

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

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

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

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

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

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

RESUMEN

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

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

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

ABSTRACT

The sector known as Block 21 located to the east of

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

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

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

RESUMO

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

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

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

INTRODUCCIÓN

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

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

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

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

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

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

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

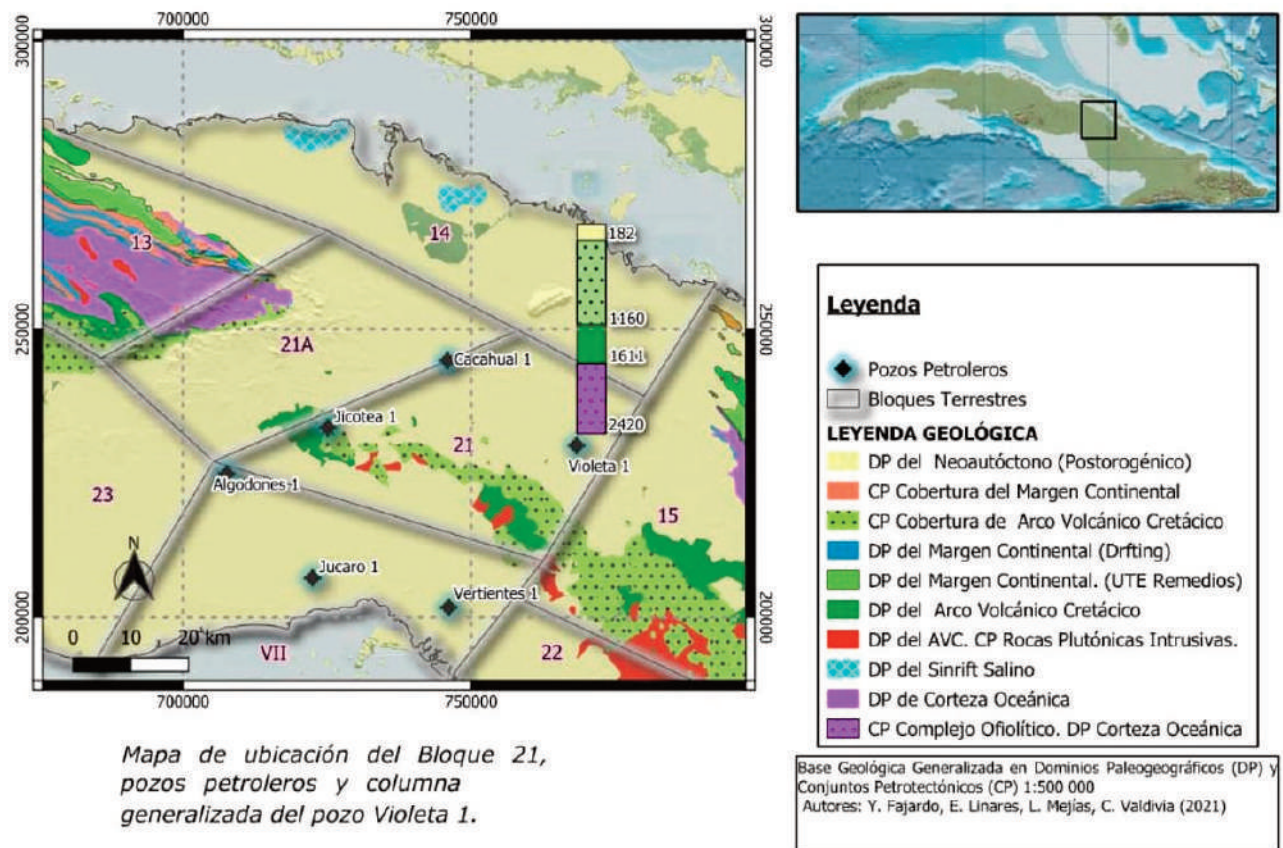


Figura 1. Mapa de ubicación del Bloque 21, geología de superficie y pozos perforados en el Bloque 21

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del estudio se emplearon los siguientes materiales:

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

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

el oeste de la Cuenca Central (Bloque 21).

