

DETERMINACIÓN DE PETROFACIES Y PETROSOMAS EN CARBONATOS A TRAVÉS DE MÉTODOS PROBABILÍSTICOS

Autores:

Palacios, Z¹. Guerrero, O¹. Laya, J¹. Andara, A¹. Hoeger, T¹. Perozo, A.²

¹Universidad de Los Andes. Grupo de Investigación de Ciencias de la Tierra "TERRA". ²Universidad del Zulia. División de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

E-mail: zoniap@ula.ve, oguerre@ula.ve, perozao@pdvsa.com

RESÚMEN

El Análisis petrográfico permitió caracterizar los carbonatos presentes en el área del Campo Mara, Cuenca de Maracaibo, Estado Zulia, Venezuela. Se analizaron petrográficamente 30 secciones finas pertenecientes a los Pozos DM-004, DM-134 y DM-152, tomando en cuenta el contenido mineral, porosidades presentes, matriz, cemento, etc.; en base a esto se clasificó el tipo de roca presente según Folk. (1962); Embry y Klovan (1971). Se determinaron 15 microfacies para los pozos estudiados tomando en cuenta el tipo de roca y contenido de roca. El estudio de microfacies determino la presencia de Petrofacies Mudstone, Wackestone, Packestone, Grainstone, Rudstone y Floatstone. Las Cadenas de Markov fueron utilizadas para determinar ocurrencia de Petrofacies y así determinar los Petrosomas presentes. Se hallaron 2 Petrosomas para el Pozo DM-134. Para los pozos DM-152 y DM-004 se obtuvo solo un Petrosoma. Utilizando el Modelo de Cussey y Reulet (1977) se determinó el rango de ocurrencia del posible Ambiente depositacional, encontrándose que el Grupo Cogollo se deposita en un rango que va desde Plataforma interna a Plataforma externa. El barrido electrónico (SEM) fue aplicado a 3 secciones finas para estudiar morfología de arcillas, el mismo arrojó la presencia de arcillas tipo Ilita. Fueron estudiadas a través de la Difracción de Rayos X, 12 muestras para determinar el tipo de arcillas presentes, el cual arrojó que la clorita es la arcilla más abundante en la matriz del intervalo productor, por lo cual se recomienda utilizar un inhibidor de hierro al momento de estimular los pozos. En cuanto a la porosidad, la misma no pudo ser determinada por petrografía.

INTRODUCCIÓN

Dentro de los yacimientos pertenecientes al Cretácico del Campo Mara, Cuenca de Maracaibo, Estado Zulia, Venezuela; se encuentran los sedimentos del Grupo Cogollo (Figura 1), los cuales están constituidos principalmente por carbonatos depositados en una amplia plataforma situada en el noreste del bloque Suramericano y en un margen continental tipo Atlántico desarrollado durante la formación del proto – caribe en el Cretácico temprano. La matriz constituye el cuerpo principal del yacimiento, almacenan mucho fluido y son de baja permeabilidad, mientras que las fracturas tienen una baja capacidad de almacenamiento y alta permeabilidad. Aún cuando la permeabilidad promedio volumétrica en un sistema de doble porosidad es baja, tales sistemas presentan una permeabilidad efectiva más alta que la matriz y difieren de los yacimientos homogéneos convencionales. La producción de hidrocarburo en los Carbonatos Naturalmente Fracturados del Campo Mara, depende en gran parte del tamaño de las fracturas que atraviesan el pozo y de las distancias que estas fracturas se extienden dentro de la formación. Si las fracturas solo se extienden una distancia corta del pozo este puede experimentar alta producción inicial la cual declinará rápidamente debido a que la matriz de baja permeabilidad no puede suministrarle petróleo al sistema de fracturas lo suficientemente rápido para alimentar el pozo. El Campo Mara se encuentra a 50 kilómetros al Noroeste de la Ciudad de Maracaibo, (Figura 2)

| ERA | PER | EPOCA | FORMACIÓN | MBRO | AMB. SED. |
|-------------------|------------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|
| MESOZOICO | CRETÁCICO | MAESTRICHTIENSE | Fm. Colón | Socuy | MARINO |
| | | CAMPANIENSE | | | |
| | | CENOMANIENSE | Fm. La Luna | Grupo Cogollo | MARINO SOMERO |
| | | ALBIENSE | Fm. Maraca | | |
| | | | Fm. Lisure | | |
| | | APTIENSE | Fm. Apón | | |
| Machiques | | | | | |
| BARREMIENSE | Fm. Río Negro | Tibú | | | |
| PALEOZOICO | JURÁSICO | | Fm. La Quinta | | CONTINENTAL |

