

# Geociencias UO

Órgano de difusión científica de la Universidad Olmeca

Enero-junio 2025, Volumen 15, número 1.

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



---

## Imagen de la portada / Cover image / Imagem da capa

Discordancia estratigráfica entre conglomerados basales de la Formación Bijabo del Eoceno Inferior, que yacen discordantes sobre tobas del Dominio Paleogeográfico Arco Volcánico Cretácico. Localidad poblado Zaza del Medio en la provincia de Sancti Spiritus. Ubicada en los 21° 59' 42" de latitud norte y 79° 22' 16.5" de longitud oeste. Fotografía: Dr. C. Evelio Linares Cala (bello@ceinpet.cupet.cu).

Stratigraphic unconformity between basal conglomerates of the Lower Eocene Bijabo Formation, which lie unconformably on tuffs of the Cretaceous Volcanic Arc Paleogeographic Domain. Zaza del Medio town in the province of Sancti Spiritus. Located at 21° 59' 42" N latitude and 79° 22' 16.5" W longitude. Photograph: Dr. C. Evelio Linares Cala (bello@ceinpet.cupet.cu).

Discordância estratigráfica entre conglomerados basais da Formação Bijabo do Eoceno Inferior, que se encontram discordantemente em tufo do Domínio Paleogeográfico do Arco Vulcânico Cretáceo. Cidade de Zaza del Medio, na província de Sancti Spiritus. Localizado a 21° 59' 42" de latitud norte e 79° 22' 16,5" de longitud oeste. Fotografía: Dr. C. Evelio Linares Cala (bello@ceinpet.cupet.cu).

---

### Comisión Técnica

<b>Editores</b>	Julio César Javier Quero	Tomás Ramírez Maldonado
<b>Revisores</b>	Héctor de Paz (corrector de estilo)	José Alejandro Chablé Gómez
<b>Trabajo de imágenes</b>	Brenda Ivonne Basurto Aguilar	

---

Esta publicación es el órgano de divulgación científica de la Universidad Olmeca, en ella se publican artículos originales relacionados con las Ciencias de la Tierra y sus disciplinas, con 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 journal is a scientific disclosure publication of the Olmeca University, This journal publishes original articles related to Earth Sciences and its disciplines, with an emphasis on studies and work developed in Latin America.

The *Geociencias* UO journal will only accept articles that adhere to the editorial standards,

Editorial standards are published at <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 2025, volumen 15, número 1, publicación bianual, editada por la Universidad Olmeca, A. C., Carretera federal Villahermosa - Escárcega, km 14.329 margen derecha, ranchería Coronel Traconis 3ra. sección, C. P. 86265, Centro, Tabasco, México

Villahermosa, Tabasco, México, a través de la Coordinación Editorial. Teléfono: + 52 (993) 187 9700. Ext. 1140 y 1141, correo electrónicos: [editorial@olmeca.edu.mx](mailto: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.

Este número se terminó de editar el 29 de junio de 2025.

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

D. R. © 2019. Universidad Olmeca, A. C., Carretera federal Villahermosa - Escárcega, km 14.329 margen derecha, ranchería Coronel Traconis 3ra. sección, C. P. 86265, Centro, 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  
*Raíz de sabiduría*

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

## EDITORES EN JEFE

### **Francisco García Hernández**

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

### **Heberto Ramos Rodríguez**

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

## CONSEJO EDITORIAL

### **Emilio Alberto De Ygartua Monteverde**

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

### **Beatriz Zumalacárregui de Cárdenas**

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

### **José Luis Naranjo Henao**

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

### **Luzbel Napoleón Solórzano**

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

### **Marco Antonio Maldonado Sánchez**

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

### **Nelson Esteban Salinas Rojas**

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

### **Rodiber López Méndez**

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

### **Rosa María Prol Ledesma**

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

### **Tomás Ramírez Maldonado**

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

### **Gabriel Enrique Baquedano Moreno**

Maestro en Ciencias por el Centro interdisciplinario de  
Investigación y Docencia en Educación.

### **Oswaldo Federico Donoso**

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

# Geociencias UO

Órgano de difusión científica de la Universidad Olmeca



UNIVERSIDAD OLMECA  
*Rojas de Sabiduría*

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

## COMITÉ DE ARBITRAJE

**Oswaldo Rodríguez Morán**

Presidente del Comité de Arbitraje

**Manuel Enrique Pardo Echarte**

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

**Claudio Bartolini**

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

**Oswaldo Rodríguez Morán**

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

**Jorge Luis Torres Zafra**

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

**Olga Castro Castiñeira**

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

**Norma Rodríguez Martínez**

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

**Héctor Fernández Núñez**

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

**Reinaldo Rojas Consuegra**

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

# Sumario

Presentación	<i>Emilio Alberto De Ygartua Monteverde</i>	4
Carta al editor	<i>Zulema Domínguez Sardiñas</i>	5
Optimización del proceso de exploración petrolera mediante la organización de la información en un Sistema de Información Geográfico	<i>Yunior Manuel Roca Vidal</i>	7
Extraordinario depósito clástico-caótico en la Formación Peñalver del límite Cretácico – Paleógeno en el Mariel, Cuba occidental.	<i>Reinaldo Rojas Consuegra, Gabriela Samón Isaac y Kenya E. Núñez Cambra</i>	14
Determinación de kerógenos tipo II y III a partir de la palinología en la Formación San Cayetano, Cuba occidental.	<i>Aliena Flores Nieves y Orelvis Delgado López</i>	32
Estratigrafía y evolución tafonómica del registro fósil en el depósito del paleógeno «San Vicente», en Cuba Central.	<i>Reinaldo Rojas Consuegra</i>	42
Áreas favorables para la ocurrencia de hidrocarburos a partir de la interpretación integrada de los trabajos geofísico-morfométricos en el Bloque 13, Cuba	<i>Manuel E. Pardo Echarte, Osvaldo Rodríguez Morán y Yeniley Fajardo Fernández</i>	60
Reevaluación de las formaciones del conjunto petrotectónico cobertura orogénica central, UTE Camajuaní y Remedios	<i>Greitty Espinosa Rodríguez, Evelio Linares Cala y Gabriela Caridad Mateo Vilain</i>	71



# Presentación



**E**stimados colegas, profesionales y estudiantes de las geociencias. Es un placer compartir con ustedes la decimoquinta edición de Geociencias UO, una revista semestral que se ha establecido como un pilar para el intercambio de las ideas y los avances en las disciplinas relacionadas con la exploración de recursos naturales y los estudios geocientíficos. Esta publicación refleja el esfuerzo colectivo de una comunidad comprometida con el desarrollo del conocimiento y la innovación en áreas clave para el progreso científico y tecnológico.

En esta edición destacamos una selección de artículos que ilustran tanto la diversidad como la profundidad del trabajo realizado por nuestros colaboradores. Entre los temas abordados, encontrarán:

- **Optimización del proceso de exploración petrolera mediante sistemas de información geográfica**, por Yunior Manuel Roca Vidal. Este artículo presenta un enfoque innovador para la sistematización y el análisis de datos geofísicos y geológicos mediante herramientas de SIG, mejorando la eficiencia en la toma de decisiones.
- **Depósito clástico-caótico en la formación Peñalver en Cuba occidental**, por Reinaldo Rojas Consuegra y colaboradores. Este estudio detalla un análisis geométrico y estratigráfico de un fenómeno geológico singular, aportando nuevas perspectivas sobre las formaciones asociadas al límite Cretácico-Paleógeno.
- **Determinación de kerógenos mediante palinología en la formación San Cayetano**, de Aliena Flores Nieves y Orelvis Delgado López. Este trabajo resalta el uso de técnicas microscópicas para evaluar el potencial de generación de hidrocarburos, un aspecto crucial en la exploración energética.

Estos, y otros artículos incluidos en la presente edición, abordan también temas como la estratigrafía, la tafonomía y la cartografía geológica, demostrando la amplitud y relevancia de las geociencias en el contexto actual.

La revista Geociencias UO reafirma así su compromiso con la excelencia académica y el intercambio de conocimiento, siendo un espacio donde convergen perspectivas multidisciplinarias para enfrentar los retos del presente y construir un futuro más sustentable.

Agradecemos profundamente a todos los autores, revisores y colaboradores que hacen posible esta publicación. Invitamos a nuestros lectores a explorar esta edición, reflexionar sobre los hallazgos aquí presentados y continuar enriqueciendo el diálogo académico.

Reciban un cordial saludo y nuestros mejores deseos para sus proyectos e investigaciones.

Dr. Emilio De Ygartua Monteverde  
Rector

## Carta al editor<sup>1</sup>:

A: Mtro. Julio César Javier Quero  
Responsable Editor de la Editora Olmeca

Le presento mis respetos y saludos cordiales.

Motiva la presente la necesidad de compartir con la comunidad científica algunos elementos que considero muy importantes sobre el artículo «Potencialidades de bacterias aisladas de crudo en la recuperación mejorada de petróleos pesados», de los autores Thais Hernández Gómez, Lisset Miquel González y Freya González Núñez, publicado en el Vol. 3; No. 1; en junio del 2020.

La naturaleza de los reservorios carbonatados fracturados y las características físico-químicas de los crudos pesados implican un bajo factor de recuperación (Zhang&Xiang, 2010). Quedando el petróleo retenido en microtrampas, adherido a la superficie mineral o desviado dentro de la formación rocosa, en la mencionada investigación se utilizan cepas aisladas previamente de yacimientos petroleros cubanos y se estudió la posibilidad de generar biopelículas capaces de desplazar el petróleo residual (Berrón 2016).

Con gran acierto, en el artículo ya referido los autores demuestran la ventaja de utilizar la técnica de MEOR y validan a partir de diferentes métodos como la microscopía electrónica de rayos X, la Resonancia Paramagnética Electrónica y la Espectrometría de Resonancia Magnética Nuclear. Concluyendo que realmente se produce dicha biopelícula capaz de desplazar el petróleo residual. Esto es de vital importancia dada la cantidad de petróleo que queda retenido en los reservorios sin poder ser extraído.

Le reitero mis respetos y le doy las gracias por considerar en la revista Geociencias UO mis opiniones sobre este artículo.

Dra. Cs. Ing. Zulema Domínguez Sardiñas  
Investigador Titular UCTB Geología.  
Grupo Exploración CEINPET. CUPET

13 de enero de 2025

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berrón, A.**, 2016, Evaluación de la capacidad de formación de biofilms por parte de cepas salvajes de *Listeria monocytogenes* resistentes a amonio cuaternario. Análisis, cuantificación y detección: España. Universidad Autónoma de Barcelona, Departamento de Ciencia Animal y de Alimentos, Tesis de maestría, 60pp
- Zhang, X., Xiang, T.**, 2010, Review on Microbial Enhanced Oil Recovery Technology and Development in China. *International Journal of Petroleum Science and Technology*, 4(1): 61-80.

# Optimización del proceso de exploración petrolera mediante la organización de la información en un Sistema de Información Geográfico

**Yunior Manuel Roca Vidal<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Licenciado en Geografía, Especialista I. Centro de Investigación del Petróleo (Ceinpet). Churruca, No.481, e/ Vía Blanca y Washington, Cerro, La Habana, CP 10 600. ORCID ID: 0000-0002-2539-5673. Correo E.: yunior.roca@ceinpet.cupet.cu*

## RESUMEN

Para ejecutar proyectos de exploración petrolera, se necesita gran cantidad de información geológica-geofísica, así como información complementaria. Esta información es muy variada y en la mayoría de los casos se encuentra dispersa, y dificulta la consulta, análisis y la toma de decisiones de los ejecutores. Este proyecto pretende sistematizar la información geológico-geofísica, así como información de apoyo en un sistema de información geográfica (SIG), para facilitar su consulta, integración, visualización y análisis. Para esto se creó un proyecto en el programa ArcGis en el que se insertó una base de datos geológico-geofísicos, se vectorizaron líneas sísmicas a partir de sus coordenadas y se vinculó información de sísmica y pozos a estas líneas. Como resultado se clasificaron y ordenaron 85 proyectos de exploración sísmica, a partir de las coordenadas de los levantamientos, se actualizaron los mapas de grado de estudio sísmico de los bloques exploratorios y se introdujeron al proyecto once mapas y bases cartográficas de apoyo a la exploración petrolera.

**Palabras clave:** exploración petrolera, ArcGis, sistema de información geográfica, SIG, bases de datos cartográficas.

## ABSTRACT

To carry out oil exploration projects, a large amount of complementary and geological-geophysical information is needed. This information is very varied, and in our case, it is dispersed, making it difficult for the executors to consult, analyze and make decisions. This Project purposes to organize the seismic and non-seismic information, as well as diverse oil information in a geographic information system (GIS), to simplify its consultation, integration, visualization and analysis. For this, we created a project in the ArcGis software to build a geological-geophysical database. We vectored seismic lines from their coordinates and seismic and well information was linked to these lines. As a result, we introduced 85 seismic exploration projects to the GIS, based on the coordinates of the surveys. The seismic study maps of the exploratory blocks were updated and eleven maps and cartographic bases were prepared to the project to support oil exploration.

**Keywords:** oil exploration, ArcGis, geographic information system GIS, cartographic databases.

## RESUMO

Para realizar projetos de exploração de petróleo, é necessária uma grande quantidade de informações geo-

lógico-geofísicas, além de informações complementares. Essas informações são muito variadas e, na maioria das vezes, dispersas, dificultando a consulta, a análise e a tomada de decisões dos executores. Este projeto visa sistematizar a informação geológico-geofísica, bem como diversas informações de suporte num sistema de informação geográfica (GIS), para facilitar a sua consulta, integração, visualização e análise. Para isso, foi criado um projeto no programa ArcGis no qual foi inserido um banco de dados geológico-geofísico, linhas sísmicas foram vetorizadas a partir de suas coordenadas e informações sísmicas e de poços foram vinculadas a essas linhas. Como resultado, foram clasificados e ordenados 85 projetos de prospeção sísmica, com base nas coordenadas dos levantamentos, atualizados os mapas de teores de estudo sísmico dos bloco exploratórios e introduzidos no projeto onze mapas e bases cartográficas de apoio à exploração de petróleo.

**Palavras chave:** exploração de petróleo, ArcGis, sistema de informação geográfica, GIS, bases de dados cartográficas.

## INTRODUCCIÓN

La actividad de exploración, se basa en esencia en la integración y análisis multidisciplinario de datos de diferentes fuentes: catastro multipropósito, uso del suelo, fotos aéreas, levantamientos topográficos, geomorfológicos, geológicos, geofísicos terrestres y aéreos, diferentes imágenes de satélite, datos de pozo, etc. (Quinlivan, 2000). Además, las organizaciones responsables por la exploración petrolera establecen relaciones con un elevado número de otras entidades, de las que toma o con las que tiene que compartir la información manejada.

La tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) maneja conceptos claves: integración, interacción, visualización y análisis. Los SIG son herramientas analíticas y de consulta con un enorme potencial en el apoyo en la toma de decisiones y en el modelaje de procesos, con un excelente desempeño en materia de soporte al trabajo multidisciplinario y con

un impresionante espectro de esferas de aplicación en la práctica social (Burrough and McDonnell, 1998).

A finales de los años 80 el uso de computadoras progresó rápidamente en el manejo de información cartográfica, y se afinaron muchos de los sistemas informáticos para distintas aplicaciones cartográficas.

La industria petrolera mundial, no escapó a estas innovaciones en el campo de la cartografía sistematizada, y comenzó a utilizar los hoy conocidos Sistemas de Información Geográfica, incrementado la actividad de creación, manejo e intercambio de información geoespacial, es decir, la información en la que está incluida la referencia a su localización en la superficie de la Tierra o las proximidades de esta.

El uso de los SIG y las bases de datos geoespaciales relacionadas, son herramientas que asisten a todos los sectores del ciclo de vida del petróleo: desde la exploración y producción, pasando por la gestión de oleoductos, mantenimiento y administración de activos, hasta refinación, transporte y comercialización (Rojas, 2010).

En la empresa Cuba Petróleo (CUPET) no se ha avanzado lo suficiente en el uso de los SIG, como organizadores y gestores de información. Son utilizados como herramientas por algunos especialistas, pero su uso no se ha masificado.

Uno de los pocos antecedentes de trabajo con SIG fue el desarrollo en el Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET) del Sistema Único de Exploración Petrolera (PetroGis) que tenía como objetivo fundamental crear un Servicio Corporativo integrado que permita el acceso y actualización de las diferentes bases de datos realizadas para la conservación, manipulación y análisis de los datos primarios e interpretados de la actividad de exploración, bajo una única y compatible plataforma sobre páginas WEB (Pico, 2018). En la actualidad, Cupet está inmerso en investigar y explorar nuevas áreas en el país con perspectivas gasopetrolíferas, pero en muchos casos la información se encuentra dispersa y no cartografiada, lo que dificulta su integración, procesamiento y toma de decisiones. Este problema se solucionaría con la organización de toda la información exploratoria con que se

cuenta en un SIG que permitiría, concentrar, consultar, procesar y mostrar esta información de forma eficiente y efectiva.

Por lo tanto, este trabajo tiene como objetivo general sistematizar la información geólogo-geofísica existente en una investigación, así como información petrolera diversa en un SIG, para facilitar su consulta, integración, visualización y análisis.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales utilizados fueron los siguientes:

- *Software* ArcGis ver 10.7
- Archivos de campo P190 y SPS de levantamientos sísmicos.
- Archivos survey de perforación de pozos
- Archivos JPG de procesamientos sísmicos
- Archivos JPG de cortes estratigráficos de pozo
- Registros geofísicos de perforación de pozos.

**La metodología empleada para el diseño y trabajo del proyecto SIG fue:**

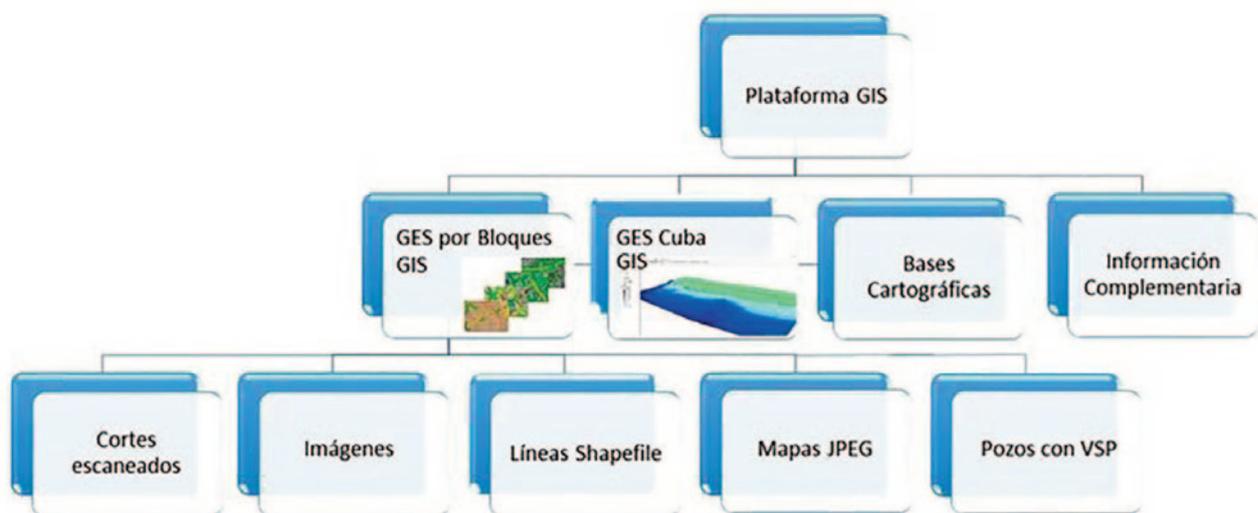
- Selección del *software* a utilizar
- Definición de la estructura de datos de la Base de Datos Geoespacial del SIG: Orga-

nización de datos, temáticas a utilizar, documentación, escalas de trabajo, tipo de almacenamiento, formatos, sistema de coordenadas

- Vectorización de líneas sísmicas y pozos a partir de sus coordenadas y vinculación de información a estas
- Formatos de salidas de datos, diseños predefinidos o personalizados de impresión de mapas
- Modelación de la información geólogo-geofísica en el SIG.

## RESULTADOS

Estructura de datos de la Base de Datos Geoespacial  
La base de datos quedó organizada dándole un orden jerárquico a la información sísmica, teniendo en cuenta que la adquisición de datos es el principal método geofísico para la exploración petrolera (**Figura 1**). En esta se introdujo información geólogo-geofísica e información cartográfica necesaria para la exploración petrolera. Los mapas y bases cartográficas contienen datos de todo el país. Estos se encuentran cartografiados en el sistema de coordenadas Cónica Conforme de Lambert y datum NAD 27 Cuba Norte.



**Figura 1.** Estructura de la Base de Datos Geoespacial.

Se enumeran el grupo de mapas y bases cartográficas que se organizaron en el SIG para servir de ayuda a la exploración petrolera, realizar análisis integrados y apoyar la toma de decisiones.

1. Inventario de pozos de la Oficina Nacional de Recursos Minerales
2. Pozos con VSP de BIP
3. Base de Bloques exploratorios
4. Base de Manifestaciones de Hidrocarburos de Cuba. (Linares *et al.*, 2011)
5. Base de Cartas Náuticas 2016
6. Base de Áreas Protegidas 2020
7. Mapa Topográfico de Cuba 1: 100 000
8. Mapa Geológico de Cuba 1: 100 000 (Colectivo de Autores 2010)
9. Mapa de anomalías de Bouguer 1: 500 000 (Prol *et al.*, 2019)
10. Mapa de las anomalías del Campo Magnético 1: 500 000 (Prol *et al.*, 2019)
11. Mapa de Topes del Basamento 1: 500 000 (Prol *et al.*, 2019)
12. Modelo Digital Batimétrico del Caribe y el Golfo de México (GEBCO).

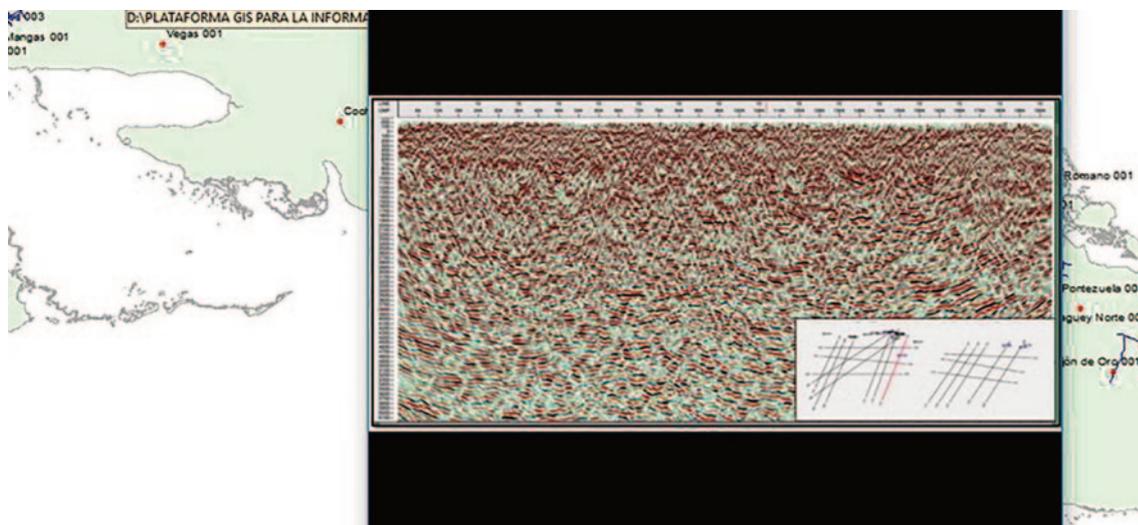
### Vectorización de líneas sísmicas y pozos

Para la vectorización de los levantamientos sísmicos,

se utilizaron los archivos P190 de los levantamientos marinos y los SPS de los terrestres, que contienen las coordenadas de los puntos de disparo. Con estos archivos se crearon las capas de puntos de disparo y con estas se construyeron las capas de líneas sísmicas que se representan en el SIG. A estos proyectos vectorizados se le crearon tablas con metadatos como la longitud de las líneas, el formato de almacenamiento y los parámetros de adquisición. También a estas líneas se les vinculó la información sísmica escaneada existente, de forma tal que el operador del SIG pueda ver el corte sísmico de la línea, con solo tocar esta (**Figura 2**).

En total se vectorizaron 85 proyectos de exploración sísmica, a partir de las coordenadas de los levantamientos y quedaron organizados de la siguiente forma:

- Dos proyectos regionales
- Diecisiete proyectos en la Zona Económica Exclusiva del Golfo de México (ZEE GM)
- Un proyecto per cápita en las Zona Económica Exclusiva Centro Oriental y Sur de Cuba
- Veintitrés proyectos en bloques exploratorios someros
- Cuarenta tres proyectos en bloques exploratorios terrestres.



**Figura 2.** Vinculación de cortes sísmico a línea vectorizada en GIS.

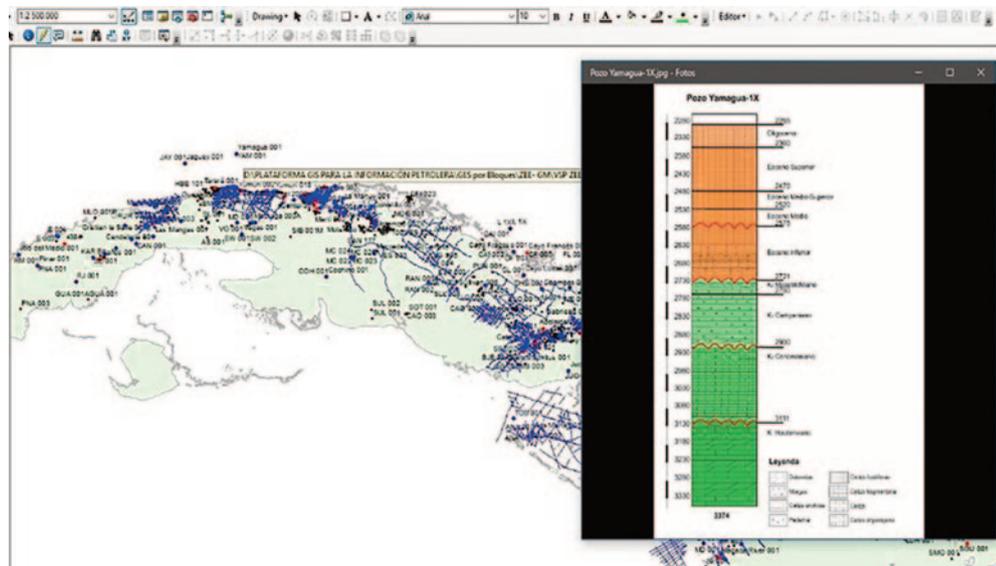
En el caso de los pozos, para su representación se utilizó el archivo Access inventario de pozos de la Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM). Este se vinculó con el SIG y en los metadatos se implantaron todos los campos de dicho inventario. De igual modo a esta capa de pozos se le vincularon los cortes estratigráficos de los pozos con que se contaba (**Figura 3**).

También, para representar la trayectoria en el caso de los pozos horizontales, se obtuvieron las coordenadas de los archivos survey de perforación. Con estos se siguió el mismo procedimiento que con las líneas sísmicas, se crearon las capas de puntos y con estas se construyeron las capas de líneas de trayectoria.

### Modelación de la información geólogo-geofísica en el SIG

Por último, después de creada la base de datos y vectorizada la información geólogo-geofísica, se confeccionaron los mapas de grado de estudio sísmico (GES). Fueron creados 32 mapas GES, en los que se representa la localización de todos los proyectos sísmicos ejecutados donde cuentan con datos (**Figura 4**). El total de datos representado en los mapas se relaciona en la siguiente tabla. (**Tabla 1**)

Con la creación de este proyecto SIG se optimizará el proceso de exploración petrolera, porque por primera vez se crea una base de datos que contiene la



**Figura 3.** Vinculación de cortes estratigráficos de pozos en GIS.

Tipo de levantamiento	Total
Sísmica 2D terrestre	16 355 km
Sísmica 2D marina	77 176 km
Sísmica 3D marina	21 598 km <sup>2</sup>
Sísmica 3D transicional	131 km <sup>2</sup>

**Tabla 1.** Total de sísmica adquirida en Cuba con datos

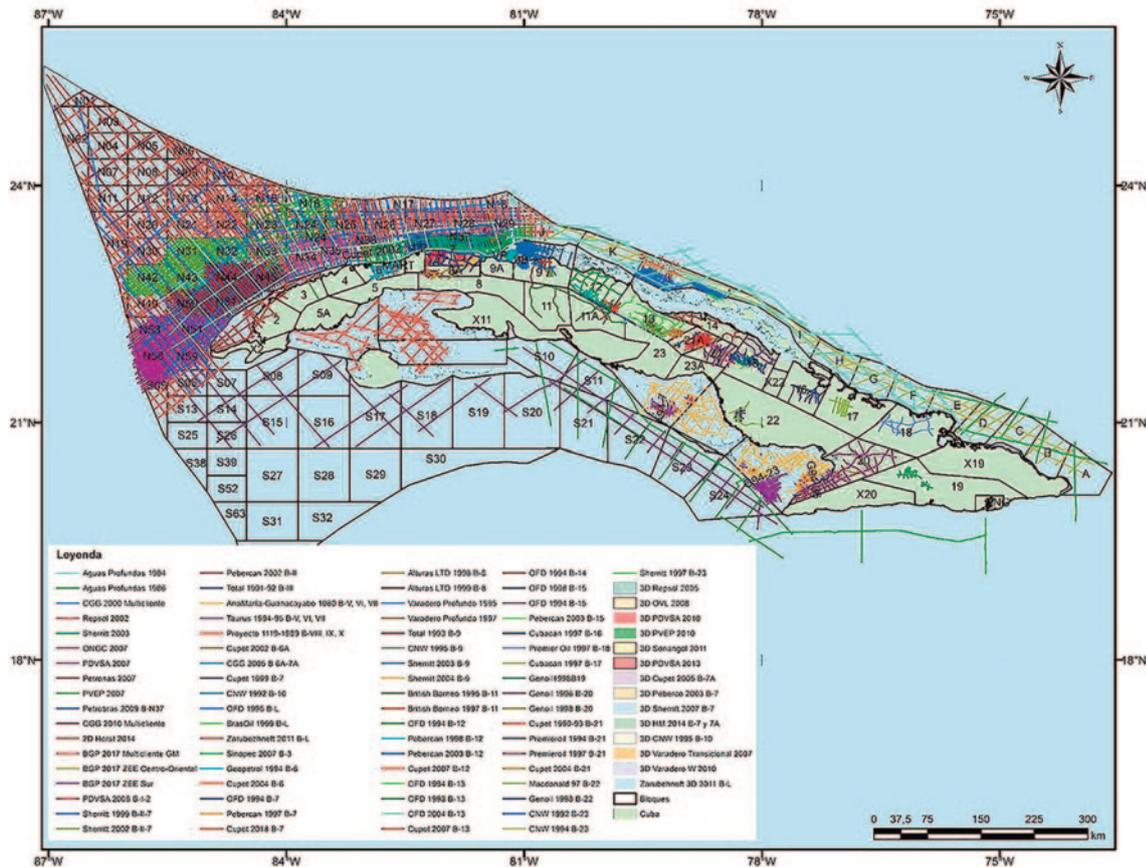


Figura 4. Gráfico de grado de estudio sísmico de Cuba.

mayor parte de la información sísmica y de pozos, georreferenciada y con información complementaria del Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET). Mediante su uso se podrán reducir los tiempos de búsqueda y consulta de información, también se realizarán análisis interdisciplinarios que facilitarán la toma de decisiones al afrontar nuevos proyectos exploratorios.

## CONCLUSIONES

1. Se creó una base de datos geoespacial que permitirá sistematizar la información geólogo-geofísica, útil para la exploración petrolera.
2. Se introdujo una plataforma SIG para facilitar la consulta, edición, el análisis integrado y mapeo de la información disponible para la exploración petrolera.

3. Se confeccionaron los mapas de grado de estudio sísmico para cada uno de los bloques exploratorios de CUPET y para Cuba.

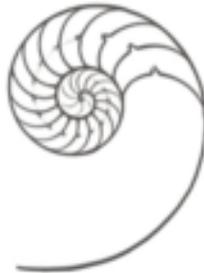
## AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Centro de Investigación del Petróleo por permitir el uso de información ordinaria en esta investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Burrough, P. A. and McDonnell, R. A.,** 1998, Principles of Geographical Information Systems, Oxford University Press, Oxford, 333 pp.
- 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

- Linares, E., García, D. E., Delgado, O., López, J. G., Strazhevich, V.**, 2011, Yacimientos y manifestaciones de hidrocarburos de la República de Cuba, Centro de Investigación del Petróleo ISBN 978-959-7117-33-9.
- Quinlivan, W. F.**, Feb 2000, Integration issues in E&P spatial data processing, The Leading Edge.
- Rojas, S.R.**, 2010, PDVSA-Exploración a gvSIG (resumen), en II Jornadas de SIG Libre, Universidad de Girona.
- Pico R, Rodríguez O, Gómez J., Ferrat D.**, 2018, Sistema único de información de la actividad de exploración (resumen), en X Congreso Internacional de Geomática. Informática.
- Prol, J. G., Rifa, M. C., García, M. C.**, 2019, Zonificación de los espesores sedimentarios en la región Golfo de México-Caribe Bahamas-Venezuela, Instituto de Geología y Paleontología, Servicio Geológico de Cuba, Mapas Geológicos 1: 500 000, 3 mapas con texto.



