

Geociencias UO

Órgano de difusión científica de la Universidad Olmeca

Enero-junio 2026, Volumen 17, 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 tobos 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 tufos do Domínio Paleogeográfico do Arco Vulcânico Cretáceo. Cidade de Zaza del Medio, na província de Sancti Spiritus. Localizado a 21° 59' 42" de latitude norte e 79° 22' 16,5" de longitude oeste. Fotografia: Dr. C. Evelio Linares Cala (bello@ceinpet.cupet.cu).

Comisión Técnica

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

Esta publicación es el órgano de divulgación científica de la Universidad Olmeca, en ella se 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 2026, volumen 17, 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

Reserva del Derecho al Uso Exclusivo: 04-2019-092513413800-102. ISSN versión impresa: 2683-3174, ISSN versión electrónica: 2954-3533.

Este número se terminó de editar el 29 de junio de 2026.

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
Rojz de sabiduría

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

EDITORES EN JEFE

Francisco García Hernández

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

Heberto Ramos Rodríguez

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

CONSEJO EDITORIAL

Emilio Alberto De Ygartua Monteverde

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

Beatriz Zumalacárregui de Cárdenas

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

José Luis Naranjo Henao

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

Luzbel Napoleón Solórzano

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

Marco Antonio Maldonado Sánchez

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

Nelson Esteban Salinas Rojas

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

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
Raíz de sabiduría

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

COMITÉ DE ARBITRAJE

Oswaldo Rodríguez Morán

Presidente del Comité de Arbitraje

Manuel Enrique Pardo Echarte

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

Claudio Bartolini

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

Oswaldo Rodríguez Morán

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

Jorge Luis Torres Zafra

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

Olga Castro Castiñeira

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

Norma Rodríguez Martínez

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

Héctor Fernández Núñez

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

Reinaldo Rojas Consuegra

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

Sumario

Presentación	<i>Emilio Alberto De Ygartua Monteverde</i>	4
Carta al editor	<i>Leodegario Lufriú Díaz</i>	5
Suavizado de datos batimétricos para la determinación del pie del talud continental en el sector noroeste de la plataforma territorial de la República de Cuba.	<i>Daniel Pérez Alfonso</i>	6
Contribución a la estratigrafía en la cuenca Nipe, Cuba Norte-Oriental	<i>Osmany Pérez-Machado Milán†, Evelio Linares Cala, Angélica Isabel Llanes Castro, Odalys Reyes Paredes, Yaimeli Almaguer Alvares y Lorenza Modesta Mejías Rodríguez</i>	15
Procesamiento en tiempo de datos sísmicos 3D en zona de transición Cárdenas-Varadero-Camarioca, Cuba	<i>Yamicela Tamayo López</i>	27
Análisis sismo-estratigráfico para la caracterización de los sedimentos de la ensenada El Cristo, Cuba	<i>Idoris Alfonso Santiesteban, Jorge Luis Perdomo, Moraima Álvarez Ortiz y Carlos F. Salazar Pérez</i>	38
Cuencas orogénicas de la república de Cuba	<i>Evelio Linares Cala, Yeniley Fajardo Fernández, Juan G. López Rivera, Pavel M. Blanco Amador, Lorenza Mejías Rodríguez y Osmany Pérez-Machado Milán†</i>	54



Presentación



Estimados colegas, investigadores, docentes, estudiantes y público interesado: La Universidad Olmeca se complace en presentar el número 17 de la revista Geociencias UO, publicación dedicada a la difusión de conocimientos en geología, geofísica, ingeniería petrolera y disciplinas afines. Este volumen reúne aportaciones que reflejan el rigor científico y la diversidad de enfoques que caracterizan a las geociencias en el ámbito nacional e internacional.

En esta edición se incluyen trabajos sobre el suavizado de datos batimétricos para la determinación del pie del talud continental en Cuba, aportando metodologías de filtrado que mejoran la precisión en estudios marinos; una contribución a la estratigrafía de la cuenca Nipe, que enriquece la comprensión de sus perspectivas gasopetrolíferas y un análisis del procesamiento en tiempo de datos sísmicos 3D en la zona de transición Cárdenas–Varadero–Camarioca, con resultados que optimizan la calidad de la imagen sísmica en ambientes complejos.

Asimismo, se presenta un estudio sismo-estratigráfico de los sedimentos en la ensenada El Cristo, orientado a la prospección de arenas marinas para proyectos de recuperación de playas, y una investigación sobre las cuencas orogénicas de la República de Cuba, que clarifica estructuras tectónicas y aporta un mapa detallado de gran valor académico.

Cada artículo constituye una invitación al diálogo interdisciplinario y a la reflexión sobre los retos y oportunidades que enfrentan las geociencias en la región. Confiamos en que este número será de utilidad para investigadores, profesionales y estudiantes, y que contribuirá a fortalecer la comunidad científica que comparte nuestro interés por el conocimiento del subsuelo, los recursos naturales y los procesos geológicos que modelan nuestro entorno.

Reciban un cordial saludo y nuestro reconocimiento por acompañar el esfuerzo editorial de la Universidad Olmeca.

Dr. Emilio De Ygartua Monteverde
Rector

Carta al editor:

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

Reciba mis respetuosos saludos. Me dirijo a usted para manifestar mi opinión sobre el artículo «Aplicación del Complejo Redox en el monitoreo de la contaminación de suelos con metales pesados» de los autores Manuel Enrique Pardo Echarte y Osvaldo Rodríguez Morán, publicado en la Revista Geociencias UO año 1, v.1. num. 1 octubre 2017- marzo 2018.

El artículo refiere una metodología científica para el estudio de la contaminación de suelos por metales pesados Mn, Zn, Pb y otros, en el entorno de una Fábrica de pilas en la cuenca del río Almendares en la Habana Cuba. Se utilizaron varios métodos de investigación, entre ellos de forma experimental, el Complejo Redox. La investigación se realizó siguiendo las pautas de un trabajo científico con presupuestos teóricos aceptables.

Se presentan los resultados de las correlaciones entre elementos químicos en tablas y gráficos de forma adecuada, sin embrago, teniendo en cuenta que el Complejo Redox se utilizó de forma experimental, en las conclusiones hubiese sido favorable para el lector, expresar algunos comentarios sobre el carácter resolutivo del Complejo Redox. En mi opinión, lo más importante para la fábrica era reconocer que tienen que buscar procedimientos para eliminar los vertimientos de metales al medio ambiente y prohibir el uso de la zona contaminada con fines agrícolas o ganaderos.

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



Dr.C. Leodegario Lufriú Díaz
Profesor Consultante
Departamento de Geociencias
Facultad de Ingeniería Civil
Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría”, CUJAE

Suavizado de datos batimétricos para la determinación del pie del talud continental en el sector noroeste de la plataforma territorial de la República de Cuba

Daniel Pérez Alfonso¹

¹ *Ingeniero geofísico, Aspirante a Investigador, Centro de Investigación del Petróleo, UCTB-Geofísica, calle 23 número 105 entre O y P, Vedado, La Habana, Cuba, C.P. 10400. ORCID: 0009-0003-0776-6631. Correo E.: daniel.perez@cein-pet.cupet.cu; danielperezalfonso89@gmail.com*

RESUMEN

Como parte de la actualización de la Presentación ante la Comisión de Límites de la Plataforma Continental, fue determinada la posición del Pie del Talud Continental (FOS) en el sector noroeste de la plataforma territorial de la República de Cuba. El Pie del Talud Continental se identificó como el punto de máximo cambio de gradiente en la base del talud, mediante el cálculo de la segunda derivada de la función fondo marino. Las irregularidades del fondo marino producen una alta variabilidad en su segunda derivada, por lo cual es imprescindible el suavizado de los datos. Este proceso disminuye las fluctuaciones aleatorias causadas por la componente irregular de la serie de datos. Fueron empleados los filtros matemáticos: Media móvil, Regresión local y Savitzky-Golay en perfiles batimétricos para el suavizado de los mismos con el objetivo de determinar dicho FOS en cada uno de ellos. Los datos empleados provienen del levantamiento batimétrico realizado durante un estudio sísmico 2D marino multicliente, entre 2016 y 2017. Fue empleada la plataforma MATLAB R2013b, para la implementación de los filtros. Los mejores resultados

fueron alcanzados por el filtro Savitzky-Golay y en menor medida por Regresión local, el filtro de Media móvil no arrojó resultados satisfactorios.

Palabras clave: Suavizado de datos, Pie del Talud Continental, filtro Savitzky-Golay

ABSTRACT

As part of the update of the Presentation before the Commission on the Limits of the Continental Shelf, the position of the Foot of the Continental Slope (FOS) in the northwest sector of the territorial shelf of the Republic of Cuba was determined. The Foot of the Continental Slope was identified as the point of maximum gradient change at the base of the slope, by calculating the second derivative of the seabed function. The irregularities of the seabed produce high variability in its second derivative, which is why data smoothing is essential. This process decreases random fluctuations caused by the irregular component of the data series. Mathematical filters were used: Moving Average, Local Regression and Savitzky-Golay in bathymetric profiles to smooth them with the objective of determi-

Pérez-Alfonso, D., 2026, Suavizado de datos batimétricos para la determinación del pie del talud continental en el sector noroeste de la plataforma territorial de la República de Cuba.: Geociencias UO. v. 17, núm. 1, junio 2026 pp. 6-14

ning said Foot of the Continental Slope in each of them. The data used comes from the bathymetric survey carried out during a multi-client 2D marine seismic study, between 2016 and 2017. The MATLAB R2013b platform was used to implement the filters. The best results were achieved by the Savitzky-Golay filter and to a lesser extent by Local Regression, the Moving Average filter did not yield satisfactory results.

Key words: Data smoothing, Foot of the Continental Slope, Savitzky-Golay filter

RESUMO

No âmbito da atualização da Apresentação perante a Comissão sobre os Limites da Plataforma Continental, foi determinada a posição do Pé da Talude Continental (FOS) no setor noroeste da plataforma territorial da República de Cuba. O Pé da Talude Continental foi identificado como o ponto de máxima mudança de gradiente na base da encosta, através do cálculo da segunda derivada da função do fundo do mar. As irregularidades do fundo do mar produzem uma elevada variabilidade na sua segunda derivada, razão pela qual a suavização dos dados é essencial. Este processo diminui as flutuações aleatórias causadas pelo componente irregular da série de dados. Foram utilizados

filtros matemáticos: Média Móvel, Regressão Local e Savitzky-Golay nos perfis batimétricos para suavizá-los com o objetivo de determinar o referido Pé da Talude Continental em cada um deles. Os dados utilizados provêm do levantamento batimétrico realizado durante um estudo sísmico marinho 2D multicliente, entre 2016 e 2017. A plataforma MATLAB R2013b foi utilizada para implementar os filtros. Os melhores resultados foram alcançados pelo filtro Savitzky-Golay e em menor grau pela Regressão Local, o filtro Média Móvel não apresentou resultados satisfatórios.

Palavras chave: Suavização de dados, Pé da Talude Continental, filtro Savitzky-Golay

INTRODUCCIÓN

Como parte de la actualización de la Presentación ante la Comisión de Límites de la Plataforma Continental, fue determinada la posición del Pie del Talud Continental (FOS por sus siglas en inglés) en el sector noroeste de la plataforma territorial de la República de Cuba. Dicha comisión establece la metodología para la delimitación de la plataforma continental más allá de las 200 millas marinas, en el caso de Cuba en el polígono oriental del Golfo de México (**Figura 1**). Este trabajo describe los resultados de aplicar filtros mate-

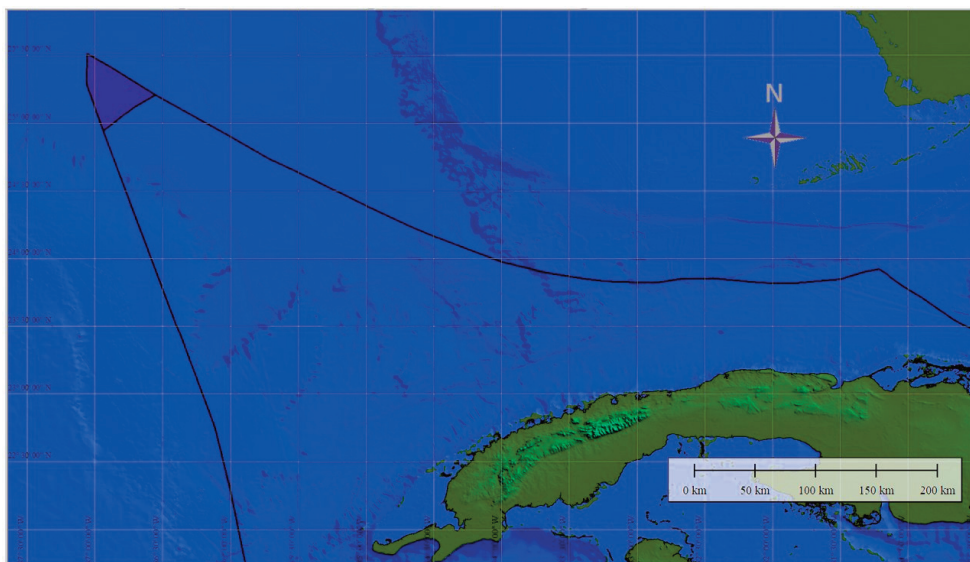


Figura 1. Sombreado en morado polígono oriental del Golfo de México

máticos en perfiles batimétricos para el suavizado de los mismos con el objetivo de determinar dicho FOS en cada uno de ellos.

Para identificar la zona de talud continental se observaron las mayores pendientes en un modelo batimétrico del Golfo de México (**Figura 1**). Fue definida una región de búsqueda enmarcada por la densificación de isolíneas batimétricas, lo cual indica un abrupto cambio en la profundidad. Se estudió la fisiografía de la zona analizada y se buscaron valores de pendiente del fondo marino característicos para la parte inferior del talud y para la llanura abisal, ya que no se verifica la existencia de la emersión continental. A partir de los valores de profundidad del fondo marino y al utilizar el filtro Savitzky-Golay se definió como pendiente promedio 10° para la parte inferior del talud y 0.1° o menores para la llanura abisal, al definir en este rango la base del talud continental para la zona.

Una vez encontrada la zona de talud continental al usar el modelo batimétrico, se procedió a la determinación del Pie del Talud Continental (FOS) a partir

de la búsqueda del máximo cambio de gradiente en la base del talud al emplear perfiles batimétricos.

En la determinación del máximo cambio de gradiente surgen dos problemas de distinto origen: inestabilidad de la solución y el suavizado artificial asociado a la orientación del perfil en el talud (Naciones Unidas, 2006). La inestabilidad de la solución se debe en lo fundamental, al efecto combinado de la anfractuosidad del fondo marino y los errores en la diferenciación numérica, que hacen de la segunda derivada una función muy variable.

Suavizar un conjunto de datos (**Figura 2**) es crear una función que intente capturar patrones importantes en estos, al mantener fuera la parte de los mismos que se considera ruido. El objetivo de suavizar es disminuir fluctuaciones aleatorias causadas por el componente irregular de la serie de datos.

La **Figura 2** muestra un ejemplo de suavizado en una línea batimétrica mediante el filtro Savitzky-Golay, nótese la diferencia en la anfractuosidad del fondo marino mediante el empleo del filtro.

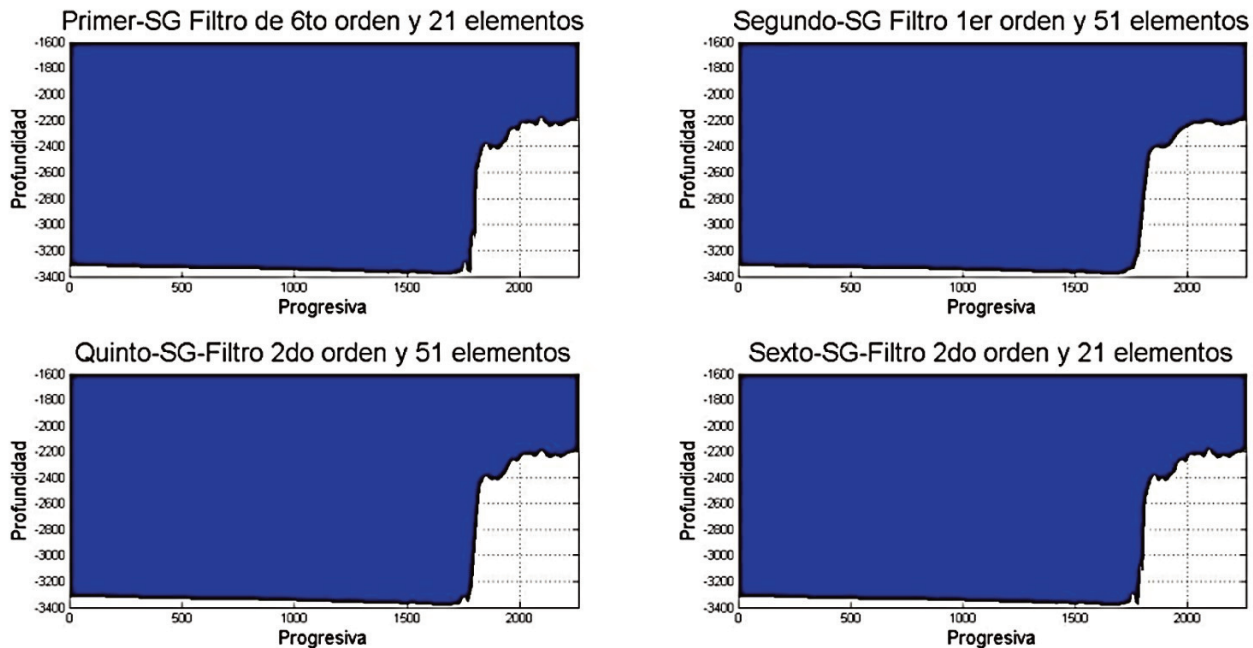


Figura 2. Ejemplo de suavizado en la Línea_GM-62 mediante el filtro Savitzky-Golay con diferentes configuraciones en el orden del polinomio empleado

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos empleados son perfiles batimétricos provenientes de un levantamiento sísmico 2D marino, del tipo multicliente, ejecutado entre los años 2016 y 2017. Este levantamiento fue realizado por los buques BGP Pioneer y BGP Challenger, respectivamente. Ambas naves estuvieron al servicio de la compañía china BGP Geoplotter Ptw. Ltd. Utilizaron un sistema integrado de navegación Spectra v 14.12.1 y un ecosonda modelo Konsberg EA 600 (Morales *et al.*, 2021).

Dichos perfiles son tríadas de valores (longitud, latitud y profundidad) cada 37.5 metros, ubicados en los puntos de excitación de las líneas sísmicas. Para su organización y manejo se empleó el término «Progresiva», sin tener que llamarlos por su correspondiente número de registro, lo cual sería engorroso ya que en cada línea estos se organizan de manera arbitraria según el comienzo y fin de la misma. Por lo que el término Progresiva en todos los casos será adimensional y estará numerado de comienzo a fin de cada línea, pero relacionado a valores de coordenadas.

Fue empleada la plataforma MATLAB R2013b, en la cual se creó el programa DAMA, para la implementación de los filtros empleados en el suavizado de los datos batimétricos. Además, fue usado Global Mapper como sistema de información geográfica para la representación y georreferenciación de los resultados.

Para el suavizado de los datos batimétricos fueron probados los siguientes filtros:

- Media móvil
- Regresión local (*Lowess*)
- Savitzky-Golay

Filtro de Media móvil

Consiste en fijar un número n e impar, de forma preferente y calcular los promedios de todos los grupos de n términos consecutivos de la serie, obteniéndose una nueva serie suavizada por promedios móviles de orden n . De este modo tienden a anularse las variaciones aleatorias. El objetivo es eliminar de la serie los

componentes estacionales y accidentales, de forma matemática se expresa como (**Ecuación 1**):

$$\text{Media móvil} = \frac{\sum(\text{n valores de datos más recientes})}{n} \quad (1)$$

Filtro de Regresión Local (*Lowess*)

El tipo de estimador *LOWESS* más simple, utiliza los k vecinos más cercanos y estima el valor de la función de regresión en el punto x conforme a los siguientes pasos (Olaya, 2005):

- 1) Identificar los k vecinos más cercanos de x y denotar este conjunto como $N(x)$.
- 2) Encontrar la distancia asociada con el vecino más cercano que se encuentra más alejado de x según **Ecuación 2**:

$$\Delta(x) = \max_{\{x_i \in N(x)\}} |x - x_i| \quad (2)$$

- 3) Asignar pesos W_j a cada punto en $N(x)$ al usar la función de pesos tricubo (**Ecuación 3**):

$$W = \left[\frac{|x_0 - y_j|}{\Delta(x_0)} \right] \quad (3)$$

Donde:

$$w(t) = f(x) = \begin{cases} 1 - t^3, & \text{para } 0 < t < 1 \\ 0, & \text{para otro caso} \end{cases} \quad (4)$$

- 4) Ajustar una recta por mínimos cuadrados ponderados de Y en X , confinada al conjunto $N(x)$, al utilizar los pesos obtenidos en 3.

Filtro Savitzky-Golay

Descrito en 1964 por Abraham Savitzky y Marcel Golay (Savitzky y Golay, 1964). El método se basa en el cálculo de una regresión polinomial local (de grado k), que consta de al menos $k+1$ puntos equiespaciados para determinar el nuevo valor de cada punto. Este método tiende a preservar características de la distribución inicial tales como máximos y mínimos relativos, así como el ancho de los picos, que de forma normal desaparecen con otras técnicas de promediado.

Según Schmid, Rath y Diebold, (2022) los filtros Savitzky–Golay (SG) se han popularizado en muchos campos del procesamiento de datos, que van desde espectros en química analítica (Rinnan *et al.*, 2009), en las geociencias y la medicina. Por lo general se aplican a puntos de datos equidistantes y se basan en ajustar un polinomio de grado n dado a los datos en una vecindad (por lo general simétrica) $k - m \dots k + m$ de cada punto de datos k (este rango contiene $2m + 1$ punto de datos). Para suavizar los datos, cada punto de datos se reemplaza por el valor del polinomio de ajuste en este punto k (Schafer, 2011). SG es un filtro lineal y toma un número limitado de puntos como entrada, por tanto, el suavizado SG es un filtro de respuesta de impulso finito (FIR), que se implementa como una convolución con un núcleo adecuado (Savitzky y Golay, 1964) Los núcleos SG se calculan de manera numérica (Presione y Teukolsky, 1990) o de fórmulas analíticas (Madden, 1978 y Persson y Strang, 2003).

En el dominio de la frecuencia, SG es un filtro pasa banda con un corte bastante pronunciado, cuya inclinación aumenta con el grado del polinomio de ajuste (Schafer, 2011). Al ser pasa banda y de corte pronunciado estos filtros conservan los picos y sus al-

turas mejor que muchos otros con una frecuencia de corte similar, propiedad ventajosa para suavizar espectros.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El filtro de Media móvil fue probado con espacio vectorial generado o *span* de 0.1, 1 y de 5. No ofreció resultados satisfactorios en los perfiles donde fue probado, por lo cual se descartó (**Figura 3**).

El filtro de Regresión Local (*Lowess*) fue empleado con dos algoritmos: el clásico y el conocido como “robusto”, el cual reduce su sensibilidad frente a valores extremos. La versión robusta no mostró resultados satisfactorios en los datos empleados por lo cual no fue utilizada finalmente.

La versión clásica del método fue empleada, aunque no mostró resultados mejores que las configuraciones de Savitzky–Golay. La **Figura 3** compara el empleo de los filtros *Lowess* clásico (lineal y cuadrático), *Lowess* en su versión robusta (lineal y cuadrático) y filtro de Media móvil. Todos emplean espacios vectoriales generados o *span* de 0.1. Nótese cómo la respuesta de los filtros de Media móvil y las versiones robustas de *Lowess* suavizan en exceso los datos.

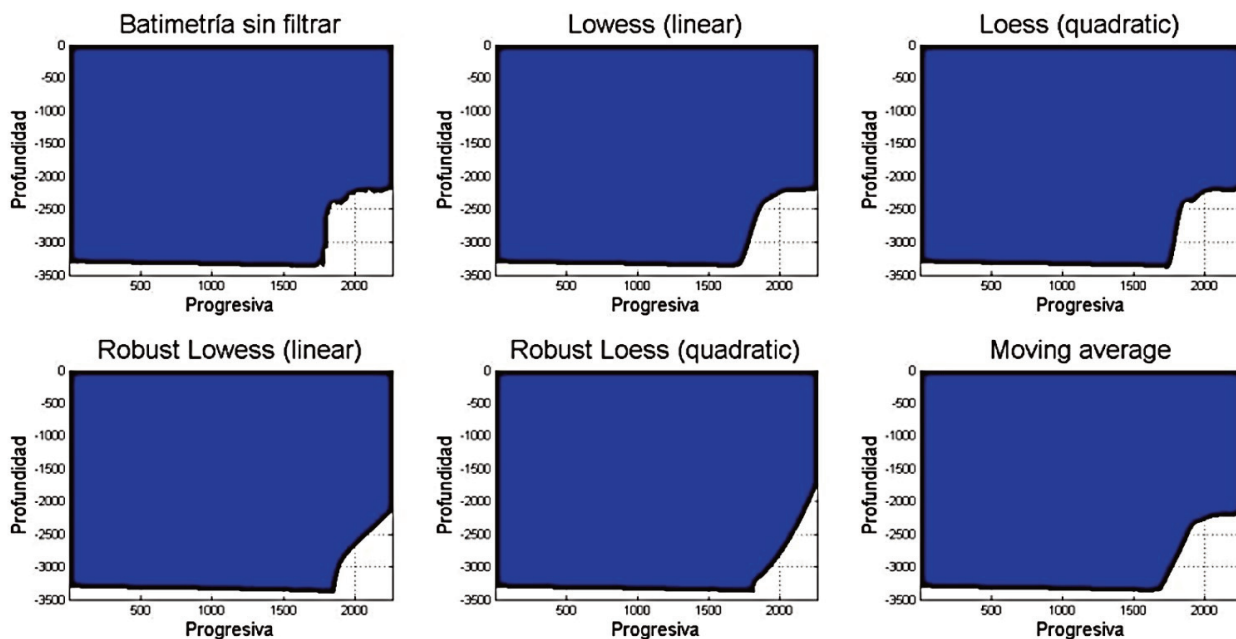


Figura 3. Comparación de los filtros de regresión lineal (*Lowess*) y de Media móvil

Suavizado con Savitzky–Golay

Este filtro fue corrido con 12 configuraciones al variar el orden del polinomio empleado y del tamaño de la ventana de datos (**Tabla 1**):

Las configuraciones que mejor resultados brindaron fueron:

SEGUNDO_SGFILTRADO, PRIMER_SGFILTRADO, SEPTIMO_SGFILTRADO, OCTAVO_SGFILTRADO, las cuales usan de manera iterada el algoritmo, ya que la función de entrada de cada una de ellas es la función de forma previa suavizada mediante SEGUNDO_SG, PRIMER_SG, SEPTIMO_SG, OC-

TAVO_SG respectivamente, o sea se usa dos veces seguidas en cada caso el filtro con cada configuración. En la **Figura 4** nótese el distinto grado de suavizado que ejercen las diferentes configuraciones en el perfil batimétrico.

Luego de varias pruebas se determinó emplear sólo los métodos *Lowess* y Savitzky–Golay para suavizar los datos, según las siguientes configuraciones:

- SEGUNDO_SGFILTRADO
- PRIMER_SGFILTRADO
- *LOWESS*
- SEPTIMO_SGFILTRADO
- OCTAVO_SGFILTRADO

Configuración	Orden del polinomio	Ventana de datos	Comentarios
PrimerSG	6to	21	La entrada de este filtro es la batimetría sin filtrar
SegundoSG	1er	51	
TercerSG	8vo	21	
CuartoSG	6to	51	
QuintoSG	2do	51	
SextoSG	2do	21	
SéptimoSG	8vo	51	
OctavoSG	8vo	91	
SegundoSGFiltrado	1er	51	La entrada de este filtro es el dato, ya filtrado, mediante SegundoSG
PrimerSGFiltrado	6to	21	La entrada de este filtro es el dato, ya filtrado, mediante PrimerSG
SéptimoSGFiltrado	8vo	51	La entrada de este filtro es el dato, ya filtrado, mediante SéptimoSG
OctavoSGFiltrado	8vo	91	La entrada de este filtro es el dato, ya filtrado, mediante OctavoSG

Tabla 1. Configuraciones empleadas del filtro Savitzky–Golay

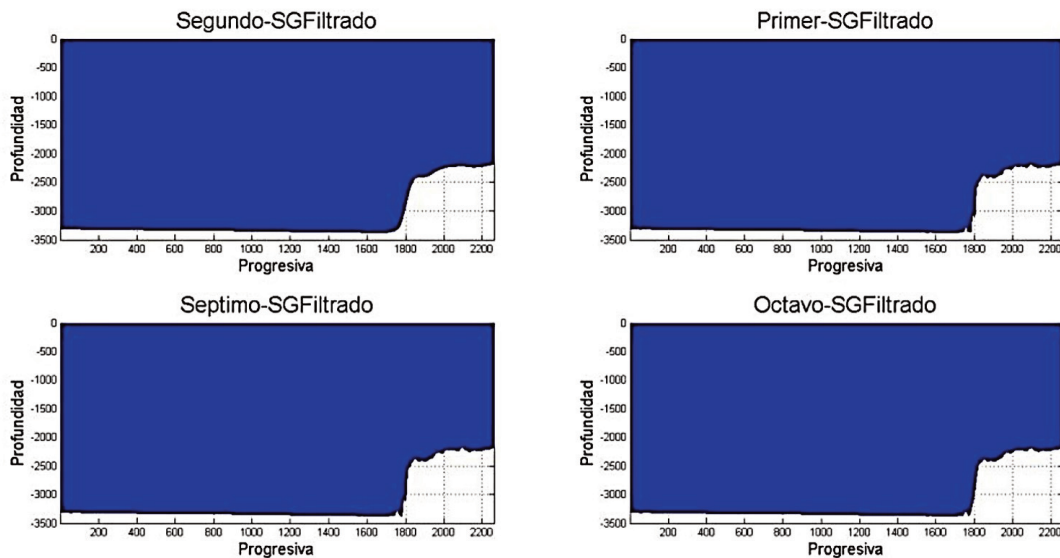


Figura 4. Respuesta del filtro Savitzky–Golay a diferentes configuraciones

Cada una de las cinco configuraciones de suavizado ofreció un par de coordenadas XY en cada FOS a ser determinado. La **Figura 5** muestra un ejemplo de los resultados ofrecidos por las cinco formas de suavizado para la determinación del FOS_GM-302-1 (marcado con un punto rojo en la **figura 5**, sus coordenadas son las determinadas con el SEPTIMO_SG-FILTRADO), en este caso la diferencia máxima entre las coordenadas determinadas entre las cinco configuraciones es sólo de 37 metros.

Para la determinación de cada FOS fueron em-

pleados sólo los resultados que ofrecieron las formas de suavizado con menor dispersión en la posición, al ser por lo general preferido el empleo de los resultados que arrojaron el SEGUNDO_SG-FILTRADO y el SEPTIMO_SG-FILTRADO.

La **Figura 6** muestra la ubicación de los FOS determinados (puntos rojos) sobre un mapa de isolíneas generado a partir del modelo digital batimétrico (MDB) del Golfo de México. La línea anaranjada sigue el Pie de Talud Continental determinado por Morales *et al.*, (2021) a partir del modelo digital batimétrico.