Fig. 1. Columna Estratigráfica para el Campo Mara

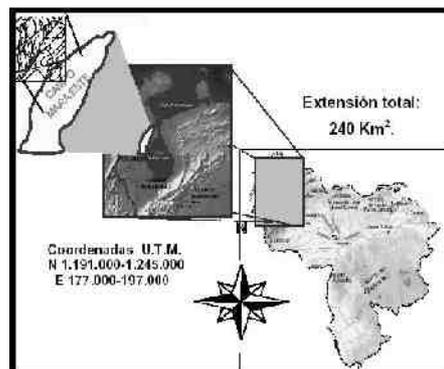


Fig. 2. Ubicación del Área de Estudio. Tomado de Camilli 2005

METODOLOGÍA

ANÁLISIS DE LABORATORIO

Petrografía Detallada de Secciones Finas: Es el análisis microscópico de ambientes diagenéticos y de depositación. Incluye la composición mineralógica y origen de los sedimentos; así como la secuencia de eventos diagenéticos ocurridos. Para este análisis se tomaron y analizaron 30 muestras pertenecientes a los pozos DM-004, DM-134 y DM-152.

En las muestras fueron identificadas las siguientes características:

- Se identificaron las características texturales y mineralógicas. Dentro de las características texturales fueron identificados parámetros tales como: tamaño de grano, contenido de arcilla detrítica, microestructuras sedimentarias y orientación de los principales constituyentes de la estructura de granos.
- Se tomaron 90 microfotografías, en donde se tomo en cuenta las características resaltantes a nivel petrográfico de cada muestra así como fósiles.
- Las principales fases diagenéticas características de cada Formación fueron establecidas.

- El tipo de porosidad presente fue identificada así como el origen y abundancia.

ANÁLISIS CON EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO (SEM)

Cabe destacar que el Barrido Electrónico se realiza en muestras sueltas previamente tamizadas hasta la fracción mas fina, en este trabajo solo se le pudo realizar a tres secciones finas, esto debido a lo difícil que resulto realizar la preparación y más aun el análisis. Previo al análisis de barrido electrónico, las muestras fueron colocadas en dos equipos para realizar el vacío y proporcionar elementos que permitiesen el paso de corriente eléctrica.

ANÁLISIS DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)

Se tomaron 18 muestras a diferentes profundidades en los núcleos de los pozos DM-152, DM-134 y DM-004 para la Difracción de Rayos X; estas profundidades fueron seleccionadas tomando en cuenta el mayor contenido arcilloso, según lo reportado por el registro de Rayos Gamma (GR). Los resultados de la Difracción de Rayos X de cada muestra, fueron comparados entre sí, para diferenciar el tipo y contenido de arcillas encontradas en las formaciones del Grupo Cogollo en los tres pozos antes mencionados.

RESULTADOS

PETROGRAFÍA DETALLADA DE SECCIONES FINAS

Análisis Petrográfico Pozo DM-004: La presencia de fósiles es de aproximadamente el 45%, la micrita es característica en todas las muestras y con un rango que oscila entre 10 y 50%, solo en una muestra se encuentra cemento y en otra se observa la presencia de cuarzo. La dolomita se halla en intervalos medios y superiores del núcleo estudiado. Aparición de calciesferas en niveles inferiores y medios, estaría indicando una posible repetición de ambientes diagenéticos en vista de que las características petrográficas y de posición de las secciones finas en el núcleo no hacen ver que pertenezcan periodos diferentes (70-90%). (figura 3)

Análisis Petrográfico Pozo DM-134

En el grafico se puede observar la distribución del contenido en cada sección, para el intervalo estudiado perteneciente al Miembro Machiques, Formación Apón. La presencia de fragmentos fósiles es de aproximadamente un 50%, de micrita 45% y en menor proporción y no en todas las secciones estudiadas se puede apreciar el contenido de peloides, cuarzo y cemento. (figura 4)

Análisis Petrográfico Pozo DM-152

Al igual que en las otras muestras el contenido en porcentajes de cada componente observado en las secciones finas a través del microscopio. Para el intervalo estudiado perteneciente al Miembro Machiques, Formación Apón. La presencia de fragmentos fósiles es de aproximadamente un 50%, de micrita 45% y en menor proporción y no en todas las secciones estudiadas se puede apreciar el contenido de peloides, cuarzo y cemento. La dolomita aumenta hacia el tope del intervalo indicando lo somero del ambiente para el momento de la diagénesis. Las secciones se presenta en forma de trazas otros compuestos, entre los cuales se tiene: Óxidos tipo siderita y hematita, piritita y micas.