## Extraordinario depósito clástico-caótico en la Formación Peñalver del límite Cretácico – Paleógeno en el Mariel, Cuba occidental.

**Reinaldo Rojas Consuegra<sup>1</sup>, Gabriela Samón Isaac<sup>2</sup>, Kenya E. Núñez Cambra<sup>3</sup>.**

<sup>1</sup> *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.*

<sup>2</sup> *Ingeniera Geóloga. Instituto de Geología y Paleontología / Servicio Geológico de Cuba. IGP/SGC-MINEM. Vía Blanca 1002, Rpto. Los Ángeles, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba. C.P. 11000. ORCID ID: 0009-0004-5139-8052. Correo E: gabriela@igp.minem.cu*

<sup>3</sup> *Máster en Geología. Investigador Auxiliar. Instituto de Geología y Paleontología / Servicio Geológico de Cuba. IGP/SGC-MINEM. Vía Blanca 1002, Rpto. Los Ángeles, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba. C.P. 11000. ORCID ID: 0000-0003-2580-274X. Correo E: kenya@igp.minem.cu*

### RESUMEN

En la zona del Mariel, en Cuba occidental, se desarrolla una actividad intensa de construcción de infraestructura civil, que transforma el paisaje; aparecen frecuentes cortes del subsuelo que desaparecen con rapidez. Esta dinámica limita el acceso a tiempo para la investigación estratigráfica de detalle. El presente estudio de dos secciones estratigráficas del área, se hace basado en fotografías digitales, de cortes que estuvieron expuesto por un tiempo. Se trata de un depósito clástico-caótico muy grueso de la Formación Peñalver, una unidad del límite Cretácico – Paleógeno (K-Pg). Así, el objetivo principal es mostrar las características geométricas más destacadas de este nuevo depósito, poco conocido, rico en megabloques y bloques menores oscuros. Aunque se reconocen las limitaciones del presente enfoque, se valora de positivo el resultado que se brinda, por su aporte al aumento del conocimiento sobre estas extraordinarias secciones clástico-caótica del territorio occidental cubano. El análisis en 2D re-

conoce los rasgos geométricos de las secciones estratigráficas denominadas SE-1 y SE-2, de las cuales se contó con sus fotografías publicadas. En la SE-1, según una clasificación morfológica empírica de los megabloques (cantidad 80 unidades), resultó que el 75 % de ellos son angulosos - subangulosos y solo un 25 % son subredondeados - redondeados. Se aprecia una mezcla de bloques menores y clastos, sin una clara selección, ni por tamaño ni por forma. Se evidencia el predominio en el buzamiento de los megabloques hacia el SO (81 %) y menos al NE (19 %). Según el cálculo de las diferentes áreas (37.21 m<sup>2</sup>, es el 100 %), en la relación megabloques / matriz, se estableció una preponderancia de la matriz calcárea (aprox. 57 %) y menor para los bloques (43 %). No se evidencia una selección bien definida, aunque sí cierta gradación por partes. En los flujos de aporte individuales deducidos se manifiesta el apilamiento de los mayores bloques oscuros debajo y los menores hacia arriba, con cierta regularidad en los ángulos de buzamiento y sus direc-

---

Rojas-Consuegra, R., Samón-Isaac, G., Núñez-Cambra, K., E., 2021, Extraordinario depósito clástico-caótico en la Formación Peñalver del límite Cretácico – Paleógeno en el Mariel, Cuba occidental. : Geociencias UO. v. 15, núm. 1, junio 2025. pp. 14-31

ciones de yacencia. Esta ciclicidad determina en partes una estratificación cruzada de ángulo alto, tal vez por constituir, el rellamamiento sucesivo de paleocanales. En la SE-1 predominan el buzamiento de los bloques entre 20-40 grados del NE al SO y algunos más inclinados entre 51-60 grados; una menor cantidad buzando de SO a NE con ángulos 11-20 grados. En la SE-2 los elementos de yacencia apreciados se comportan algo diferentes, pues la mayoría exhibe ángulos de buzamiento entre la horizontal y los 50 grados en sentido NE a SO. La medición de la dirección de buzamiento aparente de forma aleatoria, de megabloques y bloques mayores, revela que tiene un predominio al SO en los dos sitios; cerca del 75 % de las mediciones en la SE-1 y más del 80 % en la SE-2. El estudio de las secciones estratigráficas del Mariel en Cuba occidental, adicionan un depósito inédito desde el punto de vista sedimentario, de tipo clástico muy grueso, a aquellos originados en el límite Cretácico-Paleógeno en la región situada al este del cráter de Chicxulub. Su formación estuvo relacionada probablemente al derrumbe de secuencias de la Formación Vía Blanca expuestas en una zona de fallas en la cuenca a cuesta (piggy-back basin) del complejo de arcos volcánicos cretácicos del borde meridional del Protocaribe. Este proceso fue inducido posiblemente por el golpe sísmico del impacto del K-Pg, donde la fracción clástica gruesa se mezclaría con los flujos gravitacionales destríticos provocados por los tsunamis, provenientes de la plataforma calcárea nerítica y que daría lugar a tan particular acumulación en el talud inferior (Miembro basal de la Formación Peñalver).

**Palabras clave:** Depósito clástico, límite Cretácico-Paleógeno, Cuba occidental

## ABSTRACT

In the Mariel area, in western Cuba, an intense activity of construction of civil infrastructure is developed, which transforms the landscape; there are frequent subsoil cuts that disappear quickly. This dynamic limits the access in time for detailed stratigraphic investigation. The present study of two stratigraphic sections of the

area is made based on digital photographs of sections that were exposed for a time. It is a very thick clastic-chaotic deposit of the Peñalver Formation, a unit of the Cretaceous-Paleogene boundary (K-Pg). Thus, the main objective is to show the most outstanding geometric characteristics of this new deposit, little known, rich in megablocks and obscure minor blocks. Although the limitations of this approach are recognized, the result provided is valued as positive, due to its contribution to increasing knowledge about these extraordinary clastic-chaotic sections of the western Cuban territory. The 2D analysis recognizes the geometric features of the stratigraphic sections called SE-1 and SE-2, of which their published photographs were available. In SE-1, according to an empirical morphological classification of megablocks (quantity 80 units), it turned out that 75 % of them are angular - subangular, and only 25 % are subrounded - rounded. A mixture of smaller blocks and clasts can be seen, without a clear selection, neither by size nor by shape. The predominance in the dip of the megablocks towards the SW (81 %) and less to the NE (19 %) is evident. According to the calculation of the different areas (37.21 m<sup>2</sup>, it is 100 %), in the megablocks / matrix ratio, a preponderance of the calcareous matrix was established (approx. 57 %) and less for the blocks (43 %). There is no evidence of a well-defined selection, although there is a certain gradation by parts. In the deduced individual input flows, the stacking of the largest dark blocks below and the smallest ones above is manifested, with a certain regularity in the dip angles and their deposit directions. This cyclicity determines in parts a high-angle cross-bedding, perhaps by constituting the successive filling of paleochannels. In SE-1, the dip of the blocks predominates between 20-40 degrees from NE to SW, and some more inclined between 51-60 degrees; a smaller number dip SW to NE at 11-20 degree angles. In SE-2 the observed reservoir elements behave somewhat differently, since most exhibit dip angles between the horizontal and 50 degrees in a NE to SW direction. The measurement of the apparent dip direction in a random way, of megablocks and larger blocks, reveals that it has a predo-

minance to the SW in the two sites: about 75 % of the measurements in SE-1 and more than 80 % in SE-2. The study of the stratigraphic sections of Mariel in western Cuba, add an unprecedented deposit from the sedimentary point of view, of a very thick clastic type, to those originated in the Cretaceous - Paleogene limit in the region located to the east of the Chicxulub crater. Its formation was probably related to the collapse of sequences of the Vía Blanca Formation exposed in a fault zone in the piggy-back basin of the Cretaceous volcanic arc complex of the southern edge of the Proto-Caribbean. This process was possibly induced by the seismic shock of the K-Pg impact, where the thick clastic fraction would mix with the detrital gravitational flows caused by the tsunamis, coming from the neritic calcareous platform, and which would give rise to such a particular accumulation in the Lower slope (Basal Member of the Peñalver Formation).

**Keywords:** Clastic deposit, Cretaceous-Paleogene boundary, western Cuba

## RESUMO

Na área de Mariel, no oeste de Cuba, desenvolve-se uma intensa atividade de construção de infraestrutura civil, que transforma a paisagem; há cortes frequentes no subsolo que desaparecem rapidamente. Essa dinâmica limita o acesso a tempo para investigação estratigráfica detalhada. O presente estudo de duas seções estratigráficas da área é feito com base em fotografias digitais de seções que ficaram expostas por um tempo. É um depósito clástico-caótico muito espesso da Formação Peñalver, uma unidade do limite Cretáceo-Paleógeno (K-Pg). Assim, o objetivo principal é mostrar as características geométricas mais marcantes deste novo depósito, pouco conhecido, rico em megablocos e obscuros blocos menores. Embora sejam reconhecidas as limitações desta abordagem, o resultado obtido é valorizado como positivo, pelo seu contributo para o conhecimento destes extraordinários troços clástico-caóticos do território ocidental cubano. A análise 2D reconhece as feições geométricas das seções estratigráficas denominadas SE-1 e SE-2, das quais estavam

disponíveis suas fotografias publicadas. No SE-1, de acordo com uma classificação morfológica empírica dos megablocos (quantidade 80 unidades), verificou-se que 75% deles são angulares-subangulares e apenas 25 % são subarredondados - arredondados. Observa-se uma mistura de blocos e clastos menores, sem uma seleção clara, nem por tamanho, nem por forma. É evidente a predominância no mergulho das megaquadras para SW (81 %) e menos para NE (19 %). De acordo com o cálculo das diferentes áreas (37.21 m<sup>2</sup>, é 100 %), na relação megablocos/matriz estabeleceu-se uma preponderância da matriz calcária (aprox. 57 %) e menor para os blocos (43 %). Não há evidências de uma seleção bem definida, embora haja certa gradação por partes. Nos fluxos de entrada individuais deduzidos, manifesta-se o empilhamento dos maiores blocos escuros abaixo e dos menores acima, com certa regularidade nos ângulos de mergulho e suas direções de depósito. Esta ciclicidade determina em parte uma estratificação cruzada de alto ângulo, talvez por constituir o preenchimento sucessivo de paleocanais. Em SE-1, o mergulho dos blocos predomina entre 20-40 graus de NE a SW, e alguns mais inclinados entre 51-60 graus; um número menor mergulha de SW para NE em ângulos de 11 a 20 graus. Em SE-2, os elementos do reservatório observados se comportam de maneira um pouco diferente, pois a maioria exhibe ângulos de mergulho entre a horizontal e 50 graus na direção NE a SW. A medição da direção do mergulho aparente de forma aleatória, de megablocos e blocos maiores, revela que há predominância para SW nos dois locais; cerca de 75 % das medições no SE-1 e mais de 80 % no SE-2. O estudo das seções estratigráficas de Mariel, no oeste de Cuba, acrescenta um depósito inédito do ponto de vista sedimentar, de tipo clástico muito espesso, àqueles originou-se no limite Cretáceo - Paleógeno na região localizada a leste da cratera Chicxulub. Sua formação provavelmente está relacionada ao colapso de sequências da Formação Vía Blanca expostas em uma zona de falha na bacia piggy-back do complexo do arco vulcânico Cretáceo da borda sul do Proto-Caribe. Este processo foi possivelmente induzido pelo choque sísmico do impacto K-Pg, onde a

fração clástica espessa se misturaria com os fluxos gravitacionais detríticos provocados pelos tsunamis, provenientes da plataforma calcária nerítica, e que dariam origem a uma acumulação tão particular no Talude Inferior (Membro Basal da Formação Peñalver).

**Palavras-chave:** Depósito clástico, fronteira Cretáceo-Paleogeno, oeste de Cuba

## INTRODUCCIÓN

En la presente investigación se estudia la sección más baja reconocida hasta el momento del miembro inferior en la Formación Peñalver (Brönnimann y Rigassi, 1963), a través de dos cortes en la región del Mariel, de provincia de Artemisa, en Cuba occidental.

En la zona del Mariel se desarrolla una intensa actividad de construcción de infraestructura civil que va transformando el paisaje, se acondicionan áreas determinadas para responder a la dinámica en la inversión que se acomete. Esta actividad impone el cambio de uso del terreno, con el empleo intenso de maquinaria pesada, lo cual conlleva a la remoción de grandes volúmenes de materiales desde las áreas altas del relieve hacia el rellenamiento en aquellas más zonas bajas. Así van apareciendo cortes del subsuelo donde queda expuesta la roca, pero que desaparecen de igual manera con rapidez, pues estos espacios son ocupados por las instalaciones proyectadas, lo que a su vez, limita el acceso a tiempo para la investigación estratigráfica de detalle.

Dada esta situación, en el presente trabajo se realiza el análisis de dos secciones estratigráficas en el área del Mariel, basado en fotografías tomadas de dos cortes expuestos temporalmente. En estas secciones estratigráficas se muestra la parte basal de la Formación Peñalver, una unidad litoestratigráfica perteneciente a los depósitos del límite Cretácico – Paleógeno (K-Pg) en región occidental de Cuba (Takayama *et al.*, 2000; Tada *et al.*, 2003). En general, esta unidad ha sido bien estudiada en la región del Mariel en varias localidades situadas al O-SO, incluido el miembro inferior, representado en ellas por depósitos clásticos parecidos, pero sin el abundante aporte de megabloques

oscuros con tales dimensiones y abundancia, como el destapado en el área del presente estudio.

Dada esta problemática y la oportunidad de acceso a las secciones estudiadas, el objetivo del presente trabajo es mostrar las características geométricas más destacadas de este nuevo depósito, poco conocido, rico en megabloques en el miembro basal de la Formación Peñalver, expuesto en dos secciones del Mariel. No obstante, se reconocen las limitaciones del presente enfoque, pero se valora de positivo el resultado que se brinda, por su aporte al aumento del conocimiento sobre estas extraordinarias secciones clástico-caótica del K-Pg para la región occidental del país.

La presente es una contribución al proyecto I+D “Unidad Clástica Compleja del límite Cretácico - Paleógeno en Cuba y su relación con la evolución geológica” (PS104LH002-025, CEINPET 6520), que dirige el Instituto de Geología y Paleontología / Servicio Geológico de Cuba.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los cortes tomados como objeto de estudio han sido secciones estratigráficas situadas en la zona económica de desarrollo del municipio Mariel, provincia Artemisa, en Cuba occidental. Esta ubicación geográfica y administrativa específica imposibilitó el acceso directo a los materiales principales, por lo que el presente estudio se limita al análisis de rasgos geométricos de las secciones denominadas 1 y 2 (SE-1 y SE-2), de las cuales se contó con sus fotografías publicadas. La fotografía digital de la sección 1 proviene del «Compendio de Geología de Cuba» de Iturralde-Vinent, ed. (2019); la fotografía de la sección 2 fue tomada por el Lic. Carlos M. Ayra Beauzay, bajada del sitio en Facebook de «Geología de Cuba», administrado por E. Castellanos Abella. La obtención de mediciones se llevó a cabo mediante el procesamiento de las fotografías digitales, para ello fueron utilizados Sistemas de Información Geográfica, como ArcGis y Surfer, además de otros programas de apoyo como el tabulador digital de Excel. Para el corte geológico SE-1 de Mariel fue desarrollado en ArcMap 10.8 el procesamiento con base en imágenes para el cálculo de áreas.

Las secciones estudiadas están situadas en un área de geología compleja (**Figura 1**), donde el complejo de los arcos volcánicos cretácicos (CAVC), se encuentra tectónicamente alóctono sobre las rocas del mar marginal de la plataforma Bahamas que, aunque no aflora, subyace en el subsuelo (Iturralde-Vinent, ed., 2019; Mapa geológico de Cuba 1: 250 000 de la ACC, 1988).

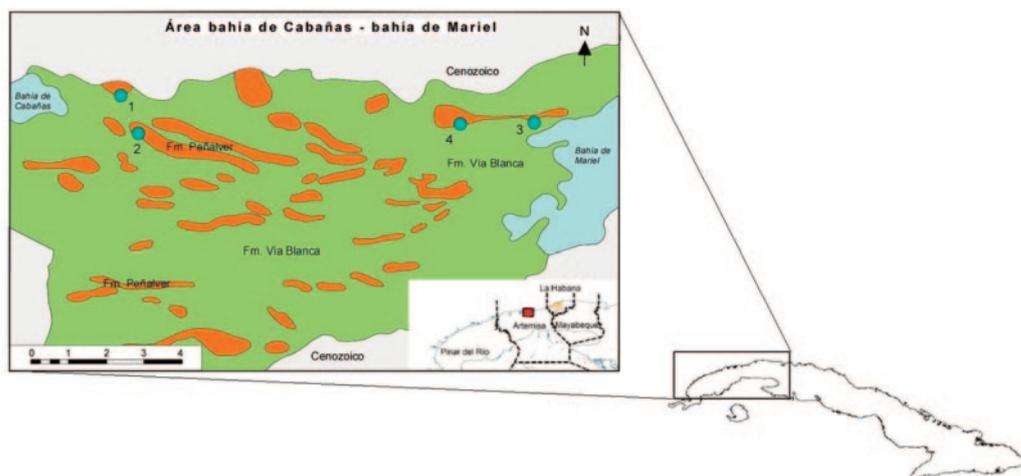
La estratigrafía regional del área de estudio se describe de la siguiente manera (**Figura 1**): La Formación Vía Blanca (Brönnimann y Rigassi, 1963) de edad Campaniano medio a Maastrichtiano tardío, representa la cobertura siliciclástica del CAVC extinto, posee un carácter flyschoides, pues su deposición ocurrió en una cuenca a cuesta (piggy-back basin). Está representada por arenisca, limolita, calcarenita, conglomerado, arcilla, margas y calizas, que se intercalan cíclicamente, con variaciones de proximal a distal, de sur a norte (Albear e Iturralde-Vinent, 1985; Díaz-Otero *et al.*, 2003; Gil-González, 2009; Iturralde-Vinent, ed., 2019).

La Formación Peñalver (Brönnimann y Rigassi, 1963) se depositó de forma discordante y erosional sobre Vía Blanca, como consecuencia de los procesos inducidos por el impacto de Chicxulub en el límite K-Pg (Hildebrand *et al.*, 1991; Takayama *et al.*, 2002;

Tada *et al.*, 2003; Goto *et al.*, 2008). Peñalver está representada por una secuencia granodecreciente, de brecha conglomerada, calcirudita, calcarenita, calcilita hasta pelita o margas calcáreas. Estas facies transicionan de base a techo y han sido divididas en varios miembros o subsecuencias (Takayama *et al.*, 2002; Tada *et al.*, 2003; Goto *et al.*, 2008; De Huelbes, ed. 2013).

Las formaciones anteriores están cubiertas en el área por diversas unidades cenozoicas y además, depósitos innominados del Cuaternario (De Huelbes, ed. 2013; Iturralde-Vinent, ed., 2019).

En el área, la Formación Peñalver buza en general hacia el NE y aparece como antiformas con las que coincide el relieve positivo y más alto, en la superficie ondulada regional. Los cuerpos de esta unidad son alargados, más o menos paralelos entre ellos y se extienden en dirección sublatitudinal, cercana al E-O o ligeramente en dirección NO-SE (**Figura 1**). Las partes bajas del relieve, con área de mayor extensión, lo ocupa la Formación Vía Blanca. Ambas unidades se deformaron tectónicamente en conjunto durante la orogenia paleogénica temprana, con plegamiento de las secuencias en partes bastante abrupto, pero también, con frecuencia, afloran en forma de monoclinales con yacencias suaves.



**Figura 1.** Mapa geológico esquemático de la región Cabañas-Mariel con destaque de las formaciones Vía Blanca (Campaniano-Maastrichtiano) y Peñalver (Daniano más temprano), basado en mapa geológico 1: 100 000 (IGP, 2010). Localidades mencionadas (punto azul): 1-Cabañas, 2 -Santa Isabel, 3 -Mariel (SE-1 y SE-2), 4 -Mariel oeste.

En la estructura geológica general, del CAVC y sus cuencas acuesta, fuero sobrecorrida y acrecionada hacia el NE, a través de fallas y planos subhorizontales de despegue, actuantes durante la orogenia. Posteriormente, en la etapa postorogénica en condiciones de distensión, estas fallas actuaron como de tipo normales entre los plegamientos, determinando la estructura actual del área, de bloques tipos host y graven. Estos procesos de diastrófismo del substrato intermedio, entre la Sierra del Rosario al oeste y el territorio La Habana-Mayabeque al este, junto a los efectos de la erosión, propiciaron el afloramiento de la sección basal de la Formación Peñalver. De este modo, esta área es posiblemente la mejor en Cuba occidental para observar los miembros inferiores de brecha y arenisca de grano grueso de esta unidad.

Es necesario señalar, que, como en el presente caso, solo fue posible trabajar en vista 2D, el análisis realizado posee un alcance limitado, pero, de todos modos, brinda un aporte al conocimiento de la parte basal de la Formación Peñalver, pues ofrece información nueva, ya que secciones como las que se muestran en el presente trabajo, no habían sido estudiadas en detalle hasta el momento en la estratigrafía regional.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según la información disponible, a continuación, se brinda el análisis detallado sobre aspectos geométricos de las secciones 1 y 2 del Mariel.

### Sección Estratigráfica no. 1

En la sección estratigráfica no. 1 (SE-1) se exhibe un depósito clástico-detrítico de grano grueso, con dimensiones del corte estimadas de unos 7 m de altura y 12 m de ancho, según cálculo basado en la estatura de la persona situada al pie del corte (**Figura 2**). Se observan grandes bloques (megabloques) con dimensiones de hasta 4 m de largo, de colores más oscuros, que destacan en la matriz de color claro. Se conoce que estos megabloques oscuros proceden de la erosión de las secuencias infrayacentes pertenecientes a la Formación Vía Blanca y que están contenidos en la matriz carbonatada de la Formación Peñalver.

Los megabloques y bloques oscuros en general, corresponden a litología menos competentes (limolita, lutita, pelita, marga y caliza arcillosa) y aunque muchos están subredondeados a redondeados, mantuvieron sus grandes dimensiones, respecto a los clastos calcáreos que conforman la matriz, que los engloba.

Se tomaron dos muestras de los megabloques en la cercana localidad Santa Isabel, situada al oeste del Mariel y donde también, aparecen abundantes bloques oscuros entre sedimentos detríticos, calcáreos claros, donde se obtuvo escasa información del lavado paleontológico realizado: *Globotruncaca* spp., *Globigerinelloides* spp., *Hedbergella* spp., radiolarios y foraminíferos bentónicos pequeños (FBP). Se puede acotar que los bloques oscuros muestreados poseen edades de Coniaciano a Maastrichtiano, además contienen microfósiles reelaborados (Fernández-López, 2000), de edades anteriores Cretácico temprano, Hauteriviano. Esta información es coherente con el registro microfósil de la Formación Vía Blanca (Takayama *et al.*, 2000; Molina *et al.*, 2000; Díaz-Otero *et al.*, 2003; Gil-González *et al.*, 2009; Arz *et al.*, 2022).

### Morfología de los megabloques

El depósito de la SE-1 muestra un aspecto general caótico. En la parte baja de la sección aparece un bloque



**Figura 2.** Afloramiento artificial (SE-1) donde se extrajo material y se llevó a cabo el acondicionamiento civil del terreno en un área del Mariel. Dirección aproximada del corte: N-S (derecha-izquierda), espesor de unos 12 m (foto Iturralde-Vinent, ed., 2019).

gigantesco, de litología oscura, de unos 4 x 2 m de tamaño, también destacan otros megabloques en el fondo claro de la matriz calcárea (**Figura 1**).

El análisis cuantitativo, según una clasificación morfológica empírica de los megabloques (cantidad: 80 unidades, **Tabla 1**), resultó que el 67.5 % de ellos son subredondeados - subangulosos. Se aprecia una mezcla de bloques menores y clastos, sin una clara selección, ni por tamaño ni por forma.

Algunos megabloques en este depósito poseen una superficie plana inferior, según el buzamiento aparente apreciado (echada), las cuales tienden a ser paralelas entre ellas, al comparar los diferentes bloques (**Figura 2**). Mientras que, las superficies opuestas o superiores tienden a ser arqueadas, elipsoidales o cóncavas. Este rasgo denota que la superficie inferior plana y rectilínea participó en los procesos de transporte y desplazamiento por deslizamiento de los megabloques, entre o sobre la matriz detrítica calcárea. En general, estos megabloques tienen aspecto tabular.

También se identifican megabloques de aspecto más redondeado a subredondeado, aunque con ligeras diferencias entre su eje largo y el transversal correspondiente. Al parecer estos bloques fueron transportados y desplazados mediante cierto rodamiento sobre o entre el flujo detrítico que los englobó (**Figuras 2 y 5**). Existen en abundancia bloques oscuros, de semejante composición que los megabloques, de menores tama-

ños relativos, con formas en general tabulares, con un eje largo claramente mayor que el transversal correspondiente, con bordes redondeados y en parte algo agudos (**Figuras 2**). Se deduce que expresan procesos de transporte de mayor duración y tal vez, con distancias recorridas más largas, lo cual provocaría un desgaste más reforzado. Los clastos de menores tamaños son relativamente limitados en cantidad respecto a los mayores y fue menor la posibilidad de su estudio, en este caso.

#### ***Yacencia de los megabloques***

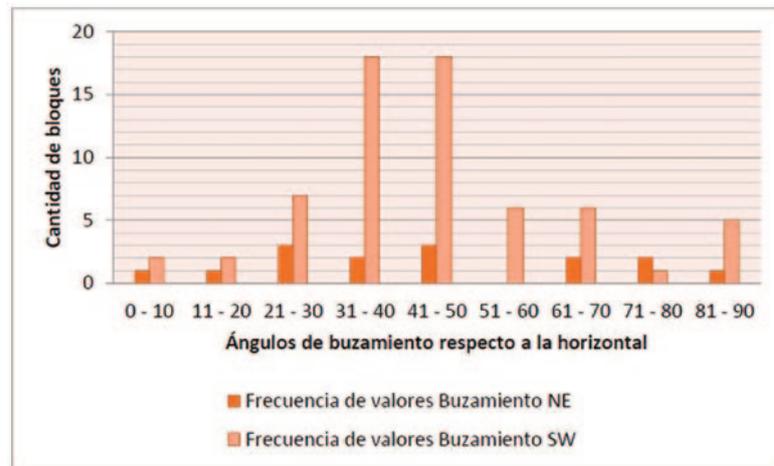
En el depósito se evidencia un predominio en el buzamiento (echada) de los megabloques al NE, con un 81.25 % y solo un 18.75 % de los echados al SO (**Figuras 2 y 3**). En cuanto a los ángulos de inclinación apreciados, los bloques muestran una tendencia principal entre los 30 - 50 grados del SO en la SE-1 (**Figura 3**). La media de unos 45 grados, que estaría cercana a la pendiente óptima de un deslizamiento gravitacional, lo que señala es la dirección y el sentido del emplazamiento de los megabloques y otros clastos en la imbricación, que tuvo lugar de forma episódica en el depósito, pero que es de esperar que los elementos de yacencia de estos cuerpos fueron alterados.

#### ***Orientación de los bloques oscuros***

Para el plano del corte vertical en la SE -1, se deduce

<b>CORTE MARIEL</b>		
<b>Frecuencia de valores</b>		
Geometría de los bloques	Bloques con buzamiento NE	Bloques con buzamiento SW
Redondeados	1	1
Subredondeados	6	12
Angulosos	3	21
Subangulosos	5	31
No. bloques	15	65
Total de bloques	80	

**Tabla 1.** Clasificación geométrica de los bloques en la SE 1.



**Figura 3.** Distribución de los ángulos aparentes del buzamiento (echada) de los bloques mayores en la SE-1.

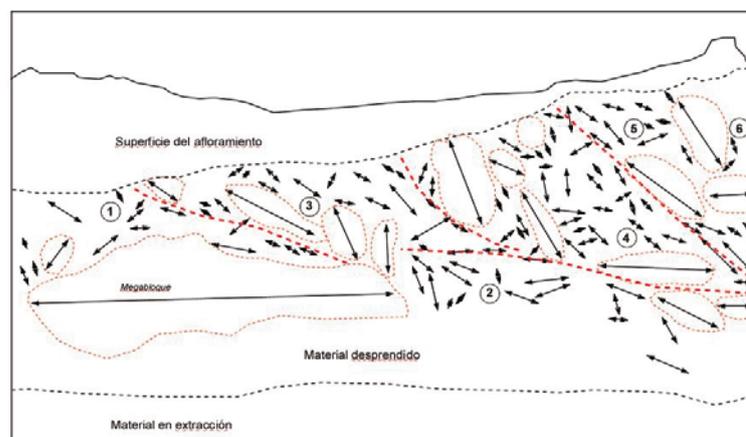
una orientación general cercana al NE-SO (**Figuras 2 - 4**). No se conoce con certeza, por no haberse podido medir, la yacencia de la unidad litoestratigráfica en el punto del análisis, aunque al parecer resulta bastante suave, si se tiene en cuenta la existencia de megabloques subhorizontales.

En la SE-1 los megabloques oscuros no evidencian una selección bien definida, aunque sí cierta gradación por partes o intervalos. En los flujos individuales deducidos se manifiesta el apilamiento de los mayores bloques oscuros debajo y los menores hacia arriba, con predominio de algunos ángulos de buzamiento y sus direcciones de yacencia (ver 1 al 6, en la **Figura 4**). Esta cierta ciclicidad, determina, en partes, una estratificación cruzada de ángulo alto, tal vez,

por constituir el rellenamiento sucesivo de los paleocanales producidos en el fondo del relleno por cada avalancha de sedimentos (**Figura 4**).

Los megabloques se sitúan en la parte baja de los aportes detríticos repetidos, donde se denota cierta gradación en cada flujo de aporte (ejemplos flujos 3-6). Según la textura de esta acumulación se deducen diferentes episodios de imbricación en la secuencia (más de seis en la imagen), ocurridos de izquierda (primeros, 1) a derecha (posteriores, 5-6), lo cual denota la acción de flujos de aporte en sentido de izquierda a derecha (SO-NE), según la ubicación geográfica actual (**Figuras 2 y 4**).

Un gran megabloque subhorizontal, situado en la base de la sucesión (izquierda, 1), funcionaría como



**Figura 4.** Esquema interpretativo de la foto en la SE-1 (**Figura 2**). Se aprecian los tamaños relativos de los megabloques, la orientación de sus ejes largos y las posibles superficies entre los episodios deposicionales.

un obstáculo al flujo detrítico, que condicionó las acumulaciones imbricadas superiores. Si se cuenta este, condicionalmente, como un flujo basal, se determinan hasta seis episodios en la acumulación de la vista 2D analizada. En la base de cada evento acumulativo y el techo del evento sucesivo inmediato, se deduce una superficie erosional-deposicional (líneas rojas discontinuas, **Figura 4**). Los planos de estas superficies tienden a aumentar su inclinación aparente de izquierda a derecha, es decir, de los primeros a los posteriores (de 1 a 6), que revela también la dirección y sentido del aporte, más posiblemente de SO a NE.

En estas últimas se asentarían los megabloques y hacia arriba con agradación, el resto de los bloques oscuros y clastos menores, todos englobados en la matriz detrítica clara menos gruesa (**Figuras 2 y 4**). En el episodio deposicional siguiente, sobre el megabloque gigante, se observa una aparente imbricación sucesiva de al menos tres megabloques separados por un espacio ocupado por la matriz, donde los ángulos de imbricación entre ellos van de menor (el primero, menos de 45 grados), a mayor muy inclinado (cerca de 70 grados) y el tercero vertical (centro de imagen, sobre el megabloque mayor). De igual manera, esta fábrica organizada no demuestra con certeza el sentido del aporte general.

En el resto de los episodios que le continuaron, en general la tendencia es a que los megabloques exhiban ángulos de yacencia más inclinados que los del basal, tendiendo a ocupar una posición cuasivertical en los últimos episodios deposicionales (a la derecha en la **Figura 4**) de la sección general.

#### **Relación bloques / matriz**

Para el afloramiento de la SE-1 de Mariel, según el cálculo de las diferentes áreas (37.21 m<sup>2</sup>, como el 100 %), la relación megabloques / matriz, se estableció que existe un predominio de la matriz calcárea (57 %), mayor que la correspondiente a los bloques medidos (43 %). Aquí los megabloques solo se apoyan unos sobre otros en ciertos puntos, separados por el detrítico calcáreo y desde este punto de vista, el depósito corresponde a una textura matriz-soportada (**Tabla 2**).

Se asume, según los datos anteriores, de los megabloques y demás bloques oscuros menores, constituidos por litologías arcillo arenosas propias de la Formación Vía Blanca, que esta unidad fue erosionada y aportó un gran volumen de materiales al flujo detrítico que conformó la matriz de la Formación Peñalver.

Relación bloques / matriz	Afloramiento	Bloques	Matriz
Área total (m <sup>2</sup> )	37,21	16,03	21,18
Por ciento	100	43,07	56,92

**Tabla 2.** Relación bloque/matriz.

#### **Secciones estratigráficas no. 2**

La sección estratigráfica no. 2 (SE-2) de Mariel (**Figura 5**), está situada en la misma área que la SE-1. Por sus características ambas secciones son muy semejantes, con ligeras diferencias, las cuales es posible apreciar a continuación.

La SE -2 está orientada en dirección aproximada NO-SE (derecha a izquierda en la foto, **Figuras 5**). En general los bloques tienen una morfología diversa, algunos megabloques posee extremos visibles redondeados a subredondeados, otros de menores tamaños tienen terminaciones más redondeadas.

