

Kappametría y la Pedogeoquímica sobre las estructuras sísmicas Vía Crucis y Mayabeque, La Habana, Cuba

Manuel Enrique Pardo Echarte¹, Osvaldo Rodríguez Morán²

¹ *Licenciado en Microbiología. Máster en Negocio de Petróleo y Gas. Centro de Investigación del Petróleo. La Habana, Cuba. Correo electrónico: thaishg89@gmail.com. Ingeniero Geofísico, Doctor en Ciencias Geológicas, Investigador Titular y Profesor Titular del Centro de Investigación del Petróleo, Churruca, No.481, e/ Vía Blanca y Washington, Cerro, La Habana, CP 10 600. ORCID ID: 0000-0003-0669-4413. Correo E.: manuel.pardo@ceinpet.cupet.cu; mpar-doecharte@gmail.com.*

² *Ingeniero Geofísico. Máster en Geología Petrolera. Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular e Investigador Titular de la Universidad Tecnológica de La Habana, «José Antonio Echeverría», Cujae, Ave 114 No. 11901, entre Ciclovía y Rotonda, Marianao, C.P. 19390, La Habana, Cuba. ORCID ID: 0000-0001-9153-4603, Correo E.: ormoran2016@gmail.com.*

RESUMEN

En condiciones sismogeológicas complejas, el establecimiento de la carga de hidrocarburos de una estructura por los métodos sísmicos se dificulta considerablemente. Resulta entonces necesario recurrir a la Exploración Geoquímica Superficial con métodos indirectos y directos. Uno de los métodos indirectos empleados con este propósito es la Pedogeoquímica (V, Ni, Fe, Pb y Zn). Como regla, se asiste de la Kappametría para establecer, en condiciones de campo, los posibles intervalos de interés en el perfil (presencia de presumible magnetita diagenética) donde prestar atención con los métodos geoquímicos directos. El objetivo de la investigación consistió en establecer la presencia de intervalos con valores anómalos (mayor que 3 veces el fondo local) y/o con incrementos (mayor que 2 veces el fondo local) de los elementos V, Ni y Fe (el Pb y el Zn no son indicadores confiables) y su regularidad, a lo largo de un perfil N-S transversal a cada una de las dos estructuras sísmicas cartografiadas (Vía Crucis y Mayabeque).

Los estudios se hicieron a partir de muestras de suelo tomadas a una profundidad de 10-30 cm, con un paso aproximado de 500 m en los perfiles mencionados. El procesamiento de la Pedogeoquímica consistió en la digestión ácida total (con clorhídrico) de las muestras tamizadas y la determinación del contenido de cada elemento mediante la Espectroscopía con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP). Según los resultados de la Pedogeoquímica, ambas estructuras (Vía Crucis y Mayabeque), de dimensiones transversales semejantes, parecen estar cargadas de hidrocarburos, al presentar una respuesta típica de halo: microfiltraciones intensas en sus límites y de menores proporciones en su centro o parte apical.

Palabras clave: Estructuras sísmicas; Exploración geoquímica superficial; Kappametría; Pedogeoquímica; Halos.

ABSTRACT

Under complex seismogeological conditions, determi-

Pardo-Echarte, M. E., Rodríguez-Móran, O., 2025, Kappametría y la Pedogeoquímica sobre las estructuras sísmicas Vía Crucis y Mayabeque, La Habana, Cuba: Geociencias UO. v. 16, núm. 2, julio 2025. pp. 87-93.

ning the hydrocarbon load of a structure using seismic methods becomes considerably difficult. It is therefore necessary to resort to surface geochemical exploration using indirect and direct methods. One of the indirect methods used for this purpose is pedogeochemistry (V, Ni, Fe, Pb, and Zn). As a rule, kappametry is used to establish, under field conditions, potential intervals of interest in the profile (presence of presumed diagenetic magnetite) where direct geochemical methods should be used. The objective of the investigation was to establish the presence of intervals with anomalous values (greater than 3 times the local background) and/or with increases (greater than 2 times the local background) of the elements V, Ni and Fe (Pb and Zn are not reliable indicators) and their regularity, along a N-S profile transversal to each of the two mapped seismic structures (Vía Crucis and Mayabeque). The studies were carried out from soil samples taken at a depth of 10-30 cm, with an approximate step of 500 m in the aforementioned profiles. The Pedogeochemical processing consisted of total acid digestion (with hydrochloric acid) of the sieved samples and the determination of the content of each element by means of Inductively Coupled Plasma Spectroscopy (ICP). According to the results of pedogeochemistry, both structures (Vía Crucis and Mayabeque), with similar cross-sectional dimensions, appear to be hydrocarbon-laden, exhibiting a typical halo response: intense microseepage at their boundaries and smaller ones at their centers or apexes.

