

POROSIDADES EN EL GRUPO COGOLLO Y SU RELACION CON LOS AMBIENTES DEPOSITACIONALES

José Méndez Esamonde *

RESUMEN

Los carbonatos del Grupo Cogollo compuesto por las formaciones Apón, Lisure y Maraca se depositaron en una plataforma interna de aguas someras y detrás de un margen. En la cuenca de Maracaibo, tanto en los afloramientos de Los Andes y Perijá, así como en los núcleos recobrados en distintos campos, el Grupo Cogollo muestra una relación de facies verticales y horizontales que presentan un patrón común con los ambientes depositacionales. Algunas litofacies presentan una gran continuidad regional siendo comunes en toda la cuenca. Las porosidades existentes (excluyendo las fracturas) son del tipo biomóldico y de oquedad relacionadas con litofacies de calizas lodogranulares y granulares (packstone y grainstone) de pelecípodos en las formaciones Apón y Maraca. Porosidades intercristalinas en dolomitas se encuentran en la Formación Apón cuyos ambientes supramareales e intramareales fueron propicios para la dolomitización. Porosidad interpartícula se encuentra en las areniscas cuarzosas de la Formación Lisure, en los ambientes de interdigitación de carbonatos y clásticos que se desarrollaron en las líneas de costa. Algo de porosidad interpartícula y móldica se encuentra ocasionalmente en las oolitas que son comunes en la Formación Lisure y, en menor grado, hacia la base de la Formación Maraca. Estas porosidades se desarrollaron básicamente por procesos derivados de ambientes diagenéticos superficiales o con soterramientos someros lo que permite establecer una relación entre el ambiente depositacional y la porosidad. Los procesos de cementación más importantes que destruyeron gran parte de las porosidades ocurrieron igualmente cerca de la superficie y en las primeras fases del enterramiento, en ambientes diagenéticos de niveles freáticos de aguas meteóricas o relacionadas con éstas. Finalmente parte de las porosidades fueron destruidas por cementación y compactación en ambientes diagenéticos de soterramiento profundo.

ABSTRACT

The carbonates of the Cogollo Group, composed of the Apon, Lisure and Maraca formations, were deposited on an inner platform with shallow water behind a platform margin. In the Maracaibo basin, outcrops in the Venezuelan Andes and Perija, as well as in core samples from different oilfields, the Cogollo Group exhibits a vertical and horizontal relationship of facies presenting a pattern consistent with its initial sedimentary environments. Several lithofacies have a great regional continuity over the entire basin. Existing porosities (excluding fractures) are biomoldic or vuggy related to the lithofacies of packstone or pelecypod grainstone in the Apon and Maraca formations. Intercrystalline porosities in dolomites are encountered in the Apon Formation where the supratidal and intratidal environments were propitious for dolomitization. Interparticle porosities are found in the quartzose sandstones of the Lisure Formation in environments of interdigitation of carbonates and clastics developed along coastlines. Some interparticle and moldic porosity is found occasionally in the oolites which are common in the Lisure Formation and, in a lesser degree, toward the base of the Maraca Formation. These porosities were developed basically by processes derived from superficial diagenetic environments or with slight burial, which permits the establishment of a relationship between sedimentational environments and porosity. The most important processes of cementation which destroyed a large part of the porosities also occurred near the surface during beginning phases of burial under diagenetic conditions in phreatic levels of meteoric water or conditions related to them. Finally, part of the porosities were destroyed by compaction and cementation in diagenetic environments by deep burial.

*MARAVEN S.A., Apartado 829
Caracas 1010-A, Venezuela

INTRODUCCION

Las relaciones de porosidad en los carbonatos dependen de una serie de factores que actúan desde el momento inicial de la depositación del sedimento. Estos factores están relacionados, en primer lugar, con el modelo depositacional general imperante en la cuenca, la diversidad de facies y ambientes principales derivados del modelo desarrollado, litofacies, biofacies, aspectos texturales, diagénesis, relaciones estructurales y tectónicas, etc.

Conociendo el ambiente de plataforma somera sobre la cual se depositaron los sedimentos del Grupo Cogollo (Albiense-Aptiense: Ford y Houbolt, 1963; Renz, 1977), los cuales se corresponden con ambientes y litofacies situados detrás de un margen, se pueden estimar las tendencias en cuanto a los tipos de porosidades presentes. Conociendo las litofacies derivadas de los ambientes depositacionales de las formaciones Apón, Lisure y Maraca, y sus probables continuidades laterales y verticales, se puede discriminar en cuanto a los tipos de porosidades a esperar en intervalos específicos. De esta manera la Formación Apón, no solamente representa un carácter estratigráfico, sino que posee unidades sedimentarias que son características de esta formación y diferentes a la que se presentan en las formaciones Lisure y Maraca.

En el presente estudio, el cual se encuentra en progreso, se consideran las porosidades relacionadas con las litofacies y ambientes depositacionales. No se incluyen las porosidades derivadas de sistemas de fracturas, tan importantes en los carbonatos del Grupo Cogollo, ya que por su origen, génesis y desarrollo, implican un estudio diferente.

TIPOS DE POROSIDADES Y SU RELACION CON LITOFACIES

Las porosidades preservadas en el Grupo Cogollo indican cinco tipos básicos importantes a tomar en cuenta (la terminología utilizada corresponde a la clasificación de Choquette y Pray (1970)):

1. Porosidad interpartícula
2. Porosidad intercristalina
3. Porosidad móldica
4. Porosidad tipo oquedad (vug)
5. Porosidad tipo fractura

Es importante considerar, que cuando se establecen estos 5 tipos de porosidades, más que de forma puntual o con carácter cuantitativo en un núcleo, se debe considerar las litofacies, biofacies y ambiente depositacional. Es posible que un tipo específico de porosidad (por ejemplo la intercristalina) no esté bien representada en un núcleo determinado, pero el ambiente depositacional y las características texturales indican un predominio de una facies determinada (por ejemplo oolitas), en la cual esta porosidad puede ser importante.

Las formaciones Apón, Lisure y Maraca poseen un conjunto de litofacies derivadas de ambientes depositacionales que presentaron, durante la depositación de los carbonatos del Grupo Cogollo, una gran continuidad

lateral. Conociendo las litofacies que presentan porosidad en la secuencia del Grupo Cogollo, y su posición en la columna estratigráfica, se puede efectuar una predicción del tipo de reservorio a encontrar. Las litofacies que presentan porosidad son las siguientes:

1. Litofacies de pelecípodos con fragmentos de rudistas (caprinidos y requinidos). Formación Apón. Generalmente en el Miembro Piché y con menor frecuencia en el Miembro Tibú.
2. Litofacies de pelecípodos con ostreas como elemento predominante. Formación Maraca.
3. Litofacies de dolomita. Formación Apón. Con mayor frecuencia en el Miembro Tibú y hacia la base de el Miembro Piché (es común en la plataforma del lago de Maracaibo).
4. Litofacies de oolitas y bioclastos asociados. Formación Lisure y ocasionalmente hacia la base y parte media de la Formación Maraca.
5. Litofacies de areniscas. Areas de interdigitación de las formaciones Lisure-Aguardiente.

En relación a estas litofacies se puede establecer cierto patrón en los núcleos estudiados, y determinar si existe un comportamiento general de la porosidad a escala regional.

1. En la Formación Maraca el tipo de porosidad general es de características móldicas, frecuentemente asociada con porosidad de oquedades, derivada de los moldes iniciales de bioclastos, e interpartícula. La porosidad móldica está extrictamente relacionada con acumulaciones de fragmentos de bivalvos, los cuales se aglutinaron en ambientes depositacionales apropiados para el desarrollo de esta biota, de tal forma que estos horizontes esquelatales poseen una continuidad lateral regional excelente. No siempre la porosidad biomóldica se preservó, pero los mejores intervalos de porosidad en la Formación Maraca están relacionados con estas facies sedimentarias. Algo de porosidad en esta formación se puede derivar de barras oolíticas y bioclastos asociados, aun cuando intervalos sedimentarios de estas características son comunes en la Formación Lisure, pero pueden llegar hasta la base y parte media de Maraca. Esta porosidad es una derivación de la porosidad interpartícula, puesto que la cementación ha rellenado los espacios porosos iniciales, quedando algo de la misma y cierta porosidad derivada de la disolución.

