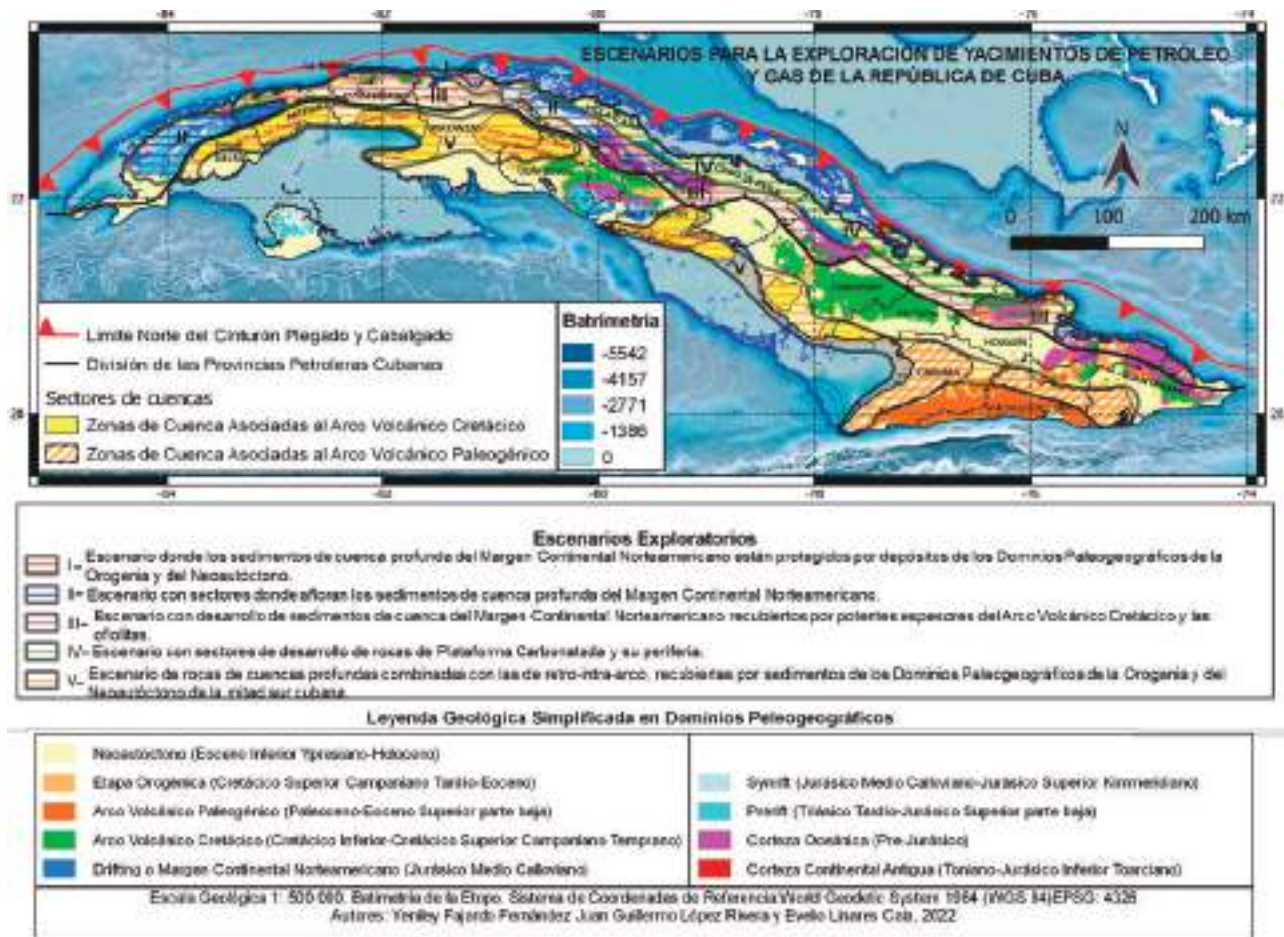


Figura 1. Mapa de escenarios para la exploración de yacimientos de petróleo y gas de la República de Cuba

I. Escenario donde los sedimentos de cuenca profunda del Margen Continental Norteamericano están protegidos por depósitos de los Dominios Paleogeográficos de la Orogenia y del Neoaútóctono. Este escenario se ubica en la franja costera norte desde el este de la provincia de la Habana hasta Matanzas (Figura 2). En esta franja se han descubierto los yacimientos más importantes del país.

La columna geológica de este sector está representada por sedimentos de cuenca profunda carbonatado-arcillosos (J3-K1-2) del Margen Continental Norteamericano pertenecientes a las UTE Placetas, Camajuaní y Colorados con acumulaciones de petróleo, recubiertos por depósitos del DP de la Orogenia (K2cp-P22) y del Neoaútóctono (P22-Q).

El esquema del sistema petrolero que funciona aquí, corresponde al asociado a la Provincia Petrolífera Norte Cubana. Aquí es necesario resaltar dos aspectos importantes del mismo: el primero relacionado con la riqueza de sus rocas madre, rocas de cuenca del DP del Margen Continental Norteamericano, J3-K1, con valores de carbono orgánico total (COT) de alrededor del 13 por ciento, índices de productividad (S2) de hasta 93 kg de hidrocarburos ton/roca. El segundo aspecto está asociado a las excelentes condiciones para la formación de yacimientos imperantes aquí con una sincronía (*timing*) favorable de la generación, la migración y el entrapamiento de los hidrocarburos. Estas condiciones favorecieron la formación de yacimientos gigantes como Varadero

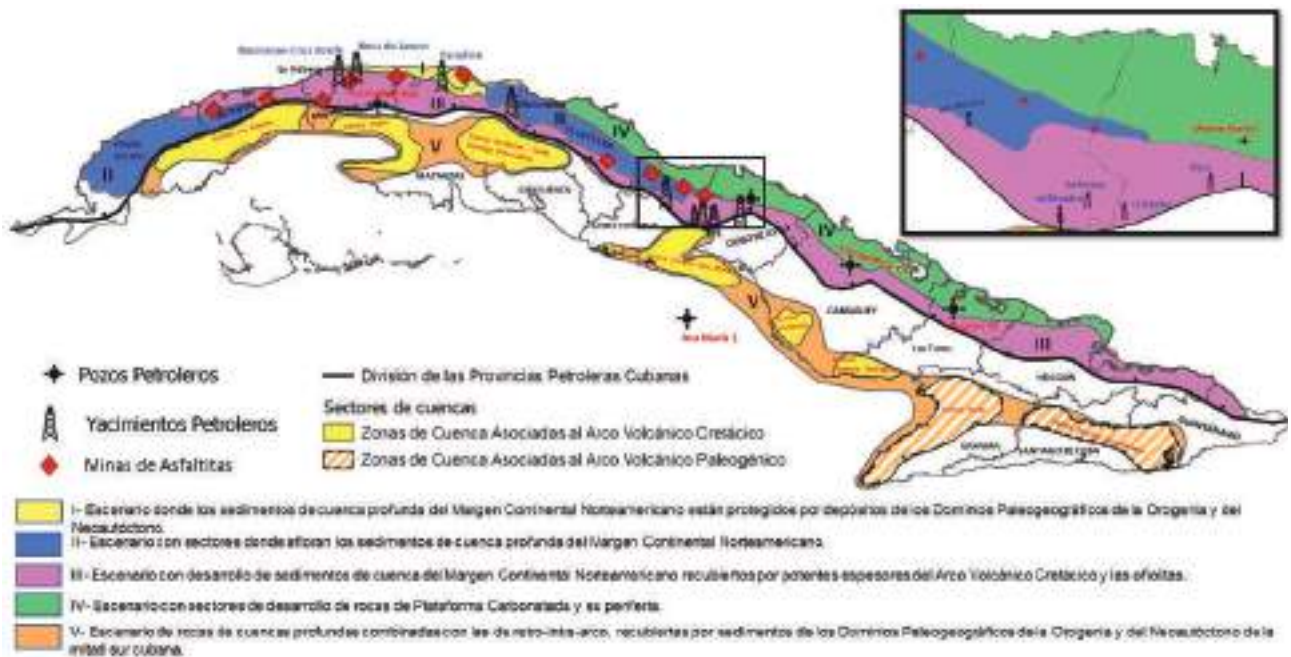


Figura 2. Esquema simplificado de los escenarios exploratorios y elementos petroleros

(Figura 2, yacimiento gigante. Tomado de López *et al.* 2020). Las bases de este sistema petrolero, que carga diferentes tipos de trampas, en la columna geológica, secuencias ofiolíticas, vulcanógeno-sedimentaria y sedimentos carbonatados del Jurásico Superior-Cretácico Turoniano) en general, son aplicables, con seguridad, para la mitad norte del país (en tierra) desde Los Arroyos de Mantua hasta Bahía de Nipe (demostrado por la existencia de yacimientos, manifestaciones de hidrocarburos (HC) en superficie y en los pozos perforados, así como de minas de asfaltitas).

II. Escenario con sectores donde afloran los sedimentos de cuenca profunda del Margen Continental Norteamericano.

Existen en Cuba septentrional dos sectores con las características señaladas, uno ubicado en la mitad norte que se extiende por el oriente de Matanzas, la provincia de Villa Clara y Sancti Spíritus y otro ubicado en el sector norte de la provincia de Pinar del Río y parte de Artemisa (Figura 2).

En este escenario el corte geológico estaría conformado por dos partes: la superior, por mantos tectónicos de cuenca del J3-K que afloran y la inferior, representada por la UTE Coco Sur, rampa carbonatada, que recubre a los depósitos sincrónicos a la ruptura (*Synrift*) (modelo hipotético), lo que se infiere por la presencia de yacimientos, minas y manifestaciones en superficie y pozos petroleros.