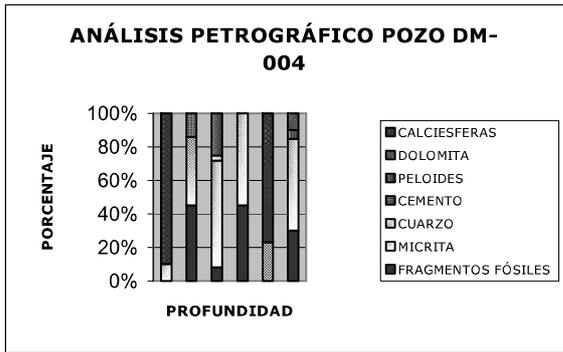


Fig.3. Contenido Petrográfico. Pozo DM-004.

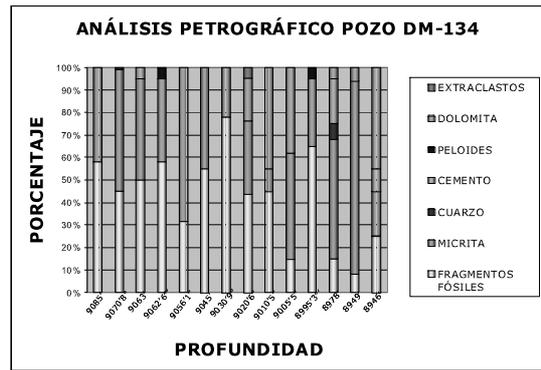


Fig. 4. Contenido Petrográfico. Pozo DM-134.

Análisis con el Microscopio Electrónico de Barrido (SEM)

Se tomaron fotografías para determinar la presencia de arcilla y se realizaron análisis químicos para algunos puntos. Solo se pudo determinar por morfología minerales de arcilla en la muestra ubicada a 5991' del pozo DM-004.

Pozo DM-004. Profundidad 5991': Esta muestra reveló presencia de cristales de calcita y dolomita (Figura 5) y por morfología (Figura 6) la presencia de minerales de arcilla tipo illita.

Análisis Difracción De Rayos X (DRX)

Los análisis En los pozos estudiados (DM-004, DM-134 y DM-152) la clorita disminuye de base a tope demostrando un aumento relativo del grado de diagénesis en la Fm. Apón con respecto a la Fm. Maraca.

DEFINICIÓN DE PETROFACIES

Para la definición de petrofacies, fue necesario determinar microfacies. Se elaboraron columnas con información de cada análisis petrográfico a fin de asociar las características más resaltantes. Posteriormente se llevaron a una tabla de correlación para determinar las petrofacies.

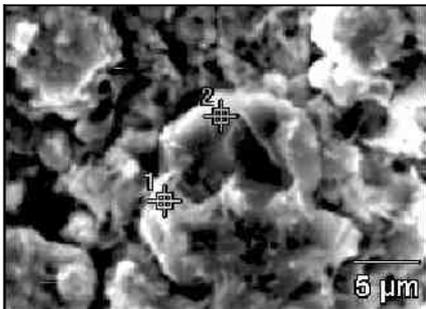


Fig. 5. Microfotografía Pozo DM-004

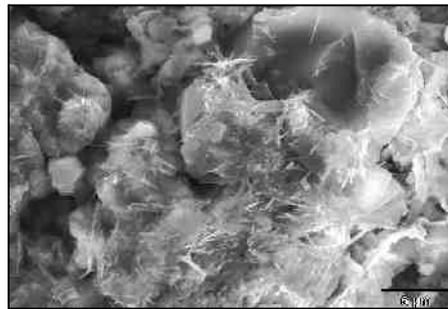


Fig. 6. Microfotografía Pozo DM-004, profundidad 5991'

