

Proposal for perspective sectors for deposits of hydrocarbons in the Majaguillar-Martí area, Cuba

Jessica Morales-González ^a, Osvaldo Rodríguez-Morán ^a & Manuel Enrique Pardo-Echarte ^b

^a *Departamento de Geociencias, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, La Habana, Cuba.*
jessimoglez@gmail.com, ormoran2016@gmail.com

^b *Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET), La Habana, Cuba.* *pardo@ceinpet.cupet.cu*

Received: April 26th, 2019. Received in revised form: June 15th, 2019. Accepted: July 02nd, 2019.

Abstract

The Majaguillar-Martí sector is of interest to increase the proven and probable reserves of Cuba, that is why the main objective of this work was to propose perspectival sectors for hydrocarbon deposits in it. To achieve this aim, potential, aerogammaespectrometry and the relief data were processed taking into account the wells and manifestations of hydrocarbon. Everything was done on the basis of the corresponding geological model. The areas where the relief has subtle maximum residuals were studied, which could be due to a secondary carbonatic and silica mineralization linked to hydrocarbon microfiltration. A map of complex anomalies in which the corresponding spatial matches are displayed was obtained, and from that point on nine areas of interest were identified after being compared to seismic ones. This interpretation is partially validated from a recognition profile of Redox Complex done before in two of the proposed areas, the results are also shown in this work.

Keywords: oil exploration; *Redox Complex*, gravimetry; magnetometry; microfiltration.

Propuesta de sectores prospectivos para depósitos de hidrocarburos en la zona de Majaguillar-Martí, Cuba

Resumen

El sector Majaguillar-Martí es de interés para incrementar las reservas probadas y probables Cuba, siendo el objetivo principal de este trabajo: proponer sectores prospectivos para depósitos de hidrocarburos en el mismo. Para esto se procesaron los campos potenciales, la aerogammaespectrometría y los datos del relieve, considerando los pozos y las manifestaciones de hidrocarburos presentes, todo sobre la base del modelo geológico correspondiente. Se estudiaron las zonas donde el relieve posee sutiles máximos residuales, los cuales podrían ser la causa de una mineralización carbonática y de sílice secundarias, vinculadas a microfiltraciones de hidrocarburos. Se obtuvo un mapa de anomalías complejas en el que se muestran las coincidencias espaciales correspondientes, fueron señaladas nueve áreas de interés, después de su comparación con la sísmica. Esta interpretación se validó, parcialmente, a partir de perfiles de reconocimiento del **Complejo Redox** realizado en dos de las áreas propuestas, cuyos resultados son mostrados en este trabajo.

Palabras clave: exploración petrolera; *Complejo Redox*; gravimetría; magnetometría; microfiltraciones.

1. Introducción

El establecimiento de sectores prospectivos para depósitos de hidrocarburos es de suma importancia para el incremento las reservas de hidrocarburos probadas y probables en la República de Cuba.

El sector de Majaguillar-Martí en Cuba Fig. 1,

pertenciente a la parte septentrional del Bloque 9 de lictación terrestre, presenta una geología compleja (ver glosario), esto significa un predominio de un intenso tectonismo. Este sector, de gran interés petrolero por su semejanza geólogo-geomorfológica con el área de Varadero,

How to cite: Morales-González, J., Rodríguez-Morán, O. and Pardo-Echarte, M.E., Propuesta de sectores prospectivos para depósitos de hidrocarburos en la zona de Majaguillar-Martí, Cuba. Revista Boletín de Ciencias de la Tierra, 46, pp. 33-41, Febrero - Julio 2019.

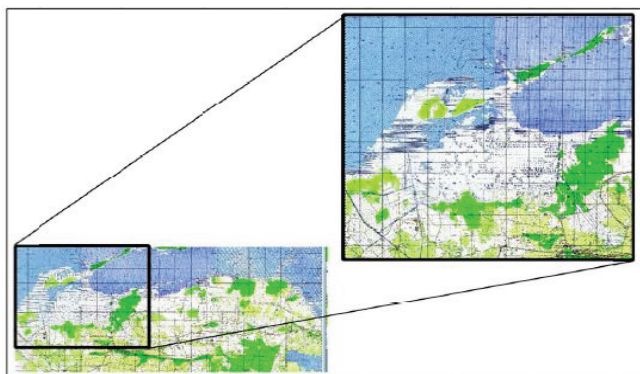


Figura 1. Sector de Majaguillar-Martí, provincia de Matanzas, Cuba.
Fuente: [1]

ubicado en la provincia de Matanzas, necesita de la interpretación de un conjunto de métodos que posibilite la reducción de las áreas y hacer una selección de los objetivos más favorables para la ocurrencia de hidrocarburos. Estos métodos son: la sísmica, los campos potenciales (gravimetría y magnetometría), la aerogammaespectrometría y el relieve. De esta manera, las áreas de interés se seleccionan sobre la base de una combinación de anomalías espaciales (anomalías complejas) (ver glosario) [13]. En estas zonas se propone realizar perfiles de reconocimiento del **Complejo Redox** (conjunto de técnicas geofísico-geoquímicas no convencionales de exploración integrado por: el Potencial Redox, la Susceptibilidad Magnética, la Reflectancia Espectral y la Pedogeoquímica) para evaluar la posible presencia de procesos activos de microfiltración de hidrocarburos [12].

Para la interpretación integrada de la región se utilizaron: el mapa estructural por datos sísmicos; los mapas de los campos potenciales (gravimétrico y magnético), así como sus transformaciones (la reducción al polo del campo magnético y la primera Derivada Vertical de ambos campos); los mapas de los canales de la aerogammaespectrometría, de la relación potasio-torio (K/Th) y el mapa ternario de los tres radioelementos; el relieve (Modelo Digital de Elevaciones [MDE]); los perfiles de reconocimiento del **Complejo Redox** ya realizados; todo esto sumado a los datos de los pozos y las manifestaciones de hidrocarburos, utilizados complementariamente.

Cuando la adquisición sísmica es difícil y extremadamente costosa o, la calidad de la información es pobre debido a la geología o a las condiciones superficiales poco favorables, son los métodos de exploración no sísmicos, en particular los métodos no convencionales de exploración, los únicos que pueden aportar información sobre sutiles trampas estratigráficas. [13], sobre estructuras geológicas positivas, en el sector de Majaguillar-Martí.