2. La Formación Lisure presenta una mayor variabilidad de facies, por lo tanto las porosidades pueden ser de varios tipos. La porosidad interpartícula y la porosidad móldica en litofacies de oolitas, pueden ser importantes. Las litofacies de oolitas están compuestas por ooides, fragmentos esquelatales de pelecípodos, briozoarios, fragmentos redondeados de algas verdes (generalmente dasycladaceas) y algas verdes-azules como la Marinela sp. Algunos intervalos de oolitas (predominio de ooides) representan sistemas de barras desarrolladas en las zonas internas de la plataforma. Las oolitas poseen porosidades bajas (entre 3% y 4%) pero la persistencia de los ambientes depositacionales que las originaron en la Formación Lisure, ameritan un estudio detallado de las mismas. Hacia el sur de la plataforma del lago de Maracaibo las mejores porosidades son del tipo intergranular derivadas de areniscas que representan barras depositadas en las líneas de costa con valores entre 10% y 15% en el sur del lago. *

3. En la Formación Apón las porosidades más importantes están relacionadas con niveles de pelecípodos que pueden presentar porosidad del tipo biomóldica y de oquedad con valores conocidos entre 3% y 11%. Los niveles de pelecípodos, que se pueden considerar en conjunto como biostromos, presentan una gran persistencia lateral y son más importantes hacia la parte media y superior de Apón. Entre los fragmentos de pelecípodos, los rudistas (generalmente caprinidos y requinidos), son comunes en el Miembro Piché. Los otros niveles de porosidades que pueden ser importantes en Apón están representados por los intervalos de dolomitas. Los cuerpos de dolomita están presentes tanto en el Miembro Tibú como Piché. Porosidades en litofacies de dolomita, principalmente en muestras de pozos del sur del lago de Maracaibo, indican valores de hasta 15%.

VARIACIONES EN LOS MEDIOS SEDIMENTARIOS DEL GRUPO COGOLLO

Aun cuando el Grupo Cogollo se depositó en un medio sedimentario derivado de una extensa plataforma de aguas muy someras, las variaciones laterales y verticales de facies se originaron básicamente por tres factores importantes.

1. El sur de la plataforma representaba una línea de costa con respecto a la penetración de sedimentos clásticos derivados de la erosión de las áreas positivas continentales. La fluctuación de esta línea de costa hacia el norte o sur permitía una mayor o menor penetración de sedimentos clásticos en los ambientes de sedimentación de carbonatos, presentándose por lo tanto, una interdigitación importante de facies de carbonatos y clásticos. *

2. La subsidencia y relleno de la cuenca por los sedimentos no presentó un balance similar en todas las áreas de la plataforma. Existieron zonas, derivadas de antiguas áreas de surcos que habían sido rellenados y peneplanados, donde la subsidencia siempre fue mayor que en las áreas de la plataforma pertenecientes a lo que actualmente es el lago de Maracaibo. Estas áreas de mayor subsidencia fueron contrarrestadas por un relleno efectivo de los sedimentos de carbonatos, lo cual implicó que durante la sedimentación los espesores del Grupo Cogollo se incrementaran en estas zonas. Sin embargo, hubo estados de gran subsidencia que no pudieron ser controlados por el relleno de los sedimentos someros de la plataforma, desarrollándose una mayor profundidad de las aguas sobre la plataforma en estas zonas y una penetración eventual de foraminíferos planctónicos, con un medio ambiente ligeramente anóxico en el fondo. Estas características permiten la formación del Miembro Machiques, cuya preservación de la materia orgánica y condiciones anóxicas lo caracterizan en Perijá y en las áreas occidentales de la cuenca, siendo un intervalo potencial de roca madre. *

3. Cambios eustáticos del nivel del mar (regresiones y transgresiones) de corta duración, dentro del estado transgresivo general de la Formación Apón y predominantemente regresivo de la Formación Lisure, que marca la sedimentación del Grupo Cogollo. *

Estos tres factores permiten diferenciar dentro del marco general de los carbonatos de plataforma del Grupo Cogollo, tres áreas generales con sedimentación plataformal específica (Fig. 1).

1) Las áreas denominadas Sur del Lago, Centro-Lago, Aricuaisa y Rosario, están influenciadas por las líneas de costa y la penetración de sedimentos clásticos. En Rosario y Aricuaisa, la Formación Aguardiente con los sedimentos clásticos provenientes del sur y sureste (erosión derivada del escudo Guayanés básicamente) reemplaza gran parte de la zona superior de la Formación Apón (Miembro Piché) y de las formaciones Lisure y base de Maraca. En la parte superior de Apón hay una interdigitación de facies de sedimentos clásticos fluvio-costeros con calizas de aguas someras plataformales. El incremento de sedimentos clásticos es mayor en lo que vendría a ser la Formación Lisure y en la base de la Formación Maraca, denominándose Formación Aguardiente, con predominio de areniscas y limolitas. Algunos intervalos están muy glauconitizados. Las areniscas pueden presentarse de regular a bien escogidas. Es frecuente que presenten una matriz de cemento calcáreo que puede reducir notablemente su porosidad. Los intervalos calcáreos son pequeños. La línea de transición costera entre la Formación Aguardiente y los sedimentos predominantemente carbonáticos se puede situar entre los campos de Aricuaisa al sur y Alturitas al norte.

En el lago de Maracaibo, los sedimentos fluvio costeros influenciaron notablemente la sedimentación del Grupo Cogollo en las zonas de los campos denominados Sur del Lago y Centro Lago. Lógicamente hacia el sur y en los afloramientos de Los Andes, parte del Miembro Piché y La Formación Lisure son reemplazados por la Formación Aguardiente, denominada también en los Andes de Trujillo, Peñas Altas. En la zona Sur del Lago hay una penetración importante de clásticos en el Miembro Piché y principalmente en la parte inferior a media de Lisure. En dirección norte y noroeste, los clásticos se van reduciendo en la Formación Apón. En Lisure también hay una disminución pero menos acentuada. En Lisure algunos intervalos de clásticos presentan areniscas cuarzosas bien escogidas. Mediciones de espesores totales de las areniscas en las secuencias inferior y media de la Formación Lisure del Grupo Cogollo en estas áreas, indican alrededor de 90 pies en el pozo SLA-8-2x; 80 pies en el SLB-5-1x; 65 pies en el VLE-733; 60 pies en SLC-1-2x; 40 pies en el SLB-6-1x; y entre 30 y 20 pies en los pozos VLE-714, VLE-707, VLE-686 y CLA-111 (Cassoudebat, 1986). Esto indica una disminución progresiva de las areniscas en dirección sureste-noroeste (Fig. 2).

La fluctuación de las líneas de costa e influjo de sedimentos terrígenos varió notablemente entre la propia plataforma de lago y las zonas occidentales (actualmente representadas por los campos Aricuaisa y Rosario). En las zonas occidentales, la línea de costa e influjo de clásticos a la cuenca se presentó con mayor estabilidad, y prácticamente inhibió una mayor sedimentación de carbonatos desde lo que representa la parte media-superior de Apón hasta Maraca. Por lo tanto la línea de separación de predominio de carbonatos al norte y clásticos al sur (Formación Aguardiente), se mantuvo con pocas variaciones entre lo que actualmente es el campo Rosario y el Campo Alturitas (predominantemente carbonatos).

El aporte de clásticos fue de carácter fluvial sobre las líneas de playa, desembocando en una plataforma somera con un relativo desarrollo de carbonatos. Esta interdigitación indica que gran parte de los clásticos presentan un porcentaje apreciable de matriz de carbonatos. En la línea de tiempo que representa la base de la Formación Lisure hacia el norte, en la