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

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

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

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

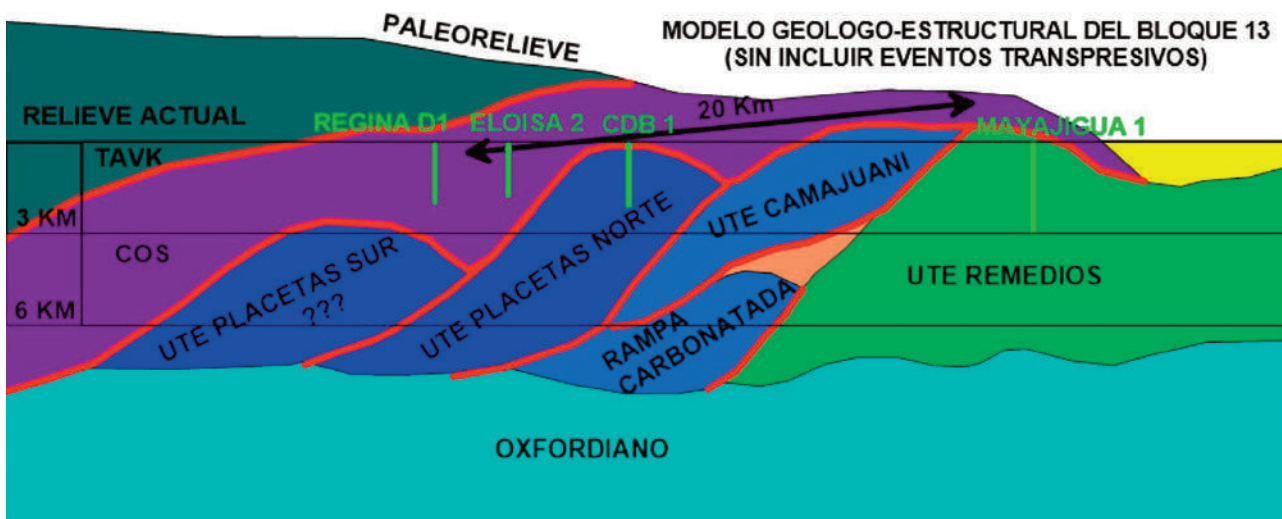


Figura 2. Mapa de ubicación de las líneas sísmicas empleadas.

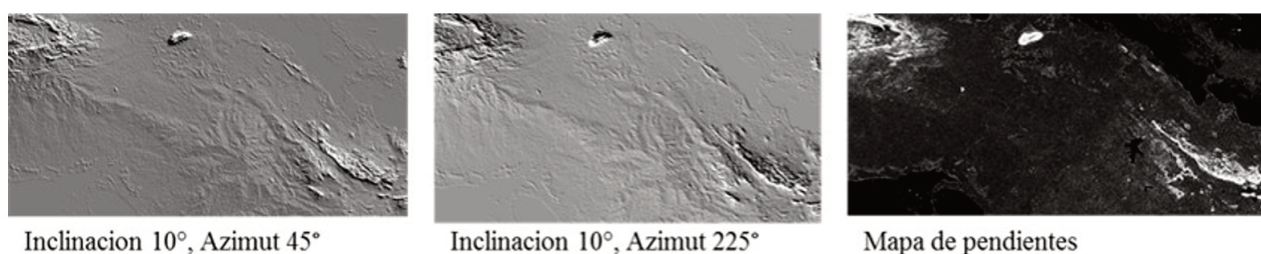


Figura 3. Resultados del procesamiento de la imagen de Radar. Mapas sombreados escogidos para la interpretación con sus parámetros y mapa de pendientes.

