

Identificación de electrotipos para rocas areno-arcillosas en formaciones de la Franja Norte Petrolera Cubana

Electrotypes identification for sandy-clayey rocks in formations of the Cuban North Oil Belt

Olga CASTRO-CASTIÑEIRA*  Anabel GARCIGA-ACOSTA  & José HERNÁNDEZ-LEÓN 

*Autor de correspondencia: olgac@ceinpet.cupet.cu, bell25@ceinpet.cupet.cu, jhernandez@ceinpet.cupet.cu

Centro de Investigaciones del Petróleo, La Habana, Cuba 

Manuscrito recibido: 7 abril, 2022;

Recibido en formato revisado: 5 enero, 2023;

Aceptado: 9 enero, 2023

Resumen

El estudio de los sellos y reservorios es el objetivo principal de la petrofísica, dentro de la cual, los registros geofísicos de pozo cumplen un papel importante. La mejor opción para caracterizar las formaciones en los pozos es la descripción litológica de los núcleos y las muestras de canal, lo cual se complementa con la información continua que brindan los registros de pozos. Entre las rocas sellantes, se destacan mayormente las que son arcillosas, y se caracterizan por tener valores de resistividad baja, porosidad muy alta, valores elevados de radiactividad natural y presencia de derrumbes en los registros convencionales, mientras que, en los registros de imágenes de pared de pozo, lo típico son los colores más oscuros de la gama. En la práctica, estas características no son tan evidentes en todas las rocas que se definen como sellos arcillosos, ya que su composición y propiedades varían, y constituye un problema, en muchas ocasiones, identificar, a partir de la visualización de los registros, la formación a la que pertenecen esas rocas. La Unidad Tectónica Estratigráfica Placetas, dentro de la Provincia Norte Petrolífera Cubana, está constituida por una serie de formaciones. La Formación Constancia se considera como una transición entre las rocas clásticas sinrift y las rocas carbonatadas propias de las formaciones que constituyen reservorios dentro de la Unidad, mientras que Vega Alta es la cubierta sinorogénica que preserva los hidrocarburos de las formaciones productivas. Las formaciones Constancia y Vega Alta, suelen confundirse en los pozos, en la geología compleja de mantos y escamas en que aparecen. En este trabajo se integran los elementos geólogo-geofísicos disponibles para estudiar las diferencias y similitudes que presentan las rocas arcillosas en diferentes contextos y se analiza la identificación con las formaciones señaladas. Los gráficos de propiedades cruzadas de registros geofísicos ayudan en la identificación litológica en conjunto con la representación de los registros compuestos. Un rol destacado en la caracterización, lo juega el registro de imágenes, porque permite definir la textura de las rocas. Por último, la variación de los distintos registros geofísicos puede resumirse en los gráficos de estrella como estudio estadístico de cada paquete analizado. Como resultado se caracterizaron cuatro grupos litológicos de rocas arcillosas, a los que se les llamó electrotipos por su relación con los perfiles de pozo, gráficos e imágenes, y su relación las formaciones Vega Alta, Constancia u otra formación arcillosa en otras unidades tectónicas estratigráficas.

Palabras claves: litología; registros de pozo; formaciones Vega Alta y Constancia.

Abstract

The study of seals and reservoirs is the main objective of petrophysics, in which borehole geophysical logs play an important role. The best option to characterize formations in wells is the lithological description of cores and channel samples, which is complemented by the continuous information provided by the well logs. Among the sealing rocks, clays are the most and those that are mostly clayey, and also are characterized by low resistivity values, very high porosity, high natural radioactivity values, and the presence of landslides in conventional logs, whereas, in borehole image logs, the darkest colors of the range are typical. In practice, these characteristics are not as evident in all rocks that are defined as clay seals because their composition and properties vary, and it is often a problem to identify from the log display the formation to which these rocks belong. The Placetas Tectonic Stratigraphic Unit within the North Cuban Oil Province

How to cite this article:

Castro-Castiñeira, O., Garciga-Acosta, A. y Hernández-León, J., (2022). Identificación de electro tipos para rocas areno-arcillosas en formaciones de la Franja Norte Petrolera Cubana.. BOLETÍN DE CIENCIAS DE LA TIERRA, 52, pp. 37 - 47. DOI:<https://doi.org/10.15446/rbct.n52.102033>.

is made up of a series of formations. The Constancia Formation is considered a transition between the synrift clastic rocks and the carbonate rocks of the formations that constitute reservoirs within the Unit, while Vega Alta is the synorogenic cover that preserves the hydrocarbons of the productive formations.

The Constancia and Vega Alta formations are usually confused in the wells, in the complex geology of mantles and scales in which they appear. In this work, the available geological-geophysical elements are integrated to study the differences and similarities of the clay rocks in different contexts, and the identification with the mentioned formations is analyzed. The cross-property plots of geophysical logs help in the lithological identification in conjunction with the representation of the composite logs. A prominent role in the characterization is played by the image log because it allows for defining the texture of the rocks. Finally, the variation of the different geophysical logs can be summarized in the star plots as a statistical study of each analyzed package. As a result, four lithological groups of clayey rocks were characterized and were called electrotypes because of their relationship with the well profiles, graphs, and images and their relationship with the Vega Alta, Constancia, or other clayey formations in other tectonostratigraphic units.

Key words: lithology; well logs; formations Vega Alta and Constancia.

1. Introducción

Las investigaciones sobre los sellos y reservorios se realizan a través del método de registros geofísicos y la caracterización de las formaciones geológicas se realiza principalmente por muestras de canal y, de menor forma, por núcleos debido a su escasez. Cabe anotar que sobre las primeras se ha realizado en gran número de investigaciones. Los registros apoyan estos estudios con la información continua que brindan de las distintas propiedades. Tanto los reservorios como los sellos presentan características generales en cuanto a sus propiedades. En la práctica, en el caso de los sellos las características no se presentan tan claramente en todos los casos, y constituye un problema en muchas ocasiones, atribuir las rocas arcillosas a alguna formación, sin ambigüedad.

Dentro de la Provincia Petrolera Norte Cubana (Fig.1), se ha tratado de establecer en varias ocasiones la diferencia existente entre las electrofacies de la Formación Vega Alta (Kantchev, *et al.*, 1978) y de la Formación Constancia (Truitt y Pardo, 1953), ya que ambas tienen cierto contenido de arcilla que se manifiesta de forma muy similar. Los estudios realizados hasta el momento han resultado inconclusos por falta de integración entre la información litológica y el conjunto de registros completos que ayudan a definir las particularidades de cada una.

La Formación Constancia está constituida por rocas arcillo-aleurolítico-bituminosas con presencia de dolomitización e intercalación eventual de calizas. Estas rocas arcillosas presentan recristalización y fracturas rellenas por calcita y bitumen. La Formación Constancia es pre tethoniana y se desarrolló en un ambiente nerítico relacionado con el escenario del *synrift* continental, en el momento en que se produjo la ruptura del supercontinente Gondwana y la formación del océano original Tethys. Esta unidad se considera como una transición entre las rocas clásticas *synrift* y las rocas carbonatadas propias de la Formación Cifuentes que sobreyace en la Unidad Tectono Estratigráfica. Puede afirmarse, de manera preliminar, que el corte estudiado en Placetas Central, fundamentalmente en el yacimiento Varadero, es eminentemente terrígeno y está formado por alternancias complejas de arenita y limolita cuarcífera con argilita, y subordinadamente, sedimentos carbonatados (Fig. 2). Por el contrario, en Placetas Occidental, donde se encuentra el yacimiento Boca de Jaruco, las secciones estudiadas son predominantemente carbonatadas, con rocas terrígenas en cantidad subordinada (Valladares *et al.*, 1997; Flores *et al.*, 2020). También, presenta una abundancia de fragmentos vegetales fosfatizados, que son muy probablemente restos de plantas continentales.