En este corte no se nota una granoclasificación definida, el aspecto general es algo caótico, pero con ciertos niveles ordenados, pues los megabloques y bloques mayores exhiben una orientación dada, que marca por partes una estratificación más clara, como es hacia su extremo derecho (NO) (**Figuras 5 y 6**). Hacia el lado opuesto (SE) son menos los megabloques visibles en el plano 2D analizado, con predominio de bloques y clastos oscuros algo alargados, con formas más aguzadas en los extremos.



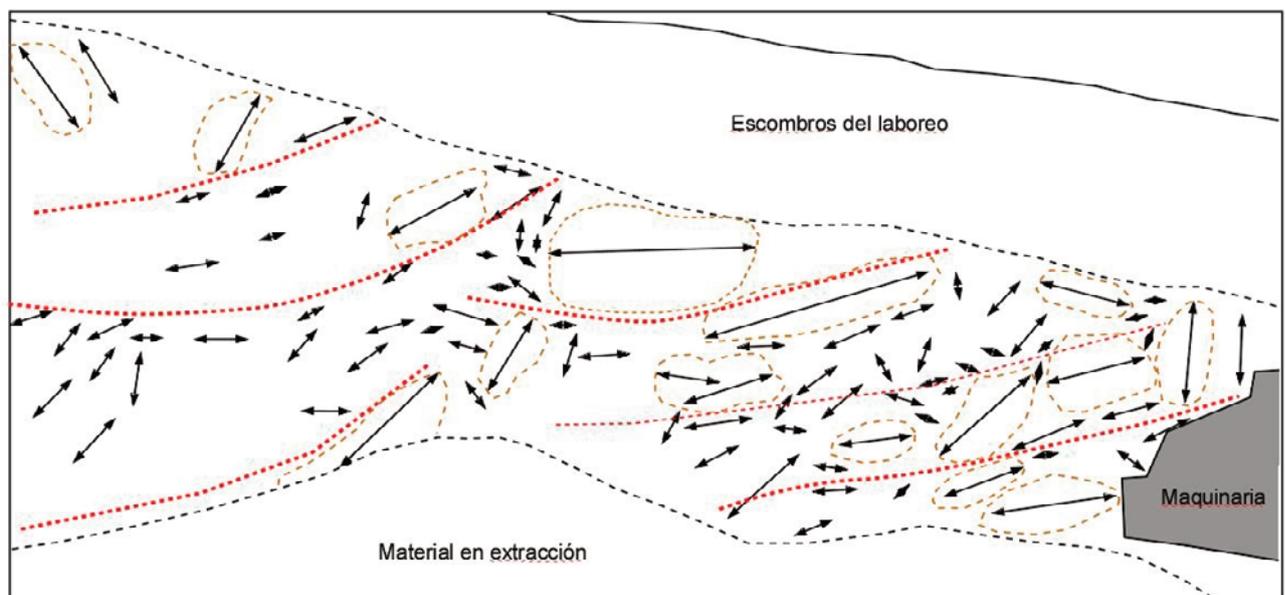
**Figura 5.** Sección estratigráfica 2, comparable a la SE-1. Posible dirección del corte NW-SE (derecha a izquierda). (foto Ayra Beauzay).

Al centro-arriba en la sección (**Figura 5**), aparece un megabloque pardo-oscuro, en posición aparente horizontal. Nótese, al lado izquierdo de este bloque pardo-oscuro, la acumulación de clastos oscuros pequeños, con cierto carácter caótico en su deposición. Sin embargo, en su lado opuesto, aparece solo la matriz detrítica clara, sin clastos oscuros. Aquí se revela el posible sentido del transporte y el emplazamiento de izquierda a derecha (en la imagen) del me-

gabloque pardo-oscuro, siguiendo el sentido del flujo general del aporte y la imbricación de los megabloques en la sucesión (S a N).

Como en la SE -1, aquí se interpretan ciertos planos o superficies de deposición, que definen una estructura formada por varios eventos en el aporte del material clástico detrítico (**Figuras 5 y 6**). Estas superficies aparecen subparalelas entre ellas, en partes con cierta convexidad hacia arriba y también cortadas entre sí. Por simple comparación en esta sección, el área ocupada por los bloques oscuros y aquella de la matriz calcárea, parecen ser bastante equivalente. En algunas partes del depósito, la matriz en la superficie inmediata bajo los bloques, parece más clara, más molida y compactada, con una probable mayor cementación (**Figuras 5**).

El predominio de los ejes largos en posiciones subhorizontales y en forma de acumulaciones episódicas, parece reflejar el proceso de rellenamiento sucesivo de canales erosionales sinsedimentarios (**Figura 5 y 6**). En este caso la sección podría corresponder a una dirección más transversal a la dirección principal de los flujos de aporte.



**Figura 6.** Esquema de la SE-2 según de la foto (según la **Figura 5**) sobre los tamaños relativos, direcciones de los ejes largos de los bloques y superficies de acumulación deducidas.

### Comparación entre las secciones

La medición de los ángulos de buzamiento aparente (echada) de forma aleatoria, de megabloques y bloques mayores, en ambas secciones estudiadas (**Tabla 3**), revela que el buzamiento de los bloques tiene un predominio a la semiesfera norte en los dos sitios: cerca del 75 % de las mediciones en la SE-1 y más del 80 % en la SE-2.

Secciones estratigráficas:	SE 1		SE 2	
	Valores de Frecuencia			
Ángulos	NE	SO	NE	SO
0 - 10	1	9	2	2
11 - 20	2	8	4	5
21 - 30	1	7	2	9
31 - 40	1	5	1	9
41 - 50	0	6	1	3
51 - 60	2	2	2	6
61 - 70	1	3	1	3
71 - 80	1	2	0	3
81 - 90	1	3	1	1
<b>Subtotales:</b>	<b>10</b>	<b>45</b>	<b>14</b>	<b>41</b>
<b>%</b>	<b>18,18</b>	<b>81,81</b>	<b>25,46</b>	<b>74,54</b>
<b>Mediciones:</b>	<b>n: 55</b>		<b>n: 55</b>	

**Tabla 3.** Ángulos de buzamientos de los megabloques (en grados).

En la SE-1 predominan el buzamiento de los bloques entre 20-40 grados al N en general y algunos más inclinados entre 51-60 grados. Una menor cantidad buzán al S con ángulos 10-30 grados. En la SE-2 los elementos de yacencia apreciados se comportan algo diferentes, pues la mayoría exhibe ángulos de buzamiento entre la horizontal y los 50 grados al N, los demás poseen escasos valores.

### Paleoambiente de sedimentación del depósito Mariel

En este caso, se generaliza que el depósito del Mariel, según las grandes dimensiones de sus bloques, la escasa selección, el bajo grado de redondeamiento y el

alto porcentaje de matriz que los contiene, se haya acumulado relativamente próximo al área fuente que originaría el material sedimentario areno-arcilloso, que conforma los megabloques y bloques, oscuros. Estas acumulaciones, se consideran a los megabloques, es un depósito matriz soportado, que fue condicionado por una actividad tectónica (en zona de pliegues y fallas) en el borde o incluso en el interior de la cuenca, tal vez, con la ocurrencia de bloques levantados, susceptibles a la erosión inducida por sismos y tsunamis (**Figuras 7 y 10**).

Ello resultaría en un fondo marino irregular, con derrumbe y desplazamiento de bloques que fueron erosionados de la formación subyacente (Formación Vía Blanca), con su adición al flujo detrítico o de grano que dio origen al miembro basal e inferior de la Formación Peñalver (Takayama *et al.*, 2000; Tada *et al.*, 2003; Goto *et al.*, 2008; Villegas-Martín y Rojas-Consuegra, 2011; Rojas-Consuegra y Núñez-Cambra, 2017).

### Contexto del área de la sedimentación del Mariel

En la estimación del paleoambiente del depósito de Mariel, se tomaron como referencias las características de la deposición valoradas en otras localidades del territorio Artemisa-Matanzas, donde han sido estudiadas en detalle otras secuencias de la Formación Peñalver (Tada *et al.*, 2003; Goto *et al.*, 2008; Arz *et al.*, 2022) (**Tabla 4**).

Por ejemplo, en el holoestratotipo la Formación Peñalver está representada por una secuencia que se depositó entre los 500 y 600 m de profundidad, correspondiente al talud superior a medio de la cuenca (Brönniman y Rigassi, 1963; Takayama *et al.*, 2000). Allí la sucesión granodecreciente concluye con calcaarenita, calcilitita y pelita calcárea (Takayama *et al.*, 2000; Tada *et al.*, 2003; Goto *et al.*, 2008).

En la parte oeste de la región de estudio, en el depósito de Santa Isabel (número 2, **Figura 1**) situado cerca de localidad de Cabañas, se observaron algunos megabloques en la parte más baja de la secuencia basal de Peñalver, también abundantes bloques y clasos oscuros hacia arriba dentro del miembro inferior

(Figura 7.C). Se considera que esta acumulación ocurrió en el talud superior de la plataforma hacia la cuenca, pues existen superficies con rellamamiento de un paleocanal y estratificación cruzada, que señala la acción de corrientes erosivas en el fondo (Tada *et al.*,

2003; Goto *et al.*, 2008). Esta sucesión granodecreciente pasa desde calcirudita a calcilutita y marga, con cierta ritmicidad entre las últimas y exhibe un considerable espesor (Takayama *et al.*, 2000; Molina *et al.*, 2000; Arz *et al.*, 2022).



**Figura 7.** Los megabloques y clastos oscuros que aparecen en el miembro basal de la Formación Peñalver provienen de la erosión de la Vía Blanca y del AVC: A – Olistolito de una secuencia arenoso-lutítica carbonosa entre calcirudita; B – Megabloque de calcarenita y lutita estratificadas entre calcirudita, ambos en la cantera Victoria I; C – niveles de bloques y clastos arenoso-lutíticos entre calcirudita en Santa Isabel; D – conglomerado polimítico en Victoria I; E – Megabloques arenoso-lutíticos entre calcirudita en el Mariel (Foto cortesía de Rolando Batista); F – Cuerpos amalgamados de calcirudita con clastos oscuros en su base en Cabaña.

Una situación comparable se deduce para el depósito de Cabañas, donde se repiten varias veces capas de conglomerado-brecha, calcirudita a calcarenita de grano grueso, que también contienen clastos oscuros como en Santa Isabel. Se observan repetidos episodios de erosión y deposición, con un ligero afinamiento del grano hacia arriba (**Figura 7.F**). No se reconoció en el campo la continuidad de la sucesión hacia arriba (Tada *et al.*, 2003; Samón-Isaac y Fernández-Casanova, 2023).

Según la geología de la región (**Figura 1**), el depósito del Mariel está situado geográficamente más hacia el norte que el resto de las principales localidades de la Formación Peñalver estudiadas en detalle en el territorio Artemisa-La Habana. Sin embargo, la presencia en los afloramientos de los peculiares miem-

bros basal e inferior de la unidad, señala un área deposicional al parecer también relativamente cercana del talud (**Figuras 7**).

Este hecho contrasta con la localidad tipo de Peñalver, situada al SE, para la que se interpreta un medio deposicional relativamente profundo. Esta ubicación muestra un entorno geotectónico diferente para ambas áreas, donde la región del Mariel-Cabañas está desplazada a través de fallas transcurrentes (rumbos NE-SO) hacia el NE, respecto a la región del SE de La Habana (canteras Victoria, Minas y localidad tipo). Estas fallas separan pliegues apretados, por lo que sus planos verticalizados actualmente, actuaron como fallas normales en la etapa distensiva final de la orogenia, formando un sistema host-graben, más acentuado en el relieve actual producto de la erosión postorogénica.



**Figura 8.** Unidad de la homogenita con nivel de estructuras de escape tipo pilares y bloque brechoso de intraclastos (debajo) en la localidad no. 4, parte de oeste del Mariel.

Características	Localidad Tipo	Cidra	Isabel	Mariel
Espesor total (m)	+180	+85	80	Decenas
Área deposicional	Cuenca abierta	Cerca del AVC	Cerca del AVC	Semejante
Unidad Inferior				
Espesor (m)	30	18	45	+10
Cantidad de capas de calcirudita	1	2	5	+7 oscilaciones
Profundidad deposicional relativa	Profunda	Somera	Somera	Somera(?)

**Tabla 4.** Variación lateral de las características sedimentológicas de la Formación Peñalver (Goto *et al.*, 2008) y en el área del Mariel.

No obstante, en la localidad no. 4 (**Figura 1**), situada al oeste del Mariel, está expuesta la homogénita o unidad superior (Miembro Medio, subunidad A de Goto *et al.*, 2008) de Peñalver, con un espectacular nivel de abundantes estructuras de escape, en particular pilares y pipas bien expresadas. También se observan intraclastos de aspecto brechoso, como proveniente de la erosión de una secuencia calcárea de talud (**Figuras 8 y 9**). Esta sección, indica que, en esta área la unidad es comparable a la sección del holoestratotipo, por lo que su profundidad de deposición fue también significativa.

#### ***Evolución del paleoambiente en la región***

Un modelo de los cambios que afectaron la región occidental en general y por ende a los depósitos del límite K-Pg, se ilustra a continuación (**Figura 9**):

9.A – Preimpacto. Al final del Maastrichtiano existió una plataforma carbonatada somera (“Pre-Peñalver”) sobre el CAVC, donde también se acumuló la Formación Vía Blanca. Esta porción de la cuenca se ubicaba más probablemente a 100-200 km al S-SO de posición la actual de la región.

9.B – Postimpacto inmediato: Por efectos del impacto de Chicxulub, como consecuencia del golpe sísmico y los tsunamis, la fisiografía (batimetrías locales) en la región sufrió drásticos cambios. En algunas áreas quedaron relictos erosivos de la plataforma somera y fue erosionada parcialmente la Formación Vía Blanca.

9.C – Postimpacto temprano: En extensas áreas la superficie erosional alcanzó mayor profundidad en el

corte, eliminando la plataforma somera, llegando a quedar expuestas las rocas del CAVC y las facies proximales de Vía Blanca también fueron obliteradas. Quedarían relictos de las secuencias de margen de la plataforma y del talud superior, como son las “calizas Bacuranao” (Brönnimann y Rigassi, 1963), con facies claramente de talud, extendidas como franja discontinua regional (Albear e Iturralde-Vinent, 1985) y que transicionan posiblemente a los depósitos de Peñalver.

Al arribar los flujos gravitacionales detríticos al talud y la parte proximal de la cuenca, provenientes de la plataforma nerítica calcárea destruida y de forma parcial del CAVC, darían lugar a los depósitos de Peñalver por efectos de los repetidos tsunamis. Estos flujos granulares erosionarían zonas falladas y la pendiente del talud, e incorporarían a su vez, los megabloques y bloques oscuros a la corriente turbidítica de alta densidad, quedando envueltos en la matriz calcárea. La acumulación del depósito mezclado debió ocurrir a una distancia cercana en relación a la fuente de aporte, una posible zona de escarpa tectónica o al pie del talud.

D – Postimpacto tardío: En condiciones del talud y la cuenca se consolida la acumulación de las diferentes secuencias faciales de la Formación Peñalver a diferentes profundidades.

Las repeticiones deducidas en el depósito del Mariel (también en Cabañas, Santa Isabel y localidad tipo) reflejan los eventos deposicionales episódicos, producidos por la llegada de diferentes flujos de granos desde la parte alta del relieve de la cuenca, debido a la

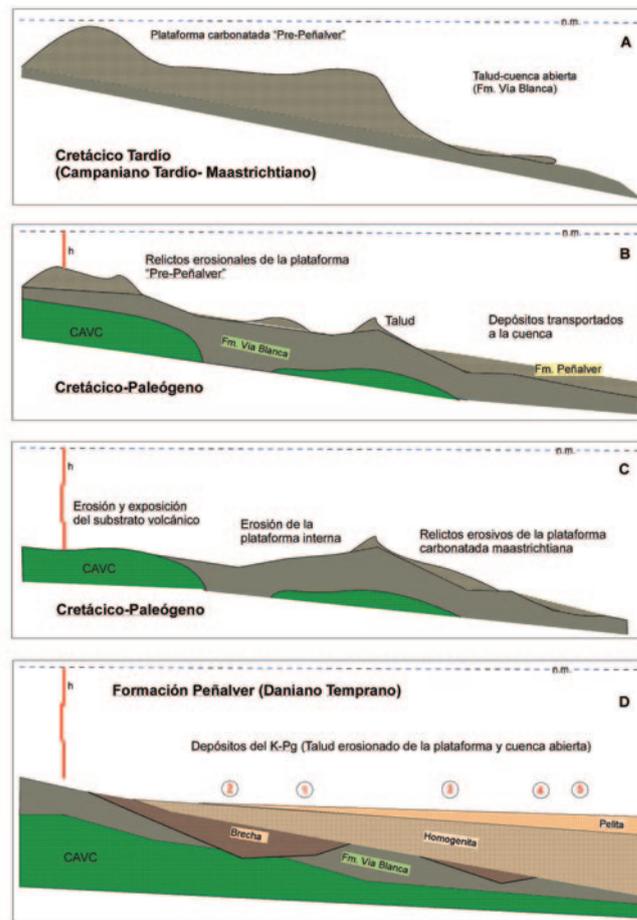
acción de los repetidos tsunamis sobre la plataforma y el talud superior. La ausencia de las facies finas en algunas de las secciones estudiadas parece deberse más a la competencia de las diferentes litologías ante la erosión.

Por otro lado, de acuerdo a este modelo (**Figura 9.D**), se sitúan las principales localidades mencionadas en el presente estudio. Como se presupone, la exposición particular del miembro basal de la Formación Peñalver en la región del Mariel (en varias áreas afloradas), ha sido posible gracias al diastrofismo sufrido por el substrato mesozoico deformado en este bloque tectónico, de esta región situada al este de Sierra del Rosario.

Cabe mencionar que, en el subsuelo en la parte más septentrional litoral del área donde aflora Peñalver, el corte del pozo Mariel Norte 1X (próximo a la locali-

dad no. 3) atravesó una secuencia granodecreciente del K-Pg arriba correspondiente a esta unidad; y una debajo que según el file del pozo ha sido asignada a la Formación Cacarajicara (Castro-Castiñeira *et al.*, 2023; Rojas-Consuegra *et al.*, 2023). A la luz del presente análisis, esta situación merece ser revisada, dada sus implicaciones en el modelo para la exploración de hidrocarburos en la región.

En general, de acuerdo a la paleogeografía deducida para el final del Cretácico tardío (Pszczolkowski, 1999; Goto *et al.*, 2008; Cobiella *et al.*, 2015; Rojas-Consuegra *et al.*, 2020; Rojas-Consuegra *et al.*, 2021), las homogenitas correspondientes a varias unidades del K-Pg en la región occidental, se mezclarían debido a las corrientes reflejadas repetidamente en las márgenes litorales del Proto-Caribe. Este es un aspecto que merece una mayor atención en indagaciones futuras.



**Figura 9.** Modelo de las condiciones paleoambientales de acumulación de las secuencias de la Formación Peñalver. 1-Cabañas, 2 -Santa Isabel, 3 -Mariel, 4 -Mariel oeste y 5 -localidad tipo.

## CONCLUSIONES

El estudio de las secciones estratigráficas del Mariel en Cuba occidental, adicionan un depósito inédito desde el punto de vista sedimentario, de tipo clástico muy grueso, a aquellos originados en el límite Cretácico – Paleógeno en la región situada al este del cráter de Chicxulub y que son conocidos como el miembro basal de brecha de la Formación Peñalver.

Su origen estuvo relacionado con el derrumbe de secuencias expuestas en la plataforma somera maastrichtiana, su talud, posiblemente también en zonas de fallas y de bloques horst dentro de la propia cuenca a cuesta (piggy-back basin) del complejo de arcos volcánicos cretácicos en el Procaribe, provocado por el golpe sísmico del impacto del K-Pg y que se mezclaría con los flujos gravitacionales detríticos inducidos por los repetidos tsunamis, resultando en una particular acumulación clástica muy gruesa en el talud inferior extendido hacia el interior de cuenca, que alcanzaría decenas de kilómetros de ancho en dirección norte-sur.

El diastrofismo provocado por procesos tectónico y erosional sufrido por la región del bloque Cabañas - Mariel, situado al este de la Sierra del Rosario, durante la evolución y consolidación del orógeno cubano en el Cenozoico temprano, conllevó a la amplia presencia actual en afloramientos, de la brecha basal de la Fm. Peñalver.

El conocimiento alcanzado sobre la sedimentogénesis de Peñalver admitió el esbozo de un modelo sedimentológico y evolutivo de la acumulación del K-Pg en la región, donde situar la posición paleobatimétrica de las localidades estudiadas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los colegas: M.Sc. Rolando Batista, Lic. Carlos M. Ayra Beauzay y Dr. C. Enrique Castellanos Abella por su ayuda con las imágenes, al M.Sc. Carlos Perera Falcón y la Lic. Karen Carballo Rosado del Laboratorio de Bioestratigrafía del Ceinpet por el análisis de muestras paleontológicas, al Dr. Cs. Osvaldo Rodríguez Morán por su apoyo editorial, a la Dra. Olga Castro Castiñeira y al Dr. Cs. Manuel Pardo Echarte, colegas del Ceinept, por sus importantes revi-

siones de la versión inicial, a los árbitros por sus útiles comentarios, al Departamento de Geociencias de la Universidad «Hermanos Saíz» de Pinar del Río por la colaboración con los alumnos atendidos en su Tesis de Grado y al Ceinpet, el entorno de nuestra labor.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albear Fránquiz, J. F. de, Iturralde Vinent, M. A.,** 1985, Estratigrafía de las provincias de La Habana, en Contribución a la Geología de las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana: Editorial Científico-Técnica, La Habana, p. 12-54.
- Arenillas, I., Arz, J.A., Grajales Nishimura, J.M., Rojas [Consuegra], R.** 2016, The Chicxulub impact is synchronous with the planktonic foraminifera mass extinction at the Cretaceous/Paleogene boundary: new evidence from the Moncada section, Cuba: Geological Acta, 14(1), 35-51.
- Arz, J.A., Arenillas, I., Grajales-Nishimura, J.M., Liesa, C.L., Soria, A.R., Rojas [Consuegra], R., Calmus, T., and Gilabert, V.,** 2022, No evidence of multiple impact scenario across the Cretaceous/Paleogene boundary based on planktic foraminiferal biochronology, in Koeberl, C., Claeys, P., and Montanari, A., eds., From the Guajira Desert to the Apennines, and from Mediterranean Microplates to the Mexican Killer Asteroid: Honoring the Career of Walter Alvarez: Geological Society of America Special Paper 557, 34 pp.
- Brönniman, P. and Rigassi, D.,** 1963, Contribution to the Geology and Paleontology of the Area of the city of La Habana, Cuba, and its Surroundings: Eclogae Geologicae Helvetiae, p. 261-280.
- Castro Castiñeira, O., Torres Díaz, M., Barcala Álvarez, R., Rojas Consuegra, R.,** 2023, Particularidades de la Formación Cacarajícara en los registros de pozo: Revista Petrociencias, 15, 24-30.
- Cobiella, J.L., Cruz Gámez. E.M., Blanco Busta-**

- mante, S., Pérez Estrada, L., Gil González, S., Pedraza-Rozón, Y.**, 2015, Cretaceous-Paleogene boundary deposits and paleogeography in the western Cuba: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 32(1), 156-176.
- De Huelbes Alonso, J. (ed.)**, 2013, *Léxico Estratigráfico de Cuba*. Instituto de Geología y Paleontología de Cuba, La Habana, (cd-rom), 573 pp.
- Díaz Otero, C., Arz, J.A., Arenillas, I., Molina, E. y Corona, C.**, 2003, Nuevas consideraciones sobre la edad de la Formación Vía Blanca, en V Congreso Cubano de Geología y Minería, La Habana: Sociedad Cubana de Geología, *Memorias*, (cd-rom).
- Díaz-Otero, C., Iturralde Vinent, M.A., García Delgado, D.**, 2000, The Cretaceous–Tertiary Boundary “Cocktail” in Western Cuba, Greater Antilles [abs.], in *Catastrophic events and mass extinctions: Impact and beyond*: Houston, Texas, Lunar and Planetary Institute, LPI Contribution No. 1053, 37-38.
- Gil-González, S., Díaz-Otero, C. y García-Delgado, D.**, 2009, Consideraciones bioestratigráficas de los depósitos siliciclásticos en Cuba en cuenca piggy back del Campaniano Maastrichtiano, en III Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, La Habana: Sociedad Cubana de Geología, *Memorias*, (cd-rom).
- Goto, K., Tada, R., Tajika, E., Iturralde-Vinent, M.A., Matsui, T., Yamamoto, S., Nakano, Y., Oji, T., Kiyokawa, S., García-Delgado, D.E., Díaz Otero, C., and Rojas Consuegra, R.**, 2008, Lateral lithological and compositional variations of the Cretaceous/Tertiary deep-sea tsunami deposits in northwestern Cuba. *Cretaceous Research*, 29(2), 217-236.
- Hildebrand, A., Penfield, G., Kring, D., Pilkington, M., Camargo, Z. and Jacobsen, S.**, 1991, Chicxulub Crater: A possible Cretaceous/Tertiary boundary impact crater on the Yucatán Peninsula, Mexico: *Geology*, 19, 867-871.
- Iturralde Vinent, M. A. (ed.)**, 2019, *Geología de Cuba y del Caribe*. Compendio: Tercera Edición, Editorial CITMATEL, La Habana, Cuba (cd-rom).
- Iturralde Vinent, M.**, 1992, A short note on the Cuban late Maastrichtian megaturbidite (an impact-derived deposit?): *Earth Planetary Science Letters*, 109, 225-228.
- Instituto de Geología y Paleontología - IGP**, 2010, *Mapa Geológico Digital de la República de Cuba a escala 1:100 000*: Instituto de Geología y Paleontología, Servicio Geológico de Cuba, La Habana, Cuba.
- Molina, E., Arenillas, J.I., Arz, J.A., Díaz Otero, C., García Delgado, D., Meléndez, A. y Rojas-Consuegra, R.**, 2002, Micropaleontología, cronoestratigrafía y sedimentología del límite Cretácico/Terciario en el NO de Cuba: *Geogaceta*, 32, 287-290.
- Pszczolkowski, A.**, 1999, The exposed passive margin of North America in western Cuba. En: P. Mann (ed.), *Caribbean sedimentary of the world*: Series Editor K.H. Hsü Elsevier, Amsterdam, 4, 93-121.
- Rojas Consuegra, R., Castro Castiñeira, O., Torres Díaz, M.**, 2023, Rasgos diagenéticos en las secuencias de la Unidad Clástica Compleja del K-Pg “Cacarajícara”, Cuba occidental, en *Geociencias’2023, Estratigrafía y Paleontología*, La Habana: Sociedad Cubana de Geología, *Memorias*, (cd-rom), GEO2-P1, 14 pp. ISSN 2307-499X
- Rojas Consuegra, R. y Núñez- Cambra, K.** 2017, Guía para la excursión al límite K-Pg en Cuba occidental, en VII Convención de Ciencias de La Tierra, La Habana: Sociedad Cubana de Geología, *Memorias*, (cd-rom), 34 pp.
- Rojas Consuegra, R.**, 2020, Capítulos Discusión (Bloque 9A), en Rojas Consuegra, R. *et al.* 2020, Informe final del Proyecto 9038 «Reevaluación estratigráfica integral de bloques para la exploración de hidrocarburos»: Ceinpet – Instituto de Geología y Paleontología / Servicio Geológico de Cuba, Archivo Técnico de Ceinpet, (cd-rom), pp. 95-114 (inédito).

- Rojas Consuegra, R., De Huelbes Alonso, J., 2021,** Supergrupo cronoestratigráfico del evento K-Pg (Daniano basal): una propuesta para el Léxico Estratigráfico de Cuba, en XIV Convención de Ciencias de La Tierra, La Habana: Sociedad Cubana de Geología, Memorias, (cd-rom), 18 pp.
- Rojas Consuegra, R., Nieves Flores, A., Delgado, O., Tamayo, Y., Rosell, Y., Pérez Peña, M. V., Torres Díaz, M., Miquel Gonzáles, L., González, O., Blanco, S., Griñan, I.B., 2021,** Esquema estratigráfico del límite Cretácico – Paleógeno (K-Pg) en el margen continental norteamericano, Cuba septentrional, en XIV Convención de Ciencias de La Tierra, La Habana: Sociedad Cubana de Geología, Memorias, (cd-rom), 19 pp.
- Samón Isaac, G. y Fernández Casanova, M.A., 2023,** Estudio sedimentológico de depósitos de la Formación Peñalver, municipio Mariel, provincia Artemisa, Cuba occidental: Pinar del Río, Cuba, Universidad Hermanos «Hnos. Saíz Montes de Oca», Tesis de Grado, 66 pp.
- Tada, R., M. A. Iturralde Vinent, T. Matsui, E. Tajika, T. Oji, K. Goto, Y. Nakano, H. Takayama, S. Yamamoto, S. Kiyokawa, K. Toyoda, D. García-Delgado, C. Díaz-Otero, and R. Rojas Consuegra, 2003,** K/T boundary deposits in the Paleo-western Caribbean basin, in C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede, eds., The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics: American Association of Petroleum Geologists Memoir, 79, 582–604.
- Takayama, H., Tada, R., Matsui, T., Iturralde Vinent, M.A., Oji, T., Tajika, E., Kiyokawa, S., Garcia, D., Okada, H., Hasegawa, T. and Toyoda, K., 2000,** Origin of the Peñalver Formation in northwestern Cuba and its relation to K/T boundary impact event: Sedimentary Geology, 135(1-4), 295-320.
- Villegas Martín, J. y Rojas Consuegra, R., 2011,** Icnogénero Teredolites en megabloques del límite Cretácico – Paleógeno (K/Pg), Formación Peñalver, Cuba occidental: Revista Paleontología Española, 46(1), 45-52.



## Determinación de kerógenos tipo II y III a partir de la palinología en la Formación San Cayetano, Cuba occidental.

**Aliena Flores Nieves <sup>1</sup>, Orelvis Delgado López <sup>2</sup>.**

<sup>1</sup> *Licenciada en Biología. Máster en Geología Petrolera. Investigador Agregado. Centro de Investigación del Petróleo, Churrucá Nro 481, El Cerro, La Habana, Cuba C.P. 12000. ORCID: 0009-0005-5672-028X. Correo E.: aliena@cein-pet.cupet.cu; alienaf2111@gmail.com.*

<sup>2</sup> *Ingeniero Geólogo, Master en Ciencias Geológicas, Investigador Agregado, Centro de Investigación del Petróleo, Churrucá No 481, El Cerro, La Habana, Cuba C.P. 12000. ORCID: 0000-0003-2499-1550. Correo E: orelvis@cein-pet.cupet.cu; orelvisdl@gmail.com.*

### RESUMEN

El tipo de kerógeno presente en una roca madre determina si la misma es generadora de gas o petróleo, así como la calidad comercial primaria de esos hidrocarburos. Estos datos ayudan a definir el potencial exploratorio de un área dada. En la actualidad, el tipo de kerógeno se determina, en su mayoría, por métodos instrumentales mediante pirólisis Rock Eval, pero estos estudios no siempre son efectivos, pues hay parámetros que el equipo no determina en muestras con alta madurez termal. Bajo el microscopio, el kerógeno se presenta como fragmentos orgánicos diseminados, algunos de ellos son estructurados, es decir, son reconocibles como fragmentos de tejidos de plantas, esporas, algas, etc., conocidos como palinomorfos. El objetivo de la presente investigación fue determinar el tipo de kerógeno en la Formación San Cayetano a partir de muestras de afloramiento en Loma Caraza, provincia Artemisa, Cuba, mediante estudios palinológicos. Se estudiaron un total de 10 muestras. Se identificó el material presente en ellas y a partir de estos, las unidades biológicas denominadas macerales. El estudio cuanti-

tativo permitió determinar tipo y prevalencia de kerógeno (tipo II-III, con prevalencia de uno sobre otro en dependencia del sitio de deposición), en una localidad donde la técnica Rock Eval no funcionó para esta tarea. Se indicó con más precisión el grado de madurez del kerógeno a partir del índice de coloración de esporas (color marrón-negro, sobremaduro y color marrón oscuro, maduro tardío) lo que se traduce en la posibilidad de generación de hidrocarburos líquidos y gaseosos.

**Palabras clave:** kerógeno, palinología, San Cayetano, macerales, madurez del kerógeno.

### ABSTRACT

The type of kerogen present in a source rock determines whether it can generate gas or oil, as well as the primary commercial quality of those hydrocarbons. These data help define the exploratory potential of a given area. Currently the type of kerogen is mainly determined by instrumental methods using Rock Eval pyrolysis, but these studies are not always effective, since there are parameters that the equipment does not

determine in samples with high thermal maturity. Under the microscope, kerogen appears as scattered organic fragments, some of them are structured, that is, they are recognizable as fragments of plant tissues, spores, algae, etc., known as palynomorphs. The objective of this research was to determine the type of kerogen in the San Cayetano Formation from outcrop samples in Loma Caraza, Artemisa province, Cuba, through palynological studies. Ten samples were studied. The material present in them was identified, and from these, the biological units called macerals. The quantitative study made it possible to determine the type and prevalence of kerogen (type II-III, with prevalence of one over the other depending on the deposition site), in a locality where the Rock Eval technique did not work for this task. The degree of maturity of the kerogen was indicated more precisely from the Spore Coloration Index (brown-black color, overmature and dark brown color, late mature) which indicates the possibility of generation of liquid and gaseous hydrocarbons.

