

## Resultados de los Métodos de Exploración no Sísmica en la región Habana-Matanzas, Cuba

Manuel Enrique Pardo Echarte<sup>1</sup> y Lourdes Jiménez de la Fuente<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET). Churrucá, No.481, e/ Vía Blanca y Washington, El Cerro. C. P. 12000. La Habana, Cuba. E-mail: pardo@ceinpet.cupet.cu.

### RESUMEN

Se ofrece una versión de la cartografía geólogo-estructural de la región de estudio en base a los datos gravi-magnéticos y, de la cartografía de sectores de interés gasopetrolífero vinculados al petróleo convencional de la Unidad Tectono-Estratigráfica Placetas a partir de la presencia de un complejo de anomalías indicadoras. Los materiales fuentes lo constituyen: los mapas gravimétrico (reducción Bouguer 2.3 t/m<sup>3</sup>) y aeromagnético (reducido al polo) a escala 1:50 000; los mapas aerogammaespectrométricos (canales K, Th y U(Ra)) a escala 1:100 000; el Modelo de Elevación Digital (90 x 90 m) y; un mapa de resultados de la teledetección para la búsqueda de sectores gasopetrolíferos prospectivos en la región de Guanabo-Seboruco. El procesamiento consistió en la separación regional-residual de los campos gravimétrico y morfométrico, en el cálculo de la derivada de la inclinación del campo magnético y de la relación de los canales espectrométricos K/Th. El complejo anómalo indicador considera los siguientes atributos: máximos gravimétricos locales de baja amplitud; mínimos de la relación K/Th y máximos locales de U (Ra) en su periferia; máximos locales del relieve residual y anomalías de teledetección. Este resultado constituye un complemento de información no sísmica imprescindible para la necesaria integración geólogo-geofísica-geoquímica-morfométrica del territorio. Como resultado de la cartografía geólogo-estructural a partir de los datos gravi-magnéticos se puede observar una amplia distribución del Terreno Zaza (volcánico+ofiolitas) en la región de estudio. Las principales depresiones estructurales se concentran a lo largo de una franja de dirección latitudinal que abarca las localidades

siguientes (de Este a Oeste): Suroeste de Bahía de Matanzas, Ceiba Mocha, Aguacate, Bainoa, Tapaste, Cuatro Caminos, Managua y Santiago de las Vegas. Sobre la base de las estimaciones a partir del campo magnético reducido al polo, la profundidad al tope de un objetivo localizado al Oeste de Bainoa, dentro de esta franja, es de 1 350 - 1 450 m, lo que da una idea de la potencia sedimentaria en la misma. Existe otra depresión importante, de rumbo transversal (N-S) a la franja anterior, que pasa por la localidad de San José de las Lajas. Otra depresión estructural tiene una clara expresión en el mínimo gravi-magnético de Punta Rubalcava al NNE de Matanzas. Los resultados de la cartografía prospectiva integrada consideran, en un primer nivel de prospectividad, las localidades (Boca de Jaruco, Jibacoa del Norte y Este de Aguacate) donde aparecen todas las anomalías (atributos) estudiadas con excepción de las morfométricas. En un segundo nivel de prospectividad se consideran las localidades que corresponden a la combinación de dos tipos de anomalías diferentes (11 localidades).

**Palabras claves:** Gravimetría; aeromagnetometría; aerogammaespectrometría; morfometría; teledetección; cartografía geólogo-estructural; cartografía prospectiva integrada; exploración no sísmica; métodos no convencionales de exploración de hidrocarburos.

### ABSTRACT

A version of the geo-structural mapping of the study region, based on the gravitational-magnetic data and the mapping of sectors of gasopetroliferous interest, linked to the conventional oil of the Placetas Tectonic-Strati-

graphic Unit, is offered, based on the presence of a complex of indicator anomalies. The source materials are: the gravimetric (Bouguer reduction  $2.3 \text{ t / m}^3$ ) and aeromagnetic (reduced to the pole) maps at a scale of 1:50 000; airborne gamma spectrometry maps (channels K, Th and U(Ra)) at scale 1:100 000; the Digital Elevation Model (90 x 90 m) and; a results map of remote sensing for the search of perspective gasopetroliferous sectors in the region of Guanabo-Seboruco. The processing consisted in the regional-residual separation of the gravimetric and morphometric fields, the calculation of the derivative of the inclination of the magnetic field and of the ratio of the K/Th spectrometry channels. The anomalous indicator complex considers the following attributes: low-amplitude local gravimetric maxima; minimum K/Th ratio and local maximums of U(Ra) at its periphery; local maximums of residual relief and remote sensing anomalies. This result is a complement of non-seismic information essential for the necessary geological-geo-physical-geochemical-morphometric integration of the territory. As a result of the geo-structural mapping from the gravimagnetic data, a wide distribution of the Zaza Terrain (volcanic + ophiolites) can be observed in the study region. The main structural depressions are concentrated along a latitudinal strip that covers the following locations (from East to West): Southwest of Matanzas Bay, Ceiba Mocha, Aguacate, Bainoa, Tapaste, Cuatro Caminos, Managua and Santiago de las Vegas. Based on estimates of the reduced at the pole magnetic field, the depth at the top of a target located to the west of Bainoa, within this strip, is 1 350 - 1 450 m, which gives an idea of its sedimentary thickness. There is another major depression, from transversal (N-S) to the previous strip, passing through the town of San José de las Lajas. Another structural depression has a clear expression in the gravi-magnetic minimum of Punta Rubalcava to the NNE of Matanzas. The results of the integrated prospective cartography consider, in a first level of perspective, the localities (Boca de Jaruco, Jibacoa del Norte and Este de Aguacate) where all the studied anomalies (attributes) with the exception of the morphometric ones appear. In a second level of perspective the localities that correspond to the combination of two types of different anomalies (11 localities) are considered.

**Keywords:** Gravimetry; airborne magnetics; airborne gamma spectrometry; morphometry; remote sensing; ge-

ological-structural mapping; integrated prospective mapping; non-seismic exploration; unconventional methods of hydrocarbon exploration.

## RESUMO

Uma versão do mapeamento geoestrutural da região de estudo, com base nos dados gravitacionais-magnéticos e no mapeamento de setores de interesse gasopetroliferous, ligada ao óleo convencional da Unidade Tectono-Estratigráfica Placetas é oferecida, com base na presença de um complexo de anomalias de indicadores. Os materiais de origem são: os mapa gravimétrico (redução de Bouguer  $2,3 \text{ t / m}^3$ ) e aeromagnético (reduzido ao pólo) na escala 1:50 000; mapas aerogammaspectrométricos (canais K, Th e U(Ra)) na escala 1:100 000; Modelo Digital de Elevação (90 x 90 m) e; um mapa de resultados de sensoriamento remoto para a busca de sectores de perspectiva gaso-petroléira na região de Guanabo-Seboruco. O processamento consistiu na separação regional-residual dos campos gravimétrico e morfométrico, no cálculo da derivada da inclinação do campo magnético e da relação dos canais espectrométricos K/Th. O complexo indicador anômalo considera os seguintes atributos: máximos gravimétricos locais de baixa amplitude; mínimo da relação K/Th e máximos U(Ra) locais na sua periferia; alívio local residual e anomalias de sensoriamento remoto. Este resultado é um complemento de informação não sísmica essencial para a necessária integração geológico-geofísica-geoquímico-morfométrica do território. Como resultado do mapeamento geoestrutural dos dados gravimagnéticos, podemos observar uma ampla distribuição do Zaza Terrain (volcanic + ophiolites) na região de estudo. As principais depressões estruturais são concentradas ao longo de uma franja de direção latitudinal que cobre os seguintes locais (do leste ao oeste): Sudoeste da Baía de Matanzas, Ceiba Mocha, Aguacate, Bainoa, Tapaste, Cuatro Caminos, Manágua e Santiago das Vegas. Com base nas estimativas do campo magnético reduzido no pólo, a profundidade no topo de um alvo localizado a oeste de Bainoa, dentro desse faixa, é de 1 350 - 1 450 m, o que dá uma idéia do poder sedimentar em a mesma. Há outra grande depressão, desde um curso transversal (N-S) até a faixa anterior, que passa pela cidade de San José de las Lajas. Outra depressão estrutural tem uma clara expressão no mínimo gravimétrico de Punta Rubalcava para o NNE de Matanzas. Os resultados da cartografia prospectiva integrada consideram, em um primeiro nível de

perspectiva, as localidades (Boca de Jaruco, Jibacoa del Norte e Aguacate Este), onde aparecem todas as anomalias (atributos), com exceção das imagens morfométricas. Em um segundo nível de perspectiva, são consideradas as localidades que correspondem à combinação de dois tipos de diferentes anomalias (11 localidades).

**Palavras-chave:** Gravimetria; aeromagnetometria; aerogammaspectrometria; morfometria; sensoriamento remoto; mapeamento geológico-estrutural; mapeamento prospectivo integrado; exploração não sísmica; métodos não convencionais de exploração de hidrocarbonetos.

## 1.0 INTRODUCCIÓN

### 1.1 Ubicación geográfica y características geológicas

El área de estudio pertenece a la región de Habana-Matanzas, comprendida entre Morro-Cabañas y la Bahía de Matanzas, dentro de los límites aproximados de las coordenadas Lambert Cuba Norte X: 361 000-451 000; Y: 339 000-375 000.