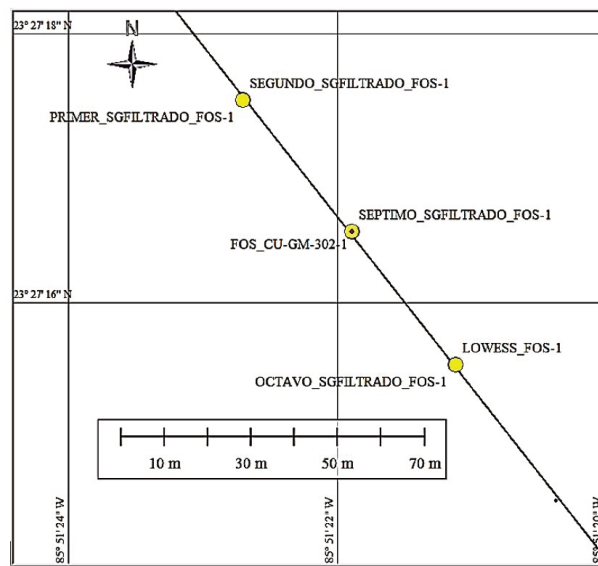


Figura 5. Diferencia en la ubicación del FOS_GM-302-1 al emplear diferentes suavizados

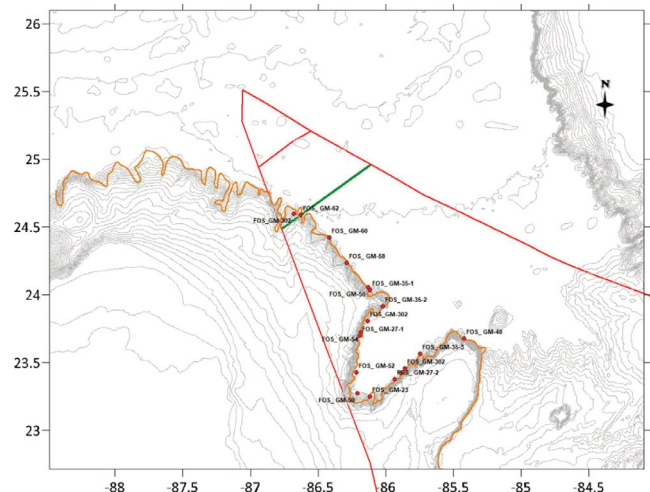


Figura 6. Comparación de la posición de los FOS sobre los perfiles batimétricos contra la posición de la isolínea que describe la posición del Pie del Talud Continental al aplicar el filtro de M.U. Sagitov (Morales *et al.*, 2021)

La **Tabla 2** muestra la diferencia entre las cinco configuraciones de filtros para la determinación de cada FOS. Nótese cómo el error en la posición del FOS está siempre cercano a los 40 metros con una desviación estándar de 38.3 metros. El promedio o media aritmética de la diferencia en distancia es de 64.3 me-

tros para todos los FOS. Si omitimos de este cálculo los resultados alcanzados en la determinación del FOS_GM-27-1 y del FOS_GM-302-3 el promedio es de sólo 53.6 metros de diferencia. La **tabla 3** muestra un resumen estadístico del error en la estimación de los FOS.

FOS Determinados	Diferencia en la posición entre métodos [m]	FOS Determinados	Diferencia en la posición entre métodos [m]
FOS_GM-23	76	FOS_GM-52	75
FOS_GM-27-1	187	FOS_GM-54	37
FOS_GM-27-2	37	FOS_GM-56	37
FOS_GM-29	37	FOS_GM-58	75
FOS_GM-35-1	75	FOS_GM-60	37
FOS_GM-35-2	37	FOS_GM-62	37
FOS_GM-35-3	75	FOS_GM-302-1	37
FOS_GM-48	75	FOS_GM-302-2	75
FOS_GM-50	37	FOS_GM-302-3	113

Tabla 2. Diferencias en la determinación de los FOS.

Resumen estadístico del error en la estimación de los FOS	
Estadígrafo	metros
Media geométrica	56.73
Media geométrica (ajustada*)	50.44
Promedio	64.38
Promedio (ajustado*)	53.68
Desviación estándar	38.31
Desviación estándar (ajustada*)	19.54
*Ajustada al eliminar los dos valores extremos de los datos	

Tabla 3. Resumen estadístico del error en la estimación de los FOS.

CONCLUSIONES

Se determinaron 18 FOS en perfiles batimétricos los cuales son consistentes con la zona de Pie de Talud Continental determinada a partir del MDB.

Se validó el empleo del filtro Savitzky–Golay y *Lowess* para el suavizado de los datos, no así el filtro de Media móvil.

En perfiles con una caída abrupta en la profundidad el suavizado permite determinar el FOS con menor grado de incertidumbre.

Las configuraciones del filtro Savitzky–Golay: SEGUNDO_SGFILTRADO (1er orden con ventana de datos de 51 elementos) y el SEPTIMO_SGFILTRADO (8vo orden con ventana de datos de 51 elementos) al ofrecer los mejores resultados. Estas usan de manera iterada el algoritmo, teniendo como función de entrada la función de forma previa suavizada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Olaya, J.O.**, 2005, “Suavización y regresión no paramétrica: una alternativa de modelación estadística”: Simposio de Estadística 2005, pp. 107 a 129, ISBN: 958-701-559-2, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Morales-Abreu, A., Carbonell-López, Y., Roca-Vidal, Y.M., Pérez-Alfonso, D., García-Martínez, A., Rodríguez-Morán O., Ojeda-César, R., Pról-Betancourt, J.G.L., Rifá-Hernández, M.C., Bejerano-Kindelán, A.M., Ojeda-Jaile, D., Arriaza-Fernández, G.L.**, 2021. “ESTUDIOS PARA LA ACTUALIZACIÓN DE LA DEMOSTRACIÓN DE LA PROLONGACIÓN NATURAL DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DE CUBA MÁS ALLÁ DE LAS 200 MILLAS NÁUTICAS EN EL POLÍGONO ORIENTAL DEL GOLFO DE MÉXICO.”: Informe Técnico Final del Proyecto 5506, Centro de Investigación del Petróleo, (Ceinpet), La Habana.
- NACIONES UNIDAS (NU)**, 2006, MANUAL DE CAPACITACIÓN, División de Asuntos Oceánicos y del Derecho del Mar Oficina de Asuntos Jurídicos. Sobre el trazado de límites exteriores de la plataforma continental más allá de 200 millas marinas y para la preparación de presentaciones de información a la comisión de límites de la plataforma continental, ISBN 92-1-333369-2, Nueva York, 632 pp.
- Savitzky, A., Golay-Marcel J.E.**, 1964, “Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures”: *Analytical Chemistry*, 36 pp.
- Rinnan, A., Van Den Berg F., Engelsens, S.B.**, 2009, “TrAC, Tendencias en química analítica”, 28 (10), 1201-1222 CODEN: TTAEDJ; ISSN: 0165-9936. (Elsevier Ltd.)
- Schafer, R.W.**, 2011 “¿Qué es un filtro Savitzky-Golay?” *Revista de procesamiento de señales IEEE*, 28, 111 – 117, DOI: 10.1109/MSP.2011.941097.
- Presione, W.H., Teukolsky, S.A**, 1990, “Filtros de suavizado Savitzky-Golay. Computadoras en Física” 1990, 4, 669 – 672, DOI: 10.1063/1.4822961.
- Madden, H.H.**, 1978, “Comentarios sobre el método de convolución Savitzky-Golay para el suavizado y diferenciación de datos digitales por ajuste de mínimos cuadrados” *Anal. Química*, 50, 1383 – 1386, DOI: 10.1021/ac50-031a048 10.
- Persson, P.O., Strang, G.**, 2003, “Suavizado mediante filtros Savitzky-Golay y Legendre. Teoría de Sistemas Matemáticos en Biología, Comunicaciones, Computación y Finanzas”, Springer: Nueva York, págs. 301 – 315.
- Schmid M., Rath D., y Diebold U.**, 2022, “Por qué y cómo se deben reemplazar los filtros Savitzky-Golay”, *ACS Meas. Ciencia*. Agosto 2022, 2, 2, 185–196, febrero de 2022, <https://doi.org/10.1021/acsmeasuresciau.1c00054>,. Sociedad Química Estadounidense.

Contribución a la estratigrafía en la cuenca Nipe, Cuba Norte-Oriental

Osmany Pérez-Machado Milán¹, Evelio Linares Cala², Angélica Isabel Llanes Castro³, Odalys Reyes Paredes⁴, Yaimeli Almaguer Alvares⁵, Lorenza Modesta Mejías Rodríguez⁶

¹ Ingeniero Geólogo. Máster en Geología Petrolera. Investigador Agregado. Centro de Investigación del Petróleo, Cuba, CP 10200, Cuba. ORCID: 0000-0003-2326-5769. Correo E.: milan@ceinpet.cupet.cu

² Ingeniero Geólogo. Doctor en Ciencias Geológicas. Investigador Auxiliar. Centro de Investigación del Petróleo, Cuba, CP 10200, Cuba. ORCID: 0000-0003-1246-602X. Correo E.: bello@ceinpet.cupet.cu

³ Ingeniera geóloga de minas. Máster en Ciencias de Geoinformación y Observación de la Tierra. Doctora en Ciencias Geológicas. Investigador Agregado. Instituto de Geología y Paleontología, San Miguel del Padrón, Cuba. ORCID: 0000-0003-2705-2217 Correo E.: isa@igp.minem.cu; isa19111961@gmail.com

⁴ Ingeniera Geofísica. Máster en Geofísica. Investigador Agregado. Centro de Investigación del Petróleo, Cuba, CP 10200, Cuba. ORCID: 0000-0002-4020-8549. Correo E.: oreyes@digi.cupet.cu

⁵ Ingeniera Geóloga. Máster en Geología Petrolera. Investigador Agregado. Centro de Investigación del Petróleo, Cuba, CP 10200, Cuba. ORCID: 0009-0009-4488-7647. Correo E.: yaimeli@ceinpet.cupet.cu.

⁶ Ingeniera Química. Máster en Manejo Integral de zonas Costeras. Investigador Agregado. Centro de Investigación del Petróleo, Cuba, CP 10200, Cuba. ORCID: 0000-0001-9603-1853. Correo E.: lorenza@ceinpet.cupet.cu

RESUMEN

El desarrollo de la industria petrolera en Cuba ha conllevado a un gran aumento en los trabajos geólogo-geofísicos e investigaciones científicas para esclarecer la constitución geológica del territorio cubano y sus perspectivas gasopetrolíferas. Para esto, en los últimos años se han realizado una serie de perfiles geofísicos (sísmica 2D y 3D), se han perforado una serie de pozos paramétricos y un alto número de pozos de búsqueda y exploración; lo que, en conjunto con la generalización y elaboración de una gran cantidad de material existente, ha permitido obtener conclusiones de gran valor para el mejor conocimiento de la geología de Cuba. Se exponen las cuestiones más importantes re-

lacionadas con una de las cuencas sedimentarias de Cuba: Cuenca Nipe, objetivo fundamental de esta investigación. Esta Cuenca es terrígeno- carbonatada y con carácter de plegamiento de moderado hasta débil. Está ubicada en la región de hundimiento Oriental Cubana, al noreste de la provincia de Holguín y está rellena en lo fundamental, por rocas del complejo postorogénico cuyo espesor alcanza 2.2 km, su longitud 60 km, su ancho 2530 km y tiene unos límites plegados claros en el noroeste y sureste. Dicha Cuenca está dividida por levantamientos transversales en la cuenca Cacocúm y Nipe. En el Laboratorio de Bioestratigrafía del Centro de Investigación del Petróleo se investigaron 140 muestras de subsuelo. Los métodos

Pérez-Machado Milán, O., Linares-Cala, E., Llanes-Castro, A. i., Reyes-Paredes, O., Almaguer-Alvares, Y., Mejías-Rodríguez, L. M., 2026, Contribución a la estratigrafía en la cuenca Nipe, Cuba Norte-Oriental: Geociencias UO. v. 17, núm. 1, junio 2026. pp. 15-26.

utilizados fueron el lavado con nafta, sección en suspensión y sección delgada, determinándose un total de 90 especies de diferentes grupos fosilíferos. Al obtener una división estratigráfica más detallada del corte en conjunto con algunos registros geofísicos. La distribución paleobatimétrica de estas familias de foraminíferos transicionan entre nerítico interno a batial superior y sobrepasan los 1200 metros de profundidad.

Palabras clave: Cuenca Nipe, bioestratigrafía, Cuba norte-oriental, foraminíferos

The development of the oil industry in Cuba has led to a great increase in geological-geophysical work and scientific research to clarify the geological constitution of the Cuban territory and its gas-oil prospects. To this end, in recent years a series of geophysical profiles have been carried out (2D and 3D seismic), a series of parametric wells have been drilled and a high number of search and exploration wells have been drilled; which, together with the generalization and elaboration of a large amount of existing material, has allowed obtaining conclusions of great value for the better understanding of the geology of Cuba. The most important issues related to one of the sedimentary basins of Cuba are presented: the Nipe Basin, the main objective of this research. This basin is terrigenous-carbonate and with a moderate to weak folding character. It is located in the Eastern Cuban subsidence region, northeast of the province of Holguín and is mainly filled by rocks of the post-orogenic complex whose thickness reaches 2.2 km, its length 60 km, its width 2530 km and it has clear folded boundaries in the northwest and southeast. This basin is divided by transverse uplifts into the Cacocum and Nipe basins. In the Biostratigraphy Laboratory of the Petroleum Research Center, 140 subsoil samples were investigated. The methods used were washing with naphtha, suspension section and thin section, determining a total of 90 species of different fossiliferous groups. By obtaining a more detailed stratigraphic division of the section together with some geophysical records, the paleobathymetric distribution of these families of

foraminifera transition between internal neritic to upper bathyal and exceed 1200 meters in depth.

Keywords: Nipe Basin, biostratigraphy, northeastern Cuba, Foraminifera

RESUMO

O desenvolvimento da indústria petrolífera em Cuba levou a um grande aumento do trabalho geólogo-geofísico e da investigação científica para esclarecer a constituição geológica do território cubano e as suas perspectivas de gás-óleo. Para isso, nos últimos anos foram realizados uma série de perfis geofísicos (sísmicos 2D e 3D), uma série de poços paramétricos e um elevado número de poços de busca e exploração; o que, juntamente com a generalização e elaboração de uma grande quantidade de material existente, permitiu-nos obter conclusões de grande valor para um melhor conhecimento da geologia de Cuba. São apresentadas as questões mais importantes relacionadas a uma das bacias sedimentares de Cuba: a Bacia do Nipe, objetivo fundamental desta pesquisa. Esta Bacia é carbonatada terrígena e tem um caráter de dobramento moderado a fraco. Situa-se na região de subsidência oriental de Cuba, a nordeste da província de Holguín e é essencialmente preenchida por rochas do complexo pós-orogênico cuja espessura atinge 2,2 km, comprimento 60 km, largura 2.530 km e apresenta limites nítidos dobrados no noroeste e sudeste. Esta Bacia é dividida por soerguimentos transversais nas bacias de Cacocúm e Nipe. No Laboratório de Bioestratigrafia do Centro de Pesquisas de Petróleo foram investigadas 140 amostras de subsolo. Os métodos utilizados foram lavagem da nafta, seção de suspensão e seção delgada, determinando um total de 90 espécies de diferentes grupos fósseis. Obtendo uma divisão estratigráfica mais detalhada do trecho em conjunto com alguns registros geofísicos. A distribuição paleobatimétrica dessas famílias de foraminíferos transita do nerítico interno para o batial superior e ultrapassa 1.200 metros de profundidade.

Palavras-chave: Bacia do Nipe, bioestratigrafia, nordeste de Cuba, foraminíferos

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la industria petrolera en Cuba ha conllevado a un gran aumento en los trabajos geólogo-geofísicos e investigaciones científicas para esclarecer la constitución geológica del territorio cubano y sus perspectivas gasopetrolíferas. Para esto, en los últimos años se han realizado perfiles geofísicos (sísmica 2D y 3D), se han perforado una serie de pozos paramétricos y un alto número de pozos de búsqueda y exploración; lo que, en conjunto con la generalización y elaboración de una gran cantidad de material existente, ha permitido obtener conclusiones de gran valor para el mejor conocimiento de la geología de Cuba. Con esta investigación se pretende exponer algunas de las cuestiones más importantes relacionadas con una de las cuencas sedimentarias de Cuba: Cuenca Nipe (**Figura 1**).

La Cuenca Nipe es terrígeno-carbonatada y con carácter de plegamiento de moderado hasta débil. Está ubicada en la región de hundimiento Oriental Cubana (**Figura 1**), al noreste de la provincia de Holguín. Está rellena en lo fundamental por rocas del complejo postorogénico cuyo espesor alcanza 2.2 km, su longitud 60 km, su ancho entre 25-30 km y posee unos límites plegados claros en el noroeste y sureste. Dicha Cuenca está dividida por levantamientos transversales en la cuenca Cacocúm y Nipe.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la investigación litológica y bioestratigráfica de la

Cuenca Nipe en la región de hundimiento Oriental Cubana, se realizó un levantamiento de los materiales primarios donde se parte de la revisión bibliográfica y se dispone de las hojas cartográficas 5078-II (Nicaro), 5078-III (Guaro), 4978-II (Báguanos) y 4978-III (San Pedro de Cacocúm), también se contó con los resultados de la evaluación del potencial de hidrocarburos costa afuera: sectores Cuba Sur y Centro Oriental (Reyes, 2018), así como otros materiales facilitados por el Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET) entre los que se destacan muestras de pozos, secciones delgadas, libretas de campo, etc. y de toda la información disponible que permitiera el amarre geográfico y aportara datos complementarios a las muestras estudiadas.

Ubicación geográfica de los pozos y tipos de muestreos.

Se investigaron los Pozos Nipe-1, Nipe-2, Báguanos-1 y Cacocúm-1 hasta la profundidad de 2197 m, 2196 m, 1106.43 m y 873.7 m de forma respectiva y cuyos resultados se describen en los acápites siguientes. Se analizaron (32) muestras de sección delgada y (28) muestras de lavado, pertenecientes a los pozos Nipe-1 y Nipe-2, así como, la reinterpretación de registros geofísicos. Las muestras fueron tomadas en pozos de la provincia de Holguín durante los años 1969 y 1970 y vueltas a estudiar en el año 2018, (**Tabla 1 y Figura 2**) así como informes de pozos.

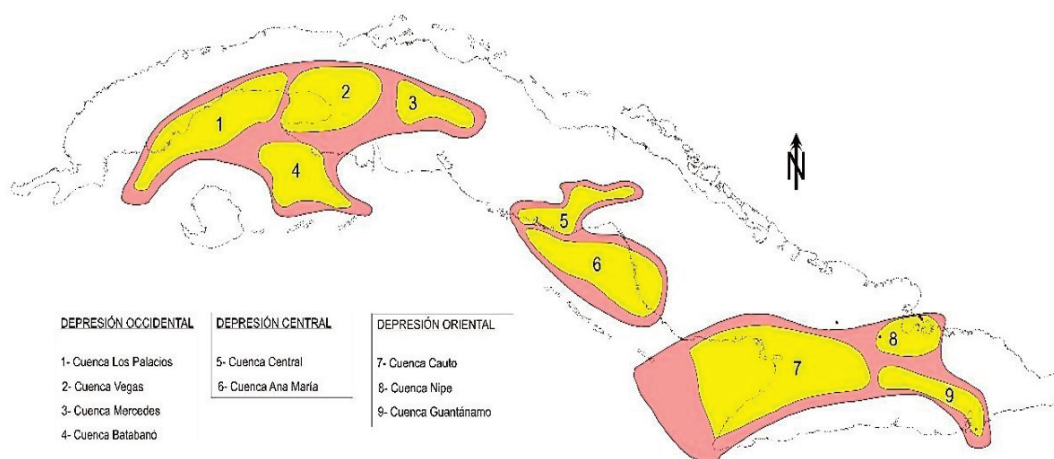


Figura 1. Esquema de ubicación de la Cuenca Nipe, Provincia de Holguín

No	Localidades	Intervalos de profundidad [m]	Coordenadas Lambert	
			X	Y
1	Pozo Nipe-1 (Nicaro 5078-II)	120-2197	628 555	240 472
2	Pozo Nipe-2 (Nicaro 5078-II)	124-2196	630 481	238 180
3	Pozo Báguanos-1 (Báguanos 4978-II)	6-1106	587 600	226 940
4	Pozo Cacocum-1 (San Pedro de Cacocum 4978-III)	12.1-872	542 400	239 480

Tabla 1. Localización de los pozos estudiados (Figura 2)

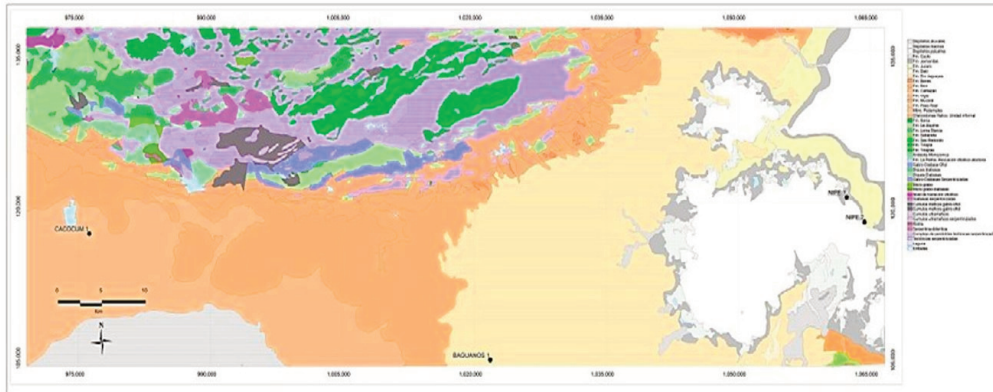


Figura 2. Ubicación geográfica de los pozos estudiados en la provincia de Holguín

Preparación de las muestras.

La preparación de las muestras estuvo basada en De Wever *et. al.* (2001) y la Norma Ramal para la preparación de Lavado (LV), Láminas Delgadas (SD) y sección en suspensión (SP) de muestras de rocas para su estudio paleontológico o petrográfico vigente a partir de 1979 hasta la actualidad en el Departamento de Muestrería del Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET), donde fueron confeccionadas.

- **Lavado**

El lavado se hace de acuerdo con el tipo de material. Si la roca es dura se aplica hacer con aditivos como la gasolina y si es deleznable pudiera utilizar agua. El objetivo del lavado con nafta es que la muestra rompa sus granos por diferencia de temperatura y así liberen los fósiles que se encuentran entre los granos.

- **Láminas Delgadas**

La preparación de una sección delgada consiste en la reducción, por un proceso mecá-

nico, del espesor de la roca a una lámina hasta el valor requerido de acuerdo con su objetivo: petrográfico: 0.05 ± 0.005 mm y paleontológico: 0.03 ± 0.005 mm.

- **Sección en Suspensión**

La preparación de una sección en suspensión consiste en la reducción, por un proceso manual, de la litología al dejar así el mayor por ciento de fósiles.

Determinaciones petrográficas.

Para este estudio se realizó una redescrición de las muestras con anterioridad observadas. El método seguido para el estudio petrográfico fue la observación visual bajo el microscopio óptico y biológico. Para realizar las descripciones petrográficas de las rocas carbonatadas se tuvo en cuenta la clasificación de Dunham (1962), modificada y ampliada por Embry y Klovan (1971) (Tabla 2) y para las rocas del Asociación Ofiolítica Proenza *et. al.* (1999b).

Texturas deposicionales reconocibles					Textura deposicional no reconocible
Los componentes originales no estaban unidos (ligados) durante la sedimentación				Los componentes originales estaban unidos (ligados)	
Contiene lodo (carbonato tamaño arcilla a limo fino)		Con sostén de granos	Carece de lodo. Sostén de granos		
Con sostén de lodo	Más del 10% de granos				
Menos del 10% de granos	Más del 10% de granos				
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Cristalina

Tabla 2. Clasificación de las calizas, basadas en su textura deposicional según Dunham (1962) modificada y ampliada por Embry y Klovan (1971)

Determinaciones paleontológicas.

El contenido de microfósiles fue determinado por el departamento de Paleontología del Ceinpet y fue utilizada la clasificación sistemática de Pearson *et al.*, (2006), Premoli Silva *et. al.*, (2008) y Wade *et. al.*, (2011).

Geofísica.

Para la reinterpretación geofísica se tuvieron en cuenta los registros geofísicos de potencial espontáneo y resistividad existentes hasta la fecha en el CEINPET.

Fotomicrografías.

Para la realización de las fotografías, se seleccionaron los especímenes índices y entonces se procedió a la toma de la foto con la ayuda de una cámara Infinity, modelo DK5000, acoplada a los microscopios triloculares para láminas delgadas y lavado.

Estratigrafía en los pozos estudiados

Pozo Nipe No. 1

Entre el 17 noviembre de 1969 y abril 21 de 1970 se perforó el pozo de búsqueda Nipe No.1 al noroeste del poblado el Ramón, cerca de Punta Verraco. El pozo cortó 14 núcleos, de los cuales dos presentaron manifestaciones de petróleo ligero. El pozo en la actualidad posee una tapa muy sellada (**Figura 3**), por lo cual

no se conoce si manifiesta de alguna manera hidrocarburos en la boca, como en otros casos detectados en perforaciones antiguas.

Se analizó un intervalo de 2197 m del pozo. En conjunto con el estudio litológico, fueron confeccionadas 20 secciones delgadas de 14 núcleos cortados a lo largo del pozo y 15 lavados de micropaleontología, con la finalidad de aclarar el corte geológico y la estratigrafía de este pozo.

El análisis estratigráfico detallado de esta perforación fue realizado al tomar en cuenta los resultados



Figura 3. Pozo Nipe No.1 en las cercanías del pueblo de El Ramón de Antillas. Observe la tapa que lo sella.

del estudio minucioso de la litología de las muestras de cuttings y eventos micropaleontológicos observados en ellas, así como los resultados bioestratigráficos y petrográficos de las muestras de lavado, secciones delgadas y muestras en suspensión confeccionadas y del complejo de registros geofísicos.

Como resultado se realizó la siguiente división estratigráfica del corte y la confección de la columna geológica del pozo.

El pozo en sus primeros metros, atravesó Arcilla gris claro con intercalaciones de lutita arenosa gris claro ligeramente calcárea con edad del Mioceno que aflora en toda el área perteneciente a las formaciones Júcaro y Río Jagüeyes y a partir de 628 m comenzó a reportar rocas del Eoceno Medio-Superior al describir arena arcillosa gris oscuro de granos finos, arena calcárea, caliza crema y blanca, dura y arena varicolor de granos finos al corresponder con las formaciones San Luis y Charco Redondo.

En general el corte es de naturaleza terrígeno-carbonatada con horizontes arcillosos hasta 1151 m donde comienzan a reportarse rocas del Arco Volcánico del Cretácico de la Formación Santo Domingo y a 1494 m las de la Asociación Ofiolítica hasta la profundidad final de 2197 metros (Tabla 3).

Pozo Nipe No. 2

En el año 1970 se perforó el pozo de búsqueda Nipe No. 2. Durante la perforación fueron reportadas manifestaciones de petróleo en 12 intervalos diferentes desde 1126 m hasta 2111 m, donde luego se registraron trazas de hidrocarburos. Fueron cortados 9 núcleos solo con descripción litológica, pues no aparecen datos de manifestaciones. El estado actual muestra la boca del pozo sellada (Figura 4).



Figura 4. Foto actual de la boca del pozo Nipe No. 2 en el poblado El Ramón de Antillas, provincia de Holguín.

Desde [m]	Hasta [m]	Unidades Litoestratigráfica		Edad	Ambientes Sedimentarios	Dominio Paleogeográfico
0	120	Fm. Júcaro		Mioceno Superior-Plioceno Inferior	Nerítico Interno. Plataforma Interna	Neoautóctono
120	628	Fm. Río Jagüeyes		Mioceno Inferior, parte alta-Mioceno Superior, parte baja	Nerítico Medio-Externo. Plataforma Media Externa	
628	745	Fm. San Luis		Eoceno Medio, parte alta - Eoceno Superior	Nerítico Externo. Plataforma Externa	
745	1151	Fm. Charco Redondo		Eoceno Medio	Nerítico Medio-Batial Superior. Plataforma Media-Talud Superior	
1151	1352	Fm. Santo Domingo	Mbro. Perucho	Cretácico Superior Cenomaniano-Turoniano	Plataforma marina abierta cercana a la parte baja de la pendiente.	Arco Volcánico Cretácico
1352	1494		Mbro. Guásimas	Cretácico Inferior Aptiano-Albiano		
1494	2197	Asociación Ofiolítica			Cuenca de antearco	Corteza Oceánica

Tabla 3. Topes y bases del pozo Nipe No. 1

Para este estudio se analizó un intervalo de 2196 m del pozo. Además, con el estudio litológico, fueron confeccionadas 12 secciones delgadas de 9 núcleos cortados a lo largo del pozo y 13 lavados de micropaleontología, con la finalidad de aclarar el corte geológico y la estratigrafía de este pozo.

El pozo comienza en sus primeros metros, al atravesar Arcilla gris verdosa oscuro datadas como Mioceno, al aflorar en toda el área pertenecientes a las formaciones Júcaro y Río Jagüeyes hasta 588 m y a partir de esta profundidad y hasta 1252 m comenzó a reportar rocas del Eoceno Medio- Superior al describir Arenisca compacta de granos finos subangulares, al predominar los de color verde al parecer tobáceos. Existen también granos calcáreos al corresponder con las formaciones San Luis y Charco Redondo. En general el corte es de naturaleza calcárea. Desde 1151-1626 m comienzan a reportarse gabro normal cataclastizado, piroxenos cloritizados, talco con tremolita. Esta secuencia indica una intrusión de gabro y su roca de contacto (anfíbolita) estas rocas pertenecen al Arco Volcánico del Cretácico de la Formación Santo Domingo y a 1626 m las de la Asociación Ofiolítica hasta 2196 m. de profundidad final (Tabla 4). Pozo Báguanos No. 1

El 27 de abril de 1958, se concluyó la perforación del pozo Báguanos No.1 a la profundidad de 1106.43 m. Fue operado por la Cuban Stanolind Oil

Co. (Figura 5) con la categoría de exploración. A pesar de tratarse de un pozo antiguo, del cual no se conoce cuáles fueron sus objetivos más generales, la información estratigráfica misma contribuye en parte al desarrollo de la Cuenca Nipe. El corte del Báguanos No.1 se resume de la siguiente forma: el pozo no tuvo manifestaciones de hidrocarburos. Algunos datos indican agua salada en areniscas porosas entre 634-664 metros. Lignito o asfalto a 975.61m. Al final del pozo, se reportan las rocas típicas de la Asociación Ofiolítica, aunque no existen núcleos, que confirmen su carácter homogéneo o si son parte de una secuencia caótica, tipo mélangé o un olistostroma.



Figura 5. Foto actual de la boca del pozo Báguanos No. 1 en el poblado El Ramón de Antillas, provincia de Holguín.

Desde [m]	Hasta [m]	Unidades Litoestratigráficas		Edad	Ambientes Sedimentarios	Dominio Paleogeográfico
0	114	Fm. Júcaro		Mioceno Superior- Plioceno Inferior	Nerítico Interno. Plataforma Interna	Neoaútctono
114	588	Fm. Río Jagüeyes		Mioceno Inferior, parte alta -Mioceno Superior, parte baja	Nerítico Medio-Externo. Plataforma Media Externa	
588	806	Fm. San Luis		Eoceno Medio, parte alta- Eoceno Superior	Nerítico Externo. Plataforma Externa	
806	1252	Fm. Charco Redondo		Eoceno Medio	Nerítico Medio-Batial Superior. Plataforma Media-Talud Superior	
1252	1405.22	Fm. Santo Domingo	Mbro. Perucho	Cretácico Superior Cenomaniano-Turoniano	Plataforma marina abierta cercana a la parte baja de la pendiente.	Arco Volcánico Cretácico
1405.22	1626		Mbro. Guásimas	Cretácico Inferior Aptiano-Albiano		
1626	2196	Asociación Oolítica.			Cuenca de antearco	Corteza Oceánica

Tabla 4. Tabla de toques y bases del pozo Nipe No. 2

Se analizó un intervalo de 1106.43 m del pozo. El análisis estratigráfico detallado de este pozo fue realizado al tomar en cuenta los resultados del estudio de la litología, así como los resultados petrográficos y del complejo de registros geofísicos.

Como resultado se pudo realizar la siguiente división estratigráfica del corte y la confección de la columna geológica del pozo.

El pozo en sus primeros metros, atravesó rocas del Mioceno, lutita calcárea gris amarilla a verde hasta la profundidad de 158 m perteneciente a la Formación Río Jagüeyes. Seguido, pero hasta los 635 m comenzó a reportar rocas del Oligoceno Superior de las formaciones Camazán y Bitirí con una litología de lutitas calcárea gris a verde en parte limosa, calizas arcillosas densas. Desde la profundidad anterior y hasta 975 m se reportan arena arcillosa-calcárea gris muy fina, lutita calcárea y caliza cristalina blanca del Eoceno Medio-Superior correspondiendo con las formaciones San Luis y Charco Redondo. Sucesiva a esta, pero hasta

1080 m, aparecen rocas del Arco Volcánico del Cretácico al indicar la presencia de la Formación Santo Domingo. Desde 1080 m hasta la profundidad final de 1106.43 metros las rocas de la Asociación Ofiolítica (Tabla 5).