**Key words:** kerogene, palinology, San cayetano, macerals, maturity of kerogene

## RESUMO

O tipo de querogênio presente em uma rocha geradora determina se ela pode gerar gás ou óleo, bem como a qualidade comercial primária desses hidrocarbonetos. Esses dados ajudam a definir o potencial exploratório de uma determinada área. Atualmente, o tipo de querogênio é determinado principalmente por métodos instrumentais utilizando pirólise Rock Eval, mas nem sempre esses estudos são eficazes, pois existem parâmetros que o equipamento não determina em amostras com alta maturidade térmica. Ao microscópio, o querogênio aparece como fragmentos orgânicos disseminados, alguns dos quais estruturados, ou seja, reconhecíveis como fragmentos de tecido vegetal, esporos, algas, etc., conhecidos como palinómorfs. O objetivo desta pesquisa foi determinar o tipo de querogênio na Formação San Cayetano a partir de amostras de afloramento em Loma Caraza, província de

Artemisa, Cuba, por meio de estudos palinológicos. Dez amostras foram estudadas. Foi identificado o material neles presente e, a partir destes, as unidades biológicas denominadas macerais. O estudo quantitativo permitiu determinar o tipo e prevalência de querogênio (tipo II-III, com prevalência de um sobre o outro dependendo do local de deposição), em uma localidade onde a técnica de Rock Eval não funcionou para essa tarefa. O grau de maturidade do querogênio foi indicado com maior precisão a partir do índice de coloração dos esporos (cor marrom- preto, sobremaduro e marrom escuro, maduro tardio), que se traduz na possibilidade de geração de hidrocarbonetos líquidos e gasosos.

**Palavras chave:** querogênio, palinologia, San Cayetano, macerais, maturidade do querogênio.

## INTRODUCCIÓN

La Formación San Cayetano aflora en el occidente de Cuba y ha sido atravesada por algunos pozos profundos localizados en esa región. Está compuesta por argilita, arenisca y limolita, al existir intercalaciones de conglomerado y caliza hacia el tope de la formación en la Sierra del Rosario, al rellenar las cuencas de grábenes y semi-grábenes desarrolladas durante la etapa sincrónica a la ruptura de Pangea. Los últimos estudios realizados, la sitúan entre el Jurásico Temprano-Jurásico Medio Calloviano (Flores-Nieves, 2018).

Estudios geoquímicos realizados demuestran la riqueza de materia orgánica que contienen estos sedimentos (Magnier *et al.*, 2004), pero el análisis de Carbono Orgánico Total (COT) no basta para su evaluación como roca madre. Se necesita conocer el tipo de materia orgánica presente y tipo de hidrocarburos que podría generar, por lo que determinar el tipo de kerógeno y la madurez termal es imprescindible para valorizar el potencial generador de hidrocarburos de estos sedimentos.

El kerógeno se define como la materia orgánica en las rocas sedimentarias que es insoluble en solventes orgánicos, a diferencia de la porción soluble de la materia orgánica que se denomina bitumen. Bajo el

microscopio, el kerógeno se presenta como fragmentos orgánicos diseminados. Algo de este material es estructurado, es decir, son reconocibles como fragmentos de tejidos de plantas, esporas, algas, etc. (Rocha-Mello, 1996).

La determinación de tipo de kerógeno, se realiza, generalmente, mediante información de pirólisis obtenida mediante el Rock-Eval, donde el índice de hidrogeno (IH) equivalente a la relación Hidrógeno/Carbono y el índice de oxígeno (IO), equivalente a la relación Oxígeno/Carbono, son graficados en el diagrama de Van Krevelen para determinar el tipo de kerógeno asociado a la roca madre (McCarthy *et al.*, 2011).

Pero existen otros métodos que también se emplean para la clasificación del kerógeno y su madurez termal: La petrografía orgánica y la palinología (Dem-bicki, 2009).

El objetivo de la presente investigación es determinar el tipo de kerógeno en la Formación San Cayetano a partir de muestras de afloramiento tomadas en la localidad de Loma Caraza, provincia Artemisa, Cuba Occidental, mediante estudios palinológicos. Como adición se identificó, a partir del material presente en ella, las unidades biológicas denominadas macerales y se precisó el grado de madurez del kerógeno por métodos ópticos.

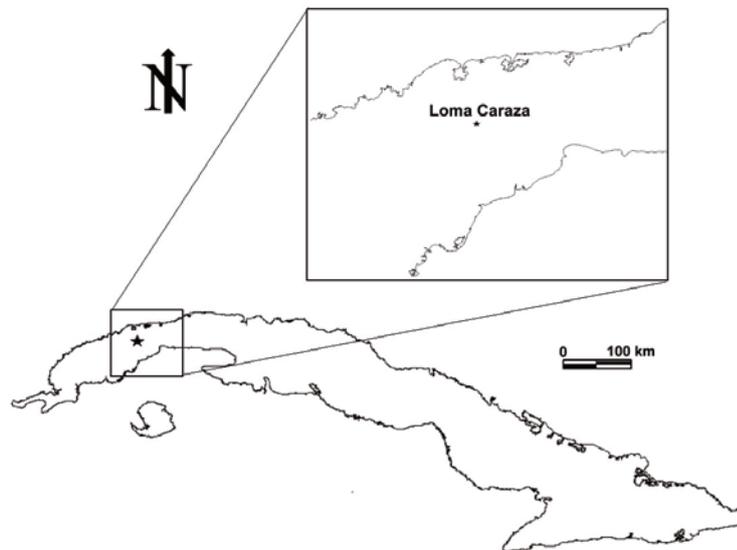
## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un muestreo detallado en el afloramiento conocido como Loma Caraza ( $22^{\circ}46'55''$ ,  $83^{\circ}06'51''$ ) (X: 282 914; Y: 329 646), donde se tomaron muestras en las litologías supuestamente fértiles con separación entre las muestras de 2 a 10 cm, desde la base del afloramiento hasta 55 cm hacia arriba (**Figura 1**).

Para el procesamiento de las muestras, 10 en total, nombradas LC, se siguió el protocolo expuesto en Flores-Nieves (2018). Fueron estudiadas dos láminas montadas por cada muestra, para un total de 20 láminas.

Se realizó el conteo total de palinomorfos por muestra, para realizar el procesamiento estadístico. Se calculó la frecuencia relativa porcentual de grupos importantes y determinantes para la identificación del tipo de kerógeno y su representatividad: esporomorfos, que agrupa polen y esporas, cutículas, restos leñosos, algas y microplancton marino, que agrupa dinoflagelados y acritarcos. El índice de coloración de esporas se utilizó para conocer el grado de madurez de la materia orgánica (Rull, 1999).

De manera general, en el afloramiento Loma Caraza se aprecia un corte muy plegado, bien estratificado y laminado en capas finas, donde existen intercalaciones de arenisca y argilita de distintos espesores (**Figura 2**).



**Figura 1.** Zona del muestreo detallado en el afloramiento conocido como Loma Caraza



**Figura 2.** Afloramiento Loma Caraza.

La **Tabla 1** muestra la ubicación de los puntos de toma de las muestras en orden estratigráfico, de abajo a arriba, desde la base del afloramiento, con la indicación de las correspondientes litologías.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El conteo total de palinomorfos en las muestras estudiadas permitió determinar la cantidad presente de los grupos identificados, útiles para la determinación del tipo de kerógeno (**Tabla 2**).

Se aprecia que los esporomorfos y los restos leñosos aparecen en todo el corte y de manera predominante, en todas las muestras estudiadas (**Tabla 2**).

En el grupo de los esporomorfos prevaleció el polen, con mayor representación del género *Classopollis*. Estos fueron agrupados en grupos (I, II, III) al seguir criterios morfológicos, debido a que no se pu-

dieron observar caracteres identificativos para cada especie. Se identificó una gran cantidad de polen monocolpado. Los restos leñosos, son el resultado de la fragmentación mecánica de la madera, producida como consecuencia de su traslado desde la fuente de aporte. En el caso del microplancton marino, su mayor representación está dada por la presencia de Acritarcos, organismos unicelulares eucariotas, de pared orgánica, con afinidad biológica incierta. Muchos son, probablemente, quistes de algas marinas (Armstrong y Brasier, 2005).

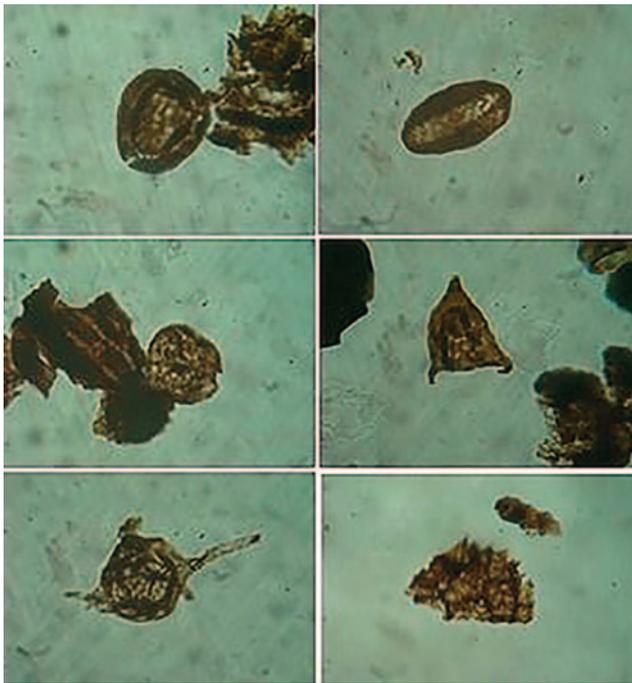
Los dinoflagelados, solo reportados en las dos últimas muestras, se corresponden con el tipo cavado. Las algas identificadas corresponden al género *Cymatiosphaera* y otros restos donde no se pudo identificar las especies. En el grupo cutículas, se agruparon todos los tipos de fibrotraqueidas identificadas (**Figura 3**).

Muestras	Ubicación desde la Litología	
	Base del afloramiento [cm]	Descripción
LC10	55	Intercalaciones de arenisca arcillosa cuarzo micácea y argilita gris
LC9	51.5	Argilita gris con numerosas concreciones
LC8	41.5	Argilita gris con numerosas concreciones
LC7	31.5	Argilita gris con numerosas concreciones
LC6	29.5	Arenisca arcillosa laminada con pequeñas concreciones y mucha materia orgánica
LC5	26.5	Argilita gris oscura
LC4	20.5	Arenisca arcillosa micácea con materia orgánica
LC3	16.5	Arenisca arcillosa micácea
LC2	14	Argilita gris oscura

**Tabla 1.** Muestras tomadas en el afloramiento de Loma Caraza.

Muestras /Grupos	Esporomorfos	Cutículas	Restos leñosos	Algas	Microplancton marino
LC10	955	38	525	0	2
LC9	845	10	478	0	7
LC8	19	11	181	0	0
LC7	1173	25	862	0	13
LC6	300	21	502	0	2
LC5	644	23	619	0	7
LC4	95	21	97	0	1
LC3	65	24	290	0	0
LC2	409	33	630	11	4
LC1	791	3	865	12	23

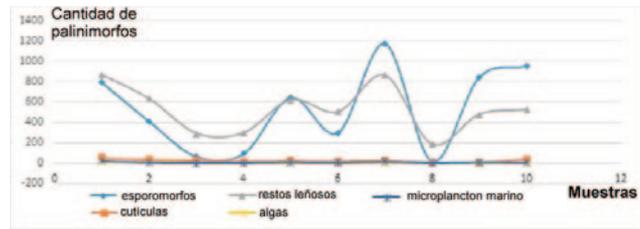
**Tabla 2.** Cantidades determinadas de grupos establecidos para la determinación del tipo de kerógeno.



**Figura 3.** Palinomorfos identificados en las muestras. De izquierda a derecha, de arriba abajo: *Classopolis* Grupo II (polen de *Cheirolepidiaceae*), *Monosulcites balmei* (polen monocarpado), *Granulatisporites* sp B (espora) junto a resto leñoso, *Veryachyum reductum* (Acritarco), dinoflagelado cavado y *Cymatiosphaera* sp, (alga prasinofita).

Desde la base del corte hasta la muestra LC4, se aprecia un predominio de restos leñosos sobre los esporomorfos, con tendencia a la disminución de ambos grupos, al ser mínima la presencia de estos últimos en LC3. De LC4 a LC8, el predominio de uno u otro grupo varía de una muestra a otra, con una tendencia al aumento de la presencia de ambos grupos, con excepción de LC8 con comportamiento similar a LC3, pero con aún, menor representatividad de estos grupos. Al final del corte se observa un predominio de esporomorfos sobre restos leñosos, con una tendencia al aumento de ambos grupos.

Con respecto a los otros grupos identificados, las algas están presentes solo en la base del corte (LC1 y LC2); las cutículas y el microplancton marino están representados en todo el corte, aunque con una pobre presencia. En el caso del microplancton marino, no está presente en las muestras LC 3 y LC8 (**Figura 4**).



**Figura 4.** Abundancia de palinomorfos en muestras estudiadas.

En un trabajo previo (Flores-Nieves, 2011), se expuso el análisis detallado, realizado en esta localidad, referente a condiciones ambientales, fuentes de aporte y sitio de deposición, al tener en cuenta las asociaciones microflorísticas determinadas, sus porcentajes relativos y diversidad. La secuencia de LC1 a LC8 parece corresponder a un frente deltaico, con posibles emersiones temporales del área de deposición (LC3 y LC8) y con aumento de la salinidad, lo que se interpreta como profundización del sitio de acumulación, hasta llegar probablemente al prodelta (LC9 y LC10).

#### Tipo de Kerógenos

De manera general, se reconocen cuatro tipos de kerógeno principales presentes en las rocas madre: Kerógeno Tipo I, alta relación Hidrógeno/Carbono (H/C) inicial y baja relación Oxígeno/Carbono (O/C) inicial, derivado en lo fundamental de materia orgánica algal depositada en ambientes lacustres, productor por lo general de petróleo; Kerógeno Tipo II, moderadamente alta relación H/C inicial y moderada relación O/C inicial, derivado de materia orgánica autóctona (algas marinas, polen, esporas, hojas, ceras, cutículas y resinas), depositada bajo condiciones reductoras en ambientes marinos, productor en lo fundamental de petróleo; Kerógeno Tipo III, baja relación H/C inicial y alta relación O/C inicial, derivado de plantas terrestres y/o materia orgánica acuática, depositadas en ambientes oxidantes, productor principalmente de gas (Tissot *et al.*, 1984 en Dembicki, 2009); Kerógeno tipo IV, producto de alteración u/y oxidación de la materia orgánica en el ambiente de sedimentación, el cual viene a ser en lo esencial, inerte, incapaz de generar

hidrocarburos (Tissot y Welte, 1984). Se ha definido otro tipo de kerógeno, el IIS, donde el azufre sustituye al oxígeno en la estructura del kerógeno lo que resulta en la generación de petróleo con alto contenido de azufre (Orr, 1986 en Dembicki, 2009) (Tabla 3).

Tipos de kerógeno	Origen	Potencial de hidrocarburo
I	Cuerpos de algas, restos de pequeñas estructuras de origen algal	Petróleo
II	Pequeñas estructuras de material planctónico fundamentalmente de origen marino, polen, esporas, cutículas de hojas y plantas herbáceas, resinas	Petróleo
III	Fragmentos y pequeñas estructuras de plantas fibrosas y leñosas	Gas
IV	Restos leñosos retrabajados y oxidados	Nada

Tabla 3. Tipos de kerógeno y origen

Al tener en cuenta los precursores orgánicos del kerógeno, se pudo determinar el tipo que producen, así como los diferentes grupos de palinomorfos identificados en este trabajo.

El cálculo de las frecuencias relativas porcentuales de cada uno de estos grupos en los niveles muestreados, permitió determinar su representatividad a lo largo del corte estudiado (Tabla 4) (Figura 5).

Muestras	Frecuencias relativas porcentuales [%]				
	Esporomorfos	Cutículas	Restos leñosos	Algas	Microplancton marino
LC10	62.8	2.5	34.54	0	0.13
LC9	63	0.75	35.67	0	0.52
LC8	9	5.21	85.78	0	0
LC7	56.4	1.21	41.58	0	0.63
LC6	36.4	2.55	60.85	0	0.24
LC5	49.8	1.78	47.87	0	0.54
LC4	22.9	5.07	71.74	0	0.24
LC3	17.2	6.33	76.52	0	0
LC2	37.6	3.04	57.96	1.01	0.37
LC1	45.4	3.04	49.6	0.69	1.32

Tabla 4. Frecuencias relativas porcentuales de grupos estudiados.

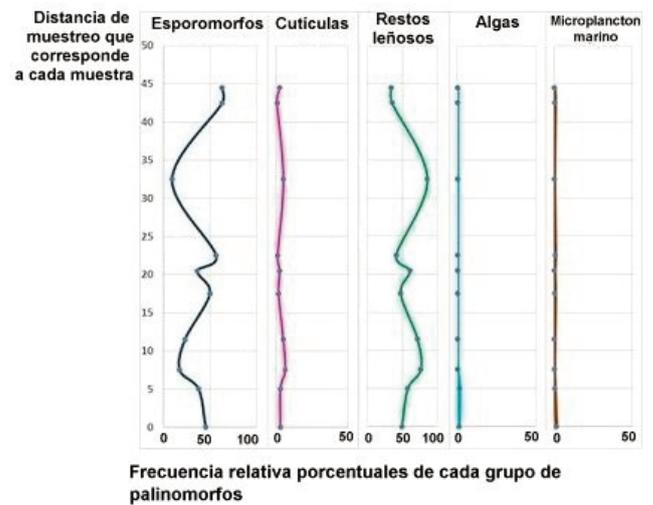


Figura 5. Frecuencias relativas porcentuales de los diferentes grupos.

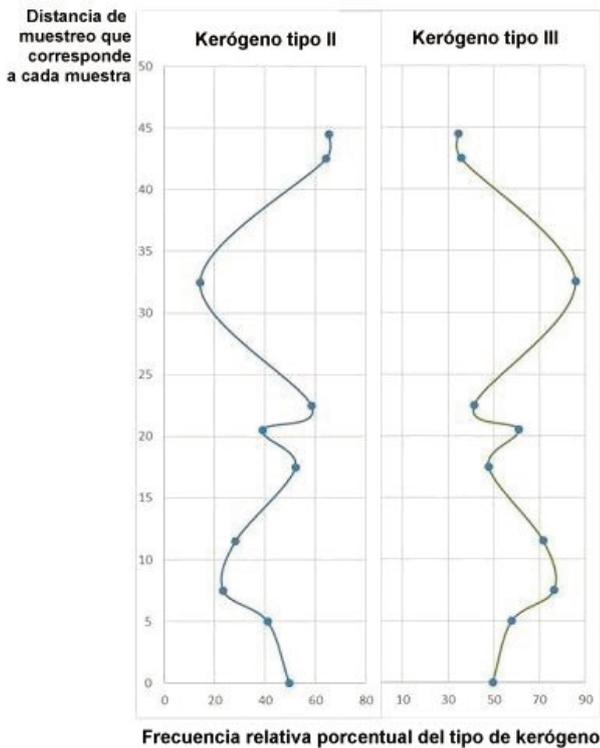
Las algas (kerógeno tipo I) poseen frecuencias relativas muy bajas, solo presentes en la parte inferior, por lo que no se tienen en cuenta en el análisis. Lo mismo sucede con el microplancton marino (kerógeno tipo II), pero en este caso, al estar presentes otros grupos que producen este tipo de kerógeno, se integra al análisis. Las frecuencias relativas del grupo cutículas (kerógeno tipo II) son mayores que las de los grupos anteriores, aunque su valor máximo es de 6.3 %.

Los grupos de los esporomorfos (kerógeno tipo II) y de los restos leñosos (kerógeno tipo III) están bien representados en cada muestra, con frecuencias variables en todo el corte.

Al realizar un análisis por tipo de kerógeno determinado, se calcularon sus frecuencias relativas, para determinar su prevalencia (Figura 6).

Existe en todo el corte analizado una mezcla de tipo de kerógeno II y III, donde desde la base del corte hasta los 20 cm de altura (LC1-LC4) prevalece el kerógeno tipo III, a continuación, hacia arriba existe una zona donde es variable la prevalencia de uno u otro tipo de kerógeno. Por encima de los 40 cm (LC9-LC10) prevalece el kerógeno tipo II.

Pocas rocas madres contienen un sólo tipo de kerógeno, al ser predominantes los tipos de kerógeno mixtos, en ocasiones, difíciles de interpretar en los diagramas de Van Krevelen (Dembicki, 2009). A menudo



**Figura 6.** Frecuencia relativa porcentual de tipo de kerógeno.

se encuentran combinaciones de dos o más tipos de kerógenos, como sucede en los sedimentos estudiados en el presente trabajo.

Hasta hace poco tiempo, el kerógeno descrito en esta formación era solo atribuido al tipo III debido a dos causas fundamentales: resultados de análisis de Rock Eval y fuente de aportes de tipo continental, no teniendo en cuenta los constituyentes ricos en hidrogeno (40 % lípidos) de polen, esporas y cutículas (Rocha Mello, 1996).

Estudios de Rock Eval realizados a muestras en Formación San Cayetano

Estudios de Rock Eval realizados con anterioridad en la misma área donde se ubica el afloramiento de estudio, en Cinco Pesos (Delgado-López, 2019) en una sección estratigráfica también perteneciente a la Formación San Cayetano, permitieron determinar el tipo de kerógeno a partir del Índice de Hidrógeno y la Temperatura Máxima de Pirólisis, obtenidos (Tabla 5, Fi-

gura. 7). Como se aprecia en el gráfico, el kerógeno determinado es de tipo III solamente, el kerógeno tipo II no se muestra, resultado no coincidente con lo determinado en el presente trabajo.

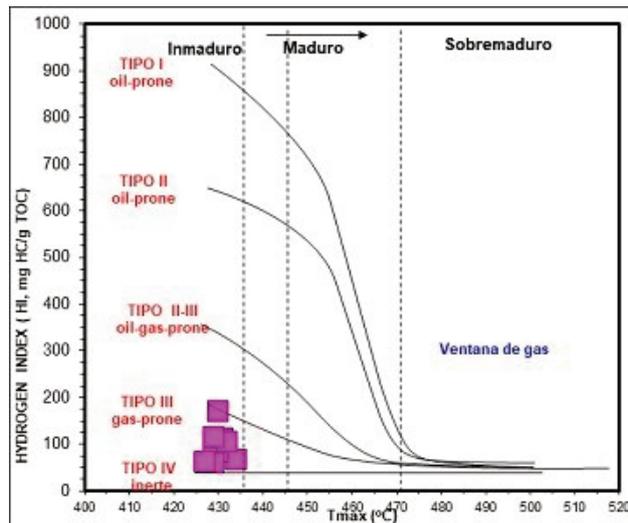
Identificación	TOC [%]	S1 [mg HC/g roca]	S2 [mg HC/g roca]	HI	Tmax [°C]
n 80	1.41	0.02	0.04	85	432
n 81	1.49	0.03	0.05	68	434
n 82	1.32	0.05	0.04	85	430
n 83	1.4	0.08	0.08	99	429
n 84	1.09	0.03	0.03	60	429
n 85	2.05	0.04	0.08	113	431
n 86	1.51	0.04	0.1	106	432
n 87	1.08	0.05	0.02	61	427
n 88	1.04	0.07	0.03	115	429
n 89	1.82	0.03	0.03	170	430

**Tabla 5.** Resultados por Rock Eval a muestras en localidad Cinco Pesos, Formación San Cayetano (Delgado-López, 2019).

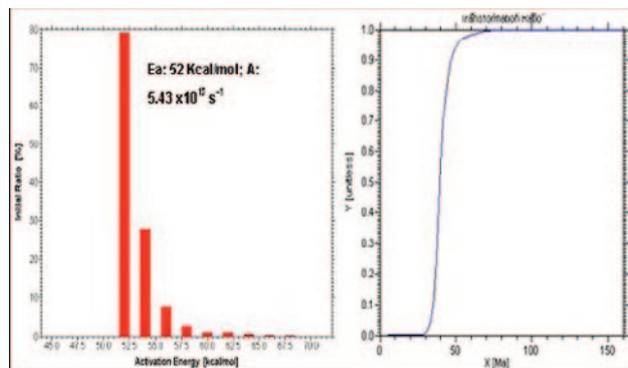
Al ser estas muestras inmaduras, único sitio encontrado en esta unidad donde la materia orgánica tiene esta condición, se pudo realizar su caracterización cinética.

La caracterización cinética (bulk kinetic) de la muestra procedente de la localidad Cinco Pesos, muestra una distribución de energías de activación unimodal, muy angosta con tendencia hacia valores altos (Figura 8), lo cual es indicativo de una homogeneidad en el tipo de enlaces presentes en la materia orgánica (en este caso material orgánico lipídico) y/o alto contenido de azufre (2.4%), que acelera el proceso de craqueo termal.

El valor promedio de energía de activación para esta muestra es 52 kcal/mol y el factor de frecuencia es 5, 43x10<sup>13</sup> s<sup>-1</sup>, al indicar la posibilidad de generación de hidrocarburos líquidos (Delgado-López, 2019), al coincidir con el tipo de kerógeno (tipo II), que generan estos hidrocarburos, en lo determinado por palinología en el presente estudio.



**Figura 7.** Tipo de kerógeno a partir de IH y Tmáx medido por Rock Eval en localidad de Cinco pesos. Fm San Cayetano. (Delgado-López, 2019).



**Figura 8.** Datos cinéticos de la muestra CCPE-053, localidad Cinco Pesos, Formación San Cayetano. Distribución de energías de activación (Kcal/mol), factor de frecuencia (-1s) y evolución de la tasa de transformación (%) con el tiempo (Ma), asumiendo una tasa de calentamiento constante de 3°C/Ma, para la muestra de roca de la localidad Cinco Pesos (TOC: 2,82%; 2,4% S; S1: 0,33 mgHC/g roca; S2: 2,45 mgHC/g roca; S3 0,11 mgCO<sub>2</sub>/g roca; Tmax: 425°C) (Delgado-López, 2019).

Debido a la mezcla de tipos de kerógeno y los efectos de la matriz mineral de la roca madre, el análisis Rock Eval es por sí sólo inadecuado para determinar el o los tipos de kerógeno presentes y por lo

tanto, el tipo de hidrocarburo que podría generar la roca madre (Dembicki, 2009). También hay que tener en cuenta, que en rocas sobremaduras el IH es menor, debido a la temperatura a que han sido sometidas; esto conduciría a determinaciones erróneas e incompletas sobre el tipo de kerógeno presente, de ahí la importancia de la utilización de palinomorfos para este tipo de análisis.

### Determinación de macerales

Una vez determinado el tipo de kerógeno, se conocerán los macerales presentes, por asociación, sin tener que recurrir a la petrografía orgánica.

Los tres grupos de macerales importantes son: vitrinita, exinita e inertinita. La vitrinita es el dominante en muchos kerógenos y es el componente principal del carbón mineral. Este se deriva casi de forma completa de tejidos leñosos de las plantas terrestres superiores, en lo fundamental ligninas, por lo que es difícil de romper y aparecerán en casi todos los ambientes deposicionales (marinos o no marinos) y es por lo general el tipo más abundante, de partículas estructuradas.

Los macerales de exinita son derivados en su mayoría de algas, esporas, polen y cutículas de hojas cerosas. No es común que existan altos porcentajes de exinita, pero si está presente, esto implica ambiente marino somero o lacustrino.

Los macerales de inertinita provienen de varias fuentes que han sido oxidados de forma intensa, antes de ser depositados y reciclados. La inertinita es un componente que suele ser de menor proporción en el kerógeno (Rocha Mello, 1996).

Algunos componentes del kerógeno son amorfos, los cuales han sido rotos de forma mecánica y/o química alterados por bacterias y hongos, al enmascarar y al destruir su estructura original. Esos componentes no son verdaderos macerales, aunque el término «amorfinita» se ha aplicado a ellos (Pérez-López *et al.*, 2020).

Los macerales presentes en las muestras estudiadas en el presente trabajo (Tabla 6) son exinita, vitrinita y kerógeno amorfo.

Tipo de kerógeno	Maceral
I	Alginita
II	Kerógeno amorfo Exinita
III	Vitrinita
IV	Inertinita

**Tabla 6.** Tipos de kerógenos y macerales (Pérez-López *et al.*, 2020)

Las partículas amorfas con probabilidad representan el material fuente de hidrocarburos más atractivo en el kerógeno, debido a que a temperaturas de modo significativo más bajas que los macerales asociados, se generan hidrocarburos. Además, un volumen de material amorfo producirá una cantidad mucho mayor de hidrocarburos, ya que su volumen ha sido reducido y su densidad incrementada en comparación con los tipos estructurados. El material amorfo tiene una mayor representación de partículas derivadas de exinita, debido a que este grupo está compuesto de partículas blandas con menos moléculas complejas, que son más fáciles de romper que los tejidos leñosos más resistentes del grupo de la vitrinita (Pérez-López *et al.*, 2020).

#### Madurez del kerógeno

El estudio palinológico, adicionalmente, permite ofrecer criterios de madurez a partir del color del polen y las esporas, utilizándose como un paleotermómetro, ya que cuando éstas han sido calentadas naturalmente, su color cambia progresivamente.

Los palinomorfos inmaduros desde el punto de vista térmico, son amarillos, pero adoptan el color anaranjado o amarillo parduzco durante la etapa de diagénesis. Con el incremento del calor, su color se vuelve marrón durante la etapa de catagénesis y luego, negro durante la etapa de metagénesis (McCarthy *et al.*, 2011).

En el presente caso de estudio, el índice de coloración de esporas para las muestras, con excepción de LC7, LC9 y LC10, es marrón/negro (**Tabla 7**). Esta coloración se relaciona con una temperatura máxima

mayor de 525 °C y valores de Reflectancia de la Vitrinita (Ro) mayores de 2, los cuales indican rocas sobremaduras.

Índice de color de esporas (ICE)	Reflectancia de la Vitrinita (Ro) [%]	Temperatura máxima (Tmax) [°C]	Nivel de madurez
Amarillo	0.2-0.5		
Anaranjado parduzco	0.5-0.6	< 435	Inmaduro
Marrón rojizo	0.6-0.65	435-445	Maduro Temprano
Marrón rojizo medio	0.65-0.9	445 – 450	Maduro Pico
Marrón oscuro	0.9-1.35	450 – 470	Maduro Tardío
	1.35-2	470-525	Sobremaduro
Marrón negro	2-3	>525	Sobremaduro

**Tabla 7.** Escala de color de los palinomorfos. Nivel de madurez (modificado de Rull, 1999).

En el caso de LC7, LC9 y LC10 el índice de coloración de esporas es marrón oscuro. Se relaciona con una temperatura máxima entre 450 °C y 525 °C y Ro de 0.9 a 2, lo que indica un nivel de madurez de tardío a sobremaduro; al señalar que estas rocas generaron petróleo y gas al tener en cuenta el tipo de kerógeno que contienen (**Figura 8**).

La utilización de palinomorfos ha permitido, con mayor precisión, conocer tipo y madurez del kerógeno en sedimentos de la Formación San Cayetano. El empleo de otros métodos más comúnmente utilizados para estos fines, no exhiben o enmascaran, por las mediciones que realizan, los resultados, pudiendo conllevar a interpretaciones y/o conclusiones incompletas, como hasta el momento, para estos sedimentos. La determinación de macerales, aun cuando se realizó por asociación con el kerógeno determinado y no se realizó estudio de prevalencia, permitió conocer las potencialidades de estos sedimentos para generar hidrocarburos. La integración de estos estudios ha permitido actualizar el potencial generador de estas rocas, de edad Jurásico Temprano-Medio, que constituyen la posible roca madre de sistemas petroleros identificados en la Zona Económica Exclusiva de Cuba en el Golfo de México.

## CONCLUSIONES

A partir de la investigación palinológica realizada a las muestras tomadas en el afloramiento Loma Caraza, perteneciente a la Formación San Cayetano, se determinó que existe una mezcla de kerógenos de tipo II y III, cuya prevalencia varía en el intervalo estudiado, a diferencia de lo establecido hasta este momento. Esta información permite considerar a estas secuencias de areniscas arcillosas y argilitas como roca madre, con potencial generador para petróleo y gas.

En la parte inferior del corte se determinó la presencia de kerógeno del tipo I, que no fue tomado en cuenta debido a su escasa representatividad. Sin embargo, en estudios futuros se debe prestar atención a su presencia. El análisis palinológico para la determinación del tipo de kerógeno y su prevalencia, se revela como una herramienta indispensable, que se complementa con los análisis de Rock eval, los cuales no garantizan por sí solos, una correcta determinación de estos. Los macerales presentes en las muestras son Exinita, Vitritina y kerógeno amorfo, al ser estas últimas el material fuente de hidrocarburos más atractivo en el kerógeno. El Índice de Coloración de Esporas permitió precisar la presencia de rocas con materia orgánica sobremadura y de rocas con un nivel de madurez tardío lo que indica que pudieron generar o generaron petróleo y gas, basado en el tipo de kerógeno que contienen.

Los resultados obtenidos avalan el uso de palinomorfos para establecer criterios sobre la calidad comercial de los hidrocarburos generados y el potencial exploratorio de un área en particular, a partir de la determinación de tipo de kerógeno y madurez termal.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Armstrong, H., Brasier., M.,** 2005, *Microfossils*: Blackwell Publishing, second edition, 296 pp.

**Delgado-López, O.,** 2019, Results of the Petroleum System method in Cuba. In: Pardo, M., Rodríguez, O. Non-seismic and non-conventional exploration methods for oil and gas in

Cuba. Springer, 2019. 1 -42.

