

Continuidad del reservorio entre los sectores Fraile Norte y Jibacoa de la Franja Petrolera Norte Cubana mediante la utilización de registros geofísicos de pozo

Olga Castro Castiñeira¹, Yaneisy Tamayo Castellanos², Yanet Rosell Armenteros³, Manuel Enrique Pardo Echarte⁴

¹ Centro de Investigación del Petróleo (Ceinpet). Churrucá, No.481, e/ Vía Blanca y Washington, El Cerro. C.P. 12000, La Habana, Cuba. ORCID ID: 0000-0003-4285-6774. Correo E.: olgac@ceinpet.cupet.cu.

² Centro de Investigación del Petróleo (Ceinpet). Churrucá, No.481, e/ Vía Blanca y Washington, El Cerro. C.P. 12000, La Habana, Cuba. ORCID ID: 0009-0004-4744-9101. Correo E.: yaneisy@ceinpet.cupet.cu.

³ Centro de Investigación del Petróleo (Ceinpet). Churrucá, No.481, e/ Vía Blanca y Washington, El Cerro. C.P. 12000, La Habana, Cuba. ORCID ID: 0009-0008-6542-6041. Correo E.: yrosell@ceinpet.cupet.cu.

⁴ Ingeniero Geofísico, Doctor en Ciencias Geológicas, Investigador Titular y Profesor Titular del Centro de Investigación del Petróleo, Churrucá, No.481, e/ Vía Blanca y Washington, Cerro, La Habana, CP 10 600. ORCID ID: 0000-0003-0669-4413. Correo E.: pardo@ceinpet.cupet.cu; mpardoecharte@gmail.com.

RESUMEN

La Unión Cuba-Petróleo necesita elevar el volumen de extracción de hidrocarburos en áreas que han sido investigadas y perforadas, en particular de la Franja Norte Petrolera Cubana (FNPC), para mantener el crecimiento sostenido de la producción de crudos. El área comprendida por los yacimientos Fraile Norte y Jibacoa dentro de esta franja, tiene estudios insuficientes para definir si existe continuidad entre sus reservorios y sellos, y en consecuencia incrementar la perforación de pozos para su explotación. Para la solución de este problema se propone como objetivo del trabajo, definir si existe continuidad entre los reservorios y sellos de los dos sectores petroleros, a partir del análisis de registros geofísicos de pozo, mediante la introducción de tecnologías y el uso de nuevos enfoques. Fue utilizada una muestra de los pozos perforados donde aparecen intervalos de diferentes formaciones geológicas. Como materiales se contó con los registros geofísicos convencionales de pozos (para establecer visualmente

las electrofacies) y los registros de imágenes eléctricas de pared de pozo. Se compararon resultados antecedentes con los nuevos datos generados, apoyados con un software de clasificación, con lo que se redefinieron las electrofacies y se buscó su correspondencia con la litología conocida. Como resultado, se determinó que existe una buena correlación de las electrofacies de sello y reservorio para los pozos analizados de Fraile Norte y Jibacoa. Aunque los reservorios tienen una constitución similar, hay variación en las proporciones de las diferentes texturas encontradas en las rocas de cada área y sus propiedades petrofísicas, todo lo cual hace que se consideren como dos áreas separadas.

Palabras clave: Reservorios, sellos, electrofacies, continuidad, registros geofísicos de pozo

ABSTRACT

The Cuba-Petróleo Union needs to increase the vo-

Castro-Castiñeira, O., Tamayo-Castellanos, Y., Rosell Armenteros, Y., Pardo-Echarte, M., E., 2024, Continuidad del reservorio entre los sectores Fraile Norte y Jibacoa de la Franja Petrolera Norte Cubana mediante la utilización de registros geofísicos de pozo : Geociencias UO. v. 14, núm. 2, diciembre 2024. pp. 122-128

lume of hydrocarbon extraction in areas that have been investigated and drilled, particularly in the Northern Cuban Oil Belt (FNPC), to maintain the sustained growth of crude oil production. The area comprised by the Fraile Norte and Jibacoa deposits within this strip has insufficient studies to define if there is continuity between its reservoirs and seals, and consequently increase the drilling of wells for their exploitation. To solve this problem, the objective of the work is to define if there is continuity between the reservoirs and seals of the two oil sectors, based on the analysis of geophysical well logs, through the introduction of technologies and the use of new approaches. A sample of the drilled wells where intervals of different geological formations appear was used. As materials, conventional geophysical records of wells (to visually establish the electrofacies) and electrical image records of the well wall were available. Previous results were compared with the new data generated, supported by classification software, with which the electrofacies were redefined and their correspondence with the known lithology was sought. As a result, it was determined that there is a good correlation of the seal and reservoir electrofacies for the Fraile Norte and Jibacoa wells analyzed. Although the reservoirs have a similar constitution, there is variation in the proportions of the different textures found in the rocks of each area and their petrophysical properties, all of which causes them to be considered as two separate area.