Por esta razón, el objetivo de este trabajo es el de proponer sectores con grados perspectivas diferentes para depósitos de hidrocarburos en el sector de Majaguillar-Martí.

Como objetivos específicos están:

- Analizar los campos potenciales, la aerogammaespectrometría y el relieve en el sector de

Majaguillar-Martí.

- Argumentar las áreas de interés a partir de la correspondencia de los complejos anómalos con estructuras geológicas positivas.
- Clasificar las áreas de interés en orden de grado perspectivo.
- Evaluar con perfiles de reconocimiento del **Complejo Redox**, las áreas anómalas de interés.

2. Materiales y métodos

2.1. Materiales

En la ejecución de la investigación se utilizarán como principales fuentes de información las siguientes:

- Informes geomorfológicos, geológicos y geofísicos del Bloque 9.
- Informes temáticos de investigación.
- Mallas de datos del campo gravimétrico y aeromagnético a escala 1:50000 y la aerogammaespectrometría (canales: U, Th y K) a escala 1:100000 del territorio [8].
- Mapa Geológico Digital de Cuba (IGP) a escala 1:100000 [4].
- Mapa Tectónico del basamento de Cuba [5].
- Datos de las manifestaciones de hidrocarburos [2], de los pozos perforados [3] y del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) en la región [14].
- Datos de los perfiles realizados con el **Complejo Redox** [9-11].
- Mapa estructural sísmico de la región de Majaguillar [16].

2.2. Métodos

Investigación Empírica, mediante la observación, donde se obtiene información primaria acerca del objeto de estudio y cuyos resultados se plasman en términos de conceptos cualitativos y comparativos.

Investigación Teórica, mediante el método histórico [6,7], donde a partir del estudio de la información pretérita y mediante las operaciones de sistematización y generalización se establecen regularidades y tendencias relativas al conocimiento del objeto de investigación.

Investigación Teórica, mediante el método hipotético-deductivo [6,7], donde a partir de los campos físicos y mediante las operaciones de análisis y deducción se descompone el fenómeno complejo de la geología en sus partes integrantes estructuro-tectónica y anómalo local, a fin de delimitar las zonas perspectivas.

2.3. Técnicas

Sistema de Procesamiento e Interpretación de Datos Geofísico-Geológicos (Oasis Montaj, versión 7.0.1.): procesamiento automatizado de la información geofísico-geológica georreferenciada (se realizan operaciones aritméticas de matrices, transformaciones de campos físicos y otras).

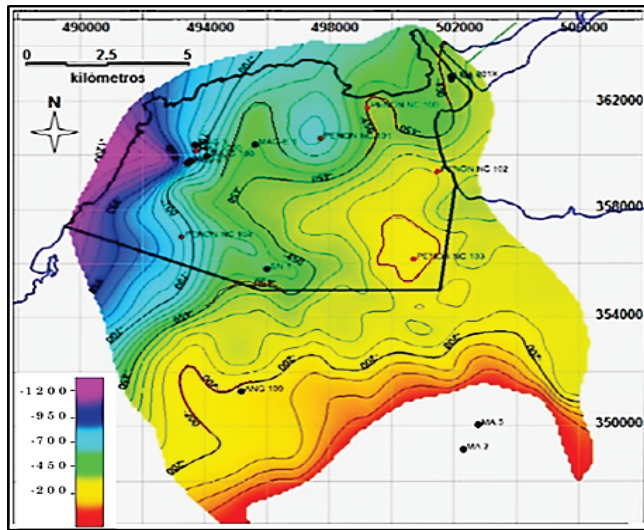


Figura 2. Máximos estructurales (líneas rojas) en la región de Majaguillar. Fuente: [16]

3. Resultados

En este trabajo se empleó el mapa estructural por el tope de la Formación Peñón, en base a la sísmica y la perforación, en la región de Majaguillar Fig. 2, para avalar los sectores de interés resultantes de la coincidencia de los atributos no sísmicos (ver glosario), con máximos estructurales e, igualmente, con la interpretación sísmica realizada por Casal (2015), en el sector de Martí.

En el caso de la región de Majaguillar, se localizaron seis máximos estructurales, ubicados en MAG-E1, PEÑÓN NC 100, MAG 001 X y MAG 1, PEÑÓN NC 103, cerca de SN 1 y en ANG 100. Comparándolos con las anomalías resultantes de los campos potenciales, la espectrometría gamma aérea y el Modelo Digital de Elevaciones, se tuvo coincidencias en los altos estructurales de: MAG-E1, PEÑÓN NC 100 y SN 1, Fig. 2.

Por otra parte, para el sector Martí, la investigación se apoyó en los resultados de la interpretación realizada por Casal (2015). Según el comportamiento de las velocidades en las líneas sísmicas interpretadas, se obtuvo que los sectores perspectivas, eran los encontrados en los pozos: MA 002, MA 005 y ANG 100, localizados en Peñón y Güines. Al compararse con los resultados de los atributos no sísmicos se tiene una buena correlación con los campos potenciales y el relieve.

3.1. Interpretación de los campos potenciales

3.1.1. Interpretación de los datos gravimétricos

Los mapas de las residuales a 500m y 1000m Figs. 3, 4, resultantes del procesamiento realizado, presentan dos anomalías positivas de gran amplitud en la parte centro y sur del área. Estas se deben a la existencia de cuerpos de ultrabásita, los cuales afloran en algunos sectores y se extienden en profundidad por debajo de los 1000m.

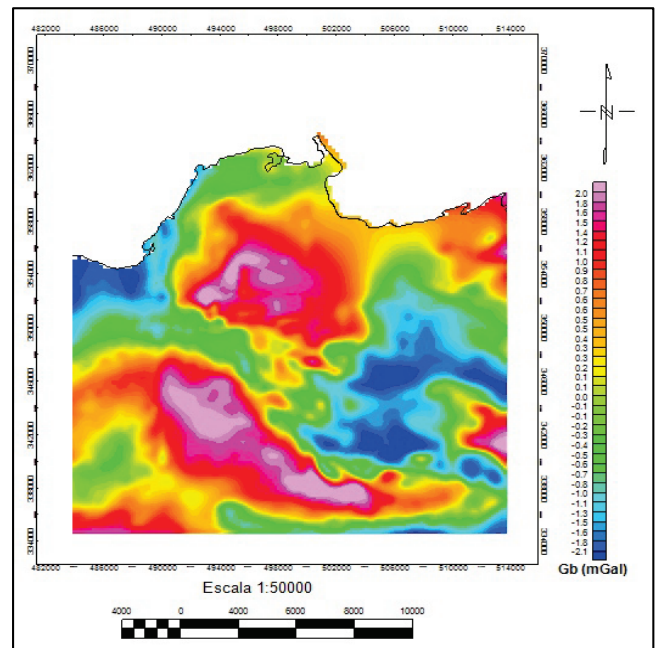


Figura 3. Mapa de anomalías residuales de la anomalía de Bouguer (Gb) a partir de la regional a 500m. Fuente: Los Autores.

