

Modelado físico-geológico 2D de campos potenciales en la región suroeste de la Cuenca Central de Cuba

Sergio A. Sánchez Puentes¹, Jessica Morales González² y Osvaldo Rodríguez Morán³

¹ *Ingeniero Geofísico. Centro de Investigación del Petróleo (Ceinpet), Calle Churruca #481 E/ Washington y Vía Blanca, Cerro, La Habana, Cuba. Correo electrónico: seal.sapu1997@gmail.com.*

² *Ingeniera Geofísica. Departamento de Geociencias. Universidad Tecnológica de La Habana «José Antonio Echeverría» Cujae, Calle 114 #11901 E/ Ciclo Vía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba. Correo electrónico: jessimoglez@gmail.com.*

³ *Ingeniero Geofísico. Máster en Geología Petrolera. Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad Tecnológica de La Habana «José Antonio Echeverría» Cujae, Calle 114 #11901 E/ Ciclo Vía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba. Correo electrónico: ormoran2016@gmail.com*

RESUMEN

La Cuenca Central está ubicada en la porción central de Cuba, abarca las provincias Sancti Spiritus y Ciego de Ávila y fue una de las áreas de mayor interés gasopetrolífero del país durante los años 50 del siglo pasado. Es vital una investigación detallada a partir de la integración de los métodos geofísicos y geológicos de exploración para la obtención de posibles recursos gasopetrolíferos que favorezcan a la economía del país. En el suroeste de esta zona, se seleccionó un área para el estudio del comportamiento de los campos potenciales (gravimétrico y magnético) y luego se trazaron dos perfiles en dirección noroeste-sureste para la elaboración de modelos físicos-geológicos 2D. En la Cuenca Central aparecen diversos trabajos de investigación, pero no resuelven de forma adecuada la caracterización geólogo-geofísica de la región. El objetivo del presente trabajo es realizar un modelado físico-geológico 2D a partir del comportamiento de los campos potenciales en el suroeste de la Cuenca Central de Cuba y con esto delimitar los grandes cuerpos

del Arco Volcánico del Cretácico y de la Asociación Ofiolítica presentes en la zona (Terreno Zaza) los sedimentos del sinorogénico y del post-orogénico y los carbonatos pertenecientes a las Unidades Tectono-Estratigráficas Placetas y Camajuaní. Fueron identificadas las fallas que delimitan el sector de la Cuenca Central de Cuba, las cuales forman el Sistemas de Fallas La Trocha; y el levantamiento de los cuerpos geológicos producto de una elevación del basamento en la región, donde se localiza el pozo Jatibonico 78.

Palabras clave: campos potenciales, modelado físico-geológico 2D, Cuenca Central.

ABSTRACT

The Central Basin is located in the central portion of Cuba, encompasses the Sancti Spiritus and Ciego de Ávila provinces and was one of the areas of greatest gas and oil interest in the country during the 1950's. A detailed investigation based on the integration of geophysical and geological exploration methods is vital

to obtain possible gas-oil resources that favor the country's economy. To the southwest of this zone, an area was selected for the study of the behavior of potential fields (gravimetric and magnetic) and then two profiles were drawn in a NO-SE direction for the elaboration of physical-geological 2D models. Various research works appear in the Central Basin, but it does not adequately resolve the geological-geophysical characterization. The objective of this work is to carry out a 2D physico-geological modeling from the behavior of potential fields in the southwest of the Central Basin of Cuba and obtaining as results the delimitation of the large bodies of the Cretaceous Volcanic Arc and from the Ophiolitic Association present in the area (Zaza Terrain) the post-orogenic and syn-orogenic sediments and the carbonates belonging to the Placetas and Camajuaní Stratigraphic Tectonous Units. In addition, the faults that delimit the sector of the Central Basin of Cuba were identified, which form La Trocha Fault System and the uplift of geological bodies as a result of a lifting of the basement in the region where the Jatibonico 78 well is located.

Key words: potential fields, 2D physico-geological modeling, Cuenca Central.

RESUMO

A bacia central está localizada na parte central de Cuba, abrange as províncias Sancti Spiritus e Ciego de Ávila e uma das áreas de maior interesse gasopetrolífero no país durante os anos 50 do último século. É vital uma pesquisa detalhada baseada na integração de métodos geofísicos e geológicos de exploração para obter possíveis recursos gasopetrole que favorecem a economia do país. No sudoeste desta área, uma área para o estudo do comportamento dos potenciais campos (gravimétrica e magnética) foi selecionada e, em seguida, dois perfis foram treinados em uma direção NO-SE para a elaboração de modelos físicos-geológicos 2D. Na bacia central, várias obras de pesquisa aparecem, mas elas não resolvem adequadamente a caracterização geológica-geofísica da região. O objetivo do presente trabalho é realizar uma modela-

gem geológica 2D do comportamento dos potenciais campos no sudoeste da bacia central cubana e com isso para delimitar os grandes corpos do arco vulcânico cretáceo e da Associação da Ofiolítica presentes em A zona (Terreno Zaza) os sedimentos do symorogênico e pós-orogênico, e os carbonatos pertencentes aos lugares estratigráficos de unidades tectônicas e Camajuaní. As falhas que delimitam o setor da bacia central de Cuba foram identificadas, que formam os sistemas de falhas La Trocha; e o levantamento de órgãos geológicos Produto de uma elevação base na região, onde o Jatibonico Bem 78 está localizado.

Palavras-chave: campos potenciales, modelagem geológica 2D, bacia central.

INTRODUCCIÓN

La Cuenca Central de Cuba está ubicada en la porción central de Cuba y abarca las provincias Sancti Spiritus y Ciego de Ávila y fue una de las áreas de mayor interés gasopetrolífero del país durante los años 50'. Es vital una investigación a partir de la integración de los métodos geofísicos y geológicos de exploración para la obtención de posibles recursos gasopetrolíferos que favorezcan a la economía del país. La problemática del petróleo en el mundo cada vez se agudiza más, los avances en la ciencia y la técnica, así como el desarrollo progresivo de la humanidad en todos los sectores, han hecho que el crudo se transforme en un producto antagónico. Esto está aparejado al agotamiento que sufren las fuentes que aportan el preciado líquido, debido a la inmensa cantidad de barriles/día que se extraen de los yacimientos existentes en el globo terráqueo. Todo lo expuesto trae consigo que los países con menos recursos financieros, e incluso en la mayoría de los casos, con ausencia total de reservas del hidrocarburo, sean los que más sufran la escasez de este producto.

El estudio de la cuenca se ha desarrollado a lo largo de muchos años, al ser aplicados en su gran mayoría los métodos de campos potenciales y la modelación. Varios autores, como Zambrana y Martínez (2002) y Martínez *et al.* (2007) realizaron modelos geológico-geofísico 3D a partir de datos gravimétricos.

Con los modelos geólogo-geofísico 3D de la porción norte de la Cuenca Central obtuvieron las profundidades y espesores de las litologías presentes en la misma, donde corroboraron algunas de las teorías planteadas sobre los procesos y fenómenos geológicos originados en la región. Estas investigaciones, en su mayoría, se realizaron con el fin de obtener zonas de interés para la prospección de hidrocarburos.