**Dembicki, H.,** 2009, Three common source Rock Evaluation errors made by geologist during prospect or play appraisals: AAPG Bulletin, 93(3): 341–356.

**Flores-Nieves, A.,** 2011, Estudio palinológico de la Formación San Cayetano y su vinculación con la exploración de hidrocarburos: Pinar del Río, Cuba, Universidad Hermanos Saiz Montes de Oca Tesis presentada en opción al título Académico de Master, 85 pp.

**Flores-Nieves, A.,** 2018, Estudio palinológico de la Formación San Cayetano y su vinculación con la exploración de hidrocarburos: Anuario de la Sociedad Cubana de Geología, 3, 89-99.

**Magnier, C., Moretti, I., López J. O., Gaumet, F., López, J.G., Letouzey, J.,** 2004, Geoquímica caracterización de source rocks, crude oils and gases of northwest Cuba: Marine and Petroleum Geology, 21, 195-214.

**McCarthy, K. Rojas, K., Niemann, M., Palmowski, D., Peters, K., Stankiewicz, A.,** 2011. La geoquímica básica del petróleo para la evaluación de las rocas generadoras. Oilfield Review, 23(2).

**Pérez-López, A., Borrego A. G, Sierra Aragón, M., Martín-Algarra, A.,** 2020, Petrografía del Carbón. Universidad de Granada. Instituto Nacional del Carbón. CSIC. España. <https://petrografiacarbon.es/macerales/intromacerales/>

**Rocha Mello, M.,** 1996, Geoquímica para bioestratigrafos: Obra Prima Venezolana, 137pp.

**Rull, V.,** 1999, La palinología aplicada a la industria petrolera: PDVSA, Exploración y producción, Nota técnica.

**Tissot, P. B., Welte, D.,** 1984, Petroleum Formation and Occurrence: Springer Verlag Berlin Heidelberg New York. Segunda edición revisada y alargada, 699 pp.

## Estratigrafía y evolución tafonómica del registro fósil en el depósito del paleógeno «San Vicente», en Cuba Central.

**Reinaldo Rojas Consuegra<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup> *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 fósilífera estudiada es la finca «San Vicente», situada al noreste del pueblo Jicotea, en la parte oeste de la provincia Ciego de Ávila, Cuba central. En este depósito paleógeno (Formación Vertientes), la mayoría de las entidades observadas son microfósiles del Cretácico Tardío. Este caso es un ejemplo de diágnosis, entre registro estratigráfico (*sensus stricto*) versus el registro fósil cretácico reelaborado, que está contenido en niveles de brecha-conglomerados paleógenos. En un trabajo precedente se brindaron las principales características de las entidades fósiles obtenidas, que integran el particular registro en esta localidad; mientras que en la presente comunicación, se asume como objetivo principal, dar a conocer la evolución tafonómica del yacimiento en el contexto geológico del área y la región. Se utiliza la estratigrafía establecida en la literatura especializada, se agregan aquellos datos y observaciones conseguidos en los últimos trabajos sobre las formaciones geológicas Vertientes y Florida. El mapa geológico 1:100000 del área y el informe correspondiente, son fundamentales para la apreciación de la geología re-

gional. El Léxico Estratigráfico de Cuba (2013) brinda la nomenclatura y descripción básica de las unidades estratigráficas relacionadas con la localidad de estudio y su ubicación en el contexto más general. Los métodos del análisis tafonómico y los procesos tafonómicos deducidos del contexto estratigráfico, permiten relacionar la historia del desarrollo paleogeográfico del área con la evolución del registro fósil. La sección estratigráfica documentada en San Vicente exhibe una secuencia inferior turbidítica de carácter flyschoides de edad Paleoceno Temprano a Eoceno Medio, que corresponde a la Formación Vertientes. La secuencia media detrítica gruesa, brecha-conglomerática, calcárea a polimítica y la superior calcárea margosa, de edad Eoceno Medio, se asignarían a la Formación Florida. Se establecen las etapas (E1–E6) de la evolución geoambiental del sitio paleontológico y la evolución tafonómica de las entidades registradas, con basamento en la geología regional. La evolución tafonómica del depósito fósilífero y de las entidades conservadas, muestran distintas etapas en su génesis: durante el Maastrichtiano ocurrió la producción biogénica, acumulación y enterramiento de las conchas

de rudistas y otros invertebrados marinos, cuando comenzó su alteración tafonómica. En el lapso Maastrichtiano final al Paleoceno inicial tuvo lugar la emersión y meteorización (hipergénesis) de la secuencia, que implicó una remoción tafonómica y la reelaboración tafogénica.

En el Paleoceno Tardío-Eoceno Temprano se deduce una caída relativa del nivel del mar, con el transporte desde la zona litoral y nerítica, en forma de debritas y turbiditas, de las entidades reelaboradas cretácicas, que conllevó a la acumulación secundaria alóctona y alocrónica, paleogénica. La edad del intervalo brecha-conglomerático (Paleoceno Tardío-Eoceno Temprano) lo sitúa en plena etapa sinorogénica regional. Los rasgos de actividad sísmica en la secuencia estudiada, previa a la acumulación de los depósitos clásticos gruesos, revela la inestabilidad tectónica que afectó esta cuenca a cuestras. En particular, la elevación tectónica del área fuente y la caída relativa del nivel del mar, conllevó a una somerización en la acumulación sedimentaria que duraría hasta el Eoceno Medio, cuando llegó a la emersión del área; durante el Neógeno, una etapa transgresivo-regresiva pudo influir también al depósito, así la evolución tafonómica del sitio continuó hasta la actualidad.

**Palabras clave:** Evolución tafonómica, contexto geológico y paleogeográfico, Paleoceno-Eoceno, Cuba.

## ABSTRACT

The fossil locality studied is the «San Vicente» farm, located northeast of the town of Jicotea, western part of the Ciego de Ávila province, in central Cuba. In this Paleogenic deposit (Vertientes Formation), most of the entities observed are Late Cretaceous macrofossils. This case is an example of diachrony, between the stratigraphic record (*sensus stricto*) versus the reelaborated fossil record, which is contained in Paleogenic breccia-conglomerate levels. In a previous work, the main characteristics of the fossil entities obtained, which make up the particular record in this locality, were provided; while in the present communication, it is assumed as the main objective, to make known the

taphonomic evolution of the deposit in the geological context of the area and the region. The stratigraphy established in the published specialized literature is used, the data and observations obtained in the latest works on the Vertientes and Florida geological formations are added. The 1:100000 geological map of the area and the corresponding report are essential for the appreciation of the regional geology. The Stratigraphic Lexicon of Cuba (2013) provides the nomenclature and basic description of the stratigraphic units related to the study locality and their location in the more general context. The methods of taphonomic analysis and the taphonomic processes deduced from the stratigraphic context allow us to relate the history of the paleogeographic development of the area with the evolution of the fossil record. The stratigraphic section documented in San Vicente exhibits a lower turbiditic sequence of flyschoid character of Early Paleocene to Middle Eocene age, which corresponds to the Vertientes Formation. The middle coarse detrital, breccia-conglomeratic, calcareous to polymictic sequence and the upper calcareous marly sequence, of Middle Eocene age, would be assigned to the Florida Formation. The stages (E1–E6) of the geoenvironmental evolution of the paleontological site and the taphonomic evolution of the registered entities are established, based on regional geology. The taphonomic evolution of the fossiliferous deposit and of the preserved entities show different stages in its genesis: During the Maastrichtian, biogenic production, accumulation and burial of rudist shells and other marine invertebrates occurred, where their taphonomic alteration began. Emersion and weathering (hypergenesis) of the sequence took place in the Late Maastrichtian to Early Paleocene span, which involved taphonomic removal and taphogenic reelaboration. In the Late Paleocene–Early Eocene, a relative drop in sea level is deduced, with transport from the littoral and neritic zone, in the form of debrites and turbidites, of the reelaborated Cretaceous entities, which led to secondary paleogenic, allochthonous and allochronic accumulation. The age of the breccia-conglomeratic interval (Late Paleocene - Early Eocene), places it in the middle of the re-

gional synorogenic stage. The seismic activity features in the studied sequence, prior to the accumulation of thick clastic deposits, reveal the tectonic instability that affected this piggyback basin. In particular, the tectonic elevation of the source area and the relative drop in sea level led to a shallowing of the sedimentary accumulation, which would last until the Middle Eocene, when the emersion of the area reached; during the Neogene a transgressive-regressive stage could have affected the deposit. Taphonomic evolution at the site continued to the present.

**Keywords:** Taphonomic evolution, geological y paleogeographic context, Paleocene-Eocene, Cuba.

## RESUMO

A localidade fossilífera estudada é a fazenda San Vicente, localizada a nordeste da cidade de Jicotea, parte ocidental da província de Ciego de Ávila, no centro de Cuba. Neste depósito paleogênico, a maioria das entidades observadas são microfósseis do Cretáceo Superior. Este caso é um exemplo de diágronia, entre o registro estratigráfico (*sensus stricto*) versus o registro fóssil retrabalhado, que está contido em níveis de conglomerado brecha-Paleogeno. Em trabalho anterior, foram fornecidas as principais características das entidades fósseis obtidas, que compõem o registro particular nesta localidade; enquanto na presente comunicação assume-se como principal objetivo, dar a conhecer a evolução tafonômica do depósito no contexto geológico da região. Utiliza-se a estratigrafia estabelecida na literatura especializada publicada, somando aqueles dados e observações obtidos nos últimos trabalhos, sobre as formações geológicas Vertientes e Flórida. O mapa geológico 1:100 000 da área e o relatório correspondente são fundamentais para a apreciação da geologia regional. O Léxico Estratigráfico de Cuba (2013) fornece a nomenclatura e descrição básica das unidades estratigráficas relacionadas à localidade de estudo e sua localização no contexto regional. Os métodos de análise tafonômica e os processos tafonômicos deduzidos do contexto estratigráfico permitem relacionar a história do desenvolvimento paleogeográfico da área com a evo-

lução do registro fóssil. A seção estratigráfica documentada em San Vicente exhibe uma seqüência turbidítica mais baixa de caráter flyschoid do Paleoceno Inferior ao Eoceno Médio, que corresponde à Formação Vertientes. A seqüência detrítica grosseira média, conglomerática-brechada, calcária a polimítica, e a margosa calcária superior, do Eoceno Médio, seriam atribuídas à Formação Florida. São estabelecidos os estágios (E1 – E6) da evolução geoambiental do sítio paleontológico e a evolução tafonômica das entidades cadastradas, com base na geologia regional. A evolução tafonômica do depósito fóssil e das entidades preservadas apresenta diferentes estágios em sua gênese: Durante a produção biogênica Maastrichtiana ocorreu acúmulo e soterramento de conchas rudistas e outros invertebrados marinhos, iniciando sua alteração tafonômica. No final do Maastrichtiano ao início do Paleoceno, ocorreu a emersão e intemperismo (hipergênese) da seqüência, envolvendo remoção tafonômica e retrabalho tafogênico. No Paleoceno Superior - Eoceno Inferior, deduz-se uma queda relativa do nível do mar, com transporte da zona litorânea e nerítica, na forma de detritos e turbiditos, das entidades cretáceas reelaboradas, originando a acumulação secundária, alóctone e aloctônica, paleogênica. A idade do intervalo brecha-conglomerático (Paleoceno Superior - Eoceno Inferior), situa-o no meio do estágio sinorogênico regional. As características da atividade sísmica na seqüência estudada, precisamente anterior à acumulação de depósitos clásticos espessos, revelam a instabilidade tectônica que afetou esta bacia de assentamento. Em particular, a elevação tectônica da área fonte levaria a uma queda relativa do nível do mar, com um raso da acumulação sedimentar, que perduraria até o Eoceno Médio. A evolução tafonômica no local continuou até os dias atuais.

**Palavras-chave:** Contexto geológico, evolução tafonômica, Paleogeno, Cuba.

## INTRODUCCIÓN

La localidad San Vicente (N21 53'.9749; W078.49'.13-76), situada al noreste del pueblo de Jicotea, parte oeste de la provincia Ciego de Ávila en Cuba central, des-

taca por su particular registro fósil. Aquí se ha comprobado la existencia de entidades fósiles reelabodas cretácicas en un horizonte clástico calcáreo de edad Paleógeno (Rojas-Consuegra *et al.*, 2011; Menéndez-Peña *et al.*, 2011; Rojas-Consuegra, 2015).

En un trabajo precedente se brindaron las principales características de las entidades fósiles obtenidas, que integran el particular registro fósil en esta localidad. El proceso general tiene una duración de millones de años y exhibe momentos o etapas que marcan el registro fósil observado. Una problemática pendiente, es la de mejorar la comprensión de la estrecha relación sobre la historia geológica de un área y la evolución tafonómica de su registro fósil.

Este trabajo pretende complementar al primero, para contribuir al conocimiento sobre la utilidad de los resultados tafonómicos en la geología regional. De este modo, en la presente comunicación, se asume el objetivo principal de dar a conocer la evolución tafonómica del mencionado yacimiento paleontológico en el contexto del desarrollo geológico y paleogeográfico regional.

Se utiliza el conocimiento de la estratigrafía establecida sobre la zona de estudio (Belmustakov *et al.*, 1981; Rojas-Consuegra, 1990); además, se agregan aquellos datos y observaciones conseguidos en los últimos trabajos realizados en la secuencia destapada por el laboreo en la cantera que se estudia, perteneciente a la Formación Vertientes (Lewis, 1957).

La presente, es una contribución a la investigación «Registros paleontológicos y paleoclimáticos de Cuba», que mantiene el Museo Nacional de Historia Natural de Cuba - MNHNC (Agencia de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente); con participación del Instituto de Investigación del Petróleo (Ceinpet), donde se aporta también al proyecto 6511 (Ministerio de Energía y Minas).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las observaciones sobre el contexto local, donde se hallan los fósiles (entidades conservadas) y la colecta, han tenido lugar durante diversas visitas exploratorias a este punto de interés paleontológico, por varios au-

tores, desde 2005. Estas acciones han permitido ampliar de forma sistemática los datos sobre la estratigrafía de la sección expuesta y mejorar el conocimiento de su relación con el contexto geológico general.

## Contexto geológico

Se cuenta con el conocimiento sobre la geología regional, reflejada en el mapa geológico a escala 1: 100 000 en versión digital, del Instituto de Geología y Paleontología (IGP -Servicio Geológico de Cuba). Se asume la nomenclatura de las unidades litoestratigráficas concernientes, acorde al Léxico Estratigráfico (De Huelbes, ed., 2013).

En la región, la secuencia más antigua que aflora la constituye las rocas volcánicas efusivas e intrusivas pertenecientes al Arco Volcánico Cretácico, aquí consideradas dentro del Miembro Tobas San Mateo (Iturralde-Vinent, 1981), de edad Cretácico Superior Coniaciano-Campaniano, perteneciente a la Formación Caobilla (Iturralde-Vinent, 1981), de edad Coniaciano-Campaniano Inferior (De Huelbes, ed., 2013) (**Figura 1**).

En la base de la secuencia sedimentaria cretácica sobre el arco volcánico cretácico, en general en la región Ciego-Camagüey, aparece la Formación Durán (Iturralde-Vinent, 1981), la cual está integrada por rocas siliciclásticas y vulcanomícticas que cubren en discordancia a las vulcanitas. En la zona solo ha sido cartografiada en un área muy limitada al oeste del sitio de estudio, fuera del mapa mostrado. Mientras, están bien extendidas las rocas detríticas calcáreas, del Miembro El Brazo de la Formación Presa Jimaguayú (Iturralde-Vinent, 1981), de edad Cretácico Superior Maastrichtiano (De Huelbes, ed., 2013).

No obstante, ninguna de las unidades cretácicas mencionadas aflora en la zona de estudio expuesta en la excavación hasta el momento; aunque se deduce la presencia de la Formación Presa Jimaguayú en el subyacente de la misma (**Figura 1**).

Como se observa en este mapa geológico, la unidad del Maastrichtiano es cubierta por la Formación Vertientes del Eoceno. Así, el material rocoso en

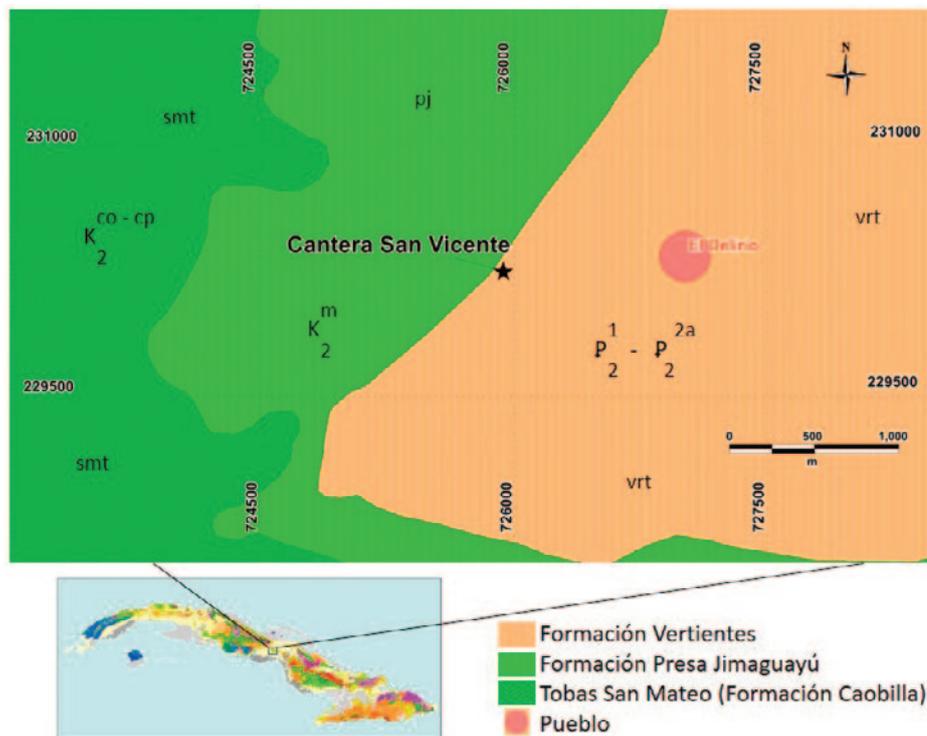


Figura 1. Mapa geológico de la región a escala 1:100 000 (IGP, 2010).

explotación en la localidad de San Vicente, constituido por brecha-conglomerado, microconglomerado o gravelita, arenisca, lutita, margas y calizas (de unos 40 metros de espesor), se ha asumido como parte de la sección de esta unidad.

No obstante, algunas de estas litofacies mencionadas son comparables con capas, conocidas en otras áreas, como propias de la Florida (Iturralde-Vinent, 1981), con la cual la primera presenta un contacto transicional. Ambas unidades cubren el intervalo de edad Paleógeno Inferior a Medio (Figura 2). En los trabajos se ha comprobado en la secuencia excavada la edad de Paleoceno Tardío - Eoceno Medio (Rojas-Consuegra *et al.*, 2011; Menéndez-Peñate *et al.*, 2011).

Como se ha dicho, el sitio de estudio destaca por el rico conjunto de elementos conservados pertenecientes a diversos grupos de invertebrados marinos mastrichtianos (Rojas-Consuegra *et al.*, 2011; Menéndez-Peñate *et al.*, 2011; Rojas-Consuegra, 2015). En las colectas se han recuperados numerosos y diversos elementos de macroinvertebrados marinos, que junto a otros indicios sedimentológicos, señalan la cer-

canía paleogeográfica a una costa cretácica (Menéndez-Peñate *et al.*, 2011).

Aunque no se incluyen en el mapa geológico, en la región las formaciones Vertientes y Florida y en partes, las del substrato volcánico y su cobertura cretácica, son cubiertas por las formaciones miocénicas Arabos (Iturralde, 1966) y Güines (Humboldt, 1826); que yacen en forma transgresiva sobre las primeras, marcadas por una significativa discordancia regional.

## 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 han avanzado con el paso de los años. Aquí se aporta la información lograda hasta 2022 (Figuras 2-4).

### Sección estratigráfica fosilífera

El contexto geológico del área, en particular las características sedimentológicas del hallazgo, se revelan como determinantes en la búsqueda futura de posible nuevo material de vertebrados fósiles, junto a los di-

versos invertebrados ya reconocidos. El corte general, que es posible comprobar en la actualidad en la excavación, está formado como se describe a continuación (**Figuras 2 y 3**):

En la parte noroeste del área ha sido ampliada la extracción en años recientes, donde alcanza una mayor profundidad (2-5 m) y expone una secuencia turbidítica con carácter flyschoide, de limolita y lutita predominantes, con algunas intercalaciones finas de

arenisca de grano fino (espesor aproximado 60 m). Esta parte de la secuencia pertenece al Paleoceno Temprano (**Figuras 3B, 4, Tabla 1**). Esta sucesión se interpreta como turbiditas distales. Hacia arriba, la arenisca aumenta en capas de 15-25 cm, en un tramo de unos 15 m (**Figura 3B, E-F**). Aquí se revelan estructuras en forma de pequeños slumps, un agrietamiento por donde circularon fluidos, al parecer relacionados con hidrocarburos, que llevaron a procesos de dolomi-



**Figura 2.** Columna litoestratigráfica general de la sección de San Vicente conformada por las formaciones Vertientes (parte baja flyschoide) y Florida (parte media-superior, clástica y carbonatada).

tización y carbonatización en grietas, también a la alteración por meteorización de óxidos de hierro rojizo y de manganeso de color negro (**Figura 3D-F**).

Esta secuencia corresponde por su edad, con más probabilidad al Paleoceno Tardío (Menéndez-Peñate *et al.*, 2011); y también, según la actualización sobre la asociación microfósil que se brinda (**Tabla 1**).

Más adelante, en la parte media del corte, en el piso del raspado extractivo, continúa una secuencia de brecha calcárea y brecha-conglomerado, con matriz arenosa, de unos 10-15 m de espesor. Esta secuencia se asume como el tránsito a la Formación Florida; la cual se reconoce en el campo por estas típicas litologías, clástico detríticas gruesas (**Figuras 3C, 4**). En este intervalo fueron colectados, con control estratigráfico, algunos de los elementos conservados de vertebrados, junto a abundantes y diversos elementos de invertebrados.

En la secuencia clástica, con capas de base erosiva, se determinan variedades litológicas transicionales, brecha calcárea, conglomerado polimíctico y brecha-conglomerado, sin selección del grano, con aspectos caóticos y de composición variable, de cantos carbonatados y siliciclásticos (**Figura 4A-B, D**). También, participan litoclastos, de subangulosos a redondeados, de vulcanitas, principalmente de composición media a ácida, lava andecítica, dacítica a riolítica, rocas de alteración hidrotermal metasomática y tobas silicificadas, entre otras (4E). La matriz es inmadura, desde microconglomerática, arenosa hasta areno-margosa, con cantos mezclados, tanto por su composición y granulometría, como por la relación de esfericidad versus angulosidad. Además, aparecen algunos clastos carbonáticos angulosos afectados por karstificación (**Figura 4C**). La meteorización ha propiciado la liberación del material clástico desde la matriz, que da lugar a reagrupamientos contemporáneos (4F).

Hacia el lado sur y este de la cantera afloran lutita calcárea y margas, con clastos carbonatados que deben ser asignados a la Formación Florida; sin embargo, este hecho no concuerda con el mapa geológico del área, lo cual pudiera estar justificado por su escala regional (levantamiento realizado a escala 1:250 000,

Belmustakov *et al.*, 1981). La asociación de foraminíferos planctónicos, estudiada en trabajos previos, arrojó una edad de Eoceno Temprano a Medio para esta secuencia de la parte alta del corte. La asociación microfósil revisada del depósito confirma estas edades, con algunas ligeras variaciones (**Tabla 3**).

No obstante, en una muestra tomada en la excavación, se identificó una asociación de microfósiles de edad Maastrichtiano Tardío; al parecer, correspondiente a algún extraclasto, pues no se ha encontrado ningún afloramiento de esa secuencia en el área desatapada hasta ahora (Menéndez-Peñate *et al.*, 2011).

### **Marco temporal del registro fósil**

Para esta localidad fosilífera de Cuba central, establecer la edad de la asociación microfósil reelaborada y de los microfósiles acumulados en el contexto sedimentológico de la secuencia estudiada, fue de cardinal utilidad. Ello está relacionado con el potencial aporte al conocimiento del registro de vertebrados del territorio cubano y con la paleogeografía que pudo existir en la región, al final del periodo Cretácico.

En el depósito de San Vicente es necesario distinguir, entre la edad del registro estratigráfico (paleogénico) y la correspondiente al registro fósil, de micro- y microfósiles (reelaborados cretácicos y mezclados, con los acumulados paleogénicos), pues en este caso, estos registros resultan diacrónicos, dados los diferentes orígenes en los aportes y la deposición final en la cuenca paleogénica (Rojas-Consuegra *et al.*, 2011; Menéndez-Peñate *et al.*, 2011).

### **Edad de las entidades reelaboradas**

Al NO de la ciudad de Ciego de Ávila, a unos 3-5 km de San Vicente, se extiende la Formación Presa Jimaguyú, la cual se caracteriza por una rica asociación de moluscos rudistas, donde está situada el área de tipo de las especies *Antillocaprina annulata* y *A. pugniformis*; además es abundante *Titanosarcolithes giganteus*, *Macgillavryia nicholasi*, *Mitrocaprina tschoppi*, *Thyrastylon adhaerens*, *Biradiolites* spp., *Bournonia* sp., *Plagioptychus* sp.; también, se cuentan otros bivalvos, equinodermos y foraminíferos orbitoidales



En la facies de brecha-conglomerado, se destacan los fragmentos de aquellas fuertes conchas de diversas especies de rudistas (*T. giganteous*, *M. nicholasi*, otros antilocaprinidos, radiolítidos, biradiolítidos e hipurítidos), ostreidos, otros bivalvos, gasterópodos (nerineidos y turritélidos), equinodermos; además, variados macroforaminíferos. Llamativo en el depósito es la abundancia de moldes internos de invertebrados (la mayoría de rudistas) de diferentes dimensiones y morfologías, junto a fragmentos subordinados de conchas, pero con la ausencia de conchas completas (ver también en varias referencias).

Son muy abundantes los elementos conservados referentes a los equinodermos, se destacan las radiolas diversas, escasos esqueletos y raras placas aisladas de equinoides. Además, se recuperan discos sueltos y segmentos de tallos de crinoides, corales, briozoos y algas (Rojas-Consuegra *et al.*, 2011; Menéndez-Peñate *et al.*, 2011; Rojas-Consuegra, 2015).

En particular apareció, como segunda localidad en Cuba, la rara concha (tubos cónicos acostillados milimétricos) del serpúlido poliqueto de la especie *Pyrgopolon onix* (antes *Hamulus onix*), típica del Maastrichtiano (Villega-Martín y Rojas-Consuegra, 2016; Rojas-Consuegra, 2021). También, se identificaron huellas de bioerosión sobre litoclastos calcáreos (alóctonos) pertenecientes a los icnogéneros *Oichnus* y *Tripanites* (Menéndez-Peñate *et al.*, 2011; Villega-Martín y Rojas-Consuegra, 2012).

Sobre los elementos conservados cretácicos, se observan relictos del sedimento litificado (cementado y recristalizado en parte), en que estuvieron acumulados antes de ser erosionados y otra vez transportados. En este predomina el grano grueso a medio (*rudstone-grainstone*), constituido por detritos biogénicos, granos minerales y conchas de foraminíferos orbitoidales bentónicos grandes (FOBG) típicos del Maastrichtiano. En la matriz o relleno sedimentario (*grainstone-packstone*) de cavidades intrabioclasticas, que presenta la mayoría de los elementos conservados, así como constituyente de los moldes recuperados, también aparecen los mencionados FOBG (Rojas-Consuegra *et al.*, 2011; Menéndez-Peñate *et al.*, 2011; Rojas-Consue-

gra, 2015). En una muestra tomada en San Vicente (sin un control estratigráfico preciso), se determinaron abundantes foraminíferos planctónicos (FP) cretácicos: *Pseudotextullaria elegans*, *Pseudotextullaria intermedia*, *Globotruncanita stuarti*, *Racemiguembelina fructicosa*, *Planoglobulina multicamerata*, *Globigerinelloides* sp., *Gansserina gansseri*, *Globotruncana* aff. *arca.*, *Globotruncanella petaloidea*, *Rugoblobigerina rugosa*, *Heterohelix* sp., algunos foraminíferos bentónicos y cámaras de ostrácodos. Este conjunto parece corresponder a la biozona *Gansserina gansseri*, edad Maastrichtiano Superior Tardío (Menéndez-Peñate *et al.*, 2011).

Esta asociación de microfósiles señala un ambiente de deposición propio de la parte externa distal de una plataforma marina. Como no ha sido posible encontrar algún afloramiento de esta edad en el área, se asume que esta muestra correspondió a un clasto (procedente de las secuencias del borde o el fondo de la cuenca), redepositado dentro de uno de los flujos debrito-turbidíticos mencionados.

Otra posibilidad, es que cerca del punto de trabajo afloren las rocas del Maastrichtiano, desde donde puedo ser traído el material muestreado. En el mapa geológico, se observa que a nivel regional, el contacto entre las rocas cretácicas y las paleogénicas, es rectilíneo, lo que sugiere la existencia de una falla, pero sin revelar en el área de estudio.

### **Edad de las entidades acumuladas**

Para los sedimentos arenoso-lutíticos se ha determinado una rica asociación de foraminíferos planctónicos (FP) y otros microfósiles como ostrácodos y radiolarios, todos de edad Paleoceno Superior a Eoceno Temprano (Menéndez-Peñate *et al.*, 2011). Un icnofósil in situ ha sido identificado como *Planolites* isp. (Villega-Martín y Rojas-Consuegra, 2012).

En particular, la edad del depósito fosilífero primario podría quedar restringida como máximo, al final del Cretácico Tardío Maastrichtiano. En todo caso, se deduce que las entidades taxobiotémicas correspondientes a las entidades conservadas, observadas y obtenidas (invertebrados y vertebrados), habrían habitado du-



**Figura 4.** Litologías propias del depósito fosilífero San Vicente. A - conglomerado-brecha en sección; B - aspecto caótico de la brecha calcárea con matriz polimítica; C - clastos karstificados entre capas turbidíticas; D - conglomerado en matriz más calcárea; E - brecha-conglomerado polimítico; F - material clástico desprendido por la meteorización. (Escala: Piqueta - 28 cm de largo, cuchillo de mesa - 23 cm, moneda – 2.6 cm).

No.	*Taxones / Muestras	1	2	3	4	5	6	7-11	12	13	14	16	17	18	19	20	21	22
1	Bivalvos		f					(ind)										
2	Macroforaminíferos	X	X	X	a		X		a	a	a	a	a	a	e			e
3	Foraminíferos bentónicos														a			
4	Foraminíferos planctónicos						f		f						a			
5	Ostrácodos												X	X	X			
6	Miliolidae					X												
7	Radiolarios	e	e															
8	Spumellaria	X																
9	Nassellaria	X																
10	Acarinina sp.	X			X				X	X		X				X		
11	Morozovella sp.								X	X								
12	Morozovella aequa				X							X						
13	Morozovella formosa											X						
14	Morozovella lensiformis											X						
15	Acarinina coalingensis											X						
16	Pseudohastigerina wilcoxensis											X						
17	Pseudohastigerina sp.															X		
18	Chiloguembelina crinita											X						
19	Subbotina roesnaesensis											X						
20	Cassigerinella sp.											X						
21	Acarinina wilcoxensis												X					
22	Acarinina pseudotopilensis													X				
23	Acarinina soldadoensis													X		X		
24	Acarinina aspensis													X				
25	Acarinina queira													X				
26	Morozovella subbotinae																	
27	Morozovella aragonensis														X			
28	Acarinina pentacamerata														X			
29	Globigerina sp.														X			
30	Pseudohastigerina sp.														X			
31	Globigerina sp.																X	
32	Chiloguembelina crinita																X	
33	Chiloguembelina sp.																X	
Edades:		P	ind	P	P4c-E5		ind		P. Tempr. -E. Med.			E4-E5; E. Med.	P5-E5	E4-E5; E7a	E5-E7a; E. Med.	E. Med.		ind
Paleoceno Tardío - Eoceno Temprano (P4c-E5)												Eoceno Temprano (E5) y Eoceno Medio						

**Tabla 1.** Registro microfósil de San Vicente (ver Menéndez-Peñate, 2011, fig. 2), actualizada por Karen Carballo Rosado (CEINPET).

rante el Maastrichtiano en la región del Protocaribe. Se impone tener en cuenta que aquella fue una paleogeografía dinámica, muy cambiante debido a la acreción tectónica que estaba ocurriendo (Iturralde-Vinent, ed., 2019) y además, por los drásticos cambios geoambientales inducidos a consecuencia del impacto de Chicxulub en el límite K-Pg (Denne *et al.*, 2013; Arz *et al.*, 2022). De este modo, las entidades (reelaboradas) registradas en la localidad, se valoran como adámicas (Fernández-López, 2000).

