

CARACTERIZACIÓN DE AGUAS DE FORMACIÓN Y MINERALOGÍA DE LAS ARCILLAS DEL CAMPO BARÚA (CUENCA MARACAIBO FALCON, VENEZUELA)

José Montoya – Maria Parra

¹montoyajq@pdvsa.com – ²maria.parra@weatherford.com

Palabras claves: Resistividad del Agua de Formación, Arcillas, GR Espectral.

Abstract

CHARACTERIZATION OF FORMATION WATERS AND CLAY MINERALOGY OF THE BARUA FIELD.

This technical work was made with the objective of characterizing laterally and vertically the formation waters through physical-chemical water analysis, forecasting the formation water tendency for precipitating inorganic salts and determining the clay mineralogy which is present in reservoirs of Barúa oil field, in the southern part of Municipio Baralt of Zulia State and northern part of Municipio Betijoque of Trujillo State. To reach the objectives of the study, we used characterization tools like Sulin's classification (1946), Stiff's diagrams (1951) and the geochemistry ions relationship, determining the relationship between formation water properties and the geological environment of the oil field in study. The clay mineralogy was determined through natural gamma ray spectroscopy in correlation with core information to extrapolate and characterize the clay mineralogy laterally and vertically. This water characterization methodology allowed to know the formation water patterns concerning the Formation Misoa (Eocene age) and the Formation Paují (Eocene age), finding out that Barúa formation waters are of meteoric sodium bicarbonate kind with a little increase of ions concentration toward the north due to the depositional environment and sea influence in this part of the field at the moment of sediment deposition. The clay characterization allowed us to determine smectite and smectite/illite as the main clay mineral in the field, due to they are expansible, fresh water treatments should be avoided and inhibitive or oil systems should be used instead.

INTRODUCCIÓN

En los yacimientos, normalmente el gas o el petróleo ocupan una fracción del volumen poroso total; el resto del espacio contiene agua, la cual quedó atrapada durante el proceso geológico de deposición de los sedimentos.

El conocimiento de las aguas de formación asociada a las diferentes unidades productoras adquiere singular importancia, dado la diversidad de ambientes sedimentarios existentes, lo que conduce a que existan variaciones en la composición química de las aguas de formación de un mismo yacimiento y a su vez, variaciones entre las aguas de diferentes yacimientos. Para las evaluaciones petrofísicas de las formaciones, es indispensable el conocimiento de la resistividad del agua de formación (R_w), y así definir a través de este valor, la saturación de agua del yacimiento. Esta es una técnica conocida a nivel mundial, aunque poco aplicada debido a que a nivel regional se utilizan los valores de R_w extrapolado de campos vecinos, los cuales son poco confiables cuando se habla de caracterizar areal y verticalmente el agua de formación para un intervalo estratigráfico particular.

En el Campo Barúa las evaluaciones petrofísicas de los pozos se realizan en base a diferentes valores de R_w , lo que genera incertidumbre en la selección de los intervalos a cañonear. La caracterización del agua de formación, permite establecer la R_w verdadera a fin de obtener evaluaciones petrofísicas más confiables, además de definir el patrón característico de las aguas de formación por yacimiento, logrando identificar la fuente de producción de agua asociada al crudo.

Para alcanzar los objetivos trazados, se analizaron aquellos aspectos relacionados con la estructura, sedimentología, y estratigrafía asociada a los yacimientos que conforman las Formaciones Paují (Arenas Basales) y Misoa del Campo Barúa. Se consultaron las historias de pozos y de producción para conocer la completación, cementación, arenas abiertas, comportamientos de producción, registros de producción, entre otros.

Adicionalmente, los trabajos de estimulación de pozos en el Campo Barúa con el objeto de remover los daños asociados a las actividades de perforación, no han sido exitosos, debido entre otras causas al desconocimiento de la mineralogía de las arcillas presentes. El estudio de caracterización mineralógica de las arcillas ayudó a recomendar fluidos compatibles con las mismas, tanto al momento de la estimulación como en la perforación y reparación de los pozos.

Este artículo tiene como objetivo caracterizar las aguas de formación mediante análisis físico-químicos y determinar la mineralogía de las arcillas presentes en las areniscas del Campo Barúa. Para lograr estos objetivos se procedió a clasificar las aguas según su ambiente de origen u ion predominante mediante el sistema propuesto por Sulin (1946); se establecieron patrones areales y verticales representativos de los yacimientos estudiados mediante la aplicación de los Diagramas de Stiff (1951), se determinaron valores representativos de resistividad del agua (R_w), tanto areal como verticalmente en las diversas áreas en estudio y se aplicó el método de Oddo y Tomson para pronosticar la tendencia de las aguas a formar depósitos de CaCO_3 ; se determinó la composición mineralógica de las arcillas y los problemas asociados a la influencia de las mismas en la producción de los pozos.

DELIMITACIÓN.

El estudio se desarrolló en el Campo Barúa (Unidad de Explotación Tierra Este Liviano). El campo está ubicado al sur del Municipio Baralt del estado Zulia y al norte del Municipio Betijoque del estado Trujillo, entre las coordenadas E: 284000 @ 296000 y N: 1056000 @ 1080000 (Coordenadas UTM). Se encuentra al oeste del Lago de Maracaibo, al Sur del Campo Costanero Bolívar y a 80Km. al sur del Campo Mene Grande.

Ocupa un área de 190 Km^2 , de los cuales la zona productiva comprende 100 Km^2 aproximadamente. Incluye un total de 46 pozos perforados, de los cuales 30 están abiertos a producción.



Figura 1. Ubicación del área de estudio.

METODOLOGIA

La etapa inicial para realizar un estudio de caracterización de aguas de formación, consiste en la adquisición de toda la información disponible, relacionada con: análisis físico-químicos existentes en el campo, ubicación de los pozos, diagramas mecánicos, intervalos cañoneados, intervalos productores, corte de agua y sedimentos (% AyS), registros de cementación, registros de producción PLT, estratigrafía, sedimentología, sísmica de la zona en la cual se encuentran ubicados los pozos. Para la obtención de esta información se consultaron diversas fuentes y se recolectaron 108 análisis físico-químicos del agua de formación.