Rifá (2012) delimita el sector de la Cuenca Central donde debieran existir los sedimentos del margen continental bajo el Arco Volcánico del Cretácico (AVC) como parte de la zonificación de las anomalías locales de los campos potenciales. Esta zona se encuentra en los alrededores del yacimiento Pina. La modelación de los cuerpos magnéticos en ese sector permitió estimar la profundidad de la base del arco volcánico, entre 2 a 3.6 km.

Rifá y Prol (2013) ofrecen los argumentos geofísicos que justifican la presencia de los sedimentos pertenecientes a las Unidades Tectono-Estratigráficas Placetas y Camajuaní. En el análisis que se presenta se toman en consideración los resultados de la interpretación geológica de los datos gravimétricos, magnetométricos y sísmicos, desde los regionales hasta los de carácter más local y se incluyen los datos geológicos y de pozos para el estudio. Estos argumentos refuerzan los criterios emitidos por geólogos y geoquímicos acerca de la existencia de los sedimentos del margen continental en la Cuenca Central, aunque los mismos sean indirectos.

Prol *et al.* (2015) es otra de las investigaciones que persiguió como objetivo ubicar los sectores donde con mayor probabilidad se elevan los sedimentos del margen continental norteamericano bajo el Terreno Zaza, mediante la interpretación de los campos potenciales y su analogía con las anomalías donde se ha encontrado este tipo de estructuras, con el apoyo de la información geológica de superficie y de pozos.

En la zona de la Cuenca Central, existen dos sistemas petroleros, uno probado que está justificado por la existencia de varios yacimientos y la presencia de manifestaciones superficiales de hidrocarburos y otro hipotético, que supone la presencia de las Unida-

des Tectono Estratigráficas (UTE) Placetas y Camajuaní debajo de las rocas del Terreno Zaza; y que es donde se supone hay presencia de grandes acumulaciones de hidrocarburos debido a las rocas generadoras de las mencionadas UTE. Sin embargo, las campañas de prospección y exploración que se han desarrollado en los últimos años han tenido resultados poco alentadores, que generan incertidumbre en el grado de veracidad y actualidad de los modelos geológicos que se utilizan para la región.

Estos resultados deficientes son debidos en gran parte a la falta de integración de los métodos geólogo-geofísicos con los no convencionales. Esta situación, junto a la escasez de hidrocarburos en el país, hace necesaria la integración de métodos geólogo-geofísicos en la zona de la Cuenca Central de Cuba, por existir evidencias que hacen suponer la presencia de las UTE Placetas y Camajuaní debajo de las rocas del Terreno Zaza.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales utilizados:

- Informes geológicos, geofísicos, geoquímicos y geomorfológicos de la Cuenca Central, Cuba
- Informes y publicaciones temáticos de investigación geológica y petrolera en la región
- Mallas de datos del campo gravimétrico y aeromagnético a escala 1:250 000 (Mondelo, 2011)
- Mapa geológico digital de Cuba (IGP) a escala 1:100 000 (Colectivo de Autores, 2010)
- Mapa tectónico del basamento de Cuba (Cobiella, 2015).

Método Gravimétrico

Tanto el método gravimétrico como el método magnético responden a un campo potencial de origen natural. El campo de potencial natural observado se compone de los contribuyentes de las formaciones geológicas, que construyen la corteza terrestre. En este método se

realizan mediciones relativas, es decir, se miden las variaciones laterales de la atracción gravitatoria. Los datos reducidos de modo apropiado entregan las variaciones en la gravedad, que solo dependen de variaciones laterales en la densidad del material ubicado en la vecindad de la estación de observación (Griem, 2018).

Al cuerpo poseer una densidad más baja que la roca circundante, es decir, un contraste de densidad negativo, presenta una deficiencia de masa y produce una anomalía de gravedad negativa (Dentith y Mudge, 2014). En el caso de una anomalía positiva ocurre lo contrario, cuando la densidad de la roca encajante es mayor que la roca de caja y su valor supera tres veces el valor medio, entonces es una anomalía positiva.

La medición del campo gravitatorio en un punto dado de la superficie terrestre, no sólo se ve afectado por la influencia de una masa de determinada densidad sobre él, también inciden una serie de factores ajenos a las causas geológicas: las mareas terrestres, la deriva del equipo, la altitud, la latitud y la topografía. Por tal motivo, hay que efectuar una serie de correcciones a los datos, para eliminar todo tipo de influencia externa ajena a causas geológicas. Las anomalías obtenidas se llaman Anomalías de *Bouguer* o ΔG de *Bouguer* y se miden en SI en m/s^2 , aunque se acostumbra a usar el Sistema Cegesimal de Unidades (CGS) donde se emplea el Gal.

Magnetometría

El método magnético, consiste en el estudio de las variaciones locales del campo magnético terrestre y se obtienen medidas absolutas de la componente vertical del campo magnético, aunque existen equipos que miden las otras componentes. Las variaciones en el campo magnético se asocian a contrastes en la susceptibilidad magnética de los distintos materiales que conforman el subsuelo y a la presencia de minerales magnéticos en el sitio estudiado. Para la prospección geofísica se utiliza en lo fundamental la determinación de la componente vertical del campo magnético (Acevedo *et al.*, 2015).

En la prospección petrolífera el método magnético entrega información acerca de la profundidad

de las rocas pertenecientes al basamento. A partir de estos conocimientos se localizarán y definirán la extensión de las cuencas sedimentarias ubicadas encima del basamento, que de forma posible contienen reservas de petróleo (Longo, 2017).

Modelación matemática

Se propone un modelo del subsuelo y se calcula la respuesta geofísica que proporciona, luego se varía el modelo para intentar obtener la máxima correlación entre los datos calculados y los datos observados.

Se emplean en lo fundamental dos métodos: modelación directa, que consiste en calcular la anomalía de una determinada geometría y compararla con la anomalía observada, al variar y ajustar la geometría de manera manual o semiautomática para aproximar mediante ensayo y error, ambos modelos: el calculado y el observado.

El otro es el método de inversión, donde a partir de un modelo inicial se efectúan ajustes de manera automática como el de mínimos cuadrados, de forma que se minimice la diferencia entre la anomalía observada y la calculada. En este caso, se deja el cálculo libre de forma total, con lo que es posible que el modelo obtenido no tenga sentido geológico alguno o bien introducir ciertos límites (bien geométricos, petrofísicos o ambos) a las variaciones permitidas en el modelo, de modo que sea consistente con la geología y con el resto de los datos geofísicos (Ayala y Rey, 2009).

La relación entre las anomalías y sus fuentes se cuantifica, en buena medida, a través de modelos geofísicos. Esta relación no es unívoca, por lo que es necesario establecer límites iniciales que restrinjan el número de soluciones posibles. Sin embargo, el modelado geofísico por medio de diferentes métodos (gravimetría y magnetometría) utilizados de manera conjunta disminuye la incertidumbre atribuida al modelar de forma independiente (Lince *et al.*, 2014).

El nivel de detalle del modelo obtenido dependerá de la distribución espacial de los datos medidos; de la escala de trabajo y de la información petrofísica, geológica y geofísica disponible (Ayala y Rey, 2009).

1. ÁREA DE ESTUDIO

1.1. Ubicación geográfica del área de estudio

La Cuenca Central (Figura 1) perteneciente a las pro-

vincias de Sancti Spíritus y Ciego de Ávila se encuentra ubicada en relación con el Sistema de Fallas La Trocha.