La sección geológica de la parte superior del corte está expuesta en la superficie. Los sedimentos de cuenca del Margen Continental Norteamericano desde el Jurásico Superior

– Cretácico Albiano-Turoniano, afloran en bandas, separadas por depósitos del DP Orogenia del Campaniano-Eoceno Inferior y están ausentes o con muy poco espesor los depósitos del DP del Neoauctótono. La característica señalada anteriormente, demuestra un nivel de erosión grande del primer nivel o nivel superior de los mantos tectónicos (que constituyen la parte esencial de los yacimientos descubiertos en el sector de Boca de Jaruco-Majaguillar). Por esta razón, pudieron haberse destruido los yaci-

mientos, que es probable que existieran aquí. No obstante, hacia abajo por el corte, es posible que estén presentes yacimientos importantes por las presencias de minas y manifestaciones superficiales y en pozos.

El sistema petrolero típico de estos sectores es igual al del escenario ubicado en el sector Boca de Jaruco-Majaguillar, el que existiría o no en dependencia de la profundidad de enterramiento y, por ende, de la maduración de la roca madre presente en el manto tectónico de cuenca en cuestión.

Para la parte inferior del corte, existe la posibilidad de plantear la presencia de dos sistemas petroleros especulativos (en especial para Cuba Norcentral): uno relacionado con la presencia de niveles de rocas madre asociadas a sedimentos carbonatados de edad K1cp–K2t). El segundo SP asociado a secuencias de la formación Cayo Coco (J3) y los terrígenos del Jurásico Inferior-Medio. Este último sistema petrolero representaría un riesgo muy alto, debido a la posible presencia de rocas madre y al gran grado de compactación que presentarían como consecuencia de la profundidad a que se encontrarían dichas secuencias (López, 2022).

III. Escenario con desarrollo de sedimentos de cuenca profunda del Margen Continental Norteamericano recubiertos por potentes espesores del Arco Volcánico Cretácico y las ofiolitas.

Este escenario está ubicado desde el noroeste de la provincia de Artemisa, hasta el sur de la Bahía de Nipe en la provincia de Holguín. La misma abarca una franja no uniforme de características sinuosas con un ancho que varía desde 10-15 km hasta 25-35 km (Figura 1).

En el corte geológico de este escenario, se destacan grandes espesores de los dominios paleogeográficos de la Corteza Oceánica y del Arco Volcánico Cretácico con su cubierta sedimentaria, que cubre sedimentos carbonatado-terrágeno y carbonatados, de edad J3 -K. Las rocas volcanitas y ofiolitas, pueden estar recubiertas por sedimentos de poco espesor de los dominios paleogeográficos de la Orogenia y del Neoautóctono (Linares y Fajardo., 2022).

En este escenario, el sistema petrolero (demostrado por la existencia de los yacimientos Jarahueca, Cristales, Jatibonico, Pina, Bacuranao-Cruz Verde, Motembo, minas e innumerables manifestaciones de petróleo y gas tanto en superficies como en pozos) sería similar al primer sistema descrito. La diferencia reside en que el papel de cubierta que hace madurar las rocas madre de cuenca, lo tienen en vez de los mantos de rocas del margen continental de tipo de cuenca, los potentes mantos tectónicos del DP del Arco Volcánico Cretácico. Por sus condiciones específicas, de acuerdo con los datos geoquímicos que se tienen, los petróleos en este escenario van a ser en general maduros, de buena calidad.

Un índice para orientar la exploración en este escenario, lo constituye la erosión sinorogénica y postorogénica de las volcanitas y las ofiolitas de algunas áreas en las que son abundantes las minas y manifestaciones de hidrocarburos. Ejemplos de tales tipos de zona son: el llamado anticlinal Bejucal-Madruga-Limonar (en la provincia de Mayabeque) donde el análisis geoquímico integral del petróleo del pozo Madruga No. 3-A (Figura 2), arrojó que el mismo se generó a profundidades mayores de 4 000 m solamente, entre la franja de 5-10 km de ancho en la cercanía de Santa Clara en la provincia de Villa Clara y la zona de la Farola-Maniabón, en las provincias de Las Tunas y Holguín.

En esta franja es posible encontrar yacimientos en el tope de las volcanitas, (como en el noreste de Cuenca Central: en Pina, Cristales, Jatibonico, Figura 2), que es posible considerar como acumulaciones marginales de yacimientos mucho mayores, existentes por debajo de las volcanitas y con una excelente calidad, tal como parece demostrar el pozo Picanes 1X al sur de la Bahía de Manatí en Las Tunas.

Por la magnitud del cabalgamiento del AVC y las ofiolitas sobre el Margen Continental Norteamericano, la mayoría de los sectores ubicados en la mitad norte de Cuba y en su franja central, están relacionados con la exploración de prospectos por debajo de las rocas del DP del AVC, que en una

valoración a priori, representan prospectos de gran riesgo, pero también de gran recompensa.

IV. Escenario con sectores de desarrollo de rocas de Plataforma Carbonatada y su periferia.

Este escenario está expresado en una franja que incluye la plataforma insular norte, desde el norte de las Bahía de Cárdenas (no incluye dicha bahía) hasta la Bahía de Nipe. Está representado también por una banda en tierra adyacente a la plataforma insular que comienza a la altura de playa Ganuza en la provincia de Villa Clara (con un ancho entre 5 y 30 km) hasta la citada Bahía de Nipe en Holguín (**Figura 1**).

En Cuba Central, la sección geológica en la mayor parte del escenario está representada por las secuencias carbonatadas de la UTE Remedios, que aflora o está recubierta por pobres espesores de depósitos de los DP Orogenia y del Neoautóctono carbonatados y en menor medida carbonatado-terrágenos (por debajo de la UTE Remedios se supone la presencia de depósitos terrígenos pertenecientes al periodo de ruptura), así como por secuencias terrígenas y carbonatadas (intercaladas) del Oxfordiano.

Una franja estrecha del citado escenario, ubicada al noreste de Cuenca Central y hasta el sur de Gibara-Banes, se caracteriza porque la UTE Remedios está recubierta por secuencias del DP de la Orogenia, cabalgadas por las volcanitas y las ofiolitas, en algunos casos de grandes espesores (1,0-2,0 km y más), como ocurre en el pozo Morón Norte 1 en la provincia de Ciego de Ávila (**Figura 2**).

En todo el escenario, pudiese funcionar un sistema petrolero cuyas rocas madre podrían ser las calizas y arcillas del Oxfordiano, así como los sedimentos sincrónicos a la ruptura (*synrift*) del J1-2, que al mismo tiempo serían los reservorios. Es difícil suponer la presencia de acumulaciones por la falta de sellos efectivos, cuestión que mejoraría hacia la franja costera de las provincias de Ciego de Ávila y parte de Camagüey (donde se desarrolla la UTE Cayo Coco, con la Formación Guaney que pudiese servir de sello para la formación Perros y otras).

En la franja suroriental del sector (Ciego de

Ávila-Holguín), estaría activo un sistema petrolero con rocas madre representadas por carbonatos de cuencas de aguas profundas del J3-K1, reservorios en secciones de las formaciones Purio y Palenque de la UTE Remedios, con la UTE Colorados y sellos sinorogénicos complementados por grandes espesores de ofiolitas y volcanitas, como se describe en el pozo Morón Norte 1. En este sistema, en las zonas con una estructuración favorable, pudiese ocurrir la carga de las estructuras presentes y formar yacimientos muy importantes (hay varias evidencias de migración de los petróleos formados en las rocas de cuencas de aguas profundas hacia rocas de la plataforma carbonatada, como en los pozos Camagüey No. 1 y No. 3 (**Figura 2**), con impregnación de petróleo en varios testigos de perforación. De todas maneras, el riesgo de carga y conservación de los hidrocarburos para este escenario es alto, incluida la franja suroriental del mismo.

V. Escenario de rocas de cuencas profundas combinadas con las de retro-intra-arco, recubiertas por sedimentos de los Dominios Paleogeográficos de la Orogenia y del Neoautóctono de la mitad sur cubana.

Este escenario se ubica en la mitad sur de la isla de Cuba y la plataforma marina adyacente (**Figura 1**). Se excluye de este escenario, la parte norte y noreste de la llamada Cuenca Central, donde están los yacimientos de Jatibonico, Cristales, Pina y Reforma, al quedar incluida en el escenario III (Escenario con desarrollo de sedimentos de cuenca del Margen Continental recubiertos por grandes espesores del Arco Volcánico Cretácico y ofiolitas).

Por sus características, este extenso escenario corresponde al parecer a dos franjas con determinadas diferencias en sus columnas geológicas y con posibles sistemas petroleros algo diferentes.

La franja septentrional, ubicada hacia el occidente del país, comprende las cuencas Los Palacios, Vegas y Mercedes. Parece corresponder a una depresión de intra arco, cuya columna geológica típica incluye rocas volcánogeno-sedimentarias y sedimen-

tarias del Cretácico Albiano-Turoniano, recubiertas por depósitos de los DP Orogenia del Campaniano-Eoceno Inferior y Neoautóctono del Eoceno Medio-Cuaternario, es posible que, hacia la parte septentrional de esta franja, se encuentran formaciones del Margen Continental Norteamericano por debajo de las rocas del DP del Arco Volcánico Cretácico.

El sistema petrolero que es probable exista para la mencionada franja septentrional, alcanza solo categoría de hipotético, en el cual el punto más crítico corresponde al volumen y distribución de rocas madre efectivas (maduras). En la parte septentrional de esta franja, es posible la carga de trampas existentes aquí, por un sistema petrolero de rocas de cuenca del DP del Margen Continental Norteamericano subyacente a las secuencias volcánicas y ofiolíticas (las acumulaciones podrían formarse tanto en las propias rocas de cuenca, como en la cuenca combinada, por migración vertical de los hidrocarburos en el segundo caso), como parecen ser las acumulaciones existentes en el yacimiento Catalina.