Adicionalmente, se muestrearon 8 pozos claves que contribuyeron a complementar la información disponible y a disminuir el grado de incertidumbre.

En el proceso de validación y organización de la información, en base a los análisis físico-químicos del agua de formación recolectados y muestreados, se realizó el primer descarte de muestras, tomando en consideración los siguientes criterios:

Análisis con datos incompletos: fecha de muestreo, pH, concentración de iones.

Muestras tomadas en pozos con muy bajo corte de agua.

Muestras contaminadas por fluidos de perforación, completación, estimulaciones, fracturamientos o acidificaciones, entre otros.

Una vez realizada la primera fase de validación y organizada la información de los análisis por: pozo, fecha de toma de la muestra, fecha de análisis, zona(s) productora(s), intervalos perforados, %A y S para la fecha del muestreo, concentración de aniones y cationes, concentración total (ppm), pH, Rw y cementación para la fecha de la toma, se procedió a realizar la segunda fase de validación la cual consistió en el balance iónico. Para que un análisis sea considerado como representativo debe estar balanceado iónicamente, es decir, se debe verificar que la suma de los pesos equivalentes (meq/L) de los iones positivos (cationes) sea igual a la suma de los iones negativos (aniones), rechazando las muestras cuyo balance iónico sea distinto de cero o se aleje mucho de este valor.

Para clasificar las aguas de formación de acuerdo a su composición química, se utilizó el sistema propuesto por Sulin (1946), diferenciándolas en meteóricas y connatas en base a las siguientes relaciones matemáticas (tabla 1):

CLASE	Na^+/Cl^-	TIPO	PARÁMETRO
METEÓRICA $\Rightarrow$	>1 $\Rightarrow$	BICARBONATO DE SODIO $\Rightarrow$	$(\text{Na}^+ - \text{Cl}^-) / \text{SO}_4^{--} > 1$
		SULFATO DE SODIO $\Rightarrow$	$(\text{Na}^+ - \text{Cl}^-) / \text{SO}_4^{--} < 1$
CONNATA $\Rightarrow$	<1 $\Rightarrow$	CLORURO DE CALCIO $\Rightarrow$	$(\text{Cl}^- - \text{Na}^+) / \text{Mg}^{++} > 1$
		CLORURO DE MAGNESIO $\Rightarrow$	$(\text{Cl}^- - \text{Na}^+) / \text{Mg}^{++} < 1$

Tabla 1. Clasificación propuesta por Sulin.

Según esta clasificación, las aguas tanto de Paují como de Misoa se caracterizan por ser meteóricas del tipo bicarbonato de sodio, es decir, relaciones Na^+/Cl^- y $(\text{Na}^+ - \text{Cl}^-)/\text{SO}_4^{--}$ mayores que uno. Las aguas del tipo bicarbonato de sodio están ampliamente asociadas a las acumulaciones de hidrocarburos.

Las aguas de formación se clasifican de acuerdo a su composición química, producto principalmente del ambiente de depositación y la interacción con la roca reservorio. El sistema de clasificación de Sulin indica la presencia de un solo tipo de agua asociada a las formaciones Paují (Arenas Basales), y Misoa, litológicamente similares. Los yacimientos Eoceno del campo Barúa se caracterizan por ser barras litorales y barras distales depositadas en un ambiente nerítico interno-externo (zona de ante playa baja a superior), que sufrieron procesos de recarga de aguas salobres al momento de la depositación de los sedimentos.

Las aguas meteóricas son hidrodinámicas, típicas de condiciones terrestres cercanas a la superficie. Corresponden a aguas de formación que han ido migrando y movilizándose en la corteza terrestre, producto de su acción hidrodinámica, las cuales han estado recientemente involucradas en el ciclo de circulación atmosférica, y pueden ser "aguas derivadas de lluvias, ríos y otros cuerpos de aguas superficiales que han percolado en las rocas y han desplazado sus aguas intersticiales que pueden haber sido connatas, meteóricas o de cualquier otro origen".

Tal como se corrobora en este estudio, el catión predominante es el sodio Na^+ , con menor presencia de calcio Ca^{++} y magnesio Mg^{++} , mientras que los aniones predominantes son el bicarbonato HCO_3^- y el cloro

Cl-, con poca presencia de sulfatos SO_4^{2-} y carbonatos CO_3^{2-} ; además de caracterizarse por un bajo contenido de sólidos totales disueltos, inferior a 5000 mg/L, valores típicos en esta clase de aguas.

Para la elaboración de los diagramas de Stiff, los miliequivalentes (información de análisis físicoquímicos) de cationes se representan a la izquierda y los aniones a la derecha de una línea vertical. Los valores se unen con líneas rectas para conformar una figura característica de cada tipo de agua. La escala utilizada para cada ion debe ser cuidadosamente seleccionada antes de iniciar la construcción de los gráficos y, a su vez, la escala general del gráfico puede ser lineal o logarítmica.

Para establecer el patrón de las aguas de formación areal y verticalmente se realizó una distribución de frecuencia a manera de obtener el valor más probable de la concentración de cada ion, con los datos de los diversos análisis físico-químicos disponibles y validados previamente. Esta técnica de la estadística descriptiva nos permitió mediante el ordenamiento sistemático de una colección de valores de una variable dada, mostrar con exactitud una colección de información cuantitativa en una forma más concisa y conveniente que la colección original, facilitando su interpretación, e indicando la frecuencia de ocurrencia de dichos valores.