- Petrofacies Pozo DM-004: Formación Apón

Para la Formación Apón solo pudo ser analizado el intervalo perteneciente al Miembro Piché, en donde se determinaron tres petrofacies: Petrofacies Mudstone: Ubicada hacia la parte superior del intervalo, indicando la culminación de un ciclo depositacional. Petrofacies Wackestone: Ubicada hacia la base y tope de la muestra. Indicaría comienzo de un ciclo depositacional. Petrofacies Packestone: Ubicada en la parte media del intervalo, indica una zona de máxima energía por el aumento de contenido fósil. Formación Lisure: Para la Formación Lisure fue imposible determinar microfacies y por consiguiente petrofacies en vista de la ausencia de este intervalo. Formación Maraca: Para la Formación Maraca, en vista de la poca información (solo se contó con dos secciones finas), solo se pudo establecer una petrofacies. Petrofacies Wackestone: Ubicada hacia la base de la Formación Maraca.

- Petrofacies Pozo DM-134: Petrofacies Mudstone

Ubicada en las profundidades 9056'1" y 8949'7", indicando la culminación de un ciclo depositacional. Petrofacies Wackestone: En comparación con el resto de petrofacies es la más abundante a lo largo del intervalo, la distribución es bastante homogénea y se presenta de manera muy cíclica. Petrofacies Grainstone: Ubicada en a la profundidad de 9020'6", la presencia de esta petrofacies es muy local, debido a la ocurrencia de bolsones rellenos de fragmentos fósiles. Petrofacies Floatstone: Se encuentra a las profundidades de 9045' y 8995'3", están limitadas en su parte superior e inferior por petrofacies tipo Wackestone. El paso de una petrofacies de moderada energía a otra de abundante esta relacionada con la ubicación del núcleo dentro del ambiente depositacional.

- Petrofacies Pozo DM-152: Petrofacies Mudstone

Ubicada en las profundidades 5899', 5903' y 5905'5", a diferencia del resto de núcleos en cuanto a ocurrencia aquí aparece concentrada en un solo intervalo, indica una marcada diferencia entre la petrofacies Wackestone. Petrofacies Wackestone: Ubicada hacia la base del intervalo estudiado. Aumento de energía que se ve reflejada en su máxima ocurrencia en la petrofacies Rudstone. Petrofacies Rudstone: Es muy puntual se puede apreciar en las profundidades 5917'8", 5875'9" y 5874'2". La presencia de fragmentos fósiles en mayor cuantía que la micrita es evidente así como el aumento de energía del ambiente.

DEFINICIÓN DE PETROSOMAS

Cadenas de Markov: Con las petrofacies se intento establecer un modelo geoestadístico, que permitió de alguna manera pronosticar la secuencia de depositación para el Grupo Cogollo.

Pozo DM-004

Se utilizaron matrices de probabilidad y de frecuencia esperada obteniendo como resultado, que las petrofacies siempre van de grano grueso (petrofacies Packestone, Grainstone, Rudstone y Floatstone) a grano fino (petrofacies Mudstone y Wackestone), esta característica aportaría un indicio de la posible dirección de sedimentación. Para tener una idea mas clara de este modelo probabilístico se realizo una correlación con el modelo de Cussey y Reulet (1977; En Friedman G., *et al* 1982), en donde el posible ámbito de depositación oscila desde una plataforma interna a una plataforma externa, esto se evidencia por la presencia de arcillas y fauna pelágica como parte de las características que definen este modelo.

Pozo DM-134

Existe hacia la base del intervalo un ciclo que va desde Wackestone a Mudstone, lo que concluye una secuencia granodecreciente, fin de un ciclo de depositación. Por encima de este rango se presentan dos zonas consecutivas que no llegan a sedimentos de grano fino, esto podría deberse a superficies de emergencia, si se correlacionan estas superficies con el contenido mineral, se observará que hay presencia de óxidos. Hacia el tope del intervalo vuelve a apreciarse un ciclo que va desde material sedimentario de grano grueso a fino, esto es, culminación de la sedimentación. Utilizando el modelo de Cussey y Reulet (1977; En Friedman G., *et al* 1982), la zona de depositación va desde supramarea a supramarea intermarea después de la barra hacia la plataforma externa, esto se evidencia por la presencia de algas rojas, yeso y anhidrita, etc. como parte de las características que definen este rango.