Keywords: Reservoirs, seals, electrofacies, continuity, well geophysical logs

RESUMO

A União Cuba-Petróleo precisa aumentar o volume de extração de hidrocarbonetos nas áreas investigadas e perfuradas, principalmente na Faixa Petrolífera do Norte de Cuba (FNPC), para manter o crescimento sustentado da produção de petróleo bruto. A área compreendida pelas jazidas Fraile Norte e Jibacoa dentro desta faixa não possui estudos suficientes para definir se há continuidade entre seus reservatórios e selos, e conseqüentemente aumentar a perfuração de poços

para sua exploração. Para resolver este problema, o objetivo do trabalho é definir se há continuidade entre os reservatórios e selos dos dois setores petrolíferos, com base na análise de perfis geofísicos de poços, por meio da introdução de tecnologias e uso de novas abordagens. Foi utilizada uma amostra dos poços perfurados onde aparecem intervalos de diferentes formações geológicas. Como materiais, registros geofísicos convencionais de poços (para estabelecer visualmente as eletrofácies) e registros de imagens elétricas da parede do poço estavam disponíveis. Os resultados anteriores foram comparados com os novos dados gerados, suportados por software de classificação, com os quais as eletrofácies foram redefinidas e procurada a sua correspondência com a litologia conhecida. Como resultado, foi determinado que existe uma boa correlação das eletrofácies de vedação e reservatório para os poços Fraile Norte e Jibacoa analisados. Embora os reservatórios tenham constituição semelhante, há variação nas proporções das diferentes texturas encontradas nas rochas de cada área e em suas propriedades petrofísicas, o que faz com que sejam consideradas como duas áreas distintas.

Palavras-chave: Reservatórios, vedações, eletrofácies, continuidade, perfis geofísicos de poços

INTRODUCCIÓN

El incremento de la producción petrolera con ahorro de recursos es una preocupación mundial, que se expresa en ejemplos como Alcántara (2019): la búsqueda permanente de nuevas tecnologías que permitan facilitar, de manera eficiente, todos los procesos involucrados en la producción, donde las perforaciones horizontales y direccionales en conjunto con las multilaterales, han ampliado las opciones de explotación de los yacimientos. Mientras, Rodríguez y Aguirre (2015), proponen una metodología que mostró su validez al establecer analogías entre yacimientos cercanos con historias geológicas similares y constituye un intento por disminuir las incertidumbres inherentes a la propuesta de pozos de alto riesgo en yacimientos con desarrollo incipiente.

La Unión Cuba-Petróleo necesita elevar el volumen de extracción de hidrocarburos en áreas que han sido investigadas y perforadas, en particular en la FNPC, para mantener el crecimiento sostenido de la producción de crudos. Esto debe realizarse mediante la introducción de tecnologías y análisis con nuevos enfoques para continuar desarrollando la explotación con la misma infraestructura sin ejecutar grandes inversiones. El área comprendida por los yacimientos Fraile Norte y Jibacoa dentro de la Franja Petrolera Norte Cubana, tiene estudios insuficientes para definir si existe continuidad entre los reservorios y sellos de ellas, e incrementar así la perforación de pozos para su explotación.

En consecuencia, el objetivo del trabajo es definir si existe continuidad entre los reservorios y sellos de los sectores petroleros Fraile Norte y Jibacoa a partir de registros geofísicos de pozo, mediante la introducción de nuevas técnicas de análisis.

Como antecedentes se tiene que la interpretación de las propiedades de reservorios y sellos en pozos individuales, se ha realizado (de forma inmediata a la perforación) en los sectores de estudio Fraile Norte y Jibacoa (Domínguez *et al.*, 2002; Gómez *et al.*, 2008, 2010). En el caso de Jibacoa, se han caracterizado los paquetes de reservorios y sellos identi-

cables, en todos los pozos para la generalización de su comportamiento y el apoyo a los estudios de litofaciales posteriores (Gómez *et al.*, 2012, 2014). Se han preparado correlaciones entre los pozos de los yacimientos Santa Cruz, Fraile Norte y Jibacoa para establecer similitudes y diferencias entre ellos.