Pozo Cacocúm No. 1

El área en cuestión, es parte del sistema de cuencas que se desarrollaron con rumbo Noreste-Suroeste, desde la Bahía de Nipe que incluye, además, gran parte del Valle del Cauto. En la década de los años 50, aquí se realizaron numerosas investigaciones geólogo- geofísicas y perforaciones para la búsqueda de hidrocarburos.

Uno de estos pozos es el Cacocúm No. 1, donde no se localizó acumulación industrial por su mala ubicación en sectores marginales de las posibles trampas.

El pozo en cuestión, encontró desde la superficie y hasta los 89 m de profundidad, una secuencia de calizas fosilíferas-detríticas limolitas y arcillas a partir del Oligoceno Superior- Mioceno Medio, que se re-

Desde [m]	Hasta [m]	Unidad Litoestratigráfica	Edad	Ambientes Sedimentarios	Dominio Paleogeográfico
0	158	Fm. Río Jagüeyes	Mioceno Inferior, parte alta- Mioceno Superior, parte baja	Nerítico Medio-Externo. Plataforma Media Externa	Neoautóctono
158	548	Fm. Camazán	Oligoceno Superior- Mioceno Inferior	Sublitoral, con facies arrecifales y retroarrecifales y parcialmente, en un ambiente con circulación restringida	
548	635	Fm. Bitirí	Oligoceno Superior	Depósitos biohéricos, con asociaciones bentónicas, observándose en algunas muestras escaso material volcánico redepositado y cuarzo detrítico.	
635	789	Fm. San Luis	Eoceno Medio, parte alta- Eoceno Superior	Nerítico Externo. Plataforma Externa	
789	975	Fm. Charco Redondo	Eoceno Medio	Nerítico Medio-Batial Superior. Plataforma Media-Talud Superior	
975	1080	Fm. Santo Domingo	Cretácico Inferior Aptiano- Cretácico Superior Turoniano	Plataforma marina abierta cercana a la parte baja de la pendiente.	Arco Volcánico Cretácico
1080	1106.43	Asociación Ofiolítica		Cuenca de antearco	Corteza Oceánica

Tabla 5. Tabla de topes y bases del pozo Báguanos No. 1

lacionan a la Formaciones Río Jagüeyes y Camazán respectivamente.

De 89-368 m, se perforó una secuencia que en su parte superior está formada por lutitas calcáreas que enmarcan una edad Oligoceno Superior que se correlacionan con la Formación Bitirí.

Esta secuencia se ha encontrado en casi todos los pozos de la Región Oriental, por lo que estudios litológicos más detallados aseguran que constituyen un sello regional con una litofacies arcillosa poco carbonatada donde el componente arcilloso ocupa de 60-80 %.

Por último, de 368 a 873 m se encontró un paquete de conglomerados y areniscas con clastos de ultrabasitas y rocas metamórficas en una matriz areno-arcillosa donde se aprecia una secuencia del Eoceno Medio al Superior que se relaciona a las Formaciones San Luis y Charco Redondo (Tabla 6). (No hay argumentos para Charco redondo que son calizas casi exclusivamente).

Estudio geofísico

A partir de los registros geofísicos de pozos fue dividido el corte en zonas asociadas a la estratigrafía en el área. Sin embargo, no se logró realizar una interpretación petrofísica ya que no se cuenta con una amplia gama de registros geofísicos que lo permitan (Figura 6).

En la **Tabla 7** se muestran los valores de los registros primarios, como son: Cáliper (CALI), Potencial Espontáneo (SP) y Resistividad somera y profunda (RS y RD) para el pozo Nipe 1 dividido en siete zonas asociadas a la estratigrafía.

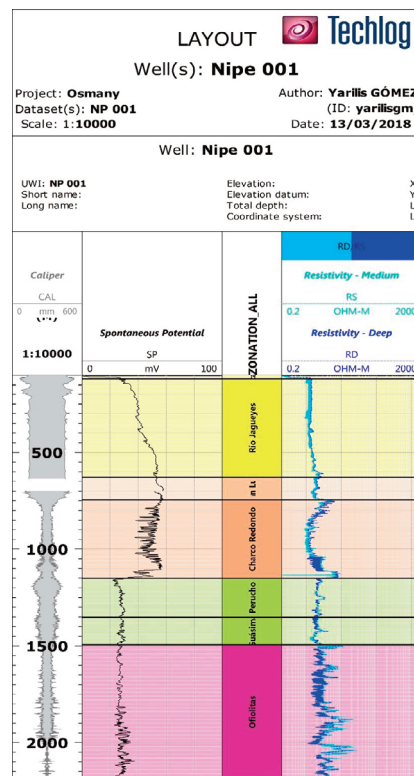


Figura 6. Registro geofísico de Resistividad y Potencial Espontáneo del pozo Nipe No. 1.

Desde [m]	Hasta [m]	Unidad Litoestratigráfica	Edad	Ambientes Sedimentarios	Dominio Paleogeográfico
0	12.1	Fm. Río Jagüeyes	Mioceno Inferior, parte alta-Mioceno Superior, parte baja	Nerítico Medio-Externo. Plataforma Media Externa	Neoaútóctono
12.1	88.37	Fm. Camazán	Oligoceno Superior-Mioceno Inferior	Sublitoral, con facies arrecifales y retroarrecifales y parcialmente, en un ambiente con circulación restringida	
88.37	368.8	Fm. Bitirí	Oligoceno Superior	Depósitos biohémicos, con Asociaciones bentónicas, Al observarse en algunas muestras escaso material volcánico redepositado y cuarzo detrítico.	
368.8	777.24	Fm. San Luis	Eoceno Medio, parte alta-Eoceno Superior	Nerítico Externo. Plataforma Externa	
777.24	873.7	Fm. Charco Redondo	Eoceno Medio	Nerítico Medio-Batial Superior. Plataforma Media-Talud Superior	

Tabla 6. Tabla de topes y bases del pozo Cacocúm No. 1.

Tope	Espesor	Estratigrafía	Caliper (in)	SP(mv)	RD(ohmm)	RS(ohmm)
0	120	Júcaro	17,985827	43.52	1.5	1.26
120	508	Río Jagüeyes	17,89685	55.16	2.02	1.7
628	117	San Luis	13,688583	49.4	1.9	1.87
745	406	Charco Redondo	13,003937	27.57	3.04	3.91
1151	201	Perrucho	19,227165	13.35	0.48	0.42
1352	142	Guásimas	15,077953	27.51	2.13	2.27
1494	703	Ofiolitas	14,590551	28.13	1.87	2
2197						

Tabla 7: Valores promedios resultados de la división del corte a partir de los registros primarios.

ciadas a las formaciones Júcaro, Río Jagüeyes, San Luis, Charco Redondo y dos miembros de Santo Domingo (Perrucho y Guásima); así como la asociación Ofiolitas.

En la **Tabla 8** se muestran los valores de los registros primarios (**Figura 7**) (Gama Ray (SGR), Potencial Espontáneo (SP), Resistividad somera y profunda (RS y RD) y Neutrón) para el pozo Nipe 2 dividido en siete zonas asociadas a las formaciones Júcaro, Río Jagüeyes, San Luis, Charco Redondo y dos miembros de Santo Domingo (Perrucho y Guásima); así como la asociación Ofiolitas.

En la **Tabla 9** se muestran los valores de los registros primarios (**Figura 8**) (Cáliper (CALI), Gama Ray (GR), Potencial Espontáneo (SP), Resistividad somera y profunda (RS y RD) y Neutrón) para el pozo Báguanos 1 dividido en siete zonas asociadas a las formaciones Río Jagüeyes, Camazán, Bitirí, San Luis, Charco Redondo y Santo Domingo; así como la asociación Ofiolitas.

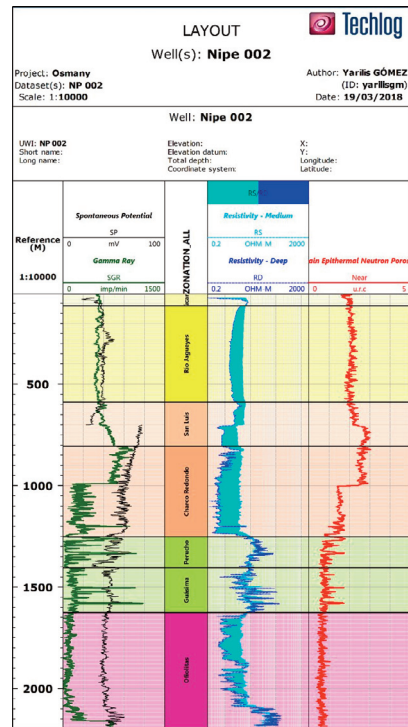


Figura 7. Registro geofísico de Resistividad y Potencial Espontáneo del pozo Nipe No. 2.

Tope	Espesor	Estratigrafía	SGR [imp/min]	SP [mv]	RD [ohmm]	RS [ohmm]	Neutrón (urc)
0	114	Júcaro	532.31	31.53	1.42	7	1.9
114	474	Río Jagüeyes	513	40	1.88	5.03	2.05
588	218	San Luis	628	52.46	1.45	4.12	2.43
806	446	Charco Redondo	473	61.48	0.72	3.86	1.97
1252	153.216	Perrucho	175.56	47	15.63	12	0.94
1405.22	220.784	Guásimas	188	46.26	8.47	8.95	0.8
1626	570	Ofiolitas	131.8	42.07	3.12	7.28	0.63
2196							

Tabla 8. Valores promedios resultados de la división del corte a partir de los registros primarios.

Topo	Espesor	Estratigrafía	CALI [in]	GR [gamma/cm]	SP [mv]	RS [ohmm]	RD [ohmm]	Neutrón [cps]
0	158	Río Jagüeyes	10.63	0.84	72	0.15	1.08	192
158	390	Camazán	13.19	1.59	103	1.36	1.49	208
548	87	Bitirí	9.02	0.79	110	3.18	3.07	259
635	154	San Luis	9.37	1.41	103	2.78	2.41	232
789	186	Charco Redondo	9.45	1.8	105	2.53	2.28	237
975	105	Santo Domingo	9.73	1.11	117	3.74	3.57	268
1080	26.43	Ofiolitas	10.68	0.92	94	10.67	12.45	254
1106.43								

Tabla 9: Valores promedio resultados de la división del corte a partir de los registros primarios

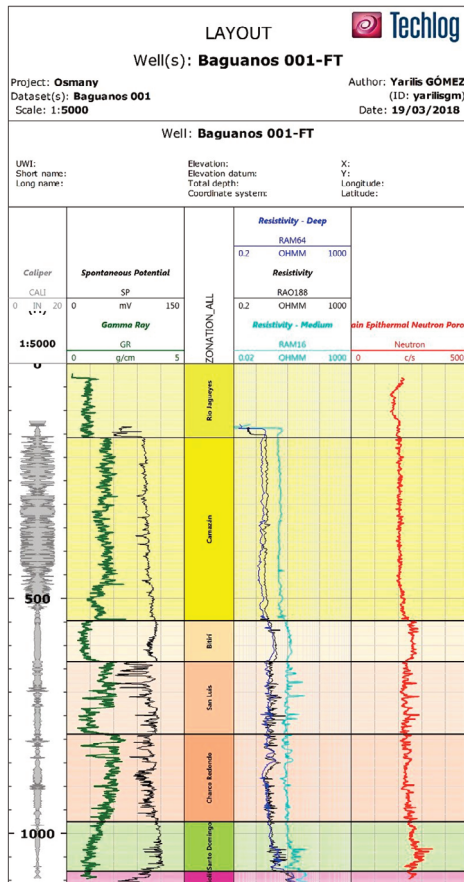


Figura 8. Registro geofísico de Resistividad y Potencial Espontáneo del pozo Báguanos No. 1

Correlación estratigráfica

La Cuenca Nipe está constituida por rocas terrígeno-carbonatada con carácter de plegamiento moderado hasta débil. La distribución estratigráfica de estos sedimentos está bien establecida entre el intervalo Cretácico-Plioceno Inferior según el Léxico Estratigráfico del 2013.

En el primer paquete estudiado en dicha cuenca se reportan diversos tipos de facies pertenecientes al Neoautóctono y la cual es reconocida por los especialistas debido a su alto contenido de fósiles.

Las rocas pertenecientes a las Formación San Luis, pudiera ser rocas sellos y la Formación Santo Domingo la roca reservorio. Estas formaciones están presentes en los pozos investigados (Figura 9), sin embargo, en este instante no se cuenta con elementos que arrojen resultados precisos de este estudio, por lo cual no propone una conclusión hasta no realizar investigaciones más detalladas. En ese sentido, esta investigación comienza a aportar datos interesantes que ayuda a esclarecer la verdadera posición de dichos sedimentos en el corte. Se han realizado los estudios de una secuencia en los pozos: Cacocúm-1, Báguanos-1, Nipe-1 y Nipe-2 de la mencionada cuenca.

En la figura 9 se representa un esquema de correlación de los pozos estudiados dentro del área de dicha cuenca. Obsérvese como es visible un acuñaamiento de las formaciones Camazán y Bitirí con probabilidad, causado por los efectos de la falla Cauto-Nipe.

CONCLUSIONES

- Se logra definir una división estratigráfica más detallada en los pozos estudiados basado tanto por registros geofísicos, descripciones litológicas y determinaciones micropaleontológicas.
- A partir del análisis geofísico y sedimentológico de los pozos estudiados, se pudo calcular la potencia de estos sedimentos.

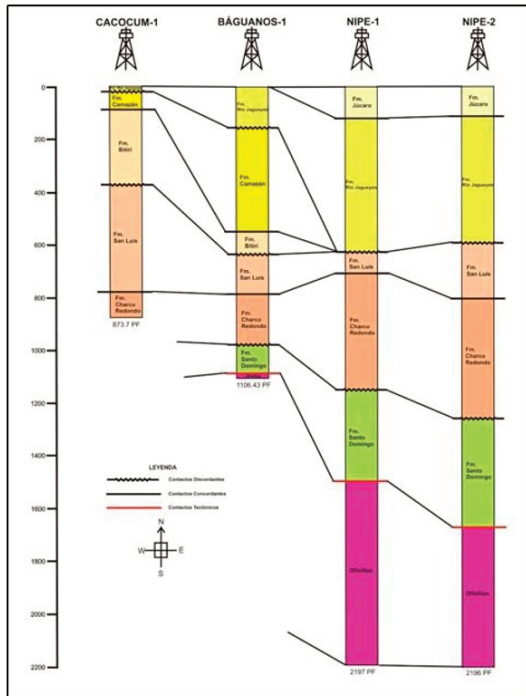


Figura 9. Esquema de correlación estratigráfica de la Cuenca Nipe

- Las grandes potencias de sedimentos acumulados y su arquitectura interna, han posibilitado suponer la posible generación de hidrocarburos y de secuencias sellantes.
- Las rocas reservorios y sellos como potenciales rocas elementos del sistema petrolero pueden ser la Formación Santo Domingo (de tipo fracturado) y Formación San Luis respectivamente.
- Las rocas de la Asociación Ofiolítica están representadas por dos complejos: ultramafítico y gabroide.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

De Wever, P., Dumitrica, P., Caulet, J.P., Caridroit, M., 2001. Radiolarians in the Sedimentary Record. G.B.S. Publishers, Amsterdam, 533 pp.

Dunham, R. J., 1962, Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In Ham, W. E. (Ed.). Classification of carbonate rocks –a symposium.

Am. Ass. Pet. Geol. Mem.I: 108- 121.

Embry, A. F. and J. E. Klovan, 1971, A late Devonian reef tract of northeastern banks Island N. W. Territories. Bull. Can. Petrol. Geol., 19, 730-781

Pearson P. N., Olsson R. K., Hemleben Ch. & Berggren W. A. (eds), 2006, Atlas of Eocene Planktonic Foraminifera. Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication No. 41, 513 pp.

Premoli Silva, I, Rettori,R, Verga,D., 2008, Practical Manual of Paleocene and Eocene Planktonic Foraminifera. Dipartimento di Scienze della Terra «Ardito Desio» University of Milano (Italy).152 pp.

Proenza, J.A., Gervilla, F., Melgarejo, J.C., & Bodinier, J.L.,1999b, Al- and Cr-rich chromitites from the Mayarí-Baracoa Ophiolitic Belt (Eastern Cuba): consequence of interaction between volatile-rich melts and peridotites in suprasubduction mantle. Economic Geology 94, 547–566.

Reyes Paredes, O., 2018, Evaluación del potencial de hidrocarburos costa afuera: sectores Cuba Sur y Centro Oriental. Proyecto 9001. Archivo del Centro de Investigación del Petróleo (Inédito).

Wade, B. S, P.N. Pearson, W. A. Berggren, H. Pälike, 2011, Review and revision of Cenozoic tropical planktonic foraminiferal biostratigraphy and calibration to the geomagnetic polarity and astronomical time scale. Earth-Science Reviews 114: 112-142. Journal homepage: www.elsevier.com/locate/earscirev

Procesamiento en tiempo de datos sísmicos 3D en zona de transición Cárdenas-Varadero-Camarioca, Cuba

Yamicela Tamayo López ¹.

¹ *Ingeniero en Tecnologías Nucleares y Energéticas, Máster en Geofísica Aplicada: Mención Petróleo y Gas, Investigador Agregado del Centro de Investigación del Petróleo, Churrucá, No.481, e/ Vía Blanca y Washington, Cerro, La Habana, CP 10600. ORCID: 0009-0009-5379-520X. Correo E.: yamigaby2014@gmail.com.*

RESUMEN

Las zonas de transición son zonas costeras que conectan mar y tierra constituyendo un desafío en la exploración sísmica. Dada las variaciones de la profundidad del agua, la topografía del fondo marino y el cruce con los cuerpos arrecifales se impone un procesamiento especial que compense la distorsión de amplitud y fase resultante de la combinación multivariada de las diferentes fuentes de energía y de receptores que garanticen una buena imagen del subsuelo con la visualización del modelo geológico del área. El procesamiento de la adquisición sísmica 3D transicional del área de Varadero del año 2007 no satisfizo los objetivos técnicos planteados, por lo que la sísmica 2D en todos estos años tomó mayor relevancia en la ubicación de nuevos pozos exploratorios que estaban dentro del área de la sísmica 3D. El objetivo de este trabajo fue mejorar la calidad del cuadro sísmico ondulatorio, así como la definición de un buen contraste entre las secuencias carbonatadas por encima de los 2s con respecto al procesamiento anterior y la aplicación de nuevos parámetros en la secuencia de procesamiento que respondiera a los ambientes de transición. La sísmica 3D procesada ocupa un área

total de 161 718 km² y se ejecutó con el programa GeoEast V3.0.6. De esta manera se logró obtener una buena diferenciación de los eventos sísmicos por encima de los 2s observándose mayor poder resolutivo de la calidad de la imagen lo que pudieran contribuir a la corroboración de zonas de interés o a la exploración de nuevas áreas perspectivas.

Palabras Clave: zonas de transición, adquisición sísmica procesamiento sísmico, sísmica 3D

ABSTRACT

Transition zones are coastal areas that connect sea and land, constituting a challenge in seismic exploration. Given the variations in the depth of the water, the topography of the seabed and the intersection with the reef bodies, special processing is required to compensate for the distortion of amplitude and phase resulting from the multivariate combination of the different energy sources and receptors that guarantee a good image of the subsoil with the visualization of the geological model of the area. The processing of the 3D seismic transitional acquisition of de Varadero area in 2007 didn't meet the technical objectives set, so that

the 2D seismic in all these years took on greater relevance in the location of new exploratory wells that were within the 3D seismic area. The objective of this work was to improve the quality of the waves seismic image, as well as the definition of a good contrast between the carbonated sequences above 2s with respect to the previous processing and the application of new parameters in the processing sequence that responded to transition environments. The processed 3D seismic occupies a total area of 161,718 km² and was executed with the software GeoEast V3.0.6. In this way, it was possible to obtain a good differentiation of the seismic events above 2s, observing greater resolving power of the image quality, which could contribute to the corroboration of areas of interest or the exploration of new perspective areas.

Keywords: transition zones, seismic acquisition, seismic processing, 3D seismic

RESUMO

As zonas de transição são zonas costeiras que ligam o mar e a terra, constituindo um desafio na exploração sísmica. Dadas as variações de profundidade da água, a topografia do fundo do mar e o cruzamento com os corpos recifal, é necessário um processamento especial para compensar a distorção de amplitude e fase resultante da combinação multivariada das diferentes fontes e receptores de energia que garantem uma boa imagem do subsolo com a visualização do modelo geológico da área. O processamento da aquisição sísmica 3D de transição da área de Varadero em 2007 não satisfaz os objetivos técnicos propostos, pelo que a sísmica 2D em todos esses anos tornou-se mais relevante na localização de novos poços exploratórios que estavam dentro da área sísmica. O objetivo deste trabalho foi melhorar a qualidade da imagem sísmica de onda, bem como a definição de um bom contraste entre as sequências carbonáticas acima de 2s em relação ao processamento anterior e a aplicação de novos parâmetros na sequência de processamento que respondesse a ambientes de transição. A sísmica 3D processada ocupa uma área total de 161.718 km² e foi

executada com o programa GeoEast V3.0.6. Desta forma, foi possível obter uma boa diferenciação de eventos sísmicos acima de 2s, observando maior poder resolutivo de qualidade de imagem, o que poderia contribuir para a corroboração de áreas de interesse ou a exploração de novas áreas de perspectiva.

Palavras chave: zonas de transição, aquisição sísmica, processamento sísmico, sísmica 3D

INTRODUCCIÓN

Este trabajo describe el procesamiento de la sísmica 3D transicional que comprende la región Cárdenas-Varadero-Camarioca de la provincia de Matanzas en la costa norte de Cuba con una extensión de 161.7 km², adquirida por la compañía CGG-GeoCaribbean en el año 2007 (Arriaza, 2007) a solicitud de CUPET. Fue procesada en el 2008 por la compañía *Geofizyka Torún*, lo cual no satisfizo los objetivos técnicos planteados, por lo que la sísmica 2D en todos estos años tomó mayor relevancia en la ubicación de nuevos pozos exploratorios que estaban dentro del área de la sísmica 3D en cuestión.

A partir de la necesidad de aclarar el cuadro geológico estructural de los apilados del norte del cubo 3D y evaluar nuevas y conocidas estructuras en estos yacimientos se concibe la realización de un nuevo re-procesamiento de los datos sísmicos con el propósito de mejorar la resolución sísmica en objetivos más profundos. Por lo que el objetivo de este trabajo fue mejorar la calidad de los eventos sísmicos, así como la definición de un buen contraste entre las secuencias carbonatadas por encima de los 2s.

En la **Figura 1** se presenta las líneas sísmicas 2D y 3D, así como algunos pozos aledaños al área de estudio, en específico la ubicación tierra-mar del cubo sísmico 3D transicional objeto de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

La adquisición 3D representó una gran complejidad sobre todo en la zona de transición de mar-tierra principalmente agua somera donde se utilizó una variedad de fuentes (dinamita, vibro, cañones de aire), y recep-

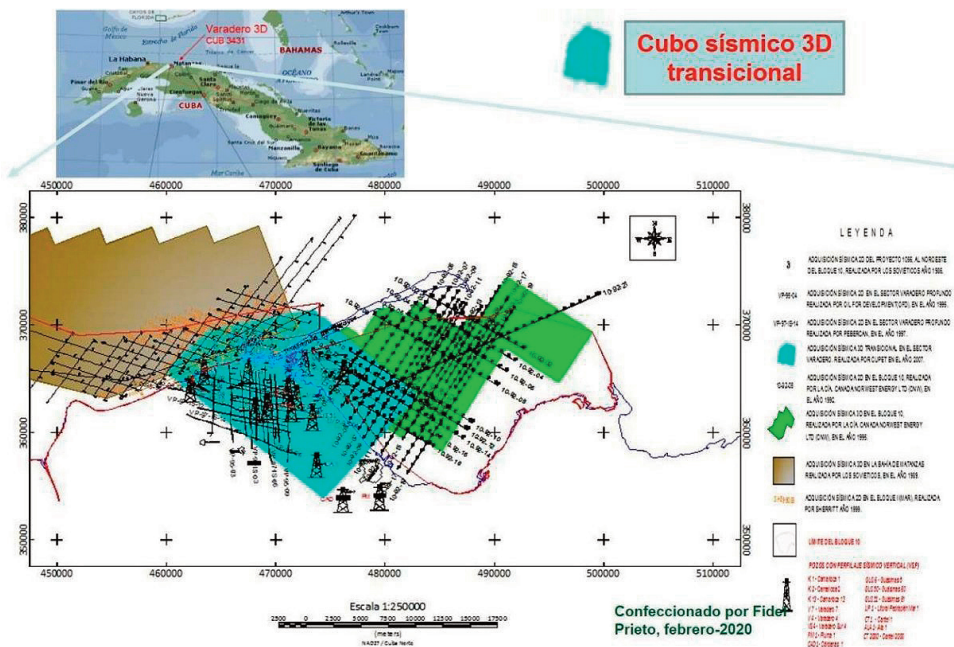


Figura 1. Ubicación del área de investigación

tores (geófonos, cables de dos sensores, hidrófonos). La parte terrestre es mayormente plana con extensiones de afloramientos de calizas (dientes de perro) lo que dificultó la calidad del trabajo obteniéndose información sísmica de regular a mala para darle respuesta a los objetivos técnicos planteados. En el dato primario se observa un alto nivel de ruidos y en algunas *inline* baja cobertura de trazas sísmicas.

Secuencia de procesamiento de migración pre-suma en tiempo, post-procesamiento y estudios de anisotropía del subsuelo.

Secuencia de procesamiento de migración pre-suma en tiempo, post-procesamiento y estudios de anisotropía del subsuelo.

El equipamiento utilizado fue el clúster HPC Huawei Cupet, sobre el cual se encuentra instalado el programa *GeoEast V3.0.6* (CNPC, 2015) con una plataforma *Linux CentOS 6.7*. La secuencia de procesamiento se dividió en las siguientes etapas: 1) Etapa de pre-procesamiento, 2) Etapa de migración y 3) Etapa de post-procesamiento.

1) Etapa de pre-procesamiento. Lectura de los datos de campo, conversión a formato interno y asignación de la geometría.

Los datos sísmicos sin procesar se encuentran demultiplexados en formato SEG-Y existiendo 20 swath que comprende la geometría del proyecto 3D. Estos fueron cargados al sistema de procesamiento y convertidos al formato interno. Se insertaron los archivos SPS (*Seismic Processing Support*) que vienen con la información de campo de la posición de las fuentes, receptores y la relación fuente-receptor. En la **Figura 2** se muestran algunos atributos geométricos que se identifican en los sísmogramas y CMP (punto medio común).

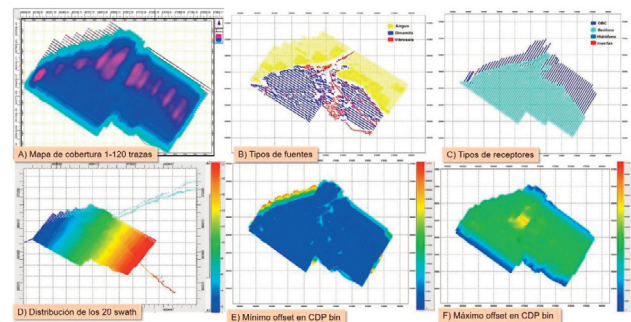


Figura 2. Control de calidad del proyecto 3D: mapas cobertura de trazas, tipos de fuentes, receptores, máximo y mínimo *offset* (alejamiento)

Codificación por tipos de receptores, trazas malas y mute. Conversión a fase mínima.

Se codificaron los tres tipos de receptores: Hidrófono para el *bay-cable* (H1, H2), geófono (G1 al G8) e hidrófono para agua somera (H3, H4) asignándose al encabezamiento de las trazas con el objetivo de ser diferenciadas durante el procesamiento, se eliminaron las trazas malas y se aplicó el blanqueo (*mute*) de las primeras entradas en los sismogramas siendo la primera atenuación de ruidos (**Figura 3**).

En la conversión a fase mínima se asumieron algunas consideraciones para que todas las ondículas estuvieran en la misma fase.

Las fases de los receptores cables e hidrófonos fueron ajustados a geófonos. Las trazas sísmicas registradas por el Hidrófono H3 que se encontraban fuera de la convención SEG (Sociedad de Exploradores Geofísicos) con polaridad invertida se les realizó una corrección constante de fase a 180 grados pudiéndose apreciar en la **Figura 4**.

Los tres tipos de fuentes se procesaron teniendo en cuenta la conversión de las fases de los sismogramas de airgun y vibros cuyas ondículas son consideradas como fase cero a fase mínima haciendo coincidir con dinamita ya que teóricamente esta última se adquiere con fase mínima.

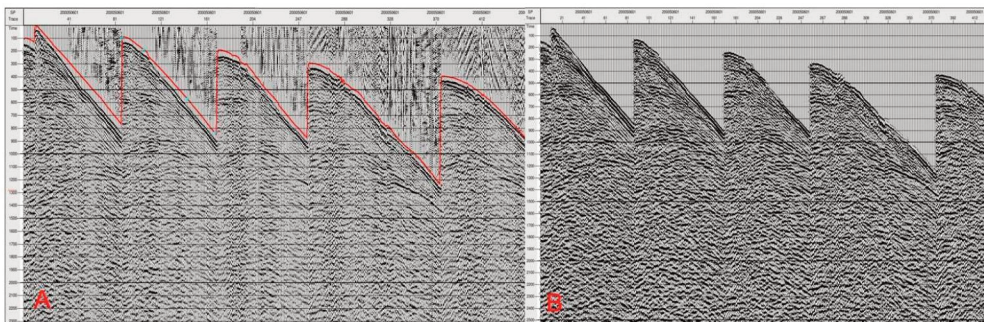


Figura 3. Blanqueo (*Mute*) en los sismogramas, en A) la selección del *mute* y B) el resultado obtenido después de aplicado

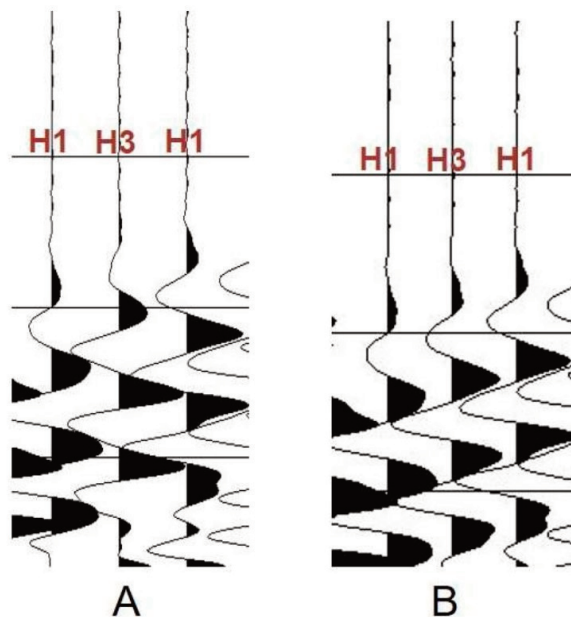


Figura 4. Transformación de fase constante a 180 grados. Traza H3 con polaridad invertida (A) y Traza H3 convertida y alineada con H1 (B)

Estáticas por elevaciones

El cálculo de las estáticas por elevación en la zona de transición mar-tierra se realizó siguiendo el gráfico de la **Figura 5** y que se detallan a continuación.

- 1) Plano de referencia final fue el nivel medio del mar (MSL)
- 2) La fuente dinamita se ubicó sobre la base de su posición en profundidad y se consideró la velocidad de reemplazamiento de 2000 m/s, se obtuvo el retardo en que llegó la onda al receptor.
- 3) La estática por elevación se aplicó tanto para fuentes como para receptores. Las fuentes (vibro y dinamita) que están en tierra, se les calculó su posición de acuerdo a la velocidad de reemplazamiento de 2000 m/s y en mar la fuente (*airgun*) y los receptores (cable e hidrófono), se les calculó la posición teniendo en cuenta la velocidad en el agua, que es de 1535 m/s.
- 4) Las profundidades de las fuentes y las receptoras vienen en el encabezamiento de las

trazas, referidas al nivel medio del mar y con la corrección por la marea determinados por el *software GeoLand* de control de calidad en la adquisición sísmica del año 2007 (Arriaza, 2007).

