

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN LOS YACIMIENTOS AZULITA Y CAPARO DEL CAMPO CEUTA

(Mineralogical Characterization for Optimizing Production of Reservoirs Azulita and Caparo Ceuta Field)

Recibido:

Aceptado:

Johanny Chacón

Sedimentólogo de Estudios Integrados PDVSA – Occidente – Venezuela, 4001.

jjohannyc@gmail.com

Dayveni Suárez

Analista de Planes y Estrategias PDVSA – Occidente – Venezuela, 4001.

dayve74@gmail.com

José Zabala

Docente en la Universidad del Zulia – Estado Zulia – Venezuela, 4001.

jose.andreszabala@gmail.com

RESUMEN

Las metodologías detalladas para la caracterización mineralógica tienen gran valor y deben ser tomadas en cuenta en la optimización de hidrocarburos a lo largo de la vida útil del yacimiento. Este estudio incluyó el análisis mineralógico y diagenético en las unidades B-6, B-7, C-2 y C-3 de la Formación Misoa, Campo Ceuta. Se realizó un análisis microscópico detallado en 3 núcleos, con el fin de determinar si la composición mineralógica, así como cambios intrínsecos afectan la productividad y calidad de las rocas como reservorio. La calidad de las rocas está influenciada por la arcillosidad presente, así como a los cambios post-depositacionales. La base de la unidad B-6, tiene buena calidad de roca. Sin embargo presenta caolinita como arcilla migratoria y es la causante de la baja productividad en el pozo AZ-1. El pozo AZ-2, presenta problemas de arenamiento debido a la inestabilidad en las partículas de cuarzo, presencia de arcillas mixtas entre los contactos, lo cual hace que la roca presente baja cohesión entre las partículas. El pozo AZ-3, presenta problemas de calidad de roca debido a la compactación que experimentan los sedimentos, la cual disminuye la porosidad y la permeabilidad, y a la presencia de un posible material bituminoso.

Palabras claves: Mineralogía, optimización, arcillosidad, diagenético.

ABSTRACT

The detailed methodologies for the mineralogical characterization is valuable and should be taken into account in the optimization of oil over the life of the reservoir. This study included mineralogical and diagenetic analysis in units B-6, B-7, C-2 and C-3 Training Misoa, Campo Ceuta. We performed a detailed microscopic analysis in 3 cores to determine the mineralogical composition and intrinsic changes affect the productivity and quality of rocks and reservoir. The quality of rock is influenced by the clay, as well as post-depositional changes. The base unit B-6, have good quality rock, but it has kaolinite as clay migration and is the cause of low productivity in well AZ-1. AZ-2 Well, sanding presents problems due to instability in the quartz particles, presence of clay mixed between contacts, which makes the rock this low cohesion between the particles. Well AZ-3, introduced rock quality problems due to sediment compaction experience which decreases the porosity and permeability, and the possible presence of a bituminous material.

Keywords: Mineralogy, optimization, shale, diagenetic.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el estudio de las geociencias se ha convertido en uno de los pilares para el manejo de yacimientos, y actualmente es la fuerza que impulsa a la industria petrolera en búsqueda de soluciones para optimizar la producción de hidrocarburos a lo largo de la vida útil del yacimiento. Por tal motivo, se han desarrollado metodologías enmarcadas principalmente en el análisis mineralógico de yacimientos, y su aplicabilidad para optimizar y mejorar el potencial en la productividad de los pozos. Por tanto, en este estudio se llevó a cabo una caracterización mineralógica en los yacimientos Azulita y Caparo, pertenecientes al Campo Ceuta.

El área de estudio se encuentra localizada al Nor-Oeste de Venezuela, ubicada al Sur-Este de la Cuenca Petrolífera de Maracaibo, pertenece al Campo Ceuta, y la zona de interés pertenece a la Formación Misoa, específicamente en los yacimientos Azulita y Caparo; con un área aproximada de 2705 acres y 3620 acres, respectivamente. El yacimiento Azulita posee crudos livianos en el orden de 34,9 °API; con un ambiente de depositación interpretado como llanura deltaica baja y llanura de maneras. Mientras que el yacimiento Caparo posee crudos livianos alrededor de 37,5 °API; de areniscas petrolíferas consolidadas depositadas en un ambiente de llanura deltaica alta con influencia fluvial.

La ejecución de este estudio se fundamenta en la interpretación de los análisis mineralógicos, para luego integrarlos con los datos de petrofísica y facies interpretadas, como herramienta clave para establecer las posibles

causas del comportamiento de producción de pozos, para originar acciones en pro de optimizar la producción.

La finalidad del estudio es obtener una caracterización mineralógica definiendo la estructura interna de la roca y su composición, lo más aproximado a las condiciones reales del Yacimiento, de tal manera que puedan ser usadas para optimizar la producción en pozos que han presentado inconvenientes de declinación de producción, ya sea por arcillas migrables, producción de arena y/o presencia de hidrocarburo residual. Por tanto, el estudio aportará información valiosa, producto del buen uso de las metodologías a nivel micro desarrolladas sobre las muestras de núcleo tomadas de los pozos. De igual manera, esta información podrá ser muy útil para estudios futuros de Recuperación Mejorada de Hidrocarburos.

UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Localmente, el área se encuentra ubicada al Sur-Este de la Cuenca de Maracaibo, en el Bloque VII del Lago de Maracaibo, Distrito Lago del Estado Zulia, y desde el punto de vista petrolífero pertenece a la Unidad de Explotación Ceuta, tal como se muestra en la Figura N° 1.

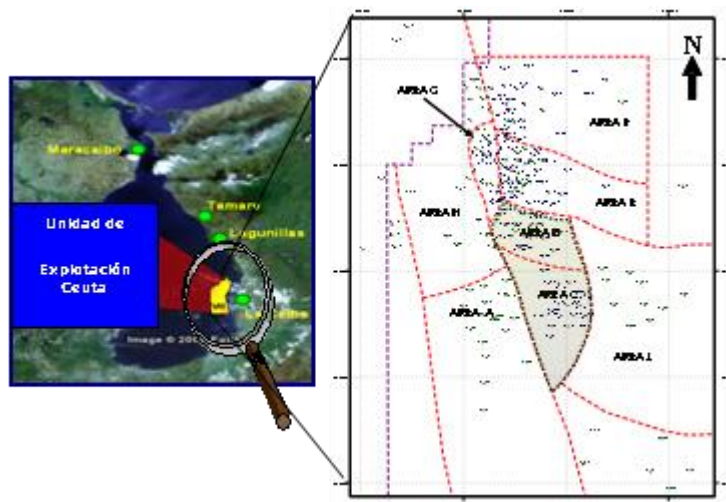


Figura 1. Mapa de Ubicación, Bloque VII, Campo Ceuta.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la problemática de calidad de roca y los problemas inherentes a la productividad que presentan estos yacimientos Azulita y Caparo, se requiere una caracterización mineralógica completa enfocada en la optimización de los procesos de mantenimiento de la producción en los

pozos de los yacimientos, con el fin de contrarrestar la alta declinación de producción que los pozos han venido presentando hasta la actualidad.