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

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

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

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

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

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

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

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

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

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

Geología de superficie

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

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

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

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

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

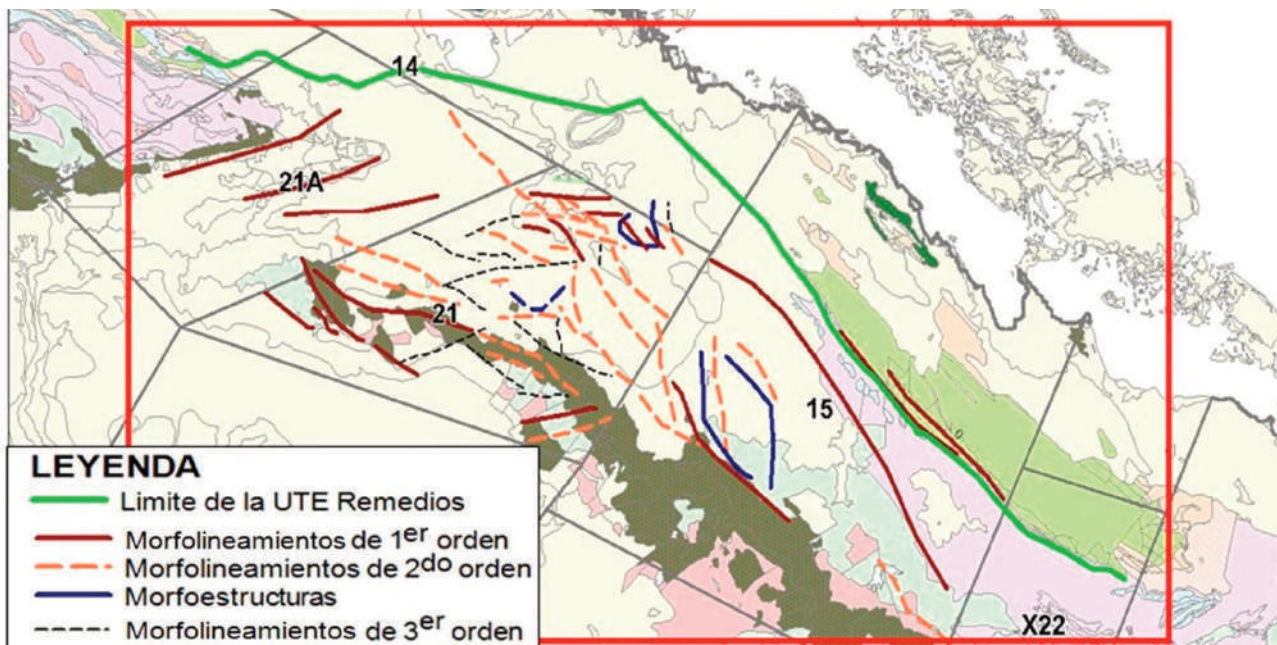


Figura 4. Reconstrucción del Modelo Geólogo-Estructural propuesto para el Bloque 13 previo a los eventos transpresivos.

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

Geomorfología.