A continuación se presenta la tendencia composicional arrojada por el estudio tanto para la formación Misoa como para la formación Paují:

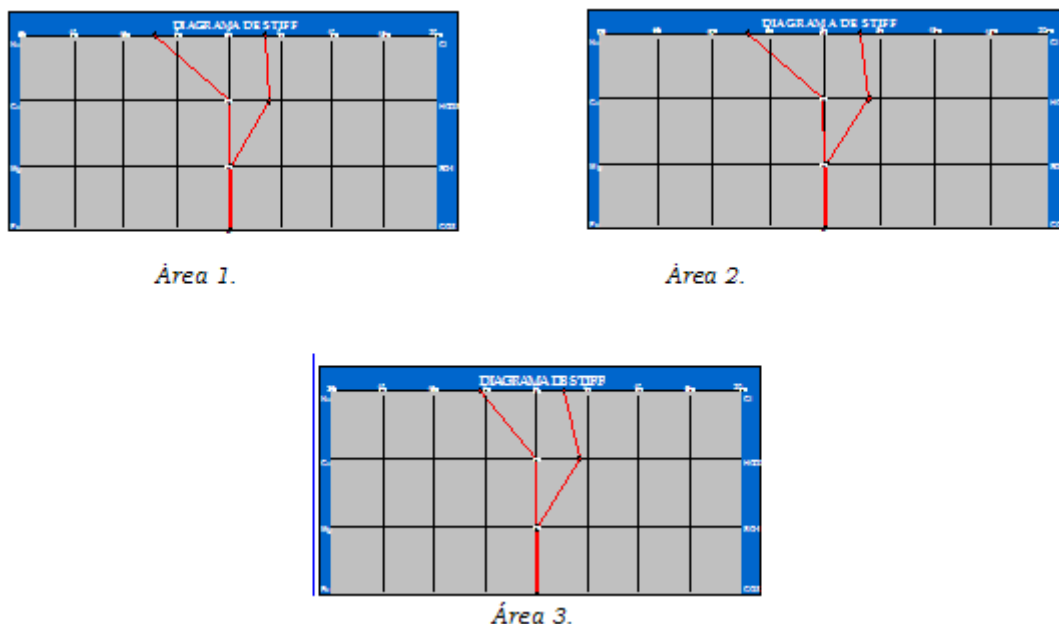


Figura 2. Diagramas de Stiff patrón correspondientes a cada área de la Formación Misoa.

Las aguas de la formación Misoa en general presentan la misma tendencia, es decir, son composicionalmente muy parecidas. Estos patrones corresponden a áreas estructuralmente distintas, y a pesar de ello presentan tendencias composicionalmente muy similares, lo cual permite suponer asociaciones por origen entre los diferentes cuerpos de agua, pues presentan una distribución bastante uniforme en el campo, independientemente del área a la cual pertenecen. Este comportamiento podría sugerir además, que la formación Misoa a pesar de ser un área estructuralmente compleja, los cuerpos de arena presentan gran continuidad lateral, pudiendo los diagramas de Stiff ser evidencia de este efecto.

En cuanto a la concentración de sólidos totales disueltos se observó una ligera tendencia a la disminución de su valor hacia el sur, donde originalmente se encontraba la fuente de aporte de sedimentos, y la mayor influencia de ambientes de aguas salobres.

Para las Arenas Basales de la Formación Paují el patrón determinado de acuerdo al Diagrama de Stiff correspondiente el valor más probable de cada ion según el análisis estadístico de histogramas de frecuencia y moda, presenta predominio de las especies Na^+ y HCO_3^- , como se observa en la figura 3.

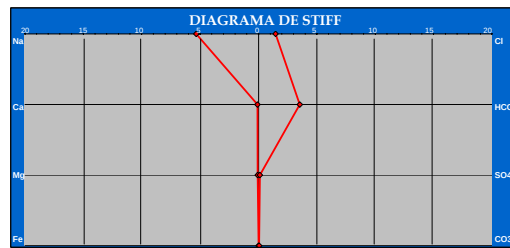


Figura 3. Diagrama de Stiff patrón correspondiente a la Formación Paují.

El patrón obtenido para las aguas de formación asociadas a las Arenas Basales de la Formación Paují y a las arenas de la Formación Misoa presentan semejanzas, lo que podría indicar que las aguas pertenecientes a ambas formaciones serían producto de comunicación a nivel de pozos, presencia de fallas que se extienden probablemente de Paují a Misoa y/o ambientes depositacionales con influencias hidrodinámicas similares.

El valor de resistividad del agua de formación calculada para la Fm. Paují (procedimiento explicado posteriormente) de 2.1 ohm-m correspondiente al patrón determinado; presenta variación significativa con respecto al valor de 0.994 ohm-m a temperatura de 75°F, que se ha utilizado con buenos resultados en el campo para las evaluaciones petrofísicas y estimación de las reservas. El valor de R_w calculado incrementa notablemente la saturación de agua para la Fm. Paují, la cual en la actualidad no presenta evidencia de producción de agua. Debido a la relación existente en el valor de R_w calculado y sus sólidos totales (ppm) asociados, es decir, a mayor concentración de sólidos disueltos menor será la resistividad del agua, se infiere que las aguas asociadas a la Fm. Paují deben presentar un valor de sólidos totales mayor que el del patrón obtenido, es decir, mayor de 4010.76 mg/L.

Al analizar cada una de las muestras correspondientes a la Fm. Paují, el patrón perteneciente al análisis físico-químico del pozo 26, ver figura 4, muestreado para el estudio tomando en cuenta las especificaciones para la toma de muestras representativas, presentó una concentración de sólidos totales de 6482.37ppm (4934.94 ppm equivalentes en cloruro de sodio) con un R_w asociado de 1.09 ohm-m, valor que hace un buen cotejo con la producción actual del campo.

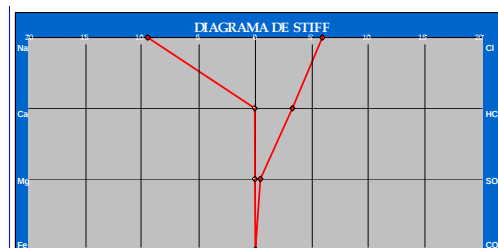


Figura 4. Muestra patrón correspondiente al pozo 26

Sin embargo, en vista de contar con un sólo análisis físico-químico que se ajustó al comportamiento de producción del campo, para validar dicha muestra, fue necesario el uso de los análisis especiales de presión capilar del núcleo disponible en este pozo.

Debido a que este pozo produjo inicialmente petróleo limpio y presentaba información de análisis de núcleo, se asumió la S_w igual a la S_w irreducible, ambas menores a la S_w crítica. Tomando en cuenta los parámetros de registros, volumen de arcilla (V_{sh}), resistividad de una lutita (R_{sh}), resistividad total (R_t) y porosidad (ϕ), para arenas buenas y malas, se estableció el rango de S_w correspondiente a los análisis de núcleos para estas arenas, y utilizando el modelo de saturación de agua aplicado en el campo, Modelo de Simandoux, se obtuvo el rango en los valores de resistividad del agua para la Fm. Paují.