Los Yacimientos Azulita y Caparo sometidos a estudio están constituidos por cuatro regiones (Norte, Sur, Este y Oeste) que conforman el yacimiento de manera grupal, de las cuales la unidad que ha aportado la mayor producción es la unidad B-6 correspondiente al yacimiento Caparo, del intervalo “B” Inferior, Formación Misoa de Edad Eoceno, bajo el esquema de completación a hoyo entubado.

El ambiente de depositación de las arenas de interés ha sido interpretado como llanura deltáica baja y llanura de mareas para las arenas C-Superior del Yacimiento Azulita, mientras que para B-Inferior (Yacimiento Caparo) se está en presencia de un ambiente de llanura deltáica alta con influencia fluvial, lo cual implica un alto grado de heterogeneidad y por ende una distribución particular de los tipos de rocas (Facies).

OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

Caracterizar la Mineralogía para la Optimización de la Producción en los Yacimientos Azulita y Caparo del Campo Ceuta.

Objetivos Específicos

- Consolidar toda la información correspondiente a los análisis mineralógicos realizados sobre los núcleos que se han tomado en el área de estudio.
- Validar los análisis de Difracción de Rayos X, Microscopía de Barrido Electrónico, Energía Dispersiva, Petrografía y otros análisis inherentes a la información mineralógica necesarios para la realización del trabajo.
- Integrar la información mineralógica del área con los análisis convencionales y especiales de núcleos.
- Comparar los datos mineralógicos analizados con la interpretación petrofísica y el comportamiento de producción de los pozos del área para ubicar las zonas con mayor prospectividad.
- Proponer acciones eficientes para optimizar la producción de los pozos en los Yacimientos Azulita y Caparo del Campo Ceuta.

MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1. Recopilación, validación y creación de bases de datos de la información existente

Se procede a la búsqueda de la información en las diferentes bases de datos disponibles (Documentum, Citoc, nucleoteca, trabajos y estudios previos, Logdb, Finder, entre otras), con el fin de validar toda la información relacionada a la mineralogía de los pozos correspondientes al área de estudio.

Se deben generar bases de datos con el propósito de organizar y evaluar la data disponible, las mismas son llevadas a cabo en hojas de cálculo Excel, las cuales serán el punto de partida para a través de ellas, construir gráficos y cálculos para determinar composiciones mineralógicas por cada unidad geológica.

a. Difracción de Rayos X (XRD): Los análisis de difracción de rayos X, son tomados directamente del núcleo, en el mismo punto donde se toman las muestras tapón que se utilizan para determinar las propiedades básicas de la roca (porosidad, permeabilidad, densidad de granos, saturación de fluidos. A partir de estos análisis, se obtiene: fracción de roca total: cuarzo, feldespatos, óxidos, carbonatos, minerales de arcilla y fracción arcilla: caolinita, esméctica, illita, clorita y asociaciones de arcillas mixtas.

b. Análisis Petrográfico: A partir de los análisis de descripción petrográfica, se construyen tablas de composición mineralógica, contactos entre granos, cementación, matriz, porosidad, entre otros. Esta información sirve para generar gráficos de proporcionalidad de minerales e identificar los eventos diagenéticos que afectan la roca reservorio.

c. Análisis de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM): En este caso se realiza una base de datos de las imágenes disponibles, que servirá de inventario mostrando el número de imágenes tomadas por pozo para su posterior interpretación.

d. Análisis de Energía Dispersiva (EDS): Los valores reportados en los análisis de porcentajes de peso atómico. Entre los elementos comúnmente reportados se encuentran el sílice (Si), Aluminio (Al), hierro (Fe), Sodio (Na), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), entre otros.

e. Análisis Convencionales de Núcleos: Son análisis que se realizan a los núcleos tomados en los pozos para conocer las propiedades básicas de la roca (porosidad, permeabilidad, saturación, densidad de grano), las cuales

son de gran utilidad para la ejecución de los estudios de calidad de roca y propiedades petrofísicas de los yacimientos.

- **Propiedades Básicas de la Roca:** A partir de los análisis realizados sobre las muestras tapón tomadas en los núcleos, se construyen tablas donde se indica la profundidad, porosidad y permeabilidad a condiciones de reservorio, densidad de grano e índice de calidad de roca, este último es calculado a partir de los valores de porosidad y permeabilidad, mediante la siguiente ecuación:

$$RQI=0,0314* (K/\Phi i)^{1/2}$$

f. Análisis Especiales de Núcleos: Se realizan para conocer las propiedades avanzadas de las rocas reservorio y constan de propiedades eléctricas, presiones capilares, humectabilidad, entre otros. En este caso en particular se trabajará con los datos de saturación de agua irreducible provenientes a partir de los análisis de presión capilar por plato poroso.

- **Saturación de Agua Irreducible:** De los análisis especiales realizados a los núcleos se toman los datos reportados de la saturación de agua irreducible en función de la profundidad, esto con la finalidad de generar gráficas e identificar el comportamiento de dicha propiedad en las unidades sujetas a estudio. Estos datos se obtienen de los análisis de presión capilar, ya sea por los métodos de plato poroso, inyección de mercurio o por el método de centrífuga.

2. MANEJO DE LOS DATOS

a. Difracción de Rayos X (XRD): Una vez disponible la base de datos, se construyen los gráficos (Figura 2) de los componentes mineralógicos, con el fin de observar la distribución por cada unidad geológica estudiada, luego se identifican las especies minerales que tienden a generar efectos negativos en la productividad de los pozos. Los minerales arcillosos afectan considerablemente la productividad de los pozos y se encuentran conformados por caolinita, illita, esméctica, montmorilonita, clorita y asociación de arcillas mixtas, Illita-esméctica.