Parte de la franja meridional (hacia el oriente del país) de este escenario, cubre un sector que está ubicado en la plataforma marina sur del país. El sistema petrolero para la franja sur, sería similar al de la franja norte conceptualmente, pero la nueva información sísmica y datos aportados por el pozo Ana María-1 (**Figura 2**), indican la posibilidad en primer lugar, de tener volúmenes mayores de rocas madre maduras y en segundo lugar, sedimentos con excelentes propiedades como reservorios. Al mismo tiempo, las manifestaciones de petróleo y gas del citado pozo durante la perforación y el gas obtenido durante el ensayo, indican que hay un sistema petrolero activo, aunque su importancia está aún por determinar.

En el escenario de la franja meridional es muy difícil suponer una alimentación de las trampas, con hidrocarburos provenientes de las rocas de cuenca del DP del Margen Continental Norteamericano, aunque no se excluye tal posibilidad, al tener en cuenta los análisis de rocas madre determinados de los sedimentos metacarbonatados del Escambray y del hallazgo de manifestaciones de petróleo, estudiadas en

años recientes (Morales., 2019).

Como colofón al análisis de todas las franjas, es posible acotar que dentro de los tres escenarios exploratorios asociados a las rocas de cuenca del DP del Margen Continental Norteamericano descritos, se han descubierto yacimientos someros pequeños y existen minas de asphaltitas y abundantes manifestaciones en secuencias ofiolíticas (Bacuranao-Cruz Verde, Jarahueca, Motembo), también en secuencias volcánica-sedimentarias (Jatibonico, Cristales, Pina y otros), que, debido a que son producto de la dismi-gración desde acumulaciones más profundas, formadas por los citados sistemas petrolíferos, no se han considerado como escenario exploratorio en sí, aunque de hecho, los mismos son tomados en consideración para la estrategia y la táctica del proceso de exploración petrolera del país.

CONCLUSIONES

1. En Cuba existen cinco escenarios geológicos para la exploración de petróleo y gas:

- I.** Escenario donde los sedimentos de cuenca profunda del Margen Continental Norteamericano están protegidos por depósitos de los Dominios Paleogeográficos de la Orogenia y del Neoautóctono.
- II.** Escenario con sectores donde afloran los sedimentos de cuenca profunda del Margen Continental Norteamericano.
- III.** Escenario con desarrollo de sedimentos de cuenca profunda del Margen Continental Norteamericano recubiertos por espesores del Arco Volcánico Cretácico y las ofiolitas.
- IV.** Escenario con sectores de desarrollo de rocas de Plataforma Carbonatada y su periferia.
- V.** Escenario de rocas de cuencas profundas combinadas con las de retro-intra-arco, recubiertas por sedimentos de los Dominios Paleogeográficos de la Orogenia y del Neoautóctono de la mitad sur cubana.

2. Las rocas madre de los sistemas petroleros identificados y caracterizados en el escenario I, están presentes en los escenarios II, III, IV y extremo norte del V, sobre la base de las correlaciones petróleo-petróleo y petróleo-roca madre establecidas en Cuba.

3. El escenario de mayor potencialidad petrolera es el I, pero su distribución espacial es limitada por lo que al día de hoy está muy explotado.

4. Los escenarios II y III son los segundos en potencialidad con pequeños yacimientos desarrollados en los mismos con mayor relevancia en el III. Ambos poseen una gran extensión geográfica, aspecto positivo para la exploración.

RECOMENDACIONES

Este trabajo cartográfico de escenarios geológicos se derivó de un mapa inicial de los Dominios Paleogeográficos y Conjuntos Petrotectónicos construido a partir de la Metodología para el análisis de Terrenos con un ejemplo en México (Longoria, 1993) que ha sido adaptada en Cuba por Linares y Fajardo (2022). Tanto México como otros países de la región pudieran dar un paso más allá de las metodologías escritas y llegar a una cartografía similar a la presentada en el artículo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Centro de Investigación del Petróleo por permitir el uso de datos e informaciones científico-técnicas en este artículo científico. También, a los árbitros de la revista Geociencias UO, por la minuciosa revisión del manuscrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Colectivo de Autores, 2010, Mapa Geológico Digital de la República de Cuba a escala 1:100000. Inédito. Instituto de Geología y Paleontología, Servicio Geológico de Cuba,

La Habana.

Colectivo de Autores, 1988, Mapa Geológico Digital de la República de Cuba a escala 1:250000. Academia Ciencia, Instituto Geología y Paleontología-Servicio Geológico de Cuba, La Habana.

Fajardo Y., Linares E., Mejías L., Pérez O., Gómez J.E., Blanco P.M., 2022, Mapa de Dominio Paleogeográfico y Conjuntos Petrotectónicos de la República de Cuba 1:500000, Proyecto 2024, Archivos Ceinpet-IGP.

De Golyer E., 1918, Sobre la Geología de los Hidrocarburos en Cuba, Boletín de la AAPG.

Linares E., García D., 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. 480 pp. ISBN 978-959-7117-33-9. Imprenta PALCOGRAF, La Habana.

Linares E., Fajardo Y., 2022, Texto Explicativo del Mapa de Dominio Paleogeográfico y Conjuntos Petrotectónicos de la República de Cuba 1: 500 000, Proyecto 2024, Archivos Ceinpet-IGP. La Habana.

Longoria J.F., 1993, La Terrenoestratigrafía: Un ensayo de Metodología para el análisis de terrenos con un ejemplo en México. Universidad Internacional de Florida.

López J.G., Pérez J.L., Blanco P.M., Fajardo Y., 2018, Avances en el desarrollo de los criterios de potencialidad exploratoria en Cuba. Archivo del Ceinpet. La Habana.

López J.G., Pérez J. L., Blanco P.M., Fajardo Y., 2020, Actualización del Potencial de Hidrocarburos para el año 2019, Archivo del Ceinpet. La Habana.

López J.G., Fajardo Y., López J.O., Mejías L., Tenreiro R., Sánchez J., Blanco P.M., Linares E., Delgado O., Echevarría G., 2022, Informe del Proyecto Serie de mapas de contenido geólogo-petrolero de la Repú-

blica de Cuba. Archivo del Ceinpet. La Habana.

Morales I., Abreu D., Reyes O., González E., Pardo M.E, González D., Álvarez J.R, Valladares S., Prol J.L., Rifa M, Pérez O., Flores A., Blanco S., Castro O., 2019, Evaluación geólogo-geofísica en los sectores costa afuera (aguas profundas) de Cuba

norte y sur centro oriental. Archivos del Ceinpet, La Habana.

Prol J.G., Rifá M.C., Jaén J.C., García M.C., Prieto F., Abreu D., Ojeda D., Linchenat E., Miró G., 2019, Zonificación de los Espesores Sedimentarios en la Región Golfo de México-Caribe-Bahamas-Venezuela. Archivos Ceinpet e IGP, La Habana.



Comprobación de una manifestación de gas en la península de Guanahacabibes, Cuba

Manuel Enrique Pardo Echarte¹, Zulema Domínguez Sardiñas², Osvaldo Rodríguez Morán³, Lester Rivas Transancos⁴, Lourdes Jiménez de la Fuente⁵, Octavio del Sol Ortega⁶, Leodegario Lufriú Díaz⁷

¹ Ingeniero Geofísico, Doctor en Ciencias Geológicas, Investigador Titular y Profesor Titular del Centro de Investigación del Petróleo, Churruca, No.481, e/ Vía Blanca y Washington, Cerro, La Habana, CP 10 600. ORCID ID: 0000-0003-0669-4413. Correo E.: pardo@ceinpet.cupet.cu; mpardoecharte@gmail.com.

² Ingeniera Química, Doctora en Sistemas Petroleros, homologado a Doctora en Ciencias Químicas por la Universidad de La Habana. MES. Profesora Titular e Investigador Titular y del Centro de Investigación del Petróleo, Churruca, No.481, e/ Vía Blanca y Washington, Cerro, La Habana, CP 10 600. ORCID ID: 0000-0002-2539-5673. Correo zulds@ceinpet.cupet.cu; 0000-0002-2539-5673.

³ Ingeniero Geofísico. Máster en Geología Petrolera. Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular e Investigador Titular de la Universidad Tecnológica de La Habana, «José Antonio Echeverría», Cujae, Ave 114 No. 11901, entre Ciclovía y Rotonda, Marianao, C.P. 19390, La Habana, Cuba. ORCID ID: 0000-0001-9153-4603, Correo E.: ormoran2016@gmail.com.

⁴ Licenciado en Educación en la especialidad de Química (ISPETD). Máster en Ingeniería Ambiental. Investigador Agregado. Centro de Investigación del Petróleo. Churruca No. 481, e/ Vía Blanca y Washington, Cerro. C.P. 10 600. La Habana, Cuba. ORCID ID: 0000-0001-9521-4420. Correo E.: lester@ceinpet.cupet.cu; lesterrt83@gmail.com.

⁵ Licenciada en Geografía. Máster en Geología Petrolera. Investigador Agregado, Centro de Investigación del Petróleo, Churruca, No.481, e/ Vía Blanca y Washington, Cerro, La Habana, CP 10600. ORCID ID: 0000-0003-3735-442X. Correo E.: lourdes@ceinpet.cupet.cu, loujdf@gmail.com

⁶ Licenciado Química. Investigador Agregado Centro de Investigación del Petróleo, Churruca, No.481, e/ Vía Blanca y Washington, Cerro, La Habana, CP 10600. ORCID ID: 0000-0003-1769-8858. Correo: octavio@ceinpet.cupet.cu.