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

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

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

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

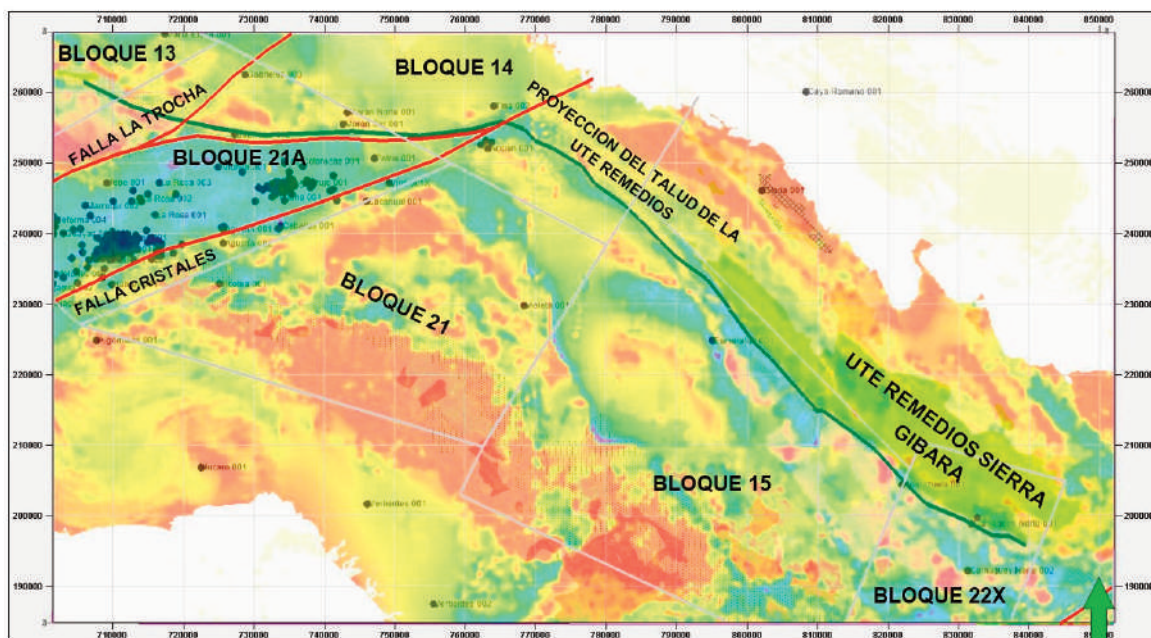


Figura 5. Esquema morfoestructural integrado.

Gravimetría.

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

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

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

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

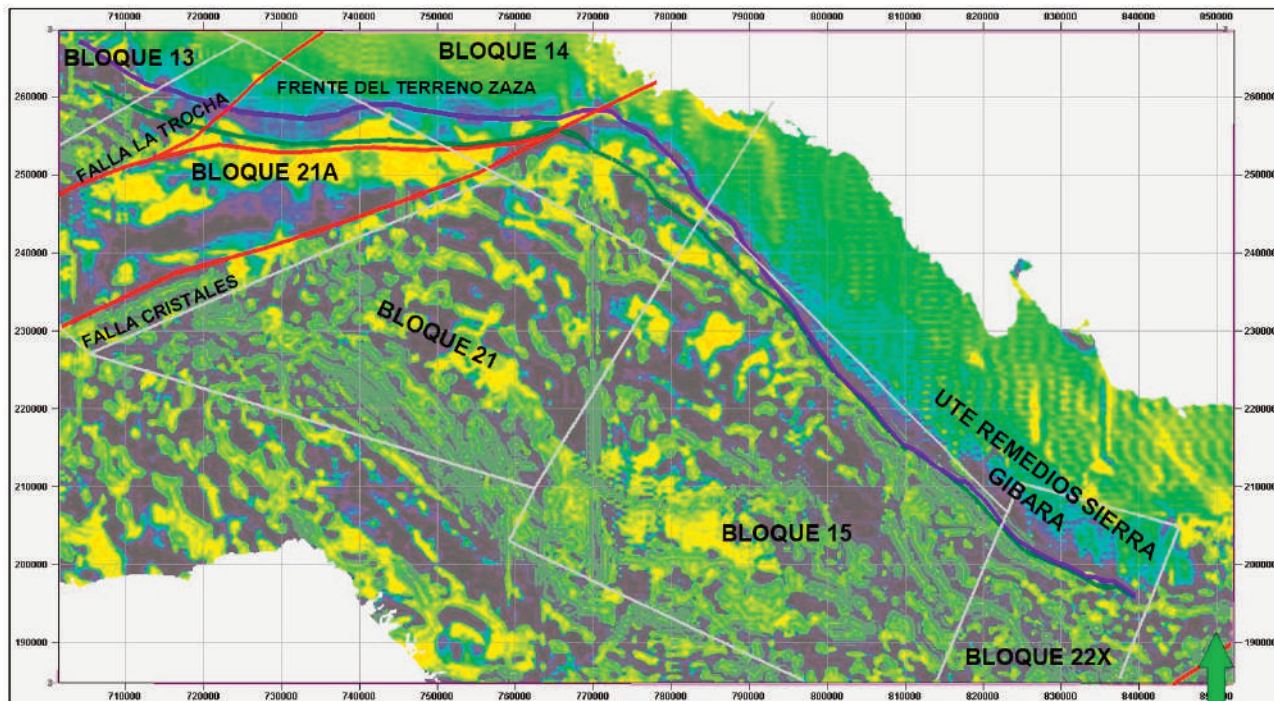


Figura 6. Mapa de la derivada vertical del campo gravimétrico en transparencia con el mapa geológico. Se muestra la interpretación de los sistemas de fallas regionales, así como el borde superior del talud sur de la UTE Remedios.

Magnetometría.

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

Interpretación Sísmica.