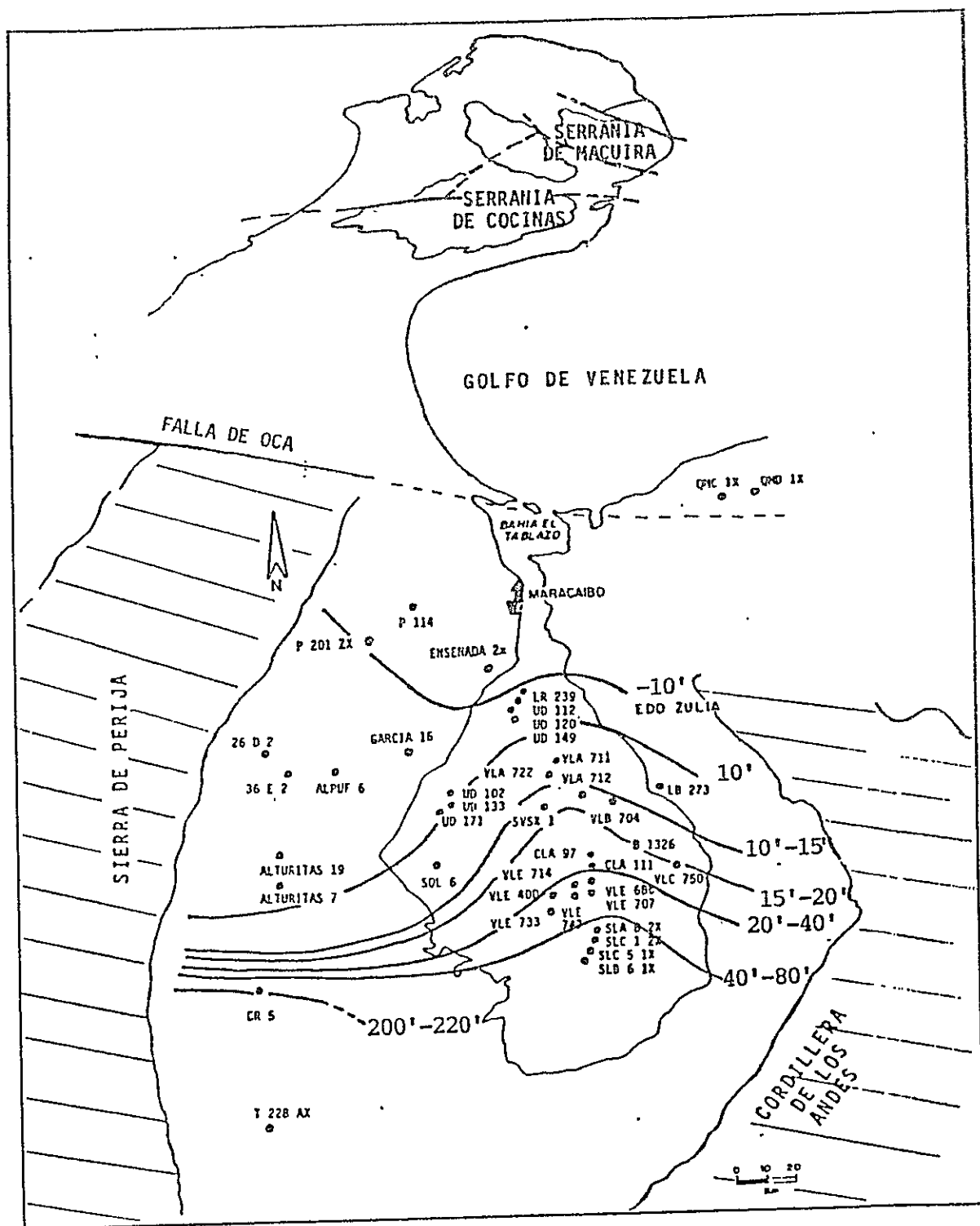


Fig. 2. Espesores acumulativos de arenas en la Formación Lisura. Promedio general.

costa se formó un delta, cuyos sedimentos prodeltaicos depositaron los mayores espesores de lutitas que se encuentran en toda la secuencia del Grupo Cogollo. Estas lutitas del prodelta se depositaron en dos intervalos separados por un evento de depositación de carbonatos someros. Los dos paquetes de lutitas en conjunto poseen un espesor entre 170 a 180 pies. En el núcleo del pozo 26-D-2 en las lutitas se encuentran ocasionalmente restos de foraminíferos planctónicos, indicando que la plataforma en esa área se presentaba como el margen de una rampa la cual estaba conectada con las aguas profundas de la cuenca situada al norte (Fig 3).

* La batimetría donde se desarrolló el prodelta no era, sin embargo, una zona profunda. Prueba de esto, es el desarrollo de sedimentos de carbonatos de aguas someras entre las lutitas, bien sea, por un desplazamiento del delta en la costa o una disminución muy rápida en el influjo de clásticos. El prodelta no se extendió hasta las áreas de los campos La Paz ni en la plataforma del lago de Maracaibo, ya que en estas áreas donde la subsidencia era menor, el subsuelo marino se encontraba más cercano a la superficie de las aguas. Morfológicamente, lo que actualmente es la costa occidental era una ligera depresión (campos Machiques, Alturitas, Alpuf, San José, García, San Julián, etc), con respecto al sistema de plataforma.

Las líneas de costa en la zona meridional de la propia plataforma del lago de Maracaibo, presentaron una mayor amplitud de oscilación entre el sur y el norte. Los sedimentos terrígenos provenientes de la erosión del escudo de Guayana, desarrollaron pequeños deltas con escasas progradaciones hacia el norte y noroeste. Estos pequeños deltas se formaron en una plataforma muy somera (probablemente con profundidades no mayores de 10 metros), donde la acción de las mareas fue el principal factor dinámico en la configuración morfológica de los deltas y distribución de las barras de desembocadura. El volumen de sedimentos terrígenos disminuye de sur a norte. Hacia los campos de Urdaneta noreste la disminución es importante, y lo es más en el campo La Paz, donde la secuencia del Grupo Cogollo es predominantemente de carbonatos. La presencia de clásticos en estos dos campos se deriva de movimientos relativamente rápidos de las líneas de costa desde el sur, más por regresiones marinas debido a descensos del nivel del mar, que por progradaciones de las líneas de costa hacia el norte por incremento de los sedimentos terrígenos.

* Los sedimentos de carbonatos en estas áreas presentan una serie de características comunes a todo el Grupo Cogollo. La Formación Apón presenta algunos intervalos dolomitizados. Estas dolomitas representan ciclos regresivos con la formación de llanuras de mareas en texturas depositacionales de calcilodolitas y calizas lodosas (mudstone y wackestone). Cerca de la base del Miembro Tibú y el tope del Miembro Piché, las dolomitas presentan porosidades que varían entre 6% y 15%, con permeabilidades entre 0.1 mD y 13 mD. En la Formación Apón se encuentran desarrollos biostromales de pelecípodos con ostreas y fragmentos de rudistas como carácter predominante. Hacia la base de esta formación las ostreas predominan. En el Miembro Piché los rudistas (básicamente requínidos y caprínidos) predominan en los bivalvos.

Las formaciones Lisure y Maraca presentan el mayor porcentaje en texturas depositacionales de calizas lodogranulares y granulares (packstone y grainstone), en dirección noroeste (clasificación textural de Dunham, 1962 y términos en español de Muñoz, 1985). Los cuerpos de oolitas presentes se disponen predominantemente en la parte superior de Lisure y Maraca, los

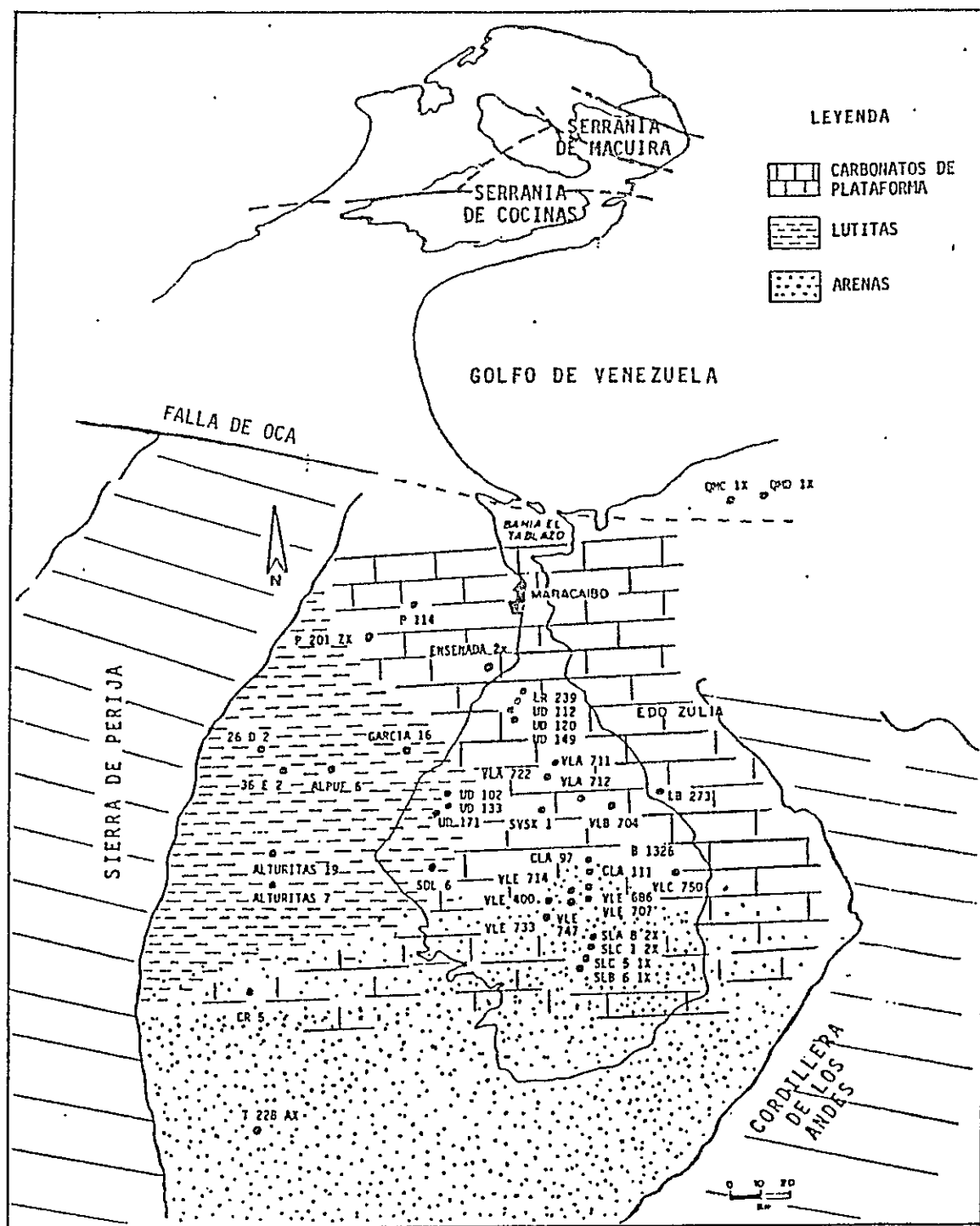


Fig. 3. Formaciones Lisure y Aguardiente (Albiense). Distribución de arenas, lutitas prodeltaicas y carbonatos.