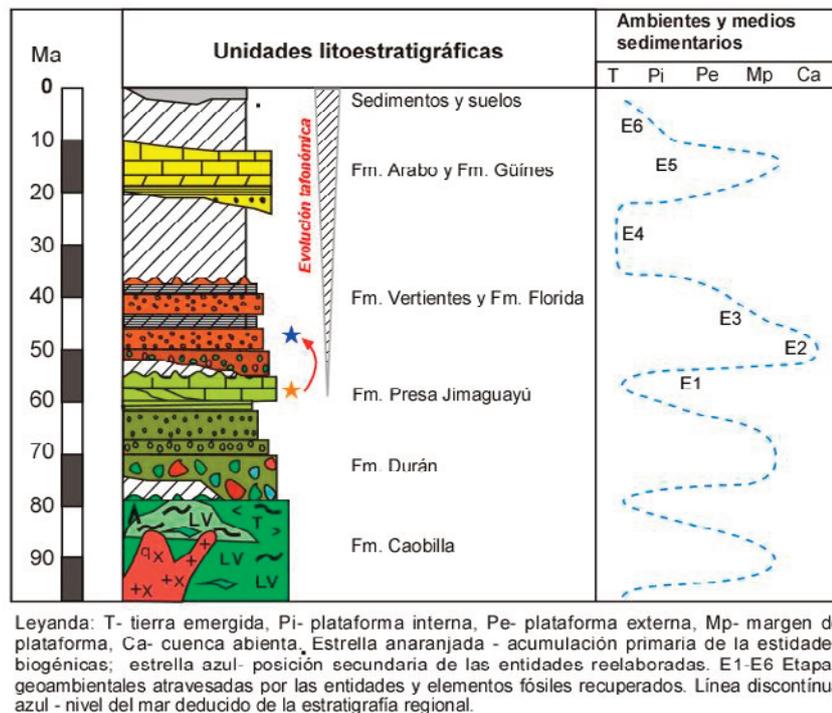
No obstante, la matriz de la facies de brecha-conglomerado (del conjunto clástico, heterolítico y caótico), que conforma el nivel establecido como fosilífero con los posibles restos de vertebrados, es más probable del Paleoceno Tardío-Eoceno Medio, según los FP (Tabla 1). Hay que señalar que, en todas las muestras analizadas con posterioridad (2018), tomadas de las capas de brecha-conglomerado, sólo se encontraron microfósiles del Paleógeno (José A. Arz e Ignacio Arenillas, comun. pers.), lo cual confirma la edad del depósito fosilífero secundario, rico en las entidades conservadas

alóctonas. El registro fósil acumulado durante esta etapa paleoambiental y evolutiva, es propio de aquella paleogeografía paleogénica, por lo que estas entidades se consideran eudémicas (Fernández-López, 2000).

### Paleogeografía del área

El área de estudio está situada al este del afloramiento de las vulcanitas cretácicas de la unidad informal Tobas San Mateo (Fm. Caobilla) (Figuras 1 y 5). En la región se comprueba, según las observaciones de campo, la existencia de una estructura paleovolcánica de tipo central (Gurugú), representada por lavas y lavabrechas andesíticas, dacíticas, riolíticas y traquíticas, que ocupan aun hoy la parte alta del relieve local (Belmustakov *et al.*, 1981).

No obstante, en la zona hay rocas originadas en al menos dos ciclos volcánicos, que se presume más antiguo (Albiano-Coniaciano), con xenolavas, lavabrechas y tobas, atravesadas por cuerpos subvolcánicos o intrusivos, en forma de diques, con dirección principal NE-SO (dirección de la falla La Trocha). También se ven



**Figura 5.** Posición estratigráfica del depósito paleontológico San Vicente. El lapso entre las estrellas corresponde a la producción biogénica hasta la tafogénica más activa. Nótese el intervalo total de la evolución tafonómica de las entidades conservadas y registradas (Cretácico Tardío a la actualidad).

lavas fluidales, ácidas, como traquitas y riocacitas. También se hallan tobas de diferentes tipos y hasta calizas grietas con rudistas (*Berrettia* sp.) del Campaniano (Dommelen, 1971; Rojas-Consuegra, 2005).

Se conoce que existieron etapas significativas de terrenos emergidos en la región, a lo largo de los complejos procesos vulcánicos pretéritos, relacionadas con los recesos en la actividad efusiva: al menos en el Albiano-Cenomaniano, Campaniano Medio y otros de corta duración, a escala local (Belmustakov *et al.*, 1981).

Notable es que en el área, asociado a las vulcanitas, se formaron depósitos minerales. En la zona se explotó cobre, mediante pozos de minas y galerías. Aun hoy se descubren restos de escombreras, mineralización sulfurada (calcopirita y pirita) y los carbonatos (malaquita y azurita), limonita, cuarzo y calcita con contenidos de plata y oro. Litoclastos y granos minerales, de similar composición que algunos de los mencionados, se reconocen entre el detrito del depósito fosilífero trabajado.

Esta estructura paleovolcánica cretácica constituyó ya una tierra emergida en el Campaniano Medio tardío (75-72 millones de años - Ma), (ver mapa geológico, **Figura 1**). Alrededor de esta isla se desarrolló la plataforma carbonatada maastrichtiana (Formación Presa Jimaguayú – Etapa E1, **Figura 5 y 6**). Solo existe una pequeña área donde aparecen sedimentos siliciclásticos del Campaniano Superior tardío que cubren a las vulcanitas, muy cercano al centro de la deducida estructura paleovolcánica. Entre el Cretácico y el Paleógeno se distingue a nivel regional una discordancia con un pequeño hiato (E2).

Según se conoce, el terreno del sistema de arcos volcánicos intraoceánicos de islas del Cretácico, que marcaba el borde oeste o suroeste del Protocaribe, al ocurrir el impacto de Chicxulub estaba situado hacia el este de la península de Yucatán, México (Hildebrand *et al.*, 1991). Es así, que el miembro clástico-detrítico calcáreo El Brazo (Formación Presa Jimaguayú) en esta zona, podría ser resultado o contener los depósitos del límite K-Pg (Rojas-Consuegra y De Huelbes, 2021).

Este evento implicaría una fuerte erosión del terreno volcánico extinto y su cobertura sedimentaria, ya emergidos, con la removilización de grandes volúmenes de sedimentos cretácicos, pre-paleogénicos.

Durante el Paleoceno Superior al Eoceno Medio (E3), se acumularon sobre el substrato cretácico sedimentos siliciclásticos turbidíticos a carbonatados (formaciones Vertientes y Florida), en medios de plataforma abierta, por momentos bastante profundos (hemipelágicos).

Después de una emersión (E4), con posterioridad, gran parte del territorio fue rodeado por un mar poco profundo (E5), donde se consolidaron sedimentos areno-arcillosos y carbonáticos durante el Mioceno Inferior a Medio (formaciones Arabo y Güines). Ya para el Mioceno Medio todo el territorio quedaría emergido en forma definitiva hasta la actualidad (E6).

De esta evolución paleogeográfica, se deduce que el área paleovolcánica ha constituido tierra emergida, de modo más o menos eventual con un área variable, desde hace unos 70 Ma (**Figuras 5 y 6**). Según los diferentes niveles que alcanzó el mar durante las transgresiones regionales sufridas en el Cretácico (Campaniano - Maastrichtiano), Paleógeno (Paleoceno - Eoceno) y Neógeno (Mioceno), se supone que este territorio emergido sostuvo una biota en evolución, comparable a aquella desarrollada en el ambiente marino circundante en el Protocaribe (Iturralde-Vinent, ed., 2019).

La mineralogía observada en la matriz relíctica exterior que cubre a los bioclastos o en el interior de las cavidades biogénicas, incluye plagioclasa, feldespato, mica, magnetita y hematita, que muestran un aporte por arrastre desde tierras emergidas en su cercanía. Este hecho no permite descartar la posibilidad de que los restos recuperados hayan pertenecido a animales terrestres o a voladores costeros.

### **Etapas evolutivas geoambientales y tafonómicas**

Como se deduce, diversos acontecimientos geoambientales influyeron sobre la evolución tafonómica de los restos fósiles obtenidos en el depósito San Vicente (**Figuras 5 y 6**). El ambiente tafonómico general del

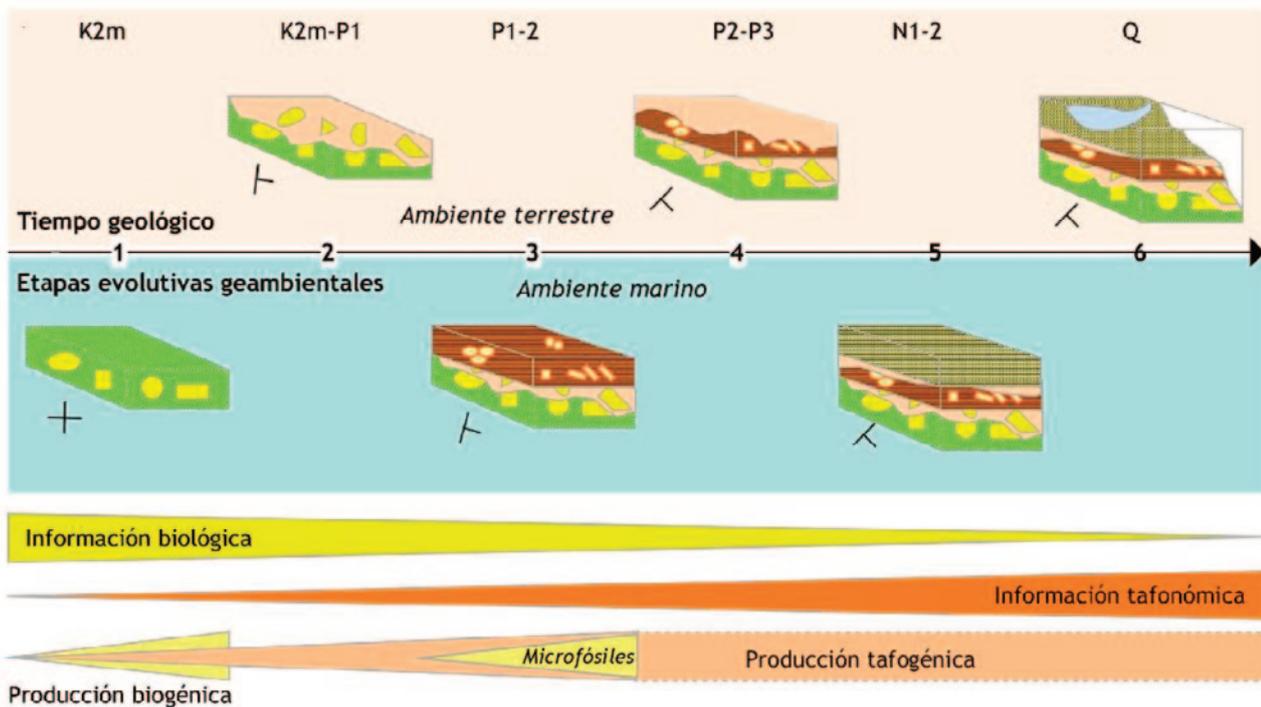
depósito recibió la acción lito- y diagenética de aquellos disímiles procesos y condiciones actuantes en diferentes etapas geoambientales (E1-E6), que el área atravesara a lo largo de su génesis (**Figura 6**), a saber:

**E1.** Ambiente marino: (Maastrichtiano, aprox. 4 Ma: K2m) - enterramiento primario por producción biogénica y acumulación de las entidades registradas (diagénesis-litogénesis), en condiciones típicas de un fondo marino somero de plataforma carbonática nerítica tropical (Fm. Presa Jimaguayú).

**E2.** Ambiente terrestre: (Maastrichtiano final a inicio del Paleoceno, aprox. 2 Ma, K2m-P1, que comprendería el evento del límite K-Pg) - emersión del depósito con meteorización (diagénesis - hipergénesis), en condiciones subáreas o de enterramiento poco profundo, como es de esperar, en contacto con las aguas subterráneas vadasas o freáticas.

Deducida la erosión de las secuencias fosilíferas y la remoción de entidades (reelaboración inicial). No se descarta que el área fuera afectada por los procesos relacionados con el límite K-Pg, bien conocidos en amplias áreas del territorio cubano (Tada *et al.*, 2004; Alegret *et al.*, 2005; Goto *et al.*, 2008; Yamamoto *et al.*, 2010; Arz *et al.*, 2012; 2022; Arenillas *et al.*, 2016), dado que el Miembro El Brazo posee un marcado carácter clástico o detrítico grueso (Belmustakov *et al.*, 1981; De Hulebes, ed., 2013).

**E3.** Ambiente marino: (Paleoceno Tardío a Eoceno Medio, aprox. 22 Ma, P1-2) - subsiguiente transgresión e inundación (submarina o subterránea por infiltración), con presión de la carga hidro- y litostática (diagénesis - litogénesis), durante la nueva



**Figura 6.** Esquema sobre las etapas geoambientales (E: 1-6) y procesos generales ocurridos durante la evolución tafonómica del depósito San Vicente y las entidades registradas.

transgresión marina, de somera a algo profunda. Hay una eventual caída del nivel relativo del mar (somerización rápida), con abrasión y reelaboración de las entidades, arrastre de material (debritas y turbiditas) desde los medios someros al talud y la cuenca abierta (reacumulación de las entidades alóctonas, alocrónicas y adémicas).

**E4.** Ambiente terrestre: (Eoceno Tardío a Mioceno Temprano, aprox. 21 Ma, P2-P3) - siguiente emersión del área, con el yacimiento en su subsuelo (diagénesis - hipergénesis), donde éste pudo recibir otra vez influencia de la meteorización (a juzgar por su posible escasa profundidad de enterramiento) y la acción de las aguas subterráneas (freáticas o vadosas). Se observan indicios, de una posible acción teletermal por migración de hidrocarburos en las capas de algún nivel siliciclástico-detrítico calcáreo. Además, potencial meteorización y erosión parcial de los depósitos.

**E5.** Ambiente marino: (Mioceno Temprano a Medio, aprox. 11 Ma, N1-2) - afectación posible de una nueva transgresión marina o al menos ubicación próxima a una zona litoral, con influencia de las aguas marinas de infiltración o las vadosas subterráneas (litogénesis y diagénesis). Potencial meteorización y erosión parcial de los depósitos.

**E6.** Ambiente terrestre: (Mioceno Tardío a Holoceno, aprox. 10 Ma, N2-Q) - emersión definitiva de todo el territorio hasta la actualidad, con ocurrencia de meteorización y erosión de las tierras emergidas (diagénesis e hipergénesis); influencia sostenida de las aguas vadosas y también, de forma temporal, de las freáticas y de los demás factores propios del clima global muy cambiante de esta etapa, por varios millones de años hasta hoy. Potencial meteorización y erosión parcial de los depósitos.

Como se calcula (**Figuras 5 y 6**), en la región y de forma parcial en el área, han existido largos periodos en que los mares predominaron (en suma unos 37 Ma) y otros casi equivalentes en duración total, donde se deduce la existencia de tierras emergidas (por unos 33 Ma), durante los últimos 70 Ma de la historia geológica y geoambiental de aquel espacio geográfico dinámico, que a la vez experimentaba una intensa traslación geotectónica, dada por la acreción del Protocaribe contra el margen meridional norteamericano (Iturralde-Vinent, ed., 2019).

Es así que, es presumible que varias oleadas de la biota con colonización y especiación, debieron sucederse mediante distintas vías y mecanismos desde los continentes vecinos a los terrenos antillanos (Silva-Taboada *et al.*, 2007; Iturralde-Vinent, ed., 2019; Viñola *et al.*, 2022). Ocurriría la producción de un correspondiente registro fósil, que hasta hoy ha sido poco revelado, o tal vez, aunque poco probable, haya sido obliterado en su totalidad durante la compleja evolución tafonómica por la que atravesó.

Las entidades paleobiológicas (deducidas de los taxobiotemas inferidos) de vertebrados fósiles (taxoregistros), que vivieron durante el Maastrichtiano, pudieron ser habitantes de los mares someros que rodeaban las tierras postvolcánicas del arco de islas de Las Antillas Mayores. Este archipiélago devenido «de pacífico en caribeño», en ese lapso estaría situado en el Protocaribe - mar Caribe primitivo, al E-SE del bloque continental de Yucatán, a varios cientos de kilómetros de su posición geográfica actual. Estos terrenos, como resultado de los movimientos geotectónicos de acreción al N-NE, llegaron a formar parte del substrato geológico cubano desde el Eoceno Medio - Tardío hasta la actualidad (Iturralde-Vinent, ed., 2019).

### **Registro de vertebrados cretácicos**

El registro fósil del periodo Cretácico en el territorio cubano, está integrado por una abundante diversidad de invertebrados, microfósiles, icnofósiles, plantas, polén y esporas (Rojas-Consuegra, 2021).

Entre los vertebrados marinos de este periodo solo se conocía una placa dentaria de un tiburón (Mut-

ter *et al.* 2005) y reportes de escamas, huesecillos y dientes no identificados de peces óseos (Kantshev *et al.*, 1976 y otros; Rojas-Consuegra, 2014; 2018; 2021). En años recientes el registro fósil cretácico del país ha aumentado de forma significativa, gracias a varios hallazgos en la región Potrerillo-Rodas, en la provincia de Cienfuegos. Entre los peces se reportó un nuevo tiburón fósil del grupo de los lamniformes (Ceballos *et al.*, 2021); pero muy destacado ha sido el reporte de un diente atribuido a un mosasaurio cretácico (Borges, 2016a, b).

Además, de alta importancia biogeográfica, es la identificación también del primer pterosaurio para el Cretácico en Cuba (Cerdeira *et al.*, 2019). A estos vertebrados fósiles se adicionan semillas y otros restos de plantas (Viñola *et al.*, 2022); y existe hoy abundante material en estudio de esta propia región.

La localidad de San Vicente se adiciona, con cautela, a los sitios con vertebrados fósiles en Cuba (Rojas-Consuegra, 2015), aun cuando se necesita de estudios complementarios.

## CONCLUSIONES

La presencia de entidades reelaboradas cretácicas en niveles clástico-caóticos paleogénicos, dentro de la etapa sinorogénica del territorio cubano y que ha sufrido los procesos asociados a la evolución geoambiental del territorio, es una manifestación de diágonia, entre registro estratigráfico s.s. versus el registro fósil. Este es un hecho a tener en cuenta en la bioestratigrafía cubana.

La evolución tafonómica del depósito fosilífero estudiado muestra distintas etapas en su génesis: lapso del Maastrichtiano al Paleoceno Tardío - Eoceno Medio. Se deduce una caída relativa del nivel del mar en la cuenca (Eoceno Medio), con el transporte desde la zona litoral y nerítica de las entidades reelaboradas cretácicas, que conllevó a una acumulación secundaria, alóctona y alocrónica, paleogénica (E1-E3). Además, se identifican otras etapas hasta la actualidad (E4-E6). La edad (Paleoceno Tardío - Eoceno Medio) de «San Vicente», lo sitúa en la etapa sinorogénica regional. Los rasgos de actividad sísmica, expresada en

micro slumps, previo a la ocurrencia de los depósitos clásticos gruesos, revela la inestabilidad tectónica que afectó esta cuenca a cuesta (piggyback basin).

En correspondencia con lo anterior, la evolución tafonómica total de las entidades reelaboradas registradas en San Vicente, tomaría un largo lapso del tiempo geológico, del Maastrichtiano al Cuaternario (actualidad).

## AGRADECIMIENTOS

El autor agradece 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, Yusdany Rodríguez, Kevin y Kelin Jiménez Rodríguez. El agradecimiento a los especialistas que han colaborado con información: Dr. José Antonio Arz y Dr. Ignacio Arenillas (España), Dr. Daniel Perea (Uruguay) y al el MSc. Ernesto Aranda Pedroso por la revisión del manuscrito inicial. A la Lic. Keren Carballo Rosado por la revisión del listado micropaleontológico y a la MSc. Lorenza Mejías Rodríguez por el mapa geológico, ambas especialistas de CEINPET. Al Dr. Cs. Osvaldo Rodríguez Morán y al Dr. Cs. Manuel E. Pardo Echarte por la invitación y apoyo para contribuir con la revista Geociencias de la Universidad Olmeca. A los árbitros y los editores finales por mejorar el trabajo. A las instituciones donde he laborado MNHNC y CEINPET. Todos ellos han aportado de muchas maneras al presente resultado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegret, L., Arenillas, I., Arz, J. A., Díaz, C., Grajales-Nishimura, M., Meléndez, A., Molina, E., Rojas-[Consuegra], R. and Soria, A. R., 2005, Cretaceous-Paleogene boundary deposits at Loma Capiro: evidence for the Chicxulub impact: *Geology*, 33(9), 721-724.
- Arenillas, I., Arz, J.A., Grajales-Nishimura, J.M., Rojas, R., 2016, The Chicxulub impact is synchronous with the planktonic foraminifera

- mass extinction at the Cretaceous/Paleogene boundary: new evidence from the Moncada section, Cuba: *Geological Acta*, 14(1), 35-51.
- Arz, J.A., Arenillas, I., Grajales-Nishimura, J.M., Liesa, C.L., Soria, A.R., Rojas-Consuegra, R., Calmus, T., and Gilabert, V., 2022**, No evidence of multiple impact scenario across the Cretaceous/Paleogene boundary based on planktic foraminiferal biochronology. In Koeberl, C., Claeys, P., and Montanari, A., eds., *From the Guajira Desert to the Apennines, and from Mediterranean Microplates to the Mexican Killer Asteroid: Honoring the Career of Walter Alvarez*: Geological Society of America, Special Paper 557, p. 1-134.
- Arz, J.A., Arenillas, I., Menéndez-Peñate, L., Rojas-Consuegra, R., Meléndez, A., Grajales-Nishimura, J.M., Rosales-Domínguez, M.C. Ceballo-Melendres, O., 2012**, Resultados preliminares sobre la edad y emplazamiento de una unidad clástica relacionada con el impacto de Chicxulub, en Fomento (Cuba central), en XXVIII Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología, España, p. 19-22.
- Borges-Sellén, C.R., Arano-Ruiz, A.F., Ceballos, Y., 2016a**, The mystery tooth of Rodas, Cuba: A Mosasaur in the Cretaceous Caribbean?: *Fossil News*, 19 (3), 39-44.
- Borges-Sellén, C.R., Arano-Ruiz, A.F., Ceballos, Y., 2016b**, Monstruos marinos: El diente fósil de Rodas: *Juventud Técnica*, 392, 10-15.
- Belmustakov, E., Dimitriva, E., Ganev, M.; Haydutov, 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: 250000: La Habana, Instituto de Geología y Paleontología, MINBAS (Inédito), 1 mapa y texto.
- Ceballos-Izquierdo, Y., Viñola-López, L.W., Borges-Sellén, C.R., Arano-Ruiz, A.F., 2021**, Late Cretaceous sharks from Cuba, first record of *Serratolamna serrata* (Agassiz) (Lamniformes, Serratolamnidae): *Geobios*. [www.elsevier.com/locate/geobi](http://www.elsevier.com/locate/geobi)
- Cerda, I.A., Codorniú, L., Gasparini, Z., Borges Sellén, C.R., Viñola López, L.W., Arano Ruiz, A.F., Ceballos, Y., 2019**, Primer registro de pterosauria (Archosauria; Ornithodira) para el Cretácico de Cuba (resumen), en Reunión de Comunicaciones de la Asociación Paleontológica Argentina: Argentina, Asociación Paleontológica Argentina, p. 98-99.
- De Huelbes, J. (ed.), 2013**, *Léxico Estratigráfico de Cuba*: Instituto de Geología y Paleontología / Servicio Geológico de Cuba (IGP/SGC), La Habana, (cd-rom).
- Denne, R., Scott, E., Eichkoff, D., Kaiser, J., Hill, R., Spaw, J., 2013**, Massive Cretaceous-Paleogene boundary deposit, deepwater Gulf of Mexico: New evidence for widespread Chicxulub-induced slope failure: *Geology*, 41, 987-990.
- Dommelen, H. Van. 1971**, Ontogenetic, Phylogenetic and Taxonomic Studies of the American Species of *Pseudovaccinites* and of *Torreites* and the Multiple *Hippuritids*: Amsterdam, University of Amsterdam, Doctoral thesis, 125 pp.
- Douvillé, H., 1927**, Nouveaux Rudistes du Crétacé de Cuba: *Bulletin of the Geological Society of France*, 27 (serie 4a), 49-56.
- Douvillé, H., 1926a**, Quelques fossiles de Crétacé supérieur de Cuba. Planche IV: *Bulletin of the Geological Society of France*, 26 (3-4-5), 127-138.
- Douvillé, H., 1926b**, Quelques fossiles de Crétacé supérieur de Cuba. Planche VII et VIII: *Bulletin of the Geological Society of France*, 26 (3-4-5), 127-138.
- Fernández López, S., 2000**, *Temas de Tafonomía*:

- España, Dpto. Paleontología, Universidad Complutense de Madrid, 167 pp.
- Goto, K., Tada, R., Tajika, E., Iturralde-Vinent, M.A., Matsui, T., Yamamoto, S., Nakano, Y., Oji, T., Kiyokawa, S., Garcia, D., Otero, C., Rojas-[Consuegra], R.,** 2008, Lateral lithological and compositional variations of the Cretaceous/Tertiary deep-sea tsunami deposit in northwestern Cuba: *Cretaceous Research*, 29(2), 217-236.
- Hildebrand, A.R., Penfield, G.T., Kring, D.A., Pilkington, M., Camargo, Z.A., Jacobsen, S.B., and Boynton, W.V.,** 1991, Chicxulub crater: A possible Cretaceous/Tertiary boundary impact crater on the Yucatán Peninsula, Mexico: *Geology*, 19, 867-871.
- Humboldt, A.,** 1826, Voyage aux régions équinoxiales du Nouveau Continent fait en 1799, 1800, 1801, 1802, 1803 et 1804: Gide, Paris, 2, 229-231.
- 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). 940 pp.
- Iturralde-Vinent, M.,** 1966, Comentarios a la obra Geología de Cuba del Instituto Cubano de Recursos Minerales: *Revista Tecnológica*, 4(5), 18-21.
- Instituto de Geología y Paleontología (IGP),** 2010, Mapa geológico de Cuba a escala 1:100000: La Habana, Cuba, 1 mapa.
- Iturralde-Vinent, M. A. (ed.),** 2019, Geología de Cuba y del Caribe: Compendio, La Habana. Tercera Edición, Editorial CITMATEL (cd-rom).
- Kantshev, I., Boyanov, I., Popov, N., Cabrera, R., Goranov, A., Iolkicev, I., Kanszirski, M. y Stancheva, M.,** 1976, 1978, Geología de la provincia de Las Villas. Resultado de las investigaciones y levantamiento geológico a escala 1: 250 000: Academia de Ciencias de Cuba y Bulgaria, Instituto de Geología y Paleontología, Oficina Nacional de Recursos Minerales, La Habana (Inédito), 1480 pp.
- Lewis Jr., P.D.,** 1957, Reconnaissance Geology of the Vertientes - Francisco area: Oficina Nacional de Recursos Minerales, La Habana (Inédito), 235 pp.
- 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.
- Mutter, R.J., Iturralde-Vinent, M. y Fernández-Carmona, J.,** The first Mesozoic Caribbean shark is from the Turonian of Cuba: *Ptychodus cyclodontis* sp. nov. (?*Neoselachii*): *Journal of Vertebrate Paleontology*, 25 (4), 976-978.
- Palmer, R. H.,** 1933, Nuevos Rudistas de Cuba: *Revista de Agricultura, Comercio y Trabajo*, 14, 95-125.
- 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.,** 2018, Pececillo fósil «Veloz»: *Boletín Ceinpetillazo*, Grupo Ceinpet de la Sociedad Cubana de Geología, La Habana, 1(3), p.13.
- Rojas-Consuegra, R.,** 2015, 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.** 2014, 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: La Habana, Centro Nacional de Información Geológica (IGP), (cd-rom), 15 pp.
- Rojas-Consuegra, R.**, 1990, Capítulos Tectónica; Historia del Desarrollo Geológico y Estratigrafía de las Rocas Sedimentarias, en Piñero, E. *et al.*, 1990, Informe sobre los resultados del Levantamiento Geológico complejo 1:50 000 del Polígono Camagüey II, Sectores Ciego de Ávila y Vertientes: Instituto de Geología y Paleontología (inédito), La Habana, 1120 pp.
- Rojas-Consuegra, R., De Huelbes Alonso, J.**, 2021, Supergrupo cronoestratigráfico del evento K-Pg (Daniano basal): una propuesta para el Léxico Estratigráfico de Cuba, en XIV Convención de Ciencias de La Tierra: La Habana, Sociedad Cubana de Geología, (cd-rom), 18 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.
- 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 III Convención de Ciencias de La Tierra: La Habana, Sociedad Cubana de Geología, (cd-rom), 12 pp.
- Sánchez-Roig, M.**, 1949, Los equinodermos fósiles de Cuba: Paleontología Cubana 1, La Habana, 330 pp.
- Silva-Taboada, G., Suárez, W. y Díaz-Franco, S.**, 2007, Compendio de los mamíferos terrestres autóctonos de Cuba: vivientes y extinguidos: Ediciones Boloña, La Habana, 465 pp.
- Tada, R., M. A. Iturralde-Vinent., T. Matsui., E. Tajika., T. Oji., K. Goto., Y. Nakano, H. Takayama, S. Yamamoto, S. Kiyokawa, K. Toyoda, D. Garcia-Delgado, C. Diaz-Otero, R. Rojas-Consuegra**, 2004, K/T boundary deposit in the proto-Caribbean basin: American Association of Petroleum Geologists Memoir, 79, 582-604.
- Varela, C. y Rojas-Consuegra, R.**, 2011, El registro fósil de los crustáceos decápodos (Arthropoda, Crustacea) marinos de Cuba, en III Convención sobre Ciencias de La Tierra: La Habana, Sociedad Cubana de Geología, (cd-rom), 10 pp.
- Villegas-Martín, J. y Rojas-Consuegra, R.**, 2012, Ichnology of Cuba: present state of knowledge, in Guimarae, R. N. *et al.*, 2012 (Ed), Ichnology of Latin America: Selected papers. Monografías da Sociedade Brasileira de Paleontologia, 2, 99-106.
- Villegas-Martín, J., Rojas-Consuegra, R., Klomp-maker, A. A.**, 2016, Drill hole predation on tubes of serpulid polychaetes from the Upper Cretaceous of Cuba: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 455, 44-52.
- Viñola-López, L.W., Cerda, I.A., Correa-Narvaez, J., Codorniú, L., Borges-Sellén, C.R., Arano-Ruiz, A.F., Ceballos-Izquierdo, Y.** 2022, New fossils shed light into the Late Cretaceous terrestrial community in the Caribbean and the First American Biotic Interchange: Cretaceous Research, 130. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2021.105067>
- Yamamoto, S., Hasegawa, T., Tada, R., Goto, K., Rojas-Consuegra, R., Díaz-Otero, C., Garcia-Delgado, D. E., Yamamoto, S., Sakuma, H., Matsui, T.**, 2010, Environmental and vegetational changes recorded in sedimentary leaf wax n-alkanes across the Cretaceous–Paleogene boundary at Loma Capiro, Central Cuba: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 295, 31-41.

## Áreas favorables para la ocurrencia de hidrocarburos a partir de la interpretación integrada de los trabajos geofísico-morfométricos en el Bloque 13, Cuba

**Manuel E. Pardo Echarte<sup>1</sup>, Osvaldo Rodríguez Morán<sup>2</sup>, Yeniley Fajardo Fernández<sup>3</sup>.**

<sup>1</sup> *Ingeniero Geofísico, Doctor en Ciencias Geológicas, Investigador Titular y Profesor Titular del Centro de Investigación del Petróleo, Churrucá, 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*

<sup>2</sup> *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.*

<sup>3</sup> *Licenciada en Geografía, Master en Negocios de Petróleo y Gas, Investigador Agregado, Centro de Investigación del Petróleo, Churrucá No 481, El Cerro, La Habana, Cuba C.P. 12000. ORCID: 0000-0002-5686-6490. Correo E: yeniley@ceinpet.cupet.cu.*

### RESUMEN

Es conocido que los métodos de exploración no-sísmicos ofrecen una necesaria e importante información sobre la cartografía geólogo-estructural de los territorios y sobre la presencia en ellos de zonas activas de microfiltración vertical de hidrocarburos ligeros, testigos de posibles acumulaciones en la profundidad. Es por eso que los beneficios en el uso de los métodos no-sísmicos de exploración, integrados con los datos geológicos, se traducen en una mejor comprensión de la geología, así como en una mejor evaluación de las posibles ocurrencias de hidrocarburo y del riesgo de exploración. El objetivo de la investigación consistió en apoyar la cartografía geólogo-estructural y de áreas favorables para la ocurrencia de hidrocarburos a partir de una interpretación integrada geofísico-morfométrica en la región del bloque petrolero terrestre 13, Cuba. Los materiales utilizados fueron: Mallas del

campo gravimétrico y aeromagnético a escalas 1: 50 000 y de espectrometría gamma aérea a escala 1:100 000 de la República de Cuba, modelo de elevación digital (90x90 m) de la República de Cuba, mapas digitales de los pozos petroleros y de las manifestaciones de hidrocarburos de la República de Cuba a escala 1:250 000 y el mapa geológico digital a escala 1: 250 000 de la República de Cuba. Como resultado, la investigación permitió reconocer: distintos límites tectónicos, la expresión magnética del basamento cristalino de la Plataforma de Bahamas, los volcánicos+ofiolitas, las cuencas sinorogénicas y postorogénicas, los levantamientos estructurales de rocas del Margen Continental Norteamericano dentro del Cinturón de Plegamientos y Cabalgamientos Norte Cubano y posiblemente dentro de un presumible Cinturón Plegado Meridional. Con estos dos últimos elementos estructurales están relacionadas, mayoritariamente, las áreas favorables para

---

Pardo-Echarte, M, E., Rodríguez-Morán, O., Fajardo-Fernández, Y., 2025, Áreas favorables para la ocurrencia hidrocarburos a partir de la interpretación integrada de los trabajos geofísico-morfométricos en el Bloque 13, Cuba : Geociencias UO. v. 15, núm. 1, junio 2025. pp. 60-70

la ocurrencia de hidrocarburos cartografiadas. Las mismas están dispuestas, fundamentalmente, en dos fajas paralelas septentrionales de 6-8km de ancho aproximado con dirección cubana (NO-SE), en el primer caso y una faja meridional de un ancho similar, con dirección sublatitudinal, en el segundo. Ambos aspectos tienen una significativa implicación para la exploración petrolera del territorio en particular y de Cuba, en general.