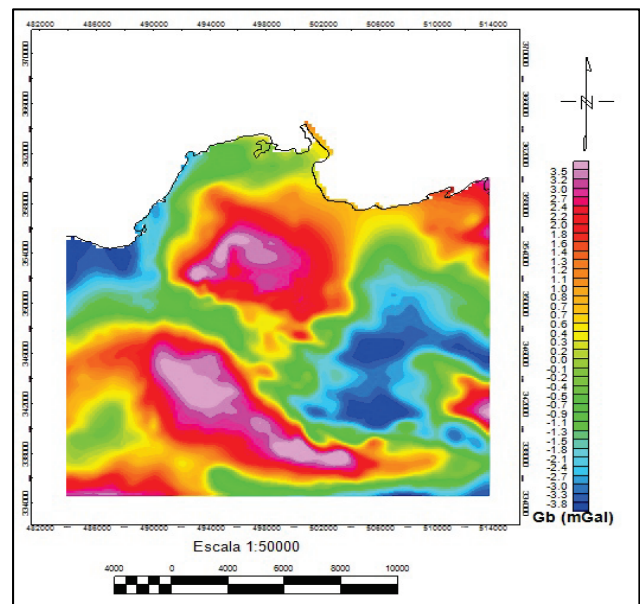


Figura 4. Mapa de anomalías residuales de la anomalía de Bouguer (Gb) a partir de la regional a 1000m. Fuente: Los Autores.

Por otra parte, en el noroeste, centro y sureste del área de estudio, se observan mínimos relacionados al Mínimo Norte Cubano (Cinturón de Cabalgamientos Norte Cubano).

3.1.2. Interpretación de los datos magnéticos

El mapa de Reducción al Polo Fig. 5, permitió identificar dos zonas: una con anomalías positivas ubicadas en la parte

oeste, centro y sur, mientras que la otra presenta mínimos que se encuentran al este (centro sur) de dicho sector. La primera se relaciona con cuerpos de ultrabasita próximos a la superficie o aflorando (al Sur); mientras que la segunda se relaciona con el Cinturón de Cabalgamientos Norte Cubano.

La Derivada Vertical Fig. 6, permitió identificar los límites de las Unidades Tectono Estratigráficas (UTE), fundamentalmente, a partir de las cadenas de mínimos y máximos y de los cambios regionales en el comportamiento del campo.

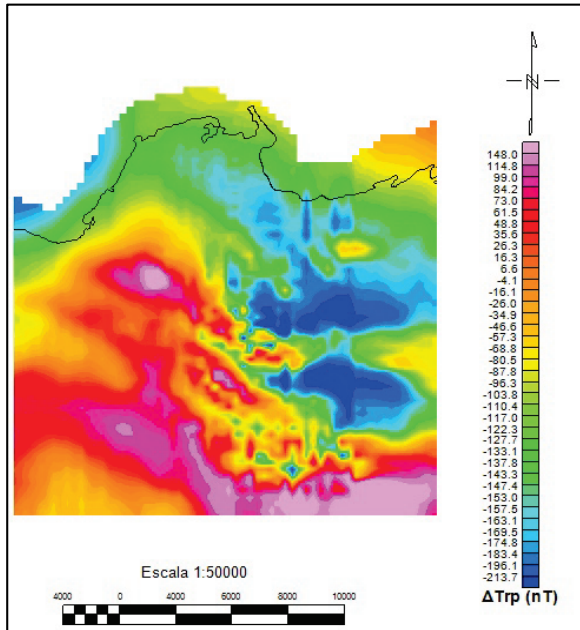


Figura 5. Mapa del campo magnético reducido al Polo (ΔTrp) del área de estudio.
Fuente: Los Autores.

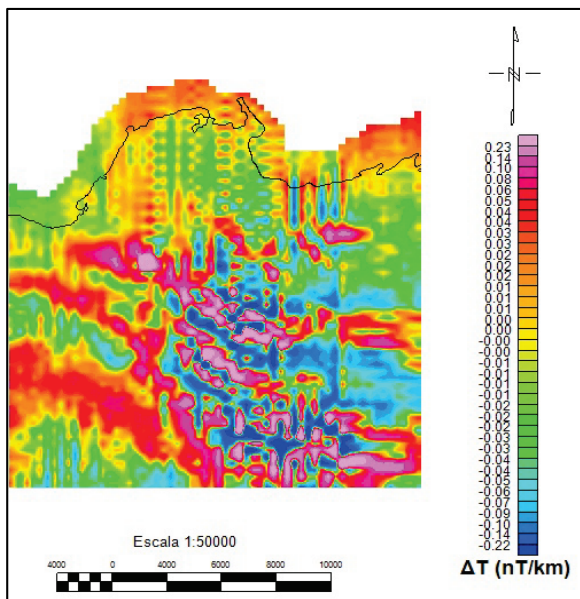


Figura 6. Mapa de la Derivada Vertical del campo magnético ΔT (nT/km).
Fuente: Los Autores.

3.2. Interpretación de los datos de espectrometría gamma aérea (AGE)

Contenido de U. Los mayores valores se encuentran en la parte suroeste, noreste y sureste asociados a las formaciones Güines y Arabos, producto de los suelos ferralíticos que generan estas formaciones. Sobre la ultrabasita aflorada se revelan mínimos. En el sector de la Ciénaga de Majaguillar, que está caracterizado por depósitos palustres, se tiene de manera general un gran mínimo, aunque presenta un máximo en la parte norte de la ciénaga de gran interés, debido a un levantamiento sutil del terreno que determinó la aflorabilidad de esta área en el momento de la medición Fig. 7.