La región de Habana-Matanzas, comprendida entre Morro-Cabañas y Varadero-Cárdenas, es conocida también con el nombre de Franja Norte Petrolera Cubana (FNPC). Según el Colectivo de Autores (2009), la FNPC abarca la faja costera de las provincias de La Habana y Matanzas, incluyendo el acuatorio adyacente, con unos 5 km de ancho y 150 km de largo, donde se han descubierto la mayoría y los más grandes yacimientos del país, aunque es posible que se extienda aún más hacia el Oeste y el Este.

En esta franja se descubrieron, a fines de la década de los 60', los dos yacimientos más grandes de Cuba (Varadero y Boca de Jaruco), aunque su extensión actual quedó establecida a partir de la década de los 90', en que con la participación de compañías extranjeras se realizaron diversas campañas de sísmica 2D y 3D. Estas revelaron un tren de estructuras a lo largo de la costa cuya perforación exploratoria confirmó los yacimientos Puerto Escondido-Canasí, Yumurí-Seboruco y la extensión al Oeste del yacimiento Varadero (Varadero Oeste).

Posteriormente se han descubierto otros yacimientos, por mencionar algunos: Santa Cruz, Tarará, Baccuranao, Jibacoa, Habana del Este y Morro-Cabañas. La densidad de los petróleos encontrados fluctúa entre 11° y 14° API, lográndose, a partir de la perforación dirigida con grandes ángulos (horizontal), pozos con entradas estables del orden de hasta 4 000 barriles/día.

La geología del subsuelo de estos sectores es una de las mejor conocidas del país. Según la fuente antes citada, se caracteriza por varios niveles de pliegues de rampa contra falla inversa de rocas del Margen Continental Norteamericano y su cobertura. Estos pliegues han sido probablemente complicados adicionalmente por accidentes de cizalla. Las rocas deformadas abarcan un intervalo de edad que va desde el Jurásico hasta el Eoceno. Los reservorios están representados por calizas intensamente fracturadas y lixiviadas cubiertas por un sello de arcillas del Paleoceno al Eoceno; ellas tienen sus análogos en los afloramientos de rocas del Margen Continental Norteamericano en Cuba Central (Unidad Tectono-Estratigráfica (UTE) Placetas). Los apilamientos de varios pliegues anticlinales de rampa es uno de los principales objetivos exploratorios. Estos conforman antiformalas que son cartografiables con mucha dificultad por la sísmica. La pobre imagen es el principal obstáculo para el desarrollo de los trabajos exploratorios; solo se observa como horizonte con alta definición dinámica el relacionado directamente con la envolvente de los pliegues escamas. De ahí, que el problema científico planteado a la investigación sea la necesidad de integración de la información geólogo-geofísica-geoquímica-morfométrica del territorio para elevar la efectividad geológica de la exploración y reducir sus riesgos.

### 1.2 Tarea Geológica

La tarea geológica planteada al procesamiento e interpretación geofísica-morfométrica de la región de estudio y objetivo general de la investigación, consiste en el establecimiento de sectores de interés gasopetrolífero vinculados al petróleo y el gas convencional de la UTE Placetas, a partir de la presencia de un complejo de anomalías geofísico-morfométricas indicadoras. Como otro objetivo se plantea realizar la cartografía geólogo-estructural del territorio. A tales fines, se procesa el campo gravimétrico y aeromagnético a escala 1:50 000, la aerogammaespectrometría (AGE) a escala 1:100 000 y el Modelo de Elevación Digital (MED) 90 x 90 m. Para la integración final se utiliza, como información complementaria, los resultados de la Teledetección (TDT) en el área de Guanabo-Seboruco (Jiménez, 2017).

## 2.0 MARCO TEÓRICO

### 2.1 Premisas Geológicas

Desde el punto de vista petrofísico, la tabla a continua-

ción (Tabla 1) muestra los resultados de la Generalización Petrofísica de la Provincia de Matanzas, la cual es muy parecida a la de La Habana. Según la misma, por la alta densidad de los carbonatos K-J, las elevaciones del tope de los mismos pueden causar máximos gravimétricos lo-

cales de baja amplitud. Por la Susceptibilidad Magnética no existen contrastes de importancia en la referida sección (con excepción de los efusivos y las ultrabasitas) por lo que solo se esperan anomalías vinculadas con estos objetivos.

Fm. Geol. o Unid. Geol.	Edad	Litología	Cantid. Muest.	Densidad (t/m <sup>3</sup> )			Suscept. Magnét. (10 <sup>-3</sup> SI)			
				Min	Max	Prom	Cantid. Muest.	Min	Max	Prom
Jaimanitas	Pleistoc.	Calizas coralinas	48	1.70	2.44	2.12	-	-	-	-
Güines	N <sub>1</sub> <sup>1-2</sup>	Calizas	1094	1.96	2.98	2.45	178	0	0.04	0.02
		Dolomitas	632	2.71	2.85	2.80	-	-	-	-
		Brechas calcáreas	13	2.50	3.17	2.81	13	0.1	2.39	0.34
Peñón	P <sub>2</sub> <sup>2</sup>	Biocalca-renitas y margas	13	2.03	2.70	2.45	53	0	0.54	-
Perla	P <sub>2</sub> <sup>1</sup>	Margas	68	1.48	2.84	2.11	97	0	0.54	0.05
Vía Blanca	K <sub>2</sub> <sup>op-ss</sup>	Flysch terrigeno	499	1.96	2.92	2.38	15	0	0.56	-
Carmita	K <sub>2</sub> <sup>cm-st</sup>	Calizas y silicitas	-	-	-	2.65	-	-	-	0.05
Amaro	K <sub>2</sub>	Brechas conglomerado calcáreo	32	2.44	2.70	2.58	32	0	0.34	0.16
		Silicitas y arcillas	17	1.85	2.63	2.32	5	0	5.29	-
Chirino	K <sub>1-2</sub>	Efusivos	-	-	-	2.57	-	-	-	8.71
		Tobas	-	2.45	2.60	-	-	0.16	18.30	5.43
Grupo Veloz	J <sub>3</sub> <sup>1</sup> -K <sub>1</sub> <sup>*</sup>	Calizas	152 / 62	1.92	2.70	2.28 / 2.57	214	0	0.16	0.03 / 2
		Areniscas	13	2.30	2.40	2.36	-	-	-	-
Constancia	J <sub>1-2</sub> -J <sub>3</sub>	Calizas y areniscas	-	-	-	2.65	-	-	-	-
		Serpentinitas	7/2	2.20	2.70	2.37 / 2.63	11/-	0.05	24.67	8.69 / -
Complejo Ofiolítico	Tr-J	Ultrabasitas	-	-	-	-	-	23.87	39.79	-

Tabla 1. Generalización Petrofísica de la Provincia de Matanzas (Pardo, 2016).

Desde el punto de vista de la Geoquímica Superficial, según Price (1985), Schumacher (1996), Saunders *et. al.*, (1999) y Pardo y Morán (2016), las Premisas Geológicas que fundamentan la aplicación de las técnicas geofísico-geoquímicas-morfométricas no convencionales de exploración son las siguientes:

- Las “Chimeneas Reductoras” son columnas de rocas mineralizadas por encima de los depósitos de hidrocarburos las cuales fue-

ron modificadas por la migración vertical de estos y/o por alguna otra asociación de especies reducidas (iones metálicos) los cuales "se oxidan", por acción microbiana, para crear un ambiente reductor.

- Los principales productos de la oxidación microbiana de los hidrocarburos (CO<sub>2</sub>) y de la reducción microbiana del azufre (H<sub>2</sub>S), cambian drásticamente el pH/eH del sistema.

Los cambios en pH/Eh resultan en cambios de la estabilidad mineral:

- Precipitación de diversos carbonatos.
- Descomposición de las arcillas (como consecuencia, aumentan las concentraciones de sílice y alúmina).
- Precipitación de la magnetita / maghemita, de los sulfuros de hierro (como la pirrotina y la griegita) o la coprecipitación del hierro y / o el manganeso con calcita en los cementos carbonatados sobre los depósitos de hidrocarburos.

La respuesta morfométrica, geofísica y geoquímica a los cambios de la estabilidad mineral anteriores es la siguiente:

- La mineralización secundaria de carbonato de calcio y la silicificación, resultan en materiales superficiales más densos y resistentes a la erosión (formación de anomalías geomórficas y máximos de resistividad).
- La descomposición de la arcilla es la responsable de los mínimos de radiación reportados sobre los yacimientos de petróleo: el potasio es lixiviado del sistema hacia los bordes de la proyección vertical del depósito de hidrocarburos, donde precipita resultando en un "halo" de valores altos. El thorio permanece relativamente fijo en su distribución original dentro de los minerales pesados insolubles; de ahí que sean observados mínimos de la relación K/Th rodeados de máximos sobre los depósitos gasopetrolíferos. En la periferia se observan máximos (incrementos) de U(Ra).
- La conversión de los minerales de hierro no magnéticos (óxidos y sulfuros) en variedades magnéticas más estables resulta en un aumento de la Susceptibilidad Magnética, correlacionable con el mínimo del Potencial Redox lo cual justifica la integración de ambas técnicas. También se observan anomalías de Polarización Inducida.
- El arribo a la superficie de los Iones Metálicos contenidos en los hidrocarburos (V,

Ni, Fe, Pb, y Zn, entre otros) condicionan la presencia de una sutil anomalía de estos elementos en el suelo. Estas anomalías son el principal indicador de la presencia de hidrocarburos en la profundidad.