cuales representan ambientes muy someros dominados por la acción de las mareas. Son comunes en las áreas del centro del lago, incrementándose en dirección del campo La Paz. Es importante considerar que estas oolitas no representan facies de margen de plataforma. Son bancos de ooides formados en la plataforma interna, en muchos casos cerca de las líneas de costa.

Reijers y Bartok (1985), en 174 mediciones de porosidad y permeabilidad realizadas en muestras de calizas granulares y lodogranulares (grainstone-packstone) de núcleos de los pozos VLB 704, SVSX-1, CLA 97 y CLA 111, se encuentra que la mayor parte de las muestras poseen porosidades entre 2% y 5%. Aproximadamente un 10% de las muestras poseen entre 7% y 9% de porosidad, y un porcentaje aun menor, presentan porosidades entre 11% y 14%. La mayor parte de los valores obtenidos para la permeabilidad están en el orden de 1 mD. Las permeabilidades máximas en promedio son de 3 mD.

Mediciones de porosidad y permeabilidad en muestras de calizas granulares y lodogranulares (grainstone-packstone) del CLA-111 presentan valores entre 2% y 8%, y ocasionalmente hasta 19%. Las permeabilidades para estas porosidades presentaron valores entre 1 mD y menores. Valores obtenidos en muestras pertenecientes a unidades de dolomitas indican porosidades entre 6% y 15% y permeabilidades entre 0.1 y 13 mD. En los pozos SLA-8-2X y SLC-1-2-X los valores obtenidos para las dolomitas son de 5% en promedio y 8% en algunos casos, para la porosidad (Cassoudebat, 1986).

En el CLA-111, los rangos obtenidos en el principal nivel de areniscas es entre 8% y 15% con permeabilidades entre 0.2 y 40 mD. En el SLA-8-2X y SLC-1-2X, las porosidades en el principal nivel de areniscas fluctúan entre 12% y 15% (Cassoudebat, 1986).

II) Esta área del Grupo Cogollo en la plataforma del lago de Maracaibo comprende las zonas de Urdaneta Este, La Concepción, Sibucara, La Paz y Mara. La diferencia más resaltante con respecto a la zona descrita anteriormente (Centro y Sur del Lago), es un contenido menor de sedimentos clásticos en la secuencia de carbonatos.

Estos campos representan áreas de la plataforma antigua más alejadas de las líneas de costa y del influjo de los clásticos de la Formación Aguardiente. Los mayores intervalos dolomitizados se encuentran en la Formación Apón. El nivel de orbitolinas está situado en la parte media de la Formación Apón, lo cual es característico en el Grupo Cogollo. Los niveles de biostromos de pelecípodos más importantes se ubican en la Formación Apón. Los fragmentos de ostreas, como es común en esta formación desarrollaron cuerpos de barras en aguas muy someras o relacionados con las líneas de costa y que pueden indicar condiciones parciales de aguas salobres. Los fragmentos de rudistas, principalmente capríidos y requíidos, son un elemento importante en la formación de barras y biostromos. Generalmente la porosidad biomóldica que se formó y preservó en la Formación Apón está relacionada con estos bivalvos. En el núcleo del pozo Ensenada 2X, se encuentran importantes niveles de pelecípodos con abundantes fragmentos de rudistas en el Miembro Piché.

En los núcleos de los pozos P-114, y UD-149, se observa que los cuerpos de oolitas son abundantes en la Formación Lisure en comparación con el área anterior, y mucho más predominantes que en los campos de la denominada costa. Algunas barras de oolitas de la Formación Lisure en el núcleo del pozo P-2012X presentan hasta 18 pies de espesor (Chacartegui, 1985). En el núcleo UD-149, los ooides se presetan inclusive en la Formación Maraca,

principalmente hacia la base. El espesor del Grupo Cogollo es mayor en esta área que en el centro y sur del lago, indicando una mayor subsidencia que en las zonas cercanas a la línea de costa, la cual fue compensada por un mayor aporte de sedimentos de carbonatos de ambientes plataformales. En dirección noroeste los espesores se incrementan, de tal modo que en el campo La Paz son mayores que en Urdaneta Este. En el campo La Paz, tomando como referencia el núcleo P-114, se observa que la secuencia de carbonatos del Grupo Cogollo presenta poca variación entre las formaciones Apón y Lisure, en gran medida por la notable disminución de clásticos, que son característicos de la Formación Lisure en el lago.

III) Esta última área en la cual se puede subdividir las calizas plataformales del Grupo Cogollo, está representada por la Sierra de Perijá y los campos Alturitas, Machiques, Alpuf, San Julián, La Villa, Macoa, García, y Urdaneta Oeste. Es un área de transición entre los ambientes sedimentarios de la costa occidental del lago y Perijá, con respecto a la plataforma y líneas de costa de Centro y Sur del Lago. El primer aspecto importante en estas áreas está determinado por un engrosamiento en la sección del Grupo Cogollo con respecto a las zonas centrales y sur del lago de Maracaibo. El espesor se hace mayor en dirección oeste, hasta alcanzar unos 2.000 pies en los afloramientos de Perijá. El engrosamiento de la secuencia del Grupo Cogollo desde la plataforma local del lago de Maracaibo hasta Perijá, se explica por la mayor subsidencia durante la depositación de los carbonatos plataformales en lo que actualmente corresponde a la costa y Perijá, ya que estas áreas correspondían al dominio del surco de Machiques.

La característica más importante de esta área y en la que difiere notablemente de las dos anteriores, se debe a la presencia del Miembro Machiques. Este miembro cuyas facies, en cierto modo similares a la de la Formación La Luna, es un buen intervalo de roca madre situado en la parte media de la Formación Apón. Machiques se encuentra ubicado entre el Miembro Tibú (infrayacente) y el Miembro Piché (suprayacente). La extensión regional de este miembro en la costa occidental no es bien conocida. La sección tipo se encuentra en Perijá. En los núcleos de los pozos Alpuf-6, y 26-D-2, se encuentra muy bien representado. La extrapolación de los registros de gamma-ray parece indicar que se encuentra en los campos de Alpuf, San José, San Julián, Machiques y La Villa. El Campo Alturitas representaría el límite hacia el sur del Miembro Machiques. Hacia el norte está limitado hasta los campos García y La Villa. Hacia el este, en el núcleo UD-171, se encuentra un intervalo suprayacente al Miembro Tibú que es el Miembro Machiques, correspondiendo esta zona al límite de este miembro, ya que en la plataforma propiamente dicha del lago de Maracaibo no se encuentra. El incremento de subsidencia originado en el Surco de Machiques, conjuntamente con un ligero incremento del nivel del mar, no penetró hasta la plataforma de Maracaibo (Fig. 4).

