

Actualización del estudio integral del pozo CHD 1X, provincia Artemisa, Cuba Occidental

Olga Castro Castiñeira¹, Mariela Torres Díaz², Anabel Garciga Acosta³, Reinaldo Rojas Consuegra⁴.

¹ *Ingeniera Geofísica. Doctora en Ciencias Geológicas. Investigadora auxiliar del Centro de Investigación del Petróleo, Churruca No 481, Cerro, La Habana, Cuba C.P. 12000. Profesora titular de la Universidad Tecnológica de La Habana. Correo electrónico: olgac@ceinpet.cupet.cu.*

² *Técnica Geofísica. Centro de Investigación del Petróleo, Churruca No 481, Cerro, La Habana, Cuba C.P. 12000. Correo electrónico: mariela@ceinpet.cupet.cu.*

³ *Ingeniera Geofísica. Centro de Investigaciones del Petróleo, Churruca No 481, Cerro, La Habana, Cuba C.P. 12000. Correo electrónico: bell25@ceinpet.cupet.cu.*

⁴ *Ingeniero Geólogo. Doctor en Ciencias Geológicas. Investigador titular del Centro de Investigación del Petróleo, Churruca No 481, Cerro, La Habana, Cuba C.P. 12000. Correo electrónico: rojas@ceinpet.cupet.cu.*

RESUMEN

Este pozo está ubicado en el Bloque exploratorio terrestre 6, geológicamente en la Unidad Tectono-Estratigráfica Sierra del Rosario y fue perforado por la compañía francesa Geopetrol. Sus objetivos iniciales fueron cortar la Formación Artemisa de esta unidad geológica y descubrir un nuevo manto tectónico con su presencia. Por su ubicación clave en el área y la cantidad de información que aporta, ha sido incluido en una serie de estudios desde la época de su perforación hasta la actualidad. Al analizar los documentos que plasman los resultados obtenidos en la época de la perforación del pozo, se encontraron contradicciones entre la interpretación litológica realizada a partir de las electrofacies y formaciones definidas en aquel momento, y los datos reales de litología y registros geofísicos de pozo, a la luz de los estudios geológicos más recientes. El objetivo principal fue establecer un mo-

delo acorde con la información geológica actual, para aportar nuevos datos al estudio de este bloque exploratorio. Se contó con registros geofísicos convencionales, imágenes eléctricas de pared de pozo, análisis petrofísicos de núcleos, análisis especiales de diferentes muestras, consistentes en mediciones del contenido de carbono orgánico total por muestras y registros, y mediciones de radiactividad natural en muestras, además de la litología de las distintas formaciones. Con la información lograda, se hicieron anotaciones estratigráficas para las unidades que conforman los mantos tectónicos cortados, en particular sobre los depósitos de la unidad olistostrómica Manacas, situada en la superficie entre los principales cabalgamientos ocurridos en la región. Como resultado final se integró y enriqueció la fundamentación para mejorar la interpretación estratigráfica realizada en el pasado, con una nueva propuesta para la división del corte.

Palabras clave: registros geofísicos, electrofacies, unidades geológicas, manto tectónico.

ABSTRACT

This well is located in Terrestrial Exploratory Block 6, geologically in the Sierra del Rosario Tectono-Stratigraphic Unit and was drilled by the French company Geopetrol. Its initial objectives were to cut the Artemis Formation of this geological unit and discover a new tectonic mantle with its presence. Due to its key location in the area and the amount of information it provides, it has been included in a series of studies from the time of its drilling to the present. When analyzing the documents that reflect the results obtained at the time of the drilling of the well, contradictions were found between the lithological interpretation made from the electrofacies and formations defined at that time, and the real data of lithology and geophysical records of the well, in light of the most recent geological studies. The main objective was to establish a model in accordance with the current geological information, to contribute new data to the study of this exploratory block. There were conventional geophysical records, electrical images of the well wall, petrophysical analysis of cores, special analyzes of different samples, consisting of measurements of the total organic carbon content by samples and records, and measurements of natural radioactivity in samples, in addition to the lithology of the different formations. With the information obtained, stratigraphic annotations were made for the units that make up the cut tectonic mantles, in particular on the deposits of the Manacas olistostromic unit, located on the surface between the main thrusts that occurred in the region. As a final result, the foundation was integrated and enriched to improve the stratigraphic interpretation made in the past, with a new proposal for the division of the cut.

Key words: geophysical records, electrofacies, geological units, tectonic mantle

RESUMO

Este poço está localizado no Bloco Exploratório Ter-

restre 6, geologicamente na Unidade Tectono-Estratigráfica Sierra del Rosario e foi perfurado pela empresa francesa Geopetrol. Seus objetivos iniciais eram cortar a Formação Artemis desta unidade geológica e descobrir um novo manto tectônico com a sua presença. Devido à sua localização privilegiada na área e à quantidade de informações que fornece, foi incluída em uma série de estudos desde a época de sua perfuração até o presente. Ao analisar os documentos que refletem os resultados obtidos no momento da perfuração do poço, foram encontradas contradições entre a interpretação litológica feita a partir das eletrofácies e formações definidas naquele momento, e os dados reais de litologia e registros geofísicos do poço, à luz dos estudos geológicos mais recentes. O objetivo principal foi estabelecer um modelo de acordo com as informações geológicas atuais, para contribuir com novos dados para o estudo deste bloco exploratório. Existiam registros geofísicos convencionais, imagens elétricas da parede do poço, análises petrofísicas de testemunhos, análises especiais de diferentes amostras, consistindo em medições do teor de carbono orgânico total por amostras e registros, e medições de radioatividade natural nas amostras, além da litologia das diferentes formações. Com as informações obtidas, foram feitas anotações estratigráficas para as unidades que compõem os mantos tectônicos cortados, em particular sobre os depósitos da unidade olistostromica de Manacas, localizada na superfície entre os principais impulsos ocorridos na região. Como resultado final, a fundação foi integrada e enriquecida para melhorar a interpretação estratigráfica feita no passado, com uma nova proposta de divisão do corte.

Palavras-chave: perfis de poço, eletrofácies, unidades geológicas, manto tectônico

INTRODUCCIÓN

En las investigaciones geólogo geofísicas, es usual cada cierto tiempo y en función de los objetivos propuestos, actualizar la interpretación y los modelos de partida. Esto es consecuencia de la incorporación de nuevos elementos y evidencias que van apareciendo,

pero también como resultado de los avances tecnológicos que influyen en la evaluación de los materiales disponibles.

Este pozo está ubicado en el bloque exploratorio terrestre 6, geológicamente en la Unidad Tectono-Estratigráfica Sierra del Rosario (**Figura 1**) y fue perforado en el año 1996 por la compañía francesa Geopetrol. Sus objetivos iniciales fueron cortar la Formación Artemisa de esta unidad y descubrir un nuevo

manto tectónico con su presencia. Por su ubicación clave en el área y la cantidad de información que aporta, ha sido incluido en una serie de estudios desde la época de su perforación hasta la actualidad. Al analizar los documentos que plasman los resultados obtenidos en la época de la perforación del pozo, surgen una serie de contradicciones entre la interpretación litológica y las características de los registros, con los conocimientos actuales de la geología de la región.

