

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DIAGENÉTICA DE
ROCAS CARBONÁTICAS DE MEZCLA EN FALCÓN
NOROCCIDENTAL A TRAVÉS DE UN ESTUDIO
PETROGRÁFICO**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Bra.: López P. Elisa del C.
Para optar al título de
Ingeniero Geólogo

Caracas, Noviembre del 2011

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DIAGENÉTICA DE ROCAS CARBONÁTICAS DE MEZCLA EN FALCÓN NOROCCIDENTAL A TRAVÉS DE UN ESTUDIO PETROGRÁFICO

Tutor Académico: Prof. Lenin González

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Bra.: López P. Elisa del C.
Para optar al título de
Ingeniero Geólogo

Caracas, Noviembre del 2011

...Dedicado a mis padres

José Antonio y Gloria...

AGRADECIMIENTOS

Son muchísimas las personas que a las que les debo las gracias en todo este largo camino...

Primero que nada a Dios, por darme la fuerza y la perseverancia que me ayudó a no darme por vencida. Al Fondo Inagotable de Recursos Económicos FUNDAPAPÁ, por siempre apoyarme y ayudarme incondicionalmente en mis años de estudio, a mí querida madre, por siempre confiar en mí y estar segura de que yo podía lograrlo, a mi hermana Luisana, por siempre estar tan preocupada por mí.

A mi “Dear Teacher” y tutor Lenin González, por darme a conocer la sedimentología, poner en mis manos este trabajo, sacar tiempo en su ocupadísima agenda para soportar mis reclamos y lloraderas y por ser un Geólogo excelente que me sirvió de inspiración.

Al Google, enciclopedia ilustrada, GPS, diccionario, léxico estratigráfico, terapeuta, a la persona que siempre me tenía la respuesta a mis millones de preguntas, a quien me escuchó, me oriento y me levanto los ánimos cada vez que me sentaba en su oficina a quejarme, a mi muy querido Prof. Ricardo Alezones. Le debo mil gracias por servirme de ayuda desde hace 3 años y ser un muy buen amigo.

A mi super amigo Raúl, mi confidente, chismógrafo, panísima, estuvimos juntos desde que llegue a Caracas y siempre he podido contar con tu amistad incondicional. A mis super amigas María Fernanda y Yismari, las adoro muchísimos y lástima que no nos graduemos juntas☺.

A todos mis amigos del laboratorio y mis panas de Caaaaampoooo, donde pasaba mas tiempo que en mi propia casa, sin orden especial de importancia: Roshira, Jhonda, Fernando (Fercho), Marialejandra, Karla, Andrés, Victoria, Carlos Chuwaca (mi compañero estrella jeje), mis compañeras de cuarto: Norgardys (sorry por despertarte en las noches), Thaide, Mariiiiaaaa, Valeeriaaaa, Adriana, Andrés er Pollo... Muchísimas Gracias muchachos por su linda amistad y compartir tantas cosas.

A los mapólogos: Pupi, por siempre sacarme la pata del barro, el Prof. Enzo y Alí por interrumpirlos con mis problemas argísticos a última hora, al Prof. Ruthman por enseñarme a usar ese cochino programa y orientarme, a Walter por tu super mega

ayuda a última hora, sin ustedes jamás hubiera podido ganarle la batalla a los mapas, muchas gracias.

A los pasantes de la Biblioteca de Geología, Pototo y Yashira por atenderme los viernes a las 5pm y por supuesto a la señora Morella por esos múltiples prestamos de libros.

De últimos pero no menos importantes a mis panas, amigos y compinches del Núcleo de Cagua, con los que inicié mi carrera, celebré y sigo celebrando muchísimo (siempre para desestresarse jeje): Yndira, Eglis (La Negra), Emilis, Jenifer, Dalemis, Edwin (El Llanero), Ramón y por supuesto a Héctor con quien compartí muchos lindos momentos, me escuchabas sin importar la hora y siempre me diste tu apoyo (a tu forma jejeje), Un Millón de Gracias, los quiero grandotote...