⁷ Ingeniero Geofísico. Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular de la Universidad Tecnológica de La Habana, «José Antonio Echeverría», Cujae, Cuba. ORCID ID: 0000-0002-7775-8093. Correo E.: leodegario.lufriu@gmail.com, leodegario.lufriu@cubava.cu.

Resumen

La microfiltración de las acumulaciones de gas biogénico produce varias anomalías como el carbonato magnético del suelo, los mínimos de radiación y otras. Tales anomalías son idénticas a las anomalías creadas por la microfiltración de un depósito de hidrocarburos

termogénico. De ahí, que los exploradores que utilizan los métodos indirectos de la Exploración Geoquímica de Superficie, serán conscientes de la posibilidad de falsas anomalías causadas por depósitos de metano biogénico. El objetivo de la investigación consistió en determinar la posible presencia de hidrocarburos en la

Pardo-Echarte, T. E., Domínguez-Sardiñas, Z., Rodríguez-Moran, O., Rivas-Transancos, L., Jiménez-De la Fuente, L., del So-Ortega, O., Lufriú-Díaz, L., 2024, Comprobación de una manifestación de gas en la península de Guanahacabibes, Cuba: Geociencias UO. v. 13, núm. 1, junio 2024. pp. 65-78.

profundidad del área y establecer su naturaleza termogénica o biogénica. Para ello se realizó un perfil W-E de 5 km (paso 300 m) a lo largo de la carretera. Los materiales utilizados fueron: Imágenes Google Earth de la localidad, hoja topográfica 3281 IV Cabo de San Antonio (escala 1:50000), imágenes satelitales del Landsat 7M, Modelo de Elevación Digital (90x90 m) y mapa geológico digital (escala 1:100000). Los métodos utilizados fueron: Observaciones medio-ambientales y geológicas de campo; kappametria; Pedogeoquímica; Registro de gases de campo; Extracción con solvente para determinación de grasas y aceites; Cromatografía Líquida y de Gases y Espectrometría de masas. Como resultado de la investigación, se estableció la presencia de gas metano de naturaleza biogénica acumulado en la profundidad somera del área. Esto evita la continuación de las tareas exploratorias en busca de hidrocarburos termogénicos, demostrando la necesidad y validez del uso integrado de técnicas indirectas y directas en la exploración geoquímica de superficie.

Palabras Clave: hidrocarburo termogénico; hidrocarburo biogénico; exploración geoquímica de superficie; kappametria; pedogeoquímica; registro de gases; cromatografía; espectrometría de masa.

Abstract

Microseepage of biogenic gas accumulations produces various anomalies such as magnetic soil carbonate, radiation minima, and others. Such anomalies are identical to anomalies created by microseepage from a thermogenic hydrocarbon reservoir. Hence, explorers using indirect Surface Geochemical Exploration methods will be aware of the possibility of false anomalies caused by biogenic methane deposits. The objective of the investigation was to determine the possible presence of hydrocarbons in the depth of the area, establishing its thermogenic or biogenic nature. For this, a W-E profile of 5 km (step 300 m) along the road was made. The materials used were: Google Earth images of the locality, topographic sheet 3281 IV Cabo de San Antonio (1:50000 scale), satellite images from Landsat

7M, Digital Elevation Model (90x90 m) and digital geological map (1:100000 scale). The methods used were: Environmental and geological field observations; Kappametry; Soil geochemistry; Field Gas observations; Solvent extraction for determination of fats and oils; Liquid and Gas Chromatography and Mass spectrometry. As a result of the investigation, the presence of biogenic methane gas accumulated in the shallow depth of the area was established. This avoids the continuation of exploratory tasks in search of thermogenic hydrocarbons, demonstrating the need and validity of the integrated use of indirect and direct techniques in Surface Geochemical Exploration.

Key words: thermogenic hydrocarbon; biogenic hydrocarbon; surface geochemical exploration; kappametry; soil geochemistry; gas observations; chromatography; mass spectrometry

Resumo

A microinfiltração de acumulações de gases biogênicos produz várias anomalias como carbonato magnético do solo, mínimos de radiação, entre outros. Tais anomalias são idênticas às anomalias criadas por microinfiltração de um reservatório de hidrocarboneto termogênico. Portanto, exploradores que utilizam métodos indiretos de Exploração Geoquímica de Superfície devem estar cientes da possibilidade de falsas anomalias causadas por depósitos de metano biogênico. O objetivo da investigação foi determinar a possível presença de hidrocarbonetos na profundidade da área, estabelecendo sua natureza termogênica ou biogênica. Para isso, foi feito um perfil W-E de 5 km (passo 300 m) ao longo da estrada. Os materiais utilizados foram: imagens do Google Earth da cidade, Folha topográfica 3281 IV Cabo de San Antonio (escala 1:50000), imagens de satélite do Landsat 7M, Modelo Digital de Elevação (90x90 m) e mapa geológico digital (escala 1:100000). Os métodos utilizados foram: Observações ambientais e geológicas de campo; Capametria; Pedogeoquímica; Registro de Gás de Campo; Extração por solvente para determinação de gorduras e óleos; Cromatografia Líquida e Gasosa e Espectrometria de Massa. Como resultado da

investigação, foi estabelecida a presença de gás metano biogênico acumulado na rasa profundidade da área. Isso evita a continuidade das tarefas exploratórias em busca de hidrocarbonetos termogênicos, demonstrando a necessidade e validade do uso integrado de técnicas indiretas e diretas na exploração geoquímica de superfície.

Palavras-chave: hidrocarboneto termogênico; hidrocarboneto biogênico; exploração geoquímica de superfície; capametría; pedogeoquímica; registro de gás; cromatografía; espectrometría de massa.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Price (1985), los métodos, como la medición isotópica de carbono en cementos de carbonato, los mínimos de radiación, la detección aeromagnética, la polarización inducida, etc., dependen de la interacción de los microorganismos con la Serie de Hidrocarburos (SHC) que migran verticalmente y por lo tanto, pueden indicar un depósito de hidrocarburos (HC). Sin embargo, tal depósito de HC no es necesariamente un depósito de HC termogénico, por lo tanto, en cierto sentido, podría ser un tipo de falsa anomalía.

Según el mismo autor, el metano biogénico (MB), es un subproducto del ataque a la materia orgánica por bacterias anaerobias durante el enterramiento somero y diagénesis de los sedimentos superficiales. Aunque la mayor parte del MB se pierde en la interfase sedimento-agua de mar durante el enterramiento, se retiene lo suficiente y luego es movilizado, de tal manera, que puede resultar en acumulaciones comerciales significativas. Se conoce de acumulaciones en todo el mundo, en muchas cuencas de petróleo distintas y para muchos tipos diferentes de trampas, lo que sugiere que las acumulaciones de MB ocurrirían en cualquier lugar de una cuenca sedimentaria y en cualquier tipo de trampa. En particular, en el entorno de la plataforma marina, la deposición de limo y arena discontinuos y relativamente impermeables, envueltos por barro rico en materia orgánica y arcilla, proporciona condiciones en extremo favorables para la generación y el entrapamiento in situ del MB.

La microfiltración de las acumulaciones de gas

biogénico, da como resultado varias anomalías como el carbonato magnético del suelo (incluido el CO₂ ocluido con calcita) y los mínimos de radiación. Tales anomalías son idénticas a las creadas por la microfiltración de un depósito de HC termogénico. De ahí, que los exploradores que utilizan los métodos de la Exploración Geoquímica de Superficie (EGS), en especial los indirectos, siempre serán conscientes de la posibilidad de falsas anomalías causadas por depósitos de MB en las plataformas petrolíferas, normalmente estables de cuencas sedimentarias. En particular, las técnicas de exploración directa que miden C₂-C₅ de la SHC (no asociados con C₆ + SHC) no están sujetas a tal problema por la falta de C₂-C₅ de la SHC en el MB y son específicas para los depósitos de HC termogénicos (Price, 1985). Como antecedente de la ocurrencia de gas en Guanahacabibes, se tiene que, según el Dr. Leodegario Lufriú (comunicación verbal), un fuerte olor a sulfuro de hidrógeno se siente, aproximadamente, entre los 6.0 y 8.2 km del faro RONCALI en dirección Este por la carretera (**Figura 1**). Este fuerte olor a gas fue percibido durante 15 años (entre 1993 y 2015), coincidente con el tiempo en que trabajó el Dr. Lufriú en Guanahacabibes y también se conoce de otros reportes posteriores (2015) por parte de visitantes de la localidad.

En la **Figura 1**, existe un área desprovista de vegetación de forma elíptica alargada, paralela y muy próxima a la carretera donde, según el mapa geológico (Colectivo de Autores, 2010), aflora en forma de ventana, la Formación Jaimanitas del Cuaternario (más antigua), rodeada por depósitos cuaternarios recientes y la Formación Vedado del Cuaternario debajo. La referida estructura antifórmica aflorada (posiblemente heredada) se ve reflejada, con mucha precisión, por sendas anomalías en los escenarios satelitales Térmico y Visible (Redox) (**Figura 2**). Al Sur de ellas, en la misma costa, se observa una anomalía morfométrica residual positiva de baja amplitud la cual, al parecer, no guarda relación con el cuadro anterior. La confrontación con los datos geológicos y el empleo de los referidos escenarios (satelitales y morfométrico), como regla, siempre anteceden a los trabajos terrestres de comprobación (Pardo Echarte *et. al*, 2022).

La naturaleza geológica de las anomalías satelitales determinadas, se explican por el marcado carácter carbonoso de los sedimentos locales (presumiblemente también de la Formación Jaimanitas), observado en los suelos arenoso-carbonosos a todo lo largo del perfil estudiado.