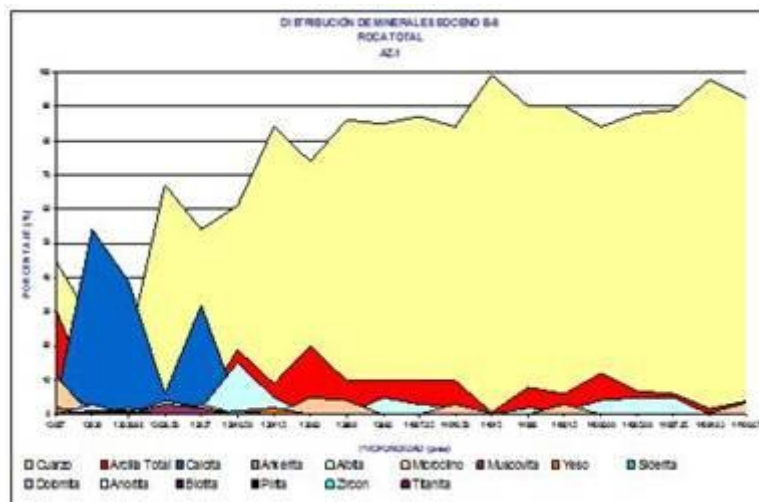


Figura 2. Distribución de Minerales a partir del XRD. Pozo AZ-1.

b. Análisis Petrográfico: Las imágenes de secciones finas, se describen con el objetivo de conocer la textura de la roca, así como también estimar la porosidad, visualizar los tipos de porosidad; primaria y secundaria, la distribución y ubicación de las arcillas en el espacio poral y de ser posible reconocer las características diagenéticas de la roca. Las imágenes petrográficas se interpretan por pozo y unidad, con el propósito de visualizar las características texturales de la roca, los componentes minerales y observar las características de los espacios porales, así como también, identificar los posibles eventos diagenéticos que impactan en la roca reservorio.

A continuación se presenta la tabla 1 de los aspectos diagenéticos más importantes visualizados en las descripciones petrográficas generales por pozo.

SECUENCIA DE EVENTOS DIAGENÉTICOS AZ-1, AZ-2 y AZ-3
UNIDADES B6, B7, C2, C3

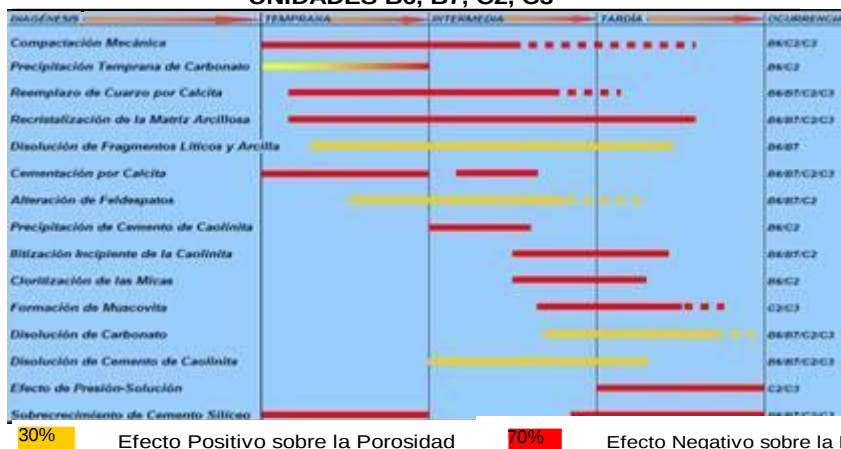


Tabla 1. Secuencia de Eventos Diagenéticos. Pozo AZ-1, AZ-2 y AZ-3.

c. Análisis de Imágenes de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB):

La microscopía de barrido electrónico es importante para la mineralogía, ya que permite la observación de la estructura interna de la roca, la distribución de los minerales de arcilla ubicados dentro del espacio poral y la superficie de los granos.

En este estudio, las microfotografías a diferentes magnificaciones se interpretan y describen con el fin de conocer el hábitat de los minerales a través de su morfología, por lo que se pueden visualizar la ubicación de los minerales arcillosos en las gargantas porales, superficies de los granos principales y como estos minerales inhiben los sobrecrecimientos secundarios de cuarzo. Así mismo, se puede observar la presencia de minerales accesorios inmersos dentro de la estructura de la roca. De la misma manera, el efecto de los carbonatos y arcillas entre las partículas de cuarzo, los cuales crean corrosión sobre los remates policristalinos de las mismas e inhiben los sobrecrecimientos (cementación) responsables de la dureza y la resistencia de la roca.

Es importante destacar, que esta descripción se realiza a través de la visualización directa de las imágenes en un computador, con cualquier programa de visualización de imágenes. En la Figura 3 se observa la illita, la cual se presenta creando puentes entre las gargantas porales, su presencia causa problemas de migración y su microcapilaridad hace que la saturación de agua irreducible aumente, crea también microporosidades secundarias falsas.

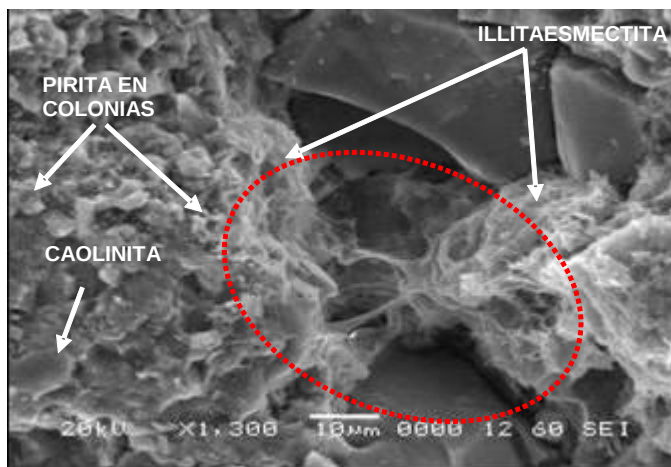


Figura 3. Análisis SEM. Pozo AZ-1 (14021'6").

d. Análisis de Energía Dispersiva (EDS): Los análisis de energía dispersiva, están basados en el estudio puntual de la composición elemental de los minerales que conforman la roca. Es muy importante para analizar minerales cuya morfología no está bien definida, así como también minerales

que se presentan en forma de agregados alterados y que de igual manera a través de esta técnica se pueden determinar.