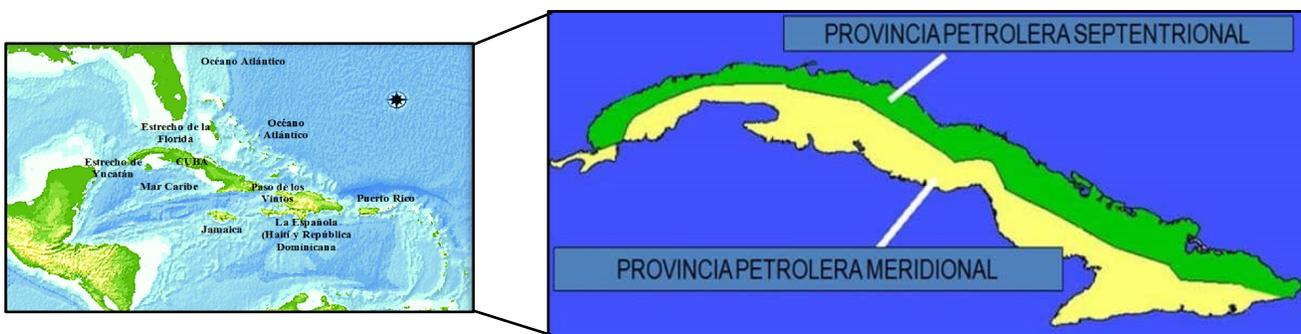


Figura 1. Ubicación de las provincias gasopetroleras cubanas.

Fuente: Derecha: Tomado de <https://www.granma.cu/cuba/2016-10-07/la-ruta-del-petroleo-en-cuba-segunda-parte-o7-10-2016-14-10-10>. Izquierda: Tomado de <https://researchgate.net/figure/Figura-2-Ubucacion-geografica-del-archipiélago-cubano>



Figura 2. Secuencia de la Formación Constancia. Areniscas cuarcíferas en una antigua cantera al este del poblado Sierra Morena, provincia de Villa Clara, Cuba.

Foto: Rolando García-Sánchez.

El sello de la acumulación en la Formación Vega Alta es la secuencia del Paleoceno que sobreyace a los horizontes productores en los que predominan las características de una secuencia arcillosa con pequeños lentes de reservorios. En ella están presentes varios tipos de minerales arcillosos, tales como la montmorillonita, hidromica, clorita y caolinita (Castro, 2017a). De igual manera, Hernández *et al.*, 2000 y Gómez *et al.*, 2018, han determinado que el corte de la formación presenta una facies terrígena, de gran espesor, que constituye un olistostroma caracterizado por un fuerte poligenismo con fragmentos que provienen de la destrucción de las facies de margen continental, del arco volcánico y su cobertura y del complejo ofiolítico. También presenta una facies calcáreo-arcilloso-silíceo, la cual constituye el sello regional específicamente, en la que se incluyen las rocas arcilloso-silíceas y las margas que componen la parte más baja del corte de la formación Vega Alta. Sin embargo, todas estas litofacies aparecen también en forma de intercalaciones muy complejas (Fig. 3).

El objetivo de este trabajo es presentar una valoración detallada de las características que muestran las rocas arcillosas en distintos pozos y asociar sus particularidades definidas por la integración de los elementos geólogo-geofísicos a las formaciones Constancia y Vega Alta. Para realizar la caracterización de las unidades se tomaron diferentes intervalos de rocas arcillosas descritas en los pozos, y se integraron con el análisis cualitativo de los registros geofísicos, gráficos de propiedades cruzadas, textura reflejada en las imágenes de pared de pozo y una estadística sencilla de las propiedades petrofísicas. Se tuvo en cuenta el concepto de electrofacies (EF) que corresponde al conjunto de respuestas de los perfiles que caracteriza a un estrato y permite distinguirlo de otros. Todas las respuestas de los perfiles (eléctricos, nucleares, acústicos, de buzamientos y otros), que indican los aspectos cuantitativos (valores de perfil) y cualitativos (características de las curvas) representan los componentes de las electrofacies (Serra, 1985). Las electrofacies se vinculan a litotipos definidos, como arena, caliza, arcilla y serpentinita entre otros. Cuando se alternan de forma regular estos litotipos, forman paquetes dentro de las formaciones muy útiles en las correlaciones de pozos.



Figura 3. Secuencias de Formación Vega Alta en superficie. Izquierda: fragmentos y bloques de calizas algunos estratificados, areniscas y silicetas en matriz arcillosa o limo arcillosa. Derecha: Transición del olistostroma grano y matriz sostenido a las facies arcillosas.

Fuente: Morales (2008).

2. Método y materiales

El trabajo desarrollado consistió en el análisis de los registros de cada formación con la descripción litológica bien definida y con la edad establecida. También se utilizó de forma conjunta el registro de imágenes FMI, que define la textura de las rocas, y un análisis gráfico de propiedades cruzadas en donde la agrupación de puntos permite definir la litología y las propiedades de las rocas. También se utilizaron gráficos de estrellas para visualizar los valores de máximo y mínimo promedio de los registros en las formaciones estudiadas para cada uno de los pozos.

La realización de este estudio se basó en el uso de los registros convencionales de pozo, tales como: gamma natural espectral (CGR- Gamma computado torio+potasio), SGR (Gamma total), THOR (torio en ppm), POTA (potasio % o fracción), URAN (uranio en ppm). Los registros eléctricos de resistividad utilizados fueron los siguientes: LLD (laterolog profundo en Ohm-m), LLS (Laterolog somero en Ohm-m), MSFL (Microlaterolog en Ohm-m) y HRLA (Laterolog de varios radios de investigación: RLA1 a RLA5, Ohm-m).

Los registros de porosidad corresponden a NPHI (Porosidad neutrónica en fracción), DPHI (Porosidad por densidad, también DPHZ, en fracción) y SPHI (Porosidad por sónico, fracción). Además, se usaron los registros de la cavernometría (CAL), el factor fotoeléctrico (PEF) y la densidad (RHOB).

Con las curvas resultantes se preparó el registro compuesto de cada pozo estudiado para la caracterización de los intervalos arcillosos. También se confeccionaron gráficos de propiedades cruzadas neutrón-densidad (NPHI-RHOB) para analizar el grado de heterogeneidad litológica.

Con la ayuda de las imágenes eléctricas realizadas a la pared del pozo (*fullbore formation micro imager*, FMI – Imágenes eléctricas de pared de pozo en Ohm-m) se analizó la imagen de la roca de la Fig. 4. De ella se puede inferir la presencia de intervalos arcillosos en los pozos por el color oscuro de la imagen estática y su textura se detalla por el contraste de colores en la imagen dinámica.