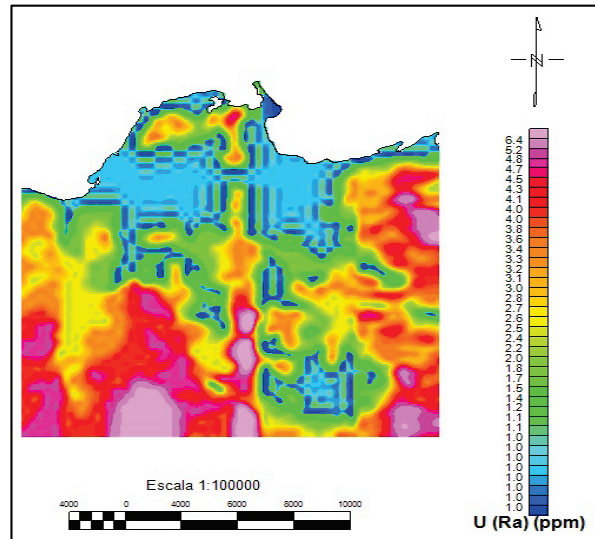


Figura 7. Imagen del campo gamma espectrométrico aéreo, canal del U, sector Majaguillar-Martí.
Fuente: [8]

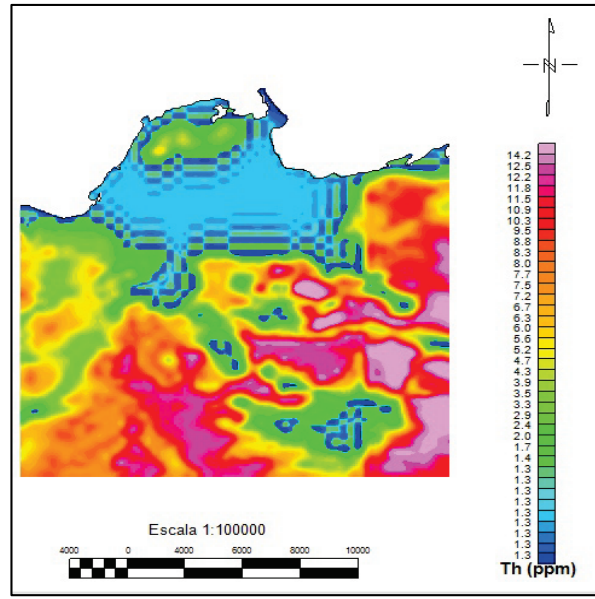


Figura 8. Imagen del campo gamma espectrométrico aéreo, canal del Th, sector Majaguillar-Martí.
Fuente: [8]

Contenido de Th. De igual forma los valores máximos están asociados a las formaciones Güines y Arabos, localizándose en la parte sur, este y centro del mapa Fig.8. Los mínimos presentes se encuentran asociados, a excepción del sector de la Ciénaga de Majaguillar, a la ultrabásita aflorada o cercana a la superficie. El gran mínimo localizado en la Ciénaga de Majaguillar está relacionado con los depósitos palustres, aunque, al igual que en el contenido de U se tiene un máximo en la parte norte, producto del levantamiento sutil del terreno, anteriormente explicado.

Contenido de K. Los máximos se hallan al sur y centro Fig. 9, asociados con la Formación Peñón, también se tienen valores máximos, aunque de menor intensidad, relacionados con la Formación Arabos. En el sector Carlos Rodríguez se tiene un gran máximo relacionado con el Grupo Veloz, las formaciones Santa Teresa y Amaro. Por otra parte, los valores mínimos están relacionados con la presencia de ultrabásita. En la parte norte de la Ciénaga de Majaguillar se tiene un máximo concordante con los máximos de U y Th, mencionados.

Intensidad Gamma Total. En la Fig. 10, se observan varios máximos localizados al sur, este y centro, relacionados con las formaciones Güines y Arabos. Los mínimos corresponden a la presencia de ultrabásita, mientras que en la Ciénaga de Majaguillar estos se deben a la Formación Camacho (Q) y a los depósitos palustres. En este sector se encuentran máximos coincidentes con las localizadas en los contenidos de U, Th y K.

Relación K/Th. Las anomalías de interés son aquellos mínimos rodeados por valores máximos. Al norte de la zona de Majaguillar se encontraron varias de estas anomalías de interés Fig. 11, aunque en el centro del mapa se localizó la mayor concentración de estas anomalías.

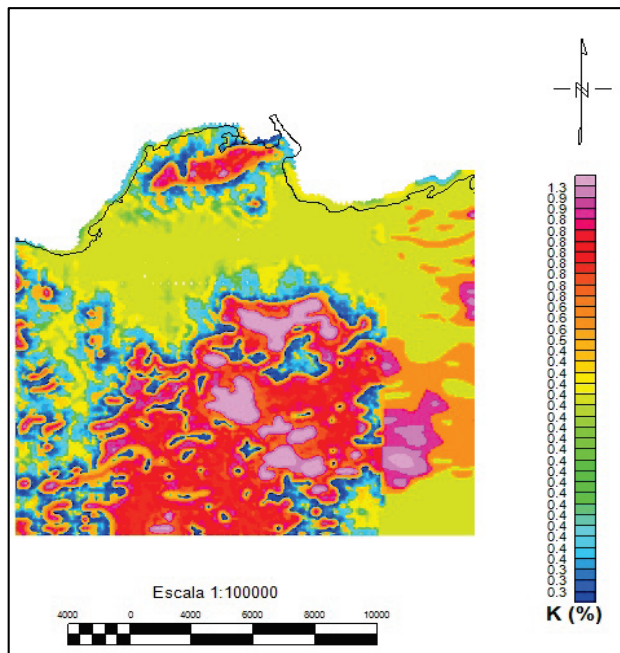


Figura 9. Imagen del campo gamma espectrométrico aéreo, canal del K, sector Majaguillar-Martí. Fuente: [8]