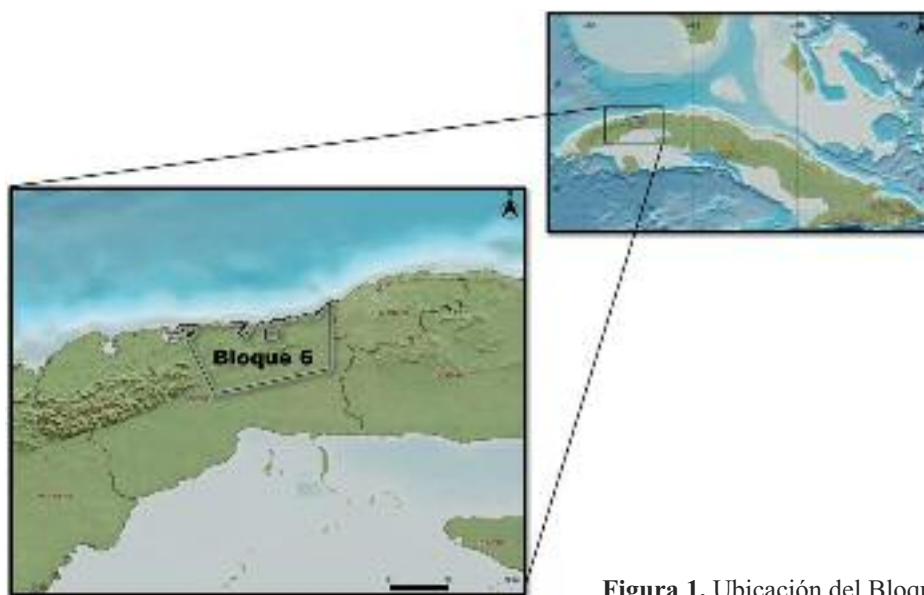


Figura 1. Ubicación del Bloque 6 de exploración.

Como parte del trabajo que se realiza en los bloques, resulta necesario establecer un modelo estratigráfico acorde con los conocimientos actuales de la geología, por lo que se requiere una buena identificación de las formaciones con los registros geofísicos disponibles y su caracterización con los elementos que puedan sumarse al estudio. El objetivo propuesto es aportar nuevos datos al estudio estratigráfico de este bloque exploratorio. Para su cumplimiento es necesario realizar la interpretación cualitativa y cuantitativa de registros convencionales y de imágenes de pared de pozo, análisis petrofísicos de núcleos y análisis especiales de diferentes muestras, consistentes en mediciones del contenido de carbono orgánico total y de radiactividad natural. El resultado obtenido se compara con las características geólogo-petrográficas de las unidades que aparecen en el corte para su ratificación o

para introducir las variaciones en la interpretación que mejor conformen el modelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Es importante definir las unidades geológicas que aparecen en el pozo:

Se ha interpretado que el corte atravesado por el pozo CHD 1X comprende de cuatro a cinco mantos tectónicos, propios de la estructura geológica de la Sierra del Rosario, en Cuba occidental. En este complejo fallado y plegado, consolidado en el Paleógeno Temprano a Medio, toman parte varias unidades geológicas, con edades del Jurásico Superior Oxfordiano- Cretácico Inferior Valanginiano al Eoceno Inferior – Medio, cubiertos en el área de estudio por sedimentos postorogénicos del Oligoceno al Mioceno.

Aquí se tratan las formaciones preorogénicas:

Artemisa (Lewis, 1932), de edad Jurásico Superior (Oxfordiano Medio parte media) - Cretácico Inferior (Valanginiano); Sumidero, que según el Léxico Estratigráfico de Cuba (LEC) (IGP, 2013), es el miembro superior de la Fm. Artemisa; Polier (Pszczólkowski, 1975) del Cretácico Inferior (Valanginiano-Albiano); Santa Teresa (Wassall, 1952.), del Cretácico Inferior (Aptiano)-Cretácico Superior (Cenomaniano); además, se deduce la presencia de la Fm. Cacarajicara (Hatten, 1957) originada en el límite Cretácico-Paleógeno (K-Pg), hoy considerada del Paleoceno (Daniano basal), según redescrición en Kiyokawa *et al.* (2002).

Aparece la unidad sinorogénica Manacas (Hatten, 1957) del Eoceno Inferior-Medio parte baja.

Por último, las unidades postorogénicas Guanajay (Truitt, 1956) del Oligoceno Superior y Jaruco del Mioceno (Palmer, 1950).

Algunas de las unidades listadas aparecen solo en la sección del manto tectónico superior (formaciones Polier, Santa Teresa), mientras otras se repiten varias veces como parte de todos los mantos (Artemisa, Sumidero), así como la unidad intramantos olistostrómicamente Manacas.

Para el trabajo con el pozo, se utilizaron los registros disponibles, realizados por la operadora Schlumberger, integrados por los registros mecánico o cáliper (CALI, CALS) eléctricos (SP, LLD, LLS, MSFL), sónico (DT), de radiactividad natural integral, y rayos gamma estándar, computados, torio, potasio y uranio, que componen el registro de rayos gamma espectral (GR, SGR, CGR, THOR, POTA, URAN), litodensidad o densidad y efecto fotoeléctrico (RHOB, PEF), porosidad neutrónica (NPHI), y de imágenes eléctricas de pared de pozo (FMI). Estos registros no aparecen en la totalidad del pozo, hasta 1 876 m el complejo de registros es más limitado, así como a partir de 2 872 m. Una parte de los registros no estaban digitales, por lo que se procedió a su vectorización para unificar la información.

Para el procesamiento cualitativo y cuantitativo de los registros se utilizó el *software* Interactive Petrophysics.

También se utilizaron los análisis especiales realizados en el pozo, consistentes en análisis petrofís-

icos de laboratorio, análisis del contenido de carbono orgánico total en laboratorio y por registros y mediciones espectrométricas de gamma en una cámara de bajo fondo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Argumentación de las electrofacies en que se dividió el corte del pozo y su relación con la división estratigráfica establecida

En la **Tabla 1** se muestra la división estratigráfica establecida para el pozo CHD 1X por distintos criterios, que son:

- Informe de la compañía francesa Geopetrol, Chacon Well CHD-1X, Geological Report, Geopetrol International, (1997).
- Linares *et al.*, (2011).

En contraste, se muestran las electrofacies (EF) por registros geofísicos de pozo que se pudieron delimitar al tener en cuenta los elementos para su definición (Castro, 2017).

En la **Figura 2** se pueden visualizar las distintas divisiones y la relación que guardan entre sí. Al analizar la tabla y observar el registro compuesto, se aprecia que hay buena correspondencia entre el primer y el segundo criterio, aunque pueden realizarse diferentes interpretaciones en cuanto a las formaciones que establecen.

En cuanto a las electrofacies, que responden a comportamientos de registros dados por la litología y las propiedades físicas de las rocas, pueden coincidir con las formaciones cualesquiera que sean, tanto de forma unívoca como por grupos, aunque hay excepciones como se comprobará en su descripción.