**Palabras Clave:** Cartografía geólogo-estructural, Cartografía de áreas favorables para hidrocarburos, Gravimetría, Aeromagnetometría, Modelo de Elevación Digital, Espectrometría Gamma Aérea.

### **ABSTRACT**

It is known that non-seismic exploration methods provide necessary and important information on the geological-structural mapping of territories and on the presence of active zones of vertical microfiltration of light hydrocarbons, which are evidence of possible accumulations at depth. That is why the benefits of using non-seismic exploration methods, integrated with geological data, translate into a better understanding of geology, as well as a better assessment of possible hydrocarbon occurrences and exploration risk. The objective of the research was to support the geological-structural mapping and mapping of favorable areas for the occurrence of hydrocarbons based on an integrated geophysical-morphometric interpretation in the region of onshore oil block 13, Cuba. The materials used were: Gravimetric and aeromagnetic field grids at scales 1:50000 and airborne gamma spectrometry at scale 1:100000 of the Republic of Cuba; Digital Elevation Model (90x90 m) of the Republic of Cuba; Digital maps of oil wells and hydrocarbon manifestations of the Republic of Cuba at scale 1:250 000 and the Digital Geological Map at scale 1:250 000 of the Republic of Cuba. As a result, the research allowed to recognize: different tectonic limits, the magnetic expression of the crystalline basement of the Bahamas Platform, the volcanics+ophiolites, the synorogenic and post-orogenic basins, the structural

uplifts of rocks of the North American Continental Margin within the North Cuban Fold and Thrust Belt and possibly within a presumed Southern Fold Belt. The areas favorable for the occurrence of hydrocarbons that have been mapped are mainly related to these last two structural elements. They are arranged, fundamentally, in two parallel northern bands of approximately 6-8 km wide in a Cuban direction (NW-SE), in the first case, and a southern band of approximately the same width, in a sublatitudinal direction, in the second. Both aspects have a significant implication for the oil exploration of the territory in particular, and of Cuba, in general.

**Keywords:** Geological-structural cartography, Mapping of favorable areas for hydrocarbons, Gravimetry, Aeromagnetometry, Digital Elevation Model, Airborne Gamma Spectrometry.

### **RESUMO**

Sabe-se que os métodos de exploração não sísmica oferecem informações necessárias e importantes sobre a cartografia geológico-estrutural dos territórios e sobre a presença neles de zonas ativas de microfiltração vertical de hidrocarbonetos leves, testemunhas de possíveis acumulações em profundidade. É por isso que os benefícios da utilização de métodos de exploração não sísmicos, integrados com dados geológicos, traduzem-se numa melhor compreensão da geologia, bem como numa melhor avaliação de possíveis ocorrências de hidrocarbonetos e do risco de exploração. O objetivo da pesquisa foi apoiar o mapeamento geológico-estrutural e de áreas favoráveis à ocorrência de hidrocarbonetos a partir de uma interpretação geofísica-morfométrica integrada na região do bloco petrolífero terrestre 13, Cuba. Os materiais utilizados foram: Malhas do campo gravimétrico e aeromagnético nas escalas de 1:50 000 e espectrometria gama aérea na escala de 1:100 000 da República de Cuba; Maquete Digital de Elevação (90x90 m) da República de Cuba; Mapas digitais dos poços de petróleo e manifestações de hidrocarbonetos da República de Cuba na escala 1:250 000 e o Mapa Geológico digital na es-

cala 1:250.000 da República de Cuba. Como resultado, a pesquisa permitiu reconhecer: diferentes limites tectônicos, a expressão magnética do embasamento cristalino da Plataforma das Bahamas, os vulcânicos+ofiolitos, as bacias sinorogênica e pós-rogenica, as elevações estruturais de rochas da Margem Continental Norte-Americana dentro do Cinturão de Dobras e Empuxos do Norte de Cuba e possivelmente dentro de um suposto Cinturão de Dobras do Sul. As áreas mapeadas favoráveis à ocorrência de hidrocarbonetos estão em sua maioria relacionadas a estes dois últimos elementos estruturais. Estão dispostas, fundamentalmente, em duas faixas norte paralelas de largura aproximada de 6-8km com direção cubana (NW-SE), no primeiro caso e uma faixa sul de largura aproximadamente igual, com direção sublatitudinal, no segundo. Ambos os aspectos têm implicações significativas para a exploração petrolífera do território em particular e de Cuba, em geral.

**Palavras-chave:** Cartografía geológico-estrutural; Mapeamento de áreas favoráveis para hidrocarbonetos; Gravimetria; Aeromagnetometria; Modelo Digital de Elevação; Espectrometria Gama Aérea.

## INTRODUCCIÓN

Según Pardo-Echarte y Cobiella-Reguera (2017), el aporte de los campos potenciales y de los datos de espectrometría gamma aérea a la cartografía geólogo-estructural de diferentes regiones de Cuba satisface la regularidad, bien establecida, de que los campos potenciales ayudan, básicamente, al desciframiento estructuro-tectónico del territorio y en menor medida, a la cartografía litológica de las diferentes unidades geológicas presentes, al resultar a la inversa la contribución de los datos de espectrometría gamma aérea (EGA).

Los datos gravimétricos (Gb) y magnéticos (DTDV y DTTrp) permiten identificar diferentes rasgos geólogo-estructurales: por mínimos, los asociados al Cinturón de Plegamientos y Cabalgamientos Norte Cubano (CPCNC), los macizos metamórficos meridionales, los cuerpos ígneos graníticos, las cuencas sinorogénicas y depresiones estructurales y, por máximos,

los vinculados con las rocas volcánicas y los cuerpos ofiolíticos. En el caso de los datos magnéticos, esto está dado por la facultad de cartografía litológica que le otorga la distribución diferenciada de magnetita en las diferentes unidades rocosas. Estos datos permiten, también, hacer estimaciones cuantitativas de la profundidad a objetivos magnéticos debajo de una cubierta sedimentaria.

Los alineamientos de campos potenciales (gravitatorio y magnético) y morfométricos, por su parte, permiten trazar los principales límites tectónicos dentro del Orógeno cubano. En la EGA, los depósitos de hidrocarburos se expresan por mínimos de K y de la relación K/Th, rodeados de máximos. También se observan, mayoritariamente en su periferia, incrementos locales de U (Ra).

En la presente investigación se utilizó la interpretación integrada gravi-magnética y morfométrica no-convencional para cartografiar la estructura geológica subsuperficial (~ 500 m) del territorio.

Así se reconocen: límites tectónicos, presencia de volcánicos+ofiolitas, cuencas sinorogénicas y levantamientos de rocas del Margen Continental Norteamericano (MCN) dentro del CPCNC. También se empleó la interpretación integrada de espectrometría gamma aérea, con la gravimetría y morfometría asociadas, para cartografiar las principales áreas favorables para la ocurrencia de hidrocarburos en el territorio.

Así, el propósito de esta investigación y su objetivo principal, fue el de caracterizar desde el punto de vista estructuro-tectónico-morfométrico la región del Bloque 13, a partir de la interpretación de los campos potenciales (Gb y DT) a escala 1:50000 y del Modelo de Elevación Digital (90x90m) (MED). Como objetivo específico, se planteó establecer las áreas favorables para la ocurrencia de hidrocarburos, a partir de considerar los resultados de la cartografía EGA junto con los máximos locales gravimétricos y morfométricos asociados, también, atributos indicadores.

## Ubicación Geográfica

La región del Bloque 13 se muestra en la **Figura 1**.



Con respecto a las secuencias vulcanógeno-sedimentarias de la AO, en ocasiones, resulta difícil separarlas de las del Arco Volcánico del Cretácico (¿parte inferior?), para lo cual se requiere de estudios petroquímicos y petrográficos detallados.

Entre Pinar del Río y Camagüey, las rocas ofiolíticas subyacen a las sucesiones vulcanógeno-sedimentarias cretácicas. El contacto entre ambas es siempre tectónico. Estas últimas contienen una mezcla caótica de serpentinitas y gabroides con rocas de las sucesiones referidas. De hecho, las deformaciones y mezcla tectónica de litologías son tan notables que, en esencia, la faja es un gran melánge.

En gran parte de Cuba, ubicados de forma estructural sobre las rocas ofiolíticas y ocupando, en general, una posición más meridional, se disponen los arcos volcánicos (insulares) cretácicos (AVC), formados por cortes volcánicos y vulcanógeno-sedimentarios cretácicos, así como su substrato metamórfico y una cubierta sedimentaria del Cretácico Superior Tardío. En Cuba occidental el afloramiento de los cortes vulcanógeno-sedimentarios cretácicos es mucho más limitado que en Cuba central. Las rocas del Cretácico Inferior están representadas por la Formación Chirino (Ducloz, 1960), que al igual que en Cuba central, contienen poco material sedimentario.

El corte del Cretácico Superior es de limitado espesor y sus vulcanitas son calcoalcalinas y contiene abundantes intercalaciones sedimentarias. A la integración de la AO y los AVC se le denominó Terreno Zaza (Hatten *et al.*, 1988). Más al Este, en las montañas de Maniabón, parte noroccidental de Holguín, algunos rasgos del AVC cambian. Por su composición se distinguen dos unidades tectonoestratigráficas. La llamada Formación Iberia contiene lavas y piroclastitas de composición entre andesitas y basaltos y ocupa gran parte del área. La Fm. Loma Blanca posee una composición más variada y en general, más ácida y sus tobas a menudo se encuentran zeolitizadas. Aflora hacia la porción occidental de las Alturas de Maniabón. En una y otra formación están presentes muchos cuerpos de serpentinitas, emplazados de forma tectónica (Kozary, 1968; Knipper y Cabrera, 1974) que se

mezclan con las rocas vulcanógeno-sedimentarias, al formar un melánge.

Según Pardo Echarte y Cobiella Reguera (2017), el piso paleogénico del basamento plegado está formado por cuatro complejos:

- Arco volcánico Sierra Maestra-Cresta Caimán (AVSMCC).
- Cuencas de antepaís.
- Cuencas a cuestras paleogénicas.
- Cuenca sinorogénica del Eoceno Medio y Superior del Sur de Cuba oriental.

Los vínculos entre los cuatro complejos del basamento paleogénico son mucho más claros y a pesar de las considerables deformaciones y transporte horizontal sufridos por algunos, las relaciones espaciales primarias (paleogeográficas) entre ellos se conservan en esencia. El AVSMCC y la Cuenca intramontane del Eoceno Medio y Superior del sur de Cuba oriental no son tratadas en este tópico por encontrarse distantes del área de estudio y no ejercer influencia en su composición y estructura geológica.

En cuanto a las cuencas de antepaís a lo largo del norte de Cuba, desde el NW de Pinar del Río hasta Gibara (Holguín), las rocas del MCN son cubiertas por los depósitos de esta cuenca. Estos son sucesiones acumuladas en el frente de los mantos de cabalgamiento generados durante la orogénesis cubana, como consecuencia de la erosión de su región frontal y de la rápida subsidencia de la cuenca, debido al peso de los mantos de cabalgamiento.

La sedimentación en estas depresiones es coetánea con las deformaciones orogénicas y el fechado de sus depósitos marca la edad del evento (Campaniano tardío-Maestrichtiano al Paleoceno-Eoceno Inferior). Existe una estrecha imbricación entre las escamas tectónicas de la porción meridional de la cuenca de antepaís, formadas de manera mayoritaria por olistostromas y las escamas de rocas ofiolíticas, del Arco Volcánico Cretácico y del MCN. Este cinturón escamado es una faja plegada y fallada, con tectónica alpina de finas escamas, originado por una combinación de tectónica compresional y gravitacional (CPCNC).

Según el Colectivo de Autores (2009b), el CPCNC se caracteriza por varios niveles de pliegues de rampa contra falla inversa de rocas del MCN y su cobertura. Estos pliegues han sido, con probabilidad, complicados de forma adicional por accidentes de cizalla. Las rocas deformadas abarcan un intervalo de edad que va desde el Jurásico hasta el Eoceno.

Los apilamientos de varios pliegues anticlinales de rampa es uno de los principales objetivos exploratorios en la región de estudio. Estos conforman antiformas que son cartografiables con mucha dificultad por la sísmica. La pobre imagen obtenida es el principal obstáculo para el desarrollo de los trabajos exploratorios. Solo se observa, como horizonte con alta definición dinámica, el relacionado de manera directa con la envolvente de los pliegues escamas.

En cuanto a las cuencas a cuestras (CC) son depresiones, por lo general pequeñas, desarrolladas en el dorso de los mantos de cabalgamiento durante el avance de estos. En el territorio cubano hay evidencias del desarrollo de varias de estas cuencas, en especial durante el Paleógeno temprano (Cobiella Reguera, 2009; Linares Cala *et al.*, 2011). Al igual que con otras estructuras, las cuencas a cuestras cubanas modifican algunos de sus rasgos de una región a otra.

Según Pardo Echarte y Cobiella Reguera (2017), la cubierta eocénica-cuaternaria comprende los depósitos más jóvenes del corte estratigráfico, poco deformados en relación a las capas subyacentes, casi siempre separados de estas por una discordancia estructural y sin presencia de rocas magmáticas.

Sus estratos se acumularon, fundamentalmente, tras el cese de los movimientos de la orogénesis cubana. Sin embargo, en varias regiones se incluyen en la porción basal de la cubierta sucesiones con cierto grado de complicación estructural y evidencias de acumulación en condiciones aún inestables. De acuerdo con esto, la cubierta se divide en dos:

- Sucesiones transicionales (Sinorogénico).
- Cubierta sensu strictus (Postorogénico).

### 1.3 Premisas Físico-Químico-Geológicas

La alta densidad de los carbonatos, volcánicos y las

ofiolitas permite distinguir, por sutiles máximos gravimétricos, las elevaciones estructurales de los mismos.

Igualmente, la elevada susceptibilidad magnética de los volcánicos y las ofiolitas permite cartografiarlos sin dificultad por la aeromagnetometría y diferenciarlos en algunos casos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Información y sus fuentes

Los materiales utilizados y sus fuentes fueron los siguientes:

- Mallas del campo gravimétrico y aeromagnético a escalas 1: 50000; de espectrometría gamma aérea (canales: U, Th y K) a escala 1:100000 de la República de Cuba (Mondelo Diez *et al.*, 2011).
- El MED (90x90 m) empleado en este trabajo fue tomado de Sánchez Cruz *et al.* (2015), con fuente en: <http://www.cgia-rcsi.org/data/srtm-90m-digital-elevation>.
- Mapas Digitales de los Pozos Petroleros y de las Manifestaciones de Hidrocarburos de la República de Cuba a escala 1: 250000 (Colectivo de Autores, 2009a y 2020, respectivamente).
- Mapa Geológico Digital de la República de Cuba a escala 1: 250000 del Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET) (Colectivo de Autores, 2007).

### Métodos y Técnicas

Los métodos (no-sísmicos de exploración) utilizados en la investigación fueron:

- Gravimetría (Gb)
- Aeromagnetometría (DT)
- Morfometría no-convencional (MED)
- Espectrometría Gamma Aérea (EGA).

El procesamiento de la información geofísica-morfométrica se llevó a cabo con el software Oasis Montaj versión 7.01.

### Gravimetría

El campo gravimétrico (Reducción *Bouguer*, 2.3 t/m<sup>3</sup>) se sometió a la separación regional-residual a partir de la Continuación Analítica Ascendente (CAA) para las alturas de 500, 2000 y 6000 m, dadas por el orden de profundidad de los posibles objetivos gasopetrolíferos y del estudio sísmico. Para la cartografía geólogo-estructural gravimétrica, se utilizó la primera derivada vertical (GbDV), equivalente a la residual a 500 m y la derivada horizontal total (GbDHT) para el trazado de los alineamientos tectónicos. Como regla, los máximos están asociados a la presencia de rocas volcánicas y ofiolitas del Terreno Zaza y los mínimos o campo no anómalo, a levantamientos de rocas del MCN dentro del CPCNC y a depresiones estructurales. El campo GbDV, se previó, permitiría la cartografía de sutiles máximos gravimétricos locales asociados a posibles levantamientos estructurales del MCN, con posible interés gasopetrolífero.

### Aeromagnetometría

La litología magnética (volcánicos+ofiolitas) es posible ser distinguida de forma directa sobre la base de las observaciones del campo aeromagnético reducido al polo (DTrp) y su primera derivada vertical (DTDV). A partir de la última es posible, en ocasiones, diferenciar las ofiolitas por una mayor intensidad de los valores máximos. Los alineamientos tectónicos fueron trazados a partir del campo DTDV. En la cartografía geólogo-estructural en base a datos aeromagnéticos, los máximos más intensos están asociados a la presencia de volcánicos y ofiolitas del Terreno Zaza y los mínimos y o campo no anómalo, a levantamientos de rocas del MCN dentro del CPCNC y a depresiones estructurales.

### Morfometría no-convencional

El MED (90x90 m) se sometió a la separación regional-residual a partir de la CAA a 500 m, según la experiencia del autor principal (Pardo Echarte, Reyes Paredes y Suárez Leyva, 2018). Para trazar los alineamientos tectónicos se utilizó el campo MEDreg500DHT. También, se determinaron los máximos

locales en el campo MEDres500, los cuales pudieran estar vinculados a posibles zonas de microfiltración activa de hidrocarburos ligeros.

### Espectrometría Gamma Aérea

Para la EGA se determinaron los mínimos de potasio (K) y se compararon con los mínimos de la relación K/Th, al mantener un propósito discriminatorio y el canal de U (Ra), a fin de señalar las localidades vinculadas, presumiblemente, con zonas activas de microfiltración vertical de hidrocarburos ligeros.

### Confección del Esquema Geólogo-Estructural

Para la confección de este esquema se utilizó, básicamente, el Mapa Geológico a escala 1:250000 del territorio y la derivada vertical del campo magnético (DTDV). El campo DTDV sirvió para la cartografía detallada de las distintas UTE (Remedios [Re], Camajuani [Cm] y Placetas [Pl]), complejos rocosos (AO y AVC) y las cuencas sinorogénicas (Cabaiguán [DC] y Central [DCC]).

### Cartografía Prospectiva Integrada y sectores favorables

En la cartografía prospectiva integrada, a los fines de establecer las áreas favorables (contornos de las principales agrupaciones de anomalías) para la ocurrencia de hidrocarburos se consideraron los resultados de la cartografía EGA, los máximos locales de Gb y MEDres500 asociados, así como las manifestaciones de hidrocarburos y yacimientos conocidos del territorio.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

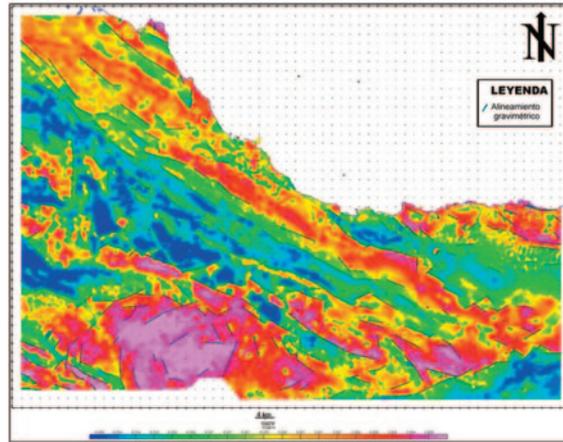
### Gravimetría

Los resultados de la cartografía geólogo-estructural por datos gravimétricos (GbDV) se presentan en la **Figura 2**. En general, los máximos están asociados a la presencia de rocas volcánicas y ofiolitas del Terreno Zaza y los mínimos o campo no anómalo, a levantamientos de rocas del MCN dentro del CPCNC y a depresiones estructurales. Se determinaron, también, los sutiles máximos locales vinculados a complejos anómalos EGA (posibles zonas de microfiltración activa de hidrocarburos ligeros) (**Figura 7**).

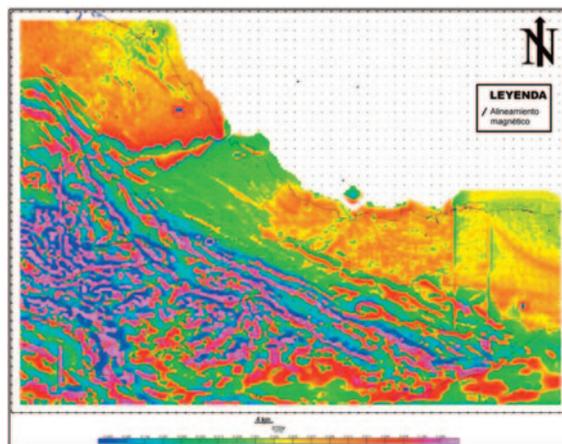
### Aeromagnetometría

Los resultados de la cartografía geólogo-estructural por datos aeromagnéticos se presentan en las **Figuras 3 y 4**. En general, los máximos más intensos están aso-

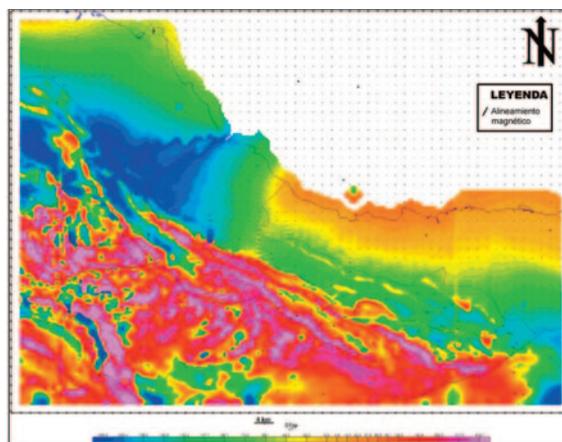
ciados a la presencia de rocas volcánicas y ofiolitas del Terreno Zaza y los mínimos o campo no anómalo, a levantamientos de rocas del MCNC dentro del CPCNC y a depresiones estructurales.



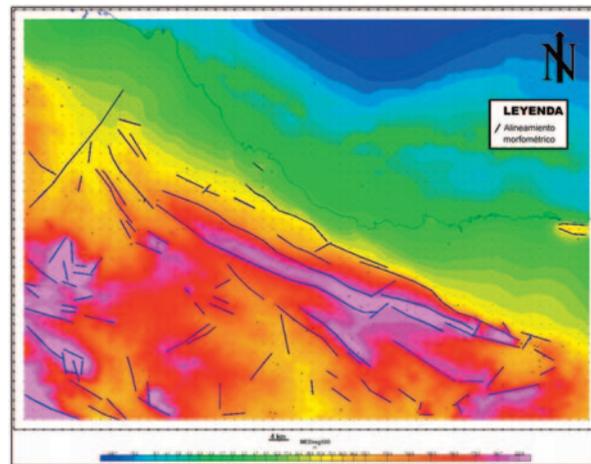
**Figura 2.** Cartografía geólogo-estructural por datos gravimétricos (GbDV)



**Figura 3.** Cartografía geólogo-estructural por datos aeromagnéticos (DTDV)



**Figura 4.** Cartografía geólogo-estructural por datos aeromagnéticos (DTrp)



**Figura 5.** Cartografía morfométrica por datos del MEDreg500 (90x90 m).

### Morfometría no-conventional

Los resultados de la cartografía morfométrica por datos del MEDreg500 (90x90 m) se presentan en la **Figura 5**. En la misma han sido trazados los alineamientos tectónicos (a partir del campo MEDreg500DHT). Se determinaron los máximos locales en el campo MEDres500, vinculados a complejos anómalos EGA (posibles zonas de microfiltración activa de hidrocarburos ligeros) (**Figura 7**).

### Esquema Geólogo-Estructural

El Esquema Geólogo-Estructural del territorio (**Figura 6**), exhibe la cartografía detallada de las distintas UTE (Re, Cm y Pl), complejos rocosos (AO, AVC) y cuencas sinorogénicas presentes en el territorio (DC y DCC). Para mayor claridad de la representación, se prefirió no recargarlo con los diferentes alineamientos tectónicos cartografiados por los distintos métodos. Como aspecto de interés, se señalan los levantamientos estructurales, en forma de ventanas tectónicas, de rocas del MCN dentro de la AO, lo cual evidencia la existencia de un cinturón levantado de estas rocas a todo lo largo del correspondiente afloramiento de la AO. También, en la **Figura 6**, se han representado los sectores favorables para hidrocarburos, resultantes de la cartografía prospectiva integrada (**Figura 7**). Se destaca, que la casi totalidad de todas las áreas favorables (con la excepción de tres, que caen dentro del AVC) están asociadas a las UTE Camajuaní y Placetas

(esta última, dentro del cinturón de la AO), al sugerir la existencia de sendas fajas paralelas septentrionales levantadas de forma estructural, de rocas del MCN (dentro del CPCNC).

### Cartografía Prospectiva Integrada y sectores favorables

Los resultados de la cartografía prospectiva integrada, en el marco de las manifestaciones de hidrocarburos, yacimientos conocidos y alineamientos tectónicos del territorio (gravimétricos), se presentan en la **Figura 7**. Es de destacarse, que la casi totalidad de las áreas favorables, determinadas por la agrupación de las diferentes anomalías, se disponen dentro de dos fajas paralelas septentrionales (6-8km de ancho) de dirección cubana. Las mismas se ubican, fundamentalmente, dentro de las UTE Camajuaní y Placetas. La última se halla dentro del cinturón de la AO y al parecer presenta su extremo oriental dentro del AVC (**Figura 6**).

Más al sur, dos últimas áreas favorables, presumiblemente vinculadas con otra faja levantada de rocas del *¿Synrift?*, al parecer con igual ancho aproximado y dirección sublatitudinal, se ubica dentro del AVC (**Figura 6**). El cambio de dirección de esta faja resulta determinante para considerar su origen relacionado con otro tipo de rocas madre y estructura geológica. La extensión de esta faja hacia el este pudiera considerar las manifestaciones Gálata (1 y 2) y los yacimientos Jatibonico, Catalina y el prospecto La Vigía (Morales *et al.*, 2020) en Cuenca Central. Se destaca

que, el pozo Jatibonico 38 cortó a los 4 km rocas del *Synrift* (presumibles rocas madre), por lo cual esta profundidad pudiera ser un estimado del tope de estas rocas en la correspondiente faja. Finalmente, esta faja parece corresponder a un cinturón plegado meridional (CPM) de 20 km de forma aproximada de ancho, que pudiera incluir, también, al yacimiento Cristales en Cuenca Central.

Estos resultados tienen una significativa implicación particular para la exploración petrolera en el territorio y de Cuba, en general.

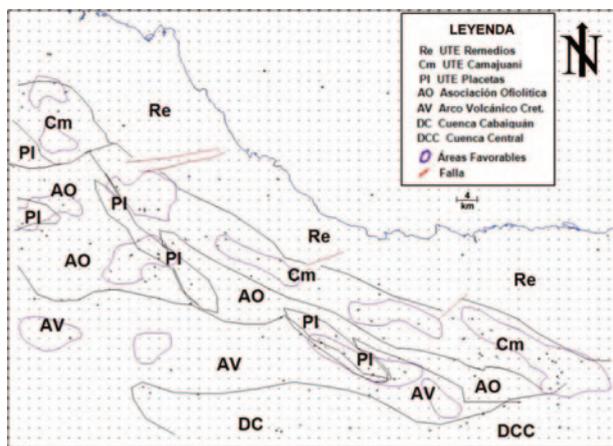


Figura 6. Esquema Geológico-Estructural del territorio.

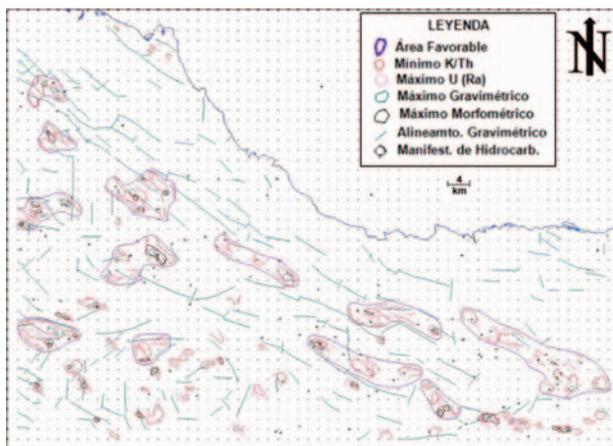


Figura 7. Cartografía prospectiva integrada, tiene como finalidad establecer los sectores favorables para la ocurrencia de hidrocarburos en el área de estudio. Se consideraron los resultados de la cartografía EGA junto con los máximos locales gravimétricos y morfométricos asociados.

## CONCLUSIONES

La interpretación integrada gravi-magnética, morfo-métrica no-convencional y de espectrometría gamma aérea para cartografiar la estructura geológica subsuperficial (~ 500 m) y establecer las áreas favorables para la ocurrencia hidrocarburos, permitió reconocer distintos rasgos geológicos (los dos últimos con una significativa implicación particular para la exploración petrolera del territorio y de Cuba, en general):

- Diferentes límites tectónicos.
- Presencia de volcánicos (AVC)+ofiolitas (AO) (los cuales resultan en la práctica indiferenciables en su comportamiento magnético, al ser reconocible solo su límite).
- Cuencas Sinorogénicas (DC y DCC).
- Levantamientos de rocas del MCN dentro del CPCNC, correspondientes a las UTE Camajuani, Placetas (dentro del cinturón de la ao) y al AVC, a juzgar por las respectivas fajas de áreas favorables observadas dentro de estas unidades geológicas.
- Levantamientos de rocas del *¿Synrift?* en un CPM de 20 km de ancho de forma aproximada, que abarcaría, en su extensión este, a las manifestaciones Gálata (1 y 2) y a los yacimientos Jatibonico, Catalina, Cristales y al prospecto La Vigía en Cuenca Central (a juzgar por la faja de áreas favorables de dirección sublatitudinal observada dentro del AVC).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cobiella Reguera, J.L., 2009, Emplacement of the Northern Ophiolite Belt of Cuba. Implications for the Campanian-Eocene geological history of the northwestern Caribbean-SE Gulf of Mexico region. (In: James, K., M. Lorente, J. Pindell (Eds.). The Origin and Evolution of the Caribbean Plate, Geological Society of London Special Publication 328: 313-325.
- Colectivo de Autores, 2007, Mapa Geológico Digital de la República de Cuba a escala 1:250000.

- Inédito. Centro de Investigación del Petróleo, La Habana.
- Colectivo de Autores**, 2009a, Mapa Digital de los Pozos Petroleros de la República de Cuba a escala 1:250000. Inédito. Centro de Investigaciones del Petróleo, La Habana.
- Colectivo de Autores**, 2009b, Expediente Único del Proyecto 6004, «Exploración en la Franja Norte Petrolera Cubana». Inédito. Archivo, Centro de Investigación del Petróleo (Ceinpet), La Habana, Cuba, 22pp.
- Colectivo de Autores**, 2020, Mapa Digital de las Manifestaciones de Hidrocarburos de la República de Cuba a escala 1:250000. Inédito. Centro de Investigación del Petróleo, La Habana.
- Ducloz, C.** 1960, Mapa Geológico de Matanzas a escala 1:20 000. Inédito. Centro Nacional Fondo Geológico, Ministerio de la Industria Básica. La Habana.
- Hatten, C.W., Somin, M.L., Millán Trujillo, G., Renne, P., Kistler, R.W., y Mattinson, J.M.**, 1988, Tectonostratigraphic units of central Cuba En: Barker, L., (Editor) Transactions of the 11th Caribbean Geological Conference, Barbados, 1986: págs. 35.1-35.
- Knipper, A., R. Cabrera**, 1974, Tectónica y geología histórica de la zona de articulación entre el mio y el eugeosinclinal del cinturón hiperbásico de Cuba. En: Contribución a la Geología de Cuba, ACC. Publicación especial (2): 15 – 77.
- Linares, E., García Delgado D., Delgado López O., López Rivera J., Strazhevich V.**, 2011, Yacimientos y manifestaciones de hidrocarburos de la República de Cuba. Centro de Investigaciones del Petróleo, La Habana, 480 págs.
- Mondelo Diez, F., Sánchez Cruz R. y otros**, 2011, Mapas geofísicos regionales de gravimetría, magnetometría, intensidad y espectrometría gamma de la República de Cuba, escalas 1:2000000 hasta 1:50 000. Inédito. IGP, La Habana, 278p.
- Morales-González, J., Rodríguez-Morán, O. y Pardo-Echarte, M. E., 2020, Possible gaso-petroleum occurrence from non-seismic and non-conventional exploration methods in the Central Basin, Cuba. Boletín Ciencias de la Tierra. No.47, p. 15-20.
- Pardo Echarte, M.E. y Cobiella Reguera J. L.**, 2017, Oil and Gas Exploration in Cuba: Geological-Structural Cartography using Potential Fields and Airborne Gamma Spectrometry. Springer Briefs in Earth System Sciences. DOI 10.1007/978-3-319-56744-0.
- Pardo Echarte M. E., Reyes Paredes O. y Suárez Leyva V.**, 2018, Offshore Exploration of Oil and Gas in Cuba using Digital Elevation Models (DEMs). SpringerBriefs in Earth System Sciences. DOI 10.1007/978-3-319-77155-7.
- 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>.