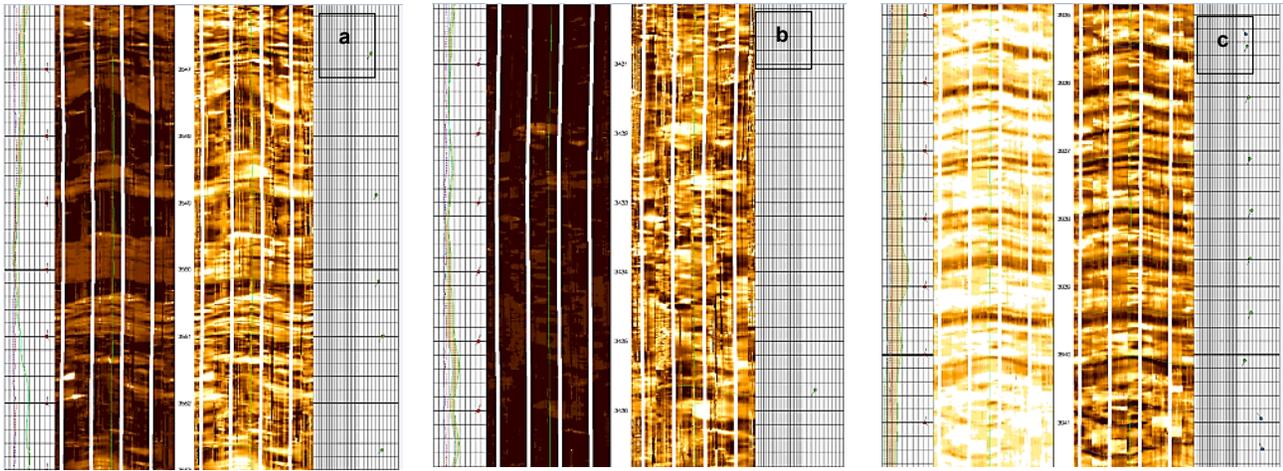


Figura 4. a. Comportamiento típico en el FMI de arena arcillosa. Se aprecia una textura donde la arcilla se intercala por capas con rocas arcillosas e inclusiones más duras; b. Comportamiento típico de arcilla en abundante matriz; c. Caliza con capas finas de arcilla intercaladas. Tomadas de los registros de imágenes de los pozos.

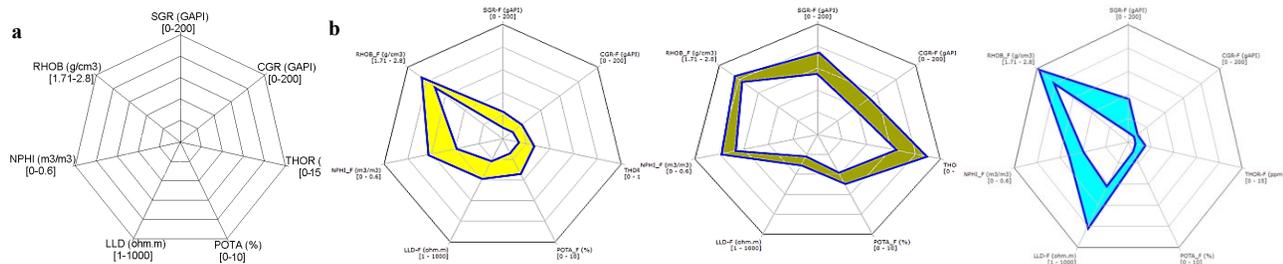


Figura 5. a) Orden de los ejes para los gráficos de estrella. Las escalas de los ejes son las siguientes: SGR y CGR – 0 a 200 GAPI; THOR 0 a 15 PPM; POTR 0 a 10 %; RT 1 a 1000; NPHI 0 a 0.6; RHOB (RHOB) 1.71 a 2.8 g/cm³. b) Gráficos para los diferentes tipos de roca presentes en las formaciones analizadas.

La representación de gráficos de estrella propuesto por [Serra \(1985\)](#), es un análisis estadístico sencillo, pero ilustrativo, de los valores registrados. Dentro de los gráficos, cada rama o eje representa un registro con la variación máxima-mínima que al unir estos puntos de cada eje aparece una forma característica para cada electrofacies. Solo basta la variación en un solo eje para establecer la diferencia entre dos electrofacies. También la diferencia entre las figuras formadas por los valores máximos y mínimos expresa la homogeneidad de la roca analizada, el grado de variabilidad de un litotipo o la presencia de varios litotipos. En la [Fig. 5\(a\)](#) se ilustran los registros y el orden en que aparecen los ejes en los gráficos de estrella que se construyeron y (b) la forma más típica con esta distribución de ejes, para la arena, la arcilla y la caliza presentes en las formaciones analizadas.

La integración del conocimiento de la litología típica de las formaciones, los gráficos litológicos de propiedades cruzadas, los registros compuestos para definir visualmente los intervalos, los registros de imágenes (FMI) para conocer texturalmente la roca y los valores representados estadísticamente por métodos gráficos, conlleva a la definición del término Electrotipo (ET), que corresponde a un conjunto de comportamientos por intervalos en registros compuestos, gráficos de propiedades cruzadas, estadística de

valores en forma de gráficos de estrellas y textura observada en el FMI.

3. Resultados y discusión

Como resultado del estudio del comportamiento de los registros geofísicos frente a los sellos o rocas arcillosas y arena arcillosas, se clasificaron convencionalmente cuatro grupos litológicos o electrotipos, que se definen seguidamente y posteriormente se presentan los modelos para cada electrotipo en distintos pozos.

Electrotipo 1: Arenas arcillosas. Los registros presentan valores moderados de torio y potasio, con poco uranio o sin uranio superados incluso por el gamma total en intervalos de reservorio por sus elevados valores de uranio. A su vez, la resistividad es baja y la porosidad es alta. En el registro de imágenes eléctricas (FMI) hay una diversidad de texturas y estructuras como: brechas grandes y medianas, capas gruesas y finas, pliegues y contenido arcilloso. Estas arenas son típicas de las formaciones descritas como Vega Alta, en el tope de las formaciones que constituyen el reservorio, o entre mantos y escamas de reservorios.

Electrotipo 2: Arcillas y arenas o calizas en capas delgadas y muy plegadas. Los registros son muy

homogéneos, con valores de bajos a moderados de torio y potasio y con alguna presencia de uranio. Al mismo tiempo, la resistividad es baja y la porosidad es de media a muy baja. En el FMI se observa una estructura finamente laminada y muy plegada, donde se alternan las arenas o los carbonatos con las arcillas, y es la principal diferencia con el electrotipo anterior; de no contarse con este registro es imposible su identificación. Se encuentra ocasionalmente entre secciones del reservorio.

Electrotipo 3: Arcillas. En los registros, los valores son de altos a muy altos de torio y potasio mientras que el uranio puede estar o no presente. En cuanto a la resistividad es de baja a muy baja y la porosidad de alta a muy alta. En el FMI se aprecia un gran contenido arcilloso con textura clástica gruesa, abundante matriz arcillosa por intervalos y brechas pequeñas de elementos más resistivos correspondientes a otros litotipos dispersos. Se presenta intercalada con las electrofacies de los grupos anteriores en el tope de las formaciones que constituyen el reservorio o entre los mantos

y las escamas de los reservorios.

Electrotipo 4: Arcillas y arenas. Dentro de los registros los valores son de altos a muy altos en torio y potasio y hay presencia de uranio. La resistividad es de baja a muy baja y la porosidad es de alta a muy alta. En el FMI se aprecia un gran contenido arcilloso con textura clástica gruesa y abundante matriz arcillosa, pero también están presentes, ya sea en bandas o en brechas, la manifestación de otras litologías. Aunque se puede encontrar en la Formación Vega Alta, también aparece de forma general en la Formación Constancia (Castro, 2017b).

3.1 Modelos del ET 1: Arenas arcillosas

En los gráficos de propiedades cruzadas en los pozos PE-15RE y STC-100 para distintos intervalos arcillosos (Fig. 6), se aprecia la variabilidad litológica. En ellos hay desde arenas cuarcíferas hasta calizas y calizas algo arcillosas, en distinta proporción en cada pozo. Las rocas más arenosas se distinguen por su baja densidad como por ejemplo en el pozo STC-100.