De los registros utilizados en todo el pozo, son comunes en todas las profundidades el SGR (rayos gamma naturales), el LLD y LLS (resistividades profunda y somera) y el DT (sónico), por lo que se construyeron gráficos de propiedades cruzadas al utilizar estos métodos. Uno de estos gráficos aparece en la **Figura 2**, donde se aprecia la agrupación de puntos alrededor de litologías definidas por sus valores

Informe de Geopetrol (1997)			Linares, et al. (2011)			Electrofacies Petrofísicas			
Formación	Tope (m)	Base (m)	Formación	Tope (m)	Base (m)	EF	Tope (m)	Base (m)	
Paso Real	0.0	410.0	Jaruco	0.0	410.0	-	-	-	
Guanajay	410.0	552.0	Guanajay	410.0	550.0	1	404.6	451.4	
Manacas 1	552.0	710.0	Manacas 1	550.0	710.0	2	451.4	554.5	
						3	554.5	616.6	
						4	616.6		
Polier	710.0	945.0	Polier	710.0	945.0			851.7	
						5	851.7		
Sumidero 1	945.0	1226.0	Sumidero 1	945.0	1225.0			1225.1	
Artemisa 1	1226.0	1580.0	Artemisa 1	1225.0	1580.0	6	1225.1	1581.1	
Manacas 2	1580.0	1780.0	Sec. Olist.	1580.0	1780.0	7	1581.1	1675.9	
						8	1675.9	1760.6	
						9	1760.6	1779.4	
Sabanilla	1780.0	1876.0	Santa Teresa	1780.0	1875.0	10	1779.4	1874.6	
Sumidero 2	1876.0	2085.0	Sumidero 2	1875.0	2085.0	11	1874.6	2084.5	
Artemisa 2	2085.0	2425.0	Artemisa 2A	2085.0	2127.0	12	2084.5		
			Artemisa 2B		2127.0				2240.9
Manacas 3	2425.0	2503.0	Manacas 3	2425.0	2505.0			2425.3	
						13	2240.9	2425.3	
Artemisa 3	2503.0	2710.0	Carbonatos J	2504.0	2710.0	14	2425.3	2443.7	
						15	2443.7	2504.2	
Manacas 4	2710.0	2926.0	Manacas 4			16	2504.2		
									2783.9
						17	2783.9	2820.1	
Manacas 4	2710.0	2926.0	Manacas 4			18	2820.1	2865.4	
						19	2865.4	2921.6	
Manacas 5?	2926.0	3330.0			3330.0	20	3330.4		

Tabla 1. División del pozo CHD 1X por distintos criterios.

(encerrados en elipses de colores) y que se distribuyen en la pista 5 del registro de la **Figura 3** con marcadores de colores asociados:

- Carbonatos (Azul): con resistividad media a muy alta, gamma total desde bajo hasta alto y sónico bajo (porosidad baja), lo que los caracteriza como compactos;
- Arcillas del Tipo 1, con algún contenido de arena (Azul claro): con resistividad baja, gamma total medio a bajo y sónico alto a muy alto (porosidad alta a muy alta);
- Arcillas del Tipo 2, (Verde): con resistividad media a baja, gamma total alto a muy alto y sónico medio (porosidad media);
- Serpentinitas (Magenta): con resistividad y gamma muy bajos, sónico alto a muy alto (porosidad alta a muy alta).

Otra forma de verificar esta separación, pero de modo directo con los registros, es superponer las curvas de LLD y SGR en la misma pista (10 en el registro de la **Figura 3**), pero con las escalas contrarias para acentuar la relación entre las dos propiedades, al partir de que

las curvas tendrán la misma forma y allí donde difieren, encontrar una explicación adecuada al resto de la información. A continuación, se relaciona el color del sombreado entre las curvas con la identificación que puede hacerse de la litología.



- Cuando el SGR y el LLD se superponen, indica la presencia de rocas con bajo o ningún contenido de uranio.
- Cuando el SGR está a la izquierda y el LLD a la derecha, la separación indica presencia de uranio, como se comprueba en la pista 8 en el intervalo donde hay registro de CGR (rayos gamma computados: torio+potasio). Estos se separan del SGR por la presencia de uranio, definido por la existencia de materia orgánica y/o fracturas en carbonatos; también se verifica la presencia de este elemento en la pista 14, donde aparecen el torio y el potasio con escalas encontradas y el uranio que aumenta de derecha a izquierda.
- De igual forma, se aprecia el comportamiento anterior en las arcillas de Tipo 2, pero en estas rocas la resistividad es menor que en los carbonatos, por lo que el valor alto del SGR es debido a la presencia de torio y potasio.
- Si el SGR está a la derecha y el LLD a la izquierda, la litología corresponde a arcillas de Tipo 1.
- Cuando el SGR está en la extrema derecha dados sus valores mínimos y el LLD en la extrema izquierda, por sus valores mínimos también, están presentes las serpentinitas.

Hay que tener en cuenta los matices que presentan las rocas, donde habría distinto contenido de arcilla distribuido en los carbonatos.

Como apoyo litológico para la división de las electrofacies, se utilizó en lo fundamental la constitución de las formaciones según Linares *et al.* (2011), donde a partir de la Formación Guanajay, hace una división en mantos 1, 2 y 3 (**Tabla 1**).

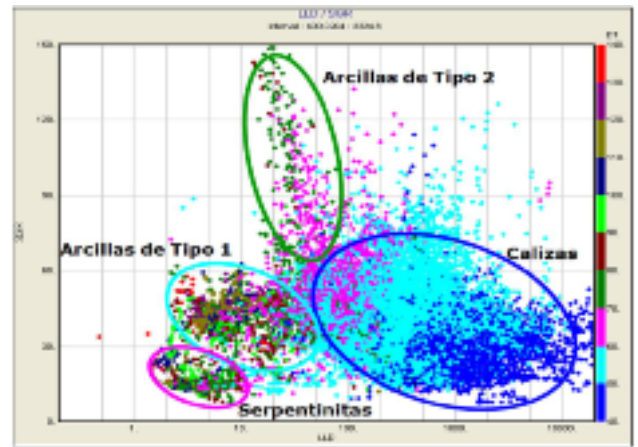


Figura 2. Gráfico de propiedades cruzadas SGR-LLD-DT, donde se aprecian agrupaciones de puntos que responden a distintas litologías.

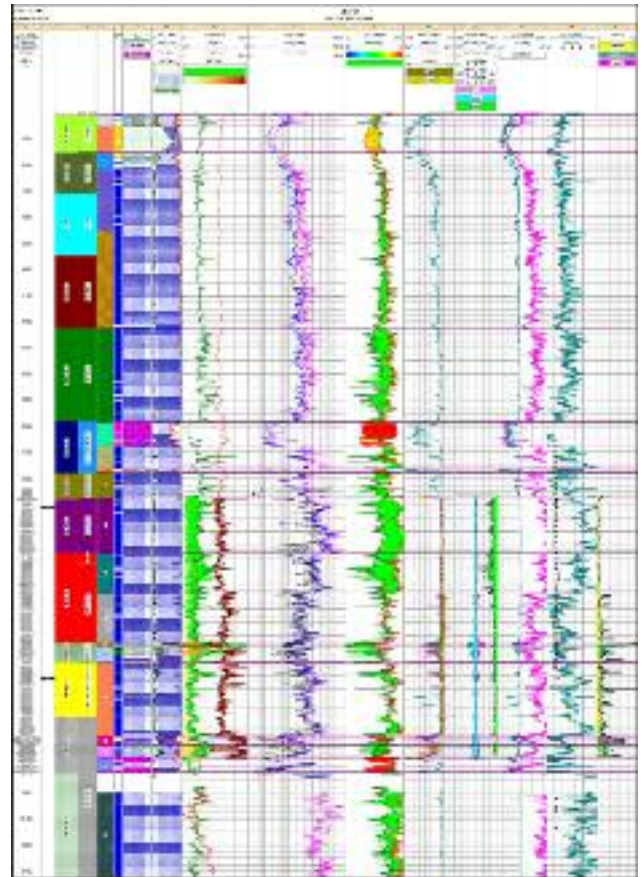


Figura 3. Registro compuesto del pozo CHD 1X.

Descripción de las electrofacies

A continuación, se establece la comparación litológica

definida en las electrofacies con las formaciones geológicas a que se hace referencia, según los mantos tectónicos donde han sido reconocidas.

Fm. Jaruco de 0 a 410 m. Sin datos adicionales, los registros no están bien definidos. Espesor de 410 m.