En el área de la costa occidental, la Formación Apón presenta características de ambientes sedimentarios y litofacies muy similares a las del lago de Maracaibo. Fragmentos de ostreas y pelecípodos en general, equinodermos, dasicladaceas, codiaceas, foraminíferos bénticos, son los elementos bióticos más resaltantes en los ambientes sedimentarios de aguas muy someras, lagunas de plataforma interna, y líneas de costa con penetraciones eventuales de sedimentos clásticos. La presencia de

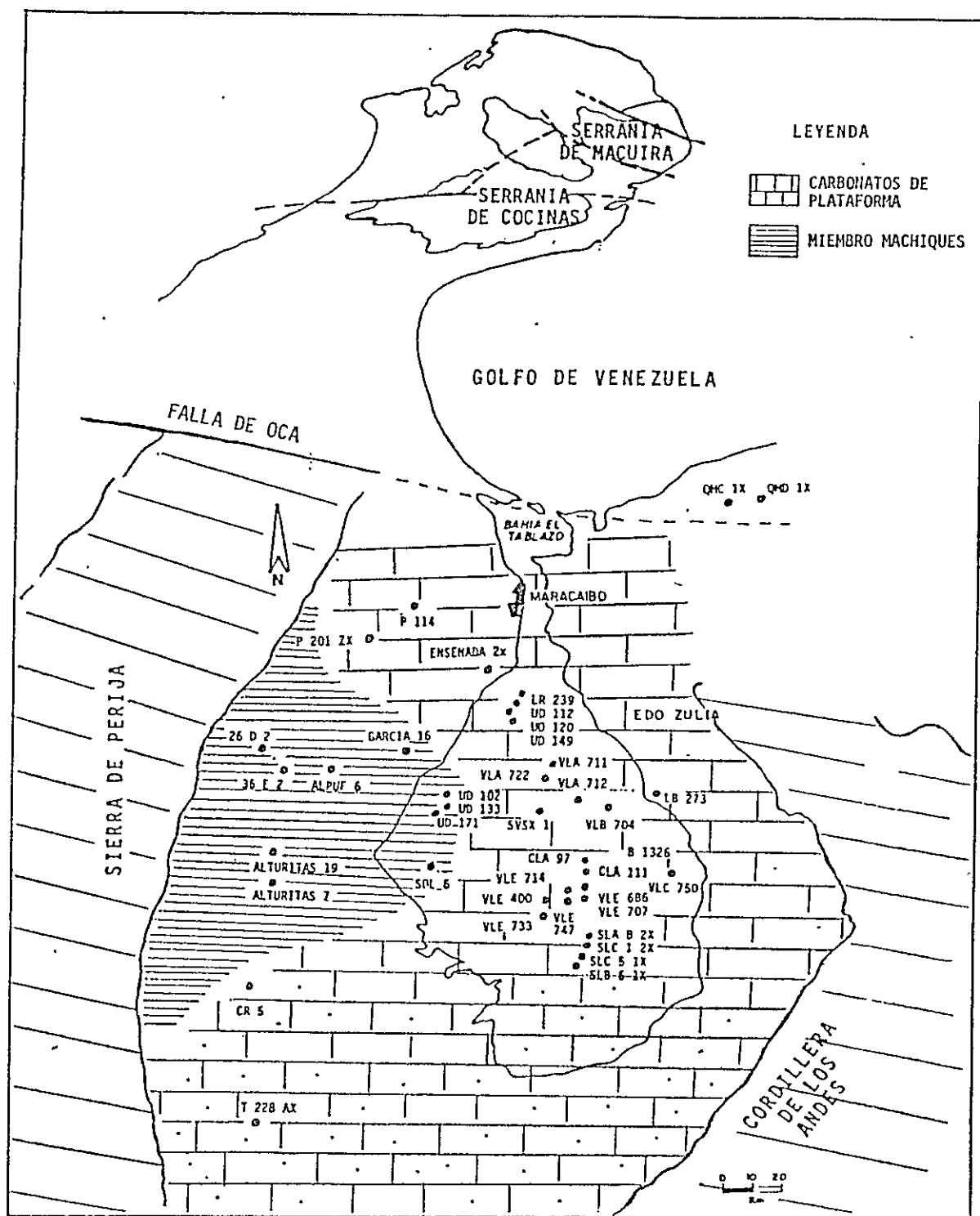


Fig. 4. Distribución en el Aptiense Tardío del Miembro Machiques (suprayacente al Miembro Tibú e infrayacente al Miembro Piché).

sedimentos clásticos en estas áreas es menor que en los campos del Centro y Sur del Lago. En el núcleo del pozo Alpuf-6, se encuentran unos intervalos de rudistas, concretamente en el Miembro Piché, los cuales conjuntamente con otros pelecípodos, forman biostromos que pueden representar posibles reservorios. Las porosidades fluctúan entre 3% y 11%. El nivel de orbitolinas está presente en todos los núcleos estudiados de la zona, situándose en el Miembro Piché. La dolomita puede representar intervalos importantes y de buena continuidad lateral en los miembros Tibú y Piché, principalmente en este último.

Estudios petrofísicos realizados en los pozos de los campos Alpuf y La Villa, indican un intervalo dolomítico en el Miembro Piché, con aparente continuidad lateral regional y con porosidades que fluctúan entre 3% y 11% (Méndez et al, 1985). Otros dos intervalos con porosidades similares a las anteriores son reportados igualmente en el Miembro Piché de estos campos. Aun cuando no se menciona la litofacie presente en estos intervalos porosos, la misma debe corresponder a biostromos de pelecípodos donde los fragmentos de rudistas son muy importantes.

La base de la Formación Lisure está formada por lutitas terrígenas, las cuales en los núcleos Alpuf-6, 26-D-2, 36-E-2, y 30-F-1X, representan unos 170 pies en promedio, desde la base de esta formación hacia arriba en la secuencia. Espesores tan importantes y continuos de lutitas, no se encuentran en el lago de Maracaibo, ni en los campos de La Paz, Mara, etc., Estas lutitas están dispuestas en dos grandes paquetes, entre los cuales el ambiente sedimentario cambia notablemente a carbonatos de aguas someras con texturas de calizas lodogranulares (packstone), y en menor grado calizas granulares (grainstone) de fragmentos de pelecípodos, algas verdes y ooides. En el pozo Alpuf-6 este intervalo calcáreo, con aproximadamente 40 pies de espesor, es predominantemente oolítico en la parte media y el tope. En el campo de Alturitas estas lutitas terrígenas poseen un espesor menor y poseen un mayor porcentaje de carbonato. Los cuerpos de oolitas en la Formación Lisure de la costa occidental, no son frecuentes e importantes como en las áreas del Centro del Lago y el campo La Paz, mientras que la glauconitización fue más acentuada.

La Formación Maraca compuesta principalmente por litofacies de pelecípodos, tubos de gusanos, y en menor grado, peloides y ooides, presenta texturas depositacionales predominantemente de calizas lodosas y lodogranulares (wackestone y packstone). Se encuentran algunos intervalos, principalmente hacia el tope, con porosidades entre el 3% y 10%. La porosidad es del tipo biomóldica, y en ocasiones incrementada por disoluciones posteriores, presentándose como del tipo oquedad. Los intervalos porosos corresponden a litofacies con predominio de pelecípodos.

En el campo Alpuf se ha determinado un intervalo poroso de 18 a 22 pies de espesor por debajo de un nivel calcáreo impermeable de la misma formación e infrayacente a la base de la Formación La Luna. Este nivel poroso se encuentra separado de otra zona de porosidad de 16 a 20 pies de espesor por otro nivel calcáreo impermeable de 8 a 10 pies de espesor (Méndez et al, 1985).



Fig. 5. (Superior). Litofacies de oolitas en la Formación Lisure. Porosidad móldica desarrollada parcialmente en los anillos de los ooides y porosidad interpartícula en zonas donde la cementación no fue completa (pozo VLE-738). x 70. (Inferior). Porosidad intercristalina (espacios claros) en dolomitas del Miembro Tibú en la plataforma del lago de Maracaibo (pozo VLB-704).

DIAGENESIS

Para comprender a cabalidad los procesos diagenéticos en el Grupo Cogollo es necesario establecer una serie de parámetros iniciales de los cuales dependerá, en gran medida, la diagénesis y las porosidades. Algunos de estos parámetros son:

1. Facies y ambientes depositacionales.
2. Litofacies y biofacies.
3. Mineralogía inicial (organismos, granos no esqueléticos).
4. Subsistencia, estados regresivos y transgresivos marinos.
5. Eventos tectónicos del área (períodos de deformación y levantamiento identificables).

Estos aspectos fundamentales se deben relacionar con las texturas diagenéticas existentes, lo cual implica ambientes diagenéticos, tipos de cementación, relación con la porosidad (desarrollo o destrucción), cambios neomórficos y reemplazamiento en los carbonatos, formación de minerales autigénicos, etc. Tres parámetros básicos deben estar asociados:

1. Ambientes depositacionales. Desarrollos iniciales de porosidad.
2. Ambientes diagenéticos situados cerca de la superficie y zonas subaéreas. Variaciones en la porosidad inicial.
3. Características generales del soterramiento. Subsistencia moderada o rápida. Cambios diagenéticos asociados.

Esta serie de parámetros nos permitirán definir la historia de la porosidad en los carbonatos del Grupo Cogollo, basándonos en tres posibilidades, las cuales son interactivas:

- a) Las porosidades iniciales fueron poco afectadas.
- b) La porosidades existentes se crearon por procesos diagenéticos en ambientes diferentes a los depositacionales.
- c) Los procesos diagenéticos (cementación, reemplazamiento, etc.) destruyeron la porosidad.