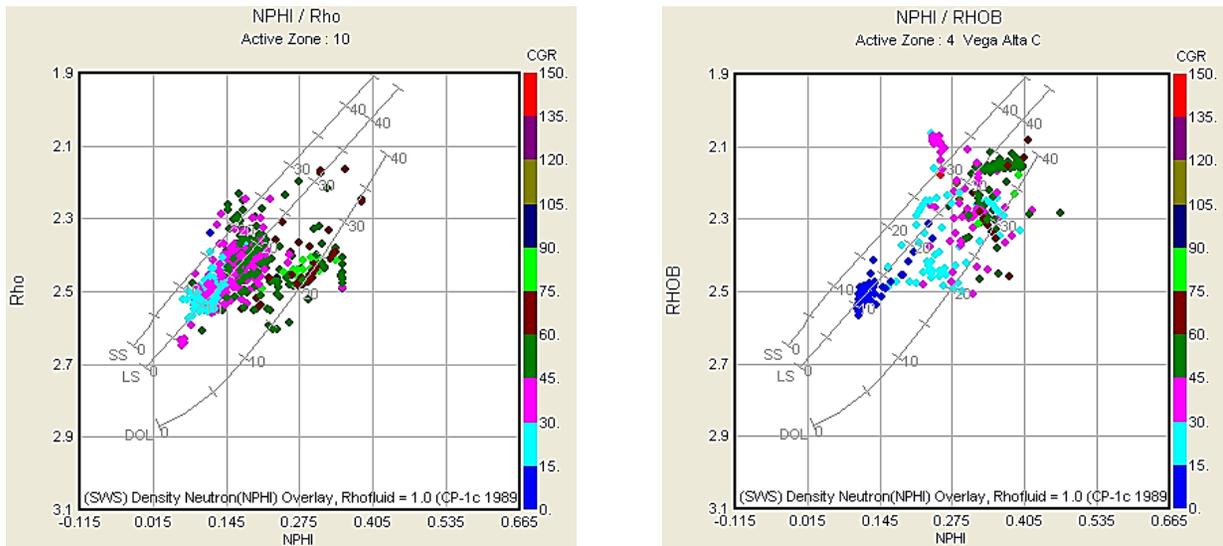


Figura 6. Gráfico de propiedades cruzadas de los pozos PE-15RE (izquierda) y STC-100 (derecha).

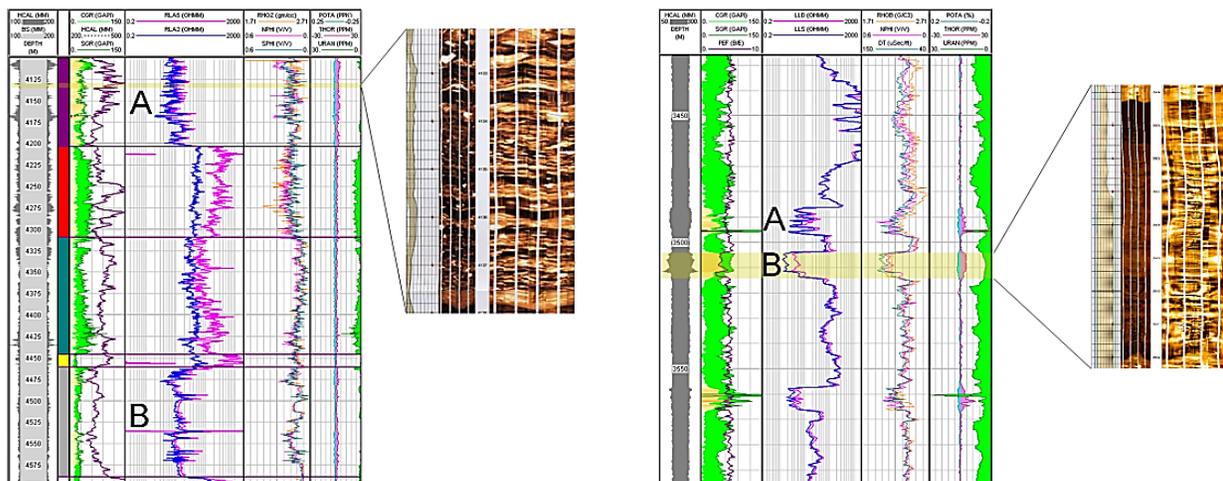


Figura 7. Registro compuesto de los pozos PE-15RE a la izquierda, con los intervalos arcillosos A y B; A representado en la imagen de FMI, y STC 100 con los intervalos arcillosos A y B; B aparece en la imagen de FMI a la derecha.

En la Fig. 7 aparece el registro compuesto con baja resistividad y alta porosidad. Por otro lado, los rayos gamma medios en las zonas arcillosas implican la presencia de otros componentes además de las arcillas. El gamma total puede ser menor que en los reservorios, como el intervalo que está a continuación de A. En las imágenes eléctricas de la pared del pozo en los intervalos ejemplificados se aprecian capas gruesas, zonas brechadas y algún pliegue. La coloración indica la presencia de otras litologías además de arcilla.

En la Fig. 8 se muestran los gráficos de estrellas que resumen los valores promedios de los registros en los intervalos estudiados de los pozos. En el pozo PE-15RE en el tope del reservorio (A) donde los valores moderados de torio y potasio son su característica principal. Por otra parte, en el pozo STC 100 (A y B) donde se intercalan en el reservorio y se observa la poca variación de máximo-mínimo se puede afirmar que hay poca variación en su composición. Llama la atención el parecido de los gráficos de estos pozos a la estrella de la arena típica por tanto sus valores tienen influencia, aunque no sea un componente mayoritario.

Las determinaciones de la presión capilar de mercurio se utilizan para estimar la capacidad del sello. En estudios realizados en numerosas litologías de sellos se obtuvo una clasificación basada en la altura de la columna de hidrocarburos capaz de ser sostenida por esas rocas. Por consiguiente, se puede concluir que las litologías arcillosas

caracterizadas por poca presencia de fracción arenosa (litologías no grano soportadas) con un volumen reducido de porosidad intergranular presentan las mejores propiedades sellantes (Choquette y Pray, 1970; Folk, 1980; Morales, 2021). Este es el caso de este grupo de rocas areno-arcillosas que sirven de sello en la Formación Vega Alta.

3.2 Modelos del ET 2: Arcillas y arenas o calizas, en capas delgadas muy plegadas

En la Fig. 9 se presentan los gráficos de propiedades cruzadas para los pozos FRN-1002ST, STC-100 y YUM-400 donde la agrupación cerrada de puntos indica que hay homogeneidad litológica. En los dos primeros predominan las arenas cuarcíferas algo arcillosas de baja densidad, mientras que en el tercero se presentan calizas un tanto arcillosas, las cuales se identifican por su porosidad hacia los valores bajos.

En el registro compuesto de la Fig. 10 se puede apreciar la homogeneidad litológica por la poca variabilidad de los registros, su carácter arenoso en los dos primeros pozos y su carácter calcáreo en el tercero. Por la separación de las curvas neutrónica y de densidad las imágenes de FMI, frente del pozo, muestran las capas finas muy plegadas en los tres pozos, por lo tanto, es la firma distintiva de este grupo.

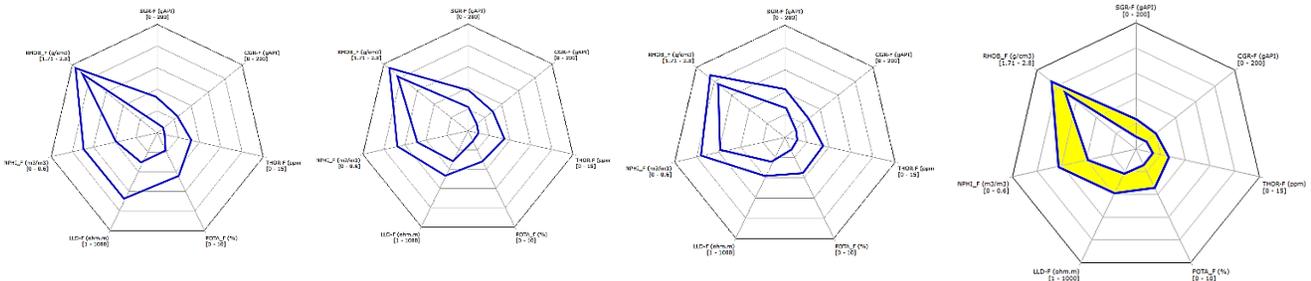


Figura 8. Gráficos de estrella con el promedio de valores máximos y mínimos de los intervalos arcillosos analizados en los pozos PE 15RE, intervalo A, STC 100 intervalos A y B, y su similitud con el gráfico de la arena.