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

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

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

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

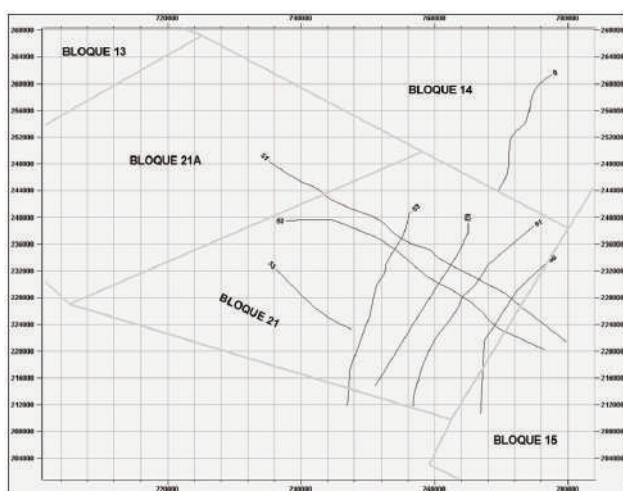


Figura 7. Mapa de derivada vertical del campo magnético, se interpreta el límite de máximo avance de la cuña del Terreno Zaza.

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

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

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

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

Mapas estructurales

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

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

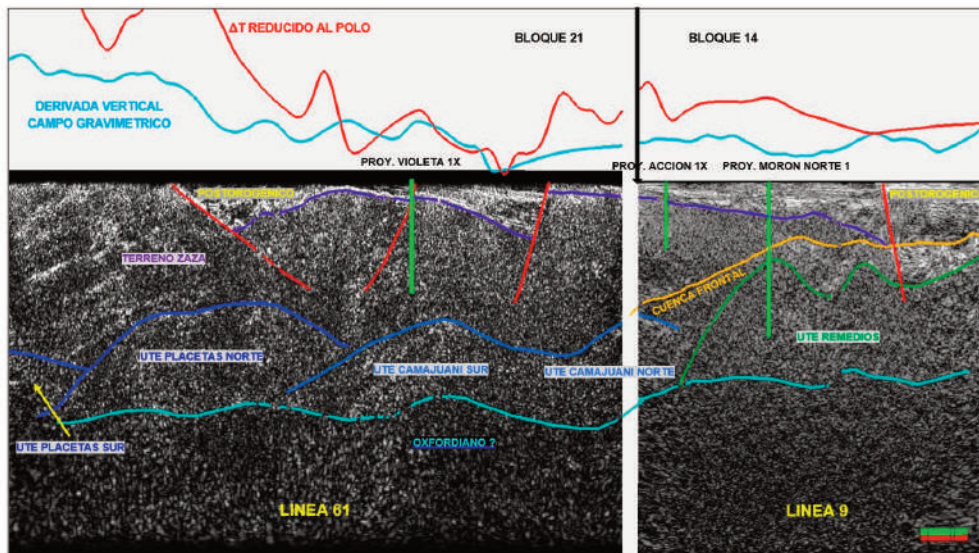


Figura 8. Transecto SW-NE entre los Bloques 21 y 14, perpendicular al rumbo cubano. Interpretación en tiempo sobre el atributo Gradient Magnitude. Se resalta la base de los cabalgamientos en tonos oscuros (Oxfordiano y unidades inferiores). Se aprecia una textura distintiva asociada a los CCMC y Plataforma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