Keywords: Seismic structures; Surface geochemical exploration; Kappametry; pedogeochemistry; Halos.

RESUMO

Em condições sismogeológicas complexas, estabelecer a carga de hidrocarbonetos de uma estrutura por métodos sísmicos torna-se consideravelmente mais difícil. É então necessário recorrer à Exploração Geoquímica de Superfície com métodos indiretos e diretos. Um dos métodos indiretos utilizados para esse fim é a Pedogeoquímica (V, Ni, Fe, Pb e Zn). Via de regra, a Kappametria é utilizada para estabelecer, em con-

dições de campo, os possíveis intervalos de interesse no perfil (presença de presumida magnetita diagenética) onde se deve atentar com métodos geoquímicos diretos. O objetivo da investigação foi estabelecer a presença de intervalos com valores anômalos (maiores que 3 vezes o fundo local) e/ou com aumentos (maiores que 2 vezes o fundo local) dos elementos V, Ni e Fe (Pb e Zn não são indicadores confiáveis) e sua regularidade, ao longo de um perfil N-S transversal a cada uma das duas estruturas sísmicas mapeadas (Vía Crucis e Mayabeque). Os estudos foram realizados utilizando amostras de solo coletadas na profundidade de 10-30 cm, com distância aproximada de 500 m nos perfis citados. O processamento da Pedogeoquímica consistiu na digestão ácida total (com ácido clorídrico) das amostras peneiradas e na determinação do teor de cada elemento por meio de Espectroscopia de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP). De acordo com os resultados da Pedogeoquímica, ambas as estruturas (Vía Crucis e Mayabeque), com dimensões transversais semelhantes, parecem estar carregadas de hidrocarbonetos, apresentando uma resposta típica de halo: microvazamentos intensos em seus limites e menores em seu centro ou parte apical.

Palavras-chave: Estruturas sísmicas; Exploração geoquímica de superfície; Capametria; Pedogeoquímica; Auréolas.

INTRODUCCIÓN

Uno de los métodos geoquímicos de superficie indirectos empleados para establecer la carga de hidrocarburos en las estructuras sísmicas cartografiadas y/o en posibles trampas estratigráficas vinculadas a complejos anómalos de métodos no sísmicos, es la Pedogeoquímica (V, Ni, Fe, Pb y Zn) (Pardo Echarte y Rodríguez Morán, 2016). Como regla, se asiste de la Kappametria para establecer, en condiciones de campo, los posibles intervalos de interés en el perfil (presencia de presumible magnetita diagenética) donde prestar atención con los métodos geoquímicos directos, como el registro de gases hidrocarburos.

El objetivo de la investigación consistió en es-

tablecer la presencia de intervalos con valores anómalos (mayor que 3 veces el fondo local) y/o con incrementos (mayor que 2 veces el fondo local) de los elementos V, Ni y Fe (el Pb y el Zn no son indicadores confiables) y su regularidad, a lo largo de un perfil N-S transversal a cada una de las dos estructuras sísmicas cartografiadas (Vía Crucis y Mayabeque). En algunos casos, la Kappametría reproduce los resultados de interés con buena precisión (como en Vía Crucis), en otros no tanto (como en Mayabeque).

Como antecedente de este estudio se tiene el Reporte de Investigación «Interpretación geofísico-morfométrica en apoyo a la exploración petrolera del Bloque 7», atendiendo a las estructuras sísmicas cartografiadas” (Pardo Echarte, 2023).