Se ofrece una introducción imprescindible sobre el origen y la clasificación de los hidrocarburos y gases asociados:

Los hidrocarburos se dividen en dos clases principales

conforme a su estructura química: los alifáticos y los aromáticos (Morrison y Boyd, 1998; Olah *et al.*, 2018). De acuerdo con su capacidad química para mezclarse con otros compuestos pueden separarse en polares (asfaltenos y resinas, que se mezclan) o no polares (alifáticos y aromáticos, que no se mezclan) (Borges, 2013). En la **Figura 3** se presenta la clasificación de los hidrocarburos de acuerdo con su polaridad. Los hidrocarburos aromáticos, a pesar de solo conformar de un 3 a un 7 % del petróleo crudo, son muy relevantes dada la información que suministran desde el punto de vista



Figura 1. Localidad de la manifestación de gas en la península de Guanahacabibes

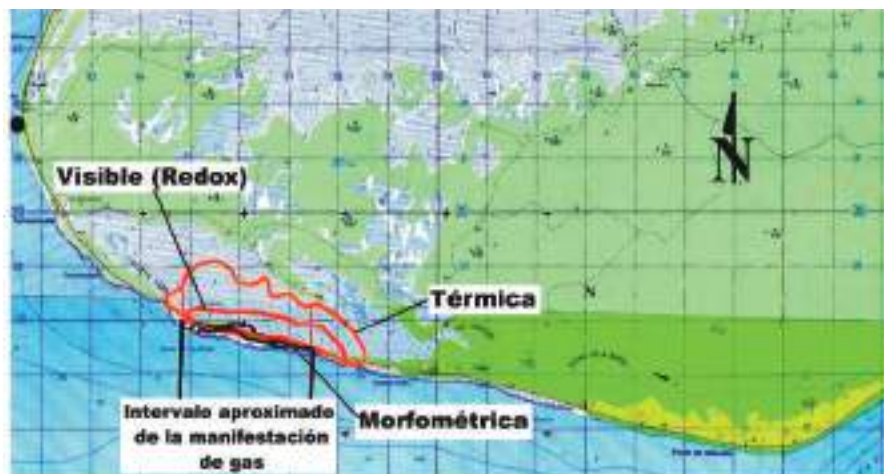


Figura 2. Anomalías satelitales: Térmica, Visible (Redox) y Morfométrica. Intervalo aproximado de la manifestación de gas, según el Dr. Lufriú

ambiental y geoquímico (Bojes y Pope, 2007; Domínguez Sardiñas, 2008; Shen, 2016).

Los yacimientos petroleros son el resultado de la transformación por temperatura de la materia orgánica, es decir, restos de plantas y otros organismos que se acumulan en el fondo del mar y que son enterrados por los sedimentos (IMP, 2015). La materia orgánica es producto principalmente de la producción primaria en sistemas marinos o terrestres, parte de esta es acumulada en el fondo marino y transformada en petróleo aromático por medio de procesos que toman millones de años. El proceso de transformación de la materia orgánica, la diagénesis, involucra el enterramiento de la materia orgánica y su degradación lenta bajo condiciones de calor y alta presión. Sin embargo, para que se produzca un yacimiento petrolero es necesario, además, que las condiciones sedimentarias hayan sido idóneas para evitar la fuga del petróleo y el gas que se acumula en rocas almacén (IMP, 2015; SGM, 2017). Para ello, un sistema natural debe cumplir con ciertas condiciones geológico-estructurales que permitan la acumulación del petróleo, con la formación de yacimientos, siendo en este caso los hidrocarburos termogénicos. No obstante, existen además hidrocarburos biogénicos, diagénicos y pirogénicos, los cuales se distinguen por su caracterización química y por medio de

índices cuyos valores son indicativos de la fuente.

Los hidrocarburos biogénicos son generados por procesos biológicos o durante los estadios tempranos de la alteración de los sedimentos marinos recientes (diagénesis, cambios físicos, químicos y biológicos *in situ* que sufre la materia orgánica). Las fuentes biológicas incluyen plantas terrestres, fitoplancton, animales, bacterias, macroalgas y microalgas. La composición química de los hidrocarburos biogénicos tiene como característica que presenta cadenas de hidrocarburos de 15 a 35 átomos de carbono fundamentalmente (C_{15} a C_{35}) ya que los compuestos de C_3 a C_{14} , están ausentes en los organismos vivos. Además, presentan cadenas de carbonos nones (impares) en mayor abundancia que cadenas de carbonos pares (Wang y Fingas, 2003). Los hidrocarburos pirogénicos se generan por combustión de productos orgánicos, esto puede ocurrir durante incendios forestales o la quema intencional de vegetación (residuos de cosecha, madera, etc.), carbón y de combustibles fósiles como petróleo crudo, gasolina, diésel combustóleo y aceites (Colombo *et al.*, 1989; De Luca *et al.*, 2005; Mille, 2007).

Es posible entonces encontrar hidrocarburos en sedimentos recientes, que pudieran ser de carácter antropogénico, biogénico o pirogénico y una de las fuen-

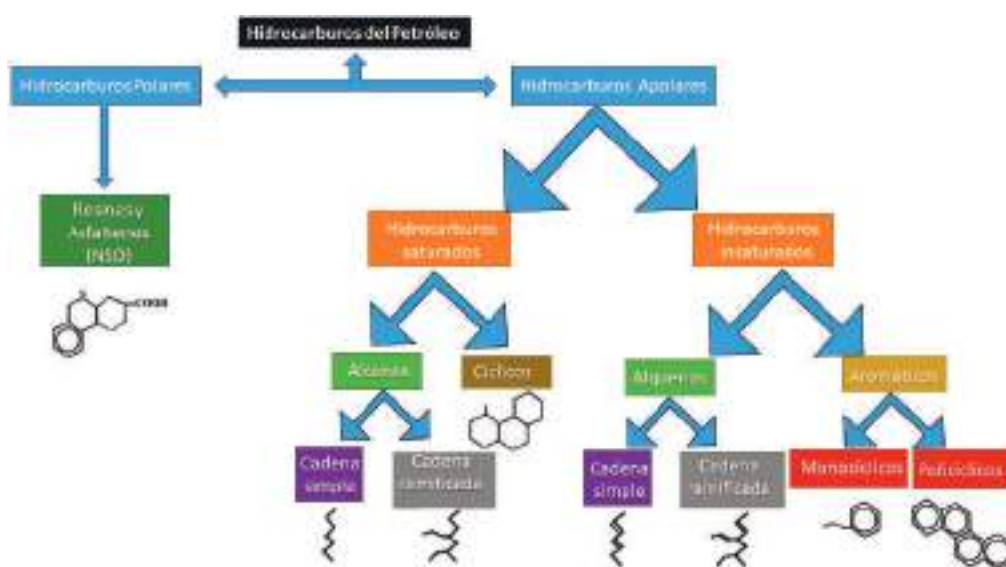


Figura 3. Clasificación general de los hidrocarburos del petróleo (Domínguez Sardiñas, modificado de Herzka *et al.*, 2020)

tes pueden ser los incendios, consideradas un aporte significativo a nivel mundial (Farrington y Mc Dowell, 2004). Otra de las características para distinguir el origen de los hidrocarburos presentes en una muestra es la presencia de compuestos biomarcadores (Peters y Moldowan, 1993; Peters, Walters y Moldovan, 2005) y su ausencia es indicativa de la presencia de hidrocarburos biogénicos, dado que la principal característica estructural identificadora de los biomarcadores es que son químicamente estables durante la sedimentación y el enterramiento temprano, y por tanto, perduran en los reservorios de hidrocarburos termogénicos. La composición de un Gas Natural, desde el punto de vista geoquímico, está constituida por mezclas de hidrocarburos esencialmente puros, hasta mezclas con gases no hidrocarburos cuyos principales componentes son nitrógeno (N₂), dióxido de carbono (CO₂) y Sulfuro de hidrógeno (H₂S) (Aali, 2006).

El compuesto predominante es el metano (CH₄) y su fuente, casi obvia, es la reducción de la materia orgánica soluble (MOS) y quizás el CO₂. Se sabe que la fotosíntesis de la clorofila produce alcoholes (metanol y etanol) que producen los hidrocarburos correspondientes (metano y etano en mucha menor proporción). Se trata de la conversión de grupos carboxilatos a hidrocarburos gaseosos, según la reacción:

Luego, el ácido acético produce metano y el propiónico etano. El modelo zonal de los procesos microbiológicos se limita a 1 km bajo tierra (unos 40 °C). Con un entrapamiento más profundo se alcanzan temperaturas en las cuales la descarboxilación térmica puede generar hidrocarburos más pesados (Chun Fan, 2005; Aali, 2006).

La presencia de compuestos de azufre en los hidrocarburos se puede deber a cuatro fuentes principales:



1. La reducción termoquímica de los sulfatos inorgánicos o el azufre elemental (H₂S mayor que un 10 %)
2. Descomposición térmica del azufre orgánico existente en kerógeno/petróleo bajo la forma de heterocompuestos
3. Reducción de sulfatos por bacterias (H₂S menor que un 5 % y temperaturas inferiores a 80 °C).
4. Hidrólisis ácida de sulfuros metálicos, particularmente de hierro.

Estudios isotópicos han comprobado que el H₂S de reservorios someros proviene de la reducción microbiológica de sulfatos del agua y la biodegradación de la materia orgánica, sólo en rocas evaporíticas profundas, es producto de reducción termoquímica (Cursi, 2000).