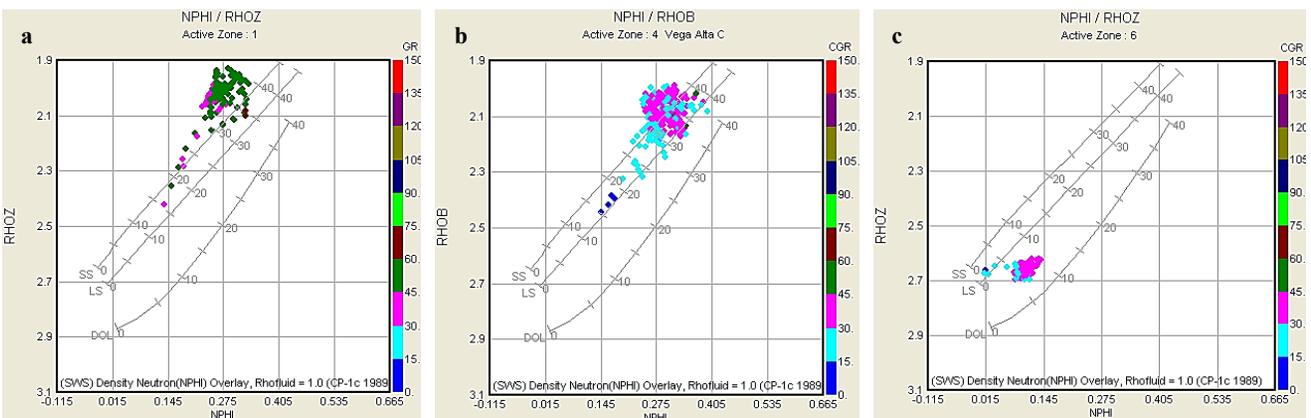


Figura 9. Gráfico de propiedades cruzadas de los pozos FRN-1002ST (a), STC-100 (b) y YUM-400 (c), con grupos de puntos que indican homogeneidad por su cercanía.

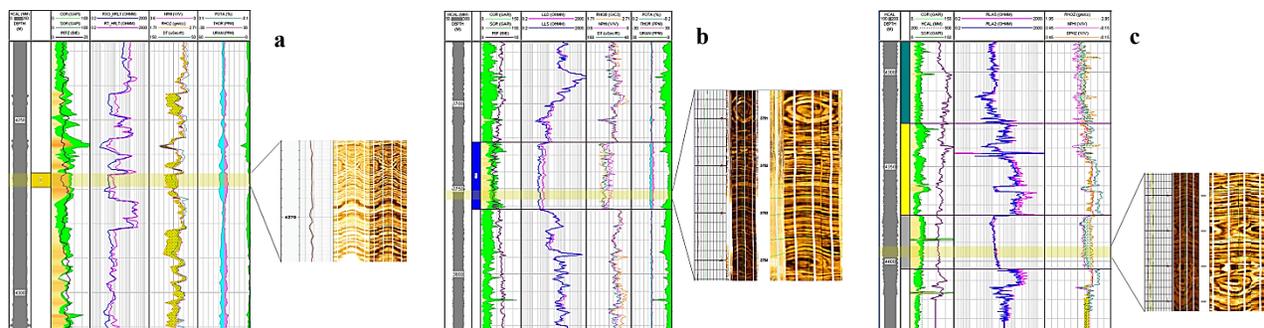


Figura 10. Registro compuesto del pozo FRN-1002ST (a), STC-100 (b) y YUM-400 (c), con el intervalo arcilloso en cada uno de ellos representado en una imagen de FMI.

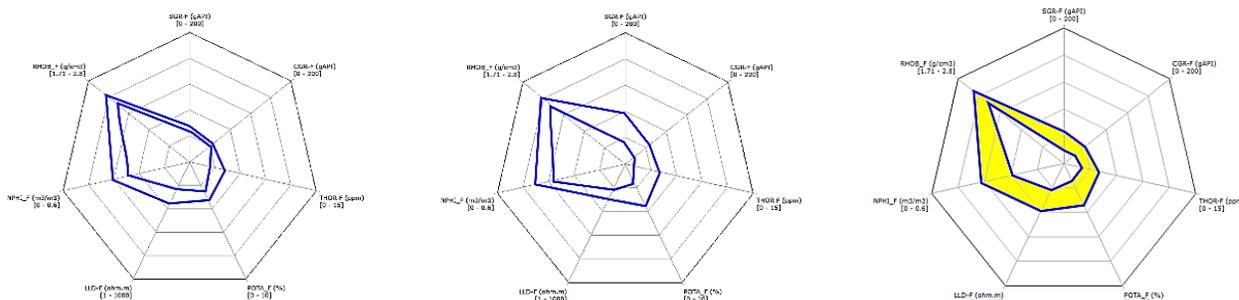


Figura 11. Gráficos de estrella con el promedio de valores máximos y mínimos de los intervalos con arcillas arenosas muy plegados en los pozos FRN 1002, STC 100 y comparación con patrón de arena.

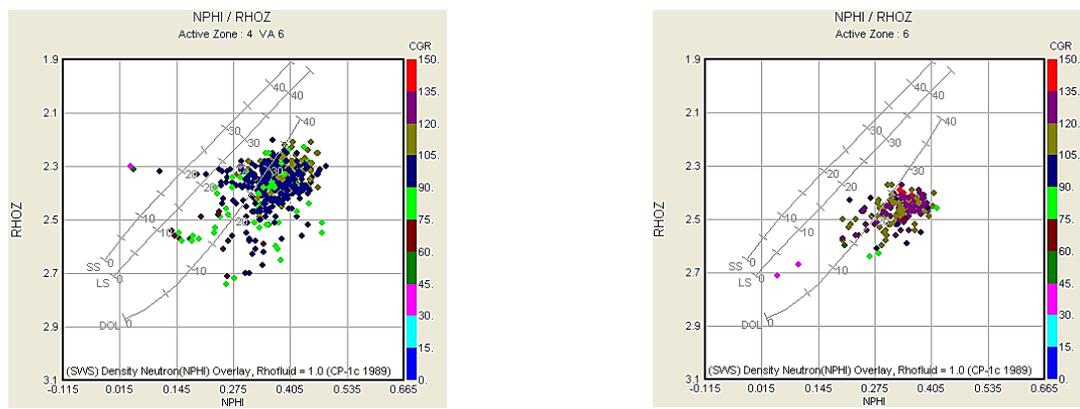


Figura 12. Gráfico de propiedades cruzadas de los pozos YUM-211RE (izquierda) y YUM-400 (derecha)

Las gráficas de estrella presentan patrones cercanos a las arenas similares al grupo anterior, ya que la composición litológica es la misma con menor variabilidad entre el mínimo y el máximo para el primer pozo (Fig. 11). Tienen similitud con el gráfico característico de las arenas.