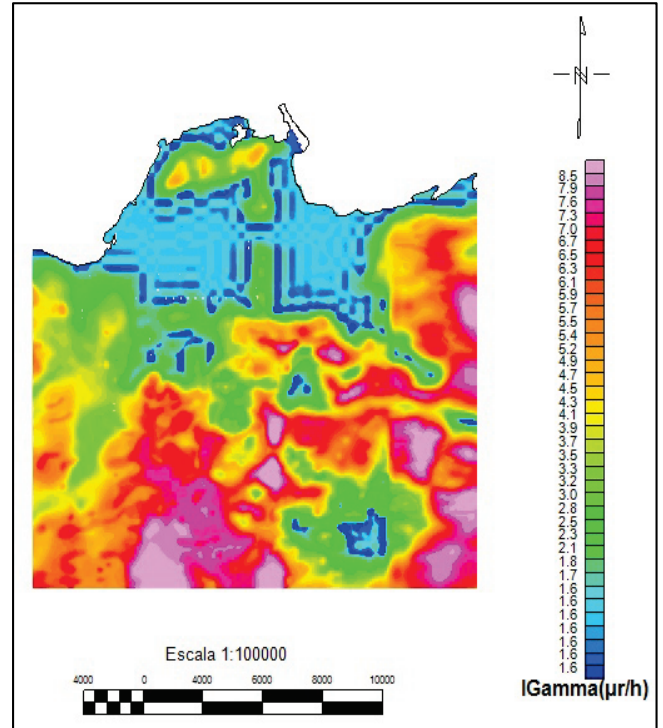


Figura 10. Imagen del campo gamma espectrométrico aéreo, canal de I-Gamma, sector Majaguillar-Martí. Fuente: [8]

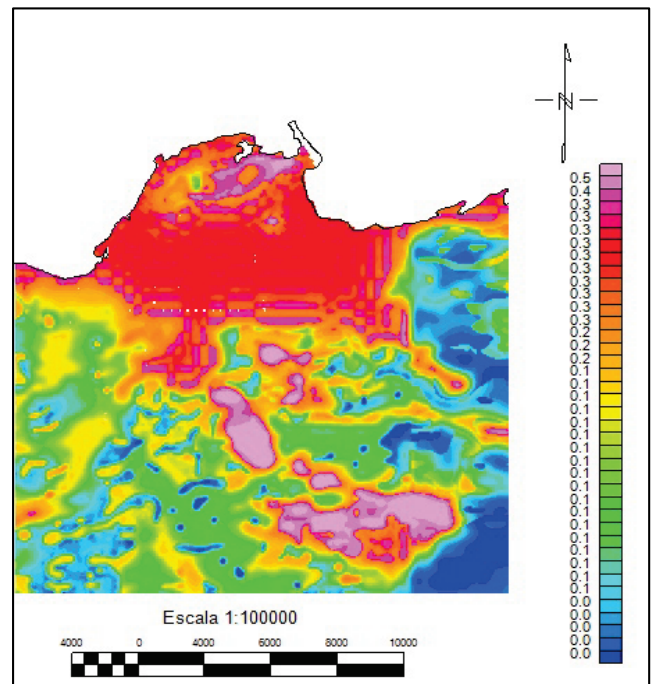


Figura 11. Mapa de la relación K/Th. Fuente: Los Autores.

El mapa ternario Fig. 12, muestra de manera clara el límite entre los depósitos palustres de la Ciénaga de Majaguillar con el resto de la zona de estudio. En el mismo

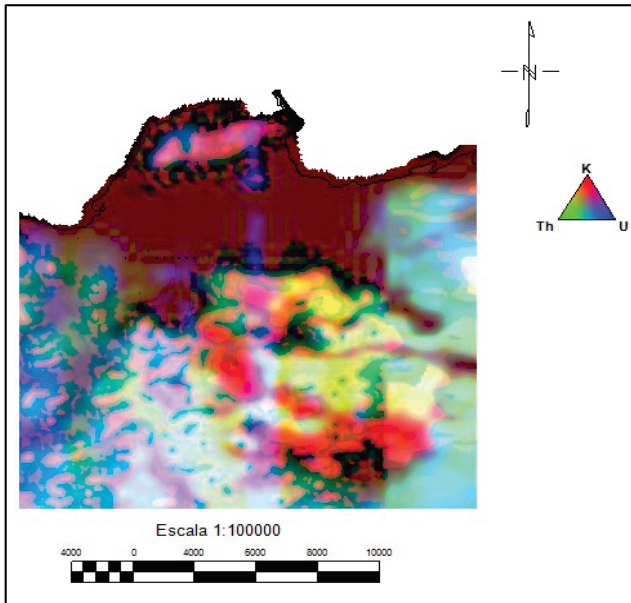


Figura 12. Mapa ternario RGB de los elementos K-Th-U. Fuente: Los Autores.

se expone la distribución de los radioelementos, donde el verde indica el predominio del torio sobre los demás elementos, el potasio en rojo y el uranio en azul. También, se ve un predominio en el sur y este del color blanco que indica las zonas donde los tres radioelementos se encuentran presentes en proporciones altas, más o menos iguales, como lo es la Formación Güines. Los depósitos palustres demuestran tener un alto contenido de potasio, superior a las concentraciones de uranio y torio. En algunos sectores, como en partes de la Ciénaga de Majaguillar, al centro y sur de la zona de estudio se encuentran pequeñas zonas de color negro, estas indican la ausencia de los tres radioelementos.

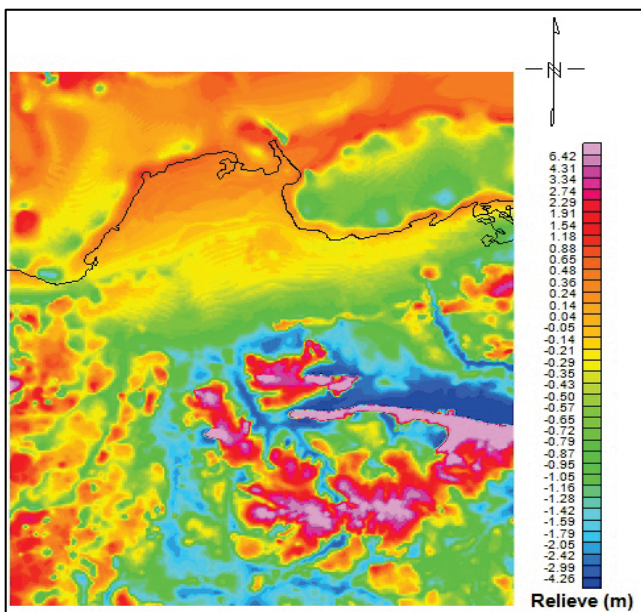


Figura 13. Componente residual del MDE con resolución espacial 90x90m. Fuente: Los Autores.