## Reevaluación de las formaciones del conjunto petrotectónico cobertura orogénica central, UTE Camajuaní y Remedios

**Greitty Espinosa Rodríguez<sup>1</sup>, Evelio Linares Cala<sup>2</sup>, Gabriela Caridad Mateo Vilain<sup>3</sup>.**

<sup>1</sup> *Ingeniero geólogo. Centro de Investigación del Petróleo (Ceinpet). Churruca, No.481, e/ Vía Blanca y Washington, El Cerro. C.P. 12000. La Habana, Cuba. ORCID ID: 0009-0006-2046-8286. Email: greitty@ceinpet.cupet.cu; greittyer@gmail.com*

<sup>2</sup> *Ingeniero geólogo. Doctor en Ciencias Geológicas. Investigador Titular. Centro de Investigación del Petróleo (Ceinpet). Churruca, No.481, e/ Vía Blanca y Washington, El Cerro. C.P. 12000. La Habana, Cuba. ORCID ID: ORCID 0000-0003-1246-602X. Email: bello@ceinpet.cupet.cu.*

<sup>3</sup> *Ingeniero geólogo. Centro de Investigación del Petróleo (Ceinpet). Churruca, No.481, e/ Vía Blanca y Washington, El Cerro. C.P. 12000. La Habana, Cuba. ORCID ID: 0009-0000-2123-3389. Email: gabriela.mateo@ceinpet.cupet.cu; gabrielam-18@hotmail.com*

### RESUMEN

El sustrato de la región estudiada, son las rocas del Dominio Paleogeográfico (DP) Margen Continental Norteamericano, Conjunto Petrotectónico (CPT) Rocas Carbonatadas Pelágicas, estudiándose tres unidades litoestratigráficas de su cobertura, pertenecientes al CPT-Cobertura Orográfica Central de la Unidad Tectono-Estratigráfica Camajuaní y Remedios: formaciones Sagua, Vega y Jumagua de edades Paleoceno tardío-Eoceno temprano, Paleoceno tardío-Eoceno medio y Eoceno temprano-Eoceno medio parte baja respectivamente. Se argumenta que después del Cretácico, la porción meridional de Las Bahamas, sufrió una transformación y su régimen tectónico cambió hacia el de la cuenca de foreland. En la región nororiental de Cuba Central, hacia la sierra de Jatibonico, se identifican bien las características de la Formación Sagua, vinculada a una fuente de aporte procedente en lo funda-

mental del banco carbonatado de la UTE Remedios y de rocas de la UTE Camajuaní. En las sierras de Camaján y de Gibara, en las provincias de Camagüey y Holguín respectivamente, se ha descrito la Formación El Embarcadero muy similar a la Formación Sagua de Cuba Central. Allí, como en Cuba Central, en sus fragmentos, se precisan rocas depositadas en cuencas de aguas profundas, que sugieren la destrucción de mantos de las UTE Placetas y Camajuaní, además de platóforicos de la UTE Remedios. El paleoambiente corresponde al de una plataforma externa a batial superior, con detritos transportados desde la plataforma media y rocas del Cretácico del DP Margen Continental Norteamericano. Como fundamentación metodológica de la investigación, se empleó la Terrenoestratigrafía, para ello se definen los Dominios Paleogeográficos (DP), Conjuntos Petrotectónicos (CPT) y las Unidades Tectono-Estratigráficas.

---

Espinosa-Rodríguez, G., Linares-Cala, E., Mateo-Vilain, G. C., 2025, Reevaluación de las formaciones del conjunto petrotectónico cobertura orogénica central, UTE Camajuaní y Remedios: Geociencias UO. v. 15, núm. 1, junio 2025. pp. 71-80.

**Palabras clave:** Dominios Paleogeográficos, Conjuntos Petrotectónicos, Cobertura Orográfica, Unidades Tectono-Estratigráficas, Sagua, Vega, Jumagua.

#### **ABSTRACT**

The substratum of the studied region is the rocks of the Paleogeographic Domain (PD) North American Continental Margin, Petrotectonic Set (CPT) Pelagic Carbonate Rocks, studying three lithostratigraphic units of its cover, belonging to the CPT Central Orogenic Cover of the UTE Camajuaní and Remedios: Sagua, Vega and Jumagua formations of late Paleocene-early Eocene, late Paleocene-middle Eocene and early Eocene-lower middle Eocene ages respectively. It is argued that, after the Cretaceous, the southern portion of The Bahamas underwent a transformation and its tectonic regime changed to that of the foreland basin. In the northeastern region of Central Cuba, towards the Jatibonico mountain range, the characteristics of the Sagua Formation are well identified, linked to a source of contribution coming mainly from the carbonate bank of the UTE Remedios and rocks of the UTE Camajuaní. In the Camaján and Gibara mountain ranges, in the provinces of Camagüey and Holguín respectively, the El Embarcadero Formation has been described, very similar to the Sagua Formation of Central Cuba. There, as in Central Cuba, in its fragments, rocks deposited in deep water basins are specified, which suggest the destruction of layers of the UTE Placetas and Camajuaní, as well as platform layers of the UTE Remedios. The paleoenvironment corresponds to that of an external to upper bathyal platform, with detritus transported from the middle platform and rocks from the Cretaceous of the DP North American Continental Margin. As a methodological foundation for the research, Terrenostratigraphy was used, for which the Paleogeographic Domains (DP), Petrotectonic Sets (CPT) and Tectono-Stratigraphic Units (UTE) are defined.

**Keywords:** Paleogeographic Domains, Petrotectonic Sets, Orogenic Cover, Tectono-Stratigraphic Units, Sagua, Vega, Jumagua.

#### **RESUMO**

O substrato da região estudada são as rochas do Domínio Paleogeográfico (DP) Margem Continental Norte-Americana, Conjunto Petrotectônico (CPT) Rochas Carbonáticas Pelágicas, estudando três unidades litoestratigráficas de sua cobertura, pertencentes à Cobertura Orográfica Central do CPT da UTE Camajuaní e Remedios: formações Sagua, Vega e Jumagua do Paleoceno tardio-Eoceno inicial, Paleoceno tardio-Eoceno médio e Eoceno inicial-Eoceno médio inferior, respectivamente. Argumenta-se que, após o Cretáceo, a porção sul das Bahamas passou por uma transformação e seu regime tectônico mudou em direção ao da bacia do foreland. Na região nordeste de Cuba Central, em direção à cordilheira Jatibonico, são claramente identificadas as características da Formação Sagua, vinculadas a uma fonte de contribuição proveniente principalmente do banco carbonático da UTE-Remedios e de rochas da UTE Camajuaní. Nas serras de Camaján e Gibara, nas províncias de Camagüey e Holguín, respectivamente, foi descrita a Formação El Embarcadero, muito semelhante à Formação Sagua do centro de Cuba. Ali, assim como no centro de Cuba, seus fragmentos contêm rochas depositadas em bacias de águas profundas, o que sugere a destruição de camadas da UTE Placetas e Camajuaní, bem como camadas de plataforma da UTE Remedios. O paleoambiente corresponde ao de uma plataforma batial externa à superior, com detritos transportados da plataforma média e rochas cretáceas da Margem Continental Norte-Americana DP. A estratigrafia terrestre foi utilizada como base metodológica da pesquisa, e para tanto foram definidos Domínios Paleogeográficos (DP), Conjuntos Petrotectônicos (CPT) e Unidades Tectono-Estratigráficas (UTE).

**Palavras-chave:** Domínios Paleogeográficos, Conjuntos Petrotectônicos, Cobertura Orográfica, Unidades Tectono-Estratigráficas, Sagua, Vega, Jumagua

#### **INTRODUCCIÓN**

La región septentrional de Cuba constituye el testimonio de la complejidad de las estructuras del territorio

de la Republica de Cuba, pues en ella se disponen de norte a sur, todas las Unidades Tectono-Estratigráficas presentes del Cinturón Orogénico Cubano. Es por esto que la misma han sido estudiadas desde principios de siglo, tanto por numerosas compañías extranjeras. También se realizaron algunos levantamientos geológicos detallados y búsquedas en pequeñas áreas para diferentes fines, en lo fundamental para la búsqueda del petróleo y de minerales útiles.

A los depósitos de cuenca frontales sobre las Unidades Tectono-Estratigráficas (UTE) Camajuaní y Remedios de esta región, se les han asignado diferentes nombres e intervalos estratigráficos lo que ha provocado, un cuadro poco claro de sus relaciones estratigráficas (diferentes litologías) y edades entre los distintos instituciones docentes e investigativas del Servicio Geológico Nacional y el Léxico Estratigráfico de Cuba. Las formaciones Vega, Sagua y Jumagua, pertenecientes a la cobertura orogénica sobre las UTE Camajuaní y Remedios, son algunas de estas unidades litoestratigráficas.

El Léxico Estratigráfico de Cuba (Bernal et al, 2024) reconoce las formaciones Caibarién y Vega; sitúa la Formación Sagua dentro de la Formación Vega y algunos autores reconocen a la Formación Caibarién como una formación distinta a Jumagua, pero al observar las coincidencias en sus relaciones estratigráficas, se describen como una sola formación.

En el Código Cubano de Estratigrafía (De Huelbes & Bernal, 2014), artículo 1: Requisitos para definir de modo formal a las unidades, menciona que estos requisitos son aplicables tanto a las unidades que estén definidas en pozos, trincheras, canteras, entre otros. Por lo que es posible realizar la propuesta al Léxico Estratigráfico de Cuba.

Linares y Fajardo (2023) describieron las formaciones Sagua, Vega y Jumagua, como unidades litoestratigráficas pertenecientes al Dominio Paleogeográfico Etapa Orogénica, Conjunto Petrotectónico Cobertura Orogénica Central del Drifting (Margen Continental Norteamericano). El DP de la Etapa Orogénica en Cuba, se clasifica por su rejuvenecimiento desde el oeste hasta el oriente de Cuba. Se distinguen tres CPT:

Cobertura Orogénica Occidental de Drifting del intervalo Cretácico Superior Maastrichtiano tardío-Eoceno Inferior Ypresiano; CPT Cobertura Orogénica Central del Drifting, enmarcado en el intervalo Cretácico Tardío Maastrichtiano - Eoceno Medio Lutetiano. A este CPT pertenecen las tres unidades que se analizan. Se les asocia a las coberturas de las Unidades Tectono-Estratigráficas Camajuaní y Remedios. Son rocas calcáreas, brechas-carbonatadas y siliciclásticas, que se registran en el Franja Noroccidental de Hidrocarburos de Cuba (FNHC) en la profundidad y aflora de forma predominante en el norte de la región central de Cuba hasta Camagüey. Por último, se describe el CPT Cobertura Orogénica Oriental del Drifting.

Este CPT oriental, está representado por rocas carbonatadas brechosas, calizas, margas y rocas siliciclásticas que cubren las unidades litoestratigráficas del Grupo Remedios. El conjunto se ajusta a la edad Paleoceno tardío-Eoceno tardío y se ubica desde el punto de vista geográfico en el norte de la provincia de Holguín. Como se ratifica, la orogenia culminó en occidente en el Ypresiano y en el oriente más tarde, a finales del Eoceno con la Formación Camarones.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Con el objetivo de lograr una correcta caracterización de estas formaciones en cuanto a sus relaciones estratigráficas, se creó una cadena ordenada de pasos que permitan avanzar en el proceso del conocimiento y realización de la investigación.

### Estudio de bibliografías y trabajos anteriores

Como primer paso, se realizó un profundo análisis de la información precedente. Se tomaron trabajos de autores que han realizados proyectos de levantamientos y reconocimientos geológicos en Cuba Central. Seleccionándose los trabajos más importantes usados durante el proceso de investigación.

Los informes que más influyeron en la investigación pertenecen a los autores siguientes:

- I. Kantchev *et al*; 1978.
- C. W. Hatten *et al*; 1958.
- P. Bronnimann y G. Pardo; 1954

- P. Ortega; 1931-1937
- CH. Ducloz y M. Vuagnat; 1958
- E. Linares-Cala *et. al.* ; 2023
- L. Bernal y colectivo de autores 2024

### Léxico Estratigráfico de Cuba

A lo largo de estos años se ha actualizado el Léxico Estratigráfico de Cuba, para la presente investigación se utilizó como referencia el reciente del año 2024 (Bernal y colectivo de autores), que se evalúa como el más completo hasta ahora. Se empleó como elemento comparativo con la información actualizada de estas unidades y como base para la propuesta de esta investigación.

### Informes realizados por el Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET)

Se analizaron los informes de levantamiento, reconocimiento y de perforación de pozos realizados por el CEINPET entre los años 2011- hasta la actualidad, con el objetivo de comparar la nueva información con los trabajos realizados en el área con anterioridad, así como la información actualizada en el Léxico Estratigráfico de Cuba.

### Los trabajos utilizados fueron:

- Proyecto 2801: Sedimentos Sinorogénicos y su relación con reservorios y sellos
- Texto Explicativo al mapa de los Dominios Paleogeográficos y Conjuntos Petroectónicos de la República de Cuba, escala 1:500 000
- Proyecto 7078: Exploración en el sector Morro-Boca de Jaruco de la Franja Norte de Crudos Pesados
- Proyecto 7043: Estudio integral de las rocas sellantes en los yacimientos petrolíferos de Cuba

### Tablas Descriptivas

Se crearon tablas descriptivas con el fin de organizar y correlacionar los datos para su interpretación. Estos datos fueron tomados de los informes de campo realizados por especialistas del CEINPET:

- Paleontológicas: se realizaron con el propósito de redefinir la edad de estas formaciones mediante la investigación de los fósiles encontrados en ellas.
- Petrográficas: se crearon con el objetivo de caracterizar las litologías presentes en estas unidades para conocer sus características petrográficas (sello, reservorio, entre otros.)

### Análisis de pozos

Se interpretaron los datos de pozos donde se revelaron estas unidades litoestratigráficas y correlacionan los mismos con los afloramientos donde se registren estas formaciones y así precisarlas como parte del DP Cobertura Orográfica de las UTE Camajuaní y Remedios.

### Las perforaciones que se utilizaron fueron:

- Corralillo No.1
- Bolaños No.1
- Sullivan No. 1
- Marbella No. 1
- Caracoles No.1
- Cupey 1-X

### Confección de la Columna Estratigráfica

Se confeccionó una columna estratigráfica para redefinir la posición de estas unidades como parte de la cobertura orogénica de las UTE Camajuaní y Remedios, al tener en cuenta sus edades y espesores correspondientes. Para esto se utilizó el *software Strater 5*, primeramente, al crear una base de datos considerando la litología y el espesor y para crear, al final, la columna con sus distintas litologías que sirvieron de base para la propuesta de incorporación al Léxico Estratigráfico de Cuba.

### DISCUSIÓN

Con el resultado obtenido de la tabla paleontológica (redefinir la edad) y el análisis de pozos (posición de las formaciones, litología y el espesor correspondiente) fue posible construir la columna estratigráfica definitiva para estas unidades litoestratigráficas

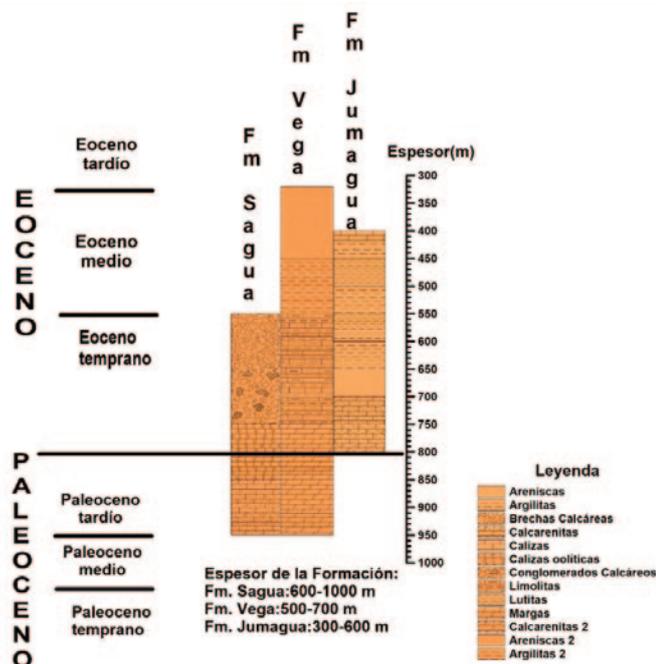


Figura 1. Esquema donde se muestra la edad y litologías de estas formaciones

### Formación Sagua

Un análisis detallado de la sedimentogénesis y régimen tectónico de la cuenca donde se depositaba la Formación Sagua, así como su vinculación con la UTE Camajuaní y Remedios, es consultado en el informe de Hatten (1958) en la parte de la Unidad Tectónica Zulueta y en el informe de Pardo (1954), en la parte del Cinturón Yaguajay. Hatten (1958) consideraba que esta formación era una de las más distintivas desde el punto de vista regional y sus afloramientos se extendían desde las provincias de Matanzas hasta Las Villas para volver a exponerse en la Sierra de Cubitas en Camagüey y en el área de Gibara en la entonces provincia de Oriente (En la actualidad, allí las rocas similares se atribuyen a la Formación El Embarcadero). En resumen, la Formación Sagua es un depósito de talud, contiguo al área donde se erosionaba el banco carbonatado del Cretácico DP Margen Continental Norteamericano CPT de Aguas Carbonatadas de Plataforma y de forma parcial las rocas del CPT de Rocas Carbonatadas de Aguas Profundas. Fue propuesta por Pardo en (Bronnimann P., Pardo G. 1954). La composición de esta unidad litoestratigráfica es semejante a la reseñada en otras regiones donde también es cubierta paleogénica de las UTE

Remedios, Camajuaní y Cayo Coco. Se trata de brechas calcáreas y conglomerados calcáreos (Figura 2) con algunos horizontes de calcarenitas. Las brechas son de fragmentos muy variables en su tamaño, en tanto los conglomerados llegan hasta la fracción fina. Incluyen en sus fragmentos, micritas, biomicritas, micritas silicificadas, calizas oolíticas y pedernales. En los fragmentos predominan los fósiles redepositados del Cretácico temprano y tardío de la plataforma y del Cretácico temprano de facies pelágicas. Las calcarenitas son de granos finos hasta gruesos, con cemento silíceo-carbonatado, a veces algo dolomitizado. La matriz de las brechas es en esencia margosa y la de los conglomerados micrítico-arcillosa.

Además de numerosos fósiles redepositados de facies de banco y pelágicos de varias edades, incluso del Paleoceno temprano, en la matriz micrítico-margosa se relacionan: *Morozovella formosa*, *M. aragonensis*, *M. wilcoxensis*, *Truncorotaloides* sp., *Acarinina* spp., *Morozovella* spp., *Discocyclina* sp., *Amphistegina lopeztrigoi*, *Boreloides cubensis* y *Marthasterites tribachiautus*. Esto confirma la edad de la Formación Sagua que es Paleoceno Tardío-Eoceno Temprano. Esta secuencia se identifica en el pozo Colorados No.1

entre 860 y 960 metros. También con un considerable espesor se detecta en el pozo Colorados No. 2 entre 1 030 y 2 093 metros, al abarcar los núcleos del número 5 al número 28.

El contacto inferior, es discordante con una su-

perficie de «hardground» del techo de la Formación Colorados y la Fm Lutgarda. El límite superior es discordante con los sedimentos oligocénicos del Neoaútoctono, descrito en el Pozo Colorados No.1 o con el Mioceno en el pozo Colorados No.2.



**Figura 2.** Brechas carbonatadas de la Formación Sagua, Corralillo provincia de Villa Clara

### Formación Vega

En la referencia original de la Formación Vega, en el informe de Pardo en: (Bronnimann P., Pardo G. 1954), no se señaló un Holoestratotipo para la unidad litoestratigráfica en cuestión. Con el nombre Formación Vega, el autor determinó una alternancia de areniscas y margas arcillosas con intercalaciones de conglomerados. Kantchev (1978) aceptó el nombre Formación Vega, pero amplió su contenido litológico, incluyendo en la misma todos los depósitos paleogénicos de la UTE Camajuaní. En el informe de (Hatten, 1958) se encuentran los apelativos Formación Sagua para las brechas y Formación Zaza para las rocas siliciclásticas. Albear (1961), usó los nombres formaciones Vega y Sagua, pero en esta última incluyó las brechas calcáreas gruesas en tanto las finas las atribuyó a la Formación Vega. Pardo (1954) y Bronniman y Pardo en ese mismo año, para las brechas emplearon el nombre Sagua, y las margas y calizas fragmentarias las asignaron a la Formación Martín. El nombre del Formación Vega, que proviene de la zona Vega del Hoyo 3 kilómetros al norte del poblado de Vega Alta, pro-

vincia de Villa Clara, Cuba. Como se observa, solo el autor significó bien la composición sustancial de esta unidad litoestratigráfica. El resto de los geólogos incluyeron rocas muy diferentes formadas en diferentes regímenes tectónicos.

### Localidades notables de la Formación Vega

Se proponen estaciones notables para extender el conocimiento de la unidad a otra zona hacia el este, en la provincia de Ciego de Ávila. Una de ellas se ubica en el paraje Los Barriles, municipio Florencia, provincia de Ciego de Ávila, en las coordenadas: Lambert X= 715400 Y= 259250 y Coordenadas Geográficas: N= 22° 08' 47.18" W= 78° 54' 42.27" Hoja ICGC: 4482 III (Florencia) (**Figura 3**) .Se trata de un excelente afloramiento de la Formación Vega, con la finalidad de ampliar el conocimiento de la unidad, límite estratigráfico y extensión. La Formación Vega se acepta en el sentido y con el contenido litológico original que le dio su autor.

La localidad que se propone, desde el punto de vista geográfico, se ubica 6.5 kilómetros al este del



**Figura 3.** Estación EL- 6-2000. Corte flyschoides del Fm. Vega en la localidad Los Barriles, Florencia, provincia de Ciego de Ávila. Es una alternación de areniscas, arcillas y limolitas con capas de calizas arcillosas

centro del poblado de Florencia, 3 kilómetros al norte del poblado de Tamarindo, extremo occidental de Lomas de Santa Clarita, en el municipio Florencia. Es de fácil acceso para los investigadores, quienes llegan desde la ciudad de La Habana y otras localidades, por la Autopista Nacional y por la Carretera Central, hasta el entronque con la Carretera Sancti Spíritus–Yaguajay. Desde aquí se tomará hacia el norte para llegar al poblado de Jarahueca y a continuación, por el Circuito Norte, al cambiar de vía en Tamarindo hacia Chambas. Unos 3.5 kilómetros al norte, está la cortina de la presa del río Chambas y Cañada Blanca. En un talud de la loma del Burro, cerca de un molino de piedras, está la estación en cuestión.

Los sedimentos sinorogénicos en las áreas septentrionales de las provincias Ciego de Ávila y Sancti Spíritus, comprenden secuencias clásticas y flyschoides que se extienden en edad desde el Paleoceno tardío hasta el Eoceno Medio tardío.

La ausencia de sedimentos del Daniano sobre las unidades de la UTE Remedios, corresponde con una discordancia en la base de la cuenca de antepaís o sea que la sedimentación comenzó en el Paleoceno Tardío - Eoceno Temprano.

De esta manera, en el Eoceno Inferior – Medio, la sedimentación consistió en secuencias clásticas (brecha – conglomerado carbonatada del Formación

Sagua), flyschoides (flysch de la Formación Vega) y secuencias carbonatadas (margas, micritas y biomicritas de las formaciones Jumagua y Caibarién). Por último, la cuenca culminó con los depósitos tipo wildflysch (Fm. Florencia) en el tope del Eoceno Medio. Estas brechas poligénicas, se cubren con discordancia angular por calizas y margas oligocénicas del Fm. Chambas. En la localidad de Los Barriles, se conjugan varias de estas secuencias, incluyendo unidades litoestratigráficas del Grupo Remedios.

Así, al lado oriental del camino, donde se corta la cortina de la presa, se observa un magnífico afloramiento de un flysch compuesto por limolitas y argilitas gris oscuro y areniscas pardo carmelitosas con abundante matriz arcillosa que contienen abundantes radiolarios y foraminíferos quillados del Eoceno Inferior; entre ellos, varias especies de los géneros *Morozovella* y *Acarinina*.

Por último, con rumbo hacia la parte occidental, antes del aliviadero de la presa, se encuentra un gran desarrollo de biomicritas de color gris claro con finas intercalaciones de argilitas calcáreas, así como paquetes de margas blancas (EL-13119). Esta unidad representa un sello sobre los carbonatos o sobre las secuencias clásticas desarrolladas en el territorio, al igual que los sedimentos flyschoides del Fm. Vega, detectados en algunos pozos perforados en la región. Las

margas de edad Eoceno Medio, son también similares a las del Formación El Recreo de la región de Holguín y en la zona que se está tratando, se atribuyen a la Formación Caibarién.

Adicionalmente, la Formación Vega tiene excelentes exposiciones en el Valle Alunado en la provincia de Sancti Spiritus, en la zona al noreste de Vega Alta y al sur de la Loma de Sinaloa en la provincia de Villa Clara donde afloran las rocas más arcillosas.

En el Valle del Alunado (**Figura 4**), las areniscas tienen abundantes componentes de la destrucción del DP Arco Volcánico Cretácico (AVC), yacen estratificadas con aleurolitas grises verdosas, que por su composición son polimícticas, con granos de plagioclasas, anfíbol, piroxeno, cuarzo y en menor proporción epidota, feldespato potásico, biotita y clorita, con un cementante pobre, carbonatado- hidromicáceo de tipo poroso. Los granos son angulosos, semiredondeados y raramente redondeados. Su tamaño oscila en amplios límites. A veces son de granos gruesos hasta conglomeráticas. Ocurren también conglomerados. Las areniscas de granos finos, aleurolitas y margas, tienen capas de 1-2 centímetros hasta 20-30 centímetros de espesor. Las capas de areniscas más gruesas son de 80- 90 centímetros hasta un metro y en ocasiones, más. En algunas rocas, se observa intemperismo esférico (cáscara de cebolla). Los conglomerados y brecha-conglomerados, están formados por clastos de rocas del AVC, gabroides y en

menor cuantía de granitoides y calizas. Los clastos y fragmentes suelen ser grandes de hasta 10 centímetros, semiredondeados y redondeados, hay también bloques angulosos grandes. El cemento de los conglomerados es arenoso-polimíctico. Un rasgo importante para los sistemas petroleros, es la presencia de horizontes margosos y arcillosos en esta formación, que de forma eventual alcanzan algunos metros y se reitera, pudieran constituir un sello regional.

Las rocas arcillosas son las que más fauna fósil tienen: en el Paleoceno se describen *Globigerina soldadoensis*, *Morosovella velascoensis*, *M. angulata*, *Acarinina aequa*, *Globorotalia compressa*, *G. pseudomenardii*, *G. pseudobulloides*, *G. acuta*. del Eoceno Inferior se describen: *Operculina cutenula*, *Morosovella aragonensis*, *Acarinina bullbroki* y del Eoceno Medio: *Discocyclina D. marginata*, *Amphistegina parvula*, *A. Lopeztrigoi*, *Eoconuloides wellsi*, *Asterocyclina habanensis*, *Dictyoconus americanus*, *Helicostegina gyralis*, *Morosovelloides crassatus* y otros. De manera que la edad de la Formación Vega es Paleoceno Tardío- Eoceno Medio tardío.

Se reconoce en el pozo Morón Norte entre las profundidades 2 616 metros y 2 726 metros, en el pozo Cupey 1-X, 1 935-2 155 metros y en el pozo Caracoles 11 207-2 170 metros. Sus afloramientos se distribuyen en las Hojas Santa Clara y Morón a escala 1: 250 000 del Mapa Geológico de la República de Cuba (Albear *et al.*, 1988). Formación Jumagua



**Figura 4.** Formación Vega Valle del Alunado provincia de Sancti Espíritus.

Fue propuesta por (Ortega P. 1931) y ampliada por (Hatten Ch. W, 1958) .El autor la reconoce en los pozos Cayo Coco y algunos de Punta Alegre (Collazo No. 1 y Tina No. 2), también por la Sierra de Jatibonico en Sancti Spíritus-Ciego de Ávila y en la Sierra de Cubitas en Camagüey. Según Hatten, Ortega en 1931 incluyó las rocas que él llama Formación Jumagua, en su Formación Caibarién. La localidad tipo la situó a unos seis kilómetros de la ciudad de Sagua La Grande, bien expuesta en una cantera nombrada Jumagua, la que se corresponde con la desactivada cantera Lázaro Pentón (**Figura 5**) al suroeste del pobladito Jumagua. Comprende brechas carbonatadas, micritas microcristalinas grises-azulosas, con intercalaciones de argilitas y lutitas en finas láminas estratificadas y lentes de pedernales diagenéticos de 1-10 centímetros de espesor, además calcarenitas con abundantes detritos orgánicos sobre todo de pelecípodos. Las lutitas poseen materia orgánica carbonosa. Hacia la parte alta de la unidad, ocurren areniscas algo arcósicas cementadas por carbonato de calcio con minerales grises-ver-

dosos. En las argilitas se han descrito *Discoaster lodonensis* y *Marthasterites tribrachiatus* del Ypresiano Inferior biozona NP-12. En las calizas se reportan *Truncurotaloides topilensis*, *Acarinina pseudotopilensis*, *Pseudohastigerina wilcoxensis*, *P. micra*, *Morozovella spinulosa* y *M. aragonensis*. De manera que la edad de la formación es Eoceno temprano a Eoceno Medio parte baja, desde la biozona de *M. aragonensis* hasta *A. bullbroki*. El paleoambiente es nerítico profundo, al representar un evento transgresivo. Yace de forma discordante sobre la Formación Sagua. El contacto inferior puede ser discordante o tectónico con formaciones más antiguas. El espesor es de unos 120 metros. Se ha reconocido en los pozos Marbella Mar No. 2, al formar escamas imbricadas con las formaciones Sagua y Vega. En el pozo Litoral Pedraplen Centro No. 1, la Formación Jumagua contiene petróleo de 29° API en una zona muy terrígena en el intervalo 2 057-2 088 metros. Rocas muy similares afloran en la sierra de Jatibonico por el Campismo de Boquerón y el Valle del Alunado.



**Figura 4.** Formación Vega Valle del Alunado provincia de Sancti Espíritus.

## CONCLUSIONES

1. Al comparar las relaciones estratigráficas de las distintas formaciones estudiadas se concluye que las edades para las formaciones Sagua, Vega y Jumagua, son: Paleoceno tardío-Eoceno temprano, Paleoceno tardío-Eoceno temprano, Paleoceno tardío-Eoceno medio y Eoceno temprano-Eoceno medio-parte baja respectivamente.
2. De acuerdo con la información obtenida tras el análisis de los trabajos estratigráficos anteriores, de estas tres unidades litoestratigráficas se pudieron comparar los resultados de campañas de levantamiento geológico para reconocimientos y el estudio de columnas estratigráficas de perforaciones de pozos, análisis paleontológicos y petrográficos, por lo que se determinó a estas formaciones como posibles reservorios o sellos.
3. Se realiza una propuesta al Léxico Estratigráfico de Cuba, donde se proponen las formaciones Sagua, Vega y Jumagua con sus respectivos caracteres geológicos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albear, J. F., I. Boyanov, K. Breznyanszky, R. Cabrera, V. Chejovich, B. Echevarría, R. Flores, F. Formell, G. Franco, I. Haydutov, M. Iturralde, I. Kantchev, I. Kartashov, V. Kostadinov, G. Millán, R. Myczynski, E. Nagy, J. Oro, L. Peñalver, K. Piotrowska, A. Pszczolkowski, J. Radocz, J. Rudnicki, M. Somin**, 1988, Comisión de Unificación del Mapa Geológico de la República de Cuba a escala 1: 250 000.
- Bernal-Rodríguez, L. R. y colectivo de autores**, 2024, Léxico Estratigráfico de Cuba. Edición Digital. Editorial CNDIG ISBN 978-959-7271-04-8. La Habana. IGPSGC.
- Bronnimann, P., Pardo G.**, 1954, Annotations to the correlation Chart and catalogue of Formations. (Las Villas province).
- De Huelbes, J., Bernal L. R.**, 2014, Código cubano de estratigrafía. Instituto de Geología y Paleontología Servicio Geológico de Cuba.
- Ducloz, CH., Vuagnat M.**, 1958, Mapa Geológico Generalizado, parte norte y central de la provincia de Las Villas: escala 1:100 000, Cuba, Texaco Petroleum Company. Archivo Ceinpet.
- Hatten, Ch. W.**, 1958, Geology of Central Cuba, Eastern Las Villas and Western Camagüey, Provinces, Cuba. O.N.R.M.
- Kantchev, IL.; Boyanov Y.; Popov N.; Cabrera R, Goranov A.; Iolkieev N.; Kanazirski M.; Stancheva M.**, 1978, Geología de la Provincia de Las Villas. Resultado de las Investigaciones Geológicas y Levantamiento Geológico a escala 1:250 000 (1969-1975). Brigada Cubano-Búlgara: O.N.R.M.-MINBAS, La Habana (Inédito).
- Linares, E., Fajardo Y.**, 2023, Texto explicativo al mapa de los Dominios Paleogeográficos y Conjuntos Petrotectónico de la República de Cuba, escala 1 500 000.
- Ortega, P.**, 1931, Informe Geológico presentado al Gobierno provincial de Sta. Clara sobre el registro petrolero «CARCO» denunciado por la Compañía Petrolera CARCO en la Prov. de Santa Clara.



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 y deben ser enviados a: [editorial@olmeca.edu.mx](mailto: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](http://olmeca.edu.mx) | +52(993)187 9700 Ext. 1141

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



UNIVERSIDAD OLMECA

*Raíz de sabiduría*



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

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

Versión impresa



ISSN-2683-3174

Versión electrónica



ISSN-2954-3533