### 3.0 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Información y sus Fuentes

Los materiales utilizados y sus fuentes son las siguientes:

- Mallas del campo gravimétrico y aeromagnético a escala 1:50 000 y aerogammaespectrométrico (canales: It, U, Th y K) a escala 1:100 000 de la República de Cuba (Mondelo *et al.*, 2011).
- El MED (90 x 90 m) 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>.
- Resultados de la Teledetección (TDT) para la búsqueda de sectores gasopetrolíferos prospectivos en la región de Guanabo-Seboruco (Jiménez, 2017).
- Mapa Geológico Digital de la República de Cuba a escala 1:100 000. Colectivo de Autores (2010).

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

### 4.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Procesamiento e interpretación de la información

El campo gravimétrico (Reducción Bouguer, 2.3 t/m<sup>3</sup>) se sometió a la separación regional-residual (a partir de la Continuación Analítica Ascendente (CAA)) para las alturas de 500, 2 000 y 6 000 m, dadas por el orden de profundidad de los posibles objetivos gasopetrolíferos y del estudio sísmico, aunque para el establecimiento de las anomalías locales positivas de baja amplitud, con un orden de profundidad de 500 - 1000 m, se utilizó la derivada vertical (DV) (Figura 1). En el campo local de esta figura, los máximos están asociados a la presencia del Terreno Zaza (volcánicos y ofiolitas) y, los mínimos, a depresiones estructurales. Los resultados de la cartografía gravimétrica (lineamientos y máximos locales) se presentan en la Figura 2.

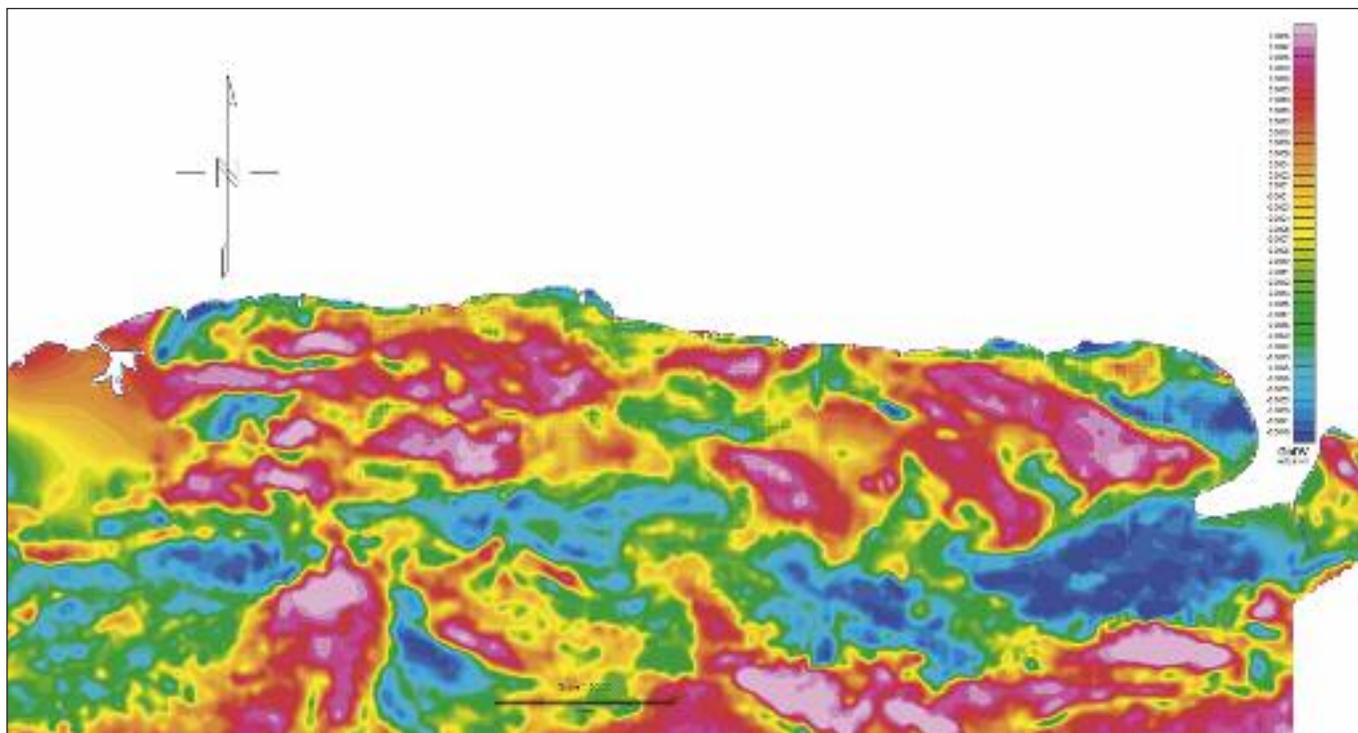


Figura 1. Campo gravimétrico local de la región de estudio a partir de la DV.

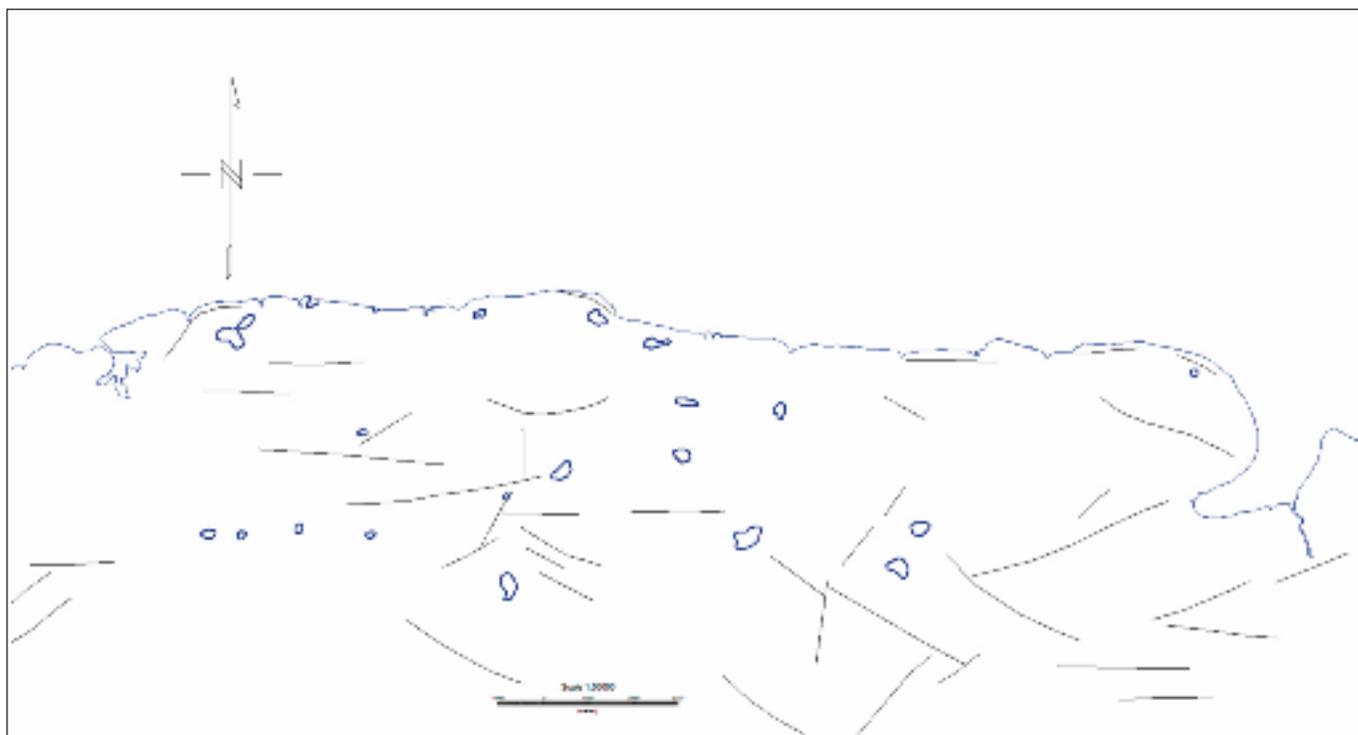


Figura 2. Resultados de la cartografía gravimétrica (lineamientos y máximos locales).

En la aeromagnetometría, la capacidad de cartografiar rasgos geólogo-estructurales se refuerza por la posibilidad de cartografiar anomalías de poca amplitud. Los

cuerpos intrusivos (granitoides) y protusivos (ofiolitas) a menudo se pueden distinguir directamente sobre la base de las observaciones magnéticas. Según Fairhead, *et al.*,

(2009), la derivada de la inclinación del campo magnético total y su derivada horizontal total son útiles para la cartografía estructural y la exploración. La derivada de la inclinación del campo se define como:

$$TDR = \arctan\left(\frac{VDR}{THDR}\right) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde, VDR y THDR son la primera derivada vertical y la derivada horizontal total, respectivamente, de la intensidad total magnética T, reducida al polo.

$$VDR = \frac{dT}{dzR} \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$THDR = \sqrt{\left(\frac{dT}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dT}{dy}\right)^2} \quad (\text{Ecuación 3})$$

La derivada horizontal total de la derivada de la inclinación se define como:

$$HD \ TDR = \sqrt{\left(\frac{dTDR}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dTDR}{dy}\right)^2} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Siendo coincidente el eje de las cadenas de máximos de este atributo con límites estructurales o lineamientos tectónicos.