López P. Elisa del C.

**CLASIFICACIÓN Y CARACTERIAZACIÓN DIAGENÉTICA DE
ROCAS CARBONÁTICAS DE MEZCLA EN FALCÓN
NOROCCIDENTAL A TRAVÉS DE UN ESTUDIO
PETROGRÁFICO**

**Tutor Académico: Prof. Lenin González. Tesis, Caracas UCV. Facultad de
Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 2011, 99p.**

Palabras Clave: Formación Socorro, Formación Caujarao, Formación Urumaco,
Carbonatos de mezcla, diagénesis, clasificación, Falcón.

Resumen

Se realizó la clasificación y caracterización diagenética de rocas carbonáticas de mezcla, también conocidas como rocas híbridas; entendiéndose por ellas, al tipo de roca sedimentaria, carbonática que en su composición tiene entre 10% y 50% de extraclásticos; las cuales se encuentran localizadas en la parte noroccidental del estado Falcón, específicamente en la región de Sabaneta y Urumaco.

Mediante la revisión bibliográfica se recopilaron las muestras, 73 petrografías provenientes de los trabajos realizados por De Santis y Parra (1985), Saavedra y Vélez (1987), Esteves y Villalta (1989) y González (2009); a las cuales se les realizó un estudio petrográfico tomando en cuenta principalmente los aspectos texturales y diagenéticos de la roca. Cada muestra fue clasificada de acuerdo a Mount (1985), Dunham (1962) y Folk (1959); se le determina la etapa diagenética y el posible ambiente de sedimentación. Finalmente se ubican las muestras a lo largo de la plataforma carbonática. Se elaboran tres (3) mapas a escala 1:25.000, los cuales son una compilación topográfica y geológica digitalizada en el programa ArcGis 9.3®.

Se determinó que las formaciones trabajadas se encuentran en una etapa diagenética intermedia y se depositaron en una variación ambiental comprendida entre: ambiente deltaico progradante con influencia fluvial, barras de desembocadura, lagunas marinas y barras distales o islas de barrera.

Se propone un sistema de clasificación para rocas de mezcla, donde se asocian las características texturales de la roca con la composición y el posible ambiente de depositación. La clasificación consta de tres (3) aspectos principales: Porcentaje y tamaño de extraclastos, cantidad de ortoquímicos, porcentaje, tamaño y conservación de aloquímicos. El nombre es dado usando la misma nomenclatura propuesta por Mount (1985) el cual a su vez es asociado a uno de los nueve cinturones de Wilson. Para tener toda la información necesaria a la hora de hacer uso de la clasificación se anexa un modelo de planilla petrográfica.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | Página |
|--|---------------|
| DEDICATORIA..... | iii |
| AGRADECIMIENTOS | iv |
| RESUMEN | vi |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xii |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | xvi |
| CAPÍTULO I..... | 1 |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 1 |
| 1.2 JUSTIFICACIÓN | 1 |
| 1.3 ALCANCES | 2 |
| 1.4 OBJETIVO GENERAL | 2 |
| 1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 3 |
| 1.6 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO | 3 |
| 1.7 MARCO METODOLÓGICO..... | 4 |
| ETAPA 1: Investigación Previa | 5 |
| ETAPA 2: Desarrollo | 5 |
| ETAPA 3: Análisis de Resultados | 6 |
| ETAPA 4: Conclusiones y Elaboración del T.E.G..... | 7 |
| 1.8 TRABAJOS PREVIOS | 7 |
| De la zona de estudio..... | 7 |