Atenuación de ruidos lineales, aleatorios y amplitudes anómalas

El campo de onda sísmica útil se encuentra afectado por ruidos coherentes del tipo *ground roll* que contiene un comportamiento lineal con respecto a la distancia fuente-receptor con frecuencias de alrededor de los 10 Hz, aunque en ocasiones pueden llegar hasta los 12 Hz, los cuales poseen altas amplitudes y bajas velocidades. Prevalecen además ruidos de tipo aleatorio, amplitudes anómalas, ruidos originados por fuentes eléctricas y otros. En la **Figura 6A** se presenta un ejemplo de sismograma con la presencia de ruidos lineales y amplitudes anómalas, mientras que en la **Figura 6B** se observa el mejoramiento y la coherencia de los reflectores sísmicos y en la **Figura 6C** resulta el ruido eliminado.

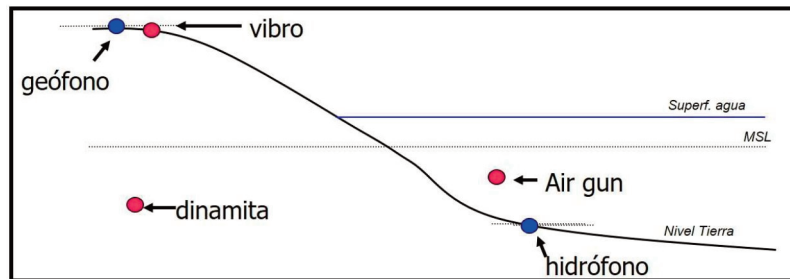


Figura 5. Representación esquemática de la posición de fuentes y receptores en la zona de transición mar-tierra

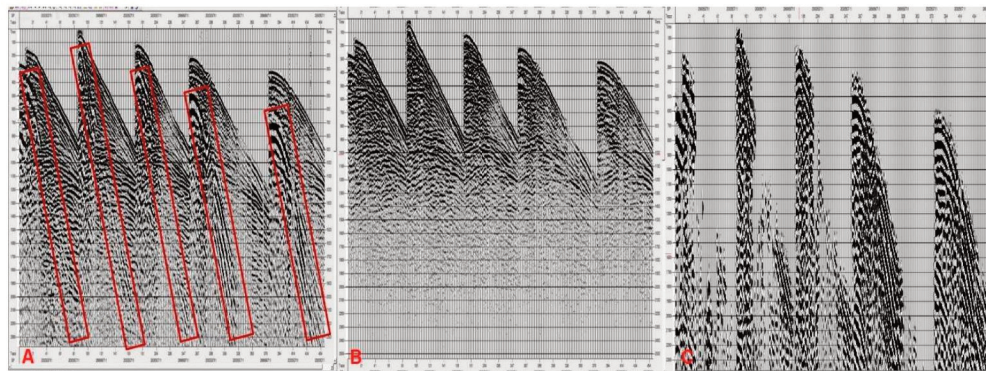


Figura 6. Ejemplo de un sismograma con el ruido *ground roll* presente (A). Con la atenuación del ruido coherente (B). Ruido eliminado (C)

Nivelación de amplitudes y compensación de amplitud y fase. Los sismogramas de *vibros* adquiridos tienen una energía superior con respecto a los sismogramas de *airgun* y dinamita, esto se puede apreciar en las curvas de la relación amplitud y tiempo (Figura 7), observándose un decaimiento de las amplitudes en estas fuentes.

Para nivelar estas amplitudes se hizo necesario aplicar una función matemática (Ecuación 1), que permitió obtener el incremento de la energía que se necesitaba para equilibrar la energía con los sismogramas de *vibro*. En la Tabla 1 se presentan los coeficientes aplicados.

Donde $S_i(t)$ es la muestra en tiempo y (t) es la ganancia de energía en dB

En la Figura 7 se presenta las curvas de la relación amplitud y tiempo de todos los tipos de fuentes pre-

$S_i(t)$ [m/s]	$A(t)$ [db]
100	10^7
900	9×10^6
5000	7×10^6

Tabla 1. Coeficientes de amplitud aplicado a los sismogramas *airgun* y dinamita

sentes. En A) se observa, cómo están las amplitudes después de adquirido el dato sísmico y B) luego de aplicado los coeficientes para nivelar las amplitudes. Esta nivelación de amplitudes se expresa en la sísmica de la siguiente manera (Figura 8). Como resultado se obtiene la uniformidad de las amplitudes en el dato sísmico.

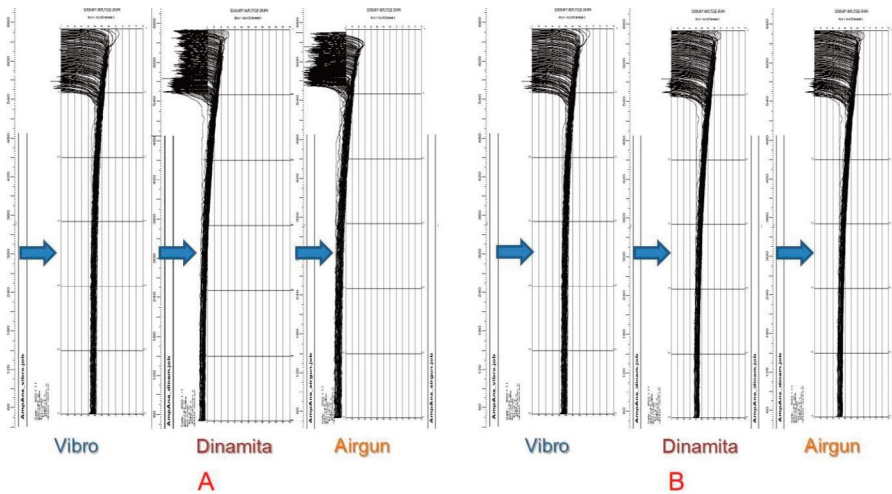


Figura 7. A) Relación de amplitud y tiempo en los datos sísmicos adquiridos por fuentes *vibros*, dinamita y *airgun*, y B) Relación de amplitud y tiempo después de aplicado la función matemática para nivelar las amplitudes

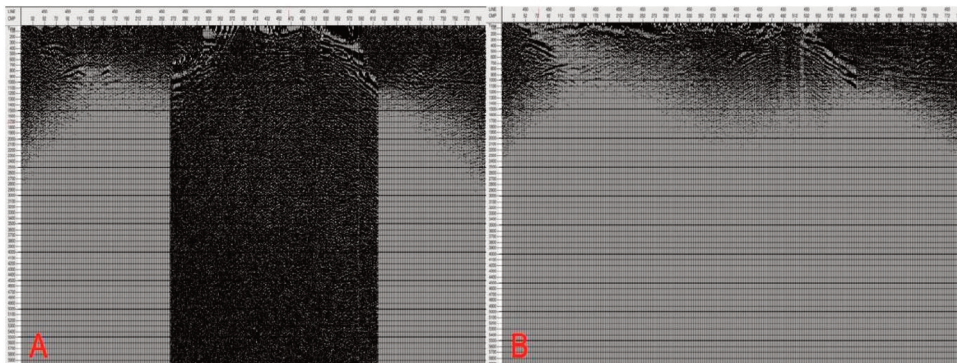


Figura 8. Secciones sísmicas obtenidas antes (A) y después de la nivelación de energía (B)

Luego de la nivelación de amplitudes se aplicaron tres tipos de compensación de amplitudes y uno de fase: compensación por divergencia esférica (Castellano, 2018), compensación del factor de calidad Q en su variante de fase, compensación consistente en superficie y compensación de amplitudes residuales.

Deconvolución

La deconvolución comprime la onda básica del registro en el sismograma, atenúa reverberaciones y períodos cortos de múltiples por lo que incrementa la resolución temporal y el campo de representación de la reflectividad en el subsuelo (Yilmaz Oz, 2001).

Se aplicó:

- 1) La deconvolución consistente en superficie, que es la descomposición de la ondícula en sus componentes de línea, fuente, receptor, *offset* (distancia fuente-receptor) y CMP para la estimación del filtro que será aplicado a cada traza, teniendo en cuenta la preservación de amplitudes.

- 2) Deconvolución predictiva: Antes de comenzar las pruebas de la deconvolución para una sección sísmica, los datos sísmicos fueron sometidos a procesos de auto correlación. Las pruebas de la deconvolución arrojaron los resultados de la **Tabla 2**.

En la **Figura 9** aparecen los resultados obtenidos luego de aplicada la deconvolución, observándose en la parte superior el espectro de amplitudes de los datos sísmicos antes (Data2 en rojo) y después de la deconvolución (Data1 en azul) aumentando el espectro de las amplitudes para frecuencias altas y creando una meseta bien marcada para las frecuencias útiles de estudio. En la parte inferior se presenta la autocorrelación de una sección sísmica sumada, donde se observa mejor como se comprime la ondícula y aumenta el coeficiente de la relación señal/ruido.

Análisis de velocidad de suma y estáticas residuales

La selección de los pares de tiempo- velocidad se rea-

Ventana de aplicación	Distancia predictiva	Longitud del operador	Coefficiente de ruido blanco
0-3500	24	120	1001

Tabla 2. Parámetros utilizados en la deconvolución predictiva

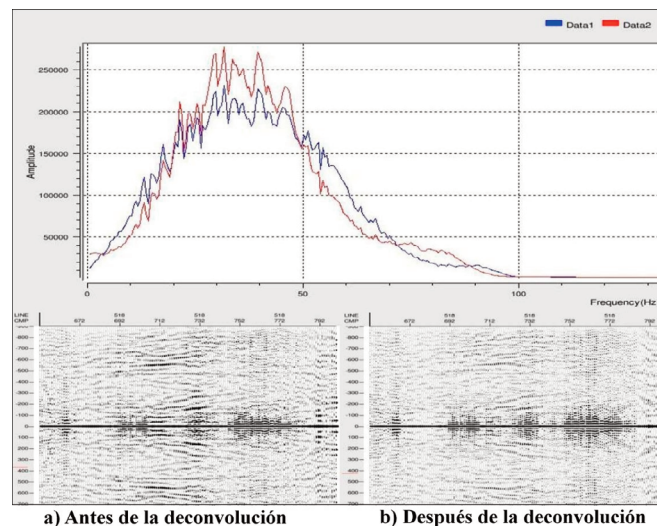


Figura 9. Comparación de los resultados antes y después de la deconvolución

lizó para un intervalo de red de 1 km x 1 km para un total de 3 análisis de velocidad indistintamente en la etapa del pre-procesamiento.

Regulación 5D

La interpolación 5D actúa en 5 dimensiones del dato sísmico, una dimensión temporal y 4 espaciales (in-line/crossline/offset/azimuth) y usa trazas vecinas adquiridas para predecir nuevas trazas en el dato sísmico, mejorando el efecto de la geometría irregular en la adquisición sísmica y el llenado de pequeños espacios vacíos, así como el incremento de la cobertura *offset/azimuth*.

En la **Figura 10** se muestran los resultados de la interpolación 5D. En A) se puede observar en el mapa de cobertura, cómo está distribuida luego de la geometría de la adquisición sísmica teniendo una cobertura total de 120 trazas y en B) obtenemos áreas donde se incrementó de 40 a 100 trazas para una máxima cobertura de 240 trazas, lo que favorece al dato antes de la etapa de migración, ya que mejora la correlación sísmica, homogeneidad y uniformidad dentro del dato sísmico.

2) Etapa de migración

La migración es otro de los procesos principales durante el procesamiento sísmico. Este permite mover los eventos inclinados a su posición verdadera en el subsuelo colapsando las difracciones, lo cual incre-

menta la resolución espacial y el mejoramiento de la imagen sísmica. El objetivo de la migración es hacer una sección sísmica lo más similar posible a una sección geológica del subsuelo (Yilmaz, 2001; Duquet, XU y Lambaré, 2003).

Las migraciones PSTM que se usaron fueron hechas con el método Kirchhoff teniendo en cuenta un medio isótropo y anisótropo del subsuelo, para ellos se realizaron 3 migraciones, primero con la velocidad RMS con un análisis de velocidad de 500 m x 500 m, segundo con la velocidad residual con un análisis de 500 m x 500 m y por último con la utilización del campo de velocidades residuales. Se procedió a realizar un análisis de velocidades anisótropas para así realizar la migración pre-suma en tiempo. Se calculó el campo eta (valores de anisotropía) con el objetivo de corregir las deformaciones de los eventos sísmicos en los offset lejanos con la corrección cinemática (NMO) (Camejo, Tristán, 2009). Los parámetros empleados en la migración se presentan en la **Tabla 3**.

3) Etapa de post-procesamiento

Los datos empleados en la etapa del post-procesamiento son las sumas finales migradas y con mute (blanqueo en las primeras entradas. Se atenuaron los ruidos lineales y aleatorios mejorando la coherencia de los reflectores sísmicos. Luego se utilizó un filtro pasa banda variable en el tiempo con una ventana de aplicación que se muestra en la **Tabla 4**.

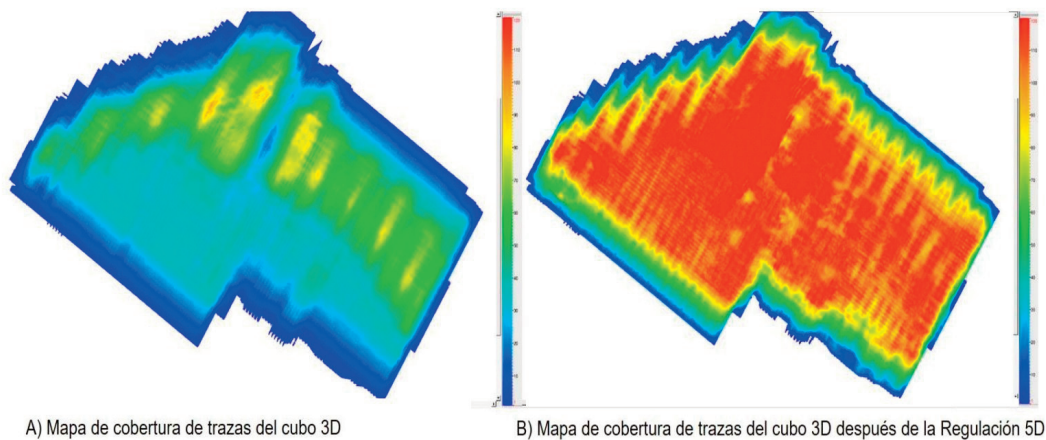


Figura 10. Representación de la cobertura del proyecto 3D antes y después de la interpolación 5D

Parámetros	Valores	
	Tiempo [ms]	Apertura [m]
Apertura de migración	200	1500
	2500	3500
	5000	6500
<i>Antialiasing</i> [m]	12.5	
Máximo ángulo de buzamiento [grados]	70	
Rango de offset [m]	0-4800	
Rango del tiempo de migración [ms]	0-6000	
Intervalo de muestreo [ms]	2	

Tabla 3. Parámetros empleados en la migración pre-suma en tiempo

Ventana de aplicación [ms]	Largo del Operador [ms]	Filtro de frecuencias [Hz]
100-1500	300	6/12-50/60
1800-3000	300	6/12-40/50
3300-5000	300	6/12-30/50

Tabla 4. Parámetros empleados en la migración pre-suma en tiempo

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- Cruces de *inline* y *crossline* en el cubo sísmico 3D
 Los resultados que se muestran están procesados con migración pre-suma en tiempo y con anisotropía. En la **Figura 11** se representaron algunas *inline* y *crossline* para mostrar el comportamiento geológico de los ca-

balgamientos, pliegues, fallas y fracturas dentro del cubo sísmico 3D. Además, se puede apreciar la correlación y continuidad de los eventos o reflectores sísmicos tanto en la parte de la cuenca como por debajo de ésta, conservando el patrón estructural correspondiéndose a la geología del área.

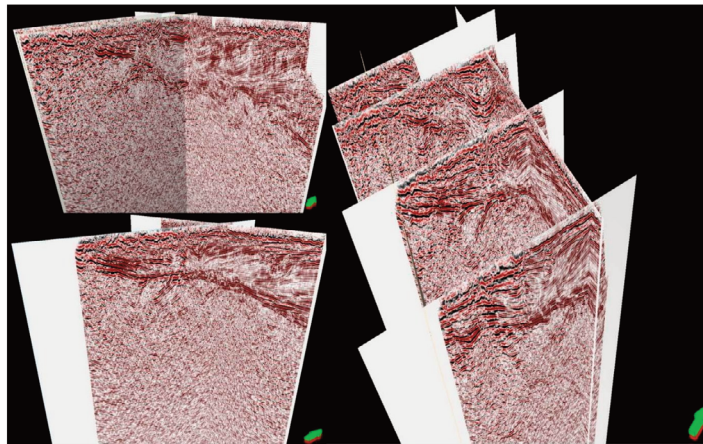


Figura 11. Cruces de *inline* y *crossline* del cubo sísmico 3D de Varadero transicional

-Comparación del nuevo procesamiento con los procesamientos sísmicos anteriores 3D realizados en el área. Los procesamientos sísmicos anteriores 3D no han esclarecido el cuadro geológico estructural por debajo de la cuña de las serpentinitas y en los apilados al norte, además no se ha podido obtener algún resultado exploratorio que avale los recursos invertidos en esta costosa adquisición del año 2007 debido a su poca representatividad del medio geológico. La presencia de la información sísmica interpretable en áreas vecinas al cubo 3D hace pensar que los datos sísmicos pudieran estar limitados en su resolución desde la adquisición sísmica,

lo que pudiera ser susceptible de mejorarse en el procesamiento (Domínguez, Sterling, 2012), no obstante, el nuevo reprocesamiento, objeto de estudio de este informe, responde a que sí es posible mejorar la calidad de los eventos sísmicos, así como la definición de un buen contraste entre las secuencias carbonatadas por encima de los 2s. En las **Figuras 12 y 13**, se observan comparaciones del nuevo reprocesamiento con los procesamientos anteriores (procesamiento inicial realizado en *Geofizyka Torún* del año 2008) y la unión de datos (Sísmica 3D del Bloque 10 y Varadero transicional 3D) realizado por *Geofizyka Torún* en el año 2015.

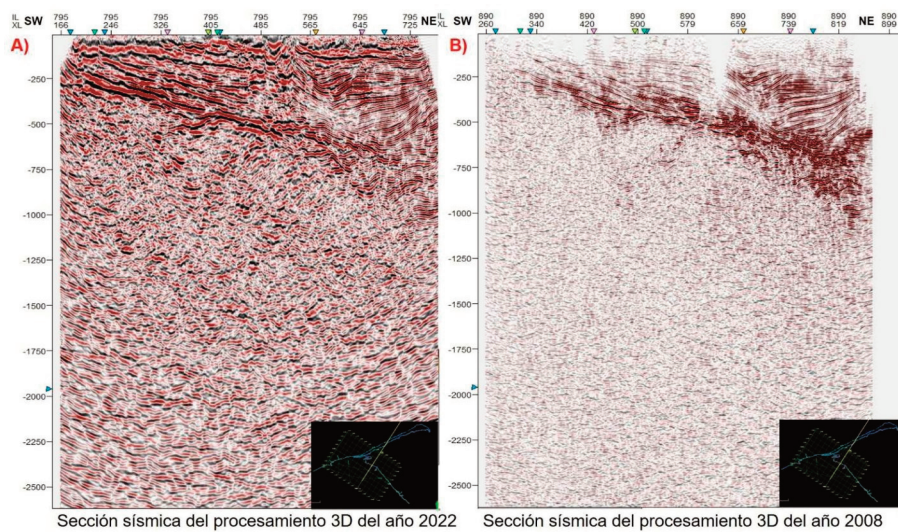


Figura 12. Comparación del procesamiento realizado en la Unidad de Ciencia y Tecnología de Base del Centro de Investigación del Petróleo en el año 2022 y el procesamiento realizado por la compañía de *Geofizyka Torún* en el año 2008.

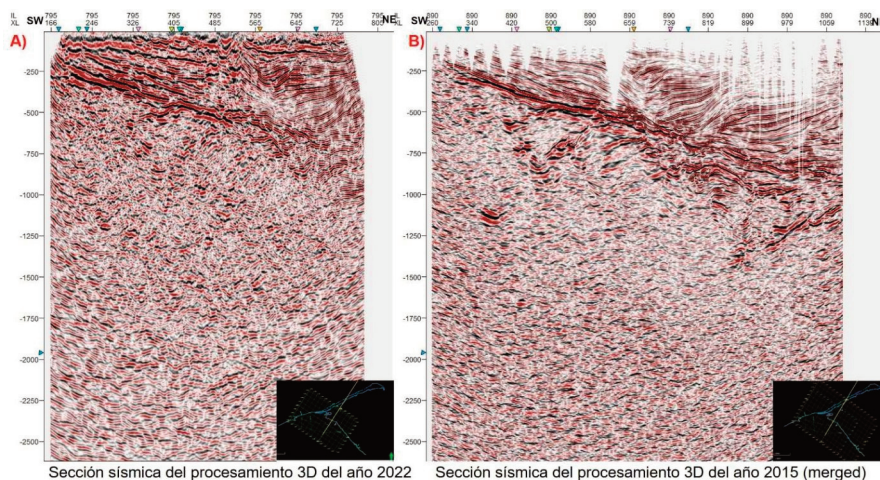


Figura 13. Comparación del procesamiento realizado en la Unidad de Ciencia y Tecnología de Base del Centro de Investigación del Petróleo en el año 2022 y el procesamiento realizado por la compañía de *Geofizyka Torun* en el año 2015.

CONCLUSIONES

- El resultado obtenido en el nuevo procesamiento ofrece una mejor resolución de los datos sísmicos, con respecto a los procesamientos sísmicos de los años 2008 y 2015.
- Se obtuvo una buena diferenciación del cuadro ondulatorio en las inline y crossline del cubo sísmico 3D migradas en presuma en tiempo hasta los 2s, que corroboran estructuras ya existentes y podrían contribuir al reconocimiento de nuevas estructuras a partir de nuevas interpretaciones geólogas-geofísicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arriaza, G.**, 2007, Reporte final del proyecto de adquisición sísmica de Varadero 3D Misión 3D CUB-3431 (Archivo Centro de Investigación del Petróleo).
- Camejo E., Tristá A.**, 2009, Introducción de una metodología para el cálculo de la velocidad y la anelipticidad en el procesamiento de datos sísmicos. 3ra Convención de Ciencias de la Tierra, La Habana.
- Castellano, J.**, 2018, Diseño de una secuencia de procesamiento que permita mejorar la calidad de la imagen sísmica en un sector de Varadero, Cuba. Tesis en opción al grado de Ingeniero Geofísico. Universidad Tecnológica de La Habana «José Antonio Echeverría».
- CNPC**, 2015, Exploration Software Corporation, Ltd. GeoEast V3.0.6 User Guide (2D).
- Domínguez G, Sterling N**, 2012, Dictamen técnico sobre propuesta de reprocesamiento de datos sísmicos 3D, Varadero 2007. (Archivo Centro de Investigación del Petróleo).
- Duquet B.; S. Xu y G. Lambaré**, 2003, 3D multirival Kirchhoff versus wave equation migration: SEG/EAGE salt model case study The Leading Edge, 22(10): 969-972.
- Yilmaz, O.**, 2001, Seismic Data Analysis. Processing, Inversion, and Interpretation of seismic data, vol. 1, edición electrónica publicada. Society of Exploration Geophysicists

Análisis sismo-estratigráfico para la caracterización de los sedimentos de la ensenada El Cristo, Cuba

Idoris Alfonso Santiesteban¹, Jorge Luis Perdomo², Moraima Álvarez Ortiz³, Carlos F. Salazar Pérez⁴.

¹ *Ingeniera Geofísica, Master en Ciencias en Geo-información y Observaciones de la Tierra, Investigadora Agregada de GEOCUBA Estudios marinos, Punta Santa. Catalina, s/n, Regla, La Habana, CP 11200. ORCID: 0009-0001-5431-6903. Correo E.: idoris67@nauta.cu.*

² *Ingeniero geofísico. GEOCUBA Estudios marinos, Punta Santa. Catalina, s/n, Regla, La Habana, CP 11200. ORCID: 0009-0002-5907-5018. Correo E.: perdomo@emarininos.geocuba.cu.*

³ *Ingeniera Geofísica, Master en Ciencias en Geomática. GEOCUBA Estudios marinos, Punta Santa. Catalina, s/n, Regla, La Habana, CP 11200. ORCID: 0009-0004-5465-7830. Correo E.: moraima@emarininos.geocuba.cu.*

⁴ *Ingeniero geofísico. GEOCUBA Estudios marinos, Punta Santa. Catalina, s/n, Regla, La Habana, CP 11200. ORCID: 0009-0008-1101-3890. Correo E.: charly@emarininos.geocuba.cu.*

RESUMEN

Los métodos acústicos permiten inferir información acerca de las propiedades físicas de las capas de sedimentos más superficiales del corte geológico bajo el lecho marino. Uno de los métodos geofísicos más útiles para los levantamientos de ingeniería del fondo y subfondo marinos es la sísmica de reflexión de alta resolución y un procedimiento de trabajo que permite el empleo exitoso de dicho método en la interpretación compleja de los ambientes marinos, es la aplicación de la sismo-estratigrafía. Esta investigación se enfoca en el análisis sismo-estratigráfico, como una importante herramienta para la caracterización de los sedimentos orientada a la prospección de arena de mar, ante la necesidad de realizar proyectos ejecutivos para la localización y posterior vertimiento de arenas en playas locales, dentro del programa nacional de recuperación y mantenimiento de playas. Para este trabajo se tomó como caso de estudio, la prospección geológico-geofísica marina para la localización de préstamos de arena en la ensenada El Cristo, que se encuentra ubi-

cada en el canal de entrada a la bahía de Nipe, en la costa norte de cayo Saetía en la provincia de Holguín. Los resultados obtenidos con las técnicas acústicas empleadas y la aplicación de criterios y patrones sismo-estratigráficos para la delimitación de los diferentes horizontes reflectores, permitieron diferenciar los tipos de sedimentos no consolidados presentes en el área de estudio. Este tipo de análisis constituye el punto de partida para la caracterización geoacústica de los sedimentos marinos y sugieren que el procedimiento desarrollado en este trabajo puede mejorar de forma significativa las metodologías de búsqueda de arena marina y otras aplicaciones de ingeniería e indicar a los métodos acústicos como técnicas remotas efectivas en la caracterización de los sedimentos marinos con la consecuente disminución de los muestreos *in situ*.

Palabras clave: Sísmica de reflexión de alta resolución, sismoestratigrafía, sedimentos marinos, patrones de reflexión.

Alfonso Santiesteban, I., Perdomo, J. L., Alvarez-Ortiz, M., Salazar-Pérez., C.F., 2026, Análisis sismo-estratigráfico para la caracterización de los sedimentos de la ensenada El Cristo, Cuba: Geociencias UO. v. 17, núm. 1, junio 2026. pp. 38-53

ABSTRACT

Acoustic methods make it possible to infer information about the physical properties of the most superficial sediment layers of the geological section under seabed. One of the most useful geophysical methods for engineering surveys of the sub-bottom and seabed is high resolution reflection seismic. A working procedure that allows a successful use of this geophysical method in the complex interpretation of marine environments is the application of seismic stratigraphy. The present paper is focused to the seismic stratigraphy analysis, as an important tool for sediment characterization oriented for sea sand prospecting, based on the need to carry out executive projects for location and subsequent dumping of sand on local beaches, into the national program of beach recovery and maintenance. For this work, the marine geological-geophysical prospecting was taken as a case study for location of sand borrows in the Ensenada El Cristo, which is located in the entrance channel to the Nipe Bay, on the north coast of Saetía cay. Holguín province. The results obtained with the acoustical techniques used and the application of seismic stratigraphy patterns and criteria for delimitation of the different reflector horizons, allowed to differentiate the types of sediments in the study area. This kind of analysis constitute the starting point for geoacoustical characterization of marine sediments and suggest the procedures developed in this work, they can significantly improve marine sand search methodologies and other engineering applications and indicate acoustic methods as effective remote techniques in the characterization of marine sediments with the consequent reduction of in situ samplings.

Key words: High resolution reflection seismic, sismo-stratigraphy, marine sediments, reflection patterns.

RESUMO

Os métodos acústicos permitem inferir informações sobre as propriedades físicas das camadas de sedimentos mais superficiais da seção geológica sob o fundo do mar. Um dos métodos geofísicos mais úteis para levantamentos de engenharia do fundo e do sub-

fundo é a sísmica de reflexão de alta resolução e um procedimento de trabalho que permite o uso bem-sucedido deste método na interpretação complexa de ambientes marinhos é a aplicação da sísmo-estratigrafia. O presente trabalho centra-se na análise sísmo-estratigráfica, como uma ferramenta importante para a caracterização dos sedimentos orientada para a prospecção de areias marinhas, dada a necessidade de realização de projectos executivos para a localização e posterior descarga de areias nas praias locais, no âmbito do programa nacional de recuperação e manutenção de praias. Para este trabalho, tomou-se como estudo de caso a prospecção geológico-geofísica marinha para a localização de depósitos de areia na enseada El Cristo, localizada no canal de entrada da baía de Nipe, na costa norte. na província de Holguín. Os resultados obtidos com as técnicas acústicas utilizadas e a aplicação de critérios e padrões sísmico-estratigráficos para a delimitação dos diferentes horizontes refletores, permitiram diferenciar os tipos de sedimentos inconsolidados presentes na área de estudo. Este tipo de análise constitui o ponto de partida para a caracterização geoacústica de sedimentos marinhos e sugere que o procedimento desenvolvido neste trabalho pode melhorar significativamente as metodologias de pesquisa de areia marinha e outras aplicações de engenharia e indicar métodos acústicos como técnicas remotas eficazes na caracterização de sedimentos marinhos com a consequente diminuição da amostragem *in situ*.

Palavras-chave: Sísmica de reflexão de alta resolução, sísmo-estratigrafia, sedimentos marinhos, padrões de reflexão.

INTRODUCCIÓN

El empleo de los métodos acústicos permite inferir información acerca de las propiedades físicas de las capas de sedimentos más superficiales del corte geológico que yacen bajo el lecho marino. Uno de los métodos geofísicos más útiles para los levantamientos de ingeniería del fondo y subfondo marinos es la sísmica de reflexión de alta resolución (SRAR), al tener en

cuenta una de sus mayores ventajas: el registro continuo de los horizontes reflectores a lo largo de un perfil de navegación a medida que la embarcación se desplaza a través del agua. La combinación de este método sísmico con otras técnicas acústicas como el sonar de barrido lateral (SBL), ecosondas y muestreos de sedimentos, contribuye al estudio de un considerable número de tareas geológicas y propósitos ingenieros y/o ambientales. Un procedimiento de trabajo que permite el empleo exitoso de la SRAR, es la aplicación de la sismo-estratigrafía, una herramienta ampliamente utilizada en la interpretación compleja de los ambientes marinos para el estudio de los sedimentos. La sismo-estratigrafía es el estudio de las facies deposicionales y estratigrafía interpretadas a partir de datos sísmicos (Mitchum *et al.*, 1977). En numerosas investigaciones realizadas durante las últimas décadas en distintos ambientes costeros del mundo, los métodos de prospección sismoacústicos han aportado resultados relevantes. Desde los trabajos pioneros de Damuth (1975); Mitchum *et al.*, (1977) y Sangree (1979), no son pocos los estudios que han demostrado que la sísmica marina de alta resolución es una poderosa herramienta para la determinación de las características geólogo-geomorfológicas de los fondos y subfondos marinos y de los procesos de sedimentación y no solo a nivel internacional sino también en Cuba (Corrada *et al.*, 1995). En los ambientes marinos es conocido que la aplicación del concepto de sismo-estratigrafía es importante no solo para la clasificación de las unidades sismo-faciales, sino también para la determinación de características dentro de los propios sedimentos que puedan constituir riesgos en obras de ingeniería como por ejemplo: canales rellenos con sedimentos muy finos de baja resistencia mecánica, las zonas opacadas de forma acústica producidas por emanaciones gaseosas, acumulaciones de turba o zonas de fallas, etc. En general, la aplicación de estos conceptos permite alcanzar un mayor conocimiento de la historia geológica de las formaciones más recientes en las zonas sumergidas.