El rango obtenido del análisis de sensibilidad realizado oscila entre valores de 4200-9000 ppm equivalentes de Cloruro de Sodio, lo que demuestra que la muestra del pozo con 4934.94 ppm equivalentes de NaCl, es representativa de las Arenas Basales de la Fm. Paují.

Este análisis presenta una concentración del ion cloruro mayor que la de iones bicarbonato, indicando un posible origen connato de las mismas; muy bajas concentraciones de calcio, magnesio, sulfato, y como cation predominante se encuentra el sodio.

Este incremento relativo en la concentración de iones cloruro está relacionado con un ambiente de sedimentación de mayor influencia marina. Adicionalmente, la geología del área demuestra que al momento de la sedimentación, el vasculamiento de la cuenca era mayor que el aporte de sedimentos, por lo que la Formación Paují se depositó en un ambiente más profundo con respecto al nivel del mar que la Formación Misoa, indicando mayor influencia marina.

La resistividad del agua de formación se determinó a partir de los análisis físico-químicos de las diversas muestras de agua representativas.

El método consistió en reducir la composición química de la muestra de agua a una equivalente en cloruro de sodio (NaCl), por medio de unos factores de conversión o factores de Dunlap. Estos factores se determinaron del gráfico Gen-8 de Schlumberger, a partir de la concentración total de sólidos. Esta concentración es la sumatoria de todas las concentraciones (ppm) de los iones presentes en el análisis químico de la muestra.

$$\text{Concentración total de sólidos} = \sum_{i=1}^n (\text{ppm } c / \text{ion})_i$$

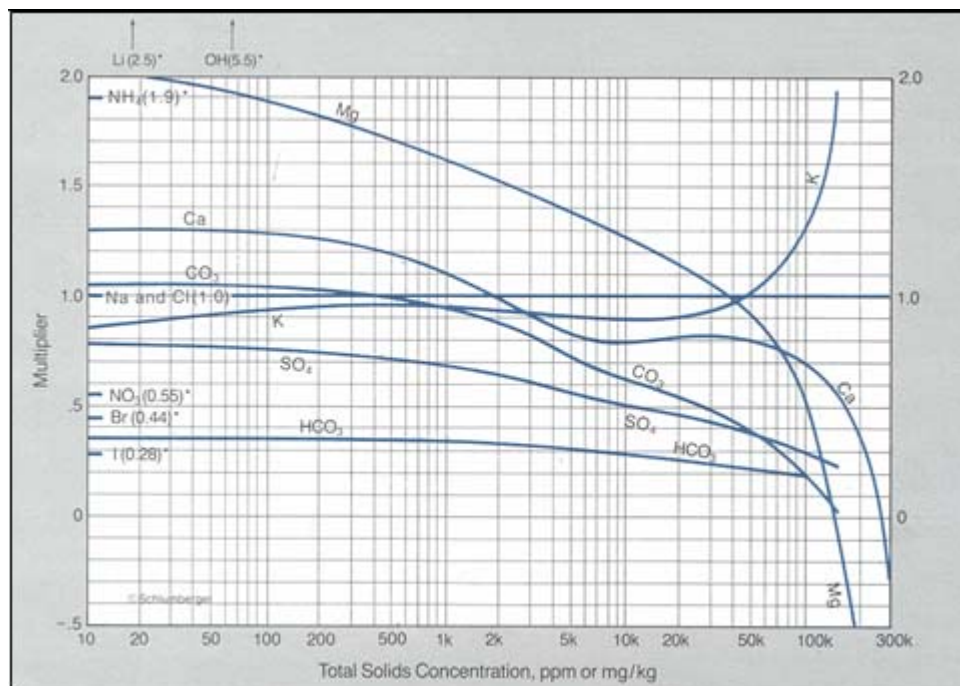


Figura 5. Grafico Gen-8 de Schlumberger.

Para obtener la salinidad total equivalente en cloruro de sodio, las partes por millón de cada ion se multiplicaron por su factor de conversión correspondiente y los productos se sumaron.

$$\text{Equivalente en Cloruro de Sodio} = \sum_{i=1}^n (\text{ppm } c / \text{ion} * f \text{ conversión})$$

Para obtener la resistividad del agua de formación a temperatura de superficie (75 °F), se utilizó la siguiente ecuación:

$$Rw_{75} = 0.0123 + \frac{3647.5}{[NaCl(ppm)]^{0.995}}$$

Este procedimiento se aplicó a cada uno de los análisis físico-químicos disponibles, así como a la muestra patrón obtenida por área

Para la Formación Misoa se logró definir arealmente 3 patrones representativos del agua de formación basados en los diagramas de Stiff, así como su R_w asociado que varía entre 1.48 y 1.753 ohm-m de norte a sur. Se observó un leve incremento (de 500 ppm aproximadamente) en la concentración de sólidos totales

disueltos hacia el área norte del campo. Estas variaciones se deben a la mayor influencia marina hacia esta zona del campo.

Para las Arenas Basales de la Formación Paují se estableció un patrón único del agua de formación mediante el diagrama de Stiff, con un R_w promedio de 1.09 ohm-m.

A partir de los patrones encontrados en cada uno de los yacimientos del campo, se aplicó la metodología propuesta por Oddo y Tomson (extraído de Martínez 1989) para conocer la tendencia de las aguas a precipitar carbonato de calcio.

El método consiste en calcular un índice de saturación (I_s), conocido el valor de pH, en función de constante de equilibrio condicionales, que dependen a su vez de temperatura, presión y fuerza iónica.

$$I_s = \text{Log}\left(1/\text{Ca}^+\right) + \text{Log}\left(1/\text{HCO}_3^-\right) + \text{pH} - 2.78 + 1.143 * 10^{-2} * T - 4.72 * 10^{-6} * T^2 \\ - 4.37 * 10^{-5} * P - 2.05 * I^{1/2} + 0.727 * I$$

Los resultados obtenidos mediante la aplicación del método de Oddo y Tomson, permitió establecer que las aguas en estudio tienen tendencia a precipitar carbonato de calcio, tomando en consideración parámetros de campo, que dependen de la temperatura, la presión y la fuerza iónica.