La interpretación geofísico-morfométrica en objetivos marinos y terrestres que involucra los sectores de estudio es otra de las investigaciones realizadas recientemente (Pardo, 2023), donde se revela que los yacimientos se encuentran en áreas diferentes.

Ubicación geográfica del área

El sector petrolero Fraile se encuentra ubicado al norte de las elevaciones Peñón del Fraile, en la provincia Mayabeque. Posee un grupo de pozos cercanos unos a otros, perforados con categoría exploratoria por parte de CUPET, que alcanzan profundidades por encima de los 5000 m por el largo del instrumento (MD) y 2000 m por la vertical (TVD).

El sector petrolero Jibacoa se localiza en una elevación de aproximadamente 80 m de altura y a 400 m de la costa en línea recta, los pozos están hacia el este de la carretera que une a la Vía Blanca con el Club Jibacoa, en la provincia Mayabeque (**Figura 1**).

El objetivo para la solución del problema, es de-



Figura 1. Ubicación de los pozos Fraile Norte y Jibacoa, señalados con círculos rojos.

finir si existe continuidad entre los reservorios y sellos entre los sectores petroleros Fraile Norte y Jibacoa a partir de registros geofísicos de pozo, mediante la introducción de nuevas técnicas de análisis.

El diseño de la investigación para cumplir el objetivo, consistió en la división cualitativa del corte de los pozos a partir de registros geofísicos, con diferentes criterios (formaciones, electrofacies y paquetes). Esta división se apoya desde el punto de vista cuantitativo en algoritmos matemáticos. Se busca la relación existente entre las clases que se obtienen y la composición litológica, y su imagen eléctrica de pared de pozo. Con la información integrada, se procede a la correlación entre los pozos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Para el estudio se utilizó una muestra de los pozos perforados (Fraile Norte 1004; Jibacoa 100 y 102), donde aparece la litología descrita en intervalos con diferente composición. Los registros geofísicos de pozo (Tabla

1) incluyen los registros convencionales y las imágenes de pared de pozo (FMI).

Métodos

- cualitativa por registros convencionales de las divisiones del pozo.
- Clasificación por HRA.
- Comportamiento del FMI en cuanto a coloración y textura.

Visualización cualitativa por registros convencionales de las divisiones del pozo

Para la visualización cualitativa de las electrofacies, se relacionan a continuación los registros convencionales utilizados: cáliber (HCAL), espectrometría gamma (CGR, SGR, THOR, POTA), factor fotoeléctrico (PEFZ y PEF), porosidad neutrónica (NPHI), densidad (RHOZ y RHOB), eléctricos (RLA1 a 5, RXOZ, LLD-LLS, MSFL y SP) y sónico (DT), dispuestos en un composite (registro compuesto) para revisar las distintas divisiones (Castro, 2017).

Símbolo	Significado
HCAL	Cavernometría (cáliber) en pg (in) o mm
SGR	Gamma natural espectrométrico en GAPI
CGR	Gamma natural computado (torio + potasio) en GAPI
POTA	Potasio en por ciento o fracción (v/v)
THOR	Torio en PPM
URAN	Uranio en PPM
PEF	Efecto fotoeléctrico
PEFZ	Efecto fotoeléctrico
SP	Potencial espontáneo (Spontaneous Potential) en mv/cm
LLD	Resistividad (sonda profunda del laterolog) en ohm-m
LLS	Resistividad (sonda somera del laterolog) en ohm-m
HRLA	Resistividad: Arreglo Lateral de Alta Resolución (High Resolution Lateral Array: RLA1, RLA2, RLA3, RLA4, RLA5) en ohm-m
MSFL	Microrresistividad (microlaterolog o microlog) en ohm-m
NPHI	Porosidad neutrónica en por ciento o en fracción (v/v)
RHOB	Densidad en g/cm ³
RHOZ	Densidad en g/cm ³
DT	Sónico en μ s/f (μ s/pie)
TURA	Relación THOR/URAN para el ambiente de sedimentación
FMI	Imágenes resistivas de pared de pozo en ohm-m

Tabla 1. Simbología utilizada en los registros geofísicos de pozo.