El empleo de la sismo-estratigrafía en el presente trabajo tuvo como finalidad principal, la dife-

renciación de los tipos principales de configuraciones de reflexión que caracterizan a las capas de sedimentos recientes e inferir los tipos de sedimentos marinos no consolidados presentes en el área de estudio. Un análisis más detallado de carácter sedimentológico, mineralógico, biológico y geomorfológicos que aportan a las interpretaciones sobre procesos sedimentarios, no forman parte de la presente investigación. En este trabajo se fundamenta la necesidad del empleo de la sismo-estratigrafía orientada a la caracterización de los sedimentos para la prospección de arena de mar ante la necesidad de realizar los proyectos ejecutivos para la localización y posterior vertimiento de arena en playas locales dentro del programa nacional de recuperación y mantenimiento de playas. La aplicación de estos conceptos, al tener en cuenta la morfología del fondo y subfondo y los modelos de distribución de los espesores de los sedimentos, son algunos de los enfoques realizados para la caracterización de los sedimentos en el presente trabajo. Para ello se tomó como caso de estudio, la investigación geólogo-geofísica marina para la localización de préstamos de arena, en la subfase de Prospección (González, 2023), en la ensenada El Cristo, ubicada en el canal de entrada a la bahía de Nipe, en la costa norte de Cayo Saetía de la provincia de Holguín (**Figura 1**).

Los resultados obtenidos con la integración de los métodos acústicos, el muestreo geológico y el análisis sismo-estratigráfico de los registros sísmicos, permitieron determinar el límite entre los tipos de sedimentos marinos con vistas a la delimitación del bloque o cuerpo de arena a proponer para los fines de recuperación de playas. Se demuestra además que la sismo-estratigrafía establece el punto de partida para la caracterización geoacústica de los sedimentos marinos y sugieren que los procedimientos desarrollados en este trabajo pueden mejorar de modo significativo las metodologías de búsqueda de arena marina y otras aplicaciones de ingeniería, al indicar a los métodos acústicos como técnicas remotas efectivas en la caracterización de estos sedimentos con la consecuente disminución de los muestreos in situ. La visión geológica y geomorfológica que brinda la interpretación sismoacústica a par-

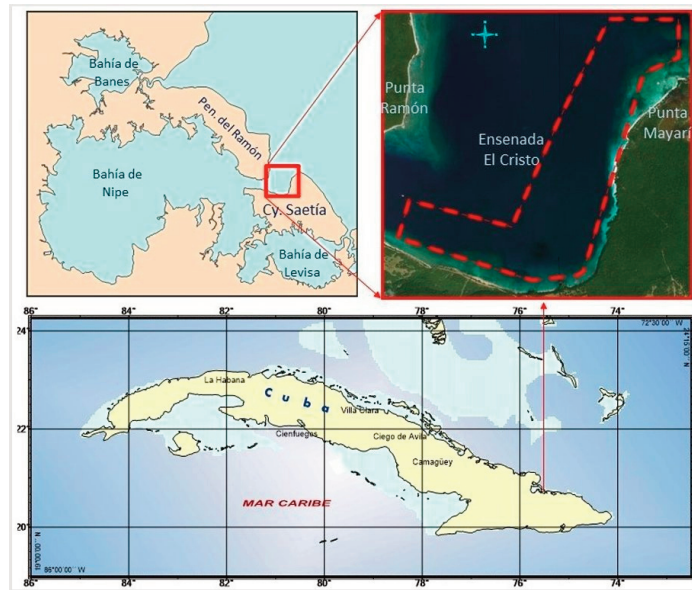


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.

tir de la sismo-estratigrafía, resulta esencial en la construcción del modelo geológico para la caracterización geoaústica de los sedimentos marinos.

Las investigaciones geólogo-geofísicas tomadas como base de este trabajo fueron ejecutadas por especialistas de la Agencia de Geología y Geofísica, pertenecientes a la empresa GEOCUBA Estudios Marinos del grupo empresarial GEOCUBA, con la colaboración de especialistas de la División de Ingeniería Costera de la Empresa Inversiones GAMMA SA.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los estudios geólogo- geofísicos referidos en el presente trabajo fueron realizados en el año 2021 en etapa de Prospección a escala 1:10000. La base de estos trabajos de prospección fueron los estudios de Reconocimiento realizados en la zona marina a escala 1:100000 (Álvarez, 2020) dirigidos a identificar depósitos de arenas potenciales con características técnicas y mineras favorables para ser empleadas en proyectos de regeneración de playas en el sector E de la plataforma norte de Holguín. Tres de los siete cuerpos de arena identificados en el estudio de Reconocimiento se localizan en la ensenada El Cristo y canal de entrada a la bahía de nipe, los que fueron propuestos para fases superiores de investigación, al cumplir

estos depósitos con un volumen estimado de 1000000 m³ en categoría de inferido y condiciones geomorfológicas del fondo marino, para la acumulación de sedimentos.

Los métodos de investigación empleados, compuestos por SRAR, SBL y batimetría acompañante, de forma conjunta con la inspección visual del fondo y muestreo geológico con barrena helicoidal de 1.65 m de penetración, tuvieron la finalidad de determinar la distribución espacial de los sedimentos no consolidados y sus espesores con un mayor detalle.

En los trabajos de Prospección para toda el área de estudio solicitada, se empleó el Sistema Estatal de coordenadas planas Cuba Sur, proyección cónica conforme de Lambert NAD 27 Cuba, Sistema de Alturas Siboney, en correspondencia con las coordenadas geográficas WGS-84. Las líneas sísmicas principales para el cubrimiento general del área, se realizaron en conjunto con el levantamiento batimétrico, en dirección aproximada N-S-N y un espaciamiento de 100 m entre ellas. Mientras que las líneas de control, tienen dirección aproximada E-W-E y espaciamiento de 100 m. En el caso del SBL, las líneas se ejecutaron en ambas direcciones (N-S-N y E-W-E) en dependencia de la morfología del área de investigación al emplear siempre un espaciamiento entre 100 y 50 m, para los ran-

gos de cubrimientos laterales de 75 y 150 m respectivamente.

El equipamiento geofísico empleado estuvo conformado por el sonar de barrido lateral C-Max con sistema de adquisición digital MaxView y sistema de procesamiento SonarWiz.Map de CHESAPEAKE TECHNOLOGY, INC. Para el perfilador de subfondo, el sistema de adquisición CODA DA 2000 de la firma APPLIED ACOUSTICS, con fuente acústica de tipo impulsiva (Boomer AA 300) con rango de frecuencias entre 800 Hz y 2400 kHz y potencia de 100-300 J. Para el procesamiento de los datos sísmicos se empleó el sistema Survey Engine Seismic+ (Figura 2) que permite delinear las fronteras reflectoras del fondo y subfondo marinos para la creación de los modelos de distribución de los espesores de sedimentos no consolidados.

La interpretación visual y sismo-estratigráfica de los perfiles sísmicos con el empleo del sistema Survey Engine Seismic+ fue correlacionada con la interpretación del SBL y el empleo de otras informaciones complementarias como la carta náutica No. 11880 de bahía de Nipe y sus accesos a escala 1: 30000 (Servicio Hidrográfico y geodésico de la República de Cuba,

1975) e imágenes satelitales. Estos materiales complementarios fueron empleados además para la delimitación de las zonas bajas en el área de estudio y el cierre del modelo de espesores al tener en cuenta el ambiente geográfico y geólogo- geomorfológico de la zona de estudio. También fueron utilizadas las informaciones de estudios precedentes realizados en la bahía de Nipe, en particular, muestreos y calas relativamente cercanas al canal de acceso (Ortega, 1995; Godínez, 2002; Perdomo, 2015).

Para el procesamiento de los datos sísmicos, se empleó una velocidad de propagación de 1650 m/s para la conversión de las escalas de tiempo a metros, en concordancia con el material arenoso de granulometría fina que prevalece en el fondo marino, según las vibro-perforaciones, muestreos superficiales y calas realizadas en los estudios precedentes mencionados, que aun cuando se ubican algo alejado del área de trabajo (hacia el interior del canal de entrada), sirvieron como conocimiento general acerca de los tipos de sedimentos presentes en el canal. Un esquema de clasificación simplificada de las unidades de facies sísmicas (Ringis, 1986), modificadas de la clasificación propuesta por Sangree y Widmier (1979) y Sheriff

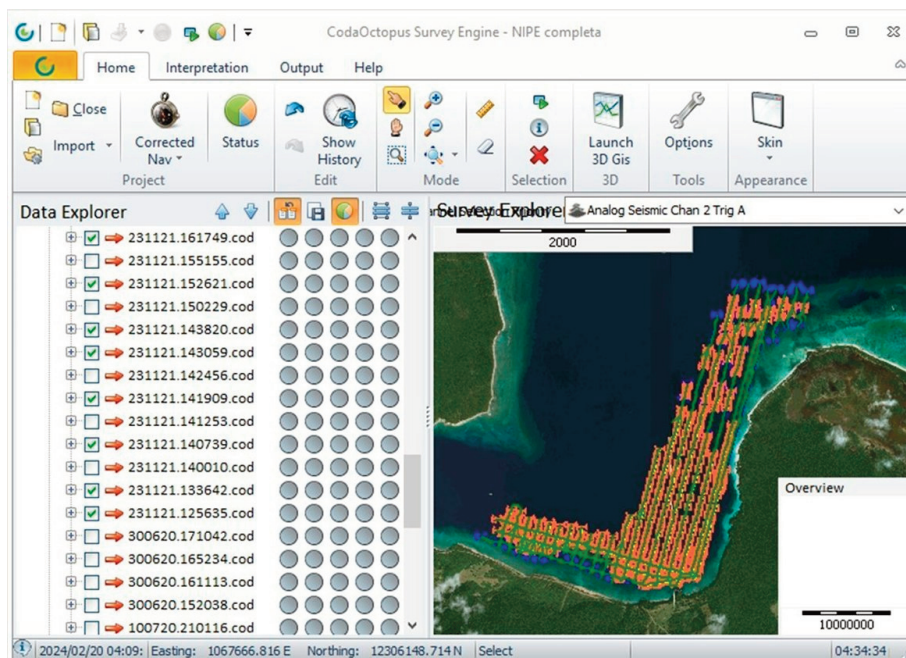


Figura 2. Ventana del sistema de procesamiento sísmico Survey Engine Seismic+

(1980), es la que se utilizó como referencia en este trabajo, así como los trabajos pioneros de Damuth (1975) y Mitchum *et al.*, (1977).

El muestreo geológico llevado a cabo para la validación de los lugares de interés obtenidos con la geofísica y la caracterización de los sedimentos del fondo marino de acuerdo con su textura, granulometría y composición, espesor y profundidad de yacencia, se realizó de forma superficial, en 23 puntos distribuidos en el polígono de estudio en los sedimentos aledaños que bordean el margen costero, con barrena helicoidal, en una red de 28 puntos dentro del polígono de mayor perspectiva (Figura 3).

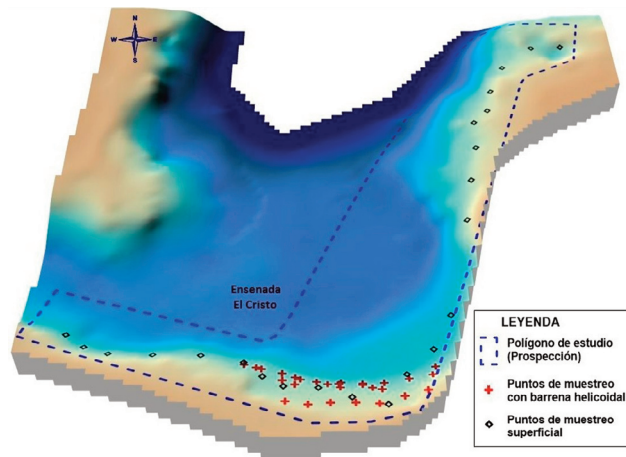


Figura 3. Ubicación del muestreo geológico en el polígono de estudio.

De acuerdo con el uso propuesto de la materia prima (arena para la recuperación o mantenimiento de playas), el Manual de Protección Costera (Shore Protection Manual, 1984), describe como análisis básico, la determinación de la fracción granulométrica y como complementario, el de composición (génesis). De los muestreos superficiales, a 17 muestras se le realizaron el análisis básico de granulometría y de los 28 puntos con barrena helicoidal, a 19 muestras. Como análisis complementario se seleccionó una muestra de los puntos con barrena helicoidal en el área del depósito de arena de mayor perspectiva.

El análisis granulométrico se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por Petelín (1967), em-

pleando para ello una tamizadora analítica Restsh As 200 y un juego de tamices con mallas de 0.063; 0.125; 0.25; 0.50; 1. 2 y 4 mm. Los datos de peso por tamiz fueron procesados mediante el software Gradistat Versión 8.0, obteniéndose por el método de los momentos, el diámetro medio de la partícula (Md) en unidades mm y σ y la desviación estándar. Para la clasificación del sedimento (Tabla 1), se empleó la propuesta por Wentworth (Shore Protection Manual, 1984).

Los análisis de la composición se realizaron atendiendo a la metodología de Ionin *et al.*, (1977) y consiste en la observación al microscopio de 200 granos de arena seleccionados de forma aleatoria en las fracciones granulométricas de 2-1 mm, 1-0.5 mm y 0.5-0.25 mm procediéndose a la separación y conteo de cada uno de los grupos de los bioclastos presentes y los granos de origen inorgánico y luego se obtienen los porcentajes de cada grupo con respecto al total de la muestra. Se denomina bioclastos no identificados a aquellos granos que por su textura y composición se reconoce que son de origen biogénico, pero que dado el estado en que se encuentran es imposible reconocer a qué tipo de organismo corresponden.

Tipo de sedimento	Diámetro medio Md (mm)
Arcilla	0.0024 – 0.0039
Limo	0.0039 – 0.063
Arena muy fina	0.063 – 0.125
Arena fina	0.125 – 0.25
Arena media	0.25 – 0.50
Arena gruesa	0.50 – 1.00
Arena muy gruesa	1.00 – 2.00
Grava	2.00 – 4.00

Tabla 1. Clasificación granulométrica de Wentworth (Shore Protection Manual, 1984).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la investigación muestran el método de trabajo establecido para el análisis de los datos en este tipo de ambiente marino. En esencia, se corres-

ponden con los resultados del análisis y distribución de los datos sísmicos y su correlación con el SBL e imágenes satelitales, en la determinación de los contactos entre sedimentos y roca y delimitación de los márgenes costeros, así como en la diferenciación de los tipos de sedimentos no consolidados con la aplicación de la

sismo-estratigrafía y su validación con los resultados del muestreo geológico e información de estudios precedentes. Los resultados básicos de los métodos geofísicos se presentan en los planos batimétricos, isopacas e isohipsas, confeccionados a escala 1:10000 (Figuras 4, 5 y 6 respectivamente).

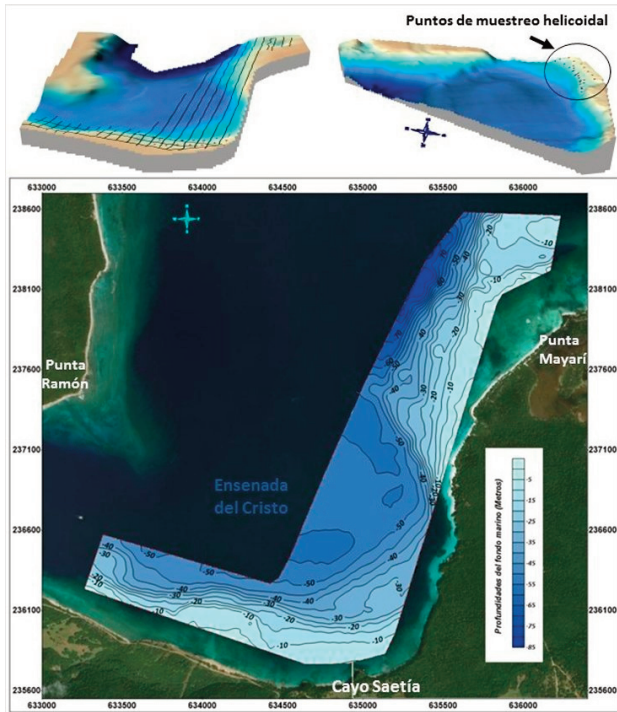


Figura 4. Morfología del fondo marino del área de estudio

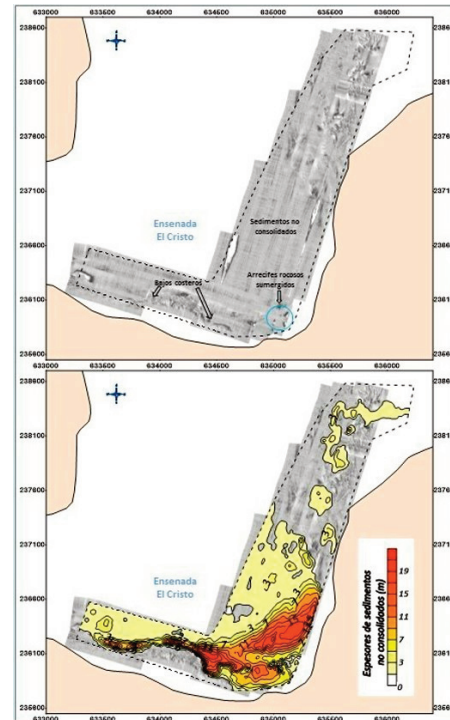


Figura 5. Mosaico del SBL con superposición de los espesores de sedimentos no consolidados.

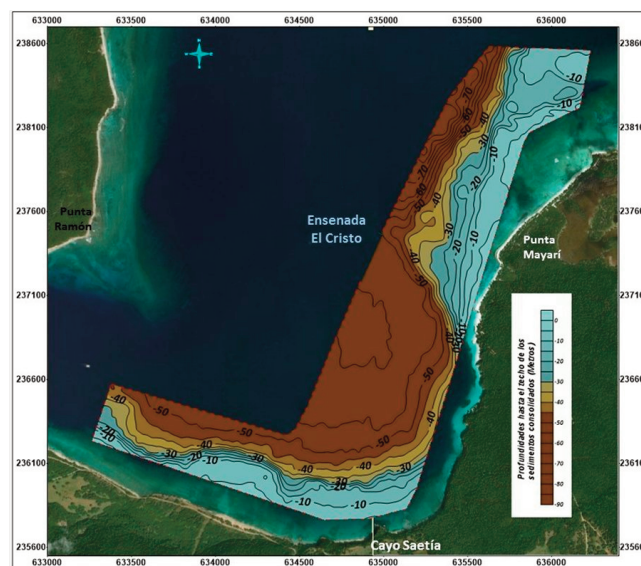


Figura 6. Plano de Isohipsas hasta el techo de los sedimentos consolidados o basamento acústico.

La inspección visual del entorno geográfico, la morfología del fondo marino, los bajos costeros y las características de los fondos, así como la distribución de los espesores de los sedimentos totales en la ensenada (depósitos holocénicos, Q_2), permitieron realizar un primer análisis sobre la caracterización de los sedimentos marinos en el área de estudio. Una vez realizado este análisis, se empleó la sismo-estratigrafía para la interpretación de los resultados, de forma conjunta con la correlación de la descripción de los puntos de muestreo cuya ubicación en el bajo costero se puede apreciar en la vista tridimensional del modelo batimétrico de la **Figura 3**. De manera general, las profundidades en el canal de entrada a la bahía son considerables, alcanzan los -100 m en la boca y disminuyen hacia el interior de la misma, con un relieve irregular a lo largo del canal de entrada, de pendientes bruscas hacia donde se encuentran las mayores profundidades.

En la **Figura 7** se muestra un perfil sísmico realizado durante los estudios de reconocimiento que cruza el canal de entrada a la bahía de Nipe. En el centro del canal con más de 50 m de profundidad del fondo marino, se observan espesores de sedimentos despreciables al tener en cuenta los grandes taludes, las pro-

fundidades y las corrientes de mareas que circulan por el canal, en lo fundamental las de marea baja que llegan a alcanzar velocidades mayores de 1 m/s (GEOCUBA Estudios Marinos, 2003).

En la ensenada El Cristo (boca del canal), la morfología del fondo es muy variable y se caracteriza por la presencia de bajos costeros (en menos de 5 m de profundidad) que bordean la costa de cayo Saetía. De forma específica, se aprecia un predominio de los fondos rocosos hacia las bajas profundidades, en las franjas aledañas a la costa hacia el NE donde se ubica punta Mayarí (donde se forman rompientes sobre los arrecifes de poca profundidad y más allá las profundidades aumentan de forma abrupta) y hacia el S y SW del área.

En el área de estudio de la ensenada, entre estos bajos costeros rocosos del NE y el SW, existen segmentos arenosos que descienden hacia las mayores profundidades, de forma gradual al S y de forma más brusca al SE (**Figuras 4, 5 y 6**). Al bordear la mayor parte de la costa N del cayo se localiza la Formación Jaimanitas (Fm. Js.) de edad Pleistoceno Superior temprano (Q_1), en una franja estrecha al alcanzar su mayor amplitud en el sector NE, al oscilar entre 0.5 y 1 km de longitud. La formación está constituida por calizas

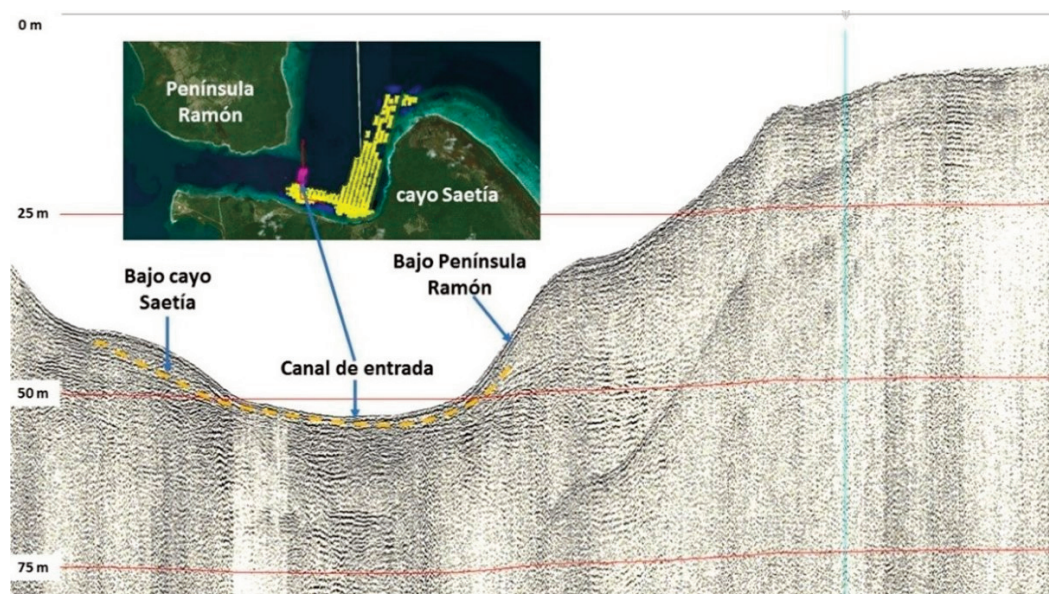


Figura 6. Plano de Isohipsas hasta el techo de los sedimentos consolidados o basamento acústico

biodetríticas, masivas, algo cavernosas, con sedimentos duros de color amarillento, de estructura masiva con indicios pocos marcados de estratificación, además de presentar intercalaciones de calcarenitas, de granos finos con especies actuales de restos de moluscos y corales.

De los registros del SBL se obtuvo una clara diferenciación en superficie entre los fondos rocosos de textura rugosa (elevada reflectividad y tonalidad relativamente más oscura) y los sedimentos friables de textura suave y homogénea (baja reflectividad), además de delimitar las formaciones coralinas al SE de la ensenada que se desarrollan sobre el sustrato rocoso y que emergen entre los sedimentos (**Figura 8**). La interpretación del SBL mostró una clara correlación con los resultados de la distribución de los espesores totales de sedimentos obtenidos con la SRAR. La interpretación de los datos sísmicos permitió identificar el basamento acústico (**Figura 8**), desde profundidades del fondo de -4.0 m al S del área, hasta casi el borde superior del talud insular que se extiende a más de -50.0 m hacia el N (**Figura 6**). Como se muestra en la **Figura 5**, la distribución de los mayores espesores de

sedimentos se localiza al SE de la ensenada, llegando a alcanzar una potencia de alrededor de 21 m. Aunque cuando estos espesores se corresponden con las áreas más deprimidas del subfondo, como se muestran en las isohipsas entre -35 y -50 m, se observa que, hacia el margen costero S del área, los espesores de sedimentos llegan a alcanzar potencias de hasta 11 m sobre elevaciones del subfondo entre los -30 y -5 m.

En adición a los resultados básicos mencionados, fue necesario determinar las facies sísmicas con el objetivo de diferenciar la arena de los sedimentos finos, enfocado a la prospección de arena de mar. Una vez determinados los horizontes reflectores principales, se identificaron las unidades sísmicas al utilizar los conceptos sismo-estratigráficos y esquema de clasificación simplificada de las unidades de facies sísmicas de Ringis (1986), el cual está basado en el análisis de las secciones de tiempo en los sismogramas, al tomar en cuenta la amplitud de las señales, cambios en el paralelismo y continuidad de los ejes co-fásicos de las reflexiones. El análisis e interpretación de perfiles consecutivos, permitió observar de forma más visible la arquitectura estratigráfica de las unidades que com-

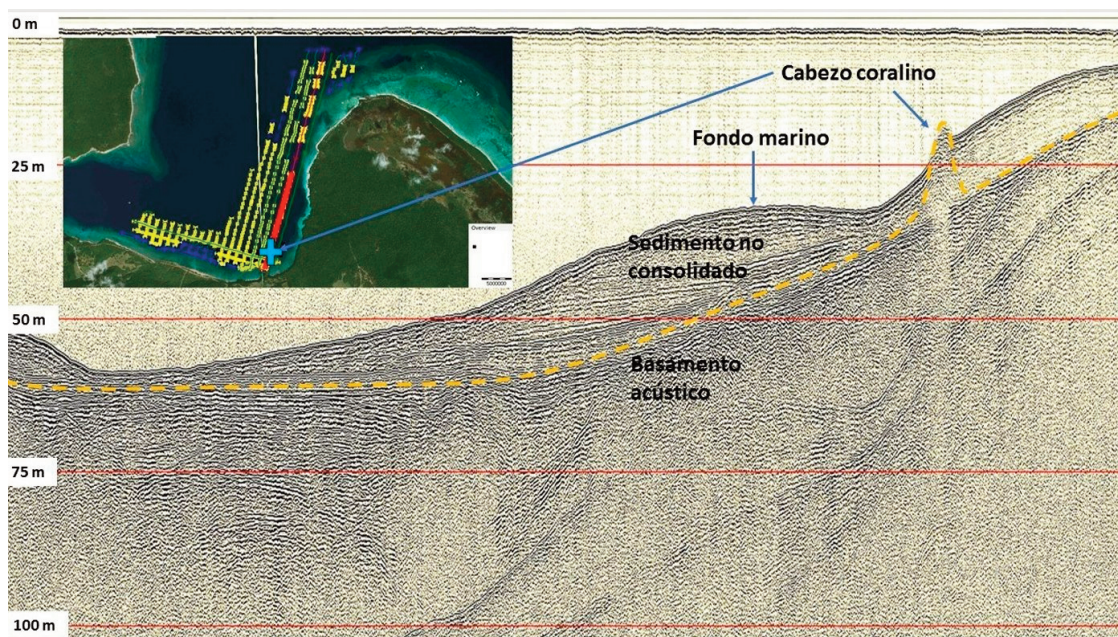


Figura 8. Tramo (en color rojo) de un perfil sísmico en dirección SW-NE, cercano al borde costero de cayo Saetía, que muestra la geometría del corte geológico y presencia de cabezos coralinos.

ponen los depósitos de sedimentos, así como la diferenciación vertical y lateral de las mismas.

Al tener en cuenta el concepto de unidad sismoestratigráfica de Ringis (1986) que la define como una unidad o capa que se caracteriza por un patrón interno de reflexión sísmica que difiere de las unidades adyacentes, por encima, por debajo o en los laterales (Ringis, 1986) o el concepto de unidades de facies sísmicas de Mitchum *et al.*, (1977), como grupos de reflexiones sísmicas cuyos parámetros (configuración, amplitud, continuidad, frecuencia y velocidad de intervalo) difieren de los grupos adyacentes, fue posible diferenciar tres unidades sísmicas, las cuales se muestran en la **Figura 9** a escala vertical algo exagerada para su visualización.

En esta clasificación se tuvo en cuenta que las unidades de facies sísmicas son interpretadas en términos de los ambientes deposicionales, la energía de deposición en el medio y el contenido litológico potencial del estrato que genera el patrón de reflexión de las facies sísmicas (Mitchum, *et al.*, 1977).

La caracterización de estas unidades a partir de sus patrones de reflexión permitió diferenciar los sedi-

mentos arenosos de los sedimentos más finos que pudieran estar constituidos por sedimentos limo-arenosos o limo-arcillosos. Dichas unidades se presentan a continuación al comenzar desde la más profunda hacia la más somera.

•**Unidad sísmica (1):** Constituye el basamento acústico de todos los materiales supra-yacentes determinados. De acuerdo con estudios precedentes (Godínez, 2002; Perdomo, 2015), el basamento acústico en una gran parte de la bahía de Nipe está representado por arcilla, de firme a dura. Mientras que en la península de Ramón en el canal de entrada de la bahía (Hernández, 2019), por caliza organógena poco cementada pertenecientes a la Formación Jaimanitas, de edad Pleistoceno Superior. Este basamento presenta un relieve muy variable tal como se presenta en las isohipsas y se encuentra cubierto por sedimentos de espesor variable. El límite superior de esta unidad presenta un reflector bien definido, de elevada respuesta acústica y en

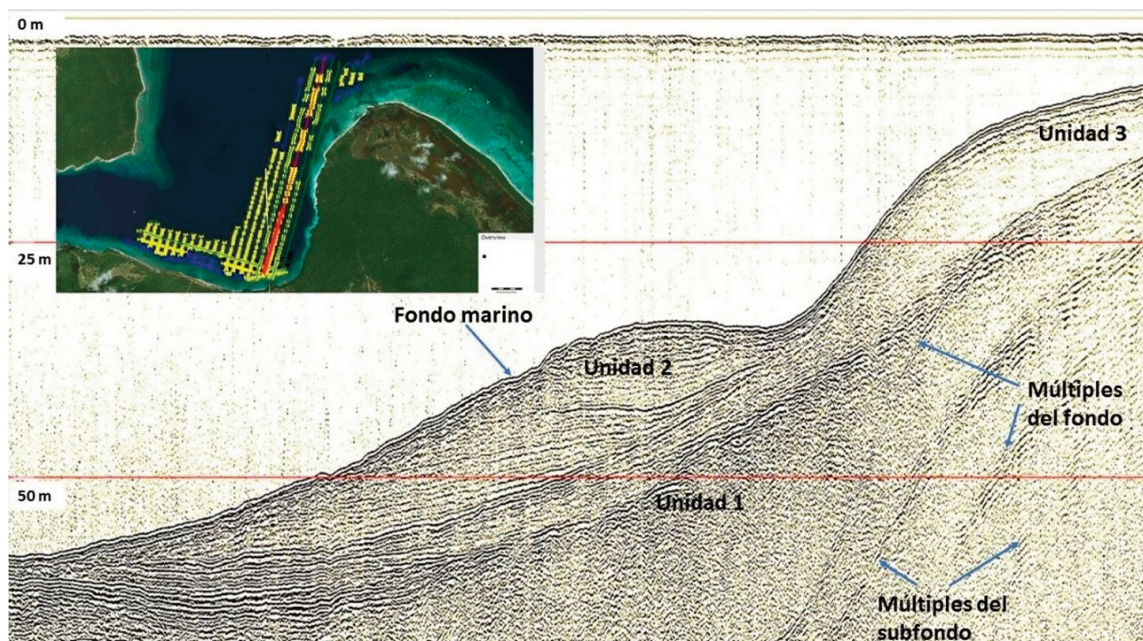


Figura 9. Tramo del perfil en dirección SW-NE longitudinal a la costa de cay Saetía que muestra las diferentes unidades sísmicas

la mayoría de los sismogramas, debajo del mismo se observan reflectores menores, de escasa continuidad lateral. Aparece bien definido en las zonas deprimidas del fondo y subfondo de la ensenada, al mostrar reflexiones de relativamente gran amplitud entre los -30 y -55 m de profundidad. Sin embargo, hacia las zonas menos profundas, con un relieve irregular, las reflexiones aparecen más débilmente en los registros sísmicos, marcado por un bajo contraste de impedancia acústica con los sedimentos que lo sobreyacen.