Es muy importante en algunas operaciones de los campos petroleros, predecir la tendencia del agua a formar depósitos de carbonato de calcio. Antes de producirse los fluidos de un yacimiento, éstos se encuentran en estado estático y en equilibrio químico. Al iniciarse la producción y el movimiento de los fluidos, ocurre en la vecindad del pozo una caída de presión; este cambio de presión permite que gases en solución se separen y rompan el equilibrio; formando depósitos de carbonato de calcio (escamas).

La temperatura es otro factor que influye en la solubilidad del carbonato de calcio. Estudios demuestran que al aumentar la temperatura, disminuye la solubilidad de esta sal. Esto explica que algunos problemas de escamas pueden ser encontrados por la inyección de agua saturada con carbonato de calcio a temperatura de superficie, a una formación infrayacente de mayor temperatura. La baja temperatura cerca de la superficie incrementa la solubilidad, pero las bajas presiones causan pérdidas del dióxido de carbono que contrarresta el aumento en la solubilidad obtenido por la influencia de la temperatura.

En el campo Barúa se han reportado algunos problemas asociados a la precipitación de cristales de carbonato de calcio. Debe tomarse en cuenta que con el transcurrir del tiempo, la producción y/o inyección de fluidos al yacimiento pueden crear condiciones de presión, temperatura y mezclas de aguas favorables para la formación de depósitos de esta sal. Por lo anterior, es importante tomar en consideración el comportamiento de presión del yacimiento para determinar las condiciones críticas en la precipitación de carbonato de calcio. Así mismo, realizar estudios de compatibilidad del agua de formación para futuras recomendaciones a la hora de realizar trabajos de estimulaciones y/o inyección de fluidos al yacimiento.

Por otro lado, se aplicó el método de McKinnell el cual fue utilizado como herramienta clave para determinar mezclas de aguas. Para esto representamos en los ejes verticales la composición típica de los tipos de agua de formación (en Meq/L), Arenas Basales de la Formación Paují y la Formación Misoa, en escala logarítmica; y en el eje horizontal, una escala porcentual de 0 a 100% para cada tipo de agua. Se unieron los puntos correspondientes a un mismo componente, a manera de mostrar las variaciones de un tipo de agua a la otra. La composición de la muestra por investigar se correlacionó con las composiciones típicas a fin de determinar cuantitativamente el porcentaje correspondiente a cada tipo de agua.

La aplicación de este método, en los pozos que presentaban alto cortes de agua y comunicación vertical debido a mala cementación, permitió identificar a la Formación Misoa con la fuente productora de agua y proponer trabajos de reparación.

Para determinar la mineralogía de las arcillas la información de los núcleos existente se utilizó para verificar y correlacionar la información mineralógica y sedimentológica analizada a partir de los registros de mineralogía. Se recopiló y analizaron los registros de rayos gamma utilizados cuantitativamente como indicadores del contenido de arcillas. También se estudió el registro de espectroscopía de rayos gamma o registro de rayos gamma espectral, para la interpretación de la mineralogía de las formaciones en base a los contenidos de potasio, uranio y torio.

Para la caracterización de las arcillas, se contó con un total de dos núcleos con análisis de difracción de rayos X, cuatro registros de rayos gamma espectrales y cuatro registros del factor fotoeléctrico de formación.

Para determinar la mineralogía de las arcillas se elaboraron ploteos cruzados sobre la base de relaciones propuestas por la empresa Schlumberger a partir de los gráficos CP-18A, CP-18B y CP-19.

El gráfico CP-18A es un ploteo cruzado del factor fotoeléctrico (en la ordenada) versus el potasio (en la abscisa), como se presenta en la figura 6. La curva de absorción fotoeléctrica es un buen indicador del tipo de matriz de la roca.