| | |
|---|-----------|
| De la metodología | 9 |
| CAPÍTULO II | 12 |
| MARCO TEÓRICO | 12 |
| 2.1 CONSIDERACIONES TEÓRICAS (DEFINICIONES) | 12 |
| Rocas Carbonáticas | 12 |
| Clasificación Textural en rocas carbonáticas según Folk (1962) | 14 |
| Clasificación de textura depositacional en rocas carbonáticas según Dunham (1962) | 18 |
| Rocas Carbonáticas de Mezcla | 20 |
| Modelo de distribución de facies a través de los márgenes de una plataforma carbonática (Cinturones de Wilson) | 25 |
| 2.2 GEOLOGÍA REGIONAL | 29 |
| Formación Socorro (Mioceno Medio) | 29 |
| Formación Urumaco (Mioceno Medio-Tardío) | 30 |
| Formación Caujarao (Mioceno Medio a Plioceno Temprano) | 32 |
| CAPÍTULO III..... | 38 |
| GEOLOGÍA LOCAL | 38 |
| 3.1 GEOLOGÍA LOCAL | 38 |
| Formación Socorro..... | 38 |
| Formación Urumaco..... | 40 |
| Formación Caujarao | 42 |
| 3.2 RECOPIACIÓN CARTOGRÁFICA Y BIBLIOGRÁFICA DE LA ZONA | 44 |
| CAPÍTULO IV | 48 |
| ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 48 |

| | |
|---|------------|
| 4.1 CLASIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS MEDIANTE ESTUDIO PETROGRÁFICO..... | 48 |
| 4.1.1 Comparación entre la clasificación de las muestras propuestas por los autores y resultados obtenidos | 48 |
| 4.1.2 Descripción por tipo de roca de acuerdo a los nombres propuestos para carbonatos de mezcla por Mount (1985) | 50 |
| 4.2 UBICACIÓN LAS ROCAS CARBONÁTICAS DE MEZCLA EN EL MODELO DEPOSITACIONAL DE CINTURONES DE WILSON | 59 |
| 4.2.1 Ubicación de las muestras en los cinturones y características petrográficas principales..... | 59 |
| 4.2.2 Distribución de los cinturones de Wilson (1985) en los mapas..... | 72 |
| 4.2.3 Características propias de cada cinturón según este estudio | 74 |
| 4.3 ENSAYO DE UBICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LAS ZONAS DE MEZCLA DE MOUNT (1985) A LO LARGO DE LOS CINTURONES DE LA PLATAFORMA CARBONÁTICA DE WILSON (1975)..... | 81 |
| 4.4 ANÁLISIS DIAGENÉTICO | 83 |
| Formación Caujarao | 86 |
| Formación Socorro..... | 89 |
| Formación Urumaco..... | 91 |
| 4.6 PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN DE CARBONATOS DE MEZCLA..... | 96 |
| 4.6.1 Definiciones | 96 |
| 4.6.2 Propuesta de Clasificación | 97 |
| 4.6.1 Ensayo para Corroborar la Clasificación Propuesta | 99 |
| CAPÍTULO V | 101 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 101 |
| RECOMENDACIONES | 103 |