AMBIENTES DIAGENETICOS EN EL GRUPO COGOLLO

Los procesos diagenéticos estudiados en los carbonatos del Grupo Cogollo, indican cuatro ambientes principales, de los cuales, los procesos ocurridos en las zonas de niveles freáticos de aguas meteóricas, y la diagénesis en ambientes diagenéticos de soterramiento somero e intermedio, son los más comunes:

1. Ambientes diagenéticos de zona vadosa.
2. Ambientes diagenéticos derivados del nivel freático con aguas meteóricas.
3. Ambientes diagenéticos en zonas marino-freáticas.
4. Ambientes diagenéticos de soterramiento.

Los tres primeros ambientes se pueden considerar dentro de un estado de diagénesis temprana.

AMBIENTES DE ZONAS VADOSAS

Los ambientes diagenéticos derivados de la acción del agua meteórica en zona vadosa, no están bien representados en el Grupo Cogollo. Se pueden limitar a la presencia de brechas formadas por disolución y posterior colapso, las cuales encuentran hacia la base de la Formación Apón, y cementación del tipo pendiente, que se encuentran bordeando parcialmente algunos ooides en las formaciones Lisure y Maraca. Muchas litofacies de oolitas muestran una secuencia de: a) sedimentación inicial; b) litificación; c) erosión en un ambiente subaéreo; d) sedimentación y depositación final en un ambiente distinto al cual se desarrollaron inicialmente. En algunos afloramientos de secuencias parciales de la Formación Apón del Grupo Cogollo, situados en la carretera de Boconó (estado Trujillo), las brechas por disolución y colapso se encuentran muy bien representadas. Estos procesos también están presentes en los núcleos VLB 704, P 114 y UD 171.

AMBIENTES FREATICOS MARINOS

Los ambientes diagenéticos en zonas marinas de aguas someras y tranquilas, están representados principalmente por una extensa micritización derivada de una alta producción de lodo calcáreo (biodegradación de fragmentos esqueléticos, acción de organismos endolíticos, acción bacteriana, precipitación inorgánica, etc). La micritización implica una pérdida general de las porosidades iniciales.

Algo de porosidad móllica es posible encontrar en estos ambientes diagenéticos en combinación con el ambiente subsaturado de aguas meteóricas, cuando los organismos de mineralogía de aragonito son disueltos parcialmente y, preservado el molde por la cobertura micrítica. Sin embargo, la casi totalidad de los fragmentos esqueléticos de aragonito, son reemplazados por calcita con bajo magnesio, en ambientes de zonas freáticas con aguas meteóricas supersaturadas con respecto a la calcita. Estos procesos se encuentran muy bien representados en la Formación Apón y ocasionalmente en la Formación Lisure, donde la micritización en ambientes depositacionales de lagunas muy someras fue un proceso fundamental.

Litofacies de peloides son importantes, localmente, en las formaciones Apón y Lisure. Este tipo de litofacies, generalmente con texturas depositacionales lodogranulares (packstone), se origina por peloides de origen fecal, y peloides formados por procesos de nucleación en torno a un centro de crecimiento, y cementados por calcita magnésiana. En estos ambientes se forman fábricas con características nodulares por la bioturbación de organismos.

La diagénesis marina y marino freáticas produce cementos de aragonito y calcita con alto magnesio, los cuales han sido preservados texturalmente, principalmente en zonas de oolitas, aun cuando su mineralogía cambia a calcita con bajo magnesio. Esta diagénesis puede formar zonas de suelos duros (hardgrounds) con la presencia de horadaciones, las cuales están presentes en las formaciones Apón y Lisure. En la Formación Lisure la glauconitización es un proceso importante en toda la plataforma.

AMBIENTES FREÁTICOS DE AGUAS METEÓRICAS

Los procesos diagenéticos en ambientes freáticos de aguas meteóricas, están representados por una intensa cementación que destruyó las porosidades iniciales interpartículas, principalmente en la parte superior de la Formación Lisure, y en la Formación Maraca, donde se encuentran importantes niveles de oolitas y asociaciones de fragmentos esqueléticos de pelecípodos. Las porosidades interpartículas existentes se derivan de espacios vacíos que no fueron cementados por cemento equigranular.

En las zonas de micritización, las aguas meteóricas en ambientes freáticos produjeron procesos de disolución en los fragmentos esqueléticos aragoníticos y, una vez saturadas las aguas con respecto al carbonato de calcio, se formó calcita con bajo magnesio en forma de cristales equigranulares, destruyendo la porosidad inicialmente producida por la disolución. En algunas zonas, sin embargo, se conserva algo de porosidad móldica, principalmente en biofacies de pelecípodos en Maraca y Apón. Otro tipo de cemento muy común, derivado de este ambiente diagenético, es el de crecimiento syntaxial, el cual está relacionado con fragmentos de equinodermos.

Algunos horizontes con porosidades biomóldicas que pueden llegar hasta el 12%, se encuentran en las formaciones Maraca y Apón. Algunos de estos horizontes presentan una gran persistencia lateral en la cuenca, y su origen no está del todo claro. Estas porosidades se presentan como de fábrica selectiva, y ocasionalmente los poros han sido alargados representando una fábrica no selectiva y en forma de oquedad. Los procesos diagenéticos que promovieron esta disolución principalmente selectiva se han podido operar en un ambiente cercano a la zona vadosa o freático-meteórico. En ambos casos las aguas ácidas tienden a promover los procesos de disolución y una vez enriquecidas en carbonato de calcio, se inician los procesos de cementación. Lo importante en este tipo de porosidad, radica en que la misma es selectiva originándose por disolución de los minerales de carbonato de calcio metaestables como el aragonito. Puesto que el aragonito pasa rápidamente a una mineralogía más estable de calcita con bajo magnesio, las porosidades por disolución móldica ocurren por procesos cercanos a la superficie o en los primeros estados del soterramiento.

Es posible también relacionar los procesos diagenéticos de disolución con el incremento de soluciones ácidas, por la presencia de ácidos carbónicos y carboxílicos derivados de rocas madres adyacentes a las zonas de porosidad biomóldica (Logman, 1981; Burchette y Escalona, 1984; Scholle y Halley, 1985; Mercadier et al, 1988; entre otros).

En todo caso, este proceso ayudaría a preservar las porosidades biomóldicas formadas en ambientes cercanos a la superficie. En los campos de la costa occidental, las porosidades de oquedades (porosidad vug) probablemente están más desarrolladas en los intervalos adyacentes a rocas madres (Burchette y Escalona, 1984).

DIAGENESIS EN SOTERRAMIENTO SOMERO E INTERMEDIO

La mayor parte de la cementación y porosidad secundaria en los carbonatos se origina en procesos cercanos a la superficie y en zonas subaéreas