3.3 Modelos del ET 3: Arcillas

En la Fig. 12 se muestran los gráficos de propiedades cruzadas para los pozos YUM-211RE2 y 400, donde aparecen las rocas muy arcillosas que tienden a agruparse sobre y debajo de la línea de la dolomita en la zona de alta

porosidad. En la Fig. 13 se muestran los registros compuestos que presentan valores máximos de rayos gamma con un alto contenido de torio, potasio y uranio. Junto a la imagen de FMI se denota una abundante matriz arcillosa y pequeñas brechas de otros componentes. La estadística de los valores de los registros puede apreciarse en los gráficos de estrella de la Fig. 14. Su característica principal son los altos valores de torio, potasio y uranio y la separación moderada de máximo mínimo, que indica la poca variabilidad litológica con un comportamiento similar a la estrella de la arcilla.

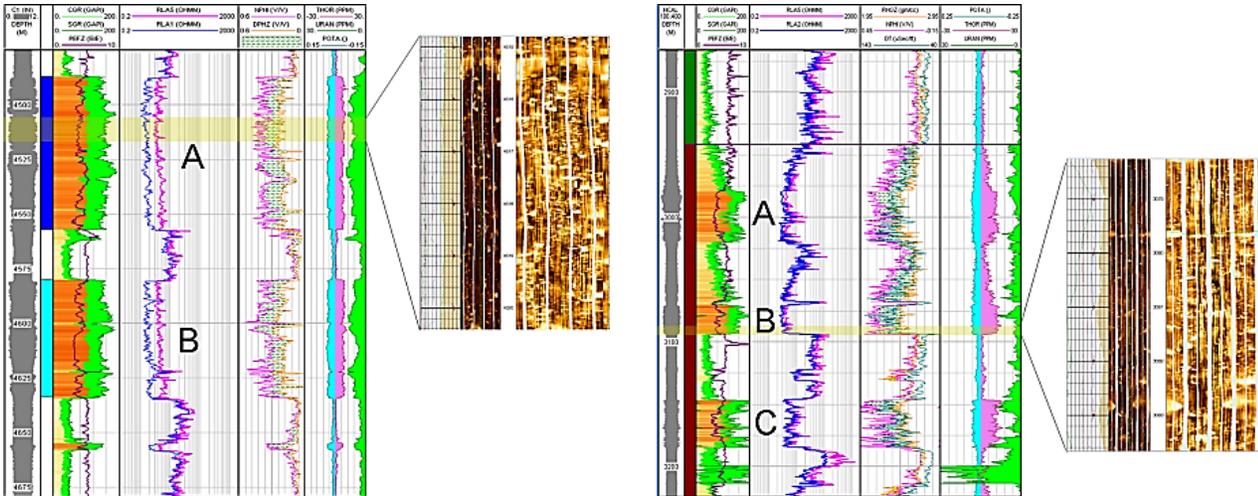


Figura 13. Izquierda: Registro compuesto del pozo YUM 211-RE2 con los intervalos arcillosos A y B; A representado en la imagen de FMI. Derecha: pozo YUM-400 con los intervalos arcillosos A, B y C; B en la imagen.

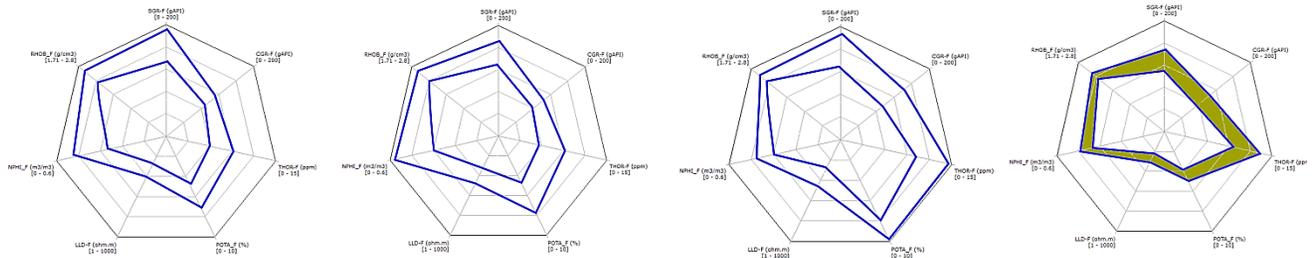


Figura 14. Gráficos de estrella con el promedio de valores de los intervalos arcillosos A y B analizados en el pozo YUM-211RE2 y YUM-400 en el intervalo B y gráfico para la arcilla.

En estos pozos el electrotipo presenta un gran desarrollo que alterna con intervalos de los reservorios. Tiene todas las características de una roca con componentes arcillosos en un elevado porcentaje.

3.4 Modelos del ET 4: Intercalaciones de arcillas, arenas y calizas

En la Fig. 15 se exponen los gráficos de propiedades cruzadas en los intervalos de los pozos LIT y VDW-1001 de

composición arcillosa, carbonatada y arenosa.

En la Fig. 16 se muestran los registros compuestos de los pozos LIT y VDW-1003 donde se señalan los intervalos arcillosos con el detalle de la imagen FMI. En el pozo LIT se manifiesta muy bien la heterogeneidad conglomerática de la composición, mientras que en el pozo VDW-1003 se observa que en el intervalo la matriz arcillosa con un clasto carbonatado hacia el centro.

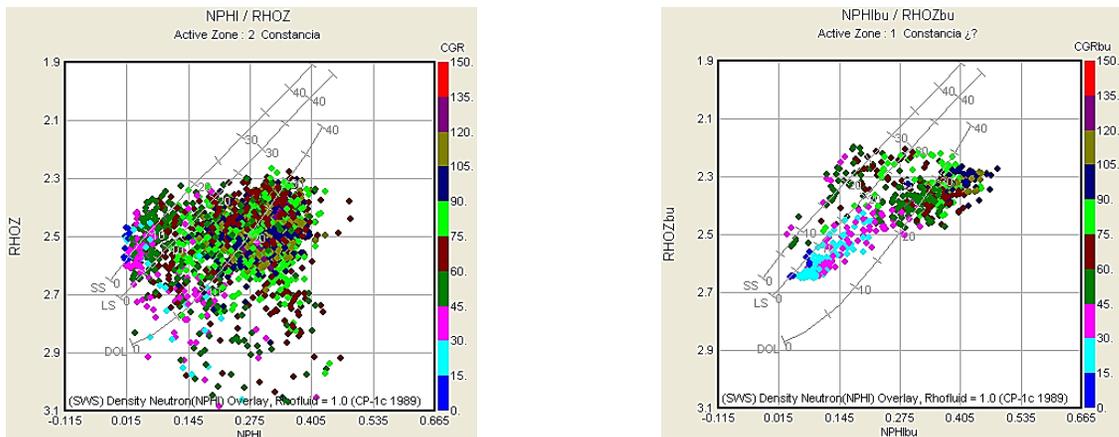


Figura 15. Gráfico de propiedades cruzadas que reflejan la composición heterogénea de intervalos de los pozos LIT y VDW-1001.