•**Unidad sísmica (2):** Sobreyace el basamento acústico en las zonas más deprimidas del fondo y subfondo, de espesor variable. El espesor máximo determinado para esta unidad fue de 21 m, sin embargo, los espesores son variables en su distribución espacial de acuerdo con la morfología del fondo y del subfondo, donde las profundidades del fondo marino varían en un rango entre los -20 y -40 m y el subfondo, entre los -20 y -50 m aproximadamente. Esta unidad se encuentra aflorante por lo tanto el techo lo conforma la superficie del fondo marino (Figura 9). La estructura sismo-estratigráfica de esta unidad se caracteriza por una estratificación bien marcada, con reflectores inclinados en dirección aparente hacia el norte y noreste, donde aumentan las profundidades del paleocanal y canal actual. La unidad está constituida por varias secuencias que indican cambios durante las condiciones de sedimentación. La forma y ubicación de estos sedimentos permiten clasificarlos como rellenos de canal, de granulometría fina a media. Sin embargo, la respuesta acústica y la gran penetración lograda con el perfilador sísmico en esta unidad de considerables espesores y grandes profundidades de yacencia, permiten inferir tamaños de granos finos para estos sedimentos. Este análisis fue indicado con anterioridad por Da-

muth (1975), quien planteó que una limitada penetración del subfondo sugiere granos de tamaños relativamente gruesos, mientras una penetración profunda sugiere granos de tamaños finos. De manera general, estos sedimentos pudieran estar constituidos por limos arenosos o areno-limosos o incluso algo arcillosos, como resultado de las condiciones hidrodinámicas reguladas por las corrientes de marea y el transporte de sedimentos. La orientación de las formas del fondo, indican una movilidad sedimentaria en dirección también a la boca de la ensenada, fuertemente vinculada con las corrientes de reflujó. Resultados de algunos de los puntos de muestreo realizados en etapa de reconocimiento 1:100000 mencionado con anterioridad, describen estos materiales como materiales menos seleccionados, lo cual indica mayores porcentajes de limo-arcilla en los sedimentos.

•**Unidad sísmica (3):** Fue definida en el área de estudio para la capa de sedimentos cercana a los bordes costeros con espesor variable entre 5 y 10 m. Presenta un patrón típico con ausencia de estratificaciones, que sugieren como fracción dominante a la arena, aunque se complementan con diversos porcentajes de limo y arcilla. Estos sedimentos son típicos de los bordes costeros del canal de entrada, los cuales se forman bajo las condiciones hidrodinámicas mencionadas, reguladas por las corrientes de marea y el transporte de sedimentos. De forma inversa a la unidad (2), esta unidad pudiera estar representada por sedimentos algo más gruesos, teniendo en cuenta que aun en condiciones más someras (menores de -20 m), la penetración del perfilador en el subfondo es algo menor. En este caso, el eco en los sismogramas contiene solo el reflector de la base, el cual en ocasiones es discontinuo y desaparece en las partes de mayor espesor, lo cual permite inferir, de acuerdo con lo seña-

lado por Damuth (1975), que esta unidad pudiera estar constituida por materiales algo más gruesos que no permiten una penetración de la señal acústica lo suficientemente profunda. Esta unidad sísmica sobreyace la unidad 1, al aflorar desde el borde costero que se localiza al sur del área hasta las profundidades del fondo de -20 y -25 aproximadamente, con pendientes ligeramente más abruptas hacia el SW y pendientes más suaves hacia el SE. De acuerdo con las características geológicas y geomorfológicas de esta unidad, además de su cercanía a la costa, se llevó a cabo un muestreo helicoidal, de modo específico en las áreas más someras y de pendientes más suaves. Según los resultados del muestreo, la litología de esta unidad estratigráfica es arena, con granulometría de media a fina, de color gris a gris claro y compacidad suelta al menos en la parte más superficial del corte geológico, aunque pudiera ser variable en profundidad. Son sedimentos biogénicos producto de la actividad marina, con presencia de fragmentos de conchas de moluscos. En los registros del sonar y sismogramas fueron detectados numerosos arrecifes coralinos y bajos rocosos costeros, que los indican como importantes fuentes de aporte a estos sedimentos.

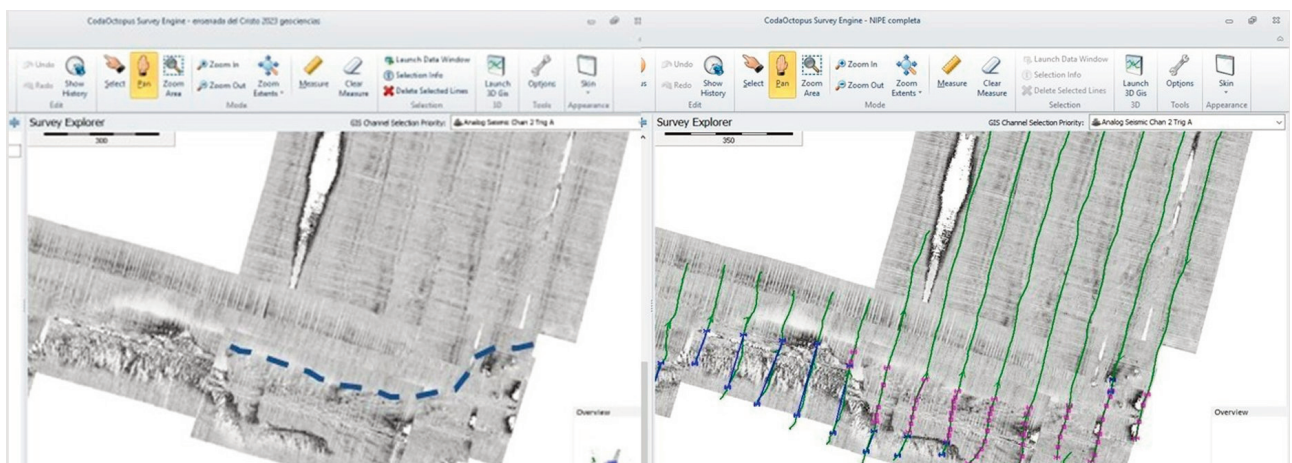
En la **Figura 10** se muestra la correlación total en la interpretación de estas arenas de granulometría de media a fina, con el registro del sonar que muestra una textura no tan homogénea como en el caso de los sedimentos finos de las zonas más profundas, sino algo más rugosa que sugiere una granulometría no tan fina.

Los resultados geólogo- geofísicos de prospección indicaron que las acumulaciones de sedimentos de mayor perspectiva se localizan precisamente en esta arena ubicada al sur del área de estudio y cercanas a la margen costera de cayo Saetía, en profundidades de agua entre los -5 y -20 m.

Los límites tanto verticales como laterales de estos sedimentos por su posible uso como material de playa, fueron validados con el muestreo geológico de la etapa de prospección 1:10000.

El resto de los cuerpos definidos en el estudio precedente de Reconocimiento, no poseen las condiciones adecuadas para su extracción.

Los resultados de esta etapa de prospección permitieron definir los contornos del depósito propuesto que forman parte de los recursos indicados para esta etapa, que aun cuando en el presente trabajo no es objetivo presentar sus límites y volúmenes, en la **Figura 11** se muestra una imagen ampliada de los espesores totales de los sedimentos no consolidados del área de mayor perspectiva y la ubicación de los puntos de muestreo geológicos.



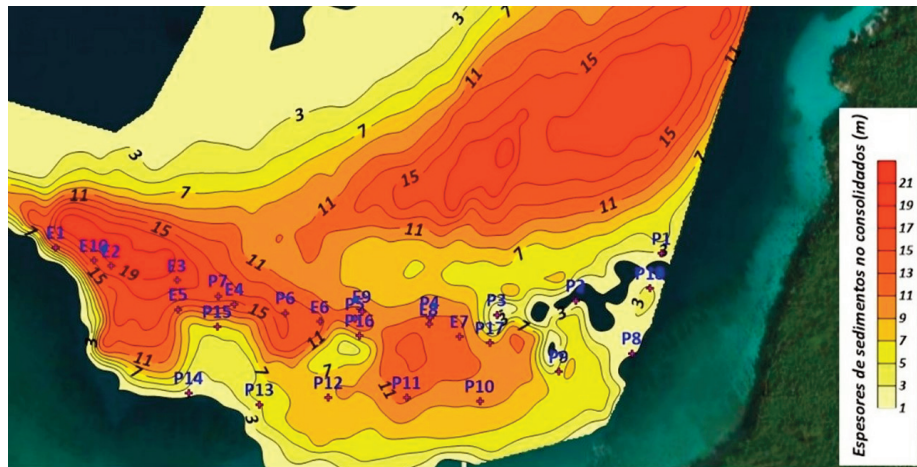


Figura 11. Imagen ampliada de los espesores de sedimentos totales en el área del polígono de mayor perspectiva

El resultado de los análisis granulométricos de las muestras tomadas (Tabla 2), mostró que los sedimentos arenosos están constituidos en lo fundamental por arena media, entre 0.27 y 0.42 mm, pobremente seleccionadas y asimétricas, al atender a los resultados de los parámetros estadísticos determinados mediante el GRADISTAT versión 8.0. Solo dos muestras ubicadas al oeste de esta área clasifican como fina, precisamente donde las características geomorfológicas cambian y la profundidad del fondo donde yace tiene una pendiente mayor y una arena gruesa, cercana al bajo costero.

Los resultados granulométricos en esta etapa de prospección, que clasifican a estos sedimentos como arena en lo fundamental de granulometría de media a fina, justifican su uso como material de playa, dadas las condiciones batimétricas entre -10 y -15 m, espesores mayores de 3 m y localización cercana a la costa para el tipo de tecnología de extracción que se pretende utilizar (draga de tipo succión).

Los resultados de la composición del sedimento, realizado en la muestra 11 (Tabla 3) lo describen como arena biogénica, de color gris con predominio de algas calcáreas, seguida de moluscos, bioclastos no identificados y foraminíferos, muchos granos aparecen teñidos de gris lo que le da una apariencia oscura a la muestra, esta característica la tienen todas las muestras de arena que se tamizaron, la composición también es similar, los granos aparecen

Id	x	y	Descripción
P1	635223	236089	Roca
P2	635097	236020	Roca
P3	634981	235999	arena media
P4	634883	235995	
P5	634773	235993	
P6	634671	236002	
P7	634572	236027	
P8	635179	235943	arena gruesa
P9	635072	235916	
P10	634956	235873	arena media
P11	634849	235878	arena media
P12	634734	235878	arena media
P13	634633	235868	arena media
P14	634529	235885	arena media
P15	634571	235982	arena media
P16	634780	235969	arena media
P17	634971	235958	
P18	635206	236038	
E1	634334	236098	Arena media
E2	634415	236071	Arena fina
E3	634512	236049	Arena media
E4	634596	236015	Arena media
E5	634514	236007	Arena media
E6	634721	235989	Arena media
E7	634926	235968	Arena media
E8	634881	235985	Arena media
E9	634783	236004	Arena media
E10	634390	236079	Arena fina

Tabla 2. Resultados del muestreo geológico helicoidal.

Muestra	Algas calcáreas [%]	Moluscos [%]	Foraminíferos [%]	Bioclastos no identificados [%]	Otros Grupos [%]	Clasificación
M - 11	58.8	18.3	8.6	12.8	1.3	Arena media, 0.38mm

Tabla 3. Resultados del análisis de composición del sedimento

pulidos y con aristas subredondeadas sobre todo en algas, muchos han perdido las características morfológicas que los identifican, de ahí el alto por ciento de bioclastos no identificados (12.8 %), en otros grupos aparecen espinas de erizos y briozoos.

Los resultados demuestran que la aplicación de los conceptos sismo-estratigráficos para la interpretación de los datos sísmicos marinos de alta resolución, permiten obtener buenos resultados en la prospección de arena marina, al diferenciar los tipos principales de configuraciones de reflexión que caracterizan a las capas de sedimentos recientes, además de tener en cuenta la respuesta acústica y la penetración lograda con el perfilador sísmico. La caracterización de los sedimentos recientes de la plataforma marina resulta difícil, depende del sitio. Según autores como Ionin, Pawlidis y Avello (1977), plantean que la composición litológica de los sedimentos que se encuentran en la plataforma cubana posee una característica propia, la cual está relacionada con factores como las particularidades morfológicas de la plataforma, las características de las fuentes de abasto sedimentario, el clima, particularidades del transporte del material terrígeno, la influencia de algunas masas de aguas oceánicas y el carácter de los procesos hidrodinámicos (Ionin *et al.*, 1977). Es por ello que la aplicación combinada de los métodos acústicos y herramientas como la sismo-estratigrafía, permiten caracterizar la geología del área, los ambientes de deposición, la estructura sedimentaria, así como inferir la composición de los sedimentos en los territorios marino-costeros.

Con la calidad de los registros sísmicos se visualizaron las diferentes unidades sísmicas e inferir los tipos de sedimentos, no solo de acuerdo con la morfo-

logía del fondo y subfondo marinos y patrones típicos, sino también de acuerdo con la respuesta acústica de estas unidades y la penetración lograda en el subfondo, de acuerdo con los análisis indicados con anterioridad por Damuth (1975), que penetraciones del subfondo limitadas sugieren la presencia de sedimentos de granos de tamaños relativamente gruesos, mientras una penetración profunda sugiere granos de tamaños finos. Las tres unidades sísmicas determinadas en el área permitieron caracterizar de forma general la geología y ambientes de deposición fundamentales.

Los resultados de la investigación geofísica y los trabajos geológicos con barrena helicoidal en los 28 puntos de muestreo, permitieron trazar los límites verticales y laterales entre los tipos de sedimentos con vistas a la delimitación del bloque o cuerpo de arena a proponer para los fines de recuperación de playas. La justificación de la propuesta del cuerpo de arena que se localiza entre las isobatas de -10 y -15 m de profundidad, se basó en las características granulométricas de la arena (en lo fundamental de media a fina), que aun cuando una parte de esta área (margen sureste) se caracteriza por la presencia de arrecifes rocosos sumergidos, además de los bajos costeros, la arena que se pretende extraer mediante una draga de tipo succión, requiere de cierta cercanía a la costa. Los resultados del presente trabajo permiten recomendar la realización de un programa de muestreo, con un menor espaciamiento entre las estaciones, con la finalidad de definir con mayor exactitud los límites espaciales y volumen del material útil posible a emplear para la toma de decisiones correspondientes. Aun cuando en una etapa de detalle, el muestreo se realice con muestreador helicoidal de 1.65 m, deberá definir con mayor

precisión el bloque o cuerpo de arena a proponer para su extracción, con una densidad de la red de muestreo adecuada que permita delimitar los bajos rocosos sumergidos. De acuerdo con los resultados del presente trabajo, en cuanto a los resultados de la granulometría (poca variabilidad espacial en los depósitos de arena), una red de 50 x 50 m permitirá delimitar el bloque de recursos alejado de los bajos rocosos.

La utilidad del empleo de los conceptos sismo-estratigráficos como herramientas fundamentales en la caracterización de los sedimentos marinos, constituyen un primer acercamiento a la caracterización geoacústica de los sedimentos al constituir la base para la construcción del modelo geológico con vistas al modelaje sísmico. Algunas de las propiedades físicas de los sedimentos son inferidas de las propiedades acústicas. Si existe un fuerte contraste de impedancia acústica entre dos capas adyacentes se produce una fuerte reflexión y aunque cambios en el tamaño de los granos de sedimentos detectados en perforaciones pueden que no causen un suficiente contraste de impedancia acústica para ser registrados con las técnicas de sísmica de reflexión, las reflexiones en el registro sísmico por lo general, indican cambios en estructura, litología, densidad, porosidad y otras propiedades que afectan las propiedades acústicas de los sedimentos y roca. Por ello, la combinación de estos aspectos con una visión geológica y geomorfológica y la interpretación sismo-acústica a partir de la aplicación de los criterios y conceptos sismo-estratigráficos, además de la experiencia en la interpretación de los registros sísmicos, resulta esencial en la caracterización geoacústica.

Los resultados sugieren que los procedimientos desarrollados, mejoran de forma significativa las metodologías de búsqueda de arena marina y otras aplicaciones de ingeniería e indicar a los métodos acústicos como técnicas remotas efectivas en la caracterización de los sedimentos marinos con la consecuente disminución de los muestreos *in situ*.

CONCLUSIONES

1. El empleo de conceptos y criterios sismo-estratigráficos como herramientas fundamen-

tales en este trabajo, permitieron caracterizar de forma general la geología del área de estudio y ambiente de deposición, al diferenciar tres unidades sísmicas a partir de sus patrones de estratificación e inferir la composición de los sedimentos.

2. Los resultados geólogo-geofísicos de prospección indicaron que las acumulaciones de sedimentos de mayor perspectiva se localizan precisamente en la unidad sísmica 3 ubicada al sur del área de estudio y cercanas a la margen costera de cayo Saetía, en profundidades de agua entre los -5 y -20 m.

3. El muestreo geológico en etapa de prospección 1:10000, permitió validar los resultados geofísicos y los límites tanto verticales como laterales del depósito de arena propuesto por su posible uso como material de playa, con características granulométricas adecuadas (en lo fundamental de media a fina), de color gris a gris claro, con fragmentos de conchas de moluscos y de compacidad suelta, que aun cuando una parte de esta área (margen sureste) se caracteriza por la presencia de arrecifes rocosos sumergidos, además de los bajos costeros, la arena que se pretende extraer mediante una draga de tipo succión, requiere de cierta cercanía a la costa.

4. Los resultados del presente trabajo permiten recomendar la realización de un programa de muestreo en el cuerpo de arena de mayor perspectiva, con un menor espaciamiento entre las estaciones, con la finalidad de definir con mayor exactitud los límites espaciales, volumen del material útil y categoría del recurso para etapa de exploración. En el resto del área de investigación no se detectaron otras zonas con condiciones favorables para la acumulación de sedimentos no consolidados de interés.

5. Los resultados obtenidos con las técnicas acústicas y la aplicación de criterios y conceptos sismo-estratigráficos para la delimita-

ción de los diferentes horizontes reflectores, constituyen el punto de partida para la caracterización geoacústica de los sedimentos marinos y sugieren que los procedimientos desarrollados mejoran de forma significativa las metodologías de búsqueda de arena marina y otras aplicaciones de ingeniería e indicar a los métodos acústicos como técnicas remotas efectivas en la caracterización de los sedimentos marinos con la consecuente disminución de los muestreos *in situ*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, M.,** 2020, Reconocimiento arenas Norte Holguín. La Habana, Cuba, Archivo Técnico GEOCUBA Estudios Marinos, Informe técnico.
- Cabrera, M., Ugalde, C. y Pantaleón, G.,** 2004, Mapa Geológico de los Mares Neríticos del Archipiélago Cubano a escala 1:100000. Instituto de Geología y Paleontología/Sociedad Geológica de Cuba.
- Servicio Hidrográfico y geodésico de la República de Cuba,** 1975, Bahía de Nipe y sus accesos. Escala 1:30000. GEOCUBA Estudios Marinos. La Habana.
- GEOCUBA Estudios Marinos, 2003, Derrotero de las Costas de Cuba (Región Marítima S. De Cabo Cruz a Punta María Aguilar. Editor Agencia de Cartografía Náutica. La Habana. 116 pág.
- Corrada, R., Macías, A., Alfonso, I., Nápoles E.,** 1995, Estratigrafía sísmica para la caracterización de los depósitos Pliocuaternarios del Shelf de Cuba. Boletín Resúmenes I Taller Geofísica Somera, 1995.
- Damuth, J. E.,** 1975, Echo character of western equatorial Atlantic floor and its relationship to the dispersal and the distribution of the terrigenous sediments. *Marine Geology* 18:17–45.
- Ortega, F.,** 1995, Estudio para campo de boyas de Felton. La Habana, Cuba, Archivo Técnico GEOCUBA Estudios Marinos, Informe técnico.
- Godínez, G.,** 2002, Investigaciones Ingeniero - Geológicas. Conductora del Ramón, La Habana, Cuba, Archivo Técnico GEOCUBA Estudios Marinos, Informe técnico.
- González, R.,** 2023, Concesión de Investigación Geológica, Arena Marina «El Cristo», Bahía de Nipe, Provincia de Holguín. Informe técnico (inédito). GAMMA (CITMA).
- Hernández, E.,** 2019, Estudio geotécnico para atraques en península del Ramón. La Habana, Cuba, Archivo Técnico GEOCUBA Estudios Marinos, Informe técnico.
- Ionin, A., Pavlidis, Y., Avello, O.,** 1977, Geología de la plataforma de Cuba. Editor: Nauka. Moscú. (Traducción).
- Mitchum, R. M. Jr., Vail, P. R., Sangree, J.B.,** 1977, Seismic stratigraphy and global changes of sea level; Part 6, Seismic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences, in Payton, C.E., ed., *Seismic Stratigraphy—Applications to Hydrocarbon Exploration: American Association of Petroleum Geologists Memoir* 26, p.117-133.
- Perdomo, J. L.,** 2015, Estudios geofísicos en las bahías de Nipe y Levisa para la ubicación de una conductora para agua potable. Provincia Holguín. La Habana, Cuba, Archivo Técnico GEOEM, Informe técnico.
- Petelín, V. M.,** 1967, Análisis granulométrico de los sedimentos marinos. Edit. Nauta, Moscú, pp. 76.
- Ringis, J.,** 1986, Seismic Stratigraphy In Very High Resolution Shallow Marine Seismic Data. *Proceedings of the Joint ASCOPE/CCOP Workshop I*, 119 – 128.
- Sangree, J. B. and Widmier, J. M.,** 1979, Interpretation of depositional facies from seismic data: *Geophysics* v.44, p.131 – 160.
- Sheriff, R.,** 1980, *Seismic Stratigraphy*. International Humans resources development corporation, Bonton, 222.
- Shore Protection Manual,** 1984, Tomo 1. Capítulo 4. Coastal Engineering Research Center, pp 4 – 12.

Cuencas orogénicas de la república de Cuba

Evelio Linares Cala¹, Yeniley Fajardo Fernández², Juan G. López Rivera³, Pavel M. Blanco Amador⁴, Lorenza Mejías Rodríguez⁵, Osmany Pérez-Machado Milán⁶.

¹ Ingeniero geólogo. Doctor en Ciencias Geológicas. Investigador Auxiliar. Centro de Investigación del Petróleo (CEIN-PET). Churrucá, No.481, e/ Vía Blanca y Washington, El Cerro. C.P. 12000. La Habana, Cuba. ORCID ID: ORCID 0000-0003-1246-602X. Correo E.: bello@ceinpet.cupet.cu.

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

³ Ingeniero Geólogo, Doctor en Ciencias Geológicas, Investigador Titular, Centro de Investigación del Petróleo, Churrucá No 481, El Cerro, La Habana, Cuba C.P. 12000. ORCID: 0000-0001-6004-6631. Correo E: jguillermo@ceinpet.cupet.cu

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

⁵ Ingeniero Química, Master en Manejo Integral de Zonas Costeras, Investigador Agregado, Centro de Investigación del Petróleo, Churrucá No 481, El Cerro, La Habana, Cuba C.P. 12000. ORCID: 0000-0001-9603-1853. Correo E: lorenza@ceinpet.cupet.cu.

⁶ Ingeniero Geólogo. Máster en Geología Petrolera. Investigador Agregado. Centro de Investigación del Petróleo, Cuba, CP 10200, Cuba. ORCID: 0000-0003-2326-5769. Correo E.: milan@ceinpet.cupet.cu

RESUMEN

La literatura geológica cubana, acumula numerosas imprecisiones cuando nombran diferentes estructuras del territorio. Las ambigüedades ocurren cuando refieren rocas desplazadas tectónicamente, al formar ordenaciones de cabalgamientos. La presente investigación describe asociaciones de rocas desplazadas tectónicamente, del Dominio Paleogeográfico (DP) de la Etapa Orográfica y sus correspondientes Conjuntos Petrotectónicos (CPT). Estas rocas afloran de forma ex-

tensa en toda Cuba, constituyendo un Cinturón Plegado y Cabalgado. No es correcto referir como cuencas, estructuras resultantes de la imbricación de mantos de diferentes DP, desarrolladas por movimientos oscilatorios y de bloques tectónicos, estas serían: antiformas, sinformas y bloques. Ha sido un axioma que la orogenia en Cuba, se traslada en tiempo y espacio de occidente a oriente. Sin embargo, son pocos los argumentos que lo han testificado; en esta investigación se hace detalladamente. En todos los

Linares-Cala, E., Fajardo-Fernández, Y., López-Rivera, J. G., Blanco-Amador, P.M., Mejías-Rodríguez, L., Pérez-Machado Milán, O., 2021, Cuencas orogénicas de la república de Cuba: Geociencias UO. v. 17, núm. 1, junio 2026. pp. 54-71

casos, se justifica por métodos geofísicos, pozos petroleros, por la edad de las unidades litoestratigráficas que conforman las cuencas y por el espesor promedio de ellas. Se reconocen: Cobertura Orogénica Occidental Campaniano Superior-Eoceno Inferior Ypresiano; Cobertura Orogénica Central, Campaniano tardío-Eoceno Medio parte baja; Cobertura Orogénica Oriental Campaniano Superior-Eoceno Superior. Se describen todas las cuencas superpuestas en ellas y las formaciones que las justifican. Se refieren varias antiformalas, cubiertas del Arco Volcánico Cretácico, domos salinos, mantos. Por ejemplo, entre otras, Antiforma Martin Mesa; Antiforma Bacuranao-Basilio; Zona de Recubrimiento Eugeosinclinal Moa. La investigación responde al Proyecto Investigación Desarrollo 2024 del IGP-SGC y CEINPET y consta de un mapa de las cuencas escala 1:500000 y su texto explicativo de 322 páginas.

Palabras clave: cuencas superpuestas, antiformalas, orogenia, cinturón plegado y sobrecorrido, domos salinos, bloques tectónicos.

ABSTRACT

Cuban geological literature accumulates numerous inaccuracies when naming different structures of the territory. Ambiguities occur when tectonically displaced sequences that were part of piggyback basins are considered as new basins. The present research describes associations of tectonically displaced rocks, of the Paleogeographic Domain (DP) of the Orogenic Stage and its corresponding Petrotectonic Assemblies (CPT). These rocks are widely distributed throughout Cuba, constituting a folded and overthrust belt. It is not correct to refer as basins, structures resulting from the imbrication of mantles of different DP, developed by oscillatory movements and tectonic blocks, these would be, antiformalas, sinforms and blocks. It has been an axiom that the orogeny in Cuba moves in time and space from west to east, however, few arguments have testified this. In the present paper it is done in detail. In all cases, it is justified by geophysical methods, deep wells, by the age of the lithostratigraphic units

that fill the basins and by the average thickness of them. Are recognized: Upper Campanian-Lower Eocene Ypresian Western Orogenic Cover; Upper Campanian-Middle Eocene lower part, Central Orogenic Cover, and Upper Campanian-Upper Eocene Eastern Orogenic Cover. All the superimposed basins and the formations that justify them are described. Refer several antiformalas, over Cretaceous Volcanic Arc, salt domes or mantles. For example, among others, Antiforma Martin Mesa; Bacuranao-Basilio antiform; Eugeosynclinal Moa Coating Zone. The results offered respond to the 2024 project of the IGP-SGC and CEINPET and consist of a map of the basins, scale 1:500000 and an explanatory text of 322 pages.

Keywords: piggyback basins, antiformalas, orogenic stage, folded and overthrust belt, salt domes, tectonic blocks.

RESUMO

A literatura geológica cubana acumula inúmeras imprecisões ao nomear diferentes estruturas do território. Ambiguidades ocorrem quando se referem a rochas deslocadas tectonicamente, ao formar arranjos de empuxo. A presente investigação descreve associações de rochas deslocadas tectonicamente, do Domínio Paleogeográfico (DP) do Estágio Orogênico e seus correspondentes Conjuntos Petrotectônicos (CPT). Estas rochas afloram extensivamente por toda Cuba, constituindo um Cinturão Dobrado e Impulso. Não é correto referir-se como bacias às estruturas resultantes da imbricação de mantos de diferentes DP, desenvolvidos por movimentos oscilatórios e blocos tectônicos, estes seriam antiformalas, sinformas e blocos. Tem sido um axioma que a orogenia em Cuba se move no tempo e no espaço de oeste para leste. No entanto, existem poucos argumentos que atestam isso; Esta pesquisa é feita em detalhes. Em todos os casos, justifica-se pelos métodos geofísicos, pelos poços de petróleo, pela idade das unidades litoestratigráficas que compõem as bacias e pela sua espessura média. São reconhecidos os seguintes: Cobertura Orogênica Ocidental Campânia Superior-Eoceno Inferior Ypresiano; Cobertura

Orogénica Central, parte inferior do final da Campânia - Médio Eoceno; Cobertura Orogênica Oriental Campaniano Superior - Eoceno Superior. São descritas todas as bacias a elas sobrepostas e as formações que as justificam. São referidos vários antiformes, coberturas do Arco Vulcânico Cretáceo, cúpulas salinas, mantos. Por exemplo, entre outros, Antiforma Martin Mesa; Antiforma Bacuranao-Basilio; Zona de sobreposição de Moa Eugeossiclina. A pesquisa responde ao Projeto de Pesquisa para o Desenvolvimento 2024 do IGP-SGC e CEINPET e é composta por um mapa das bacias na escala 1:500 mil e seu texto explicativo de 322 páginas.

Palavras-chave: bacias sobrepostas, antiformas, orogenia, cinturão de dobras e sobreposições, cúpulas de sal, blocos tectônicos.

INTRODUCCIÓN

La presente comunicación pretende facilitar un recorrido geológico por seis de las cuencas representadas en el Mapa de las Cuencas Orogénicas (Superpuestas) de la República de Cuba Escala 1:500000 (Linares *et al.*, 2023), estas son las cuencas Los Palacios, Vegas, Jovellanos-Santo Domingo (Cuenca Mercedes) Ana María-Vertientes, Amancio Rodríguez y Cauto. Se expone una argumentación tectono-estratigráfica y geólogo-petrolera para cada cuenca. Para los territorios, el volumen de información es variable y resultar fundamentaciones que oscilan desde amplias, para determinadas cuencas, hasta escuetas en otras, en función de los datos disponibles.

Se toma en consideración, que muchas de las cuencas orogénicas (superpuestas) estudiadas han sido objetivo de búsquedas petroleras, en todas, hay pozos de exploración y aunque no se han descubierto yacimientos de hidrocarburos, todavía no se ha desechado su posible interés. Incluso, en fechas recientes, se han perforado pozos en ellas (Los Palacios, Jovellanos-Santo Domingo, Ana María-Vertientes y Cauto). En este sentido, se sigue la máxima de que «se puede encontrar petróleo en áreas desechadas con ideas nuevas, nunca con premisas antiguas».

Las rocas que se depositaron originalmente en grandes cuencas de cientos de miles de kilómetros cuadrados –formadas en diferentes Dominios Paleogeográficos (DP), fueron comprimidas y apiladas en conjunto con las rocas más antiguas del Cretácico y Jurásico, así como las rocas de Arco Volcánico Cretácico (AVC) y las ofiolitas, en lo que hoy se denomina Cinturón Plegado y Cabalgado Cubano.

Algunos investigadores consideran que el área de su distribución original, fue entre tres y cinco veces mayor que la resultante después de la colisión (Saura *et al.*, 2008).

Los complejos orogénicos se depositaron durante la llamada etapa orogénica entre el Campaniano tardío y el Eoceno Superior. En los últimos años se ha considerado que esta etapa abarca una sola fase tectónica, relacionada con la colisión entre una paleoestructura oceánica meridional y el Paleomargen Continental de las Bahamas (Shein *et al.*, 1985).

Iturralde-Vinent (1988), definió el término de «cuencas superpuestas» por dos razones: porque ellas se originaron sobre un sustrato deformado (en el caso de esta investigación, el archipiélago de islas volcánicas extinguidas del Cretácico) y, en segundo lugar, porque se formaron sobre el dorso de un conjunto alóctono, es decir, que se había desprendido de su lugar original de deposición.