3.3. Interpretación de los datos del MDE

En la Fig. 13 se identificaron varios máximos morfométricos residuales de pequeña amplitud en el sector norte de la Ciénaga de Majaguillar y en la parte centro y sur de la zona de estudio. Estas pequeñas anomalías geomorfológicas pudieran estar relacionadas con procesos de carbonatización y silicificación subsuperficial producto de la microfiltración de hidrocarburos o, con la estructura geológica positiva heredada; ambas son de interés para la prospección de hidrocarburos por lo que constituyen un índice importante para la clasificación según su grado perspectivo.

4. Discusión

A partir de la interpretación realizada a los mapas resultantes del procesamiento del campo gravitatorio, magnético, de espectrometría gamma aérea y el modelo digital de elevación de 90x90m; se determinaron anomalías, las cuales se encuentran descritas en el epígrafe anterior. La coincidencia espacial de las mismas, teniendo en cuenta el comportamiento que presentaron en el yacimiento de Motembo (máximo gravimétrico determinado a partir de la derivada vertical de primer orden y de la residual a 500 y 1000m, máximo del campo magnético reducido al polo, así como sus residuales 500 y 1000m, un mínimo rodeado de máximos de la relación potasio-torio, un máximo de la intensidad gamma total, un máximo de uranio y un máximo de la residual del modelo digital de elevaciones a 500m) localizado cerca de la zona de estudio, fue representado en un mapa de anomalías complejas Fig. 14, recogidas también en la Tabla 1.

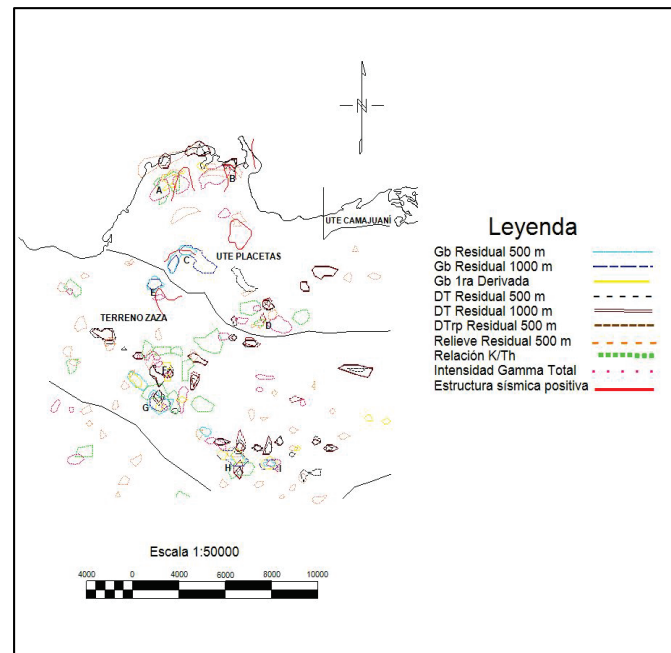


Figura 14. Sectores anómalos de interés en la zona de Majaguillar-Martí. Fuente: Los Autores.

Tabla 1.
Anomalías clasificadas según el grado perspectivo.

Anomalia	K/Th	Gb Residual 500m	Gb Residual 1000m	Gb DV (1ra)	DT Residual 500m	DT Res. 1000(m)	Relieve Residual 500m	I Gamma	Máximos Estructurales sísmicos	Mayor prospectividad
A	X			X	X	X	X	X	X	X
B				X	X	X	X	X	X	X
C		X	X						X	
D	X				X	X	X	X		
E		X	X					X	X	
F				X	X	X		X		
G	X	X	X	X	X	X		X		X
H	X				X	X				
I		X	X	X				X		

Fuente: Los Autores.

En el sector de estudio, a partir del mapa complejo anteriormente mencionado, se identificaron nueve sectores anómalos perspectivos. Los mismos se clasificaron en orden perspectivo, según el grado de coincidencia de las anomalías resultantes, a partir de los métodos empleados.

Las anomalías que presentaron mayor coincidencia de los parámetros mostrados en la Tabla 1, se recomiendan para realizarles el **Complejo Redox**, con el objetivo de disminuir la ambigüedad del problema inverso y así, proponer sectores perspectivos en el sector de Majaguillar-Martí. La importancia de realizarles este complejo está dada por dos factores:

- El trabajo de Schumacher (2014), donde se expresa que: “los datos de microfiltración de hidrocarburos -cuando están debidamente adquiridos, interpretados, e integrados con los datos geológicos y sísmicos convencionales, conducen a una mejor evaluación de las áreas prospectivas y de los riesgos de exploración-, de ahí que las decisiones de perforación incluyan, necesariamente, una consideración seria de estos datos, resultando que las tasas de éxito de la exploración se incrementen” [15].
- El trabajo de Pardo y Rodríguez (2015), donde se expresa que “los reservorios de hidrocarburos representan fuentes metálicas de características geoquímicas variables (contienen diferentes elementos traza en cantidades variables), por lo que los Métodos de Exploración Geoquímica de Superficie pueden identificar metales asociados a microfiltraciones de hidrocarburos mediante la medición de los Iones Metálicos Móviles en los suelos (técnicas MMI y **Complejo Redox**); de tal modo, ellos pueden: discriminar objetivos sísmicos cargados frente a objetivos no cargados, delinear los recursos de petróleo y gas en yacimientos petrolíferos agotados y evaluar áreas para la presencia del potencial de petróleo y gas” [9].

Las anomalías A y B, correspondientes a la parte norte de la Ciénaga de Majaguillar, constituyen dos de los sectores anómalos perspectivos. A estos se les realizó el **Complejo Redox**, obteniéndose los resultados positivos que se muestran en las fig. 15 y 16.