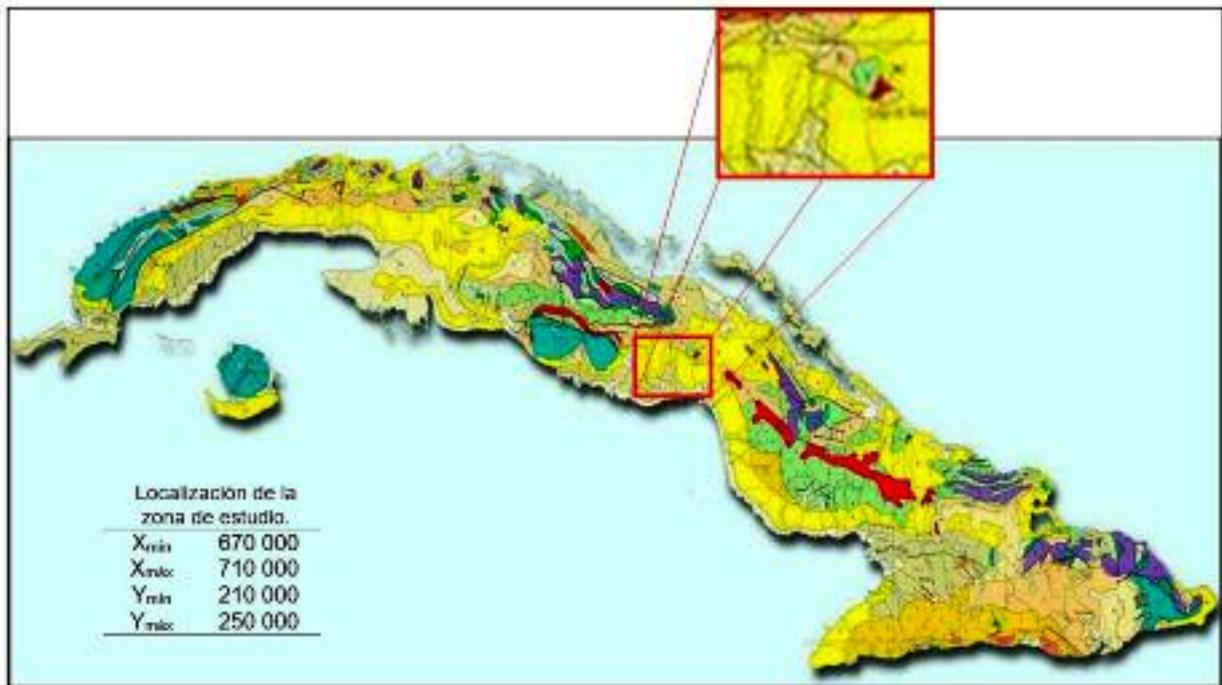


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio con sus coordenadas (Martínez *et al.*, 2008).

1.2. Estratigrafía

En la zona existen diferentes formaciones geológicas las cuales se pueden observar en la Figura 2.

1.3. Tectónica

Según Cruz Orosa (2012) el denominado bloque Las Villas, ofrece la sección más completa del Cinturón Central Orogénico Cubano. Este bloque se limita al este por la falla La Trocha y al oeste por las zonas de falla Criollo, Aguada y Alacranes. Estas estructuras están incluidas en el mayor sistema de fallas con un movimiento SO-NE y lateral izquierdo y corredores tectónicos que han sido utilizados para dividir la orogénia cubana en bloques estructurales.

El Sistema de Fallas La Trocha constituye uno de los principales elementos tectónicos del territorio cubano. Desde el punto de vista geográfico está ubicada en la zona central del país y ocupa parte de las provincias de Ciego de Ávila y Sancti Spíritus. Se considera una estructura disyuntiva de deslizamiento por el rumbo.

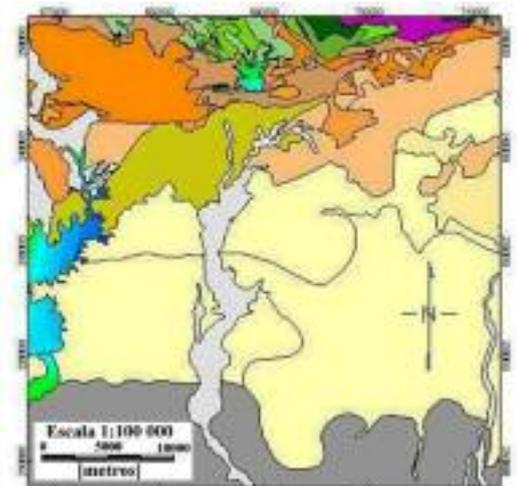


Figura 2. Mapa geológico simplificado de la zona suroccidental de la Cuenca Central, Cuba (Colectivo de Autores, 2010).

Las fallas de deslizamiento por el rumbo asociadas a conjuntos colisionales oblicuos como el que ocupa, son caracterizadas por una zona de desplazamiento principal que será recta o curvilínea vista en planta, a la vez que, en perfil aparecen como zonas de fallas subhorizontales, que afectan el basamento cristalino y en ocasiones corta la corteza hasta profundidades medias. En el basamento se pueden distinguir dos niveles o etapas estructurales principales en la arquitectura geológica de Cuba. La etapa inferior es el zócalo, un gran complejo rocoso, formado principalmente por rocas Jurásico-Eoceno, que descansan de manera discordante debajo de la cubierta. El zócalo se divide en tres complejos principales, según sus características litoestructurales y edad de la roca: (a) el basamento Proterozoico-Paleozoico, (b) el basamento Mesozoico, (c) el cinturón plegado y sobrecorrido del Paleógeno (Cobiella-Reguera, 2021).

El Sistema de Fallas La Trocha se caracteriza por constituir una frontera entre dos regiones con relieve de modo notablemente diferente. Hacia el oeste Cuba Centro Occidental (Las Villas) presenta un relieve elevado de forma relativa y rugosa, caracterizado por dos conjuntos geomorfológicos importantes: la Cordillera Norte de Las Villas y el Macizo Guamuhaya. La primera se extiende al norte de las provincias Villa Clara, Sancti Spíritus y Ciego de Ávila y se caracteriza por conformar franjas estrechas y alargadas con rumbo NW-SE, paralelo al rumbo de los mantos de cabalgamientos que existen en toda el área.

De modo particular, el Sistema de Fallas La Trocha ha actuado como una zona de transferencia sinistral que separa los bloques tectónicos principales de Las Villas y Camagüey, en Cuba centro-oriental. Las estructuras que conforman dicha zona de fallas (fallas La Trocha, Zaza-Tuinicú, Cristales y Taguasco) son consistentes con la rotación en sentido horario de la convergencia y del acortamiento en Cuba central.

Desde el Paleoceno hasta el Eoceno Inferior, un acortamiento en dirección SSO–NNE produjo transtensión en la falla La Trocha y transpresión en la falla Zaza-Tuinicú. Luego, durante el Eoceno Medio, el acortamiento rotó en sentido NE-SO, al resultar una

componente normal en la falla La Trocha y transpresión en las fallas Zaza-Tuinicú y Cristales. A partir del Eoceno Superior Cuba central ha estado soldada a la Placa Norteamericana (Cruz Orosa, 2012).

2. Resultados y discusión

2.1. Transformaciones aplicadas a los campos potenciales

En el procesamiento de los datos gravimétricos (Figura 3) y magnéticos se utilizaron las técnicas de filtrado de Fourier (Parker, 1972). Las mismas constituyen herramientas importantes, debido a que estas proveen recursos efectivos cuando se trata de conocer las fuentes que producen una respuesta, gravimétrica o magnética, por encima del nivel de ruido en el punto de observación.