El objetivo principal de la investigación consistió en determinar la posible presencia de hidrocarburos en la profundidad, en los límites de la manifestación de gas reportada, estableciendo su naturaleza termogénica o biogénica. Para ello se realizó un perfil, con un paso de 300 m, a lo largo de la carretera, partiendo del límite periclinal occidental de la estructura antifórmica (**Figura 4**) y extendiéndose al este por cerca de 5 km, con el fin de cubrir toda la extensión del reporte de gas y a su vez, obtener la mayor información posible del nivel de Fondo Local (promedio de los valores mínimos) para algunas de las observaciones a realizar (kappametría y pedogeoquímica) (Pardo Echarte y Rodríguez Morán, 2022).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales utilizados en la investigación fueron:

1. Imágenes *Google Earth* de la localidad
2. Hoja topográfica 3281 IV Cabo de San Antonio, a escala 1:50000 del Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía (ICGC)
3. Imágenes satelitales del Landsat 7M (canales infra-rojo-térmico y visible)
4. Modelo de Elevación Digital 90x90 m (Sánchez Cruz *et. al*, 2015)
5. Mapa Geológico Digital a escala 1:100000 de la República de Cuba (Colectivo de Autores, 2010).



Figura 4. Estructura antifórmica y perfil de estudio medido

Los métodos utilizados en la investigación fueron:

1. Observaciones medio-ambientales y geológicas de campo
2. Kappametría (campo y muestras)
3. Pedogeoquímica (Digestión total con ácido clorhídrico, Espectrometría con ICP y horizonte muestreado-nivel de acreción metálica [10-30 cm])
 1. Registro de gases de campo (mediante fotoionización)
 2. Extracción con solvente (*Softlet*), para determinación de grasas y aceites
 3. Cromatografía Líquida mediante columna de absorción, determinación de fracciones de alifáticos (F1) y aromáticos (F2)
 4. Cromatografía de Gases (detector fotométrico de llama, FID)
 5. Espectrometría de masas, *Full Scan*.

Las técnicas de procesamiento contemplaron el uso de los softwares Oasis Montaj v 7.01 de Geosoft, ENVI v 5.7, Excel 2013 de Microsoft y MSD Productivity ChemStation, v E.02.02.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Observaciones ambientales, geológicas, geofísicas y geoquímicas de campo.

Desde el mismo inicio de los trabajos terrestres de com-

probación, las observaciones medio-ambientales y geológicas (vegetación vigorosa, abundante material carbonoso y ausencia de zonas ferríferas), unidas a la baja amplitud de las observaciones geofísicas de kappametría (menor que 1.5 veces el Fondo Local) y a los pobres resultados del registro de gases (solo dos estaciones [G-1 y G-4] con valores anómalos de Sulfhídrico y uno de ellos [G-1] con Metano [C1] y Etano [C2] anómalos), llevaron a los autores a considerar la posible presencia de hidrocarburos de naturaleza biogénica. Solo el hecho de la determinación puntual de Etano anómalo en G-1 podía sugerir una posible naturaleza termogénica (Price, 1985), pero una vez obtenidos los resultados geoquímicos de laboratorio esta hipótesis fue descartada.

En el análisis de la situación geológica, se tuvo en cuenta la proximidad de los primeros puntos del perfil al límite periclinal occidental de la referida estructura antifórmica (**Figura 4**), lo cual podía conllevar a un comportamiento anómalo de estas observaciones, debido a la coincidencia espacial con la llamada «Zona de Fugas» (Agua + Hidrocarburos Ligeros, desde una acumulación en profundidad a la superficie) (Pirson, 1969).

Geoquímica de Superficie

Pedogeoquímica

Los resultados de la Pedogeoquímica (Digestión total con ácido clorhídrico, Espectrometría con ICP y hori-

zonte muestreado-nivel de acreción metálica [10-30 cm]) se muestran en la **Tabla 1**.

Como primer paso en el análisis, el contenido de hierro se examinó con los resultados de la kappametria en muestras de suelo (Kappa, en 10⁻³ SI) (**Figura 5**). Los valores del Fondo Local se exhiben en forma de una línea horizontal de color marrón. En los gráficos se aprecia una buena correspondencia entre ambas magnitudes, lo cual indica la utilidad de la kappametria como método de avance. A partir del examen de las curvas, se observan dos primeras zonas con valores incrementados (hasta la estación G-8) que parecen estar relacionadas con la presencia de los hidrocarburos, dada su relación con el vanadio incrementado hasta la estación G-10 (**Figura 6**). La amplitud de los valores anómalos en la estación G-0 (mayor que 1.5 veces el Fondo Local), tanto para el contenido de hierro como para el del vanadio, es diagnóstica de la presencia de hidrocarburos en la profundidad (presumiblemente somera, en este caso) (Pardo Echarte y Rodríguez Morán, 2022).

Con las **figuras 7 y 8** se pretende ofrecer información sobre la naturaleza ligera o pesada del hidrocarburo en la profundidad. Se conoce que, para el hidrocarburo pesado, existe una precisa correspondencia entre las observaciones (curvas) del vanadio y el níquel (Pardo Echarte y Rodríguez Morán, 2022).

Elemento	Fe	Ni	Pb	V	Zn
U/M	[ppm]				
G-0	334.606	13.766	29.626	34.237	14.953
G-1	296.715	13.732	21.98	30.684	18.827
G-2	179.446	13.635	28.761	30.363	14.96
G-3	192.327	13.708	30.467	31.363	13.573
G-4	203.595	13.851	27.645	27.295	15.64
G-5	192.659	13.82	27.253	24.025	13.619
G-6	211.677	13.945	28.833	31.452	16.673
G-7	234.773	14.017	29.16	25.237	141.697
G-8	155.757	13.938	25.567	30.895	16.738
G-9	229.376	14.019	29.146	27.049	14.407
G-10	266.978	14.011	30.369	22.287	16.305
G-11	196.337	13.979	29.464	21.723	12.69
G-12	312.599	13.961	33.751	22.168	17.561
G-13	262.992	14.064	27.727	20.272	15.231
G-14	346.634	13.995	28.499	26.882	15.65
G-15	219.936	7.775	28.537	23.379	16.314

Tabla 1. Resultados de la Pedogeoquímica

No ocurre así cuando el hidrocarburo es ligero (**Figura 7**) donde, como regla, se reporta la presencia de plomo y/o zinc, la cual puede ser ocasionalmente anómala (**Figura 8**).

Al considerar los valores de la relación V/Ni (**Tabla 2**) se observa que resulta siempre menor que 4, lo cual es indicativo de la naturaleza biogénica de los hidrocarburos (Villacreces Carbajal, 2013). De esta manera, a partir de los resultados de la Pedogeoquímica,

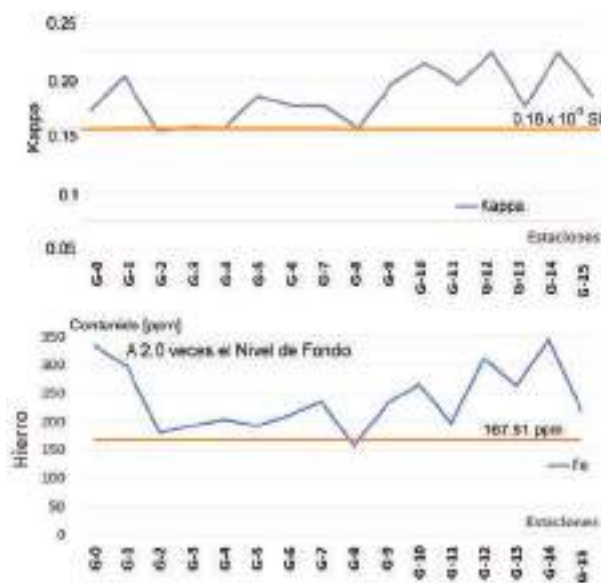


Figura 5. Resultados de la kappametria en muestras de suelo y contenido de hierro.

se concluye sobre la posible presencia de una acumulación, presumiblemente somera, de hidrocarburos ligeros (al parecer, gas Metano) de naturaleza biogénica en el área de estudio.

Otros estudios de Geoquímica de Superficie

La **Tabla 2** muestra los resultados de los análisis realizados con el objetivo de determinar la presencia y tipo de gas en el área de estudio.

Los análisis realizados corresponden a sólo siete de las 16 estaciones muestreadas, dado que éstas fueron las únicas que mostraron contenido de gas en el campo, a partir de las lecturas realizadas con el equipo de fotoionización MINI RAE 3000 (**Figura 9**).

Del conjunto de las siete muestras analizadas, solo cuatro mostraron valores anómalos (correspondientes con las estaciones de muestreo G-0, G-1, G-4 y G-5). De ellas, se descartó la correspondiente a la esta-

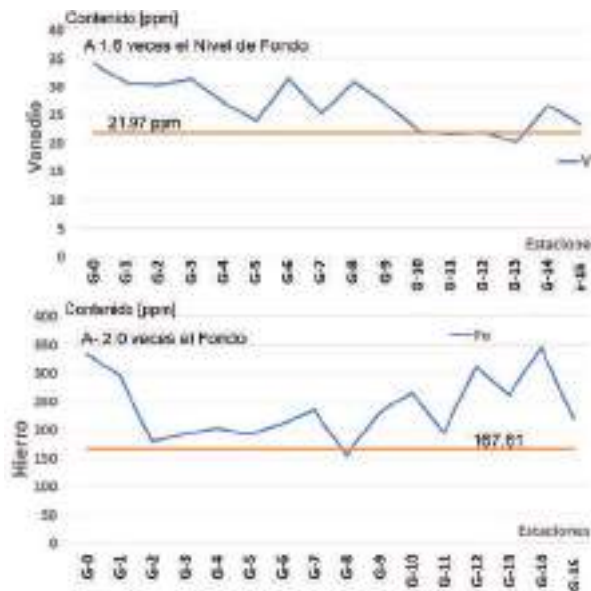


Figura 6. Gráficos de los contenidos de vanadio y hierro.