La derivada de la inclinación del campo magnético reducido al polo permite la estimación de la profundidad hasta el tope de objetivos magnéticos, en nuestro caso, presumibles cuerpos ofiolíticos.

El campo aeromagnético se sometió a la Reducción al Polo (Figura 3). En el campo de la figura, los máximos están asociados a la presencia del Terreno Zaza (volcánicos y ofiolitas) y, los mínimos, a depresiones estructurales. Los resultados de la cartografía magnética (lineamientos) se presentan en la Figura 4.

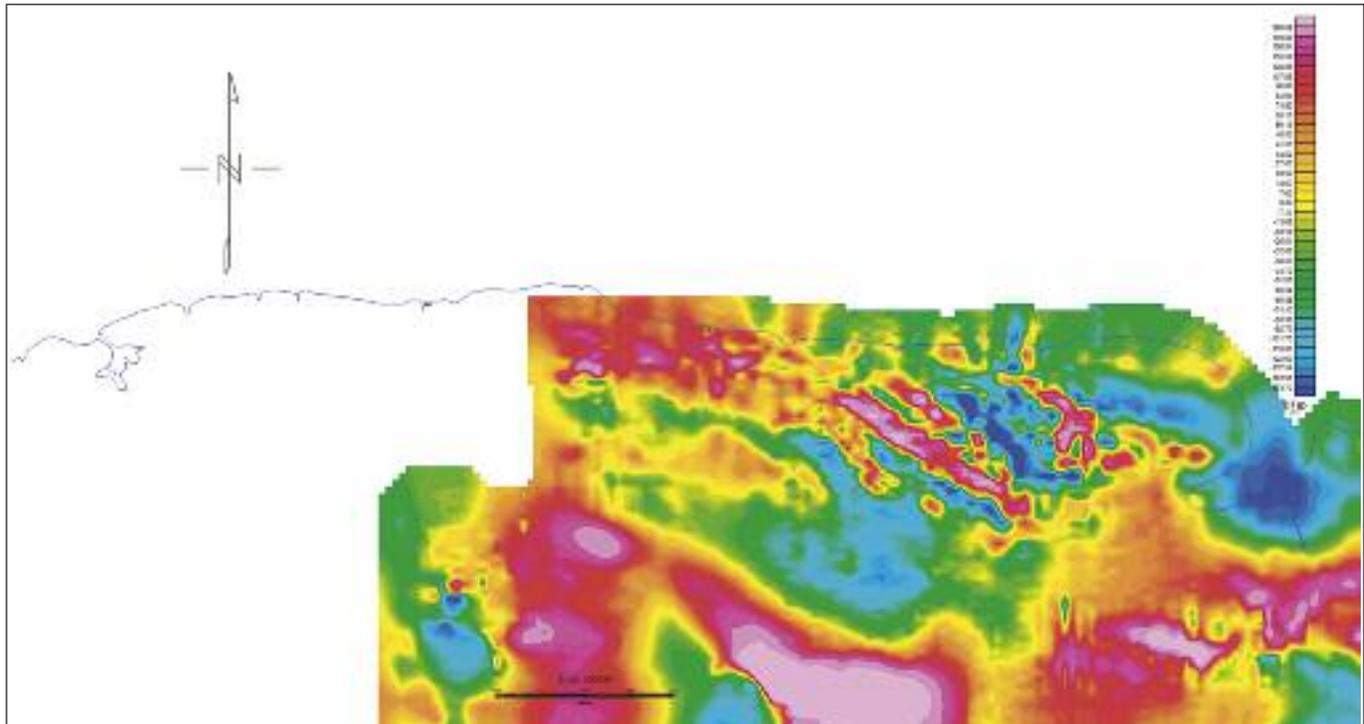


Figura 3. Campo aeromagnético Reducido al Polo de la región de estudio.

Para la aerogammaespectrometría (AGE) se determinó la relación K/Th, con el propósito de señalar los mínimos, presumiblemente vinculados con zonas activas de microfiltración de hidrocarburos ligeros, (Figura 5).

Los resultados de la cartografía AGE (mínimos de la relación K/Th y máximos locales de U(Ra) en su periferia) se presentan en la Figura 6.

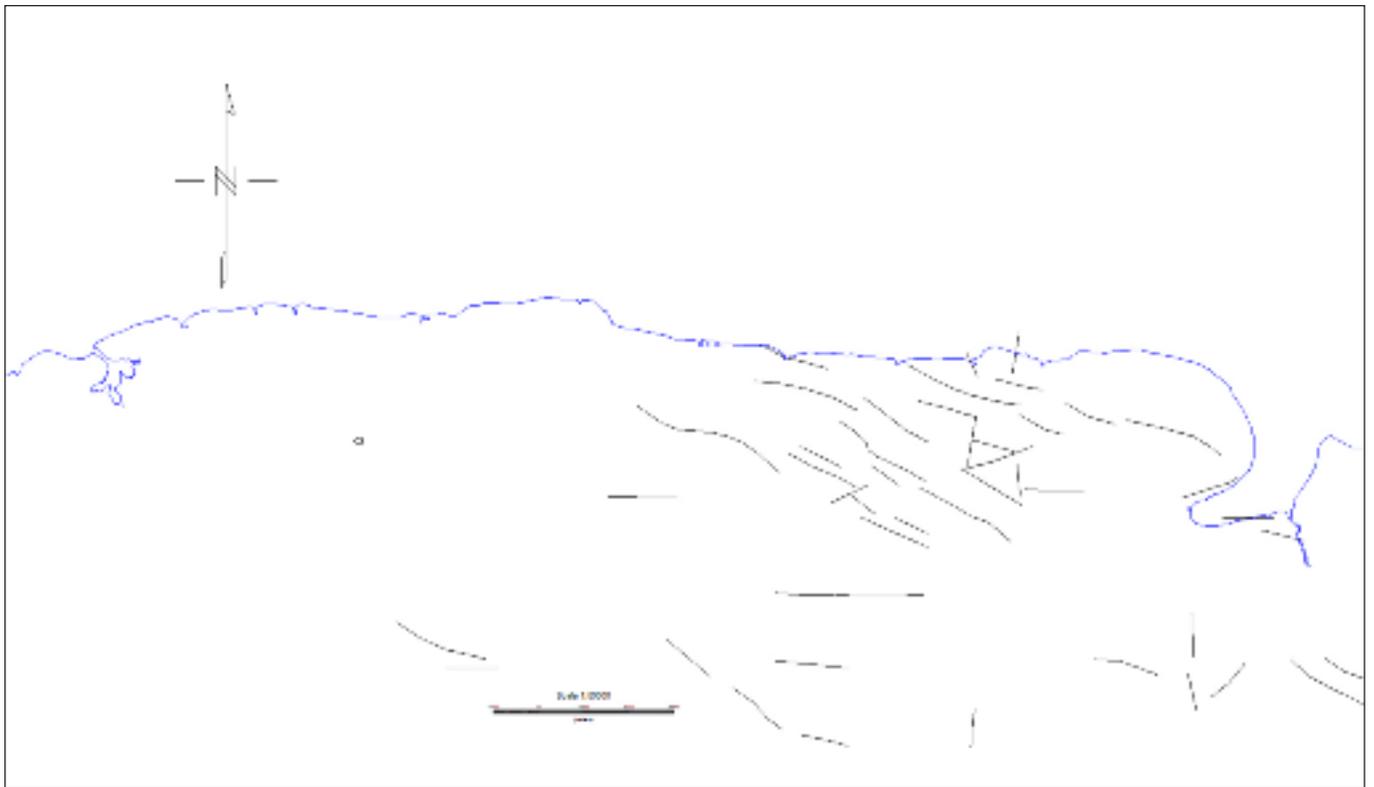


Figura 4. Resultados de la cartografía magnética (lineamientos).