Los espectros que se generan durante el análisis de MEB, se interpretan tomando en cuenta los picos de los principales elementos, de la siguiente manera:

- Análisis que arrojen picos principales de sílice y oxígeno se interpreta como un óxido de silicio, el cual corresponde a cuarzo.
- Análisis que arrojen picos principales de sílice, aluminio, potasio, sodio y oxígeno corresponde a arcillas.
- Análisis que arrojen picos principales de sílice, oxígeno, potasio y/ o sodio corresponde a feldespatos potásicos y plagioclasas.
- Análisis que arrojen picos principales de calcio y oxígeno corresponde a carbonato de calcio.
- Análisis que arrojen picos principales de hierro y azufre corresponde a sulfuros de hierro, entre otras.

A continuación se muestra un ejemplo de un espectro de composición elemental (Figura 4), a partir de los cuales se identifican los minerales no reconocidos por el MEB.

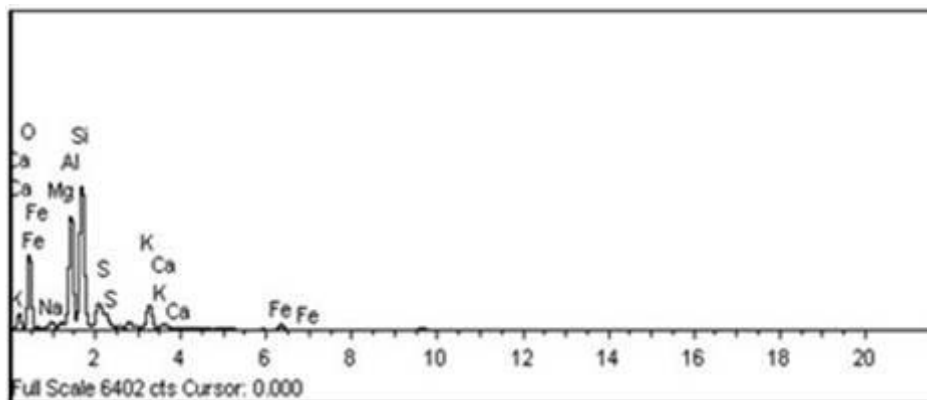


Figura 4. Espectro de la Composición Mineral. Pozo AZ-2 (10800')

e. Análisis Convencionales de Núcleos: En cuanto a las propiedades básicas de la roca, porosidad y permeabilidad, se realizan gráficos que se describen a continuación:

- **Gráfico de porosidad vs. Permeabilidad**, en formato semilogarítmico, con el objetivo de visualizar la correlación y correspondencia entre estas propiedades. Así como también, la ubicación de los puntos de muestreo. En el eje Y se coloca la permeabilidad en escala logarítmica (mD) y en el eje X la porosidad en escala lineal (Fracción).

- **Gráfico en escala lineal de Índice de Calidad de Roca (RQI)** en el eje X vs. profundidad en el eje Y, para todos los pozos dentro de un mismo gráfico, con el fin de observar los impactos que ocasiona la diagénesis en la calidad de la roca reservorio a través de la profundidad. Una vez construido el gráfico, se identifican las zonas que presentan la más alta calidad y las de menor calidad de roca (Figura 5), y en dichas zonas se insertan las microfotografías petrográficas con el fin de obtener una completa visualización y ubicación de cada evento diagenético positivo y/o negativo ocurridos en los sedimentos.

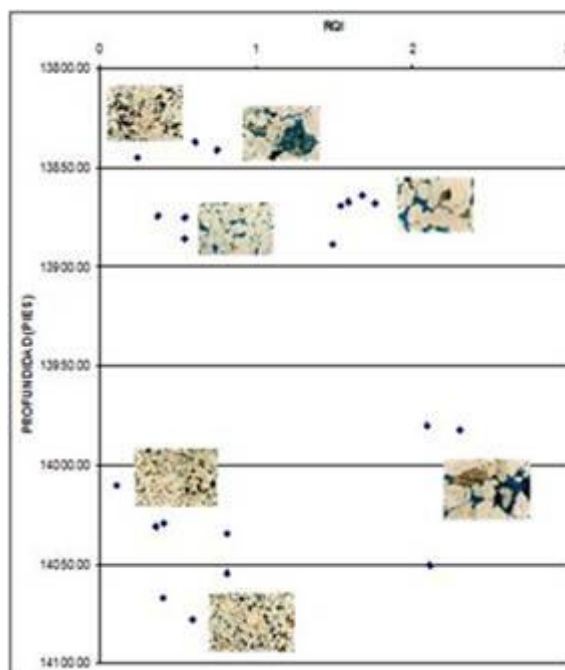


Figura 5. RQI vs. Profundidad. Pozo AZ-1.

f. Análisis Especiales de Núcleos: De los análisis especiales, el análisis que se utiliza para este estudio es el correspondiente al análisis de presión capilar por plato poroso (saturación de agua irreducible).

- **Saturación de Agua Irreducible:** En este paso, se debe realizar un gráfico en escala lineal de la saturación de agua irreducible vs. el índice de calidad de roca. En el mismo se pueden identificar si las medidas de saturación de agua irreducible se encuentran afectadas o no por la disposición de los

minerales arcillosos dentro del espacio poral, grados diagenéticos (compactación, cementación, disolución, precipitación de minerales); ya que estos elementos hacen que la tortuosidad en la roca aumente e influya en dicha medida.

A partir de dichos datos, se realizaron gráficos de Raíz de K/PHI vs. Swirr (Figura 6) con el fin de visualizar y comprender los cambios verticales en la calidad del yacimiento. De igual manera, observar como la Pc (Sw), depende de la relación porosidad y permeabilidad. A continuación se presenta la grafica correspondientes al pozo AZ-1:

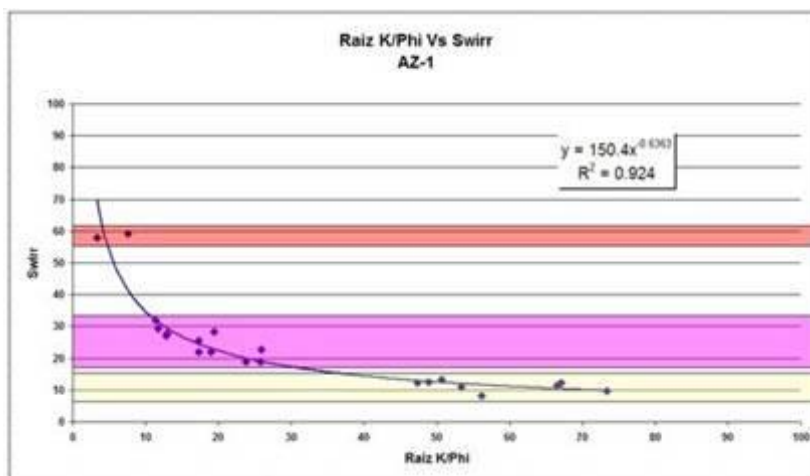


Figura 6. Raíz de K/PHI vs. Swirr. Pozo AZ-1

3. Integración de la Data: Una vez generados todos los gráficos, se procede a la interpretación e integración final de la data obtenida en los pozos claves (pozos con data de núcleo) sometidos a estudio, tal como se muestra en la Figura 7:

a. Se recurre a la interpretación petrofísica ya definida en las unidades de estudio (volumen de arcilla, porosidad efectiva, permeabilidad, saturación de agua, tipo de roca). De igual manera, se ubican las zonas productoras del pozo, para integrar con los datos mineralógicos obtenidos y de esta manera poder determinar y evaluar si las caídas de producción de los pozos en estudio están siendo afectadas por los minerales presentes en la estructura de la roca, hidrocarburo residual, inestabilidad de las partículas y/o problemas mecánicos.