Su objetivo consistía en apoyar con una interpretación integrada geofísico-morfométrica a la exploración petrolera del área al atender a las estructuras sísmicas cartografiadas (**Figura 1**). La misma consideraba la aplicación de los métodos gravi-magnético y la morfometría no-convencional para cartografiar los

máximos locales relacionados, de una u otra forma, con posibles focos de microfiltración, mientras que para cartografiar esos focos se empleó la Espectrometría Gamma Aérea (EGA). Los resultados de esta investigación arrojaron que la estructura Mayabeque estaba posiblemente cargada. En el caso de Vía Crucis no se pudo decir otro tanto, dada la falta de información EGA en ese territorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los estudios se hicieron a partir de muestras de suelo tomadas a una profundidad de 10-30 cm, con un paso aproximado de 500 m en sendos perfiles de dirección N-S transversales a las respectivas estructuras.

El procesamiento de la Kappametría consistió en calcular el valor medio a partir de 7 lecturas tomadas sobre cada saco de muestra; establecer el valor de Fondo local (promedio de los valores mínimos) y normalizar todas las observaciones a partir del mismo. Los resultados de la Kappametría de presentan en las **Figuras 2 y 3**, respectivamente.

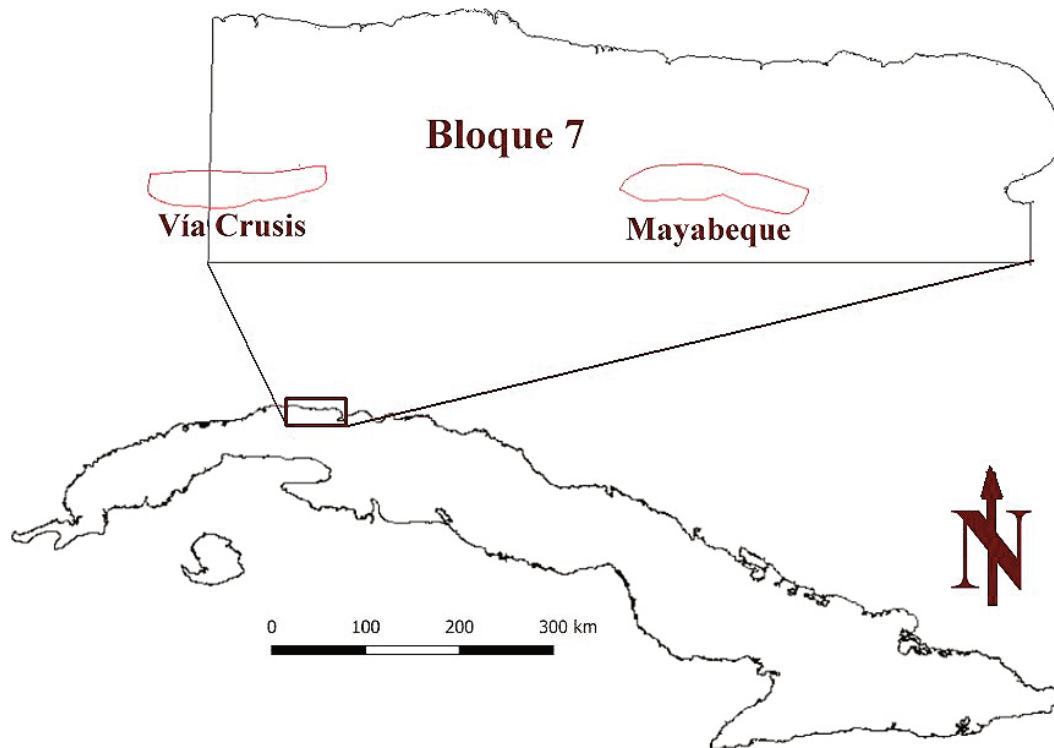


Figura 1. Ubicación espacial de las estructuras sísmicas cartografiadas en el Bloque 7.



Figura 2. Resultados de la Kappametría sobre la estructura Vía Crucis.