| | |
|---|------------|
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 104 |
| LISTADO DE ANEXOS | 109 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Página |
|---|---------------|
| Figura 1: Ubicación de la zona de estudio. | 4 |
| Figura 2.1 Clasificación de carbonatos según Folk (1962)..... | 16 |
| Figura 2.2 Clasificación de carbonatos según Folk (1959)..... | 17 |
| Figura 2.3 Clasificación de carbonatos según Dunham (1962)..... | 19 |
| Figura 2.4 Sistema tetragonal de Mount (1985)..... | 21 |
| Figura 2.5 Diagrama de representación binario de Mount (1985) | 22 |
| Figura 2.6 Zona donde ocurre la mezcla puntual. | 23 |
| Figura 2.7 Zona donde ocurre la mezcla de facies. | 23 |
| Figura 2.8 Zona donde ocurre la mezcla “in situ” | 24 |
| Figura 2.9 Modelo de distribución de facies a través de los márgenes de una plataforma carbonática (Cinturones de Wilson)..... | 28 |
| Figura 2.10 Modelo del orógeno en flotación para la cuenca Falcón- Bonaire..... | 34 |
| Figura 4.1 Muestra 356-85. Micrita Arenosa Nícoles (//), Objetivo 10X..... | 51 |
| Figura 4.2 Muestra 356-85. Micrita Arenosa Nícoles (X), Objetivo 10X..... | 51 |
| Figura 4.3 Muestra 320-85. Arenisca Micrítica Nícoles (//), Objetivo 4X..... | 53 |
| Figura 4.4. Muestra 320-85. Arenisca Micrítica Nícoles (X), Objetivo 4X.. .. | 53 |
| Figura. 4.5 Muestra 242-85. Caliza Aloquímica Arenosa. Nícoles (//), Obj. 4X..... | 54 |
| Figura 4.6 Muestra 242-85. Caliza Aloquímica Arenosa. Nícoles (X), Obj. 4X..... | 54 |
| Figura 4.7 Muestra 58A-85. Arenisca Aloquímica. Nícoles (//), Obj. 4X..... | 55 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.8 Muestra 58A-85. Arenisca Aloquímica. Nícoles (X), Obj. 4X | 55 |
| Figura 4.9 Muestra 225-89. Lodolita Micrítica Nícoles (/), Objetivo 10X..... | 56 |
| Figura 4.10 Muestra 225-89. Lodolita Micrítica Nícoles (X), Objetivo 10X..... | 56 |
| Figura 4.11 Muestra 74A-89. Caliza Aloquímica Lodosa. Nícoles (/), Obj. 4X | 58 |
| Figura 4.12 Muestra 74A-89. Caliza Aloquímica Lodosa. Nícoles (X), Obj. 4X..... | 58 |
| Figura 4.13 Muestra 54-86. Micrita Lodosa Nícoles (/), Objetivo 10X | 59 |
| Figura 4.14 Muestra 54-86. Micrita Lodosa Nícoles (X), Objetivo 10X | 59 |
| Figura 4.15 Ubicación y delimitación de las zonas de mezcla de Mount (1985) a lo largo de los cinturones de la plataforma carbonática de Wilson (1975).. | 83 |
| Figura 4.16 Muestra 74-89. Glauconita | 87 |
| Figura 4.17 Muestra 52-89. Inversión Homoaxial de concha de molusco. Glauconita y disolución de matriz..... | 87 |
| Figura 4.18 Muestra 75-89. Neomorfismo agradante..... | 87 |
| Figura 4.19 Muestra 337-89. Inversión Heteroaxial..... | 87 |
| Figura 4.20 Muestra 337-89. Inversión Heteroaxial | 88 |
| Figura 4.21 Muestra 74A-89. Inversión Heteroaxial..... | 88 |
| Figura 4.22 Muestra 155-89. Alineación y deformación de micas..... | 88 |
| Figura.4.23 Muestra 315-89. Deformación de granos dúctiles..... | 88 |
| Figura 4.24 Muestra 34-89. Dolomitización..... | 88 |
| Figura 4.25 Muestra 34-89. Cementación Radial..... | 88 |
| Figura 4.26. Muestra 337-89. “Pellets”..... | 89 |
| Figura 4.27 Muestra 136-89. Glauconita..... | 89 |
| Figura 4.28 Muestra 270-89. Glauconitización..... | 90 |
| Figura 4.29 Muestra 283-89. Disolución de Aloquímicos..... | 90 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.30 Muestra 97-89. Disolución de ortoquímicos | 90 |
| Figura 4.31 Muestra 114-89. Neomorfismo agradante..... | 90 |
| Figura 4.32 Muestra 96-89. Matriz dolomitizada..... | 90 |
| Figura 4.33 Muestra 96-89. Bordes dolomitizando..... | 90 |
| Figura 4.34 Muestra 42-89. Dolomita..... | 91 |
| Figura 4.35 Muestra 128-85. Agregado..... | 93 |
| Figura 4.36 Muestra 99-86 Glauconitización de "pellets"..... | 93 |
| Figura 4.37 Muestra 116-85. Glauconificación..... | 93 |
| Figura 4.38 Muestra 238-85. Inversión homoaxial de fósil. "Pellets"..... | 93 |
| Figura 4.39 Muestra 247-85 Inversión homoaxial..... | 93 |
| Figura 4.40 Muestra 61-86. Inversión homoaxial de molusco. Porosidad móldica. Fracturamiento..... | 93 |
| Figura 4.41 Muestra 115-86. Meteorización..... | 94 |
| Figura 4.42 Muestra 117-86. Siderita..... | 94 |
| Figura 4.43 Muestra 390-85. Cemento equigranular..... | 94 |
| Figura 4.44 Muestra 64-86. Cemento radial..... | 94 |
| Figura 4.45 Muestra 68-86. Fósil recristalizado..... | 94 |
| Figura 4.46 Muestra 68-86. Fósil recristalizado..... | 94 |
| Figura 4.47 Muestra 111-85. Micas orientadas..... | 95 |
| Figura 4.48 Muestra 65-86. Inversión heteroaxial..... | 95 |
| Figura 4.49 Muestra 109A-85. Dolomitización..... | 95 |
| Figura 4.50 Muestra 135-86. Lodo carbonático y óxido de hierro..... | 95 |
| Figura 4.51 Muestra 134-86. Microespato..... | 95 |