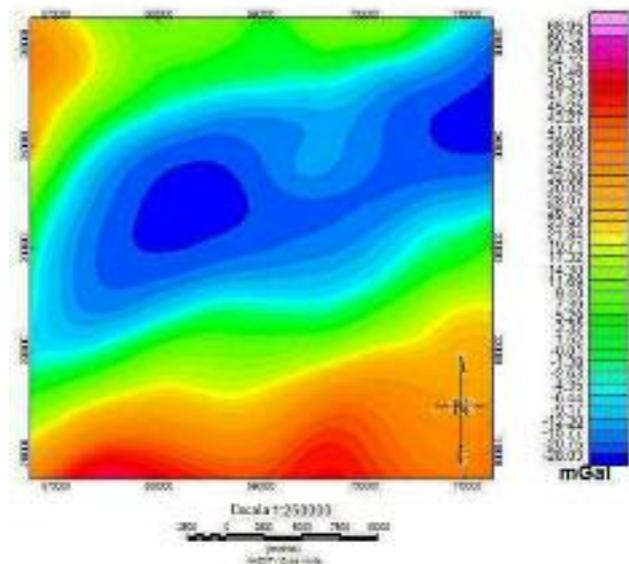


Figura 3. Mapa de anomalías de *Bouguer* (Gb) ($\sigma=2.3t/m^3$) de la región suroeste de la Cuenca Central de Cuba (Mondelo, 2011).

Los datos gravimétricos y magnéticos fueron procesados al aplicar la transformada rápida de Fourier para convertirlos al dominio de la frecuencia y aplicar varios filtros, como: Continuación Analítica Ascendente (CAA) la primera Derivada Vertical (DV) la Derivada Horizontal Total (HDT) y la Reducción al Polo (RP) en el caso de los datos magnéticos.

Para la realización de estos procedimientos fue utilizado el menú MAGMAP del *Oasis Montaj*, versión 8.3.3, de *Geosoft*.

A partir de los datos observados (campo magnético con RP) y la CAA (componente regional) aplicada a los datos gravimétricos y magnéticos, se realizaron expresiones matemáticas de sustracción, con el fin de obtener la componente residual del campo medido (**Ecuación 1**):

$$\Delta G_{RESIDUAL} = \Delta G_{TOTAL} - \Delta G_{REGIONAL} \quad (1)$$

La DV resultante del procesamiento al campo gravimétrico y magnético permitió obtener una imagen de las fuentes superficiales locales (Morales-González, 2016).

La CAA se realizó para tres intervalos diferentes: 500, 1 000 (**Figura 4**) y 12 500 metros respectivamente, que es la máxima profundidad de estudio a la que se trabajó.

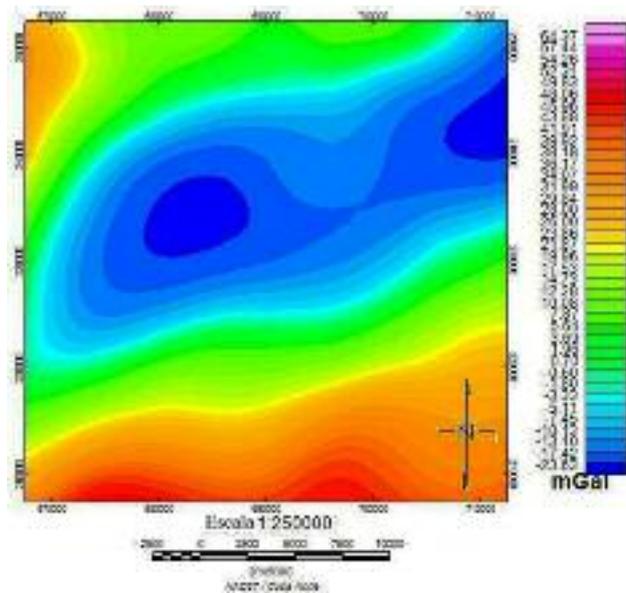


Figura 4. Continuación Analítica Ascendente a 1 000 m del campo gravitatorio.

Para la confección de los mapas de anomalías residuales (**Figura 5**) también se seleccionaron estos tres intervalos de profundidad. Estos mapas de anomalías residuales, permiten acentuar y mejorar las anomalías de alta frecuencia o de baja longitud de onda, provo-

cadas por fuentes someras que quedan enmascaradas por las anomalías de larga longitud de onda (regionales) que son debidas a fuentes más profundas.

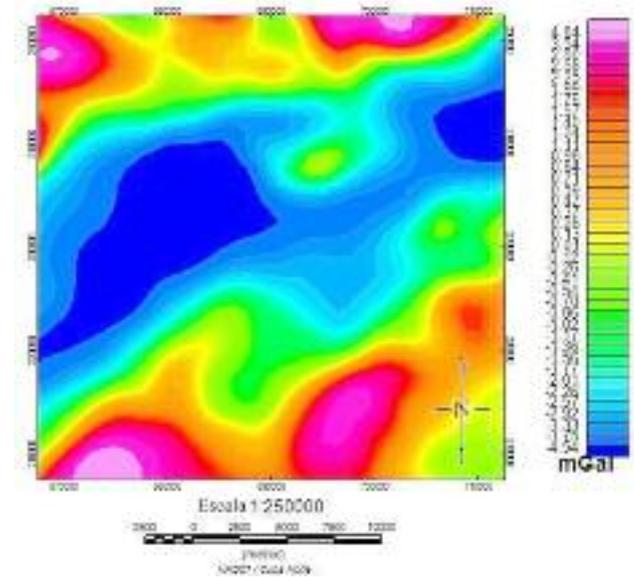


Figura 5. Mapa de anomalías residuales a 1 000 m obtenido a partir de la CAA a 1 000 m.

Al campo magnético ΔT se le aplicó la Reducción al Polo (**Figura 6**). Esta es una transformación que recalcula la intensidad del campo total, como si el campo magnético inductor tuviese una inclinación de 90 grados, lo cual, permite simplificar la interpretación, mediante su aplicación. La reducción al polo asume que todas las rocas en el área investigada han sido magnetizadas por el campo magnético terrestre, pero esto solo es posible en el caso de rocas que no tengan magnetización remanente, es decir que posean sólo una magnetización inducida.

Durante la reducción al polo, por lo general, aparecen errores cuando se trabaja con anomalías estrechas cuya dirección sea paralela a la declinación del campo magnético terrestre. Esta transformación será aplicada tanto a los datos en área como en perfiles, aunque se aplica con frecuencia a datos areales. Para la confección de dicha transformación se utilizaron los siguientes parámetros:

- Declinación del campo magnético = -4°
- Inclinación del campo magnético = 53°

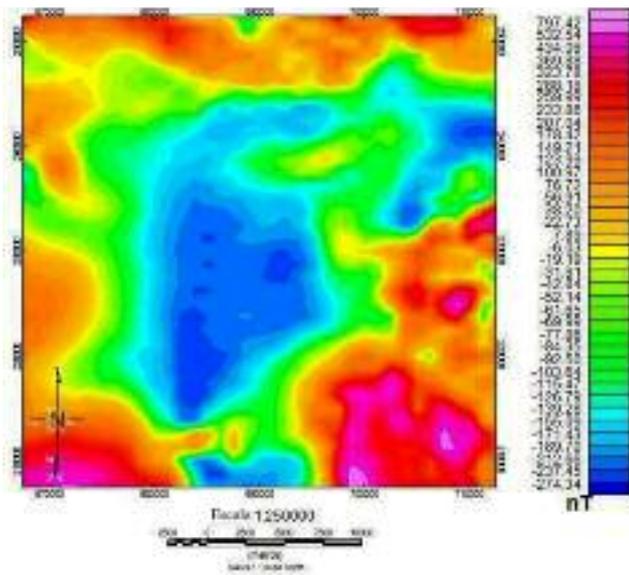


Figura 6. Mapa del campo magnético reducido al polo (Mondelo, 2011).