Fm. Guanajay de 410 a 550 m. Para la unidad se distinguen en general, secuencias con predominio de carbonatos en la base, aumento de las arcillas en la parte media del corte (EF 2, con arcillas de Tipo 1), hasta carbonatos dominantes otra vez a tope (EF 1). Esta sucesión conformaría un ciclo transgresivo-regresivo-transgresivo en el relleno de la cuenca (Zachos, 2001; Uriarte, 2010). Se revela una clara discordancia sobre la unidad subyacente. Espesor de 140 m.

Primer manto

Fm. Manacas (1) de 550 a 710 m: Mezcla litológica con predominio de olistolitos de caliza fragmentaria, arenisca cuarcífera, pedernal negro y serpentinita. Incluye la EF 3, que responde a una composición arcilloso-carbonatada y parte de la EF 4, que es muy carbonatada.

Fm. Polier de 710 a 945 m: Abarca parte de la EF 4, muy carbonatada y EF 5 con características similares. Aunque la electrofacies comienza a menor profundidad, el espesor, que se mantiene similar, es de unos 135 m.

Fm. Sumidero (1) de 945 a 1 225 m: Corresponde al resto de la EF 5 referida anteriormente. Se observa un paquete arcilloso en la base, que marca un cambio (¿posible discordancia?) con la subyacente Fm. Artemisa, que según el LEC (IGP, 2013) debería ser concordante. El espesor resulta algo mayor que el estimado previamente, de hasta 373 m.

Fm. Artemisa (1) de 1 225 a 1 580 m: Con predominio de caliza arcillosa, dolomita y raras intercalaciones de arenisca y argilita. En el intervalo se encuentra la EF 6, completamente carbonatada, compacta y con gran aumento del contenido de uranio. Se corresponde con la base del manto 1, ya que se denota cierta separación de un segmento inferior que refleja la parte basal y baja de la unidad (EF 6), yacente

sobre el olistostroma serpentinitico o tal vez producto de su propia mayor deformación tectónica. Tiene un espesor que alcanza los 356 m.

Segundo manto

Fm. Manacas (2), Secuencia Olistostrómica de 1 580 a 1 780 m: Posee mayor aporte de olistolitos de serpentinita, roca silíceo arcillosa, limolita y arenisca aglutinadas como fragmentos en una matriz arcillosa.

El paquete superior (EF 7) con predominio de material serpentinitico estaría relacionado con el despegue y desgarre de la litósfera a través de los planos profundos de las fallas lístricas, corticales, que delimitan la base del manto superior (Manto 1), de unos 1 030 m. Cubre al paquete medio de carbonatos (EF 8), tal vez caótico con grandes olistolitos, que a su vez, sobreyace al paquete arcilloso basal (EF 9, con arcillas de Tipo 1), posiblemente sedimentos de la cuenca, la que iba al ser rellenada por el material olitostromático sinorogénico (primero carbonatado y luego serpentinitico). Espesor de unos 138 m.

El paquete inferior, de 1 780 a 1 875 m, representado por calizas silicificadas y pedernal carbonatizado y fracturado, corresponde a la electrofacies 10, muy carbonatada, con muy poca arcilla, que inicialmente se asignó a la Fm Sabanilla (sinonimia en el LEC de unidades del norte villaclareño). Luego se definió como Fm Santa Teresa (Informe final del pozo CHD 1X, 1996, y Linares *et al.*, 2011), donde las curvas muy heterogéneas e irregulares de las electrofacies propias de esta unidad, pueden también mostrar su complejidad tectónica, la cual aparece muy plegada y agrietada, dada la competencia geomecánica de sus litologías, y consecuencia de los eventos sísmicos y tectónicos sufridos durante el K-Pg, y la propia orogenia redinamizada. Después del actual reestudio del intervalo, se observa una variedad de fragmentos bien redondeados a subredondeados y angulares que, a pesar de que no se observa matriz visible, por la composición tan diversa de los fragmentos, dan a entender que presentan una textura clástica, y se incluye, por tanto, en los depósitos de la Fm. Manacas. Espesor de 95 m.

Fm. Sumidero (2) de 1 875 a 2 085 m: Se trata de una secuencia carbonatada compacta de modo predominante, que representa hemipelagitas, con algunas intercalaciones de turbiditas distales contentivas de materia orgánica (M.O.) y que, además sufrió dolomitización secundaria (núcleo 1). La electrofacies 11 en este intervalo confirma la presencia de caliza muy compacta, dados los valores de PEF (pista 8) cercanos a 5, y los bajos valores de la relación torio/uranio (TURA) que aparece en la pista 14, demuestran que la roca se formó en condiciones reductoras, por lo que en general es un depósito de medios profundos del paleoambiente oceánico, situado por encima del nivel de compensación de los carbonatos. Espesor de hasta 210 m.

Fm. Artemisa (2). Se distinguen dos secuencias principales en la sección, una lutítica-carbonatada y dolomías (2 085 a 2 127 m); y otra, con predominio carbonatado e intercalaciones lutítico-limosas (2 127 a 2 425 m). Las dos electrofacies (12 y 13) que ocupan el intervalo, no corresponden a la diferenciación anterior. La unidad constituye la base del manto 2. Su espesor alcanza los 341 m.

Tercer manto

Fm. Manacas (3). Las electrofacies 14 y 15 que se presentan como muy arcillosas y sobre todo la 14, se depositaron en ambiente transicional entre oxidante y reductor. La secuencia superior (EF 14, con arcillas del Tipo 2), caolinitica-clorítica, puede representar la decantación de material fino en la cuenca, incluso producto del lavado de terrenos emergidos. La secuencia inferior heterogénea, posiblemente mezclada, de areniscas, lutitas y carbonatos (EF 15), muestra al parecer un carácter cíclico. Espesor de 80 m.

Carbonatos del Jurásico de 2 504 a 2 710 m. (Fm. Artemisa 3?). La electrofacies 16 cubre este intervalo y parte de la siguiente formación, por su comportamiento homogéneo. Constituidos por un corte de carbonatado forma predominante, con algunas intercalaciones de lutita. Las calizas son microfracturadas. La secuencia es parecida a la descrita para la Fm. Sumidero 2, pero donde aparece un ligero incremento en la presencia de turbiditas distales sobre las hemipela-

gitas (núcleo 2). Con un contenido mayor de M.O., al parecer también, acumuladas en un medio más anóxico del paleoambiente batial, donde la relación Torio/Uranio confirman el ambiente reductor con algunas intercalaciones notables de arcillas del Tipo 2 de ambiente transicional. Se aprecia algún contenido de dolomita, de acuerdo con los valores de densidad mayor que 2.71 g/cm³ en algunos intervalos y la descripción del núcleo 2 de 2 557 a 2 568 m. Su espesor de 280 m, resulta mayor al reconocido previamente.

Cuarto manto

Fm. Manacas (4) de 2 710 a 3 330 m: Representada por una secuencia caótica (arcilla, caliza, lutita y serpentinita). En esta formación se encuentra parte de la electrofacies 16 como se mencionó y se aprecia a continuación, bien diferenciada, la electrofacies 17, como el avance de los materiales carbonatados mezclados, desprendidos del manto superior en desplazamiento, de ambiente transicional a oxidante, donde se observa un gran aumento del cáliber.

La componente arenosa se manifiesta por la separación entre los registros neutrónico y de densidad. El paquete intermedio (EF 18), arcilloso-carbonatado, representaría la mezcla del manto superior y sedimentos tal vez turbidíticos distales de la cuenca (paleogénicos?), de ambiente transicional intercalado, como las calizas, con ambiente reductor y donde el cáliber, aunque aumentado, es algo menor.