| | |
|---|----------|
| Figura 4.52 Muestra 133-86. Formación de pseudoespato y meteorización superficial de óxido de Fe..... | 95 |
| Figura 4.53 Clasificación propuesta para carbonatos de mezcla..... | 98 |
| Figura 4.54 Ubicación de las muestras de corroboración en el esquema de clasificación propuesto..... | 100 |
| Mapa geológico. Hoja I, II y III..... | Anexo I |
| Esquema de clasificación para carbonatos de mezcla propuesto..... | Anexo IV |
| Planilla petrográfica para carbonatos de mezcla propuesta..... | Anexo X |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----------|
| Tabla 4.1. Muestras de todas las formaciones ubicadas en cada uno de los Cinturones de Wilson..... | 68 |
| Tabla 4.2. Muestras de la Formación Socorro ubicadas en cada uno de los Cinturones de Wilson..... | 69 |
| Tabla 4.3 Muestras de la Formación Urumaco ubicadas en cada uno de los Cinturones de Wilson..... | 70 |
| Tabla 4.4. Muestras de la Formación Caujarao ubicadas en cada uno de los Cinturones de Wilson..... | 71 |
| Tabla 4.5. Zona de estudio con la distribución de los cinturones de Wilson..... | 73 |
| Tabla 4.6. Ubicación de las diez muestras del trabajo de González (2009) en la cinturones de Wilson (1985). | 100 |
| Tablas petrográficas de las 63 muestras..... | Anexo II |
| Tablas con las características petrográficas para cada cinturón de Wilson..... | Anexo III |
| Esquema de clasificación para carbonatos de mezcla propuesta..... | Anexo IV |
| Tabla petrográfica de las 10 muestras de corroboración..... | Anexo VI |

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las rocas híbridas localizadas en Falcón Noroccidental no cuentan con un estudio detallado, por lo tanto se busca definir la influencia de los siliciclastos durante los procesos diagenéticos en los carbonatos de mezcla localizados en el noroccidente de Falcón, además de buscar relacionar este tipo de roca y su distribución en las formaciones de estudio, estableciendo sus respectivas condiciones de sedimentación. La falta de un sistema que las clasifique brindando tanto información genética como textural es otra deficiencia existente, por lo cual se requiere lograr llegar a una propuesta de clasificación de rocas carbonáticas de mezcla tipificada para esta cuenca.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El estudio petrográfico permite observar aspectos de las rocas que no pueden ser diferenciados mediante descripción de muestras de mano. Para poder reconocer características especiales, mineralogías y procesos y además entender los factores que intervinieron desde la depositación y durante el soterramiento de las rocas sedimentarias, es necesario realizar este estudio detallado, no solo para darle nombre a la roca, sino también para entender su formación y la relación que esta guarda con el entorno, particularmente en la zona de Falcón.