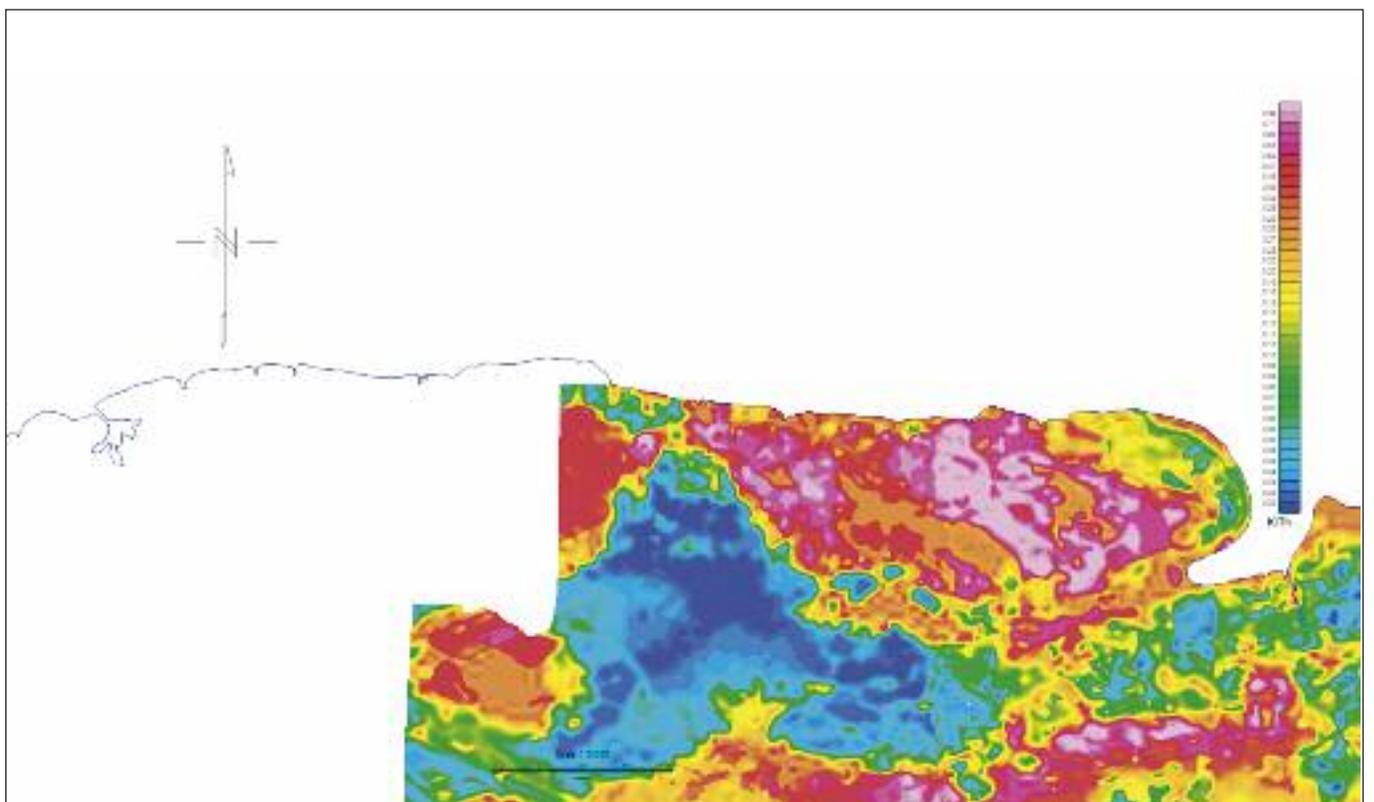


Figura 5. Relación K/Th de la región de estudio.

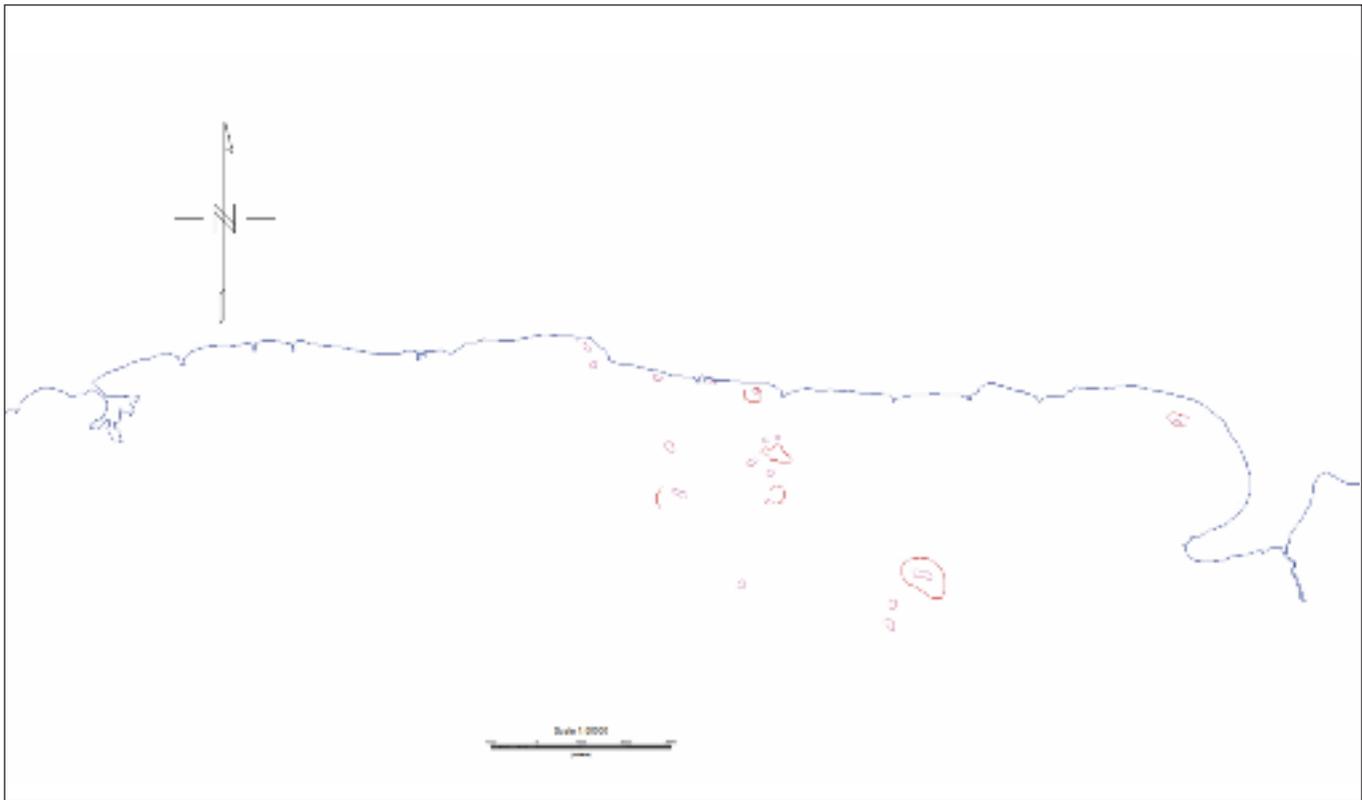


Figura 6. Resultados de la cartografía AGE (mínimos de la relación K/Th, en rojo, y máximos locales de U (Ra), en rosado).

El MED (90 x 90 m) se sometió a la separación regional-residual a partir de la CAA a 500 m, según la experiencia del autor, para señalar los máximos locales, vinculados con los procesos de ligera carbonatización y silicificación subsuperficiales que tienen lugar sobre la microfiltración activa de hidrocarburos ligeros (Figura 7). Los resultados de la cartografía morfométrica (lineamientos y máximos geomórficos locales) se presentan en la Figura 8.

En la TDT, según Jiménez (2017), se realizó la búsqueda y el procesamiento de las imágenes correspondientes a la región Guanabo-Seboruco comprendida entre las coordenadas X: 382000-446300 y Y: 338000-372000. Se trabajó con las escenas AST\_L1B\_00303132005161351\_20081014083203\_32336 y AST\_L1B\_00303012003160859\_20081014120752\_2085 del sensor Áster la cual se re proyectó al sistema de Cuba Norte según los parámetros establecidos. El procesamiento, consistió en la construcción de cocientes de bandas que respondieran a cambios litológicos y mineralógicos producidos por posibles acumulaciones de hidrocarburos en profundidad. Se construyeron los cocientes de bandas 2/1 y 4/9 que permitieron cartografiar zonas

con posibles alteraciones por óxidos férricos y por carbonatos, respectivamente. El área se dividió en dos zonas, Norte y Sur, en donde fueron cartografiadas anomalías que correspondieran con los criterios siguientes:

- Zona Norte (relacionada con los principales yacimientos gasopetrolíferos; anomalías de menores dimensiones): Valores máximos de cocientes de carbonatos y altos valores del cociente de hierro no relacionados con elementos antrópicos.
- Zona Sur (anomalías de mayores dimensiones): Valores medios-bajos de cociente de carbonatos y con altos valores del cociente de hierro no relacionados con elementos antrópicos.

Los resultados de la cartografía TDT (anomalías TDT) se presentan en la Figura 9.