En el paquete inferior predominan las serpentinitas (EF 19), que representarían la superficie de despegue y desplazamiento del manto que sobreyace al intervalo principal (dado como Fm. Manacas), con aumento de nuevo del diámetro de pozo hacia el final del intervalo. Espesor total de 130 m.

La parte final (2 921.6 - 3 000.4 m) del pozo no posee prácticamente registros; de 3 000.4 m hasta 3 322.1 m, la electrofacies 20 posee un *set* mínimo de registros, similar al conjunto corrido en la parte superior del pozo. El aumento de la resistividad parece comenzar desde 2 921.6 m según el pequeño intervalo registrado a esa profundidad, la presencia de uranio por el contraste de las curvas LLD-CGR y prácticamente

sin porosidad, descubren un carbonato muy compacto.

Valores característicos de registros y propiedades petrofísicas

En la **Tabla 2** se presentan valores promedios de algunos registros que caracterizan a las rocas del

corte estudiado, el contenido de arcilla y los valores de las porosidades total y efectiva obtenidos por interpretación. Se incluyen estos valores en los intervalos donde se cortaron los núcleos 1 y 2.

EF	Tope (m)	Base (m)	LLD (ohm-m)	SGR (GAPI)	DT (us/ft)	Varc (%)	PHIT (%)	PHIE (%)
1	410.2	451.4	30.7	46.9	89.9	19.90	15.20	14.40
2	451.4	554.3	5.8	42.3	113.5	56.10	9.00	6.70
3	554.3	616.6	25.4	45.3	88.3	19.30	14.05	13.70
4	616.6	851.7	108.2	38.7	63.3	7.80	4.90	4.50
5	851.7	1225.1	200.3	41.5	59.3	5.40	3.60	3.40
6	1225.1	1581.1	282.1	49.3	55.6	4.60	1.90	1.70
7	1581.1	1675.9	7.6	23.0	90.8	5.50	25.70	25.50
8	1675.9	1760.7	801.2	43.8	52.9	3.30	1.10	10.0
9	1760.7	1779.4	27.7	33.0	86.0	19.20	14.0	13.03
10	1779.4	1874.6	418.8	52.6	59.5	5.90	3.60	3.40
11	1874.6	2084.5	2443.4	41.3	50.8	4.50	0.40	0.20
N-1	1904.6	1913.6	3126.5	41.7	50.6	3.20	0.30	0.18
12	2084.5	2240.9	824.5	50.3	51.6	6.20	0.60	0.30
13	2240.9	2425.3	182.1	34.4	52.6	9.10	0.60	0.20
14	2425.3	2443.7	43.9	106.6	69.2	67.80	2.80	0.00
15	2443.7	2504.2	120.6	58.3	60.5	27.00	3.50	2.40
16	2504.2	2783.9	519.9	29.7	54.0	9.50	0.60	0.20
N-2	2558.0	2567.3	588.0	39.0	53.7	13.82	0.68	0.12
17	2783.9	2820.1	133.8	44.8	67.7	23.70	18.20	17.30
18	2820.1	2865.4	143.8	55.6	62.7	26.70	9.70	8.60
19	2865.4	2922.1	108.9	18.2	70.1	2.80	13.30	13.10
20	3000.4	3322.1	2024.8	33.5	50.4	1.20	0.50	0.40

Tabla 2. Valores promedio de registros y propiedades en el pozo CHD-1X.

Se aprecia como en las electrofacies carbonatadas (sombreadas en la **Tabla III**, incluyendo los núcleos), los valores de porosidad total (PHIT) son muy bajos y además resultan más reducidos al aplicar correcciones por contenido de arcilla (Varc) y obtener la porosidad efectiva (PHIE). Por tanto, no es necesario calcular saturación de petróleo, ya que la roca prácticamente no es reservorio.

Estudios especiales realizados en el pozo

En este epígrafe se recopilan una serie de trabajos desarrollados en el pozo a través del tiempo, donde se profundiza en sus características petrofísicas y litológicas.

Análisis petrofísicos de los núcleos 1 y 2

A continuación, se presenta una síntesis del resultado de los análisis realizados en los núcleos cortados en el pozo, que aparecen en informes independientes (Ramírez, *et al.* 1996).

Descripción litológica del Núcleo 1. Profundidad: 1,904.6 -1,913.6 m. (Fm. Sumidero)

MACRO: Núcleo en buen estado, dividido en 37 pedazos bien unidos entre sí, constituido en lo fundamental por *mudstone*, *wackestone* de color gris claro, que transiciona en capas laminares hasta gris más oscuro (la transición por cambio de color es debido al enriquecimiento de M.O.), pero en algunos intervalos hay un contacto brusco entre la caliza y la roca negra carbonatada rica en M.O. Estas capas negras constituyen 10-15 % del total del núcleo y son dolomitas que tienen espesores de 3 cm y están desplazadas +10°, a menudo dislocadas de forma tectónica y englobadas en las calizas.

Se observan estilolitos a todo lo largo del núcleo, en general paralelos a la estratificación, con espesor a menudo de 1mm y menos, rellenos por M.O. Posee fracturas y microfracturas dispersas, a veces al formar redes, cortan a los estilolitos; las fracturas están rellenas o semirrellenas por calcita. En escasos intervalos aparecen fracturas subverticales, donde algunas alcanzan hasta 15 cm de longitud, rellenas en parte por

venas, nidos y drusas de calcita, con porosidad que llega a ser de 1 %. En estas fracturas se observa petróleo vivo; también existen cavernas <0.1 % alargadas hasta 1.5 cm con petróleo vivo. En las dolomitas aparecen superficies de fricción muy pulidas, por donde el núcleo parte con facilidad y desprende fuerte olor a petróleo.

Descripción litológica del Núcleo 2. Profundidad: 2,558.0 - 2,567.25 m. (Fm. Artemisa)

MACRO: Núcleo en buen estado, representativo, dividido en 38 pedazos, constituido por intercalaciones de *mudstone* gris claro y gris oscuro por enriquecimiento de M.O. Los *mudstone* gris claro predominan en todo el corte en un 90 % y los de color gris oscuro en 10 %.

A lo largo de todo el núcleo se observan poros y cavernas, desde uno a varias decenas de centímetros de tamaño, las cavernas (o vóculos?) en ocasiones tapizadas con cristales de calcita drúsica. Muchos de los pedazos presentan impregnación de petróleo. Se describen fracturas paralelas a la estratificación rellenas de calcita y petróleo vivo. El núcleo en su totalidad está fracturado y brechado de forma local y rompe por las fracturas. Hay presencia de microplegamientos en el pedazo 23. El buzamiento de las capas es subhorizontal (hasta 20°) del pedazo 1 al 14; a partir del pedazo 15 hasta el 23, alcanza 50-70°; en los pedazos 24 y 25 es subvertical de 79-80°; y del 26 hasta el final del pozo, es de 40-50°. En numerosas fracturas aparecen espejos de fricción.

Se posee una representación en imágenes eléctricas de pared de pozo FMS (*Fullbore Micro Scanner*) del núcleo, donde pueden apreciarse las características descritas de forma macroscópica (**Figuras 4 y 5**), como son la estructura estratificada y la presencia de fracturas en el núcleo 1 y los microplegamientos en el núcleo 2.