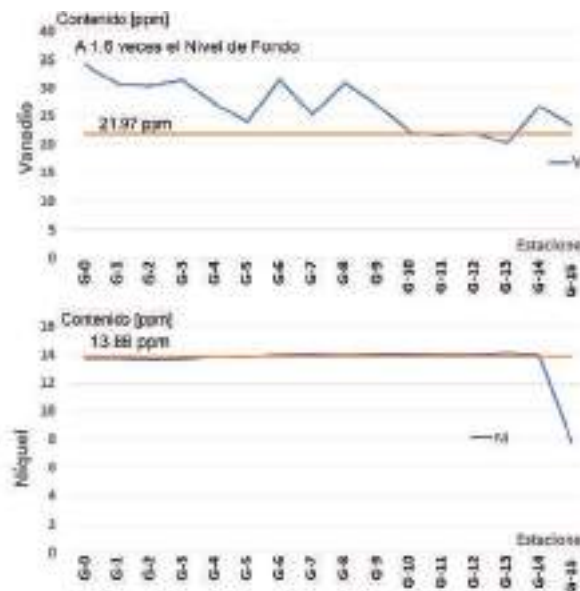


Figura 7. Gráficos de los contenidos de vanadio y níquel

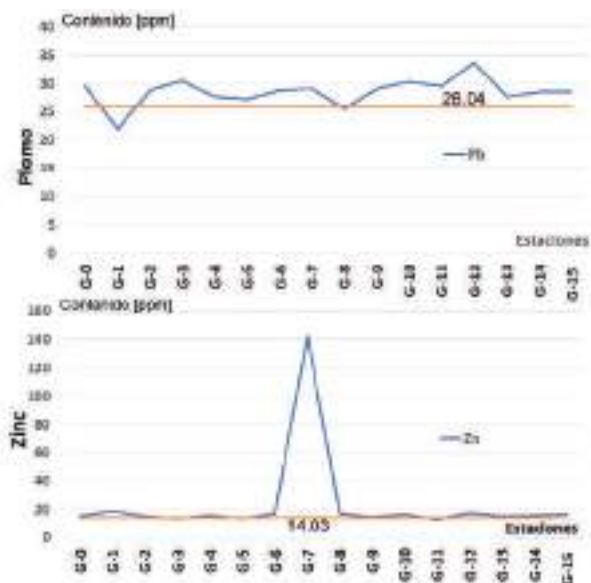


Figura 8. Gráficos de los contenidos de plomo y zinc

ción G-4, la cual mostró la mayor cantidad de sulfuro de hidrógeno y monóxido de carbono, además de una cantidad significativa de grasas y aceites (G/A), debido a que estos valores elevados se corresponden, al parecer, con un proceso de combustión local. Esto es apreciable en la **Figura 9**, donde aparece la vegetación quemada.

Las tres muestras anómalas restantes fueron sometidas al análisis por cromatografía de gases, acoplada a espectrometría de masas. Para ello, se realizó la purificación de las muestras en columna con sílica/alúmina hasta obtener los extractos de hidrocarburos saturados (F1) e hidrocarburos aromáticos (F2). Posteriormente, se concentraron los mismos hasta la sequedad y se trasvasaron con n-hexano (F1) y con una mezcla de diclorometano (DCM): n-hexano (1:1) (F2) a viales de

inyección (1.5 mL) para el análisis mediante cromatografía de gases con detector másico. Para ello se utilizó Equipo cromatógrafo de gases *Argilent 7890A*, con detector de masas 5975C, provisto de una columna capilar DB-1 (30 m x 0.250 mm d.i y 0.25 µm de espesor de película). Como gas portador, se empleó el helio con 99.5 % de pureza. El modo de ionización fue por impacto electrónico, con una energía de 70 eV.

Para la identificación de los compuestos se utilizaron los cromatogramas y espectros de masas correspondientes.

Los resultados obtenidos se compararon con los datos de bibliotecas de espectros o cartoteca NIST 32. Las **figuras 10-11**, muestran los cromatogramas de masa obtenidos para la fracción de saturados (F1) y la

Muestras	G/A	V/Ni	H.C. Aromáticos	H ₂ S	C ₁	C ₂	CO
	[mg/kg]			[ppm]			
0 (114)	434	2.5	4.24*	0.01	0.1	0	0.1
1(115)	95	2.2	0.22	1.1*	2000*	0.3*	0.1
4	153	2	0.42	1.7*	0.1	0	11*
5(117)	186	1.7	2.9	0.1	0.1	0	1
6	39	2.3	0.33	0.1	0.1	0	0.1
7	37	1.8	0.24	0.1	0.1	0	0.1

* Valores Anómalos

Tabla 2. Resultados de los análisis químicos y mediciones de campo



Figura 9. Muestreo en estación G-4, donde se observa el Fotoionizador utilizado en la medición de los gases de campo.

fracción de aromáticos (F2) y la **Figura 12**, la comparación de los perfiles de las tres muestras y el blanco corrido.

Los resultados de la cromatografía de gases acoplada a la espectrometría de masas, confirman la naturaleza biogénica de los hidrocarburos presentes en los puntos de muestreo estudiados, dado que en la **Figura 10**, se observa cómo en la zona correspondiente a los biomarcadores (Hopanos extendidos) hay ausencia total de éstos; además, en el cromatograma comienzan a aparecer los picos por encima de C_{15} (C_{23} - C_{33}) lo que permite establecer que son el resultado del aporte de detritus de plantas terrígenas, donde el predominio de los mismos corresponde con cadenas impares. Por su parte la **Figura 11** muestra un perfil prácticamente nulo de compuestos aromáticos, sólo la muestra G-0 (114), presenta algunos aromáticos los cuales deben corresponderse con hidrocarburos policíclicos aromáticos, sin rearrreglo, típicos de hidrocarburos biogénicos (Herzka, 2020). Otra característica es que fueron monitoreados los iones masa/carga (m/z 231), correspondientes a biomarcadores triaromáticos, presentes hasta en las muestras más inmaduras y en todos los casos el patrón fue nulo.

En cuanto a la naturaleza del sulfuro de hidrógeno detectado, se sugiere que proviene, al parecer, de la reducción microbiológica de sulfatos del agua y la

biodegradación de la materia orgánica, aunque no se descarta una posible hidrólisis ácida de sulfuros metálicos, particularmente de hierro.

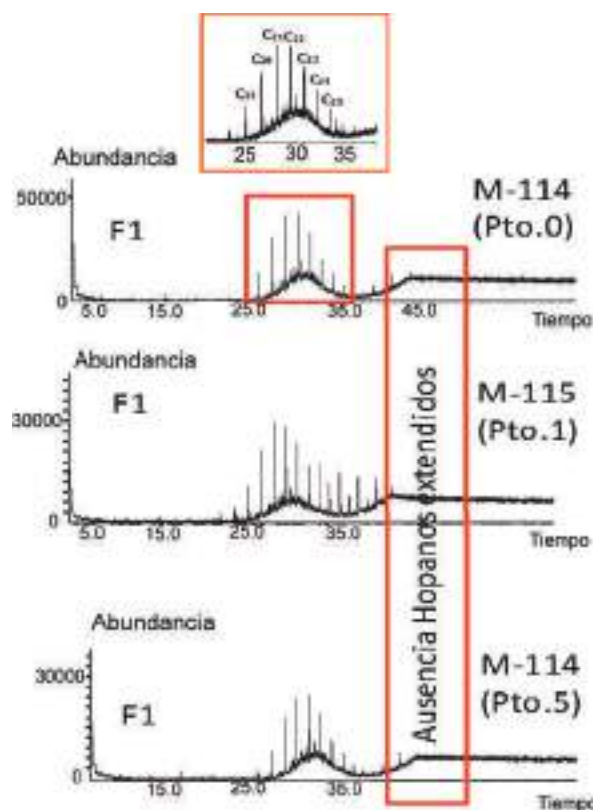


Figura 10. Perfil de hidrocarburos alifáticos en las muestras en estudio.