Los lineamientos geofísicos y morfométricos (fundamentalmente, dislocaciones tectónicas de carácter regional) fueron trazados, fundamentalmente, a partir del mapa de la DV del campo aeromagnético y gravimétrico

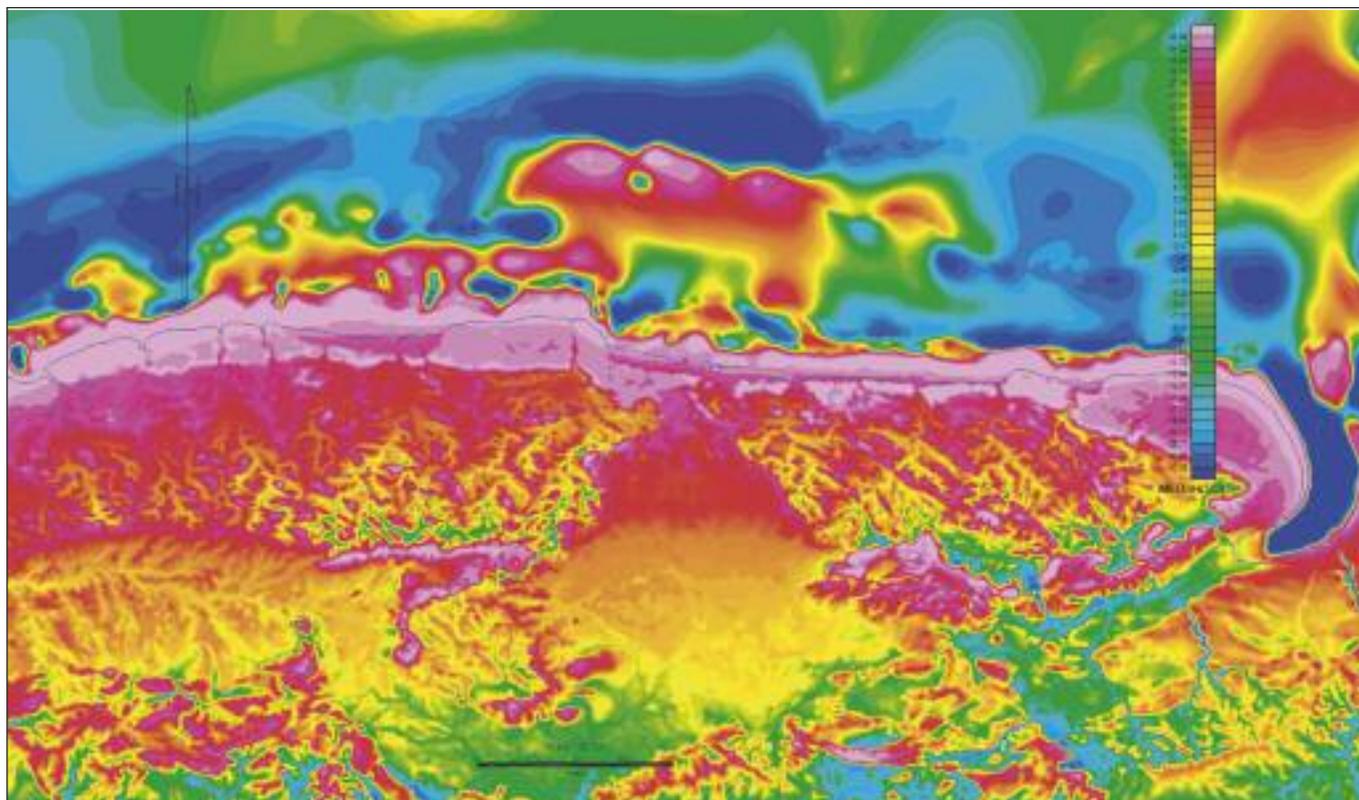


Figura 7. MED (90 x 90 m) residual a 500 m de la región de estudio.

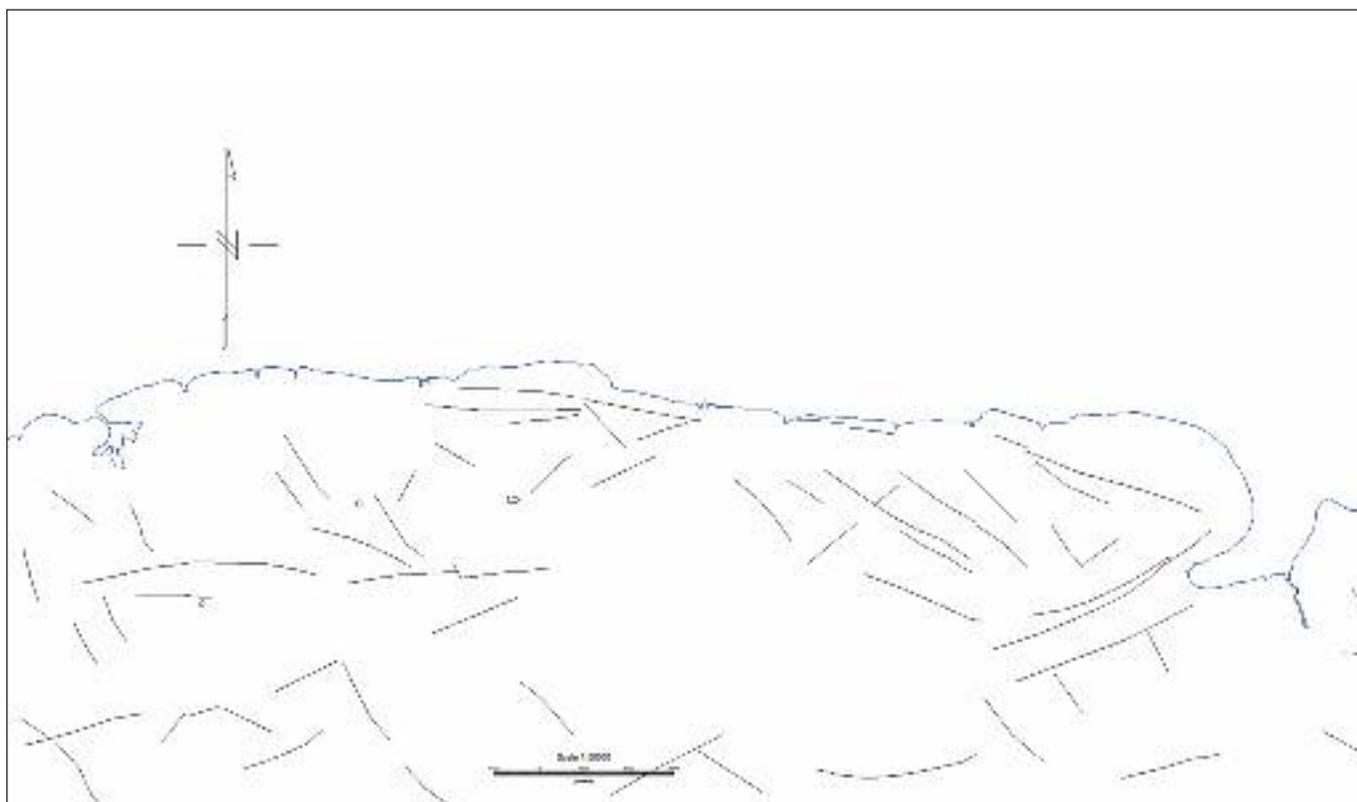


Figura 8. Resultados de la cartografía morfométrica (lineamientos y máximos geomórficos locales).

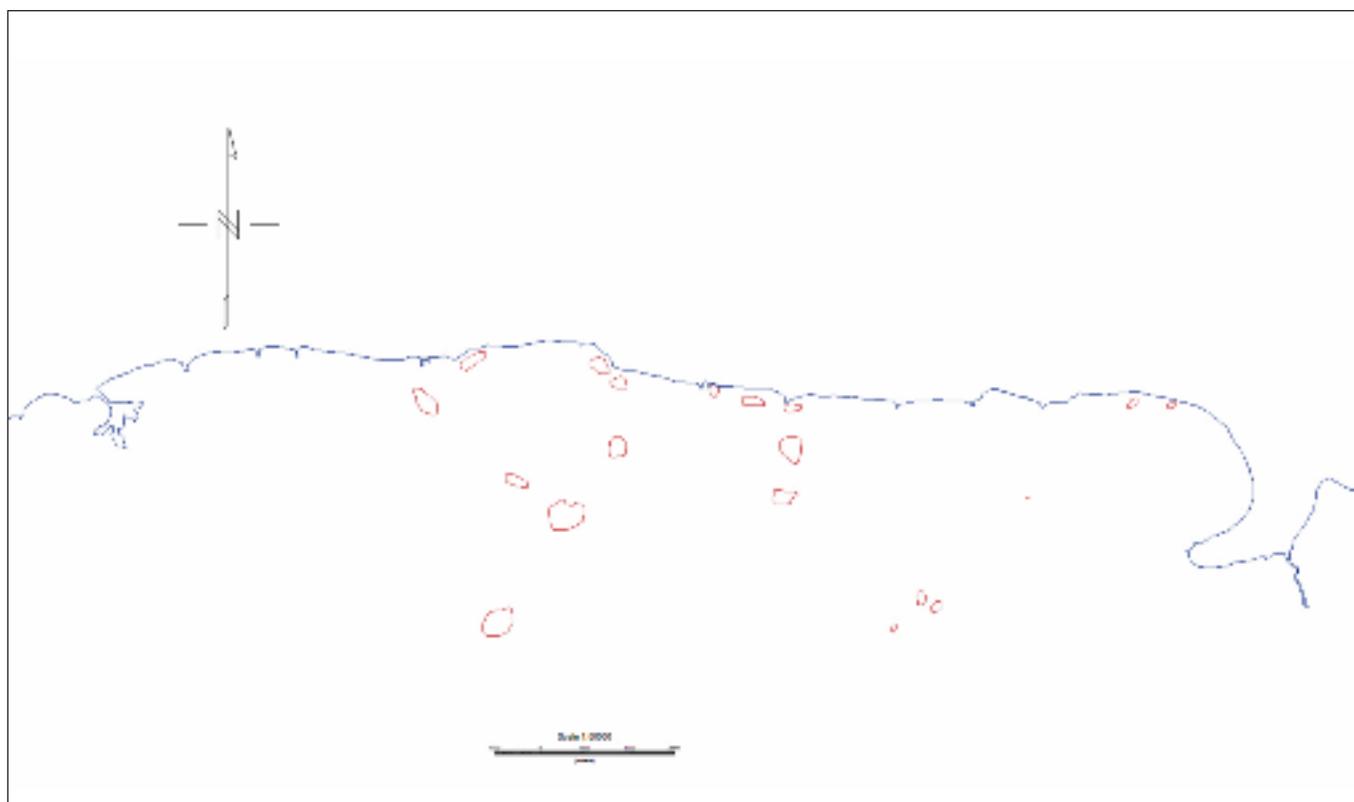


Figura 9. Resultados de la cartografía TDT (anomalías).

y del MED residual a 500 m, considerando, fundamentalmente las cadenas de mínimos y, algunas de máximos, la linealidad, flexiones e interrupción de las isolinéas, así como las zonas de elevado gradiente de las mismas.