A partir de las mediciones de la porosidad, la densidad volumétrica y mineralógica y la permeabilidad en un grupo de 10 muestras seleccionadas para análisis de laboratorio en el núcleo 1, se obtuvo la siguiente información:

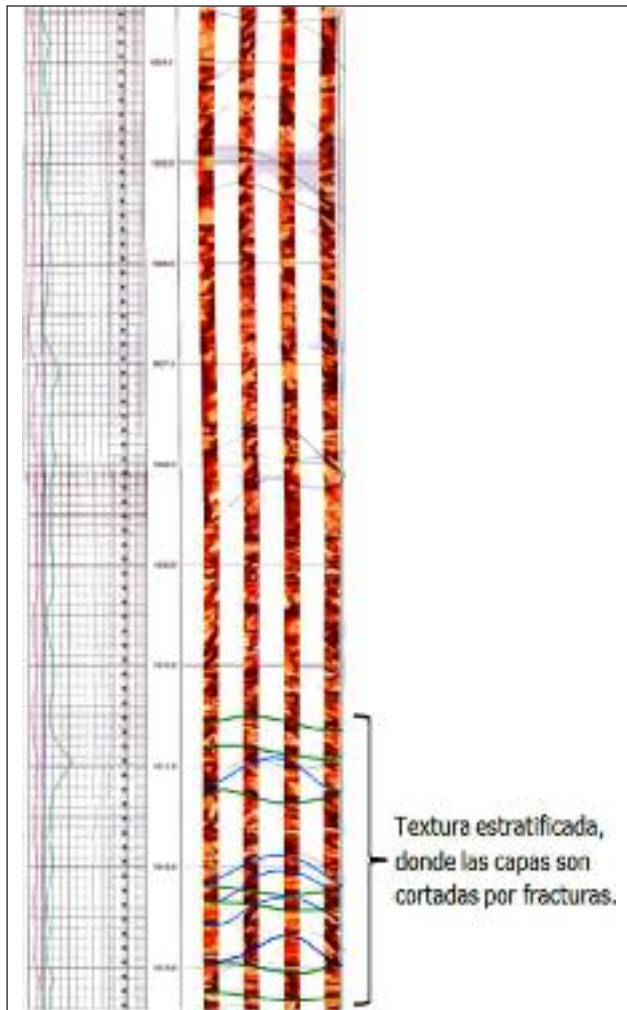


Figura 4. Imagen FMS del núcleo 1.

La porosidad varía en un rango de 0.9 a 0.78 %, coherente con valores de densidad volumétrica mayores de 2.64 g/cm^3 y densidad mineralógica mayor de 2.65. La permeabilidad en los tres ejes de las muestras cúbicas (x, y, z), posee valores menores de 0.01 MD en la mayoría de las mediciones (18); en el resto (12) posee un rango de variación entre 0.16 y 15.31 mD, encontrándose la fracturación en cualquiera de los ejes. Estos valores de porosidad y permeabilidad corresponden con las características de los registros frente al núcleo. Debido a los valores muy bajos de porosidad, tanto en el núcleo 1 como en el 2, la cual es posible que solo corresponda a fracturas, no se analizó la saturación de fluidos en las muestras.

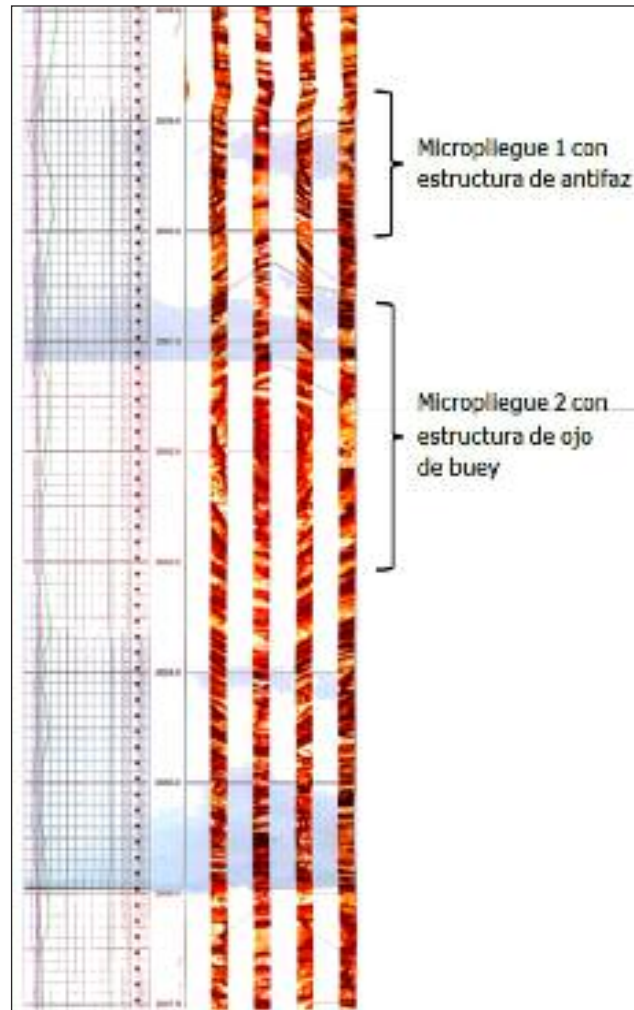


Figura 5. Imagen FMS del núcleo 2, donde se aprecian dos estructuras de micropliegues en un intervalo de 4 m.

En el núcleo 2 en un grupo de 11 muestras se obtuvo:

A partir de las mediciones de la porosidad, la densidad volumétrica y mineralógica y la permeabilidad en un grupo de 10 muestras seleccionadas para análisis de laboratorio en el núcleo 1, se obtuvo la siguiente información:

La porosidad varía en un rango de 0.9 a 0.78 %, coherente con valores de densidad volumétrica mayores de 2.64 g/cm^3 y densidad mineralógica mayor de 2.65. La permeabilidad en los tres ejes de las muestras cúbicas (x, y, z), posee valores menores de 0.01 MD en la mayoría de las mediciones (18); en el resto (12) posee un rango de variación entre 0.16 y 15.31 mD, encon-

trándose la fracturación en cualquiera de los ejes. Estos valores de porosidad y permeabilidad corresponden con las características de los registros frente al núcleo. Debido a los valores muy bajos de porosidad, tanto en el núcleo 1 como en el 2, la cual es posible que solo corresponda a fracturas, no se analizó la saturación de fluidos en las muestras.

En el núcleo 2 en un grupo de 11 muestras se obtuvo:

Porosidad entre 0.66 y 3.19 que corresponde a valores de densidad volumétrica mayores de 2.65g/cm³ y en ocasiones mayores de 2.7; en un caso mayor de 2.8. La densidad mineralógica alrededor de 2.71g/cm³, indica la presencia de caliza y en una de las muestras, mayor de 2.8 g/cm³, de dolomita. En cuanto a la permeabilidad, solo en 8 mediciones los valores resultaron menores de 0.01 MD; en la mayoría de las mediciones (20), el rango de variación está entre 0.11 y 4.23; 2 muestras resultaron rotas por la fracturación. En el caso de este núcleo, el valor de la porosidad promedio es de 1.36 %, frente a la de registros de 0.68 %, y aunque hay evidencias de fracturación, puede existir alguna porosidad de matriz.

Análisis de Carbono Orgánico Total por laboratorio y por registros

Se realizaron análisis del contenido de carbono orgánico total (COT), los cuales reflejan valores muy bajos de este elemento, como se comprueba en la pista 15 del registro compuesto. Los especialistas geoquímicos del CEINPET (Linares *et al.*, 2011), a partir de toda la información obtenida de los análisis, concluyen que los datos geoquímicos reafirmaron la poca probabilidad de biodegradación y condiciones de maduración por debajo de los 1 500 m, al considerar que a partir de esta profundidad las estructuras contendrán petróleos medianos y ligeros.