Estas cuencas comenzaron a desarrollarse con un relieve muy variado, que incluía elevaciones y depresiones. En estas últimas, se depositaban primero conglomerados basales muchos de los cuales se registran en varias formaciones de algunas provincias cubanas (formaciones Vía Blanca, Durán, Sirven, La Jíquima y otras), pero de forma rápida, devinieron en depósitos de aguas más profundas, con formaciones del tipo *flysch* o *flyschoides*.

Si tenemos en consideración el tiempo que duraron los procesos de sobrecorrimentos –entre 27 y 32 millones de años– la segunda razón para nombrar una cuenca como superpuesta, se restringe al intervalo entre finales del Campaniano y finales del Ypresiano. Entonces sí se considerarían como equivalentes los términos de *pyggy-back* y cuencas a cuestras.

MATERIALES Y MÉTODOS

Información y sus fuentes

El fundamento de este trabajo fue el Proyecto de Información Desarrollo 2024, preparado por el Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET), para el Instituto de Geología y Paleontología- Servicio Geológico de Cuba del Ministerio de Energía y Minas (Minem). La investigación confeccionó nueve mapas de contenido geólogo petrolero a escala 1:500000 y un catálogo con columnas de pozos con sus correspondientes textos explicativos. Resultó base de este artículo, el Mapa de Cuencas Orogénicas de la República de Cuba a escala 1:500000.

Se utilizó la información y cartografía geológica de dos importantes mapas tectónicos de la República de Cuba a escala 1:500000; se observaron numerosos datos de su «Informe del Tema IV Tectónica de Cuba y su Plataforma Litoral y determinación de las direcciones de los trabajos de exploración geológica para petróleo y gas». En las referencias bibliográficas, se relacionan varias investigaciones que aportaron información importante para el mapa que se trata.

Metodología

Como sistemática, se emplearon las generalizaciones tectónicas realizados para el Tema IV (Tectónica) del Grupo de Generalización Científica de Cuba (Shein *et al.*

al., 1975) y dos de los principales mapas tectónicos de la República de Cuba a escala 1:500000 Shein *et al.*, (1985) y Pushcharovsky, *et al.*, (1989). Además, se tomaron en cuenta los últimos estudios estratigráficos del archipiélago cubano, sobre la base de los métodos de la Terrenoestratigrafía (Longoria, 1993), que admitieron asignar los Dominios Paleogeográficos (DP) y Conjuntos Petrotectónicos (CPT) correspondientes a las cuencas orogénicas adjudicándole sus unidades litoestratigráficas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el territorio nacional se reconocen catorce cuencas orogénicas. De occidente a oriente son: Los Palacios; Vegas; Jovellanos-Santo Domingo (Mercedes); Cienfuegos; Trinidad; Cabaiguán; Central; Ana María-Vertientes; California; Amancio Rodríguez; Cauto; Nipe, Santiago de Cuba y San Luis-Guantánamo (**Figura 1**). En la presente comunicación serán caracterizadas las tres primeras, las cuencas Ana María, Amancio-Rodríguez y Cauto. Estas grandes cuencas están distribuidas a largo de la región sur de toda la isla y las mismas fueron investigadas con amplitud por diversos autores (Shein *et al.*, 1985; Pushcharovsky, *et al.*, 1989).

En este trabajo se han modificado algunas cuencas, unificándose, por ejemplo, las cuencas Mercedes y Santo Domingo con el nombre Jovellanos-Santo Do-

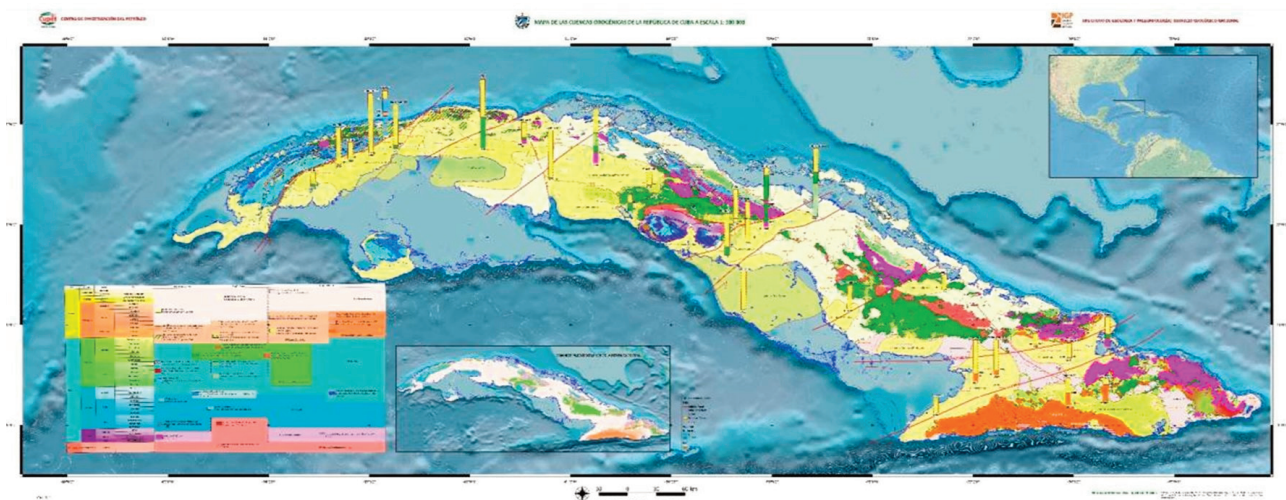


Figura 1. Esquema tectónico de las cuencas superpuestas de la República de Cuba (Linares, *et al.*, 2023)

mingo y considerándose el complejo de cuencas Ana María-Vertientes-Amancio Rodríguez bajo el nombre de Ana María-Vertientes-Amancio Rodríguez.

De las cuencas objeto de estudio en esta reseña han resultado de interés para la exploración petrolera todas las cuencas consideradas (Los Palacios, Vegas, Mercedes [Jovellanos-Santo Domingo], Ana María-Vertientes-Amancio Rodríguez y Cauto).

El substrato de estas cuencas lo constituyen, en lo fundamental, las rocas del Arco Volcánico Cretácico (AVC) extinto, excepto las cuencas Trinidad, Cauto y Santiago de Cuba. Surgieron producto de una etapa inicial de la orogenia cubana (Cuencas del primer ciclo), donde predominaron los movimientos verticales ocurrida entre el Campaniano Superior y el Daniano basal. Así se formaron amplias zonas deprimidas y otras levantadas que sirvieron de fuente de aporte a los sedimentos acumulados en estas depresiones, por lo tanto, la composición de estas rocas es en esencia vulcanomíctica a polimíctica y en menor proporción fragmentario-carbonatadas.

En el tope del Maastrichtiano, sobre las partes más elevadas del relieve submarino, se formaron rocas de ambientes someros donde dominaron los rudistas, gasterópodos, equinodermos y en menor grado, amonites y corales. Así son ejemplos las formaciones San Juan y Martínez (Los Negros), Isabel, Presa de Jimaguayú, Tinajita, entre otras.

Por otro lado, en las partes más profundas continuaba la sedimentación terrígena como es el caso de las formaciones Vía Blanca, Vaquería, Cocos, Fomento, La Jíquima, Mícara, Babiney. Muchas de las últimas se depositaron de forma continua hasta el Daniano. Estas plataformas carbonatadas fueron destruidas durante los fenómenos catastróficos ocurridos en el límite Cretácico-Paleógeno al restar escasos representantes y solo como fragmentos aislados al sur de la falla Pinar (Fm. Los Negros) y como fragmentos exóticos innominados en la zona norte en las cercanías de La Mulata (Localidad Las Cochinatas).

Sus fracciones se encuentran en gran profusión en los sedimentos de las formaciones Peñalver y Carajícara.

En las regiones de Cuba Central y Oriental (formaciones Isabel, Palmarito y Tinajita) sus áreas de afloramientos son mayores, aunque discontinuas y como relictos de erosión. En la región de Pinar del Río y Artemisa, estas piezas de la plataforma maastrichtiense, son muy pequeñas debido a su cercanía con la plataforma de Yucatán donde ocurrió el choque del cuerpo extraterrestre que formó el cráter de Chicxulub y dio lugar a la ocurrencia de poderosos tsunamis que arrasaron con estas estructuras y al generar fuertes corrientes de turbidez con la consiguiente formación de megaturbiditas.

De acuerdo con Cruz-Orosa (2012), en Cuba se han diferenciado cuencas contraccionales, extensionales y de desgarre que se originaron sincrónicamente. Las cuencas contraccionales se desarrollaron en la parte norte del orógeno y se interpretan como un sistema de cuencas de antepaís que incluye cuencas transportadas y de antefosa. Por otra parte, las cuencas extensionales estuvieron relacionadas con la apertura de la cuenca de Yucatán y se formaron en la parte sur del orógeno durante el Paleógeno. Estas cuencas evolucionaron desde el principio como cuencas de intraarco y luego fueron incorporadas al orógeno como cuencas intramontanas.

Las cuencas de desgarre se interpretan como cuencas poligenéticas asociadas a corredores tectónicos que son oblicuos al orógeno. El relleno sedimentario sinorogénico de las cuencas de desgarre indica altas tasas de subsidencia e incluye series olistostrómicas y turbidíticas que presentan grandes cambios laterales de facies y de espesores. La formación coetánea de todos estos tipos de cuencas sugiere que diversos regímenes tectónicos (de compresión, de extensión y de desgarre) se produjeron durante la formación del Orógeno Cubano.

CUENCAS DEL OCCIDENTE CUBANO

Las áreas de hundimiento oeste-cubano (Shein *et al.*, 1975) están compuestas por las cuencas Los Palacios, Cortés, Vegas y Jovellanos-Santo Domingo (Mercedes), separadas por los levantamientos transversales Guanál, Copey y Agramonte, respectivamente.

Cuenca Los Palacios: Campaniano tardío-Holoceno

La Cuenca Los Palacios, está situada en la porción sur de las provincias de Pinar del Río y Artemisa (**Figura 2**). Se extiende desde los poblados San Juan y Martínez al oeste hasta Ariguanabo al este y posee una longitud aproximada de 85 km y el ancho oscila entre 10-30 km.

Según Shein *et al.* (1985), la Cuenca Los Palacios es una cuenca perteneciente a la Región de Hundimiento Oeste Cubana, separada de la Cuenca Vegas por el Levantamiento Copey. Es una estructura de carácter postorogénico en lo fundamental (Millán Trujillo, en García Delgado *et al.*, 2003), aunque según Rosencrantz (1996), parece haberse generado durante la etapa más tardía de la orogenia junto con la propia Falla Pinar. Esta cuenca posee un gran espesor de depósitos el Dominio Paleogeográfico del Neoaútóctono, manifestándose en su substrato diversas fallas escalonadas subparalelas a la Falla Pinar (López-Quintero *et al.*, 1987). Es importante señalar que los depósitos pre-orogénicos (a partir del Albiano) y orogénicos que componen el substrato de la Cuenca Los Palacios, son de carácter terrígeno y terrígeno-carbonatado, muy diferentes a los que caracterizan las Unidades Tectono-Estratigráficas (UTE) Los Órganos, Rosario y La Esperanza pertenecientes al DP del Margen Continental Norteamericano.

Además, estos aparecen menos dislocados que las secuencias de las regiones Guaniguanico y Bahía Honda, pues siempre están dispuestos en una sucesión estratigráfica aparentemente normal (López-Quintero *et al.*, 1987; García Delgado *et al.*, 1989). Es importante señalar que, en el substrato de la Cuenca de Los Palacios, no se destacan representantes de la parte axial del Arco Volcánico Cretácico (AVC), aunque se han reportado algunas intercalaciones de tobas y areniscas tobáceas en los sedimentos premaastrichtianos (López Quintero *et al.*, 1987; García Delgado *et al.*, 1989; Bralower e Iturralde-Vinent, 1997), lo que ha permitido sugerir a algunos autores que se trata de una secuencia de cuenca de interarco o de retroarco (Martínez *et al.*, 1988, 1991).

La diferencia notable en el carácter del corte geológico y en la intensidad de las dislocaciones entre el

substrato de la Cuenca Los Palacios y las secuencias de similar edad de las regiones de Guaniguanico y Bahía Honda, demuestran que a lo largo de la Falla Pinar hubo una transcurriencia de magnitud considerable (Millán Trujillo, en García Delgado, *et al.*, 2003). Una importante dislocación, subparalela a la falla Pinar y bien notable por datos geofísicos (en correspondencia con Rodríguez-Basante, 1999), denominada aquí falla Los Palacios, limita a la Cuenca Los Palacios por el sur, al seccionar a la Zona San Diego de Los Baños en dos bloques de carácter diferente (Somin y Millán, 1981; Rosencrantz, 1996; Rodríguez-Basante, 1999).

Su mayor área de afloramientos está ocupada por depósitos del Neoaútóctono y solo al sur de la falla Pinar ocurren unidades orogénicas de las formaciones Los Negros, Guamá y el Grupo Víbora. Dentro de las rocas del Neoaútóctono afloran el Grupo Universidad, las formaciones Loma Candela y Manuelita y numerosas unidades de edades comprendidas entre el Oligoceno hasta el Holoceno. La Cuenca Los Palacios está formada por los conjuntos de la Cobertura Orográfica Occidental del AVC y las rocas del Neoaútóctono; en algunas áreas posee espesores considerables, a juzgar por los espesores de los pozos Candelaria No. 1 el que entre el Mioceno y Paleógeno registró 3800 m. y Las Mangas No. 1 que solo del Neógeno registró 1555 m.

Sobre su sustrato, que es el AVC, las unidades litoestratigráficas más antiguas son las formaciones Vía Blanca y San Juan y Martínez (Los Negros), del Cretácico Superior Campaniano tardío-Maastrichtiano Superior y termina con la Formación Capdevila del Eoceno Inferior Ypresiano, un tiempo de más de 24 millones de años. Además de la Formación Vía Blanca, se describen las formaciones Peñalver; Mercedes; Apolo; Madruga; Alkázar; La Majagua y Capdevila. Imperan las de naturaleza siliciclástica y en menor proporción las carbonatadas.

Investigaciones petroleras en la región de la Cuenca Los Palacios y sus perspectivas

Los grandes espesores de rocas sedimentarias conocidos en esta cuenca, así como las estructuras favorables

ofísicos han sido: perfiles regionales, datos gravimétricos y cálculos profundos de los objetos de perturbación magnética.

También se han realizado levantamientos geológicos y perforaciones de pozos geológicos. Los afloramientos principales se asignan a las unidades litoestratigráficas del Grupo Nazareno, a las formaciones Colón, Güines, Cojimar, Villa Roja, Guevara y los depósitos palustres y biogénicos. En los pozos geológicos y petroleros, se describen otras unidades de la Cobertura Orogénica Occidental del Arco Volcánico Cretácico: las formaciones Vía Blanca, Peñalver, Mercedes, Madruga, Vía Crucis, Apolo Alkázar y Capdevila que tienen edades desde el Campaniano tardío-Maastrichtiano hasta el Eoceno Ypresiano.

Cuenca Vegas se ubica desde el punto de vista tectónico en la región Bejucal-Madruga-Limonar en el llamado Anticlinal (Antiforma) Bejucal-Madruga-Limonar, el cual constituye una estructura elevada alargada, dispuesta en dirección este-oeste que se extiende en la porción sur de las provincias de Mayabeque y Matanzas.

Investigaciones petroleras en la Cuenca Vegas y sus perspectivas

Los primeros trabajos dirigidos a la búsqueda de yacimientos de petróleo en el área fueron realizados por Huntley (1916) y De Golyer (1918), ambos en la estructura Bejucal-Madruga-Limonar, donde se definen algunas unidades litoestratigráficas informales («Bejucal limestones») que hoy son parte del Grupo Nazareno. Ellos utilizaron en esencia unidades cronoestratigráficas y litológicas, al prestar una importancia considerable a las estructuras tectónicas favorables para la acumulación de petróleo.

Ya en la temprana época de 1916, Huntley comenzó a mencionar la ocurrencia de los sobrecorrimientos de las serpentinitas. Es notable la presencia de numerosas manifestaciones superficiales de asfalto, asfaltitas e incluso aguas sulfurosas (Brödermann *et al.*, 1945; Cruz y Torres 1994). Las asfaltitas fueron explotadas en varias minas, Mina Ángela Elmira, Mina San José y otras, hoy abandonadas y rellenas de agua.

En esta región, aunque se han explotado importantes volúmenes de hidrocarburos sólidos (asfaltitas)

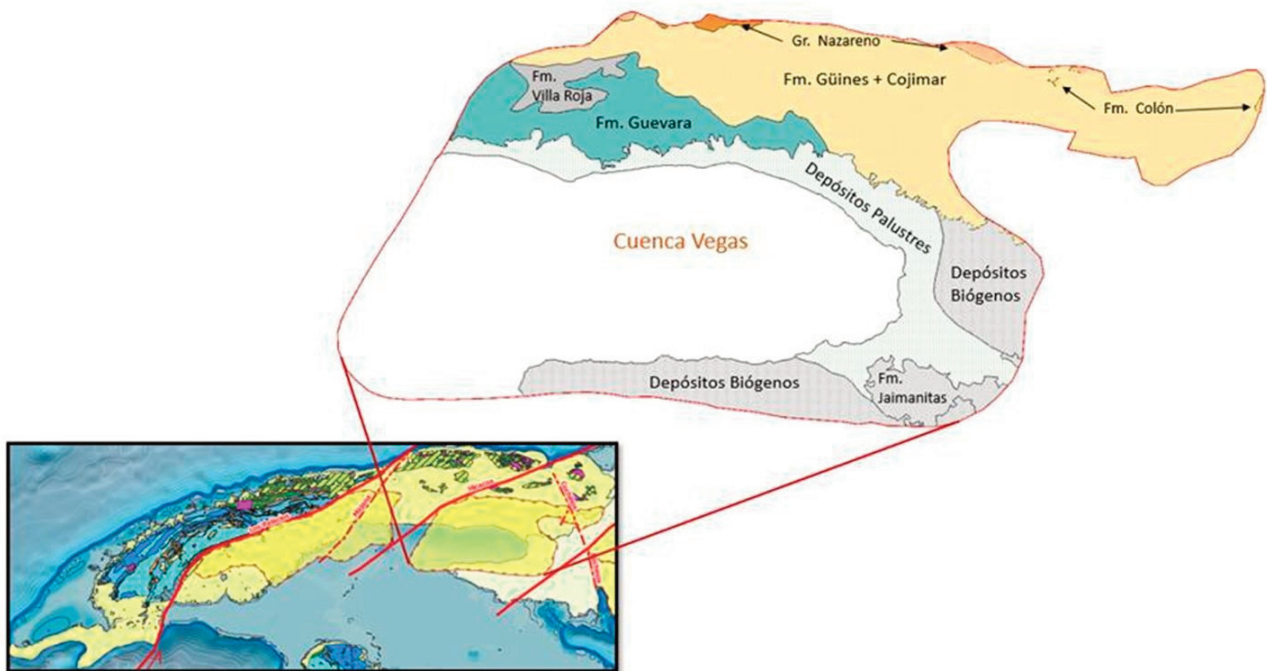


Figura 3. Área de distribución de la Cuenca Vegas y sus unidades geológicas (Linares *et al.*, 2023)

desde el siglo XIX, solo se han extraído algunas toneladas de petróleo de buena calidad en el pozo Madruga 3-A en la zona de Madruga. Sin embargo, se considera un territorio muy importante para la exploración petrolera, ya que numerosos sondeos han demostrado manifestaciones de petróleo y gas en distintos intervalos y existen decenas de manifestaciones superficiales de hidrocarburos sólidos, líquidos y gaseosos en diferentes localidades.

Cuenca Jovellanos-Santo Domingo (Cuenca Mercedes)

La Cuenca Jovellanos-Santo Domingo, comprende un territorio que comienza por el este en una estrecha franja situada al norte de la ciudad de Santa Clara, se amplía al sur de Santo Domingo, hasta terminar al oeste en el poblado de Agramonte, en la estructura denominada elevado Agramonte-Jagüey Grande (**Figura 4**). Tiene una longitud aproximada de 95 kilómetros, desde las inmediaciones de Santa Clara hasta Agramonte, con el mayor ancho de 36 kilómetros entre San José de los Ramos y el poblado de Aguada de Pasajeros. Esta superficie unifica dos cuencas: Mercedes

(Shein *et al.*, 1975) y Santo Domingo (Pushcharovsky, *et al.*, 1989).

La Cuenca Mercedes (Cuenca Jovellanos-Santo Domingo) es una estructura negativa que se considera que es la extensión de la Cuenca Vegas, de la que está separada por el levantamiento Agramonte, de una pequeña amplitud de 100 a 300 metros (Elevado Jagüey Grande-Agramonte en el Mapa Tectónico de Pushcharovsky *et al.* (1989)).

Este levantamiento posee una dirección sublatitudinal con un tamaño de 17 por 8 kilómetros. El espesor de las rocas de su cubierta orogénica no sobrepasa mil metros. Este levantamiento tiene su reflejo en la superficie del sustrato de la cuenca cuya profundidad está de 3 a 3.5 kilómetros.

La longitud de la cuenca por las isohipsas de un kilómetro trazada por el fondo de las rocas orogénicas, alcanza 100 kilómetros desde el este del poblado de Agramonte hasta el noreste de la ciudad de Santa Clara. Su ancho oscila entre 20-36 kilómetros. A juzgar por estos datos de Shein *et al.*, (1975), la Cuenca Mercedes incluye la Cuenca Santo Domingo de Pushcharovsky, *et al.* (1989).

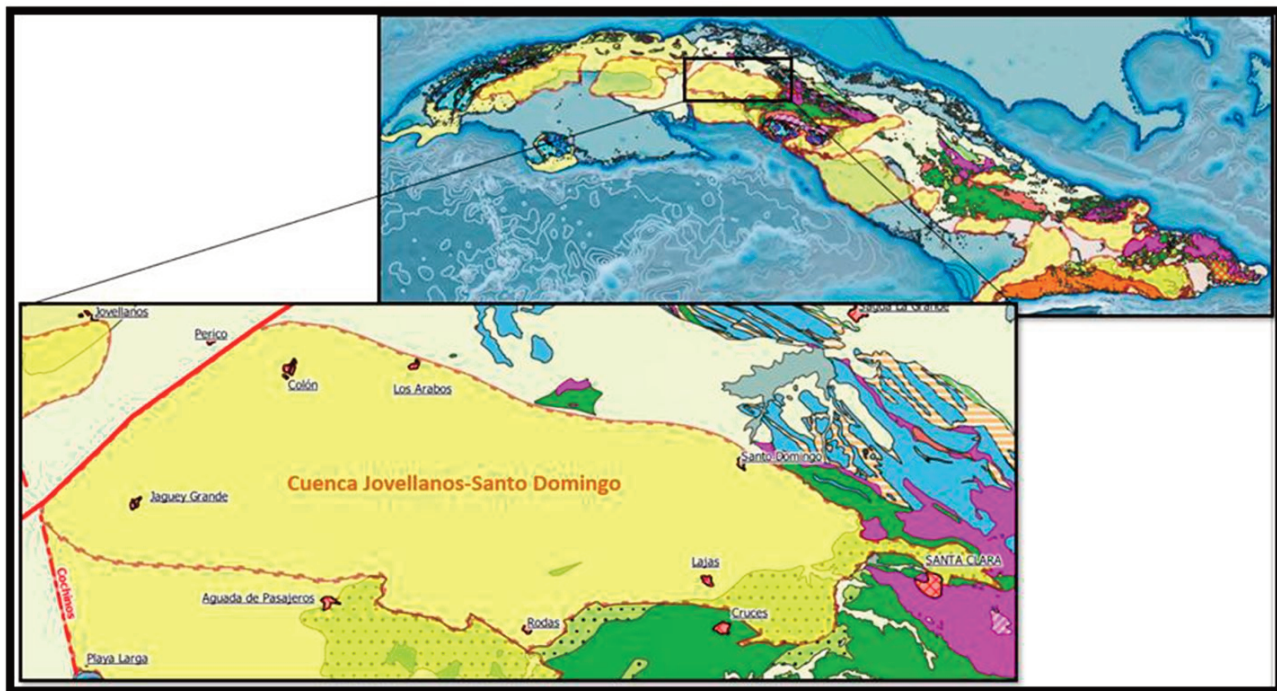


Figura 4. Área de distribución de la Cuenca Jovellanos-Santo Domingo (Cuenca Mercedes)

En esta cuenca se han realizado diversos trabajos geofísicos y se perforó el pozo petrolero paramétrico Mercedes No. 1 de 1 244 m. También se han ejecutado investigaciones morfométricas con el fin de limitar estructuras locales.

En la base, se detectan las rocas del DP del Arco Volcánico Cretácico al que yacen de forma discordante las rocas de los DP de la Orogenia y del Neoautoctono, con sus correspondientes Conjuntos Petrotectónicos (CPT) de la Orogenia y Neoautoctono Central. En la cuenca hay un levantamiento donde se describen las rocas de la Formación Matagúa del DP del Arco Volcánico Cretácico en el llamado Levantamiento Turquino. El espesor -medido hasta ahora- de las rocas del DP del Arco Volcánico Cretácico, es de 550 metros en el pozo Mercedes No. 2 perforado en la parte más hundida de la estructura, allí las rocas del DP Orogénico alcanzan 950 metros y el DP del Neoautoctono registra 1 280 metros.

El espesor total de las rocas de los DP de la Orogenia y Neoautoctono Occidental, alcanzan 2700 metros. Sin embargo, en los levantamientos locales disminuye de forma brusca hasta 860 metros, como por ejemplo en el pozo Mercedes No. 1. Por los datos sísmicos en esta cuenca se establecen los bloques profundamente hundidos Peralta y Victoria y los bloques levantados Agramonte y Levantas.

La Cuenca Mercedes perfila un borde claro por el norte, en el este y sur, representado por los afloramientos de las rocas plegadas de los Dominios Paleogeográficos del AVC y las de la Corteza Oceánica en especial, la de los Conjuntos Petrotectónicos de la Asociación Ofiolítica. En los depósitos propios de la cuenca orogénica, se establecen algunas depresiones isométricas y alargadas, divididas por levantamientos.

Pozos petroleros perforados en la Cuenca Jovellanos-Santo Domingo

Se han perforado varios pozos, pero con resultados no muy destacados en cuanto a la presencia de manifestaciones de petróleo y gas, en esencia fueron positivos en la zona del poblado La Esperanza, cerca de la ciudad de Santa Clara.

3.3 CUENCAS DEL CENTRO CUBANO

Cuenca Ana María-Vertientes-Amancio Rodríguez

Aunque se han separado las cuencas Ana María, Vertientes y Amancio Rodríguez se consideran las tres como un complejo de cuencas sucesivas (**Figura 5**). La Cuenca Ana María-Vertientes-Amancio Rodríguez es una gran depresión con algunas zonas levantadas, que se extiende desde el Golfo de Ana María al sur de la provincia de Ciego de Ávila, hasta el este de Amancio Rodríguez en la provincia de Las Tunas. Tiene una

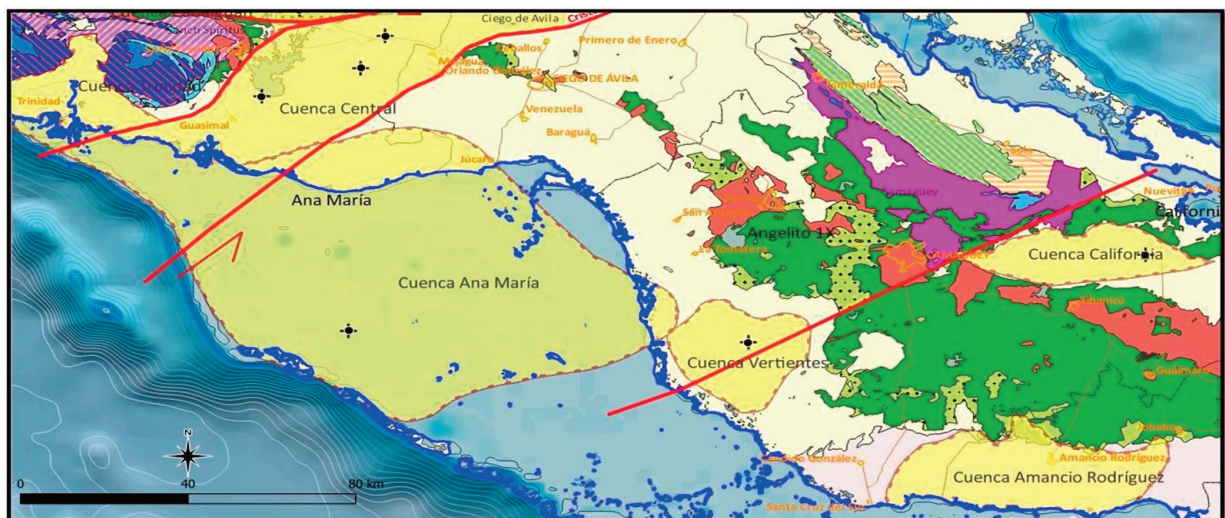


Figura 5. Área de distribución de la Cuenca Ana María-Vertientes-Amancio Rodríguez (Linares *et al.*, 2023)

extensión de 250 kilómetros de largo, al ser su ancho no menor de 100 km, ya que su límite sur no está bien delimitado por falta de datos.

De acuerdo con Álvarez-Castro *et al.*, (2000), la diversidad de eventos geológicos que han afectado a la región, han sido lo suficientemente amplios como para enmarcarla en un simple modelo geológico de una cuenca extensiva. Esta es una región caracterizada por el desarrollo de rocas DP del Arco Volcánico Cretácico (AVC), que en la actualidad forman un sistema de pliegues tectónicos junto con las rocas del CPT de la Asociación Ofiolítica. Esto se observa, incluso, hasta la zona septentrional sobre las rocas del DP Margen Continental Norteamericano en la Sierra de Cubitas y Camaján (Iturralde y Thieke, 1987). Allí, se supone que se hundieron hacia el este, al aflorar de nuevo solo las rocas del DP del Drifting CPT de las Rocas de Plataforma Carbonatada de la UTE Remedios, por la zona de Gibara en la provincia de Holguín. En la zona de Gibara, adicionalmente, se observan indicios directos e indirectos de rocas del Drifting CPT de Rocas Carbonatadas Pelágicas tipo UTE Camajuaní y Placetas (Linares *et al.*, Pérez-Gutiérrez, 2011).

En los procesos de sobrecorrimientos, sobre estos mantos tectónicos, se fueron formando cuencas superpuestas desde el Campaniano tardío hasta el Eoceno, terminándose con el DP del Neoaútctono. Estas cuencas llegaron a admitir una gran cantidad de sedimentos heterogéneos, resultado de la erosión de toda una gama de rocas volcánicas, intrusivas de variada composición, incluso sedimentarias siliciclásticas y carbonatadas. Estas últimas se formaron en ciertos recesos de la actividad magmática como, por ejemplo, cuando se formó la Formación Provincial de Cuba Central. De modo exclusivo, los pozos de Ana María, Tortugas Shoals, Cacique G-1-A y Angelito 1-X, cortaron las rocas del Cretácico Superior Campaniano tardío y algunas del sustrato de la cuenca, no obstante, dentro de la depresión, en una amplia área, no hay otros pozos que lo demuestren. La existencia de la gran anomalía regional negativa del campo gravitacional que se observa, no será explicada solo por los volúmenes de las rocas del Paleógeno, a pesar de que

su espesor llegue a ser del orden de unos 5 km en algunos lugares. La presencia de elementos de reflexión coherentes, aunque difíciles de correlacionar, hasta tiempos igual o mayor de 3.0 s es un factor que induce a pensar que por debajo de las rocas del Paleógeno, existen rocas sedimentarias del Cretácico Superior, que le adicionarían de 2 a 4 km de espesor de relleno de la cuenca (Álvarez-Castro *et al.*, 2000). Se conoce por afloramientos las formaciones del CPT Cobertura Orogénica Oriental del AVC, Durán (La Jiquima), Río Yáquimo, Presa Jimaguayú y Guaicanamar.

Estas características se observan tanto al sur del Golfo de Guacanayabo como en los perfiles que alcanzan las inmediaciones de la Sierra Maestra (Álvarez-Castro *et al.*, 2000), por lo que se sugiere que esta gran cuenca es una extensa depresión escalonada, cuyos límites meridionales no se han delimitado totalmente. Las líneas sísmicas ejecutadas en 1986, en aguas profundas, indican que los sedimentos del Cretácico Superior continúan al aparecer incluso en aquella latitud y que solo se interrumpen en una zona muy elevada que se observa a 80 km al sur de la costa de Camagüey. La cuenca que se describe se encuentra en la llamada Provincia Gasopetrolífera Sur Cubana, donde se han realizado estudios en los bloques 20, 22 y 23 terrestres y los V, VI y VII marinos de Cuba Petróleo (CUPET), mediante levantamientos sísmicos y gravimétricos en diferentes estadios de prospección.