De igual manera, se reconocieron las principales depresiones estructurales, considerando un cambio en las características del campo de la DV magnética (suavización o aplanamiento), coincidente con mínimos gravitatorios.

El procesamiento geofísico se realizó con dos propósitos principales: la regionalización o cartografía geólogo-estructural (a partir de los campos potenciales y la morfometría; Figuras 10 y 11) y, la cartografía prospectiva integrada (a partir de todos los campos geofísicos y la morfometría; Figura 12). La primera de ellas tiene como objetivo revelar los principales elementos del cuadro geólogo-estructural a partir de los datos gravi-magnéticos (Figura 10) (cartografía del terreno volcánico+ofiolitas y las depresiones estructurales). La segunda (Figura 12), tiene como propósito el establecimiento de localidades con perspectivas para depósitos gasopetrolíferos, a partir de considerar la presencia de un complejo de anomalías indicadoras: máximos gravimétricos locales de baja amplitud, coincidentes con mínimos de la relación

K/Th, máximos locales de U(Ra) en la periferia y máximos morfométricos locales. Como información complementaria, muy sensible, se considera la presencia de anomalías TDT.

A los fines de la interpretación geológica se contó, además, con el Mapa Geológico de Cuba a escala 1:100 00 del IGP (Colectivo de Autores, 2010).

Como resultado de la cartografía geólogo-estructural a partir de los datos gravi-magnéticos (Figura 10) se puede observar una amplia distribución del Terreno Zaza (volcánico+ofiolitas) en la región de estudio. Las principales depresiones estructurales se concentran a lo largo de una franja de dirección latitudinal que abarca las localidades siguientes (de Este a Oeste): Suroeste de Bahía de Matanzas, Ceiba Mocha, Aguacate, Bainoa, Tapaste, Cuatro Caminos, Managua y Santiago de las Vegas. Sobre la base de las estimaciones a partir del campo magnético reducido al polo, la profundidad al tope de un objetivo localizado al Oeste de Bainoa, dentro de esta franja, es de 1 350 - 1 450 m, lo que da una idea de la potencia sedimentaria en la misma. Existe otra depresión importante, de rumbo transversal (N-S) a la franja anterior, que pasa por la localidad de San José de las Lajas. Otra depresión estructural tiene

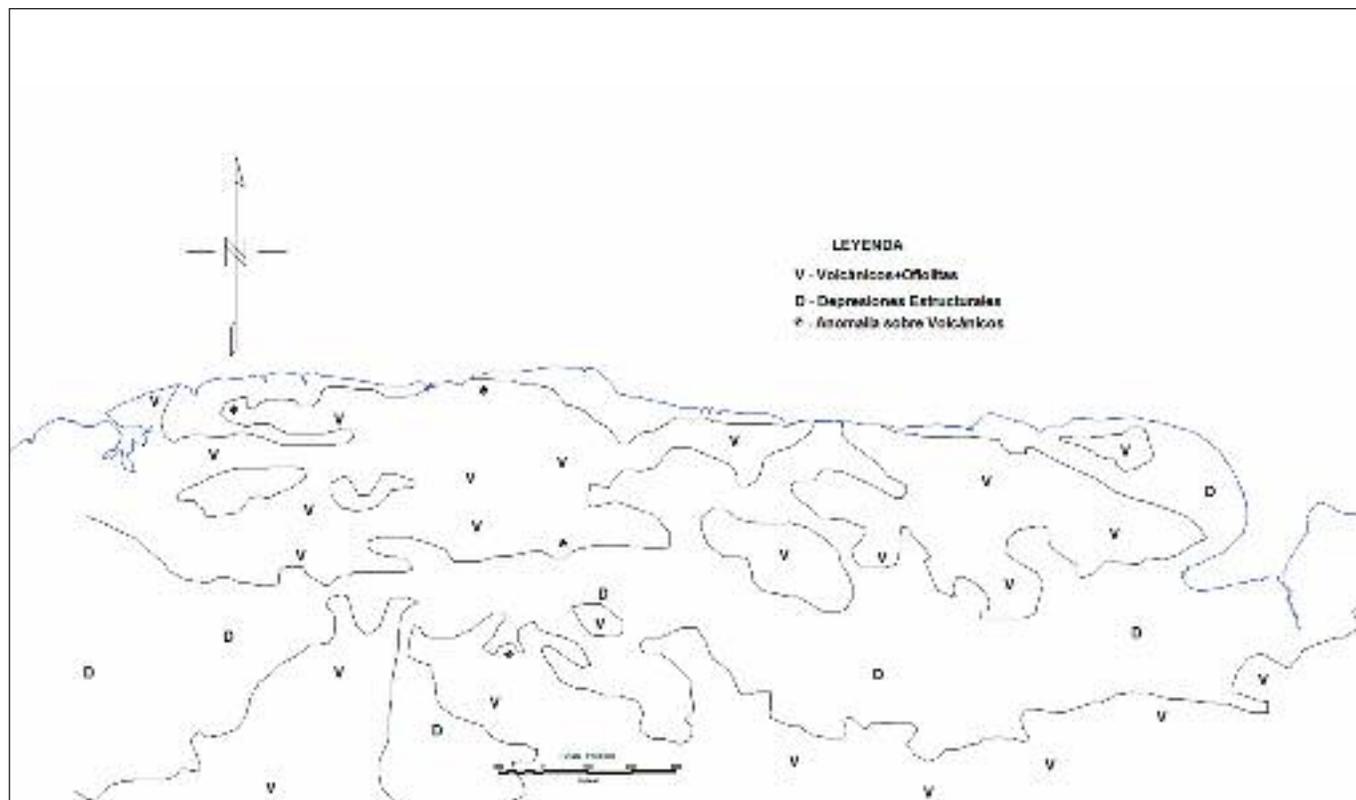


Figura 10. Cartografía geólogo-estructural en base a datos gravi-magnéticos.

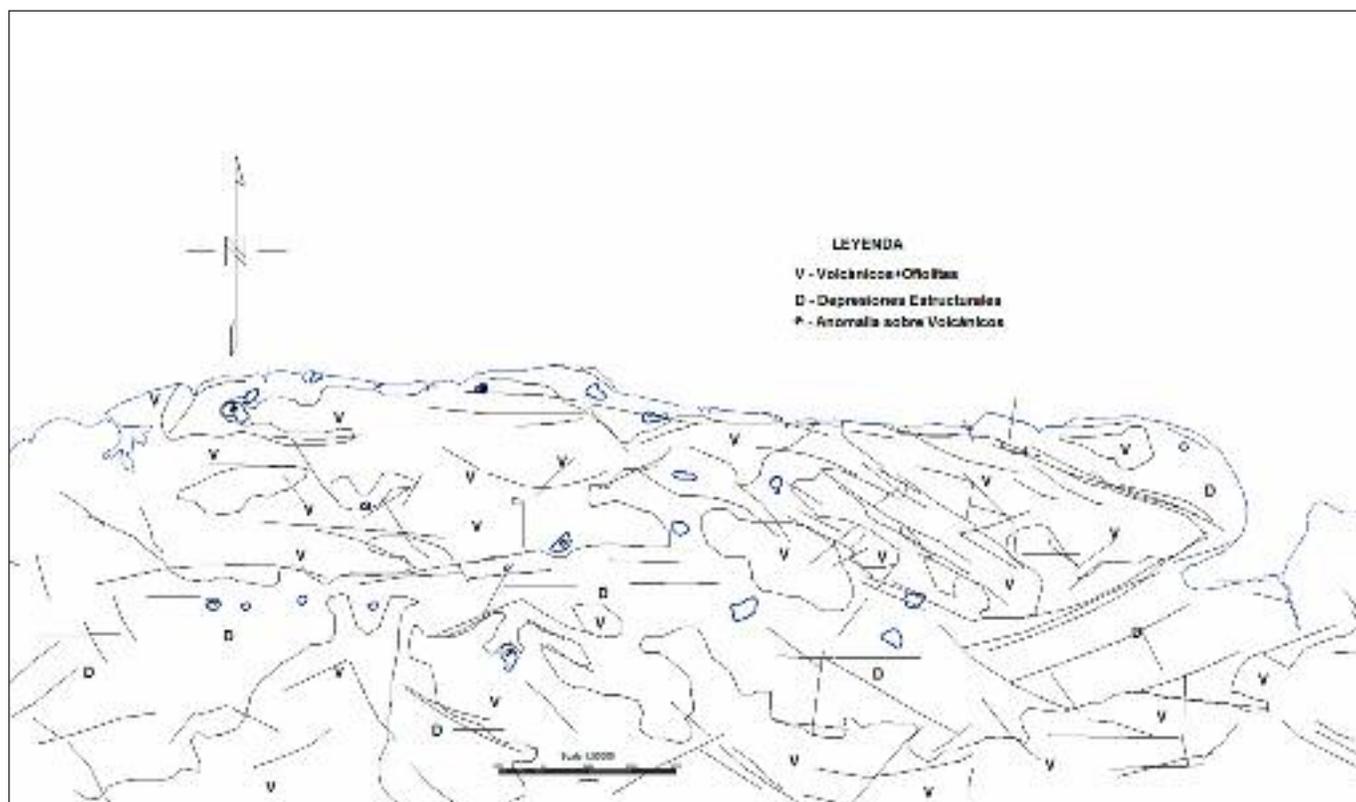


Figura 11. Cartografía geólogo-estructural (con lineamientos) en base a los campos potenciales y la morfometría.