Estas divisiones se apoyan en los gráficos de propiedades cruzadas NPHI/RHOB y LLD/CGR para separar sellos y reservorios.

Clasificación por HRA

Para este análisis se utiliza el programa Heterogeneous Rock Analysis (HRA) perteneciente al software Techlog 2018, que es un flujo de trabajo para identificar clases de rocas con propiedades y composición similares dentro del intervalo de interés, y discriminar aquellas con diferentes propiedades. Este es un método de clasificación de rocas basado en registros geofísicos de pozo donde las clases de rocas se basan en los atributos de textura, composición o de ambos, a partir de los registros como variables de entrada. Las clases resultantes pueden caracterizarse por observaciones de núcleos y otras mediciones, así como por el modelo de propiedades (Barcala, 2015).

Comportamiento del FMI en cuanto a coloración y textura

El comportamiento del FMI se estudia primeramente por la coloración del registro en la imagen estática, donde fácilmente se pueden encontrar las rocas menos resistivas (colores oscuros), las más compactas (colores claros) y las arenas (colores intermedios), que luego se asocian a las litologías presentes en el corte analizado. Luego se establecen las texturas y los eventos sedimentarios en la imagen dinámica, donde también se pueden apreciar los eventos tectónicos a través de los planos que cortan el agujero. Si se dispone de núcleos o de muestras de superficie, se puede establecer una comparación entre las dos formas de ver las rocas (Schlumberger, 1991).

RESULTADOS

La división en electrofacies y en paquetes de sellos y reservorios se comparó con los resultados anteriores (Gómez, 2014, 2012). Se obtuvo que la visualización de los registros arroja prácticamente las mismas secuencias en los pozos Jibacoa, con algunas diferencias para Fraile Norte 1004.

Con la ayuda de HRA se realizó una clasifica-

ción mediante componentes principales a partir de los registros de resistividad, rayos gamma, porosidad neutrónica y densidad. En los pozos estudiados se encontró que la mejor separación se lograba para 5 clases asociadas a litologías, muy bien definidas por la primera y la segunda componente principal, con buena separación de los centros como se muestra en la **Figura 2**.

Al comparar con los registros, se puede establecer la siguiente asociación de colores con litología:

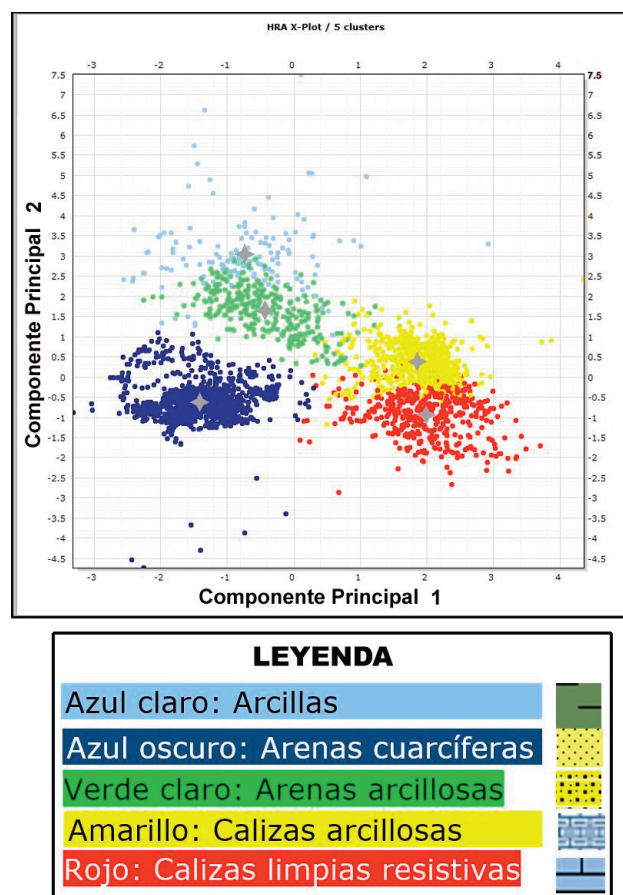


Figura 2. Separación de corte de los pozos Jibacoa 100, 102 y Fraile Norte 1004 en 5 clases.