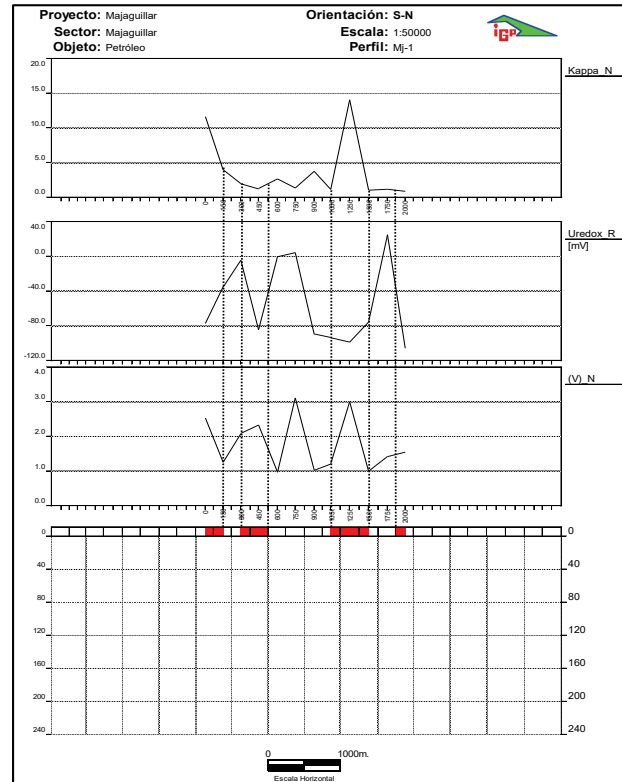


Figura 15. Perfil de **Complejo Redox** en el sector anómalo 1, correspondiente al objetivo Majaguillar-1.
Fuente: [10].

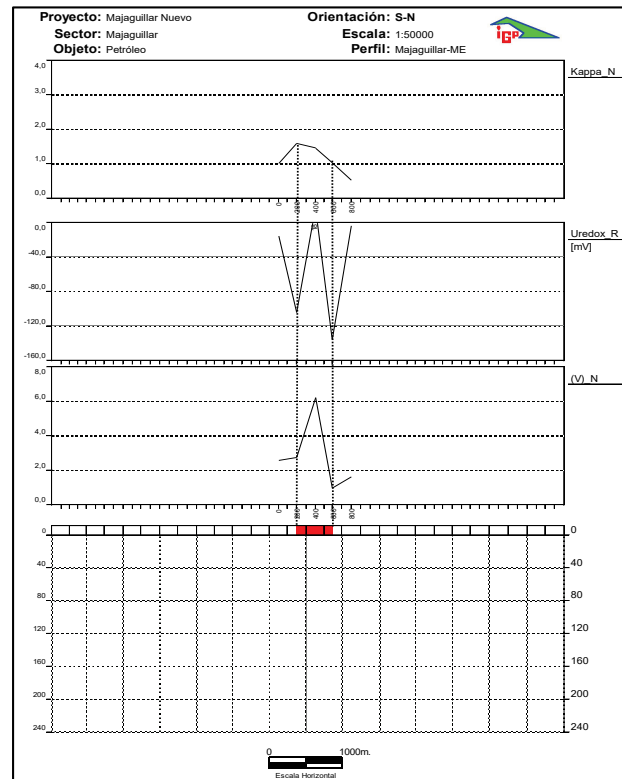


Figura 16. Perfil de **Complejo Redox** en el sector anómalo 2, correspondiente al objetivo Majaguillar-ME.
Fuente: [11].

El perfil arrojó resultados positivos debido a las particularidades de los atributos del **Complejo Redox**: incremento de la concentración de V (N), alta susceptibilidad magnética (K_{N}) y mínimos del potencial redox ($U_{\text{redox R}}$ [mV]).

El perfil realizado al este de Majaguillar, obtuvo un sector positivo, demostrado a partir del incremento de V (N), susceptibilidad magnética y del potencial redox (posible escape gaseoso).

5. Conclusiones

Mediante la interpretación combinada de los datos sísmicos, gravimétricos, aeromagnéticos, de espectrometría gamma aérea, y del modelo digital de elevaciones (MDE) se identificaron nueve sectores perspectivas para la ocurrencia depósitos de hidrocarburos en el sector de Majaguillar-Martí.

Se logró hacer un análisis de los campos potenciales, la espectrometría gamma aérea y el relieve en el sector de Majaguillar-Martí.

Las áreas de interés se lograron argumentar a partir de la correspondencia de los complejos anómalos con estructuras geológicas positivas y clasificarlas en orden perspectivo.

Fueron evaluadas, con perfiles de reconocimiento del **Complejo Redox** dos de las áreas anómalas de interés, que resultan de especial interés pues dieron resultados positivos, evidenciando la posible existencia de depósitos de hidrocarburos.

Glosario de términos

Atributo no sísmico: parámetro o atributo que caracteriza a cualquier campo geólogo-geofísico-geoquímico-morfométrico-biológico, distinto al campo ondulatorio (sísmico).

Geología compleja: compuesta por dos niveles estructurales: sustrato plegado y neotóctono. Los datos de perforación muestran mantos tectónicos caracterizados por la conjugación de rocas de las Unidades Tectono Estratigráficas Placetas, Camajuaní, Colorados y Remedios con sus correspondientes sedimentos sinorogénicos. Así mismo las rocas de la Asociación Ofiolítica y el Arco Volcánico Cretácico denominada, Terreno Zaza, ocupan intervalos considerables en sobrecorrimientos sobre diferentes intervalos estratigráficos. Por último, tanto en pozos como en superficie se presentan los sedimentos de la etapa postorogénica con grandes extensiones en el territorio. La existencia del cinturón plegado abarca los complejos litológicos preorogénicos y orogénicos. Todos los complejos preorogénicos y orogénicos antes señalados aparecen expuestos en el territorio en diferentes bloques, conformados y elevados durante el intenso desmembramiento tectónico que sufrió la región durante la etapa neoplatafórmica del desarrollo geológico, debido a una intensificación de los movimientos tectónicos oscilatorios que también originó fallas de consideración.

Anomalía compleja: anomalía conformada por la integración de diferentes parámetros o atributos anómalos.

Referencias

[1] Casal, A. Modelación de velocidades sísmicas para el apoyo de la interpretación geólogo-geofísica en el sector terrestre Ciénaga de Majaguillar-Martí, Tesis de Diploma de Ingeniería Geofísica, Dpto.