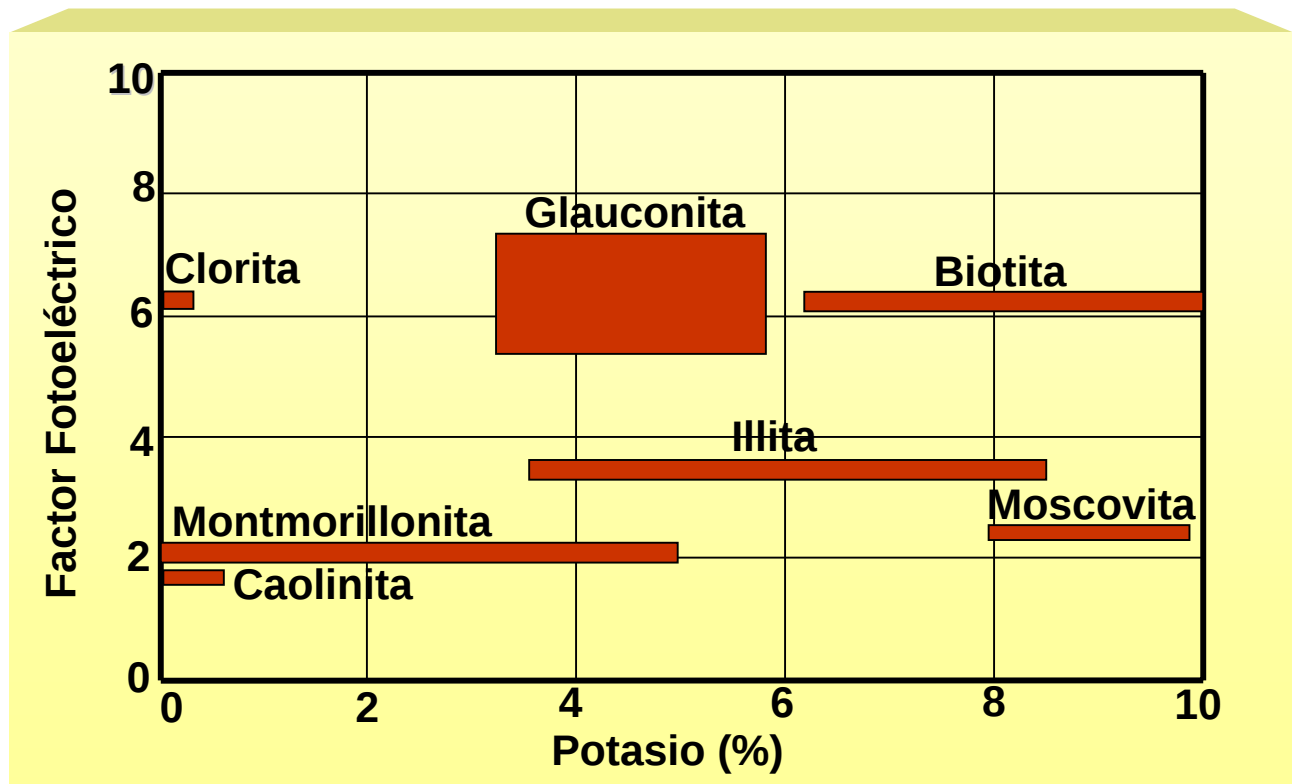


Figura 6. Gráfico CP-18A de Schlumberger.

El gráfico CP-18B, ver gráfico a continuación, es un ploteo cruzado del factor fotoeléctrico (en la ordenada) versus la relación Torio/Potasio (Th/K, en la abscisa). El parámetro Th/K es una función de la composición mineralógica de la lutita, debido a su relación con el porcentaje de illita. A su vez, decrece al incrementarse la cantidad de illita.

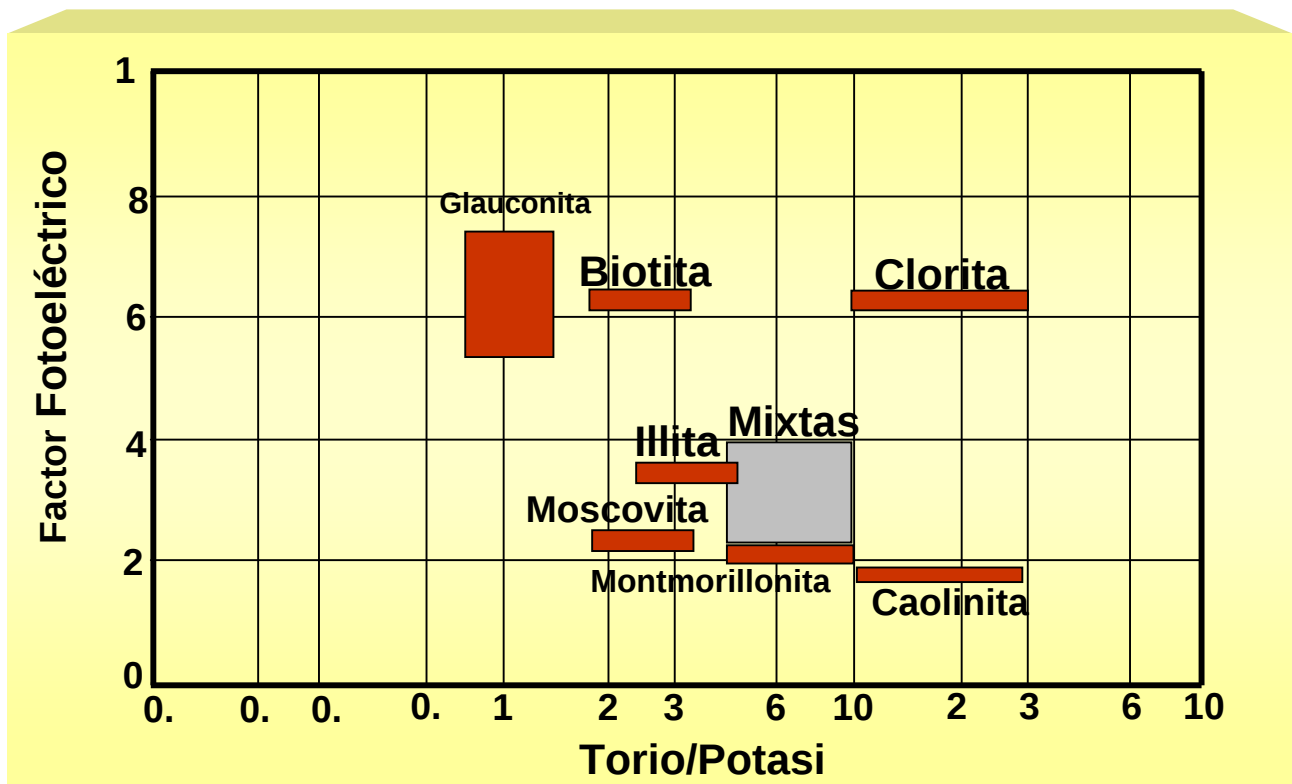


Figura 7. Gráfico CP-18B de Schlumberger.

Otra aplicación del registro GR espectral es la identificación del tipo de arcilla mediante ploteos cruzados de Torio (Th, en la ordenada) versus Potasio (K, en la abscisa), como lo muestra el gráfico CP-19.