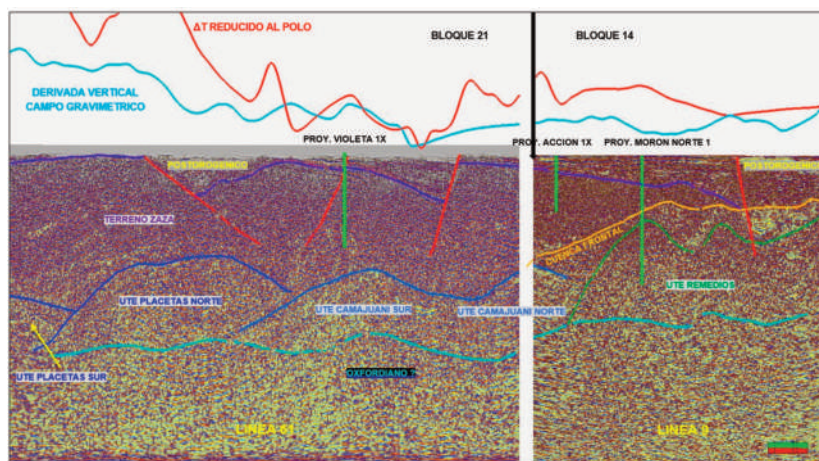


Figura 9. Transecto SW-NE entre los Bloques 21 y 14, perpendicular al rumbo cubano. Interpretación en tiempo sobre el atributo Time Gain. En colores predominantemente claros se representa el cuadro de onda asociado a los CCMC y la Plataforma de Remedios.

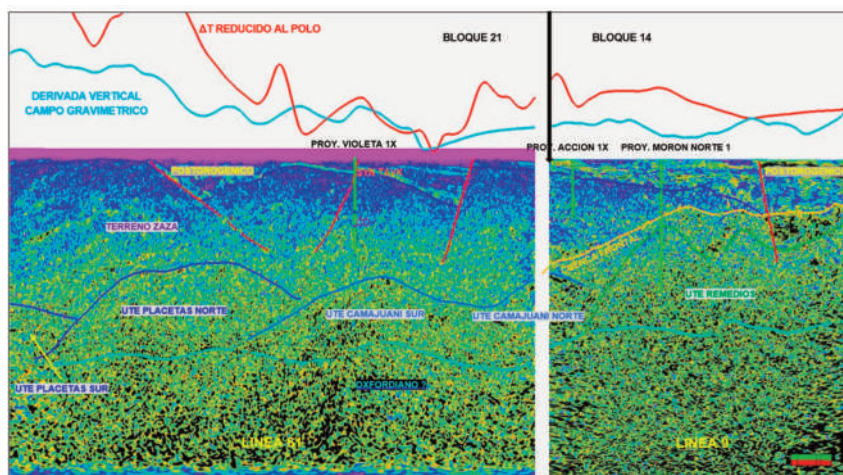


Figura 10. Transecto SW-NE entre los Bloques 21 y 14, perpendicular al rumbo cubano. Interpretación en tiempo sobre el atributo Envelope posterior al atributo Time Gain. Se resaltan dos zonas de contorno difuso dentro del Terreno Zaza. En sombreados predominantemente oscuros se representa el cuadro de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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Modelo Geólogo-Estructural

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

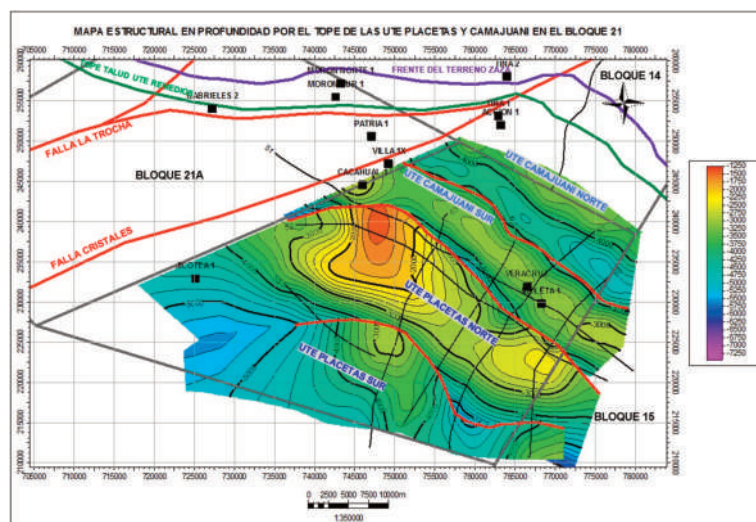


Figura 11. Mapa en profundidad por el tope de los CCMC cabalgados y sus sinorogénicos, se muestra su interacción y estilo estructural.