Se trató de establecer una correspondencia con el COT calculado por registros, mediante el método de Passey *et al.* (1990), que utiliza la ecuación:

$$\Delta \log R = \log_{10}(R/R_{\text{línea base}}) + 0.02x(Dt - Dt_{\text{línea base}}) \quad 1$$

y de la del carbono total (% de peso – wt %):

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

Donde:

<i>R</i> :	Resistividad profunda para cualquier punto
<i>R</i> _{línea base} :	Resistividad profunda de la línea base en una roca no madre
<i>Dt</i> :	Registro sísmico de la onda compresional en cualquier punto
<i>Dt</i> _{línea base} :	Registro sísmico en la línea base
ϕN :	Registro neutrónico en cualquier punto
ϕN _{línea base} :	Registro neutrónico la línea base
<i>RHOB</i> :	Registro de densidad en cualquier punto
<i>RHOB</i> _{línea base} :	Registro de densidad en la línea base
<i>LOM</i> :	Nivel de madurez orgánica (adimensional)
<i>COT</i> %:	Carbono orgánico total (%)

En la evaluación se utilizaron las curvas de resistividad profunda (LLD) y sísmico (DT). Los resultados también aparecen en la pista 16 del registro (**Figura 6**), que es un detalle del registro compuesto de la **Figura 3**, donde el contenido de COT en gran parte del intervalo muestreado, es de modo aparente muy alto, lo que contradice los análisis de laboratorio en las muestras. Se evidencia entonces, por la forma en que se separan las curvas de LLD y DT, de acuerdo con el patrón de la literatura, Passey *et al.* (1990), de que se trata de una roca muy compacta.

Mediciones de Espectrometría Gamma de bajo fondo

En un grupo de muestras de pozos se realizaron mediciones de espectrometría gamma de bajo fondo, con el objetivo de analizar la naturaleza de la presencia de uranio en los carbonatos y la posibilidad de obtener resultados de calidad en muestras de canal ante la ausencia de núcleos (Miquel y Ortiz, 2012). Del pozo CHD 1X se analizaron dos muestras de canal y dos muestras del núcleo 2. El estudio dio como resultado que en este pozo pudiera existir una asociación de fracturas con contenido de uranio. También se confirmó la validez de la utilización de muestras de canal para este tipo de análisis.

En la **Tabla 3** se presentan los resultados obtenidos de las mediciones de uranio, torio y potasio en unidades Bq/kg. Se aprecia la correspondencia de las

mediciones en la misma escala que los registros; en la pista 14 (**Figura 6**), detalle del registro compuesto de la **Figura 3**.

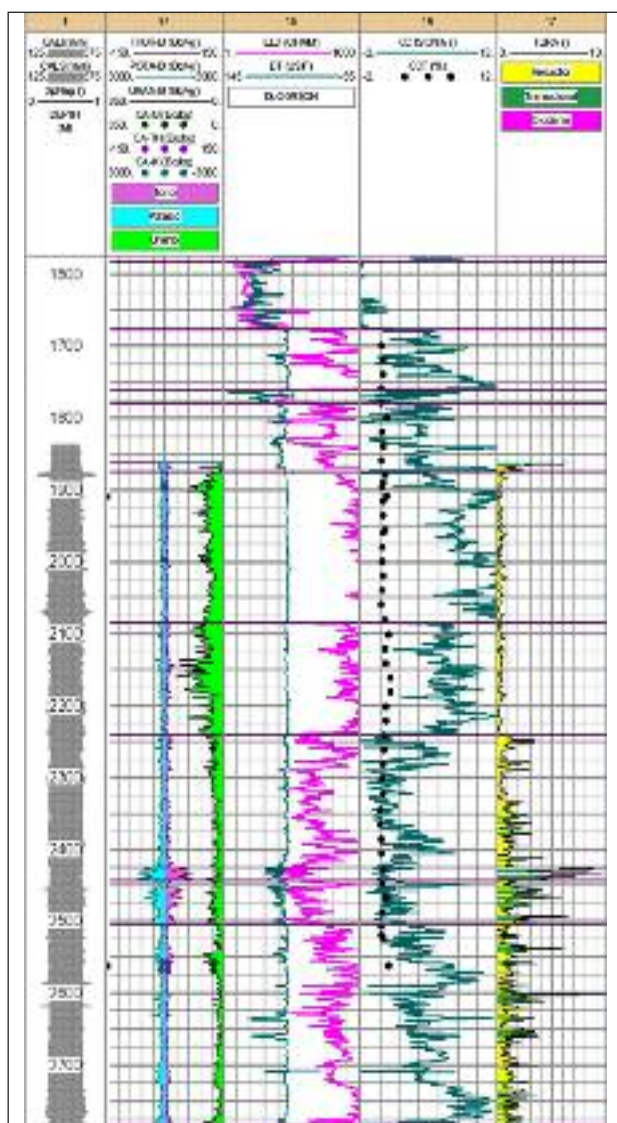


Figura 6. Detalle del registro compuesto para apreciar mejor el análisis de COT por muestras, núcleos y registros.

Medición Tipo de muestra	TORIO [Bq/kg]	POTASIO [Bq/kg]	URANIO [Bq/kg]
Canal	2.01	52.00	39.05
Canal	2.10	61.00	45.91
Núcleo 2	6.95	161.00	26.90
Núcleo 2	8.64	168.00	29.57

Tabla 3. Resultado de las mediciones de espectrometría gamma de bajo fondo.

Este tipo de determinaciones de laboratorio, abre la posibilidad de poder hacer mediciones espectrométricas de radiactividad, en pozos donde solo existen registros de intensidad total de gamma natural.

Consideraciones finales

Basado en los resultados de los análisis de las electrofacies y aquellos especiales, realizados al corte del pozo CHD 1X, se brindan ciertos arreglos estratigráficos más evidentes, para la estructura geológica de la región:

- En general, se deduce que los depósitos del límite K-Pg deben estar presente a techo de los grandes mantos regionales, aunque pueden estar mezclados en lo que se identifica como Fm. Manacas, lo cual resultaría coherente con la aceleración de la orogenia postimpacto. Los planos de los despegues tectónicos de los mantos, cortarían a los depósitos del K-Pg que serían el relleno superior de la cuenca postimpacto, los cuales tendrían que ser cubiertos por los olistotromas generados por los frentes de los grandes mantos en movimiento, con la generación de deslizamientos (*slumps*), olistolitos, debritas y turbiditas que irían recubriendo la sedimentación propia de la cuenca (hemipelagitas) o a los depósitos más someros de sus bordes, incluidos los tectónicamente activos.
- En la Fm Sumidero (1) el espesor resulta algo mayor que el estimado previamente, al corresponder en su totalidad a la EF 5.
- En el caso de Manacas (2) corresponde con la litología definida como secuencia olistostrófica, por lo que se extendió hasta la EF 10, definida primero como Sabanilla y después como Santa Teresa. En la Fm. Manacas (3), este depósito resulta de granulometría más fina, respecto a los anteriores adjudicados a la Fm. Manacas para este pozo.
- Los carbonatos de la Fm Artemisa (3) se identifican como «Carbonatos del Jurási-

cos», pero han sido asignados de modo anterior a esta unidad, lo cual parece correcto. Se extiende su intervalo a toda la EF 16.

- En la Fm. Manacas (4), los materiales carbonatados mezclados del paquete representado por la EF 17, están desprendidos de lo que se considera el manto superior (3) en desplazamiento (EF 16); anteriormente parte de la EF 16 se consideraba también dentro de Manacas.
- Resulta coherente asignar el intervalo final cortado, a la Fm. Artemisa (4?), a esta unidad o incluso, a la Fm. Sumidero o miembro de esta propia unidad. Hay menor información del registro geofísico para el análisis. Espesor de unos 247 m.