La DV (aplicada después de efectuada la reducción al polo en el caso de los datos magnéticos) brinda anomalías resultantes del procesamiento, que están relacionadas con fuentes superficiales y diferentes contactos geológicos, por lo que las cadenas de mínimos y máximos, que se evidencian en el mapa resultante, son determinadas con facilidad y sus ejes señalan los distintos contactos geológicos (Morales-González, 2016).

La HDT es un método complementario a la primera DV y presenta como función principal la de identificar los bordes de los cuerpos geológicos, fallas, etc. Los máximos en la zona cartografiada indican los bordes de las fuentes, que corresponden en lo fundamental a las fallas que limitan la cuenca.

2.2. Interpretación cualitativa de los campos potenciales

2.2.1. Campo gravitacional

En el mapa de anomalías de *Bouguer* a escala 1:250 000 (**Figura 3**) se aprecia valores máximos hacia el sur, provenientes de rocas de la Asociación Ofiolítica en esa zona. La región central está caracterizada por un comportamiento de mínimos bastante homogéneo, debido a la presencia de sedimentos del post-orogénico y del sinorogénico, que presentan espesor de hasta tres

kilómetros en algunas regiones. Más hacia el norte aumenta la presencia de rocas volcánicas y disminuyen dichos sedimentos.

Un rasgo bastante significativo es la presencia de un máximo, dentro de la zona de mínimos de la cuenca, producido por un levantamiento de los cuerpos en el área. En este máximo se encuentra el pozo Jati-bonico 78, que llegó a la profundidad de 4 336.7 m, donde se atravesaron rocas cenozoicas y del arco volcánico. A partir de los 3 995 m comienzan las serpentinitas, con presencia de gas y de petróleo ligero en este complejo rocoso, el cual fue tomado como indicio de una acumulación mayor debajo del mismo y que, las serpentinitas podrían servir total o de forma parcial como sello. Este fue un pozo productor de hidrocarburos (Iparraguirre-Peña y Martínez-Rojas, 2017).

Al realizar una correlación entre la DV y la HDT total, se obtuvo la localización de las fallas que delimitan la cuenca, con lo cual se elaboró un mapa representativo de estas (**Figura 7**). A partir de la visualización del Sistema de Fallas La Trocha, se observa el comportamiento de la cuenca, que es de tipo poligénico de desgarre.

2.2.2. Campo magnético

La primera transformación realizada al campo magnético en el área fue la Reducción al Polo. La reducción al polo borra las anomalías asimétricas causadas por la inclinación y ubica las anomalías sobre los cuerpos causantes, al suponer que el magnetismo remanente es pequeño comparado con el magnetismo inducido. El conocimiento, de la posición exacta de los sectores más elevados de los cuerpos magnetizados, requiere calcular el campo que ellos generan como si el efecto inductor se dirigiera de forma vertical. A esta transformación se le conoce como Reducción al Polo, la cual permite que los máximos gravimétricos y magnéticos coincidan, siempre y cuando, las fuentes generadoras de estos efectos sean las mismas (Montalvo, 2015).

El mapa del campo magnético reducido al polo (**Figura 6**) ratifica la presencia en la zona norte, suroeste y sureste del área de estudio de rocas del AVC y Asociación Ofiolítica (Terreno Zaza, debido a la pre-

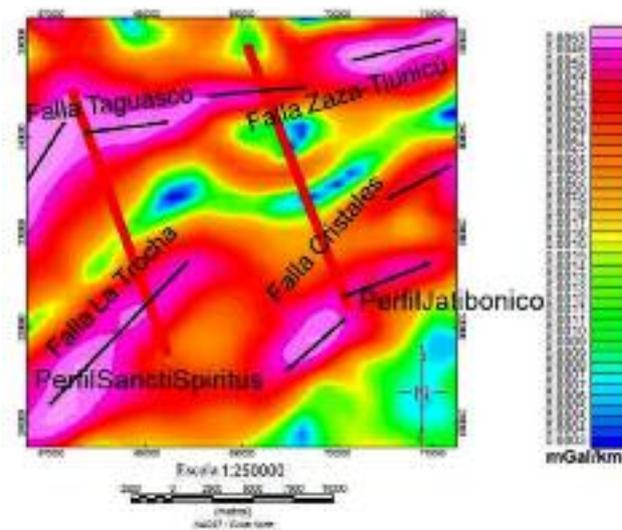


Figura 7. Localización de las fallas que delimitan la Cuenca Central sobre el mapa de la HDT del campo gravitacional.

sencia de anomalías positivas. También se muestra un mínimo bastante acentuado en la región central y que corresponde, con probabilidad, a los grandes espesores de sedimentos en la cuenca.

La DV (**Figura 8**) permitió observar la presencia en la zona de estudio de varios grupos de anomalías. Los máximos más intensos, que se localizan en la región sureste del área, presentan una elevada susceptibilidad magnética y un alto contraste de densidades, al compararse con el mapa de anomalías de *Bouguer*; esto es debido a la presencia de serpentinitas de la Asociación Ofiolítica.

En la zona noreste también se observa un máximo muy intenso, que corresponde igual, a la presencia de estas serpentinitas en superficie (Colectivo de Autores, 2010). En la zona norte se encuentra un grupo de máximos de una menor intensidad del campo magnético, que es debido a la presencia de rocas del AVC, como tobas y rocas efusivas, las cuales afloran hacia el norte.

Dentro de la zona de la cuenca, al sur del pozo Jatibonico 78, se encuentra otro máximo, bastante visible debido al comportamiento de mínimo que presenta la Cuenca Central de Cuba, cuya causa probable, sea un levantamiento de las tobas y rocas efusivas del AVC.

Al suroeste, luego de realizar una correlación con los valores del campo gravitacional, se determinó que la anomalía positiva existente en la DV del campo magnético reducido al polo, respondía a la presencia de serpentinitas. Al oeste hay presencia de una anomalía, de poca intensidad y de una baja densidad, cuando se correlaciona con los mapas de campo gravitacional, causada con mucha probabilidad, por la presencia de tobas en esa zona.