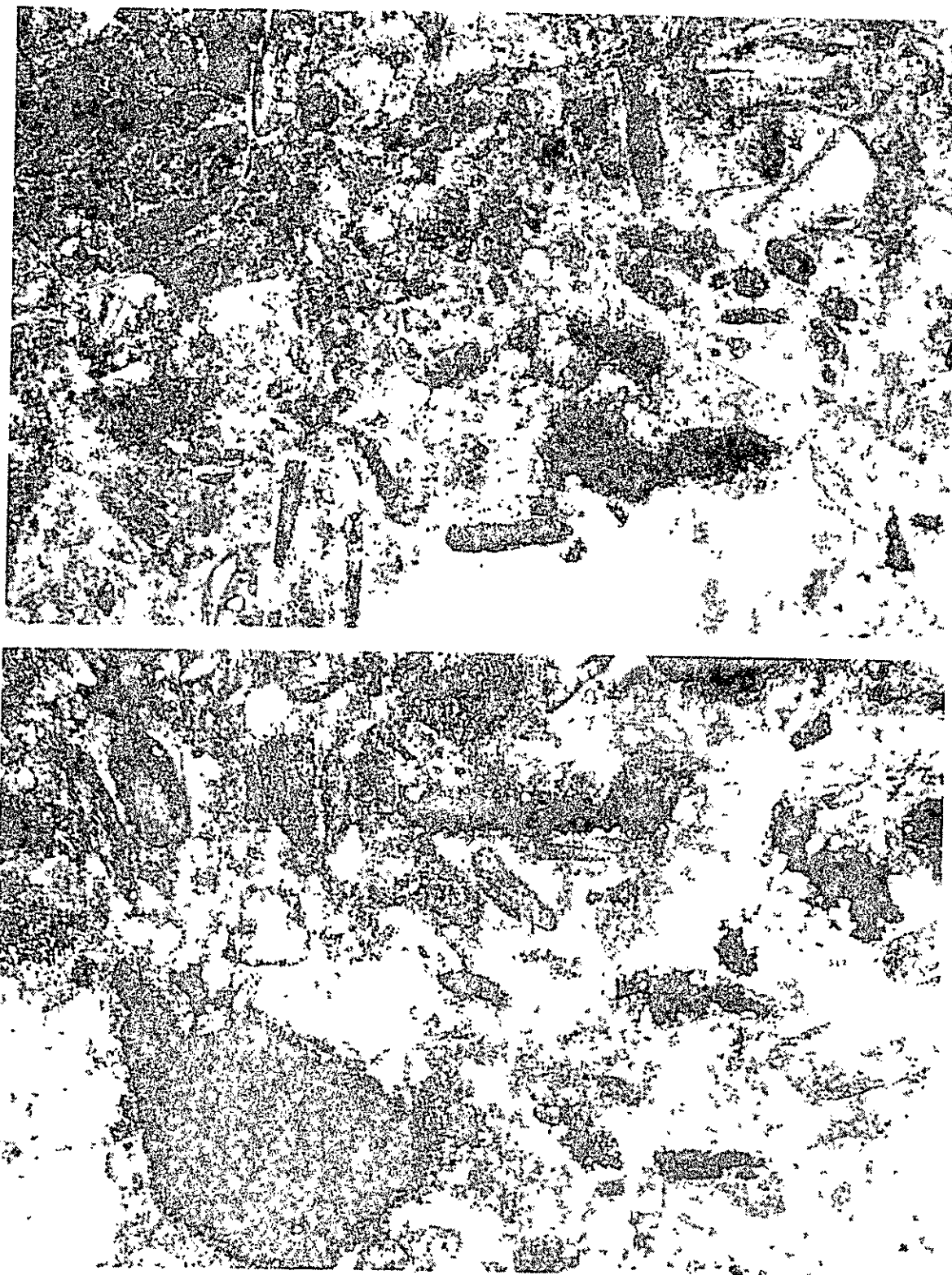


Fig. 6. (Superior). Porosidad biomóldica en caliza lodogranular (packstone) de pelecípodos. Porosidad característica del Miembro Piche de la Formación Apon (pozo Alpuf 6). x 25. (Inferior). Porosidad de oquedades común en las formaciones Apon y Maraca, derivada de porosidad biomóldica inicial en litofacies de pelecípodos (pozo 14 RN-2X). x 25.

(Logman 1980, 1981). En el primer caso, estos procesos son muy importantes en zonas donde la subsidencia ha sido moderada y controlada por el relleno sedimentario. En el segundo caso, la cementación y la porosidad secundaria son importantes en zonas que han estado sujetas a levantamientos tectónicos, o por fluctuaciones de cierta magnitud del nivel del mar. Indudablemente que el primer caso es más importante para los sedimentos carbonáticos del Grupo Cogollo, los cuales estuvieron sujetos a una subsidencia continua y moderada, aun cuando existen pequeños ciclos, principalmente de carácter regresivo progradante, que produjeron procesos diagenéticos propios de ambientes subaéreos.

La Formación Apón, aun cuando en conjunto representa un ciclo transgresivo, posee indicios de regresiones intercaladas, en las cuales las zonas intermareales y llanuras de marea representaron ambientes sedimentarios importantes. La presencia de zonas de dolomita, muy común en ciertos niveles de los miembros Tibú y Piché, principalmente en la plataforma del lago de Maracaibo, indican fluctuaciones regresivas y formación de llanuras de marea.

Gran parte de la cementación y procesos de disolución puede ocurrir, de manera particular, en cuencas de rápida subsidencia (Scholle y Halley, 1985). En cuencas con estas características, los procesos diagenéticos de cementación y disolución pueden predominar sobre los ocurridos en ambientes cercanos a la superficie. Sin embargo, en cuencas con subsidencia moderada, la cementación equigranular, la dolomita de tipo barroco, y disoluciones parciales de los carbonatos, pueden encontrarse de forma local.

Diagénesis relacionadas con profundidades someras e intermedias de soterramiento están indicadas por mediciones isotópicas efectuadas en muestras de núcleos de la costa occidental por Burchette y Escalona (1984). Valores para el O 18 indican temperaturas de 31°C a 50°C, correspondiendo esta última a profundidades máximas de 1.000 m. Mediciones para el O 18, con rangos similares para la temperatura, se obtuvieron en muestras del núcleo Alturitas 19 (Moldovanyi y Monserrat, 1987). En ambos casos los análisis se realizaron sobre fragmentos de ostreas, pelecípodos en general, diversos tipos de cementos, dolomita, etc. Dentro de este estado diagenético se incluye la zona freática de aguas meteóricas, lo cual implica los procesos de disolución de minerales metaestables y cementos generalmente tipo equigranular de calcita con bajo magnesio. La formación de microesparita y pseudoesparita (neomorfismo de micrita a esparita) se puede considerar en los primeros estados de litificación y en los estados iniciales del soterramiento.

Los cementos de calcita pueden ser ferrosos o no ferrosos. En zonas donde el hierro es abundante (zonas con alto contenido de glauconita) los cementos de calcita serán ferrosos. Durante esta etapa de diagénesis intermedia se ubicaría la preservación de algunos niveles de porosidad biomóldica por la acción de ácidos carbónicos y carboxílicos derivados de rocas madres adyacentes, en el caso de ser válida esta teoría. Esta etapa comprendería los primeros estados de compactación y presión-disolución. Durante esta etapa se pueden haber formado dolomita por procesos de interacción de aguas meteóricas-aguas marinas, y procesos de calcedonitización.