Los ajustes propuestos quedan plasmados en la **Tabla 4**, en los que se concilian las electrofacies con los topes formacionales.

CONCLUSIONES

Basado en los resultados de los análisis de las electrofacies y aquellos especiales, realizados al corte del pozo CHD 1X, se proponen ciertos arreglos estratigráficos más evidentes, para la estructura geológica de la región, en los límites de las formaciones Manacas, Polier y Sumidero del Primer Manto, Manacas y Artemisa del Segundo Manto, Artemisa del Tercer Manto y Manacas en el Cuarto Manto. Se identifica una secuencia carbonatada que puede relacionarse con la presencia de la Formación Artemisa en el Cuarto Manto.

Según los registros, los carbonatos presentes tienen una composición calcárea y algunas intercalaciones dolomíticas, son muy compactos, con una porosidad muy baja, que se considera en lo fundamental, de fractura, cuestión que es apoyada por los registros FMS y los análisis de núcleos. Las arcillas presentes pueden ser de dos tipos, uno de muy alto contenido radiactivo y otra con el contenido radiactivo moderado por alguna presencia de arena.

Se propusieron soluciones para enfrentar la limitación de registros sin perder calidad en la informa-

Formación	Tope [m]	Base [m]	EF	Tope [m]	Base [m]	Nuevo Intervalo	
						Tope [m]	Base [m]
Jaruco	0.0	410.0	-	-	-	-	-
Guanajay	410.00	550.0	1	404.6	451.4	404.6	554.5
			2	451.4	554.5		
Manacas 1	550.0	710.0	3	554.5	616.6	554.5	616.6
Polier	710.0	945.0	4	616.6	851.7	616.6	851.7
Sumidero 1	945.0	1225.0	5	851.7	1225.1	851.7	1225.1
Artemisa 1	1225.0	1580.0	6	1225.1	1581.1	1225.1	1581.1
Manacas 2	1580.0	1780.0	7	1581.1	1675.9	1581.1	1874.6
			8	1675.9	1760.6		
			9	1760.6	1779.4		
			10	1779.4	1874.6		
Sumidero 2	1875.0	2085.0	11	1874.6	2084.5	1874.6	2084.5
Artemisa 2	2085.0	2127.0	12	2084.5	2240.9	2084.5	2240.9
	2127.0	2425.0	13	2240.9	2425.3	2240.9	2425.3
Manacas 3	2425.0	2505.0	14	2425.3	2443.7	2425.3	2504.2
			15	2443.7	2504.2		
Artemisa 3	2504.0	2710.0	16	2504.2	2783.9	2504.2	2783.9
Manacas 4			17	2783.9	2820.1	2783.9	2921.6
			18	2820.1	2865.4		
			19	2865.4	2921.6		
Artemisa 4?			20	3000.4	3322.1	3000.4	3322.1

Tabla 4. Propuesta de ajustes a realizar a la división estratigráfica del pozo CHD 1X

ción litológica que deben proporcionar, como la construcción de gráficos de propiedades cruzadas y la utilización de curvas con artificio en las escalas.

Los análisis de COT de laboratorio tienen valores bajos y no corresponden con los de registros, porque estos dan la respuesta de una roca muy compacta, lo que sí expresa la realidad.

Se comprobó la utilidad de las mediciones radiactivas espectrales en núcleos y sobre todo, en muestras de canal cuando se carece de los primeros, para enfrentar pozos que no cuentan con espectrometría gamma.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castro, O.**, 2017, Flujo de trabajo para la evaluación petrofísica de las formaciones, en Evaluación petrofísica de formaciones gasopetrolíferas cubanas, La Habana: Centro Nacional de Información Geológica Cuba, 31-57.
- Chacon Well CHD-1X**, Geological Report, Geopetrol International, 1997, Archivo Centro de Investigación del Petróleo (inédito).
- Hatten, C. W.**, 1957, Geology of the central Sierra de los Organos, Pinar del Río province, Cuba, Centro Nacional Fondo Geológico, Ministerio de la

- Industria Básica, La Habana (inédito).
- Informe final del pozo CHD 1X**, 1996, Archivo Centro de Investigaciones del Petróleo (inédito).
- Instituto de Geología y Paleontología**, 2013, Léxico Estratigráfico de Cuba, Versión Digital, La Habana.
- Kiyokawa, S., Tada, R., Iturralde-Vinent, M., Masui, T., Tajika, E., Garcia-Delgado, D., Oji, T., Nakano, Y., Goto, H., Takayama, H., and Rojas-Consuegra, R.**, 2002, More than 700-m-thick Cretaceous-Tertiary boundary sequence of the Cacarajicara Formation, western Cuba; Ejecta induced high-energy flow deposit, in Koeberl, C., and MacLeod, K.G., eds., *Catastrophic Events and Mass Extinctions: Impacts and Beyond*: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 356, p. 125–144.
- Lewis, J. W.**, 1932, Geology of Cuba, *Bulletin American Association Petroleum Geologist*, 16 (6):557.
- Linares, E., Delgado, D. E., Delgado, O., López, J. G. y Strazhevich, V.**, 2011, Provincia de Artemisa en Romero-Alfau, F. (ed.), *Yacimientos y manifestaciones de hidrocarburos de la República de Cuba*, La Habana, Centro de Investigaciones del Petróleo, 135-167.
- Miquel, L., Ortiz G.**, 2012, Empleo de técnicas nucleares analíticas en el estudio de las características litológicas y de las propiedades de las rocas sello y reservorio de los yacimientos petroleros cubanos, La Habana, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Tesis de Grado, 73 pp.
- Palmer, D. K.** en: Bermúdez, P. J., 1950, Contribución al estudio del Cenozoico Cubano, *Memorias Sociedad Cubana de Historia Natural*, 19(3): 205-375.
- Passey, Q. R., Creaney, S., Kulla, J. B., Moretti, F. J., Stroud, J. D.**, 1990, A Practical Model for Organic Richness from Porosity and Resistivity Logs, *AAPG Bulletin*, 74, 1777-1794.
- Pszczółkowski, A.**, en Pszczółkowski, A., Piotrska, K., Myczymski, R., Piotrowski, J., Skupinski, A., Haczewski, G., Danulewski, D., 1975, Texto explicativo al mapa geológico a escala 1:250 000 de la provincia de Pinar del Río. Brigada Cubano-Polaca. Instituto de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba, La Habana (inédito).
- Ramírez, T., Etchegoyen, A., Marqués, E., Cáceres, J., Rivera, M.**, 1996. Resultado de los análisis petrofísicos en el núcleo 1 del pozo CHD-1X. Archivo Centro de Investigación del Petróleo (inédito).
- Ramírez, T., Etchegoyen, A., Marqués, E., Cáceres, J., Rivera, M.**, 1996. Resultado de los análisis petrofísicos en el núcleo 2 del pozo CHD-1X. Archivo Centro de Investigación del Petróleo (inédito).
- Truitt, P. en: Truitt P., y Brönnimann, P.**, 1956, Geology of Pinar del Río and Isla de Pinos, Cuba, Centro Nacional Fondo Geológico, Ministerio de la Industria Básica, La Habana (inédito).
- Wassall, H. en: Wassall, H. y Pardo, G.**, 1952, Geological memorandum HW 11, Sagua-Calabazar área, Manuscrito, Centro Nacional Fondo Geológico., Ministerio de la Industria Básica, La Habana.
- Uriarte, A.**, 2010, Historia del clima en la Tierra. Eusko Jaurlaritz, Gobierno Vasco. 403 pp.
- Zachos J.**, 2001, Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present, *Science* 292: 686-693.