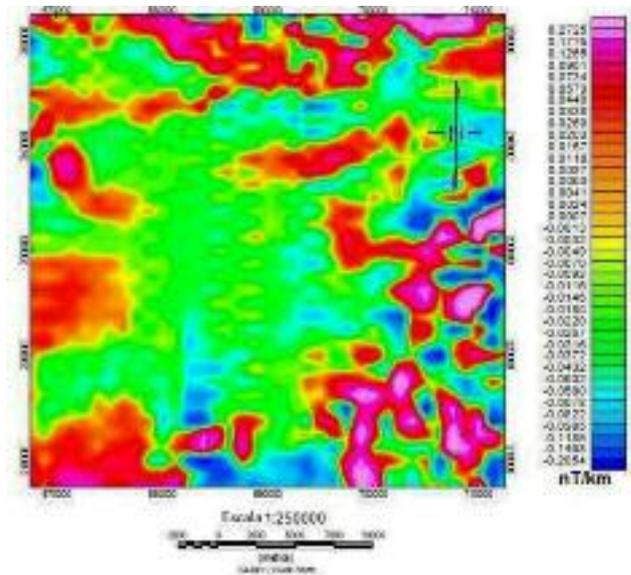


Figura 8. Derivada Vertical del campo magnético reducido al polo.

2.3. Modelación 2D de campos potenciales

En la confección de los modelos se partió de los mapas de campos potenciales, los datos geofísicos de pozo, de los resultados brindados por la sísmica de reflexión disponible, el mapa geológico del área de estudio y los informes geológicos y geofísicos. A fin de definir la profundidad de estudio se determinó el tope del basamento por la sísmica de refracción, el cual se estableció entre los 8 a 10 km de profundidad (Arriaza Fernández, 1998).

La selección de las densidades se tomó del análisis estadístico realizado en los pozos de la Cuenca Central (Morales González *et al.*, 2020). Los parámetros de susceptibilidad magnética se tomaron de Pérez-Delgado *et al.* (2015) y de Pardo Echarte (2016).

Se sabe por la información geológica de cuencas, que las formaciones características pertenecientes a la etapa post-orogénica son la Formación Peñón y Güines. Estas formaciones presentan valores medios de densidad que oscilan entre los 2.45 y 2.47 t/m³ (Morales-González, Rodríguez Morán y Pardo Echarte, 2020).

La **Tabla 1** contiene para la densidad [g/cm³] de las rocas de cada unidad geológica, los valores del número de muestras, media, varianza y el límite inferior y superior del intervalo de confianza para un nivel de significancia de un 90 %.

Los modelos se realizaron según los perfiles

OBJETOS GEOLÓGICOS								
PARÁMETROS ESTADÍSTICOS		Sedimentos postorogénicos	Sedimentos sinorogénicos	Tobas	Efusivos	Ofolitas	Carbonatos	Basamento
Número muestras			344	559	308	53	61	52
Media		2.460	2.271	2.225	2.404	2.516	2.658	2.781
Varianza		---	0.069	0.051	0.050	0.055	0.023	0.003
Intervalo de confianza	Límite inferior	2.440	2.207	2.207	2.379	2.452	2.642	2.765
	Límite superior	2.480	2.244	2.244	2.429	2.579	2.674	2.797

Tabla 1. Resultados estadísticos de cada uno de los objetos geológicos (Morales-González, Rodríguez Morán y Pardo Echarte, 2020).

trazados (**Figura 9**) según el modelo inicial, en el que se encuentra el pozo Jatibonico 78 (Sector de Jatibonico); y con posterioridad, en el modelo perteneciente a la región de Sancti Spíritus (Sector de Sancti Spíritus)

2.3.1. Modelo de Jatibonico

El primer modelo fue el del sector de Jatibonico (**Figura 10**) en el cual se tenían los datos de los pozos Jatibonico Sur y Jatibonico 78, con que se pudieron definir los topes reales de varias litologías y que sirvió como amarre. Este modelo tuvo un Error Medio Cuadrático (EMC) del campo gravitacional (suma de los cuadrados de las diferencias de los datos calculados respecto a los datos observados) de 0.69.

Los sedimentos del postorogénico, en casi todo el modelo, se mantuvieron con pequeños espesores que nunca superaron los 2 000 m, con presencia casi nula en la región norte del modelo. Los sedimentos del sinorogénico, presentan sus mayores espesores en la zona sur, con espesores de hasta 2 500 m; y también, en la práctica, desaparecen al norte del modelo de estudio, debido al levantamiento en esa región del AVC y de la Asociación Ofiolítica.

Hay presencia de tobas y rocas efusivas en todo el modelo, presentes en grandes paquetes litológicos con espesores de hasta varios kilómetros. En la dirección más al norte del modelo, lo cual se correlaciona con los datos del mapa geológico (Colectivo de Autores, 2010).

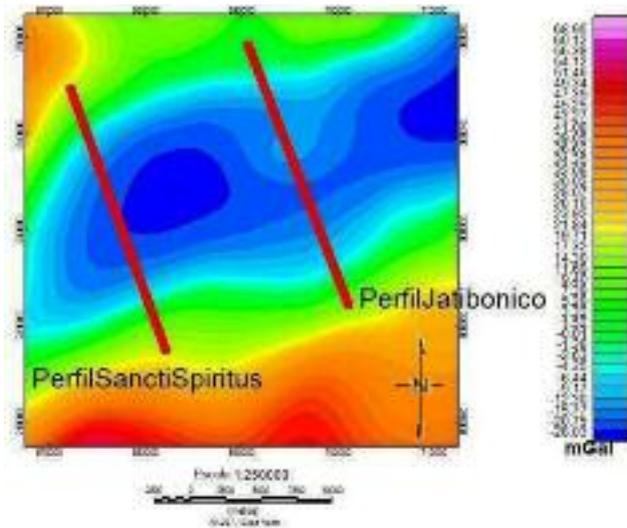


Figura 9. Ubicación de los perfiles trazados para la realización modelos físico-geológicos 2D sobre el mapa de anomalías de *Bouguer* en el sector suroccidental de la Cuenca Central.

Por otro lado, la Asociación Ofiolítica posee una gran potencia al norte del modelo, donde existe un levantamiento de este complejo y se supone, que llegue hasta 5 000 m de espesor. Los carbonatos de las UTEs Placetas y Camajuaní, de los cuales se supone la existencia en esta zona, según Rifá (2012), Cruz-Orosa (2012) y Prol *et al.* (2015) se encuentran presentes a lo largo de todo el modelo, al aumentar su espesor de sur a norte y ser estos inversamente proporcional a los espesores del Terreno Zaza. Por su lado, el basamento aumenta su profundidad de norte a sur, al presentar su tope máximo a los 7 000 m, en el punto que se encuentra el pozo Jatibonico 78.

El modelo está afectado en gran medida por eventos tectónicos, como lo manifiesta la presencia de las fallas Cristales al sur y Zaza-Tuinicú al norte, además de una falla presente entre los pozos Jatibonico Sur y Jatibonico 78; pero el rasgo más definitorio de la región, es el levantamiento de los cuerpos existente donde se localiza el pozo Jatibonico 78. Este es provocado por la presencia de un pliegue anticlinal o un horst, que eleva a los carbonatos de Placetas en la zona, lo cual supone un levantamiento proveniente desde el basamento en la zona.