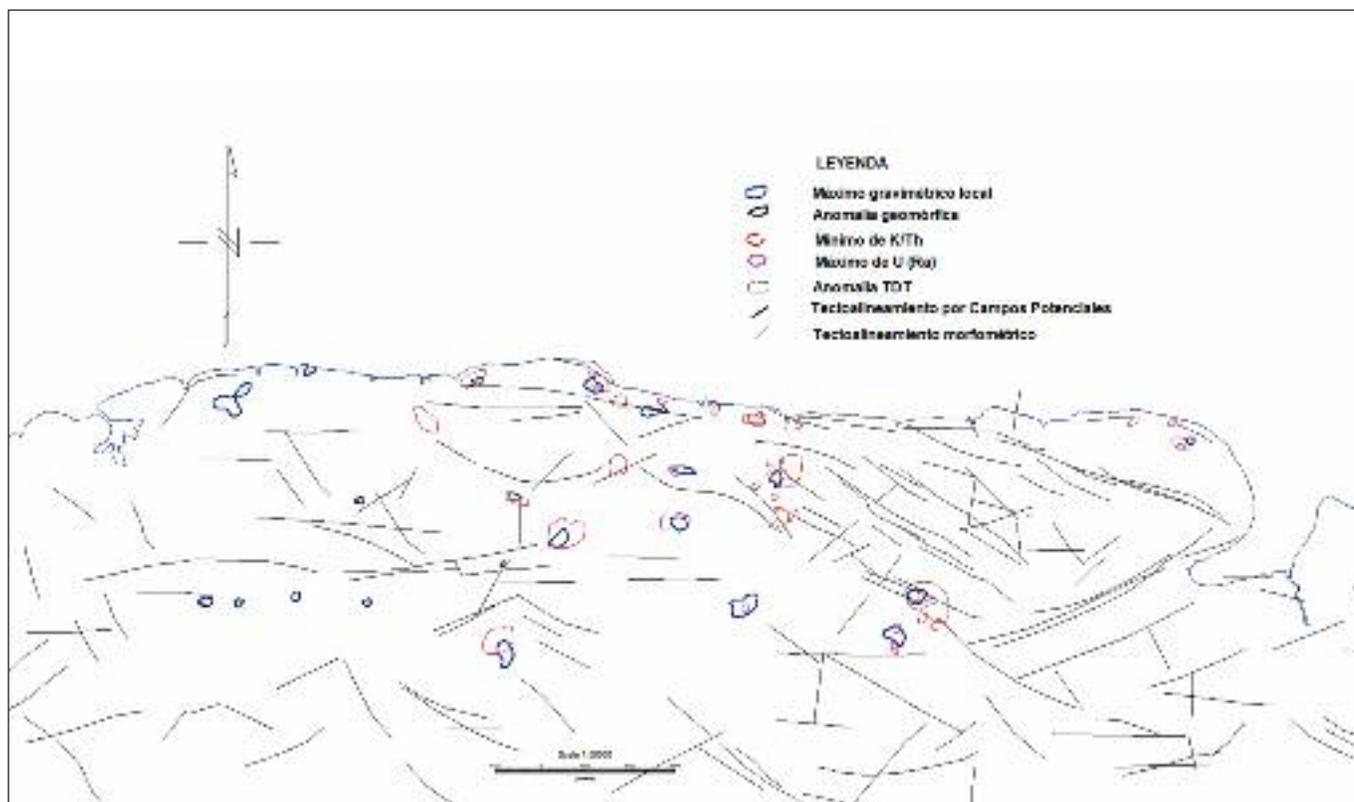


Figura 12. Resultados de la cartografía prospectiva integrada.

una clara expresión en el mínimo gravi-magnético de Punta Rubalcava al NNE de Matanzas.

Los máximos gravimétricos locales que se localizan sobre el Terreno Zaza, teniendo, por ende, una perspectiva gasopetrolífera menor, se localizan al SE de Alamar, SE de Brisas del Mar, SO de San Antonio de Río Blanco y al SE de El Perú.

Los resultados de la cartografía prospectiva integrada (Figura 12) consideran, en un primer nivel de prospectividad, las localidades (3) donde aparecen todas las anomalías estudiadas con excepción de las morfométricas (máximos gravimétricos locales + mínimos de la relación K/Th + máximos de U (Ra) en la periferia + anomalías de TDT). En un segundo nivel de prospectividad se consideran las localidades (11) que corresponden a la combinación de dos tipos de anomalías diferentes. Las localidades anómalas para los dos niveles señalados se presentan en la Tabla 2.

## 5.0 CONCLUSIONES

Se ofrece una versión de la cartografía geólogo-estructural de la región de estudio, en base a los datos gravi-magnéticos y de la cartografía de sectores de interés gasopetrolífero, vinculados al petróleo convencional de la UTE

Placetas, a partir de la presencia de un complejo de anomalías indicadoras. Este complejo considera los siguientes atributos: máximos gravimétricos locales de baja amplitud; mínimos de la relación K/Th y máximos locales de U (Ra) en su periferia; máximos locales del relieve residual y anomalías TDT. Este resultado constituye un complemento de información no sísmica imprescindible para la necesaria integración geólogo-geofísica-geoquímica-morfométrica del territorio.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestra institución, el Centro de Investigaciones del Petróleo, por permitirnos publicar información parcial sobre diversos proyectos de investigación.

También queremos agradecer por la revisión del manuscrito y, por las observaciones hechas al mismo, al Dr. Osvaldo Rodríguez Morán.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Colectivo de Autores, 2009, Expediente Único del Proyecto 6004, "Exploración en la Franja Norte Petrolera Cubana". Inédito. Archivo, Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET), La Habana, Cuba.

1er Nivel			2do Nivel		
Gb+AGE+TDT	Gb+AGE	Gb+TDT	AGE+TDT	Morf.+TDT	Gb+Morf.
Boca de Jaruco	SO de Punta Rubalcava	SO de San Antonio de Río Blanco	E de El Fraile	San Miguel de Casanovias	E de Peñalver
Jibacoa del Norte Este de Aguacate	Loma El Palenque El Conde	SE de El Perú SE de Brisas de Mar	El Rubro		S de Cotorro

Tabla 2. Localidades anómalas separadas por nivel de perspectiva.

- Colectivo de Autores**, 2010, Mapa Geológico Digital de la República de Cuba a escala 1:100 000. Inédito. Instituto de Geología y Paleontología, Servicio Geológico de Cuba, La Habana.
- Fairhead, J. D., Ahmed S. and Williams, S. E.**, 2009, Tilt-Depth: A Simple Depth-Estimation Method Using First Order Magnetic Derivatives. Search and Discovery Article #40390 (Adapted from poster presentation at AAPG International Conference and Exhibition, Cape Town, South Africa, October 26-29, 2008).
- Jiménez de la Fuente, L.**, 2017, Resultados de la Teledetección (TDT) para la búsqueda de sectores gasopetrolíferos perspectivas en la región de Guanabo-Seboruco. Apuntes metodológicos. Inédito. Ceinpet, La Habana, 13 p.
- Mondelo, F., Sánchez Cruz, R. y otros**, 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. Inédito. IGP, La Habana, 278 p.
- Pardo Echarte, M. E. y Rodríguez Morán, O.**, 2016, Unconventional Methods for Oil & Gas Exploration in Cuba. Springer Briefs in Earth System Sciences, DOI 10.1007/978-3-319-28017-2.
- Pardo, M.**, 2016, Generalización Petrofísica de la Provincia Matanzas. Inédito. Centro de Investigaciones del Petróleo, La Habana, 5 p.
- Price, L. C.**, 1985, A critical overview of and proposed working model for hydrocarbon microseepage. US Department of the Interior Geological Survey. Open-File Report 85-271.
- Sánchez Cruz, R., Mondelo, F. y otros**, 2015, Mapas Morfométricos de la República de Cuba para las escalas 1: 1 000 000 – 1: 50 000 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>.
- Saunders, D. F., Burson, K. R. and Thompson, C. K.**, 1999, Model for Hydrocarbon Microseepage and Related Near-Surface Alterations: AAPG Bulletin, V. 83 (1999), No. 1 (January 1999), p. 170-185.
- Schumacher, D.**, 1996, Hydrocarbon-induced alteration of soils and sediments; in D. Schumacher and M. A. Abrams, eds., Hydrocarbon migration and its near-surface expression: AAPG Memoir 66, p. 71-89.