Según Álvarez-Castro *et al.*, (2000), en la imagen sísmica, el cuadro ondulatorio para esta cuenca suroriental cubana no es homogéneo. Esto es debido tanto por variaciones en las condiciones sismológicas superficiales y profundas, como por las diferentes características de adquisición y procesamiento del material sísmico disponible. Por ejemplo, el extremo suroeste del Golfo de Ana María es donde se observa la mejor información en los cortes sísmicos y es en esta área, donde se encuentran ubicados los pozos profundos Tortugas Shoals y Ana María, que cortaron sedimentos del Cretácico. En el extremo sureste del Golfo de Ana María la información se torna baja de forma particular, porque para tiempos de registros relativamente pequeños ($t=1$ s) el cuadro ondular se ca-

otiza apreciablemente. Esto parece estar relacionado con el ascenso de horizontes del DP Arco Volcánico Cretácico (AVC). El sector correspondiente al área de Vertientes-Amancio Rodríguez (Bloque 22), se caracterizan por la presencia de dos «formaciones sismoestratigráficas» principales que abarcan intervalos de tiempos de registros comprendidos entre 0-1.8 s y 1.8-2.5 s, aproximadamente. La «formación» suprayacente se pensó desde el principio, que estaba relacionada con los datos de los mapas geológicos de superficie (Linares *et al.*, 1985; Albear *et al.*, 1988), que muestran las formaciones aflorantes Vertientes y Florida y al Paleoceno en profundidad, lo que se demostró con el pozo Angelito 1-X. El límite inferior de esta «formación» está relacionado con una discordancia que se expresa muy bien mediante una sensible variación del cuadro ondulatorio que se mantiene en casi toda la cuenca. El tope del Cretácico está bien correlacionado, constituyendo esta frontera el límite de la segunda formación sismoestratigráfica.

Perspectivas de hidrocarburos en esta cuenca

Este es otro de los territorios donde la exploración no ha sido coronada por el éxito. De este amplio territorio de las provincias de Camagüey, sur de Ciego de Ávila y Las Tunas, se tienen numerosos documentos archivados, que informan sobre la presencia de saladeros de hidrocarburos superficiales o someros y ciertos pozos petroleros con hidrocarburos líquidos o gaseosos (Linares *et al.*, 2011). Algunos se reportan en pozos criollos o tubulares, pero los trabajos de comprobación, en pocas ocasiones han resultado positivos. Así, por ejemplo, se conoce de un reporte de presencia de petróleo y asfalto, que por tratarse del famoso geólogo Hatten (1950) y tenerse información fidedigna en el Archivo de la Oficina Nacional de Recursos Minerales de Camagüey, merece la mayor confiabilidad. Se trata del lugar conocido por San José de Palomares o La Rosita, entre las sierras de Guaicanamar y Najasa donde en la base, se desarrollan las rocas de la Formación Durán suprayacidas de forma concordante por las rocas biohémicas de la Formación Presa Jimaguayú (Linares *et al.*, 2011).

Consideraciones sobre los resultados de la modelación de cuenca y del Sistema Petrolero

A partir del análisis del proceso de modelación de cuenca y del sistema petrolero, fue posible la evaluación del potencial exploratorio de la cuenca Ana María. De esta manera, se plantea que la cuenca en sí posee potencial exploratorio que justifica la perforación de algún otro pozo exploratorio, ya que se obtuvieron posibles acumulaciones de hidrocarburos en profundidad, los cuales se han podido conservar hasta la actualidad. A partir de la modelación del sistema petrolero se obtuvieron los resultados de los procesos de maduración, generación, migración, acumulación y preservación. El proceso de maduración comenzó en el Mioceno parte baja, de forma aproximada 17 millones de años y se mantiene hasta la actualidad, aspecto que le confiere un alto potencial exploratorio a la cuenca. Se determinaron las posibles vías de migración en la cuenca y los niveles de entrapamiento de los hidrocarburos de acuerdo con las distancias recorridas y al tener en cuenta las pérdidas que se tienen durante el proceso de migración. Se comprobó que las acumulaciones no se encuentran asociadas a las estructuras arrecifales sino a secuencias posiblemente volcánogeno-sedimentarias en niveles más profundos del corte.

CUENCAS DEL ORIENTE CUBANO

En la región oriental cubana, se delimitan las cuencas Cauto, Nipe, Santiago de Cuba y San Luis-Guantánamo. Se caracterizará la mayor de ellas, la cuenca Cauto.

Cuenca Cauto

Ha sido contemplada por diferentes investigadores con los nombres Cuenca Cauto-Guacanayabo, Cuenca Cauto-Nipe y Cuenca Cauto (Shein *et al.*, 1975), que es el que se asume en este artículo (**Figura 6**). La cuenca Cauto se ubica al sur de la Región de Hundimiento Oriental Cubano y posee una dirección noreste-suroeste. Su longitud es de 170 kilómetros y su ancho 35-80 kilómetros. La cuenca tiene un límite claro, en el noreste por las rocas del DP Arco Volcá-

nico Cretácico y en el suroeste por las rocas más jóvenes del DP Arco Volcánico Paleogénico (Arco Volcánico Turquino). En el noreste la dividen de la Cuenca Nipe, levantamientos transversales y al sureste continúa hacia el mar. De manera que parte está en el Golfo de Guacanayabo y parte en tierra en la provincia de Granma. La cubierta está formada en esencia, por las rocas de los DP Orogenia y del Neoautóctono, desde edades del Eoceno hasta el Holoceno. De acuerdo con Shein *et al.* (1975), se determinan espesores de 4-4.5 kilómetros, de los cuales 1-1.5 son anteriores a la orogenia, 1500 metros a DP Orogénico y 2 kilómetros al DP Neoautóctono.

Shein *et al.* (1975), mencionan un Complejo Basal cuya profundidad está entre 4.5 y 6 kilómetros. La profundidad de yacencia se ha determinado por datos magnéticos. El límite de refracción con altos valores oscila en las velocidades de 5.8-6.2 kilómetros por segundo, aquí se establece una profundidad de 4.5 kilómetros. Por eso quedó sin aclarar a cuál Complejo

Basal, si al cuerpo magnético, al basamento cristalino o al basamento plegado. En cualquiera de los tres casos, el espesor de las rocas volcanógeno-sedimentarias alcanza 4.5 kilómetros (según datos geofísicos).

El borde noreste es de pendiente suave con ángulos de inclinación entre 2-5 grados en las rocas orogénicas, en tanto las del Neoautóctono son más suaves, entre 1-3 grados. La longitud máxima de este borde alcanza 125 kilómetros con un ancho de 65 kilómetros.

El borde sureste es tectónicamente más complicado. La profundidad de yacencia de las rocas del DP Orogénico alcanza 1.7 kilómetros. Los ángulos de inclinación de las rocas orogénicas son de 10 grados y las del Neoautóctono de 3-5 grados. Las fallas aquí tienen una dirección noreste-suroeste y noroeste-sureste, lo que condiciona carácter de bloque. La parte central más hundida de la cuenca, está compuesta por una serie de depresiones, las cuales yacen a una profundidad entre 1.7 y 3.3 kilómetros.

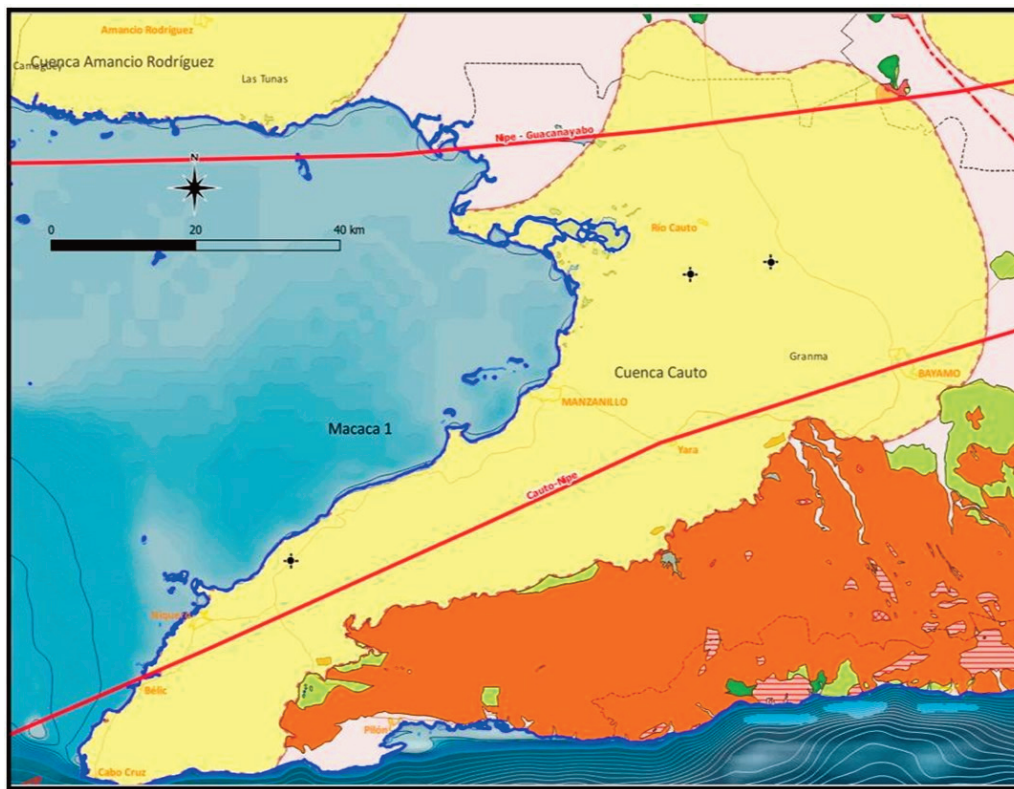


Figura 6. Área de distribución de la Cuenca Cauto (Linares *et al.*, 2023)

Depresión Madrona. Se encuentra al sureste de la Zona de Hundimiento, su dimensión por la base del DP Orogénico (Isohipsa 1.7 kilómetros) es igual a 40 por 35 kilómetros. La profundidad máxima Del DP Orogénico es de 2.2 kilómetros y del DP Neoautóctono 1.2 kilómetros.

Depresión Guacanayabo. Se separa por una pequeña elevación de la anterior y continua la zona central noreste. Su longitud máxima es de 60 kilómetros y su ancho de 30 kilómetros. En la profundidad máxima del DP Orogénico 3.1 kilómetros y del DP Neoautóctono 2 kilómetros. La depresión es asimétrica y en sus bordes la inclinación es de 10 grados. La Cuenca Cauto está limitada al sur por la falla profunda transcortical Oriente y por el norte por la falla Tunas.

Según Flores *et al.* (1996), en la estructura geológica actual, esta cuenca representa una zona depredada rellenada con grandes espesores de sedimentos del Paleógeno y del Cuaternario. Estos autores consideran que pudiera ser una cuenca de pull-apart joven, pero no hay evidencias estructurales que sustenten esta posibilidad.

Exploración petrolera: periodo de 1930-2021

Aunque a la fecha no se han detectado yacimientos gasopetrolíferos en el Golfo de Guacanayabo o en la zona terrestre de las cuencas Cauto y Nipe, la región se evalúa como perspectiva, por lo que se le ha prestado atención desde hace casi un siglo. Las siguientes informaciones así lo atestiguan: Existe una lejana noticia de principios del siglo pasado, que refiere algunas manifestaciones gasopetrolíferas en este territorio, tomada de la página 111 del «Informe de un Reconocimiento Geológico de Cuba» (Hayes *et al.* 1901, 1938), donde se lee de forma escueta, sobre los rumores de existencia de petróleos ligeros en las zonas de Manzanillo y Guisa.

En septiembre del año 1932, el geólogo mexicano Romagosa (1932) y Romani (geólogo francés), emitieron un informe breve, sobre los «campos» de nafta al norte de la Sierra Maestra, cerca de Yara anti-gua provincia de Oriente. El reporte -una de cuyas co-

pias fue dirigida al señor Alberto Quadreny- decía que «en el arroyo San Antonio, por el ferrocarril desde Yara a Estrada Palma (hoy Bartolomé Masó), en el Km 12, se podía observar petróleo natural o nafta, que también afloraba en los numerosos arroyuelos que drenan la zona».

Tschopp (1935), escribió un informe privado (confidencial), sobre salideros de petróleo ligero en el área suroeste de Bayamo, provincia de Oriente. Reiteró los datos anteriores, sobre salideros de hidrocarburos cerca del km 6 del ferrocarril del central azucarero Estrada Palma y en la colonia Vista Hermosa. Expresó que, a siete metros de profundidad, en un hueco (pozo) de rocas andesíticas, observó agua con películas de petróleo, presumiblemente ligero. El laboreo fue secado en su presencia y se incrementó el olor a petróleo. Refiere un salidero al sur del km 5, en el aluvión de un pequeño arroyo. Continuó expresando, que algunos pozos de 30-40 cm de profundidad, muestran películas de petróleo sobre el agua limpia. Alrededor de 30 metros más adelante, por el mismo arroyo, comprobó gas metano inflamable (metano puro). A 7 km, cerca de la localidad Los Mameyes, expresan en su informe, hay petróleo ligero. En un aluvión al borde de un arroyuelo, comprobaron burbujas, propias de escapes de un gas inflamable. Concluye que es un auténtico salidero de hidrocarburos. Se encontraron otras manifestaciones, refieren los geólogos, cerca de una loma al sur de la colonia Vista Hermosa (9-10 km este-noreste del central azucarero Estrada Palma). Las muestras de petróleo tienen 58.2° Baumé.

En la hoja ICGC 4876-IV (Yara), existe una localidad nombrada Vista Hermosa, cerca de Canabacoa, allí también existe un denuncia de manifestaciones de hidrocarburos, cerca del río Canabacoa, en Los Moscones. La localidad Los Moscones, está ubicada 13 km al noreste del centro del poblado de Bartolomé Masó y a unos 15 km al sureste de Yara. Hoja ICGC: 4876-IV (Yara). Coordenadas Lambert: X: 499800 Y: 170800 (Linares *et al.*, 2011).

Brodermann *et al.* (1945), mostró un mapa del área Yara-Guisa, con manifestaciones de hidrocarburos.

ros. En la página 130 dice que hay afloramientos bituminosos en Bayamo, Bueycito y Yara. Echevarría *et al.*, (2013) del Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET), observaron en el arroyo Guamutas, cerca de Yara en dos ocasiones, notables manifestaciones gaseosas presumiblemente de hidrocarburos que deben ser muestreadas en trabajos futuros.

En 1997 la compañía petrolera GENOIL, encontró datos referentes a un pozo denominado Manzanillo No. 2, perforado por la Trans Cuba Mining Co. Hay un informe de H. L. Heiss dirigido a Harrys, al referir un pozo a unos 14 km al este del central Estrada Palma, cerca de un salidero que produce pátinas como petróleo y gas. La referencia, coincide en su totalidad con el caserío Los Moscones, cerca del arroyo Manacal que es afluente del río Canavacoa. Hay registro de la litología del pozo entre 125-1000 pies (Paleo Report #360) (H. L. Heiss para estudio de Walter Fernández). Pero este no fue el único tanteo en la región, se hicieron muchos otros, incluso en el Golfo de Guacanayabo entre 1955-1959.

Aunque no son comparables con las efectuadas en el centro y occidente de Cuba, las búsquedas del petróleo en el Golfo de Guacanayabo y las cuencas Cauto y Nipe, se considera como las mayores en aquella región de la antigua provincia de Oriente, en lo fundamental, en el decenio de los cincuenta. Echevarría y Badía (1979) caracterizan este periodo, como de una intensa actividad exploratoria, tanto de estudios geofísicos como de perforación, al ser notables en 1957 y 1958.

Consideraciones de las últimas investigaciones en la Cuenca Cauto

Vázquez (2014), en su tesis doctoral, denominó esta cuenca como Cuenca Cauto-Guacanayabo localizándola en la parte suroeste del Corredor Tectónico Guacanayabo-Nipe. La considera como la cuenca de mayores dimensiones de las que se asocian a este corredor, que además incluye las cuencas de Cacocum y Nipe.

La mayor parte de la Cuenca Cauto se encuentra en el mar, constituyendo la parte activa de la misma

y donde se registra sedimentación actual; mientras que la parte en tierra está sometida principalmente a denudación. El investigador opina que esta cuenca constituye un ejemplo de las cuencas de desgarre presentes en el Orógeno Cubano, que se desarrollaron asociadas a los corredores tectónicos oblicuos a dicho orógeno. Su evolución se inició en el Eoceno Medio y ha estado controlada por la actividad de desgarre, con desplazamiento siniestro, de la falla Cauto-Nipe. El sistema petrolero de la Cuenca Cauto-Güacanayabo no ha sido establecido, aunque existen indicios superficiales y en el subsuelo de la existencia de petróleo. Las unidades del registro sedimentario evaluadas como posibles rocas madre presentan contenidos de Materia Orgánica (TOC) muy bajos o nulos. Las estructuras prometedoras de la cuenca han sido perforadas, al llegar a cortar en algunos casos el sustrato, sin que se haya revelado la existencia de hidrocarburos, por lo que es posible que los elementos del sistema petrolero formen parte de las secuencias sedimentarias más antiguas de la región.

CONCLUSIONES

Por primera vez se delimitan en un mapa, todas las cuencas sedimentarias orogénicas en Cuba, argumentándose las unidades litoestratigráficas que las conforman, sus espesores, sustratos y la migración del final de la orogenia desde occidente a oriente. Se separan las etapas de los DP Orogénico y Neoautoctono.

Se reconocen catorce cuencas orogénicas en Cuba, desarrolladas entre el Campaniano tardío hasta el Holoceno. Las cuencas orogénicas cubanas incluyen dos Dominios Paleogeográficos: DP Orogénico y DP del Neoautoctono, con sus correspondientes CPT-que migran en espacio y tiempo del occidente al oriente, nombrándose seis: CPT Orogénico y Neoautoctono occidental, central y oriental respectivamente. El final del DP Etapa Orogénica migra en el tiempo de occidente a oriente desde Eoceno Inferior Ypresiano en el occidente, Eoceno Medio, Lutetiano en el centro hasta el Eoceno Superior en la región oriental.

Se unifican las cuencas Mercedes (Shein *et al.*, 1975) y Santo Domingo (Pushcharovsky, *et al.*, 1989),

con el apelativo Cuenca Jovellanos-Santo Domingo, al ampliar su desarrollo hasta las cercanías de la ciudad de Santa Clara. Aunque se muestran por separado las cuencas Ana María, Vertientes y Amancio Rodríguez se consideran una gran cuenca de formación sucesiva.

Se confiere un alto potencial exploratorio a la cuenca Ana María donde han existido manifestaciones de hidrocarburos. Las manifestaciones de hidrocarburos en la cuenca Ana María, no están asociadas a estructuras arrecifales, sino a secuencias volcánico-sedimentarias en los niveles profundos.

AGRADECIMIENTOS

Se testimonia gratitud, al Centro de Investigación del Petróleo del Ministerio de Energía y Minas de la República de Cuba, por permitirnos publicar información parcial sobre el Proyecto de Investigación Desarrollo 2024. También se desea agradecer la revisión y otras observaciones de los doctores Manuel E. Pardo Echarte y Osvaldo Rodríguez Morán, la geóloga Dora Elisa García Delgado. Prestó también su colaboración en los gráficos, la M.Sc. Lorenza Mejías-Rodríguez.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albear-Fránquiz, J. F., Boyanov, I., Breznyansky, K., Cabrera, R., Chejovich, V., Echevarría, B., Flores, R., Formell-Cortina, F., Franco, G., Haydutov, I., Iturralde-Vinent, M., Kantchev, I., Kartashov, I., Kostadinov, V., Millán, G., Myczynski, R., Nagy, E., Oro, J., Peñalver, L., Piotrowska, K., Pszczolkowski, A., Radocz, J., Rudnicki, J. y Somin, M., 1988. Mapa Geológico de la República de Cuba escala 1:250000, 40 Hojas. Academia de Ciencias de Cuba. Instituto de Geología y Paleontología. Edición Instituto de Geología de la URSS.

Álvarez-Castro J., Aballí-Fortén, P. Domínguez-Garcés, R., S. Toucet-Téllez, S.; Valladares-Amaro, S.; Fernández-Carmona, J., Otero-Marrero., R., 2000, Evaluación de objetivos y prospectos de los bloques 20, 22,

23 sur, V, VA, VI, VIA, VII Y VIIA Proyecto 2132. La Habana, CEINPET.

Bralower T. J. e Iturralde-Vinent. M. A., 1997, Micropaleontological Dating of the Collision between the North American Plate and the Greater Antilles Arc in Western Cuba. *Palaaios* 1997, V. 12, p. 133-150.

Brodermann, J., Villoch, F.; Andreu, A., 1945, Investigación Técnica de Yacimientos Asfáltíferos de Cuba. Ministerio de la Agricultura. Dirección de Montes, Minas y Aguas: Boletín de Minas. Ministerio de Agricultura. Páginas 97-127.

Cruz F. y Torres, J., 1994, Informe trabajo temático productivo, Asphaltitas Habana. Inv. 4333. ONRM. Minem. La Habana.

Cruz Orosa, I., Vázquez, Y. Sabat, F.; Ramos, E., 2012, Las cuencas terciarias de Cuba como registro de la interacción entre diferentes regímenes tectónicos en el noroeste del Caribe. Congreso Geológico de España. Oviedo.

Echevarría-López, W., Linares-Cala, E.; Pérez-Gutiérrez, J. L., 2013, Informe de los trabajos de campo en la región sur de Cuba Oriental. Proyecto 7053. Archivo del Centro de Investigación del Petróleo. MINEM. La Habana.

Echevarría-Rodríguez, G.; Badía-Gallo, E., 1979, La exploración y explotación del petróleo en Cuba. Historia evolución, situación actual. Archivo Centro de Investigación del Petróleo. MINEM. La Habana.

Flores-García, R.; Millán Trujillo G.; Chang Bravo, J. L.; Pérez Pérez, C.; Castellanos Abella, E.; Núñez Cambra, K.; Strazhevich, V., 1996, Tectónica y paleogeografía de Cuba Oriental. Resúmenes III Congreso Cubano de Geología y Minería, 240-243. Instituto De Geología Y Paleontología, MINEM.

García-Delgado, D. E., Gil González, S. Delgado Damas, R., G. Millán Trujillo; Peñalver, L. L., Cabrera Castellanos, M., Denis, R.,

- Chang, J. L., Fuentes, M. Díaz Otero, C., Suárez, V. Llanes, A. I., Pérez Aragón, R.; Torres, M., Pérez Pérez, C.; Díaz de Villalvilla, L.,** 2003, Generalización geológica de la provincia de Pinar del Río a escala 1:100 000. Archivo Técnico Instituto de Geología y Paleontología, MINEM.
- García Delgado, D. E., Gil González, S.; Precedo, S.; L. Montero, L.,** 1989, Nominación de la Formación Manuelita del Eoceno Medio al Oligoceno en Cuba occidental. Resúmenes V Jornada Científico Técnica de la Sociedad Cubana de Geología.
- Golyer de, E. L.,** 1918, The geology of Cuban petroleum deposits. American Association of Petroleum Geologists.
- Hatten, C. W.,** 1950, Report on Asphalt Seep near San José de Palomares, Camagüey Province: Inv., 1393 O.N.R.M. de Camagüey.
- Huntley, L. G.,** 1916, Geología del área Güines-Bajural. ONRM, MINEM, La Habana (inédito).
- Hayes, C. W.; Vaughan T. W y. Spencer, A. C.,** 1901, Report on a geological reconnaissance of Cuba. Made for the Military Government Printing Office, Washington: 1-123.
- Hayes, C. W.; Vaughan T. W.; Spencer, A. C.,** 1938, Informe de un reconocimiento geológico de Cuba. Cuarta Edición. La Habana, Dirección de Montes, Minas y Aguas. :135.
- Iturralde M. A.; Thieke, H. U.,** 1987, Informe final sobre los resultados del Levantamiento Geológico Complejo del polígono Camagüey. Oficina Nacional de Recursos Minerales, MINEM, La Habana (inédito).
- Iturralde Vinent, M. A.** 1988. Naturaleza Geológica de Cuba. La Habana. Editorial Científico Técnica. p. 246.
- Linares Cala, E., Fajardo Fernández, Y., López Rivera, J. G., Blanco Amador, P. M., Mejías, L., Pérez Machado, O. y Pérez Gutiérrez, J. L,** 2023, Texto explicativo al mapa de las cuencas orogénicas de Cuba escala 1:500000. Inédito. 323 pp. Archivos IGP y CEINPET Minem La Habana.
- Linares-Cala, E.; García Delgado, D. E.; Delgado, O.; López, J. G.; Strazhevich, V.,** 2011, Yacimientos y manifestaciones de hidrocarburos de la República de Cuba. Centro Nacional de Información Geológica. IGP-Centro de Investigación del Petróleo. 480 pp. ISBN 978-959-7117-33-9. Imprenta PALCOGRAF, La Habana.
- Linares-Cala, E.; Osadchy, P.; Dovbnia, A.; Gil González, S.; García Delgado, D.E.; García Méndez, L.; Zuazo, Al.; González, R.; Bello, V.; Brito, A.; Bush, W.; Cabrera, M.; Capote, C.; Cobiella, J. L.; Díaz de Villalvilla, L.; Eguipko, O.; Evdokimov, Y.; Fonseca, E.; Furrázola G.; Hernández, J.; Judoley, C. M.; Kondakov, L.; Markovskiy, A.; Norman, A.; Pérez, M.; Peñalver, L.; Tijomirov, I.; Trofimov, V.; Vtulochkin, A.; Vergara, F.; Zagoskin, A. y Zelepuguin. V.,** 1985, Mapa Geológico de la República de Cuba, escala 1:500000. Cuatro hojas y una Leyenda Zonal. Centro de Investigaciones Geológicas, MINEM, La Habana. Impreso en la Fábrica Cartográfica del Instituto de Investigaciones Geológicas A. P. Karpinski VSEGEI de Leningrado, URSS.
- Longoria, J. F.,** 1993, La Terrenoestratigrafía: Un Ensayo de Metodología para el Análisis de los Terrenos con un ejemplo de México: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros Vol. XLVIII, N0.2, Julio – Diciembre, 1993, p. 30-48.
- López Quintero, J. O., López, J. G. Fernández, J.; Segura-Soto, R.,** 1987, Acerca la constitución geológica de la parte oriental de la Cuenca Los Palacios. Memorias. III Encuentro Científico-Técnico de Geología. p. 27-31. SCG Filial Pinar del Río.
- Martínez-González, D.; Fernández de Lara, R.; Peñalé, R.; Vásquez, M.; Barrios, E.; Valido, A.; Reinoso, R.; Chang, J. C.; Fernández,**

- O.; Denis, R.; Gómez, L.; García Delgado, D. E.; Gil González, S.; Pérez, D. H.; Reyes, R.; Valdivia, M.; Núñez, R.; Pérez, R.; Piz Langs, J., 1991, Mapas e Informe sobre los resultados del Levantamiento Geológico y Prospección Preliminar a Escala 1:50000 Pinar-Habana. Oficina Nacional de Recursos Minerales, MINEM, La Habana.
- Martínez-González, D. y Fernández de Lara, R., 1988, Informe sobre los resultados del levantamiento geológico y búsqueda acompañante a escala 1:50000 en la parte central de la provincia de Pinar del Río. Oficina Nacional de Recursos Minerales, MINBAS, La Habana (inédito).
- Pérez-Gutiérrez, J. L., Linares-Cala, E. y García-Sánchez, R., 2011, Proyecto 7010: La exploración petrolera costa afuera (aguas profundas: sectores de la ZEE de Cuba en el Golfo de México y Cuba Centro Oriental). Informe de los trabajos de campo Holguín-Guantánamo. Archivo CEINPET.
- Pushcharovsky, Y. M. Editor. Autores: Mossakovskiy, A. A., Nekrasov, G. E.; Sokolov, S. D.; Formell-Cortina; F.; Cabrera-Ortega, R.; Iturralde-Vinent, M. A, Flores, R.; Oro-Alfonso, J.; Morales, A.; Pantaleón, G.; Pérez, L.; Pszczolkowski, A.; Boyanov, I.; Haydutov, I.; Kantchev, I.; Kostadinov, V.; K. Brezsnianszky, K. y D. Chunev, D., 1989, Mapa Tectónico de la República de Cuba escala 1:500000: Moscú, Academia de Ciencias de Cuba y Academia de Ciencias de la Unión Soviética.
- Rodríguez, Basante, B., 1999, Interpretation of geophysical datasets for geological and structural mapping in western Cuba. Master in Science Thesis. ITC. Holanda. Romagosa, A. y Romani, C. 1932. Un breve Reporte Geológico sobre los Campos de Nafta de Yara, al norte de la Sierra Maestra: Inv. 1608, Oficina Nacional de Recursos Minerales. La Habana.
- Saura, E., Vergés, J.; Brown, D.; Lukito,P.; Soriano, S.; Torrescusa, S., García, R.; J. Sánchez, J.; Sosa, C.; Tenreyro, R., 2008, Structural and Tectonic evolution of western Cuba Fold and Thrust Belt. REPSOL-CUPET.
- Shein, V. S.; Ivanov, S. S.; Smirnov, V. N.; Bankovsky, S. Yu.; Yajalev, E. M.; Vasiliev, A.; Pavaner, A. V.; Bogdanov, M. M.; Paz-Morales, S.; Orbera, L.; Garcia, E.; Leal, A.; Rodriguez, J.; Rodríguez, M.; Amador Varela, E.; Fonseca, V.; Sarkison, Y. M.; V. I. Ynikin, V.I. Marrero Faz, M. y Hernández, G., 1975, «Informe del Tema IV Tectónica de Cuba y su Plataforma Litoral y determinación de las direcciones de los trabajos de exploración geológica para petróleo y gas». Archivo Técnico del CEINPET.
- Shein, V. S.; Klischov, A. K.; A.; Jain, V. E., Dikenshtein, G. E.; Yparraguirre, J. L.; García, E., Rodríguez, R.; López, J. Socorro, R. y López, J. O., 1985, Mapa Tectónico de Cuba escala 1:500000. Centro de Investigaciones Geológicas del Ministerio de la Industria Básica. Edición ICGC, 4 Hojas.
- Somin, M., L. y Millán, G., 1981, Geología de los complejos metamórficos de Cuba (en ruso). Moscú: Edit. Nauka. 219 p.
- Tschopp, H. J., 1935, Memorándum: Escapes de petróleo claro en el área suroeste de Bayamo, Oriente: Inv. 1587, Oficina Nacional De Recursos Minerales. La Habana.
- Vázquez-Taset, Y. M., 2014, Evolución Tectono-Estratigráfica de la Cuenca Cauto-Guacanayabo. Cuba. Tesis Doctoral Universidad de Barcelona España.

CONVOCATORIA PERMANENTE

Villabermosa, Tabasco, México

RECEPCIÓN DE ARTÍCULOS

DIVULGACIÓN Y DIFUSIÓN CIENTÍFICA-ACADÉMICA

▶ Marzo - Agosto 2025

▶ Número 19

▶ Volumen II

▶ Año 10



CARLOS PELLIGER GAMA
1890 - 1927
"PUETA DE AMÉRICA"
GRAN MAESTRO



ENVÍA TU TRABAJO

editorial@olmeca.edu.mx

UNIVERSIDAD OLMECA

Raíz de sabiduría

ISSN: 3448-6873








A través de la Coordinación Editorial

CONVOCA

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

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

Mayores informes:
Coordinación Editorial

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

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



UNIVERSIDAD OLMECA

Raíz de sabiduría

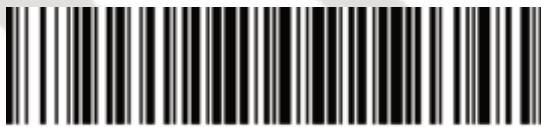


<https://geocienciasuo.olmeca.edu.mx>

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

Versión impresa

Versión electrónica



ISSN-2683-3174



ISSN-2954-3533