Pozo DM-152

La manera de aparecer de Mudstone / Rudstone y Rudstone / Mudstone es de 100%, indicando en el primer caso el comienzo de un ciclo depositacional y en el segundo caso un cierre de ciclo depositacional. Rujano, M (En curso), en la descripción del núcleo DM-152, indica la presencia de intervalos de sedimentos carbonáticos de grano fino por debajo de la profundidad de 5917'8", lo que sugiere una secuencia agradable que luego se hace decreciente hacia Wackestone y Mudstone. Utilizando el modelo de Cussey y Reulet (1977 En Friedman G., *et al* 1982), el posible ámbito de depositación va desde una zona continental hasta la zona de barrera, es decir en la plataforma interna. Esto se concluye en función de

características como extraclastos de lava de origen terrígeno y la abundancia de fragmentos fósiles propios de un aporte de la barrera.

CONCLUSIONES

- La técnica de aplicar Petrofacies y Petrosomas para estudiar aporte de sedimentos y ciclicidad siempre ha sido utilizada en rocas clásticas debido a la facilidad que corresponde a su diagénesis. Este trabajo es uno de los primeros que trata de aplicar esta técnica en carbonatos.
- De las tres secciones finas escogidas para el Análisis de Barrido Electrónico, en solo una de ellas (Pozo DM-004, Prof. 5991) pudo ser determinada la presencia de Illita por morfología.
- Los análisis de difracción de Rayos X, mostraron la presencia dominante de minerales de arcilla tipo clorita, disminuyendo en porcentaje de base a tope, indicando grado de diagénesis de la Formación Apón respecto a la Formación Maraca.
- Se determinaron 3 Petrofacies para el Miembro Pichè Formación Apón: Mudstone, Wackestone y Packestone y para la Formación Maraca Wackestone (Pozo DM-004). Para el Pozo DM-134 fueron Definidas 4 Petrofacies Mudstone, Wackestone, Grainstone y Floatstone, Miembro Machiques Formación Apón; y para el Pozo DM-152 (Mara Oeste) las Petrofacies Mudstone, Wackestone y Rudstone.
- A través del estudio de las Cadenas de Markov se definieron para el Pozo DM-004: Petrosoma compuesto por las Petrofacies Wackestone / Packestone / Wackestone / Mudstone. DM-134 dos Petrosomas compuestos por las Petrofacies: Wackestone / Mudstone, Grainstone / Wackestone / Mudstone y Grainstone / Wackestone; y para el Pozo DM-152 se tendrá un Petrosoma compuesto por las Petrofacies: Rudstone / Wackestone / Mudstone.
- La porosidad vista en las secciones finas muestra presencia de disolución, estilolitas y microfracturas que en algunos casos están recristalizadas o rellenas de arcillas. Son muy pocas las muestras que presentan microfracturas que representen porosidad para el intervalo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Camilla, C. Bongiorno, C. Prieto, D. Vilchez, A. 2005. Caracterización de Fracturas en el Yacimiento DM-67. Campo Mara Este. Cuenca de Maracaibo. Trabajo Especial de Grado. Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería.
- Cárdenas, E. Márquez, X. 1998. Caracterización del sistema poroso del yacimiento carbonático DM-115. Campo Mara Oeste, Cuenca de Maracaibo, Venezuela.
- Friedman G., Reeckmann A. 1982. Exploration for Carbonate Petroleum Reservoirs. A Wiley & Sons Publications. New York, Toronto, Singapore
- Márquez X. 1998. Porosidad efectiva en carbonatos en el Oeste de la Cuenca del Lago de Maracaibo: Posibles causas. Memorias del I Congreso Latinoamericano de Sedimentología, Sociedad Venezolana de Geólogos Tomo II – p. 29-36.
- Matheus, J. Rosales, M. Palacios, Z. Perozo. A. Prieto, D. Vilchez, A. 2004. Evaluación de la Calidad de Roca e Intervalos de Flujo en el Campo Mara Este, Cuenca de Maracaibo, Estado Zulia. Tesis de Grado, Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería.
- Suárez C. 1997. Análisis de Markov de la secuencia estratigráfica de la Formación Río Negro en la sección La Vueltoza. Estados Mérida y Barinas. Memorias del I Congreso Latinoamericano de Sedimentología, Sociedad Venezolana de Geólogos Tomo II – p. 29-36.