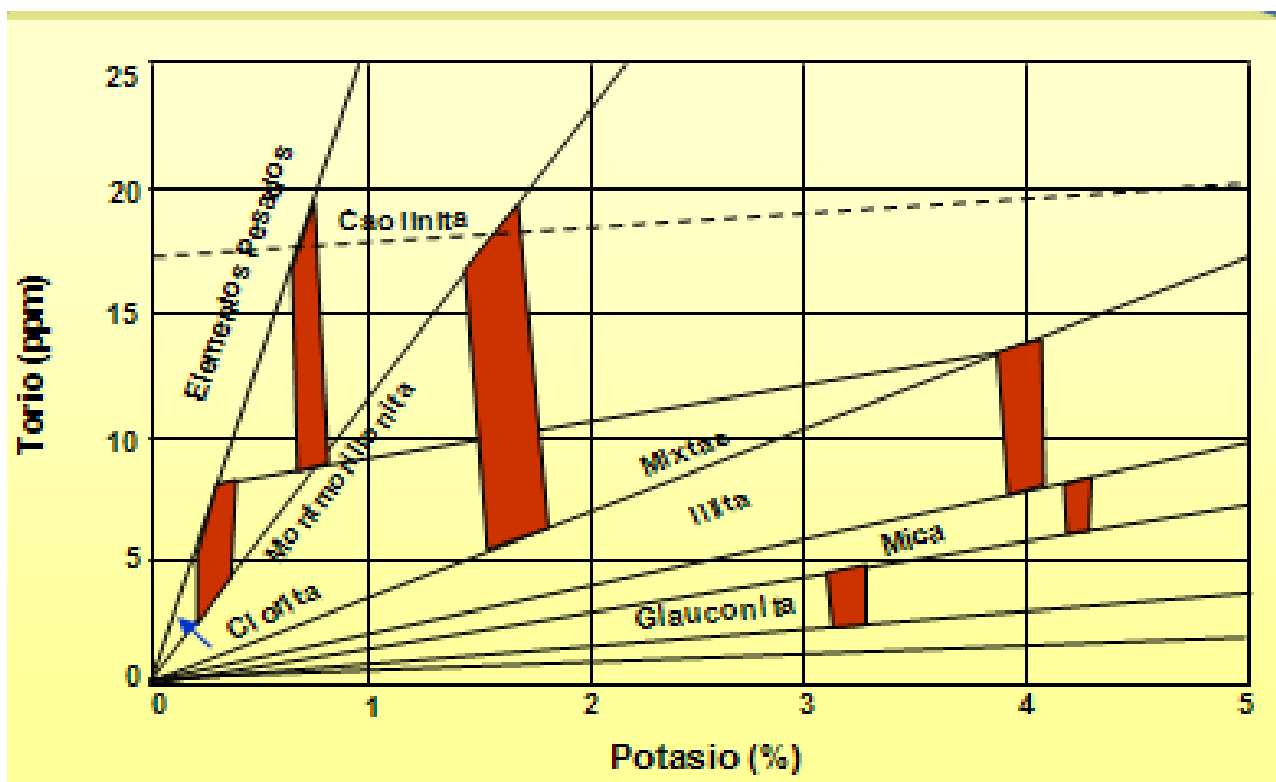


Figura 8. Gráfico CP-19 de Schlumberger.

Una vez seleccionados los gráficos (CP-18A, CP18-B y CP-19), indicando cual de todas las curvas disponibles se utilizarían para la interpretación de los mismos, se procedió a seleccionar los estratos de interés o estudio en cada uno de los pozos, plotearlos y obtener la tendencia de puntos que permitieran analizar cualitativamente los minerales de arcillas de las formaciones productoras del campo Barúa.

En la interpretación de la mineralogía de las arcillas mediante los gráficos CP-18A, CP-18B y CP-19, se analizaron los comportamientos y tendencias de los puntos ploteados correspondientes a cada estrato en estudio. Con el fin de organizar y resumir la información, se determinó la tendencia correspondiente a cada uno de los gráficos, por estrato, tomándose como representativa aquella cuya frecuencia resultará mayor.

Se observaron y analizaron los distintos comportamientos del torio, potasio, uranio y factor fotoeléctrico, para cada estrato, reflejados en los perfiles o registros correspondientes, y se compararon con el comportamiento típico para la caolinita, esmectita, illita y clorita, basándonos en los valores que se presentan en la tabla anexa. Esto, con el propósito de corroborar y validar la información obtenida de los gráficos.

Arcilla	Formula	ρ_{ma} (g/cc)	ρ_{log} (g/cc)	PEFZ barn/elect	CEC (meq/gr)	Potasio (%)	Torio (ppm)	Uranio (ppm)
Caolinita	$Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$	2.96	2.41	1.83	0.03-0.06	0.42	6.0-19	1.5-3
Clorita	$(Mg,Fe,Al)_6(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$	3.39	2.76	6.3	0-0.1	-	-	-
Illita	$K_{1-1.5}Al_4(Si_{7-6.5},Al_{1-1.5})O_{20}(OH)_4$	2.92	2.52	3.45	0.1-0.4	4.5	<2	1.5
Montmorillonita	$(Ca,Na)_7(Al,Mg,Fe)_4(Si,Al)_8O_{20}(OH)_4(H_2O)_n$	2.89	2.12	2.04	0.8-1.5	0.16	14-24	2.0-5

Tabla 2. Propiedades principales de los minerales de arcilla.

Luego de determinar la mineralogía de las arcillas por medio de gráficos cruzados, utilizamos la información de dos núcleos que contaban con análisis de difracción de rayos x, con la finalidad de corroborar los resultados obtenidos, para posteriormente extrapolar la información a las áreas vecinas y definir la tendencia areal y vertical de los minerales de arcillas. En vista que un pozo del estudio contaba con información de núcleo y registros de rayos gamma espectral se verificó el hecho que la información de los análisis de difracción de rayos x del núcleo correlaciono perfectamente con la interpretación realizada por medio de los gráficos cruzados.

Los resultados obtenidos de este análisis indican que la matriz de la roca yacimiento del campo Barúa es el producto de mezclas de arcillas, donde se encuentran la Esmectita (montmorillonita), Illita, Caolinita y Clorita.

En los yacimientos del campo existe predominio de arcillas del tipo Esmectita/Illita. Estos minerales, son extremadamente sensibles a la hidratación, generando en ocasiones derrumbes de las paredes del hoyo y atascamiento de la sarta en operaciones de perforación, mientras que en la fase de producción tienden a migrar durante su expansión obstruyendo las gargantas porales.

En el área central del campo existe tendencia a la presencia del mineral Clorita, cuyo problema potencial es la precipitación de compuestos de hierro en contactos con estimulaciones ácidas de HCl. Es importante destacar que algunos autores señalan que la clorita esta asociada a los ambientes de influencia marina, esto guarda relación con el incremento en la concentración de iones de las aguas de formación debido a mayor influencia marina en esta zona del campo.

En el área sur del campo existe incremento de minerales del tipo caolinita, cuyo problema potencial es la migración de partículas finas durante la fase de producción de los pozos, generando obstrucción del espacio poroso.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, las aguas del Campo Barúa son Meteóricas del tipo Bicarbonato de Sodio, caracterizadas por presentar altas concentraciones de HCO_3^- y Na^{++} . Se logró definir arealmente los patrones de agua representativos de la Formación Misoa, así como su R_w asociado que varía entre 1.48 y 1.753 ohm-m, de norte a sur. Debido a la poca presencia de agua asociada a la producción de crudo de las Arenas Basales de la Formación Paují y contar con un análisis físico-químico representativo, se estableció un patrón único de las aguas asociadas a las Arenas Basales de la Formación Paují, con un R_w promedio de 1.09 ohm-m.