b. Esta información debe ser visualizada en un témpate conformados por tracks con la información descrita anteriormente, en los diversos softwares tales como Interactive Petrophysics (IP), Petrel, Openworks, Geolog o en su

defecto se pueden generar tracks de visualización en la aplicación Excel de Microsoft Office.

c. Los intervalos de muestreo de los núcleos se deben convertir en archivo .prn o .csv, para posteriormente cargarlos en el software de trabajo establecido.

d. Se cargan los puntos de muestreo en el track del Core Gamma Ray, el cual debe ser puesto previamente a profundidad con los registros convencionales corridos al pozo, en especial el Gamma Ray.

e. En el témpate con la data petrofísica, se anexa el intervalo de muestreo, y por unidad se integra toda la data interpretada de los análisis realizados.

f. Se ubican en estas zonas los puntos que presentan la información mineralógica y los valores del índice de calidad de roca, se colocan los porcentajes de minerales promedio por cada unidad, los eventos diagenéticos (texto), las imágenes petrográficas y las imágenes de microscopia de barrido electrónico; esto con el fin de visualizar desde el nivel macro hasta poder observar microscópicamente como son las estructuras y las condiciones de la arenas, y así poder conocer si la prospectividad de las mismas puede estar afectada por elementos mineralógicos y diagenéticos que presentan tendencia a ocasionar una baja productividad de los pozos.

El conocimiento de la composición mineralógica a través de las técnicas petrográficas, XRD, EDX y SEM permiten discretizar las zonas propensas a crear daños durante la vida productiva del pozo. Dichas técnicas se van a emplear para realizar la caracterización mineralógica y diagenética del área, tal como se muestra en el esquema que se presenta a continuación, en el cual se condensa la integración a ejecutar en esta investigación con los análisis sometidos a estudio y refleja su gran utilidad y aplicabilidad con el resto de las disciplinas.



Figura 7. Esquema Metodológico Aplicado en la Investigación.

Para optimizar los intervalos a cañonear, se determina e interpreta la calidad de roca, que consiste en interpretar en el gráfico de RQI vs. profundidad (Excel) las variaciones que presentan, y de esta manera analizar mediante la integración de la data a que se deben los cambios en el comportamiento de la calidad de las mismas, mediante la inserción de las fotografías del análisis petrográfico para visualizar que elementos afectan directamente el RQI.

Este proceso es clave para optimizar las zonas que se visualizan inicialmente como prospectivas, pero que al momento de producir presentan innumerables problemas asociados posiblemente a la mineralogía, la inestabilidad interna de la estructura principal de la roca y los eventos diagenéticos post depositacionales.

En cada pozo estudiado se identifican las zonas de buena y mala calidad de roca, se procede a analizar la información cargada en el template descrito, con el fin de definir la mineralogía y demás características físicas y químicas interpretadas en los análisis realizados en los intervalos abiertos a producción. Se clasifican en tipos de arcillas según su potencial de daño (migración, hinchamiento y precipitación), se seleccionan y agrupan las rocas que presenten tendencia a arenamiento y rocas con alto contenido de hidrocarburo residual, así como también, rocas con alto impacto diagenético.

Si estos grupos potencialmente dañinos, se ubican dentro de los intervalos que presentan problemas de productividad en los pozos se puede demostrar como la mineralogía y la diagénesis afecta algunas veces la vida productiva de los mismos. En caso contrario, la baja producción puede ser causada por problemas mecánicos, entre otros. Por tanto, esta interpretación es de suma importancia, ya que por medio de la integración de los análisis antes descritos, es posible determinar las causas de los bajos potenciales de pozos que se han evaluado prospectivos, pero que a corto plazo han disminuido su producción sin explicación alguna, siendo esta una alternativa para conocer a nivel micro las condiciones de las rocas en los intervalos productores.

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Se realizó una integración de los datos analizados con la producción de los pozos para determinar si los problemas que estos presentaban eran causados por los efectos mineralógicos y diagenéticos identificados en los análisis.

El pozo AZ-1, ha tenido problemas de productividad, mostrando un comportamiento de declinación de producción típico de migración de finos, tal como se muestra en el siguiente gráfico.



Figura 8. Comportamiento de Producción y tipos de arcillas presentes. Pozo AZ-1.

Según lo observado en los análisis mineralógicos, este pozo mostró alto contenido de arcillas migratorias compuesta principalmente por caolinita e illita. La distribución porcentual de dichas arcillas en las arenas abiertas a producción se puede visualizar en la tabla anterior. Así como también, se visualiza a partir del gráfico de la clasificación de arcillas, que el problema que afecta al yacimiento, está asociado directamente a la migración de arcillas.

Soportados en estos análisis y conociendo la zona abierta con mayor porcentaje de arcilla migratoria, se podrá realizar a través de pruebas de laboratorio una óptima selección de los fluidos de estimulación con los que se van a tratar los intervalos, ya que algunas veces, no se utilizan los tratamientos de la mejor manera, debido al desconocimiento de los tipos de arcillas presentes, distribución de arcillas en la estructura interna de la roca y como estas se encuentran mezcladas con otros minerales tendientes a causar reacciones secundarias en contacto con los ácidos y fluidos utilizados.

A través del conocimiento de la cantidad de arcilla se pueden mejorar las simulaciones de los fluidos a inyectar antes de ejecutar los trabajos de estimulación, con el fin de optimizar los costos, los programas operacionales, tomando en cuenta las cantidades de fluidos a inyectar, ya que el éxito de dichos trabajos va a depender en buena parte del retorno del fluido inyectado para crear el menor daño posible, en especial si son estimulaciones reactivas con ácido fluorhídrico, bajo condiciones poco favorables de yacimiento.