La interpretación del FMI se realizó en el pozo Jibacoa 100. Se pudo establecer que los intervalos de calizas arcillosas corresponden a zonas de brechas; las calizas resistivas pueden presentarse en capas o en rocas masivas. Las arcillas y arenas arcillosas corresponden a estratificación laminar, muy plegadas (**Figura 3**).

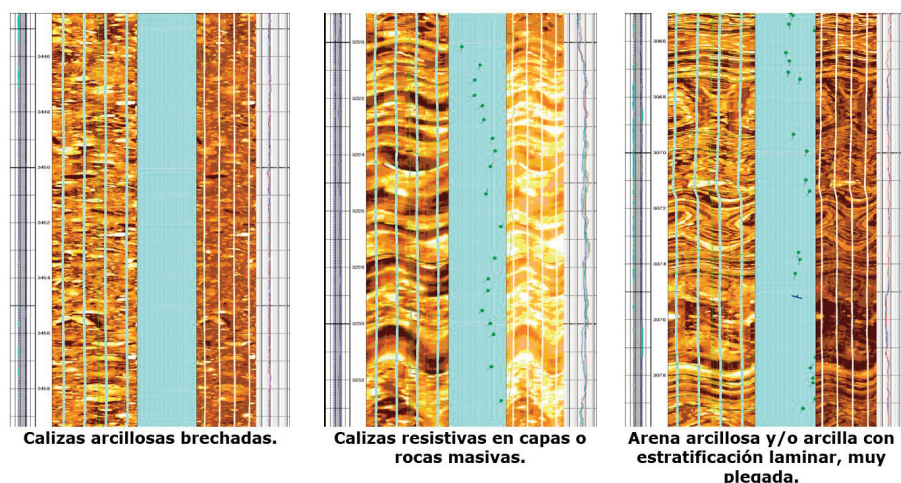


Figura 3. Comportamiento textural de las litologías presentes según las imágenes de pared de pozo.

DISCUSIÓN

Por la división en electrofacies según el comportamiento de los registros para cada pozo, no puede establecerse una correlación entre los pozos. Mientras, la división en sellos y reservorios responde fundamentalmente a los paquetes de estos que se alternan en cada pozo y sí se puede establecer una correlación entre ellos.

Antes del reservorio en los tres pozos se encuentra una zona arenosa, Arena 1, donde se alternan algunos reservorios con arcillas. Los reservorios en los pozos Jibacoa están equilibrados entre calizas arcillosas y resistentes más limpias, en tanto que en el Fraile Norte 1004, hay un predominio absoluto de las calizas resistentes. En la **Figura 4** se puede analizar en detalle cada una de las divisiones establecidas, y la correlación final que resulta de los paquetes.

Pistas de los registros: 1-Profundidad MD y Cáliper, CAL; 2-Profundidad TVD; 3-División por formaciones; 4-División por paquetes; 5-División por electrofacies; 6-Clasificación por HRA; 7-Respuesta litológica de la clasificación; 8 a 11-Registros de Rayos gamma y PEF, Resistividad de distintos radios de investigación, Neutrónico, Densidad y Sónico, Torio, Potasio y Uranio; 12-Ambiente de sedimentación (TURA); 13-Litología por descripción de muestras.

CONCLUSIONES

A pesar de ser áreas diferentes, puede encontrarse una composición litológica similar, con distintas propor-

ciones y propiedades, donde el yacimiento Fraile Norte presenta mejores características. De ahí que se recomiende continuar desarrollando el sector Jibacoa para incrementar la producción de hidrocarburos en la región. Se han establecido por registros 5 clases asociadas a litologías generales en los pozos estudiados. Se asocian a una secuencia de paquetes de sellos y reservorios, en el mismo orden.

Pero las características de los reservorios varían entre Fraile Norte y Jibacoa. En Fraile Norte los espesores aparentes son mayores, y la roca es más resistente.

El tope del reservorio está mejor definido al observar el comportamiento de todos los registros, donde el más diferenciado es el de resistividad. Aunque la composición es la misma en los dos sectores, en Jibacoa los espesores de reservorio son litológicamente más heterogéneos.

Las diferencias encontradas se ajustan a los estudios geofísicos morfométricos tanto terrestres como marinos, que demostraron y confirmaron la presencia de dos áreas diferentes de anomalías geomórficas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CEINPET por permitir el uso de información ordinaria en esta investigación. También a los integrantes de la comisión del Consejo Científico encargada de la revisión rigurosa del manuscrito, Dr. Cs. Reinaldo Rojas Consuegra y Dr. Cs. Edgar George de Armas.