- Geociencias, Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría” (ISPJAE), La Habana, Cuba, 2015.
- [2] Colectivo de autores, Mapa Digital de las Manifestaciones de Hidrocarburos de la República de Cuba, escala 1:250000 (Inédito), Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET), La Habana, Cuba, 2008.
- [3] Colectivo de autores, Mapa Digital de los Pozos Petroleros de la República de Cuba, escala 1:250000 (Inédito), Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET), La Habana, Cuba, 2009.
- [4] Colectivo de autores, Mapa Geológico Digital de Cuba, escala 1:100000 (Inédito), Instituto de Geología y Paleontología (IGP), La Habana, Cuba, 2010.
- [5] Cobiella, J.L., Mapa tectónico del basamento de Cuba (Inédito), escala 1:100000, Instituto de Geología y Paleontología (IGP), La Habana, Cuba, 2015.
- [6] Díaz Duque, J.A. Metodologías de la investigación geofísica., La Habana, Cuba, 2013. 183 p.
- [7] ISBN 978-959-07-1884-7.
- [8] Hernández-Sampieri, R. Fernández-Collado, C., Baptista-Lucio, P., Metodología de la Investigación. México. Mcgraw-Hill interamericana editores, 2014.
- [9] Mondelo, F.R., Sánchez Cruz, R., Pérez Delgado, P.H., Pardo-Echarte, M.E., Bello, y Dávila, V., Mapas geofísicos regionales de gravimetría, magnetometría, intensidad y espectrometría gamma de la República de Cuba, escalas 1:2000000 hasta 1:50000 (Inédito), Instituto de Geología y Paleontología (IGP), La Habana, Cuba, 2011.
- [10] Pardo, M. y Rodríguez, O., Reporte de investigación sobre trabajos del Complejo Redox en el Bloque 9 (Inédito), Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET), La Habana, Cuba, 2015.
- [11] Pardo, M. y Rodríguez, O., Resultados de la campaña de campo de Complejo Redox Majaguillar 1 (Inédito), Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET), La Habana, Cuba, 2015.
- [12] Pardo, M. y Rodríguez, O., Resultados de la campaña de campo Complejo Redox Majaguillar 2 (Inédito), Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET), La Habana, Cuba, 2015.
- [13] Pardo, M. y Rodríguez, O. Unconventional Methods for Oil & Gas Exploration in Cuba. SpringerBriefs in Earth System Sciences, DOI 10.1007/978-3-319-28017-2, 2016.
- [14] ISBN 978-3-319-28015-8 (Print) 978-3-319-28017-2 (Online).
- [15] Pardo, M. y Rodríguez, O. Resultados de algunos Métodos de Exploración no Sísmica en diferentes regiones gasopetrolíferas del occidente y centro de Cuba: revista Geociencias, año 1, v. 1, núm. 1, octubre 2017-marzo 2018. pp 30-45, 2017
- [16] Sánchez, R., Mondelo, F., Correa, T., Leyva, A. A. y Sánchez-Correa, R., 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, 2015.
- [17] Schumacher, D., Minimizing Exploration Risk: The Impact of Hydrocarbon Detection Surveys for Distinguishing Traps with Hydrocarbons from Uncharged Traps. GeoConvention (FOCUS), 2014.
- [18] Valdivia, C., Delgado, O., Veiga, C., González, D., Castro, O., Barrios, M., Flores, A., Pérez, M. V., Blanco, S. y Jiménez, L. Evaluación del potencial de petróleo no convencional en el sector Majaguillar-Martí (Etapa I del Proyecto 7093), Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET), La Habana, Cuba, 2015.

J. Morales-González, es Ing. Geofísico en 2016, obteniendo el Premio de Mérito Científico. Se desempeña como profesora instructor de la carrera de Ingeniería Geofísica, en la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, Cuba. Ha realizado cursos de postgrados en: prospección sísmica, magnetometría, gravimetría, procesamiento de datos, petrofísica, geología regional, introducción a sedimentación carbonatada y curso de la Repsol en: estratigrafía secuencial sísmica en carbonatos, geología estructural: estilos estructurales, geoquímica y análisis/modelado de cuencas, economía de proyectos y contratos petroleros. En la actualidad

trabaja en el desarrollo de su investigación doctoral en opción al grado de Doctor en Ciencias Geológicas titulado: "Caracterización geológico-estructural y perspectiva gasopetrolífera de la Cuenca Central, Cuba, a partir de datos geofísicos".

ORCID: 0000-0001-5394-6893

O. Rodríguez-Morán, es Ing. Geofísico en 1980. Ocupa el cargo de Investigador I, MSc en Geología Petrolera y Dr. en Ciencias Técnicas, es profesor de la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Cuba, en la carrera de Ingeniería Geofísica. Ostenta la categoría de investigador titular. Posee más de 34 años de experiencia en temas como el procesamiento de datos en geociencias, modelación matemática para el pronóstico de yacimientos de hidrocarburos, interpretación geofísica, análisis de riesgo en la exploración petrolera, pronóstico con técnicas de reconocimiento de patrones, modelación matemática, diseño de bases de datos en plataforma Microsoft Access y programación en Visual Basic. También, se posee experiencia en la impartición de asignaturas como: metodología de la investigación científica y procesamiento de datos en la geociencias. En la actualidad trabaja en el desarrollo y aplicación del Complejo Redox, que es un método geofísico-geoquímico no convencional de exploración de yacimientos hidrocarburo.

ORCID: 0000-0001-9153-4603

M.E. Pardo-Echarte, es Ingeniero Geofísico en 1974. Ocupa el cargo de investigador I, Dr. en Ciencias Geológicas, profesor de la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Cuba, en la carrera de Ingeniería Geofísica. Ostenta la categoría de Investigador titular. Posee más de 45 años de experiencia en temas como las investigaciones geólogo-geofísicas aplicadas a la zonación tectónica y la cartografía geológica. Creador del método de medición del Potencial Redox en suelos y su aplicación combinada con la Kappametria a los fines de la prospección geológica. Certificado de Autor de Invención No. 22 635, Tomo 001, Folio 011, Resolución No. 475/2000. También, se posee experiencia en la impartición de la asignatura métodos no sísmicos y no convencionales aplicados a la exploración de petróleo y gas. En la actualidad trabaja en el Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET), en el desarrollo y aplicación del Complejo Redox, que es un método geofísico-geoquímico no convencional de exploración de yacimientos hidrocarburo.

ORCID: 0000-0003-0669-4413



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MEDELLÍN
FACULTAD DE MINAS

Área Curricular de Ingeniería
Química e Ingeniería de Petróleos

Oferta de Posgrados

Maestría en Ingeniería - Ingeniería Química
Maestría en Ingeniería - Ingeniería de Petróleos
Doctorado en Ingeniería - Sistemas Energéticos

Mayor información:

E-mail: qcaypet_med@unal.edu.co
Teléfono: (57-4) 425 5317