Con estos estudios exhaustivos se podrá determinar la variación de los valores de las arcillas migratorias hacia otras áreas del yacimiento, permitiendo establecer así estrategias de recañoneo y producción que ayuden a controlar los problemas de migración de finos. A continuación se presenta la interpretación petrofísica en conjunto con los intervalos muestreados que se usaron para el cotejo de la información del pozo AZ-1.

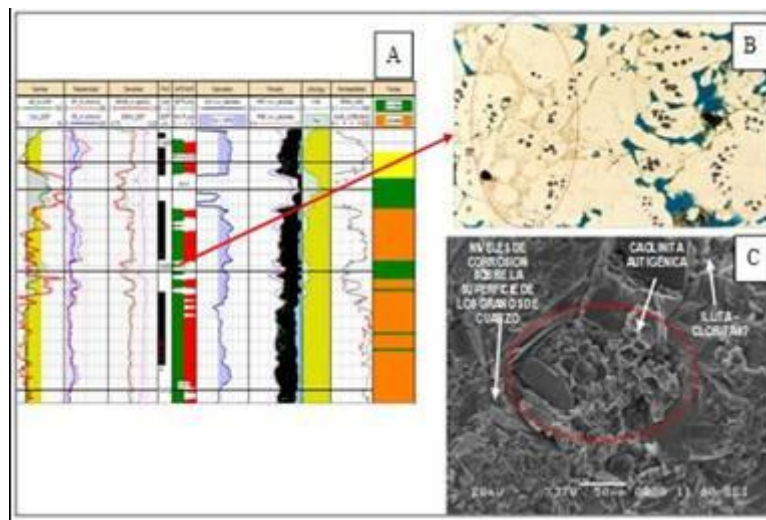


Figura 9. Interpretación Petrofísica con intervalos muestreados (A), análisis petrográfico (B) y microscopía electrónica de barrido (C). Pozo AZ-1.

En el mismo orden de ideas, se presenta el pozo AZ-2, el cual ha mostrado continuos periodos de inactividad y restablecimiento de producción siendo el principal problema la alta producción de arena, la cual puede estar asociada tanto a los diferentes cambios en el diferencial de presión del pozo a los que ha estado sometido el mismo durante la trayectoria de su producción, como a los mismos efectos de inactividad y arranque a producción con las consecuentes alteraciones que pueden ocurrir dentro de la formación. El pozo, se ha intervenido en varias oportunidades, con limpiezas mecánicas y químicas a través de coiled tubing, utilizando bombes forzados a la formación con solventes orgánicos y ácidos, sin lograr restaurar la producción.

Nunca se había estudiado de manera detallada a través de los análisis mineralógicos descritos anteriormente como se encuentra el estado de la estructura interna o esqueleto de la roca y en qué intervalos pueda presentar los mayores problemas de tendencia a falla de la misma. Es por ello que a través de las metodologías anteriores se pudieron identificar zonas que posiblemente sean las causantes del problema que está presentando actualmente el pozo.

El análisis petrográfico, permitió identificar como los granos de cuarzo presentan líneas de debilidad que crean inestabilidad en la estructura de la roca. Por otra parte, la microscopía de barrido electrónico y el análisis de energía dispersiva permitió observar como la arcilla inhibe los sobrecrecimientos de cuarzo, lo cual ocasiona baja cohesividad entre los granos y por ende tendencia al callamiento (Figura 10).

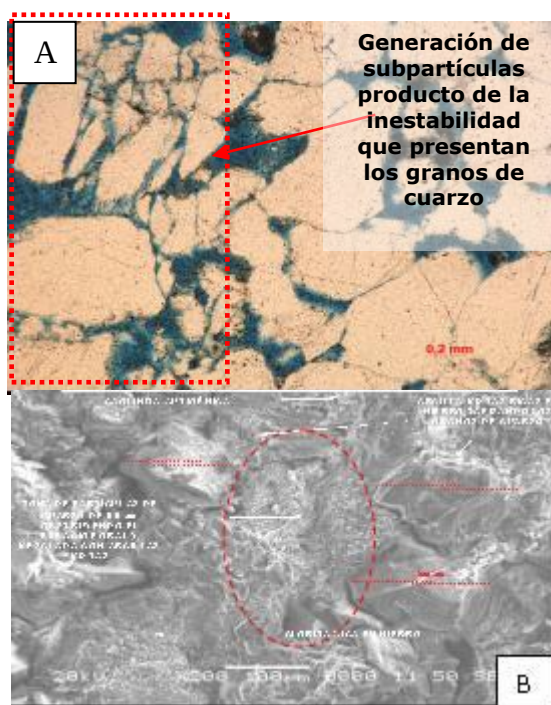


Figura 10. Análisis Petrográfico (A) y SEM.(B) Pozo AZ-2 (10897'4").

Otra característica que se pudo observar a través de las imágenes, es la variabilidad de tamaño de grano y el mal escogimiento entre las partículas. Se aprecia también la generación de grandes cantidades de subpartículas provenientes de partículas de tamaño de grano grueso muy inestables, lo que corrobora aún más la tendencia al fallamiento.

Con todo lo visualizado se deben realizar estudios más exhaustivos que permitan determinar acciones para minimizar el problema de arenamiento, bien sea estudiar la factibilidad de recompletar con buenos diseños de rejillas, sin minimizar el índice de productividad del pozo. Así como también, realizar estudios de diferencial crítico, realizar estudios a nivel de laboratorio de tasa crítica de flujo combinado con análisis mineralógicos más a detalle.

A continuación se presenta la interpretación petrofísica en conjunto con los intervalos muestreados que se usaron para el cotejo de la información del pozo AZ-2.