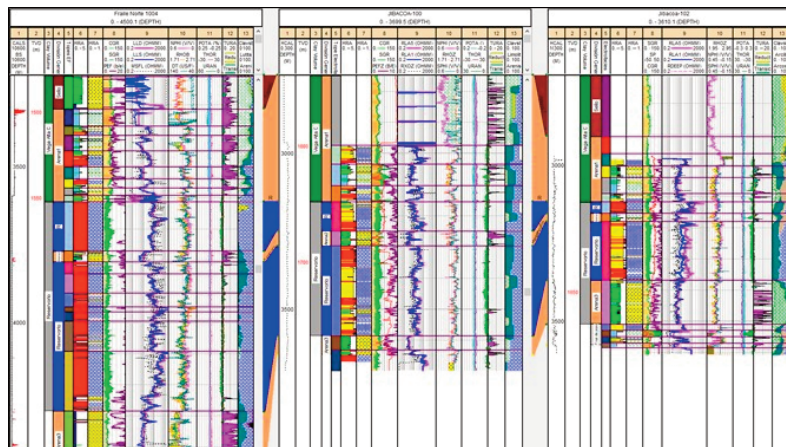


Figura 3. Comportamiento textural de las litologías presentes según las imágenes de pared de pozo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcántara, A., 2019**, Desafíos y avances en la perforación de pozos multilaterales. Disponible en: <https://es.linkedin.com> [2023, 7 de agosto]
- Barcala, R., 2016**, Caracterización petrofísica del sector Varadero Oeste. Franja Norte de Crudos Pesados Cubana. Tesis en opción al grado de Ingeniero Geofísico, Universidad Tecnológica de La Habana y Centro de Investigación del Petróleo, La Habana.
- Castro, O., 2017**, Flujo de trabajo para la evaluación petrofísica de las formaciones. En Castro, O. Evaluación petrofísica de formaciones gasopetrolíferas cubanas (pp. 31-57). Centro Nacional de Información Geológica, La Habana.
- Domínguez, A., Otero, R., Blanco, S., Villavicencio, B., Brey, D., Pérez, L., Pérez, Y., Rodríguez, R., Tamayo, Y., 2008**, Informe final del pozo Jibacoa 100. Proyecto 6004. Manuscrito no publicado, Archivo Técnico Ceinpet, La Habana.
- Gómez, J. E., Castro, O., Domínguez, B. R., Juara, M., Perera, C., Ríos, J., Blanco, S., García, M., Martínez, G., Brey, D., García, R., Teruel, E., Torres, M., Rodríguez, R., Sánchez, E., García, Y., 2010**, Informe final del pozo Jibacoa 102. Proyecto 7035. Manuscrito no publicado, Archivo Técnico Ceinpet, La Habana.
- Gómez, J. E., Ríos, J., Sosa, C., Martínez, G., Teruel, E., Bisbé, E. M., Torres, M., Torres, Y., López, M., 2012**, Estado de la exploración preliminar del prospecto Jibacoa hasta el cierre de 2011. Proyecto 7035. Etapa 3. Manuscrito no publicado, Archivo Técnico Ceinpet, La Habana.
- Gómez, J. E., Castro, O., Mejías, L., Otero, R., Hernández, J. G., Ayllón, R., Rodríguez, O., Vázquez, B., Valdivia, C., 2014**, Informe final de comercialización de la exploración del prospecto Jibacoa hasta el cierre de 2013. Proyecto 7079. Etapa 2. Manuscrito no publicado, Archivo Técnico Ceinpet, La Habana.
- Pardo, M. E., 2023**, SCT Estudios integrados de pozos. Reporte de investigación geofísico-morfométrica. Región Santa Cruz-Puerto Escondido (FPNC). Manuscrito no publicado, Archivo Técnico Ceinpet, La Habana.
- Rodríguez, R. J., Aguirre, H. D., 2015**, Analogía entre yacimientos como soporte para la ubicación de pozos de avanzada de alto riesgo: Un caso de estudio en la cuenca del Golfo San Jorge, Patagonia Central. Revista de la Asociación Geológica Argentina [en línea]. No. 72 (1): 120-135. Disponible en: <https://revista.geologica.org.ar> [2023, 7 de agosto]
- SCHLUMBERGER, 1991**, Principios/Aplicaciones de la interpretación de registros. Schlumberger Educational Services.