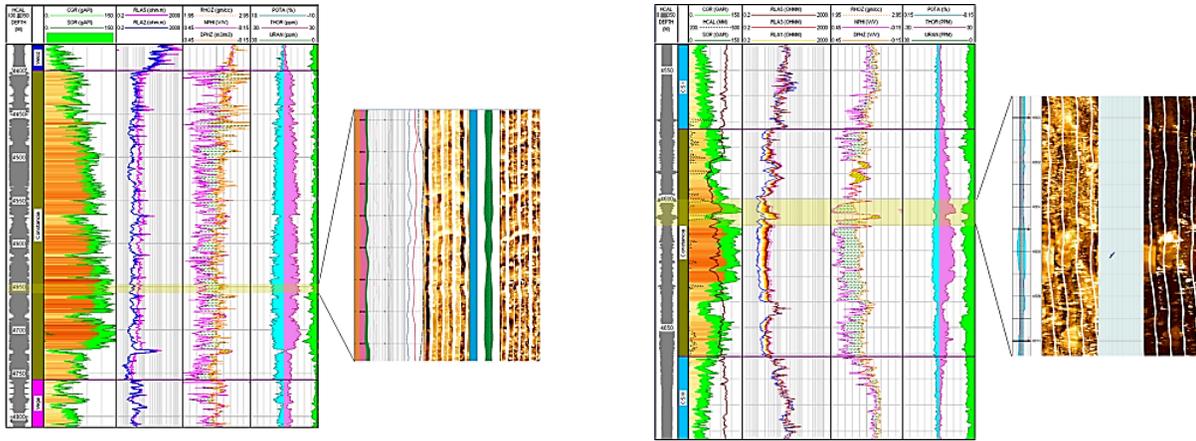


Figura 16. Registro compuesto del pozo LIT a la izquierda, con la imagen FMI; en la parte derecha está representado el pozo VDW-1001 con la imagen FMI.

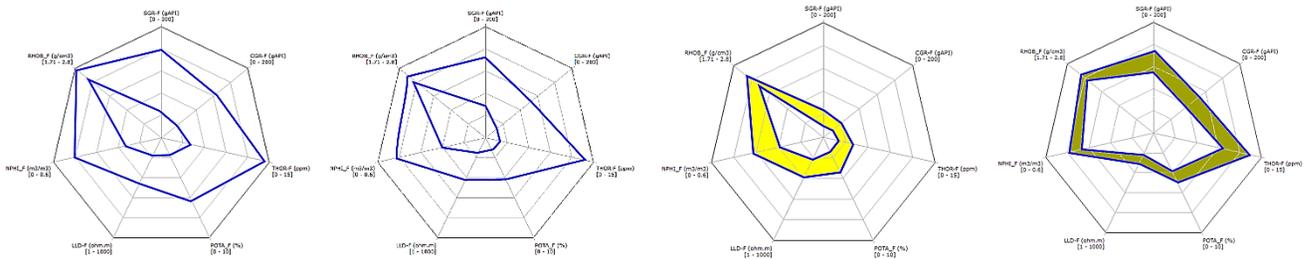


Figura 17. Gráficos de estrella con el promedio de valores de los intervalos arcillosos analizados en los pozos LIT y VDW 1001 y los gráficos de la arena y la arcilla.

En los gráficos de estrella de la [Fig. 17](#) aparecen los pozos LIT y VDW-1001 asignados a la Formación Constanca. La característica más notable es la separación de máximo-mínimo, la cual indica la variabilidad litológica, donde los valores mínimos se acercan a la estrella de la arena y los máximos a la estrella de la arcilla definiendo dos poblaciones litotípicas independientes.

La Formación Constanca se caracteriza por su heterogeneidad litológica en donde alternan arcillas similares a las del electrotipo 3 con rocas arenosas y arenas similares a las del electrotipo 1; también pueden estar presentes los carbonatos. Esta formación corresponde a electrotipo compuesto. La presencia de uranio corresponde a los restos fosfatados que integran su composición.

Por último, este tipo de estudio integral permite, también, caracterizar otras formaciones dentro de la provincia gasopetrolífera norte cubana, donde las formaciones en las unidades tectonoestratigráficas guardan relación por su composición y edad. Esto ocurre con la Formación Vega ([Kantchev et al., 1978](#)), con el sello de las unidades tectonoestratigráficas Camajuaní, Manacas ([Pszczólkowski et al., 1975](#)) y Sierra del Rosario. Las [Figs. 18, 19 y 20,](#)

corresponden al análisis del intervalo arcilloso.

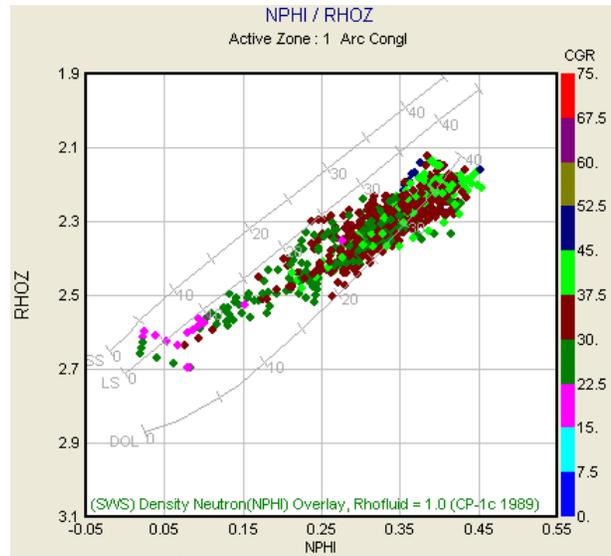


Figura 18. Gráfico de propiedades cruzadas del pozo MN-1X, que representa al intervalo arcilloso de la Formación Manacas.

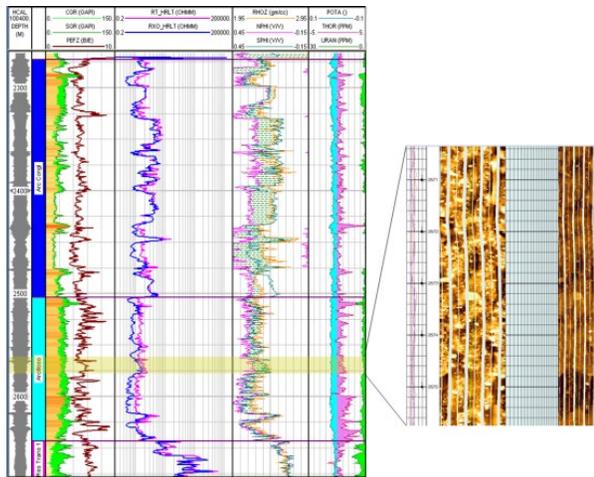


Figura 19. Registro compuesto del pozo MN-1X, con la imagen FMI de la Formación Manacas.

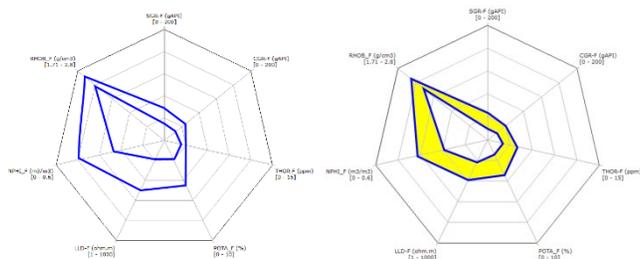


Figura 20. Gráfico de estrella con el promedio de valores del intervalo arcilloso analizado el pozo MN-1X. Su característica principal está en los valores moderados de torio y potasio, que lo lleva a una semejanza con la estrella de la arena típica.

En la Formación Constancia se identifican arenas arcillosas (electrotipo 1), donde los gráficos de propiedades cruzadas muestran la dispersión de puntos hacia las arcillas. En los registros compuestos se aprecian lecturas moderadas de los rayos gamma. En la imagen eléctrica estática de pared de pozo la coloración es semioscura y en la imagen dinámica la textura es de brechas muy finas. En los gráficos de estrella son cercanos al patrón de la arena.

4. Conclusiones

En este trabajo se integran los elementos geológico-geofísicos disponibles para estudiar las diferencias y similitudes que presentan las rocas arcillosas en diferentes contextos y se analiza la identificación con las formaciones señaladas.

Las arcillas analizadas de las formaciones Vega Alta y Constancia se clasificaron en cuatro grupos de comportamientos, que responden a su composición y propiedades. Estas fueron identificadas como electrotipos por su relación con los registros de pozo.