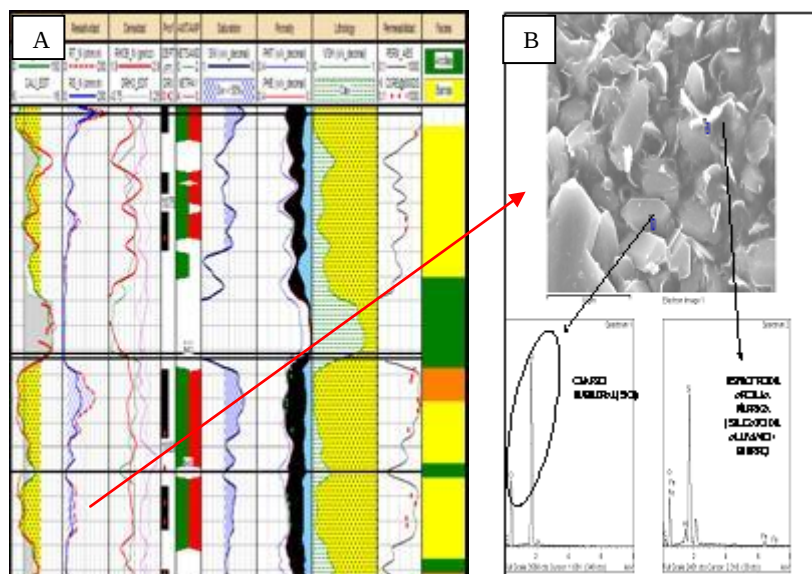


Figura 11. Interpretación Petrofísica con intervalos muestreados (A) y Análisis SEM-EDS. Pozo AZ-2 (10815'2") (B). Pozo AZ-2.

Por otra parte, el pozo AZ-3, tiene problemas de baja productividad asociada al alto grado de diagénesis y problemas con un posible material bituminoso, los cuales crean una pobre calidad de roca.

Los gráficos de áreas que se construyeron a partir de los análisis de difracción de rayos X (Ver Figura 12), muestran inicialmente, zonas con alto contenido de cuarzo y baja arcillosidad. Al realizar el cotejo con los datos petrofísicos se observa que la densidad de grano para ese intervalo muestra valores muy bajos, cuyo promedio es de 2.56 gr/cc, lo que no es concordante con la densidad de grano de una roca con un contenido de cuarzo del 90% aproximadamente.

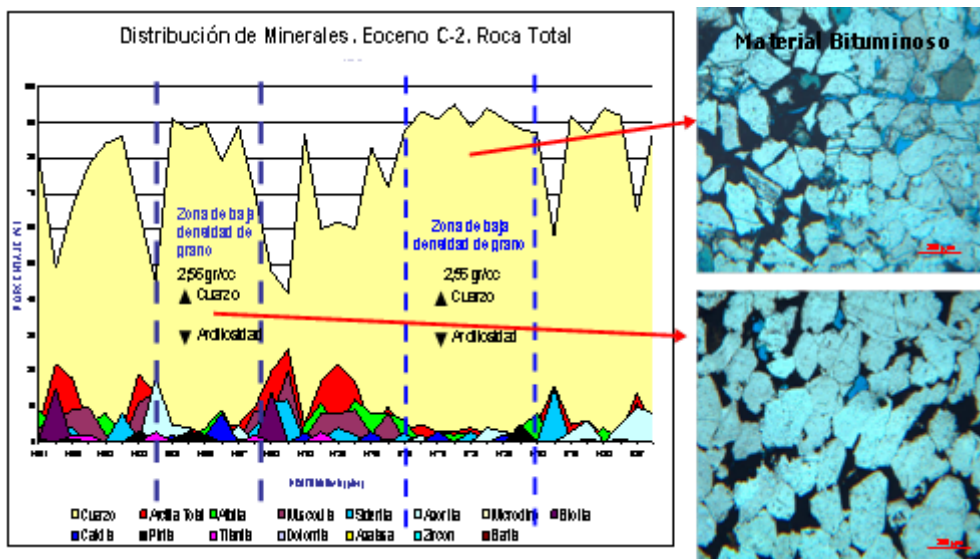


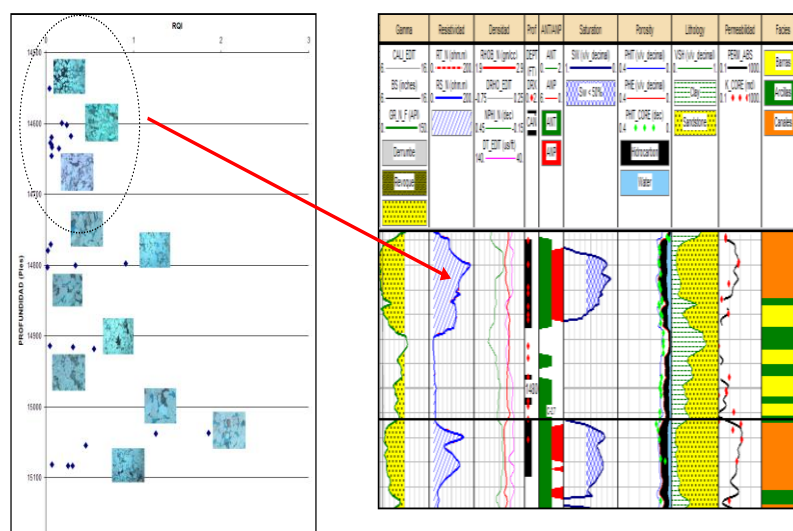
Figura 12. Distribución de Minerales. Pozo AZ-3.

En ese sentido, se realizó el estudio micro (detallado) y se determinaron los efectos diagenéticos a nivel de los intervalos C-2 y C-3 (compactación y presión-solución). Por su parte, las visualizaciones petrográficas ayudaron a complementar y entender rápidamente lo que estaba sucediendo en el intervalo anómalo, detectado esto a partir del análisis de DRX. Un material bituminoso adherido a las paredes de las gargantas porales fue la causa del problema que trajo como consecuencia la no productividad en este intervalo cañoneado según la caracterización y prospectividad que fue evaluada para ese momento.

Otros análisis a partir de la integración de los datos mineralógicos que permitieron observar este fenómeno fueron los datos de presión capilar y RQI, ya que los puntos de mayor valor de Swirr corresponden a estos intervalos anómalos.

De toda la integración y análisis de los datos mineralógicos se puede decir que la mayor parte de las rocas de los pozos estudiados, presentan cambios de porosidad debido a los efectos diagenéticos que actúan sobre estas, por ejemplo algunas porosidades bien desarrolladas experimentan cambios y se convierten en microporosidades. Así como también, otros minerales pueden ser sometidos a efectos de disolución y formando otras porosidades, por todo esto es muy importante conocer a través de estos estudios las porosidades de la roca y sus tipos para poder anticipar posibles problemas que puedan generarse durante la vida productiva de los pozos.

En este caso en particular es conveniente seguir las siguientes acciones: realizar un estudio geoquímico que permita conocer la naturaleza de este fenómeno, evaluar pozos vecinos del yacimiento para verificar si presentan este problema y en que grado. De ser así, considerar el recálculo de las reservas del yacimiento afectado. A continuación se presenta la interpretación petrofísica en conjunto con los intervalos muestreados que se usaron para el cotejo de la información del pozo AZ-3.