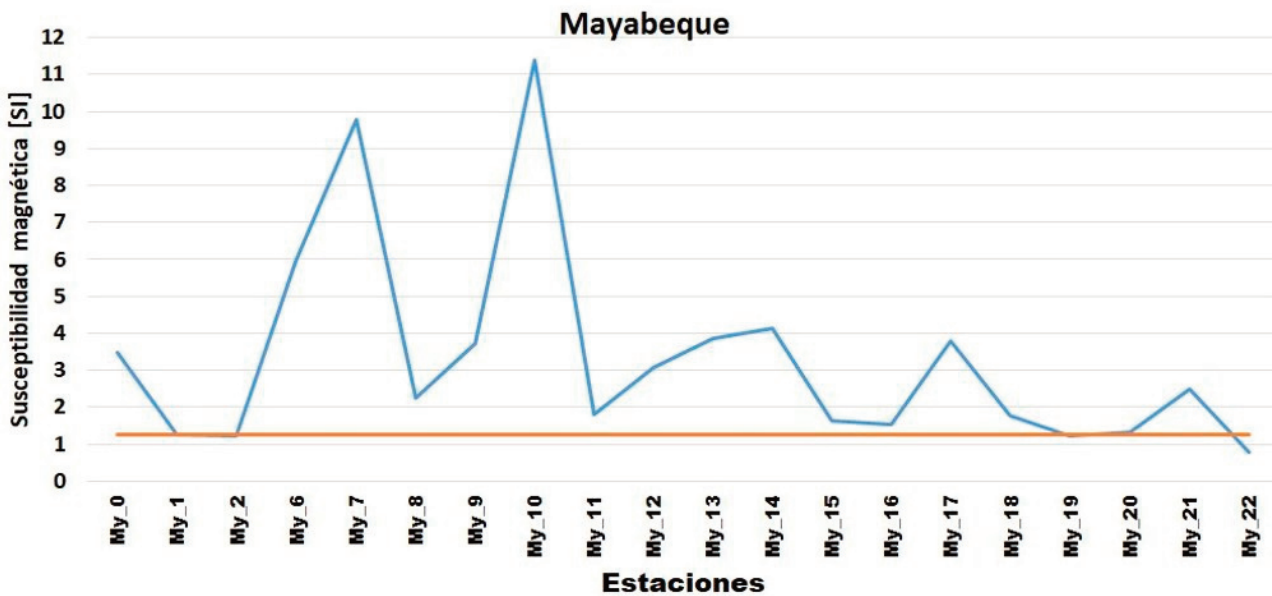


Figura 3. Resultados de la Kappametría sobre la estructura Mayabeque.

El procesamiento de la Pedogeoquímica consistió en la digestión ácida total (con Clorhídrico) de las muestras tamizadas y la determinación del contenido de cada elemento mediante la Espectroscopía con

Plasma Inductivamente Acoplado (ICP). Los resultados de la Pedogeoquímica se presentan en la **Tabla 1** y el análisis numérico de los mismos se resume en la **Tabla 2**.