En la mayoría de los casos, en las rocas identificadas dentro de la Formación Vega Alta las arcillas no se destacan por la alta radiactividad en la mayor parte del espesor, ya que el componente arcilloso contiene inclusiones de otras rocas como lo confirman

las imágenes de la textura variable en el electrotipo 1. Esta aparece en el tope de las formaciones carbonatadas que constituyen reservorios o entre mantos o escamas de ellas.

El registro de imágenes es determinante para definir el grupo 2, que, en el caso de arenas y arcillas plegadas puede confundirse con el grupo anterior por su composición similar. Se presenta ocasionalmente entre secciones del reservorio.

El electrotipo 3 es el único que corresponde a una arcilla o al menos a una roca con componentes arcillosos en un elevado porcentaje, con altas lecturas de gamma computado. Aparece con gran desarrollo solo en los pozos ejemplificados YUM 400 y 211RE.

La Formación Constancia responde a un electrotipo compuesto por el 1 (rocas areno-arcillosas) y el 3 (arcillas), y se destaca el aumento de las lecturas de uranio por la materia orgánica de los restos fosfatizados.

5. Reconocimientos

Este trabajo se realizó como apoyo al proyecto de investigación 7053 "Exploración de Hidrocarburos en la Zona Exclusiva Económica de Cuba en el Golfo de México, Etapa 5: Estudio Facial de la Formación Constancia", del Centro de Investigación del Petróleo, financiado por la Dirección de Exploración de Cubapetróleo, y su líder es la MSc. Aliena Flores Nieves. El colectivo de autores del artículo forma parte de los investigadores involucrados en la tarea.

Referencias

Castro, O. (2017a). Formaciones principales en los yacimientos cubanos. En: Castro,O., Evaluación Petrofísica de formaciones gasopetrolíferas Cubanas. pp 183-224. Centro Nacional de Información Geológica, La Habana, Cuba.

Castro, O. (2017b). Comportamiento petrofísico de los reservorios y sellos de la zona económica exclusiva de Cuba en el Golfo de México y sus alrededores. En: Geociencias 2017: VII Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, Comisión de Petróleo, pp 143-146. CD-R ISSN 2307-499X. La Habana, Cuba.

Choquette, P.W. and Pray, L.C. (1970). Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. American Association of Petroleum Geologist Bulletin. 54(2), pp 207-250.

Flores, A., Hernández, J. y Castro, O. (2020). Informe de la Etapa 5 del Proyecto 7053: Estudio facial de la Formación Constancia. En: Exploración de Hidrocarburos en la Zona Exclusiva Económica de Cuba en el Golfo de México. Manuscrito no publicado. Archivo Técnico CEINPET, La Habana, Cuba.

Folk, R.L., 1980. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Publishing Co., Austin, Texas, USA.

Gómez, J., Hernández, J. y Rodríguez, O. (2018). Informe del Proyecto 7082: caracterización de intervalos potencialmente productores de gas mediante modeladores

- litofaciales (II). Manuscrito no publicado. Archivo Técnico CEINPET, La Habana, Cuba.
- Hernández, J., Fernández, J., Castro, O., Alvarez, J., Blanco, M., Pérez, L., Rodríguez, O., López, O. y Ronda, M. (2000). Informe del Proyecto 2202: análisis facial del yacimiento Puerto Escondido. Manuscrito no publicado. Archivo Técnico Ceinpet, La Habana, Cuba.
- Kantchev, I.L., Boyanov, I., Goranov, A., Iolkichev, N., Cabrera, R., Kanazirski, M., Popov, N. y Stancheva, M., (1978). Geología de la provincia de Las Villas. Resultados de las investigaciones geológicas y levantamiento geológico a escala 1:250 000, realizado durante el período 1969-1975. Brigada Cubano-Búlgara. Manuscrito no publicado. Instituto de Geología y Paleontología, ACC, La Habana, Cuba.
- Morales, C. (2008). Estudio litológico facial del sello en la Franja Norte de Crudos Pesados. Tesis de Maestría, Departamento de Geología, Universidad de Pinar del Río, Cuba.
- Morales, C. (2021). Estudio litológico facial del sello en la Franja Petrolera Norte Cubana. Tesis de Doctor, Departamento de Geociencias, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de la Habana, CUJAE, La Habana, Cuba.
- Pszczółkowski, A., Piotrowska, K., Mycznski, R., Piotrowski, J., Skupinski, A., Grodzicki, J., Danilewski, D. y Haczewski, G. (1975). Texto explicativo al mapa geológico a escala 1:250 000 de la provincia de Pinar del Río. Brigada Cubano-Polaca. Manuscrito no publicado. Instituto de Geología y Paleontología, ACC, La Habana, Cuba.
- Serra, O. (1985). Información sobre facies y secuencias. En: Serra, O. Análisis de ambientes sedimentarios mediante perfiles de pozo, pp. 85-117, Schlumberger, Edipubli S.A.
- Truitt, P. and Pardo, G., 1953. Geological Memorandum PT-20. Geology of Santa Clara, Cuba, Calabazar-Camajuaní-Placetas area. Manuscrito no publicado. Oficina Nacional de Recursos Minerales, Ministerio de la Industria Básica, La Habana, Cuba.
- Valladares, S., Castro, O., García, R., Blanco, S., Hernández, J., Fernández, J., Brey, D., Rodríguez, M., Hernández, V., Segura, R., Alvarez, J. y Villavicencio, B. (1997). Informe de la Etapa I Proyecto 6/95: Reservorios carbonatados pertenecientes a la UTE Placetas. En: Reservorios carbonatados de Cuba. Manuscrito no publicado. Archivo Técnico CEINPET, La Habana, Cuba.
- O. Castro - Castiñeira**, se graduó como Ingeniera Geofísica en 1974 y obtuvo el grado de Dra. en Ciencias de la Tierra en 1992, todo en la Ciudad Universitaria José Antonio Echeverría de la Habana, Cuba. Ha trabajado en el Centro de Investigaciones del Petróleo de Cupet a través de los años como especialista en petrofísica, labor que sigue realizando paralelamente a la de profesora en la Universidad. Tiene artículos con resultados de sus investigaciones en publicaciones nacionales y extranjeras, un grupo de los cuales aparecen recogidos en el libro Evaluación Petrofísica de las Formaciones Gasopetrolíferas Cubanas. ORCID: 0000-0003-4285-6774
- A. Garciga-Acosta**, se graduó como Ingeniera Geofísica en la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cuba. Comienza a prestar servicios a la Unión Cubapetróleo en el Centro de Investigaciones del Petróleo en el año 2019. Desde ese momento estuvo vinculada al tema de la petrofísica. Ha participado en varios proyectos de investigación en los cuales ha brindado información petrofísica a partir de la interpretación y reinterpretación de registros geofísicos de pozos, ha trabajado en la evaluación de sellos y reservorios en pozos de exploración perforados recientemente en la Franja Petrolera Norte Cubana. ORCID: 0000-0002-8683-617X
- J. Hernández-León**, es graduado de Técnico Medio en Geología del Petróleo en el año 1972. Trabajó como profesor de su especialidad durante 15 años en diferentes instituciones de enseñanza. Subdirector y Director del Centro Politécnico del Petróleo de CUPET durante 5 años. Trabajó como petrógrafo y sedimentólogo en el Centro de Investigaciones del Petróleo entre 1987 y 2022; fué Geólogo de Pozo en unas 200 perforaciones de petróleo. Autor de dos libros de texto para la enseñanza de su especialidad y de numerosos artículos e informes sobre sedimentología de los yacimientos petrolíferos cubanos. Ha trabajado como consultante en la compañía Pioneer Oil & Gas Consulting en la ciudad de Windhoek, Namibia. ORCID: 0000-0002-1135-2971