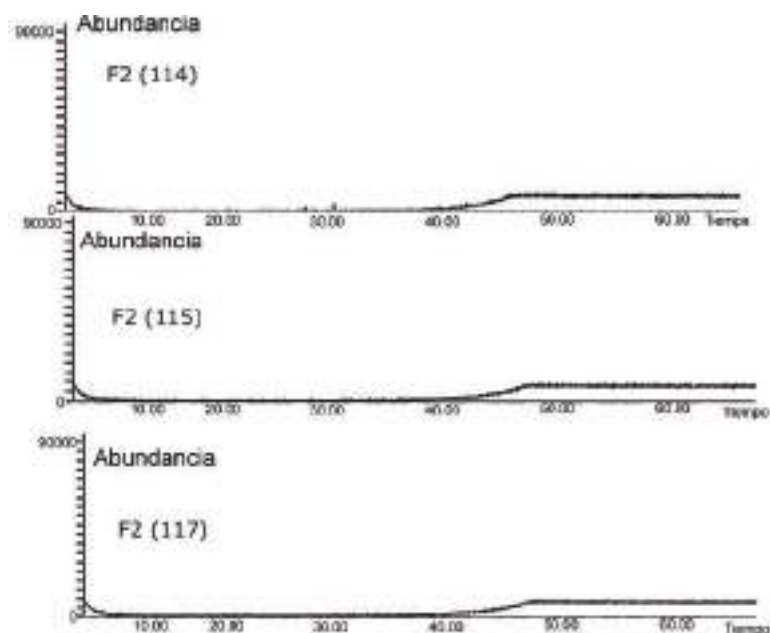


Figura 11. Perfil de hidrocarburos aromáticos en las muestras en estudio

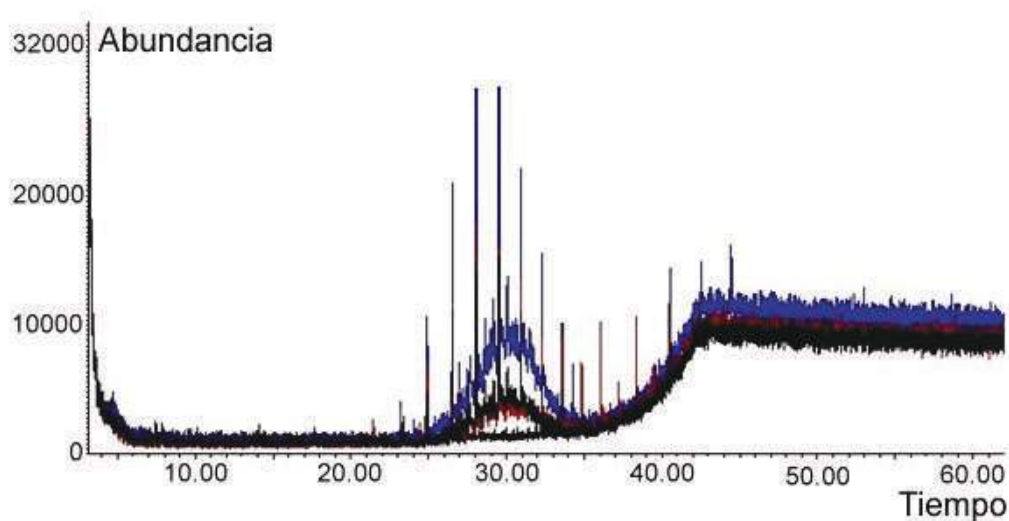


Figura 12. Solapamiento de los tres perfiles de las muestras procesadas y el blanco, que demuestra la calidad del procesamiento.

En lo relativo a la presencia de Etano en la estación G-1, se sugiere que pudiera ser, producto de procesos de descarboxilación (conversión de grupos carboxilatos a hidrocarburos simples, en este caso del ácido propiónico).

CONCLUSIONES

1. Se establece la presencia de hidrocarburos ligeros (en lo fundamental gas Metano) de naturaleza biogénica,

acumulado en la profundidad somera del área de estudio. Esto evita la continuación de las tareas exploratorias, demostrando la necesidad y validez del uso integrado de técnicas indirectas y directas en la exploración geoquímica de superficie. El hallazgo está basado en:

- Los resultados de la Pedogeoquímica (La relación V/Ni exhibe bajos valores [menor

que 4 mg/kg]).

- Los hidrocarburos formados recientemente, exhiben un alto nivel de n-alcanos de número impar.
- Se confirma que son el resultado del aporte de detritus de plantas terrígenas (predominio de n-parafinas en la región de C₂₃-C₃₃).
- Los compuestos de tipo aromático no se presentan en proporciones significativas (mucho menor que 4mg/kg).
- Ausencia total de compuestos biomarcadores (isoprenoides acíclicos y hópanos extendidos).
- Ausencia de n-parafinas por debajo de C₁₅.

2. Se corrobora la presencia del sulfuro de hidrógeno en el área. El H₂S de la probable acumulación somera, proviene de la reducción microbológica de sulfatos del agua y la biodegradación de la materia orgánica, aunque no se descarta una posible hidrólisis ácida de sulfuros metálicos, en lo particular, de hierro.

3. El valor elevado de monóxido de carbono (CO) observado en la estación G-4, puede ser producto de una combustión incompleta, dado que el área local en cuestión fue quemada recientemente.

4. El etano en trazas encontrado en la estación G-1 es producto de procesos de descarboxilación (conversión de grupos carboxilatos a hidrocarburos simples, en este caso a partir del ácido propiónico).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Centro de Investigación del Petróleo por permitir el uso de información ordinaria en esta investigación, a la Técnico Daylen Salazar, al Lic. Roberto Oropesa Rodríguez por su participación en las investigaciones analíticas y a los doctores Reinaldo Rojas Consuegra y Olga Castro Castiñeira, por la rigurosa revisión del manuscrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

Aali, I.J., 2006, Geochemistry and origin of the World's Largest Gas Field from Persin Golf. *Jour Pet Science and Engineering* 50 p 161-175

Bojes, H.K. y Pope, P.G., 2007, Characterization of EPA's 16 priority pollutant polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in tank bottom solids and associated contaminated soils at oil exploration and production sites in Texas. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 47: 288-295.

Borges, O., 2013, Los Asfaltenos y sus efectos en la producción de petróleo. Portal del Petróleo. Disponible en <https://www.portaldelpetroleo.com/2013/04/los-asfaltenos-y-sus-efectos-en-la.html>.

Chun Fan Cai, 2005, Geochemistry and origin of the World's Largest Gas and Thermochemical. Sulfate Reduction in Ordovician Carbonates in Ordos Basin. *China. Jour Pet Science and Engineering* 48 p 290-296.

Colectivo de Autores, 2010, Mapa Geológico Digital de la República de Cuba a escala 1:100 000. Inédito. Instituto de Geología y Paleontología, Servicio Geológico de Cuba, La Habana.

Colombo, J. C., Pelletier, E., Brochu, Ch., Khalil, M. y Catoggio, J.A., 1989, Determination of Hydrocarbon Sources Using n-Alkane and Polyaromatic Hydrocarbon Distribution Indexes. Case Study: Rio de La Plata Estuary, Argentina. *Environmental Science and Technology*, 23, 888-894.

Cursi, E., 2000, Compuesto de azufre en crudos, aguas y gases: Origen, medición e importancia. IAPG. Congreso de Producción Iguazu.

De Luca, G., Furesi, A., Micera, G., Panzanelli, A., Piu, P. C., Pilo, M. I., Spano, N. y Sanna, G., 2005, Nature, distribution and origin of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the sediments of Olbia harbor (Northern Sardinia, Italy). *Marine Pollution Bulletin* 50, 1223-1232.

Domínguez Sardiñas, Z., 2008, Clasificación de asfaltitas cubanas. Tesis de Doctorado. Universidad Federal de Rio de Janeiro (UFRJ).

Farrington, J. y McDowell, J., 2004, 23 de junio, Mixing Oil and Water. Tracking the sources and

- impacts of oil pollution in the marine environment. *Oceanus Magazine*. Recuperado de <https://www.whoi.edu/oceanus/feature/mixing-oil-and-water/>.
- García, A., Alexander-Valdés, H. M., Ortega-Tenorio, P. L., Frausto-Castillo, J.A.**, 2016, Distribución de hidrocarburos en columna de agua y sedimentos del Sur del Golfo de México. Reunión Anual 2016 de la Unión Geofísica Mexicana.
- Herzka, S. Z., Zaragoza, RA., Peters, E.M. y Hernández, G.**, 2020, Atlas de línea base del Golfo de México. Tomo IV Hidrocarburos. ISBN 978-607-8811-04-5.
- IMP (Instituto Mexicano del Petróleo)**, 2015, Biblioteca Visual del Petróleo (2a. ed.). México. Disponible en <https://www.gob.mx/imp/documentos/biblioteca-visual-del-petroleo>.
- Mille, G., Asia, L., Guiliano, M., Malleret, L. y Doumenq, P.**, 2007, Hydrocarbons in coastal sediments from the Mediterranean Sea (Gulf of Fos area, France). *Marine Pollution Bulletin*, 54, 566-575.
- Morrison, R. T. y Boyd, R. N.**, 1998, Química Orgánica (5ª ed.). México: Pearson Educación
- Olah, G. A., Molnár, A., Prakash, G. K. S.** (2018). *Hydrocarbon Chemistry* (3a ed.). Hoboken, EUA: John Wiley & Sons.
- Pardo Echarte, M. E., Rodríguez Morán O., Delgado López O., Jiménez de la Fuente L. y Morales González J.**, 2022, Geological-structural Mapping and Favorable Sectors for Oil and Gas in Cuba – Nonseismic Exploration Methods. DOI10.1007/978-3-030-92975-6, SpringerBriefs in Earth System Sciences. 106 pp.
- Pardo Echarte, M. E. y Rodríguez Morán O.**, 2022, Complejo Redox. Métodos no convencionales de exploración. Universidad Olmeca, Tabasco, Villahermosa. www.olmeca.edu.mx/ Primera edición: 2022. 136 pp.
- Peters, K. E. y Moldowan, J. W.**, 1993, *The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- Peters, K., Walters, C. y Moldowan, J.**, 2005, Biomarkers in archeology. En *The Biomarker Guide* (pp. 322-352). Cambridge: Cambridge University Press. DOI:10.1017/CBO9780511524868.013.
- Pirson, S.J.**, 1969, Geological, geophysical and chemical modifications of sediments in the environment of oil fields, *Heroy, W. B.*, ed., *Unconventional methods in exploration for petroleum and natural gas*: Dallas, Southern Methodist University Press, p. 159-186.
- Price, L.C.**, 1985, A critical overview of and proposed working model for hydrocarbon microseepage. US Department of the Interior Geological Survey. Open-File Report 85-271.
- Sánchez Cruz, R., Mondelo Diez, F. y otros**, 2015, Mapas Morfométricos de la República de Cuba para las escalas 1:1000000–1:50000 como apoyo a la Interpretación Geofísica. Memorias VI Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, VIII Congreso Cubano de Geofísica. Fuente: <http://www.cgiar-csi.org/data/srtm-90m-digital-elevation>.
- SGM (Servicio Geológico Mexicano)**, 2017, Petróleo en México. Consultado el 9 de Mayo de 2022 en: https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Origen-y-formacion.html.
- Shen, H.**, 2016, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Their global atmospheric emissions, transport, and lung cancer risk. Springer Theses. Springer-Verlag, Berlín.
- Villacreces Carbajal, L.A.**, 2013, Validación de la concentración de vanadio como indicador de contaminación de origen petrogénico. Tesis de Maestría Universidad de las Fuerzas Armadas de Ecuador oai: repositorio.espe.edu.ec: 21000/8064.



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