Al identificar los tipos de minerales de arcillas se determinó que la esmectita/illita es la arcilla predominante en los yacimientos del campo, con presencia de clorita en el área central y tendencia a minerales del tipo caolinita hacia la zona sur del campo.

El incremento de la salinidad de las aguas de formación así como la presencia de clorita obedecen a la mayor influencia marina hacia la zona centro-norte del campo, aunado a la geología estructural que evidencia mayor profundización de la cuenca al momento de depositación de los sedimentos, constituyendo ambas caracterizaciones herramientas claves para un mejor entendimiento del sistema roca-fluido.

RECOMENDACIONES

Establecer programas de recolección de muestras para análisis físico-químicos del agua de formación de las Arenas Basales de la Formación Paují.

Reevaluar petrofísicamente los pozos a partir de los R_w calculados en este estudio.

Utilizar los patrones característicos del agua de formación para optimizar los trabajos de RA/RC por altos cortes de agua, y para el monitoreo de futuros proyectos de inyección de agua.

Tomar en consideración el comportamiento de presión del yacimiento para determinar las condiciones críticas en la precipitación de carbonato de calcio. Así mismo, realizar estudios de compatibilidad del agua de formación con las aguas de inyección a objeto de ser considerados en futuros proyectos de inyección de agua.

En futuros pozos a perforar y/o reacondicionar en el área norte del campo incluir en los programas de perfiles los registros de rayos gamma espectrales naturales, para definir la mineralogía presente.

En presencia de arcillas hidratables, utilizar fluidos base aceite o base agua con inhibidores de arcillas, durante la perforación y/o completación de los pozos.

En operaciones de estimulación de pozos es recomendable acidificar con HCl/HF ante la presencia de minerales del tipo Esmectita, Illita, Caolinita y arcillas mixtas Illita/Esmectita.

En vista de la presencia de caolinita en el área sur del campo, aplicar el concepto de tasa crítica para evitar taponamiento de las gargantas de poros, reducción de permeabilidad y migración de finos durante la fase de producción.

En el área central del campo donde existe la presencia del mineral clorita, incluir en el programa de estimulación un preflujo con inhibidor de hierro antes del proceso de acidificación.

BIBLIOGRAFÍA

AHRENS, L.H. Distribution of the Elements in Our Planet. McGraw-Hill, New York, N.Y., 110 p. 1965.

ALVAREZ, N. y FERRER L. "Caracterización de las aguas de formación de las áreas VLA-11/12, VLA-62 del Bloque I del Lago de Maracaibo". L.U.Z. Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Ingeniero de Petróleo. 157 p.1995.

BLATT, H. Diagenetic Processes in Sandstones. S.E.P.M., Spec. Pub. N° 26, p.141-157. 1979.

CARRIGY, M. y MELLON, G. Authigenic Clay Mineral Cements in Cretaceous and Tertiary Sandstones of Alberta. Jour. Sed. Petrol., p. 461-472. 1964.

CIED. Interpretación de Perfiles a Hueco Abierto. Curso. Inedita.

COELLO, Hector. Curso de Perfiles de Pozos. Universidad del Zulia. Maracaibo. 346 p.1999.

COLLINS. Geochemistry of Oilfield Waters. Bartlesville Energy Research Center. Bur. Min. Department of the Interior. Bartlesville, Oklahoma, USA. 496 p.1975.

ESCANDÓN, Ghary. Modelo Estocástico y Sedimentológico de las Formaciones Eocenas del Campo Barúa. U.C.V. Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Ingeniero Geólogo. 177 p.1998.

- GOLDSCHMIDT, V.M., Geochemistry. Oxford University Press, London, 730 p. 1958.
- GONZÁLEZ DE JUANA, et al. Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas. Ediciones FONINVES. Caracas-Venezuela, 1031 p. 1980.
- GRIM, R.E. Applied Clay Mineralogy. Mc Graw-Hill, Co. Inc. 422 p. 1962.
- INTEVEP. Control Estratigráfico-Diagenético. Relación entre los Ambientes de Sedimentación, Diagénesis y Profundidad de Soterramiento en Areniscas del Eoceno, Cuenca de Maracaibo. Los Teques, Informe Técnico. 1988.
- LAMUS, José Francisco y Escandón, María. "Aguas de formación: Origen en cuencas sedimentarias y aplicaciones geoquímicas en la exploración de hidrocarburos". Volumen 1. Estudio Técnico. Intevep, S.A. Los Teques, Enero de 1990.
- LUGO J. y MANN, P. Colisión Oblicua y Formación de una Cuenca Foreland durante el Paleoceno tardío al Eoceno Medio. Cuenca de Maracaibo. Actas de las secciones Científicas. VII Congreso Latinoamericano de Geología. Tomo 4 Salamanca. p. 60-64. 1992.
- MARAVEN. Atlas de Ambientes Sedimentarios. Informe Técnico. Maracaibo. 1991.
- MASON, B. Principles of Geochemistry. John Wiley and Sons, New York, N.Y., 329 p. 1960.
- MARTÍNEZ, Mima. Caracterización de Aguas de Formación. L.U.Z. Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Ingeniero de Petróleo. 84 p.1989.
- OSTROFF, A.G. Introduction to Oilfield Water Technology. Field Research Laboratory Socony Mobil Oil Company, Inc. 412 p. 1965.
- PAREDES, Waldo. Análisis del agua de formación del campo Motatán. Procedencia y tipo de Agua. Informe Técnico. 1999.
- SANDOVAL, María Eugenia. Diagénesis de Areniscas. U.C.V. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, Caracas. 414 p. 2000.
- VÁSQUEZ, Yaneth. Caracterización Geoquímica de aguas de Formación del Domo Sur, Campo Motatán, Cuenca del Lago de Maracaibo. U.C.V. Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Licenciada en Química. 125 p.1998.