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

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

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

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

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

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

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

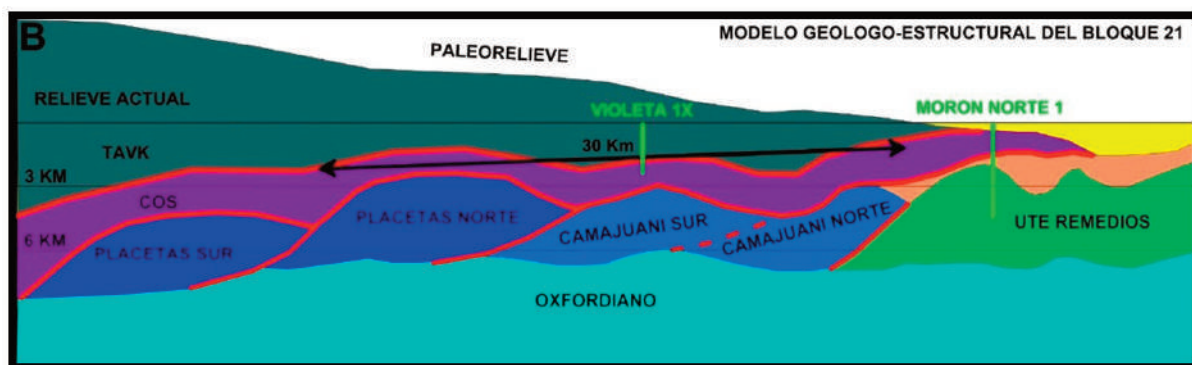


Figura 12. Correlación de Modelos Geólogo-Estructurales de los Bloques 21-14, 13 y FPNC (Sector Cantel-Cayo Blanco).

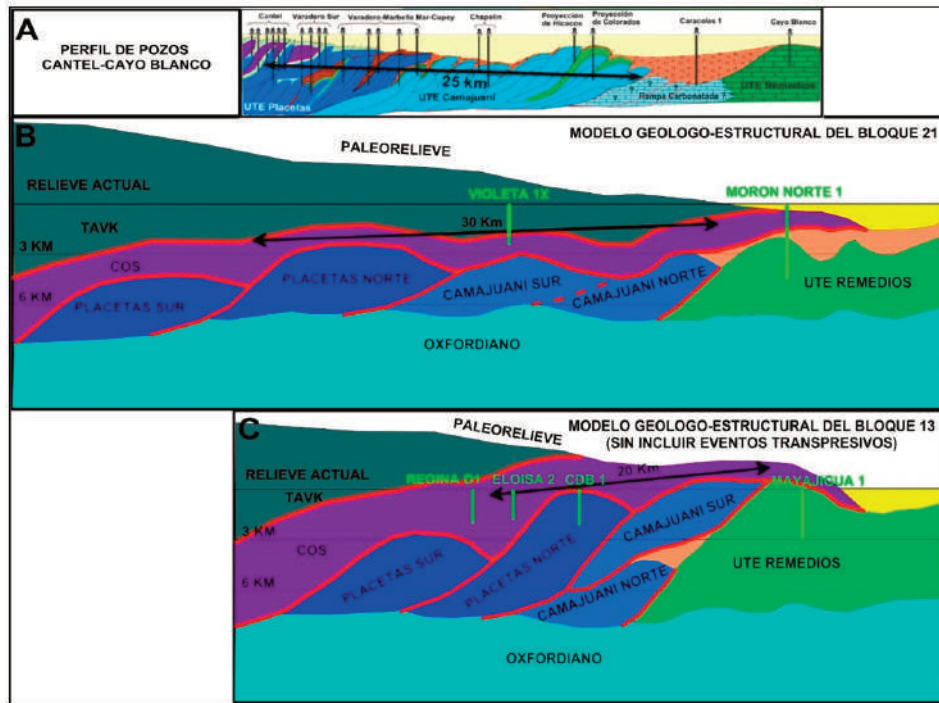


Figura 13. Mapa integrado de criterios donde se muestra el desarrollo de las franjas asociadas a los grupos de apilados interpretados en el Bloque 21 hacia el Bloque 13 y su correlación con los yacimientos conocidos en la Cuenca Central. Se muestra la ubicación de los perfiles C y B de la **Figura 13**.

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

CONCLUSIONES

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

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

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

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

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

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

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

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

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

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

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

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

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

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