PERFIL VÍA CRUSIS						PERFIL MAYABEQUE					
ID. Muestra	Fe	Ni	Pb	V	Zn	ID. Muestra	Fe	Ni	Pb	V	Zn
0	27712	157.6	<10,0	74.434	143.93	0	83640	142.63	<10,0	274.24	188.57
1	19841	197.17	<10,0	48.031	104.22	1	82588	106.97	<10,0	275.46	291.64
2	41811	732.21	<10,0	79.78	86.691	2	76187	116.86	<10,0	255.48	154.57
3	68615	271.78	<10,0	184.05	143.53	6	29357	335.53	<10,0	81.597	124.85
4	26069	226.43	<10,0	66.851	97.03	7	43364	55.112	<10,0	138.75	108.37
5	22725	232.16	<10,0	55.119	61.361	8	14499	30.891	<10,0	57.925	52.389
6	23697	634.78	<10,0	34.066	69.437	9	21713	39.955	<10,0	69.208	100.18
7	8628.6	100.17	<10,0	27.711	62.34	10	37901	53.166	<10,0	132.83	81.38
8	32784	63.114	<10,0	93.062	87.922	11	48583	36.796	<10,0	146.92	108.83
9	32658	67.754	<10,0	100.4	95.002	12	15637	41.84	<10,0	56.966	47.877
10	38864	93.537	<10,0	125.36	132.44	13	42634	66.256	<10,0	153.05	101.95
11	44934	61.09	<10,0	137.67	114.26	14	29421	39.393	<10,0	103.35	73.244
12	34092	58.58	<10,0	97.292	89.952	15	23360	84.373	<10,0	76.168	89.738
13	15425	150.74	25.115	43.69	54.908	16	32402	51.824	<10,0	116.47	97.562
14	13186	91.943	<10,0	41.589	46.025	17	28884	56.55	<10,0	85.419	165.31
15	22865	81.688	<10,0	68.668	96.759	18	22910	94.292	<10,0	58.923	66.747
16	36596	561.92	<10,0	75.75	84.473	18	31498	58.952	<10,0	98.31	175.69
17	23363	494.18	<10,0	42.304	54.065	19	21623	71.339	<10,0	64.01	121.19
19	25049	542.74	<10,0	44.357	75.281	20	36656	194.04	<10,0	115.07	80.812
21	44601	508.89	<10,0	92.258	95.409	20	18313	64.12	<10,0	94.243	89.892
22	35217	252.09	<10,0	117.61	86.121	21	25201	63.009	<10,0	75.992	174.17
						22	43707	90.651	<10,0	146.19	98.909

Tabla 1. Resultados químicos en los perfiles Vía Crucis y Mayabeque.

El análisis numérico de los datos químicos consistió en establecer los valores de Fondo local para los elementos V, Ni y Fe (los contenidos de Pb y Zn no reproducen la regularidad observada en el grupo anterior de elementos) a partir del promedio de los valores mínimos observados. Posteriormente, se calculan dos

niveles de corte (valores de interés): anómalo (menor que 3 veces el Fondo) e incrementado (menor que 2 veces el Fondo).

A los fines interpretativos, para cada punto de observación, se consideran tanto el número y tipo de elementos involucrados, así como su nivel.

Estructura	Puntos de observación	Elementos involucrados	Nivel
Vía Crucis	02-03	V, Ni, Fe	anómalo
	09-10-11-12	V, Fe	incrementado
	20-21-22	V, Ni, Fe	anómalo
Mayabeque	00-01-02	V, Ni, Fe	anómalo
	10-11	V, Fe	incrementado
	22	V, Ni, Fe	anómalo

Tabla 2. Resumen de los resultados del análisis numérico de los datos químicos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la Kappametría sobre la estructura Vía Crucis (Figura 2), reproduce la regularidad observada en la Tabla 3 en cuanto a los posibles intervalos de interés (probables microfiltraciones). No ocurre así para la estructura Mayabeque (Figura 3) donde, al parecer, la influencia de la respuesta litológica de la Susceptibilidad Magnética resulta mayor.

Los resultados de la Pedogeoquímica revelan una regularidad bien establecida para las dos estructuras (de modo independiente a su diferente ubicación espacial): valores anómalos de V, Ni y Fe en los límites septentrional y meridional de las estructuras e incrementados de V y Fe en sus partes centrales (apicales). Eso se interpretaría como microfiltraciones muy intensas en sus límites y de menores proporciones en su centro o parte apical, típicas de una respuesta de «Halo». Hasta este momento, no se tiene explicación para la no aparición del Ni incrementado en esta última situación.

En la literatura especializada no existen muchos trabajos donde se aborde con suficiente profundidad el problema de la aparición de los «Halos» como respuesta típica para algunos atributos (valores incrementados en los límites del depósito gasopetrolífero y disminuidos o ausentes en su centro o parte apical). Para otros atributos, como el registro de gases hidrocarburos y la densidad microbiana, la respuesta es apical típica.

A continuación, se refieren algunas consideraciones que hace el investigador Price (1985) relativo al comportamiento de halo de algunos atributos (radiación, resistividad, Pedogeoquímica y otros) y la posible explicación de su naturaleza, las cuales se aceptan como válidas para esta investigación:

Las anomalías de halo tienen formas de rosquilla con un anillo de altos valores que rodean la traza superficial de un depósito de hidrocarburos (HC) y los valores centrales son inferiores a valores de fondo. Los halos pueden ser continuos, pero aparentemente, son más frecuentes los discontinuos. Las anomalías de halo y apicales de forma presumible se deben de forma esencial, a la microfiltración de HC.