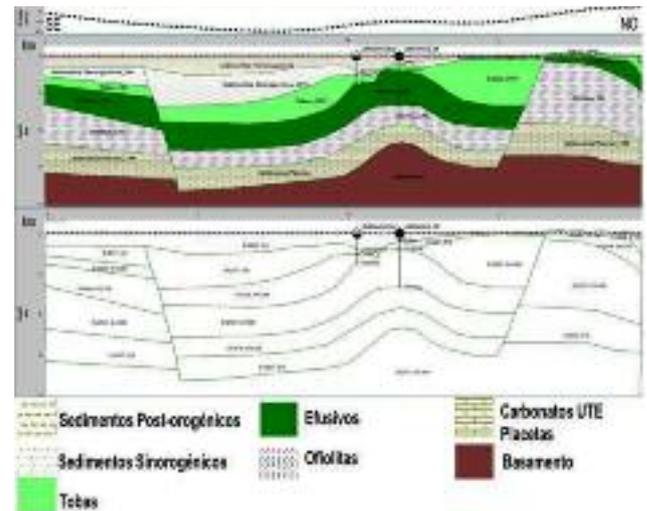


Figura 10. Modelo físico-geológico 2D del sector de Jatibonico.

2.3.2. Modelo de Sancti Spiritus

El modelo del sector de Sancti Spiritus (Figura 12) presentó como apoyo fundamental para definir el tope de las distintas rocas existentes la interpretación sísmica de esa región elaborada por Cruz-Orosa (2012) (Figura 11) en la cual se aprecia el comportamiento del sector de Sancti Spiritus como un semigraben y un pozo sintético denominado *Perfil_Long*, localizado en el centro del modelo. El EMC del campo gravitacional en el modelo fue de 0.82.

Los sedimentos del postorogénico en esta zona son de mayor potencia con espesores máximos al sur del modelo de hasta 2 900 m, disminuyendo hacia el norte. Los sedimentos sinorogénicos son de muy poca potencia en la región sur, luego presentan espesores máximos de hasta 1 500 m en la zona central y desaparecen en gran medida al norte del modelo.

Las tobas y las rocas efusivas (AVC) presentan mínimos espesores en la zona sur, al ser mayores hacia el centro con variadas potencias de entre 1 000 y 2 000 metros y desaparecer en la zona más al norte del modelo. La Asociación Ofiolítica, por su lado, presenta amplios espesores en casi todo el corte, con un máximo en la zona más al norte del modelo, de 5 000 m de aproximadamente.

Los carbonatos de las UTE Placetas y Cama-

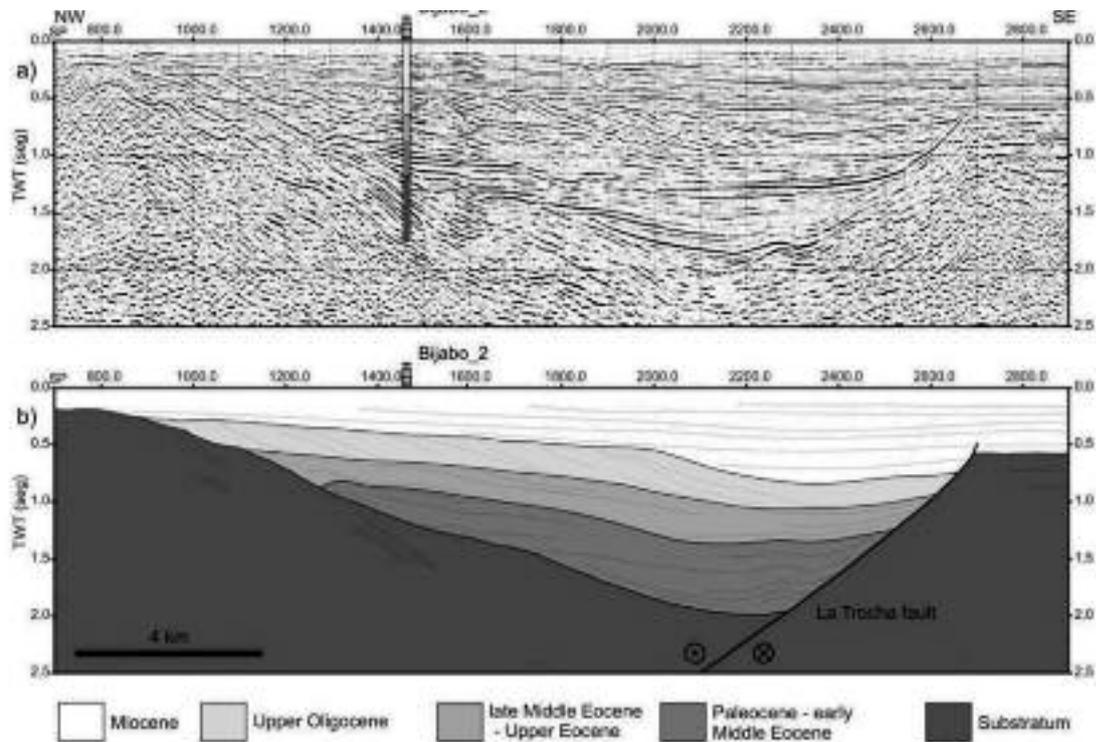


Figura 11. a) Sección sísmica NO-SE b) Modelo geológico de la zona sur del Sistema de Fallas la Trocha al mostrar un semigraben asociado a la falla La Trocha. Interpretación basada en los datos del pozo Bijabo_2 (Cruz Orosa, 2012).

juaní (?) también se encuentran presentes en todo el corte, con un espesor aproximado de entre las fallas de 1 500 m; estos al igual que en el modelo anterior, aumentan de sur a norte, lo cual es inverso al espesor del Terreno Zaza, que aumenta hacia el sur de la región.

La zona posee gran presencia de eventos tectónicos. Existe la presencia de las fallas La Trocha al sur y Taguasco al norte. Hay un gran levantamiento de las serpentinitas de la Asociación Ofiolítica, de los carbonatos de Placetas y con ellos del basamento al norte, delimitado por la falla Taguasco y por otra falla de la zona. Hay presencia de otra falla, que solo corta hasta las tobas, entre el pozo sintético y la falla Taguasco.

Debido al aumento de los carbonatos de la UTE Placetas hacia el norte de la zona de estudio, se considera que esa sería la zona más favorable para futuros trabajos, de búsqueda y prospección de hidrocarburos en la región de Cuenca Central, Cuba.

3. CONCLUSIONES

El procesamiento de los mapas de los campos poten-

ciales permitió la interpretación de algunos de los eventos tectónicos que caracterizan a la Cuenca Central de Cuba, como el Sistema de Fallas La Trocha. Además, se identificó un levantamiento de los cuerpos en la zona de Jatibonico caracterizado por un máximo gravimétrico y magnético. Esta anomalía tiene como causa más probable el levantamiento de los cuerpos, producto a un plegamiento o un horst en el basamento.

La obtención de los modelos físico-geológicos 2D de campos potenciales permitió visualizar de forma espacial los distintos cuerpos geológicos presentes en la Cuenca Central, así como la distribución de los diferentes paquetes litológicos que la conforman. Mediante estos se pudo observar que los carbonatos de las UTEs Placetas y Camajuaní aumentan su espesor de sur a norte según la dirección de los modelos, mientras que los espesores de las rocas del Terreno Zaza (tobas y las rocas efusivas del AVC y las ofiolitas de la Asociación Ofiolítica) aumentan hacia el sur al igual que el basamento en los modelos.