Página | 976 **Figura 13.** Interpretación Petrofísica con intervalos muestreados. Pozo AZ-3.

CONCLUSIONES

El desarrollo de Metodologías detalladas como: Difracción de Rayos X, Petrografía, Microscopía Electrónica de Barrido, Energía Dispersiva, gráficos de correlación entre índices de calidad de roca con profundidad, presión capilar y la raíz de la permeabilidad entre la porosidad, permitió corroborar desde diferentes puntos de vista los resultados obtenidos.

Los análisis de difracción de rayos X fueron de gran utilidad para el estudio, ya que permitió conocer la composición mineralógica de la roca total y arcillas presentes, a través de esta técnica se realizaron gráficos de distribución de arcillas las cuales fueron agrupadas en grupos según el potencial de daño que pueden causar a los yacimientos.

A través de estas metodologías, especialmente con el estudio petrográfico, se pudo comprobar los procesos diagenéticos que intervienen de forma positiva y negativa en la calidad de roca yacimiento. Los procesos fueron identificados como disolución, compactación, presión -solución y cementación. Para las unidades B-6 y B-7, la disolución representa el evento más relevante, la cual permite que se genere porosidad secundaria. Mientras que para las unidades C-2 y C-3, la compactación es la que crea el mayor daño en la calidad de roca, ya que la porosidad muestra un decrecimiento considerable producto de este fenómeno.

El estudio petrográfico será parte de los resultados de los modelos: sedimentológico, geoestadístico y dinámico, mediante los cuales se establecerán mecanismos necesarios para los estudios de recuperación mejorada del yacimiento.

La microscopía electrónica de barrido fue la metodología que permitió conocer y corroborar lo analizado en las anteriores técnicas. A través de ella, se pudo visualizar como las arcillas se encontraban distribuidas en el espacio poral, como es el estado de las partículas principales de la roca (inestabilidad, cohesividad).

Los análisis de energía dispersiva se utilizaron en conjunto con la microscopía electrónica de barrido y permitió reconocer minerales con morfologías no comunes, así como agregados de arcillas, óxidos y subpartículas generadas alojadas en los espacios porales.

En el manejo de un reservorio es de gran importancia considerar la composición de los minerales de arcillas, pues éstos reaccionan de modo muy diferentes con los fluidos y tratamientos usados en la perforación, completación y producción de los pozos.

Cada grupo de minerales de arcillas, contienen varios miembros los cuales pueden ser muy diferentes en términos de morfología e incluso composición química, por lo que la velocidad de reacción entre dichos minerales de arcillas y el fluido de completación introducidos en el pozo, pueden variar de modo significativo dentro de un mismo grupo.

Se pudieron reconocer y constatar los problemas que presentaban los pozos AZ-1, AZ-2 y AZ-3, bajo un análisis de visualización, integración y análisis de los datos. El pozo AZ-1 presenta problemas de migración de arcilla, lo cual taponan los canales afectando la permeabilidad. En cuanto al pozo AZ-2, se observó que presenta inestabilidad de las partículas por causa de los esfuerzos y baja cohesividad producto de las arcillas presentes. Y el pozo AZ-3, presentó problema en su prospectividad debido a la presencia de material orgánico carbonoso en los intervalos cañoneados puestos a producción.

Se pudieron establecer acciones que permitan a futuro considerar las metodologías expuestas anteriormente con el fin de complementar y de ser posible optimizar los procesos inherentes a la productividad de los pozos.

RECOMENDACIONES

Es importante tomar en cuenta las técnicas detalladas de análisis mineralógico, con el fin de poder conocer los fenómenos mineralógicos que están causando o pueden a futuro tener impacto considerable en la productividad de los pozos.

Con base al estudio, se debe hacer un análisis mineralógico más detallado para poder extender la información a otros pozos pertenecientes al área. Es importante involucrar a todas las disciplinas para que conozcan cual es la importancia del manejo de los datos mineralógicos con el propósito de optimizar las metodologías que se han venido aplicando.

La optimización de los fluidos de perforación, completación, estimulación y agua de inyección debe realizarse tomando en cuenta las metodologías detalladas descritas y analizadas anteriormente. En el pozo AZ-1, se debe lograr una sinergia entre las empresas involucradas para que a través de las técnicas descritas se logre diseñar fluidos adecuados, diseñar planes de estimulación que minimicen los daños de la formación, también se recomienda estudiar técnicas efectivas de cañoneo y recañoneo, una vez conocida la distribución de arcillas potencialmente migratorias.

Según las observaciones y los análisis realizados en el pozo AZ-2, se recomienda un estudio geomecánico completo que permitan conocer los

esfuerzo del área, la resistencia de la roca, para conocer los intervalos que puedan presentar problemas de fallamiento, los cuales pueden presentarse durante la construcción de nuevos pozos y también durante la vida productiva de otros.

Se recomienda en el pozo AZ-2, determinar el draw down crítico con el fin de determinar los diferenciales permisible de presión para evitar el fallamiento de la roca. De ser posible, diseñar rejillas para el control de arena en los pozos ya perforados procurando un diseño de mínimo impacto en el índice de productividad del pozo.

En el pozo AZ-3, se debe realizar un estudio geoquímico exhaustivo a nivel regional que permita determinar los componentes de alto peso molecular que constituyen el hidrocarburo, determinar la naturaleza de la migración. Así como también, determinar de ser posible la distribución areal dentro del yacimiento para optimizar las reservas de hidrocarburo. En base a lo anteriormente planteado, es recomendable realizar un nuevo estudio integrado, donde se actualice toda esta información y se considere la existencia de este fenómeno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chacartegui, F; Urdaneta, J; y Sanois, I. (1996). Estudio Sedimentológico y Diagenético del intervalo C-3, Formación Misoa, Eoceno Medio, Campo Ceuta. Documento Técnico PDVSA.
- Chacón, Johanny (2007). Estudio Petrográfico del Yacimiento VLG-3676, basado en los núcleos VLG-3743 y VLG-3738. Documento Técnico PDVSA.
- Core Laboratorios Venezuela (1986). Análisis especiales de núcleos. Pozo VLG-3716. PDVSA. Core Laboratories Venezuela (1996). Propiedades básicas de las rocas Pozo VLG-3781. Documento Técnico PDVSA.
- Core Laboratorios Venezuela (1997). Estudio de las propiedades avanzadas de La Roca. Pozo VLG-3781 Formación Misoa. Documento Técnico PDVSA.