Como han señalado muchos investigadores, las anomalías de halo son la forma más común encontrada en el análisis de HC ocluidos en el suelo. Es digno de mención que varios otros atributos que han sido investigados como potenciales guías en la búsqueda de hidrocarburos también presentan anomalías en forma de halo (radiactividad, electricidad-conductancia y (o) resistividad-, Pedogeoquímica y otros), excepto para la densidad microbiana y el registro superficial de gases, que presentan objetivos completos a modo de una anomalía apical.

De todas las hipótesis avanzadas para explicar la célebre anomalía de halo encontrado en el análisis de HC ocluidos en el suelo (y otros métodos de exploración geoquímica superficial-EGS), el más popular es que los sedimentos (cubierta rocosa) sobre el depósito de HC se ha obstruido debido a la mineralización diagenética. Esto forma un sello endurecido, lo que obliga a que la microfiltración de HC ocurra solo o principalmente, en los bordes del depósito donde tal mineralización no ha tenido lugar. La evidencia muestra que esta teoría no debe ser correcta. Primero, si este fuera el caso, el análisis de HC suelo-aire, los HC absorbidos por el suelo y los estudios microbiológicos no producirían anomalías apicales, sino sólo producirían anomalías de halo. Las anomalías apicales son la evidencia indiscutible de que se está al producir una microfiltración de HC en la parte central del depósito y no solo en los bordes del mismo.

Una segunda línea de evidencia contra la teoría de la obstrucción es la del registro de gas HC en profundidad. Se sabe que las concentraciones aumentan de forma continua y alcanzan valores altos justo por encima del depósito HC. Estas observaciones muestran que la formación de anomalías de halo no puede deberse a la capa de roca obstruida, sino a un efecto cercano a la superficie.

Así, otros investigadores plantearon la hipótesis de que, la actividad bacteriana intensa en las

capas superiores del suelo, destruyeron la mayor parte de los HC que migraban de forma vertical sobre el centro de la traza superficial de un depósito de HC. Cuando uno se movía de forma lateral fuera del centro del depósito, la concentración de HC que migra de modo vertical, aumentaba. Así, el análisis de HC ocluidos en el suelo casi siempre debería arrojar anomalías de halo mediante el modelo anterior. Sin embargo, el análisis de HC absorbidos por el suelo y el análisis de HC suelo-aire podría producir halos o anomalías apicales al depender de la intensidad de la actividad microbiana. De hecho, debido a que la actividad microbiana puede ser estacional, el análisis de HC absorbidos por el suelo o el análisis de HC suelo-aire podrían realizarse en una época del año donde se produce una anomalía de halo y en otro momento se produce una anomalía apical. También una anomalía intensa en una época del año podría desaparecer por completo en otro tiempo del año.

CONCLUSIONES

Según los resultados de la Pedogeoquímica, ambas estructuras (Vía Crucis y Mayabeque), de dimensiones transversales semejantes, parecen estar cargadas de hidrocarburos, al presentar una respuesta típica de halo:

microfiltraciones intensas en sus límites y de menores proporciones en su centro o parte apical.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Centro de Investigación del Petróleo por permitir la publicación de la información ordinaria de la investigación y al Dr. Cs. Reinaldo Rojas Consuegra y a la Dra. Cs. Olga M. Castro Castiñeira por la revisión crítica del manuscrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Pardo, Echarte, M. E. y Rodríguez Morán O. (Monography)**, 2016, Unconventional Methods for Oil & Gas Exploration in Cuba. The Redox Complex. Springer Briefs in Earth System Sciences, DOI 10.1007/978-3-319-28017-2.
- Pardo, Echarte, M. E.**, 2023, Reporte de Investigación «Interpretación geofísico-morfométrica en apoyo a la exploración petrolera del Bloque 7, atendiendo a las estructuras sísmicas cartografiadas». Inédito, Centro de Investigación del Petróleo, La Habana, 5pp.
- 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.