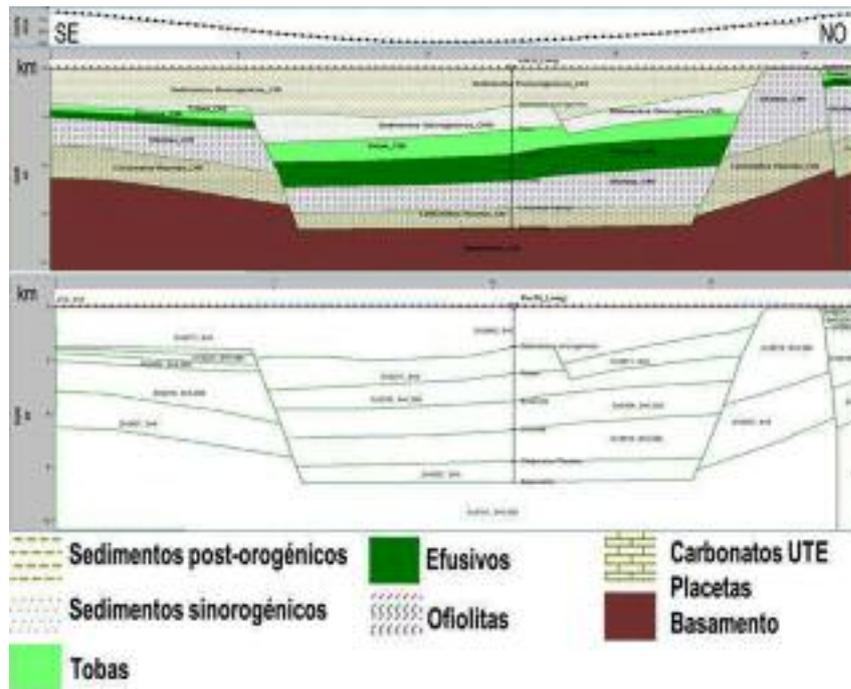


Figura 12. Modelo físico-geológico 2D del sector de Sancti Spiritus.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo, R. J., Elizalde, J. D., Méndez, I. B., Rivera, M. y Ticas, J. A., 2015, Caracterización de estructuras geológicas de un área geotérmica mediante la aplicación integrada de las técnicas de mapeo térmico, magnetometría y gravimetría. Programa Regional de Entrenamiento Geotérmico (PREG). Diplomado de especialización en Geotermia-2015, Universidad de El Salvador.

Arriaza Fernández, G. L., 1998, Nuevos enfoques en la interpretación y procesamiento de las ondas refractadas para el estudio del Basamento en Cuba. Tesis en opción al grado de Doctor (inédita), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. Facultad de Civil. Departamento de Geociencias, La Habana, Cuba.

Ayala, C. y Rey, C., 2009, Establecimiento de bases metodológicas para la obtención de cartografía gravimétrica 1:50 000. Aplicación a la modelización 2D y 3D en varias zonas de la Península Ibérica.

Cobiella, J. L., 2015, Mapa tectónico del basamento de Cuba. La Habana, Cuba: Instituto de Geología y Paleontología (IGP).

Cobiella-Reguera, J. L., 2021, Monografía Geología de Cuba, Springer.

Colectivo de Autores, 2010, Mapa Geológico Digital de Cuba a escala 1:100 000. La Habana, Cuba: Instituto de Geología y Paleontología (IGP).

Cruz Orosa, I., 2012, Las cuencas sinorogénicas como registro de la evolución del orógeno cubano: implicaciones para la exploración de hidrocarburos. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Geológicas (inédita). Universidad de Barcelona, España.

Dentith, M. y Mudge, S. T., 2014, Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist. New York: Cambridge University Press.

Griem, W., 2018, Apuntes de Geología General: Métodos Geofísico II [en línea], 2018. Disponible en: www.geovirtual2.cl. Consultado en noviembre.

Iparraguirre Peña, J. L. y Martínez Rojas, E., 2017, Posibilidades gasopetrolíferas de horizontes profundos en el sector Jatibonico Reforma. VII Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, Geociencias 2017, La Habana, Cuba.

- Lince, F., León, M., Martínez, P., Weidmann, C., Anci, S. y Álvarez, O.**, 2014, Modelo geofísico con datos gravimétricos y aeromagnetométricos en el borde noreste del macizo norpatagónico, Río Negro, Argentina. *Geoacta*, 39, 51-61.
- Longo, L.**, 2017, Caracterización de la estructura del complejo volcánico Auca Mahuida mediante datos aeromagnéticos y gravimétricos. Tesis en opción al grado de Doctor (inédita), Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina.
- Martínez, E., Yparraguirre, J. L., Gómez, R., Sterling, N., Prol, L., Capote, C., Cruz, R., García, R., Toucet, S., Amador, H., López, O. y Perera.**, 2007, Configuración tectono-estructural de la región noreste de la Cuenca Central: una visión preliminar. I Congreso Cubano de Petróleo y Gas. La Habana, Cuba.
- Martínez, E., Yparraguirre, J. L., Sterling, N., Veiga, C. y Toucet, S.**, 2008, Actualización de los datos integrados del Bloque 21A. Perspectivas gasopetrolíferas (sísmica terrestre 2D).
- Mondelo, F. R.**, 2011, Mapas geofísicos regionales de gravimetría, magnetometría, intensidad y espectrometría gamma de la República de Cuba, escalas 1:2 000 000 hasta 1:50 000 La Habana: IGP.
- Montalvo, A.**, 2015, Determinación de la base de cuerpos magnéticos del Arco volcánico Cretácico y las ofiolitas al norte de las provincias de Camagüey-Las Tunas, Cuba. Tesis en opción al grado de Ingeniero Geofísico (inédita), Universidad Tecnológica de La Habana «José Antonio Echeverría», La Habana.
- Morales-González, J.** Propuesta de sectores perspectivas para depósitos de hidrocarburos en la zona de Majaguillar-Martí. Tesis en opción al grado de Ingeniero Geofísico (inédita), Universidad Tecnológica de La Habana «José Antonio Echeverría», La Habana, Cuba, 2016.
- Morales-González, J., Rodríguez-Morán, O., Pardo-Echarte, M. E.**, 2020, Análisis estadístico de las densidades de las rocas de las principales unidades geológicas del suroeste de la Cuenca Central, Cuba. *Revista Geociencias UO*. v3, núm. 2, diciembre 2020. pp. 99-108.
- Pardo Echarte, M. E.**, 2016, Generalización Petrofísica de la provincia Matanzas. Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET), La Habana, Cuba.
- Parker, R. L.**, 1972, The rapid calculation of potential anomalies. *Journal Geophysical Research*, pag 447-455.
- Pérez-Delgado, P. H., Fuentes-Rodríguez, M.**, 2015, Sistematización de las propiedades físicas de la región central de Cuba. Instituto de Geología y Paleontología. Servicio Geológico de Cuba. La Habana, Cuba.
- Prol, L., Rifá, M. y Miró, G.**, 2015, Ubicación de zonas favorables para la exploración petrolera a partir del estudio de los campos potenciales en el sector Esmeralda, Cuba. *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 17, 81-96.
- Rifá, M.**, 2012, Ubicación de los sectores elevados de los sedimentos del margen continental en la Cuenca Central, Cuba. Tesis en opción al grado de Master en Geofísica Aplicada (inédita), Universidad Tecnológica de La Habana «José Antonio Echeverría», CUJAE.
- Rifá, M. y Prol, L.**, 2013, Argumentos geofísicos acerca del margen continental en la Cuenca Central de Cuba. VII Congreso Cubano de Geofísica.
- Zambrana, H. y Martínez, E.**, 2002, Tratamiento de los datos 2D marinos en la parte central de Cuba. II Congreso Cubano de Geofísica. La Habana, Cuba.