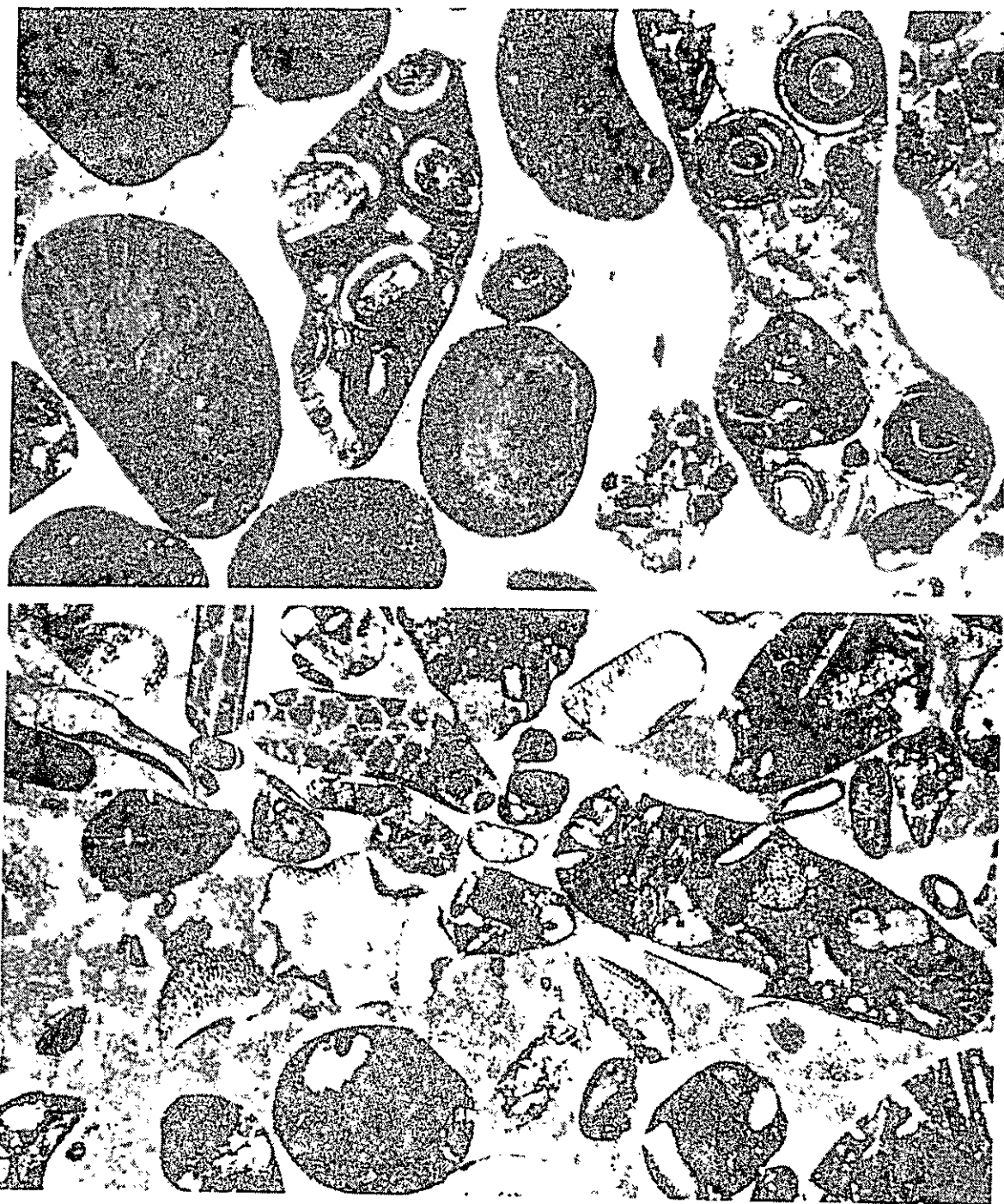


Fig. 7. (Superior). Litofacies de oolitas y Marinelas. 1) Las oolitas se depositaron en forma de bancos en un ambiente de aguas someras o intramareales. 2) La cementación de las oolitas se produjo en un ambiente freático meteórico o en la parte inferior de la zona vadosa. Posteriormente, los bancos de oolitas fueron expuestos a la erosión superficial. 3) La erosión y disolución en la zona vadosa forma fragmentos de la facies, previamente litificada, de oolitas (intraclastos). Los intraclastos son transportados y retrabajados en un ambiente intramareal junto con fragmentos de Marinelas. 4) La facies de intraclastos y fragmentos de Marinela son litificados en un ambiente diagenético freático meteórico. (Inferior). Secuencia similar a la anterior con fragmentos de briozoarios, equinoides y pelecipodos. La diagenesis en las zonas freática y vadosa es común en las formaciones Lisuré y Maraca, e indica que las litofacies cuando fueron soterradas ya se encontraban litificadas, y la compactación fue un proceso menor.

CONCLUSIONES

1. Las porosidades mas importantes que se encuentran en el Grupo Cogollo son: biomóldica, de oquedad, interpartícula e intercristalina. Las porosidades derivadas de fracturas no son tratadas en este artículo.

2. Las porosidades son dependientes de las litofacies presentes.

3. Las porosidades biomóldicas están relacionadas con acumulaciones, generalmente biostromales de pelecípodos. Los rudistas forman un elemento común en las acumulaciones de pelecípodos que presentan porosidad en la Formación Apón. En la Formación Maraca, las ostreas son el carácter distintivo en las acumulaciones de bivalvos.

4. En la Formación Apón, el Miembro Piché posee los mejores intervalos de porosidad biomóldica los cuales presentan una buena continuidad lateral. Ocasionalmente hay intervalos con esta porosidad en el Miembro Tibú.

5. La Formación Maraca posee comunmente intervalos de porosidad biomóldica de buena continuidad lateral, principalmente hacia el tope.

6. Algo de porosidad móldica se puede encontrar en los cuerpos de oolitas de las formaciones Lisure y Maraca. Esta porosidad está combinada con remanentes de porosidad interpartícula preservada entre los ooides.

7. Las porosidades de oquedades son derivaciones de las porosidades precedentes biomóldicas y están relacionadas con los intervalos y litofacies de estas últimas, por lo cual son comunes en el Miembro Piché y la Formación Maraca.

8. Las porosidades intercristalinas están relacionadas con cuerpos de dolomitas. Estos son frecuentes en el Miembro Tibú y cerca de la base del Miembro Piché, principalmente en las áreas de la propia plataforma del lago de Maracaibo. Las dolomitas que se encuentran en la Formación Lisure representan procesos muy locales y con escasa o ninguna porosidad.

9. La porosidad interpartícula se encuentra en los cuerpos de areniscas presentes en la Formación Lisure. Es importante en las zonas meridionales de la plataforma del lago de Maracaibo. Disminuye considerablemente en dirección noroeste hacia los campos de Urdaneta Noreste y La Paz, y hacia el oeste en dirección de los campos de la costa occidental.

10. Las porosidades biomóldicas, las cuales se originan por una disolución selectiva de los minerales de menor estabilidad (aragonito), se desarrollaron principalmente en niveles cercanos a la superficie o en estados de fluctuaciones regresivas del nivel del mar. El ambiente diagenético predominante fue el freático de aguas meteóricas. Pero igualmente en este ambiente se produjeron los mayores procesos de cementación.

11. Los niveles de porosidades biomóldicas y de oquedades adyacentes a intervalos de rocas madres, fueron más propensos a preservar la porosidad. Este proceso es importante en los campos de la costa occidental, ya que el Miembro Piché está situado entre el Miembro Machiques (infrayacente), y espesores importantes de lutitas prodeltaicas en la base de la Formación Lisure. Por otra parte, el Miembro Machiques representa un intervalo de roca madre, el cual potencialmente puede ser importante.

12. Los cuerpos de dolomitas de la Formación Apón y la porosidad relacionada, se desarrollaron en ambientes sedimentarios de llanuras de mareas y lagunas muy someras.

REFERENCIAS

- BARTOK, P., REIJERS, T. J. A., y JUHASZ, I. (1981) Lower Cretaceous Cogollo Group, Maracaibo Basin, Venezuela: Sedimentology, Diagenesis, and Pretrophysics. Am. Assoc. Petroleum Geologist. Vol. 65, N 6. p. 1110-1134
- BURCHETTE, T. P. y ESCALONA, N. (1984). Sedimentology and Reservoir Potential of Fractured Cretaceous Limestones, West Maracaibo Area, Venezuela. BP Petroleum Development LTD. Informe Interno Corpoven S.A.
- CASSOUDEBAT, M. (1986). Sedimentological Study of Cogollo Group in the Central-Southern part of Maracaibo Lake. Informe Interno Maraven, S.A.
- CHACARTEGUI, F. J. (1985). Estudio Sedimentológico en el Grupo Cogollo del Cretáceo Inferior: VI Congreso Geológico Venezolano, Caracas, Tomo I, p 278-304.
- CHOQUETTE, P. W. y PRAY, L. C. (1970). Geological Nomenclature and DUNHAM, R. J. (1962). Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture. Am. Assoc. Petroleum Geologist. Memoir 1. p 108-121.
- FORD, A. y HOUBOLT, J.J.H.C. (1963). Las Microfacies del Cretáceo de Venezuela Occidental. International Sedimentary Petrographical Series. Editado por J. Cuvellier y H. M. E. Schurmann. París. 107 p.
- LOGMAN, M. W. (1980). Carbonate Diagenetic Textures from Near-Surface Diagenetic Environments. Am. Assoc. Petroleum Geologist. Vol. 64. P. 461-487.
- LOGMAN, M. W. (1981). Carbonate Diagenesis as a Control on Stratigraphic Traps. Am. Assoc. Petroleum Geologist. Education Course Note Series N 21. 159 p.
- MOLDOVANYI, E. y MONSERRAT, P. (1987) Trampas Estratigráficas en Carbonatos Cretácicos, Cuenca de Maracaibo. Estudio Geológico del Pozo Alturitas 19 X. Informe Técnico. INTEVEP.
- MENDEZ, L., CORDOVA, P., QUIJADA, E., URDANETA, I., CARMONA, R. (1985). Evaluación Campo La Villa. Informe Interno Corpoven, S.A.
- MENDEZ, L., CORDOVA, P., QUIJADA, E., URDANETA, I., CARMONA, R. (1985). Evaluación Campo Alpuf. Informe Interno Corpoven, S.A.
- MERCADIER, C. G. L., WILHEMSE, E. J. M. y LAGAZZI, R. (1988). Reservoir Geological Investigations of Cores from Wells VLA-711 y VLA-722, Lake Maracaibo, Venezuela. Informe interno Maraven, S.A.
- MUÑOZ, N. G. (1985). Rocas Carbonáticas y Clasificación de Dunham en español. VI Congreso Latinoamericano de Geología. Tomo I. Bogotá, Colombia. p. 281-286.
- REIJERS, T. J. A. y BARTOK, P. (1985). Porosity Characteristics and Evolution in Fractured Cretaceous Carbonate Reservoirs, La Paz Field Area, Maracaibo Basin. En: Carbonate Petroleum Reservoirs. (eds.) Roelsh, P. O. y Choquette, W. Springer Verlag. New York. p. 407-425.
- RENZ, O. (1977). The Lithologic Units of the Cretaceous of Western Venezuela. V Congreso Geológico de Venezuela. Caracas. Venezuela. Vol I. p. 45-58.
- SCHOLLE, P. A. y HALLEY, R.B. (1985). Burial Diagenesis: out of sight, out of mind. en Schneidermann, N. y Harris, P.M. Carbonate Cements. Soc. Eco. Paleontol. Mineralog. Spec. Publ. 36. p. 309-334.