Las rocas sedimentarias híbridas en Venezuela cuentan con muy poco estudio debido a la complejidad que éstas envuelven, los procesos diagenéticos que sufren son la clave para reconocer aspectos importantes de la cuenca donde se depositaron, tanto morfológicos como paleoambientales.

Los estudios prácticos de laboratorio en rocas de mezcla quedan incompletos por la falta de un sistema que agrupe esta litología más allá de sus tamaños de granos.

El lograr agrupar una cantidad significativa de rocas híbridas de una misma zona, permite realizar un modelo donde se marquen los cambios que esta sufre respecto a su textura, a medida que es soterrada, pero también permite clasificarlas no solo por sus tamaños granulométricos, sino además por la relación que guardan los aspectos genéticos con los texturales y como ambos varían simultáneamente. Por todos estas deficiencias se hace necesario ampliar estos estudios.

La zona ha sido escogida por la misma morfología que dio lugar a este característico tipo de sedimentación, el estado Falcón cuenta con más de una fuente de aporte permitiendo la depositación de sedimentos tanto carbonáticos como aquellos siliciclásticos, logrando la acumulación de la mayor parte de las rocas híbridas que afloran en nuestro país.

1.3 ALCANCES

Con el presente trabajo se pretende caracterizar las rocas carbonáticas de mezcla de una zona de Falcón para determinar las etapas diagenéticas en las que se encuentran y relacionar esto con el paleoambiente de la cuenca.

Se busca proponer un sistema de clasificación particularizado con las rocas híbridas de Venezuela que facilite el estudio de laboratorio, brindando mayor información de las características de la cuenca

1.4 OBJETIVO GENERAL

Realizar la clasificación y la caracterización diagenética de rocas carbonáticas de mezcla localizadas en la parte noroccidental del estado Falcón, mediante un estudio petrográfico, con la finalidad de elaborar un modelo paleoambiental y proponer un sistema de clasificación para este tipo de rocas.

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio petrográfico de rocas carbonáticas de mezcla tomadas en localidades de la región noroccidental del estado Falcón.
- Clasificar las rocas carbonáticas de mezcla mediante la clasificación de Mount (1985), Dunham (1959) y Folk (1962).
- Determinar los procesos diagenéticos que afectan a las rocas de híbridas y las etapas diagenéticas en las que se encuentran.
- Ubicar las rocas carbonáticas de mezcla en un ambiente sedimentario para relacionar las características texturales con los procesos de formación.
- Ubicar las rocas carbonáticas de mezcla en el modelo depositacional de cinturones de Wilson (1975).
- Digitalizar la cartográfica de la zona de estudio por medio de mapas a escala 1:25000.
- A partir de la caracterización de las rocas carbonáticas de mezcla, proponer un sistema de clasificación para rocas híbridas donde se relacionen los aspectos texturales con los genéticos.
- Diseñar una planilla para facilitar el estudio y descripción de los carbonatos de mezcla en las prácticas de laboratorio.

1.6 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se encuentra ubicada en la parte septentrional de Venezuela, específicamente al noroccidente del estado Falcón entre las coordenadas: norte: 11°10' - 11°15' y este: 70° 22'30" -69° correspondiente a la hoja 6259 IV de escala 1:50.000 (por razones de facilitar el estudio y la precisión se trabajará con las hojas: 6249 IV NO, 6249 IV NE, 6249 IV SO, 6249 IV SE, todas a escala 1:25.000), la hoja 6149 I a escala 1:50.000 (correspondiente a las hojas a escala 1:25.000: 6149 I NE, 6149 I SE, 6149 I SO) y las hojas 6149 II NO, 6149 III NE, 6149 IV NO, 6149 IV

NE, 6149 IV SO y 6149 IV SE, todas también a escala 1:25000. A continuación en la figura 1 se muestra la ubicación local del área de trabajo.

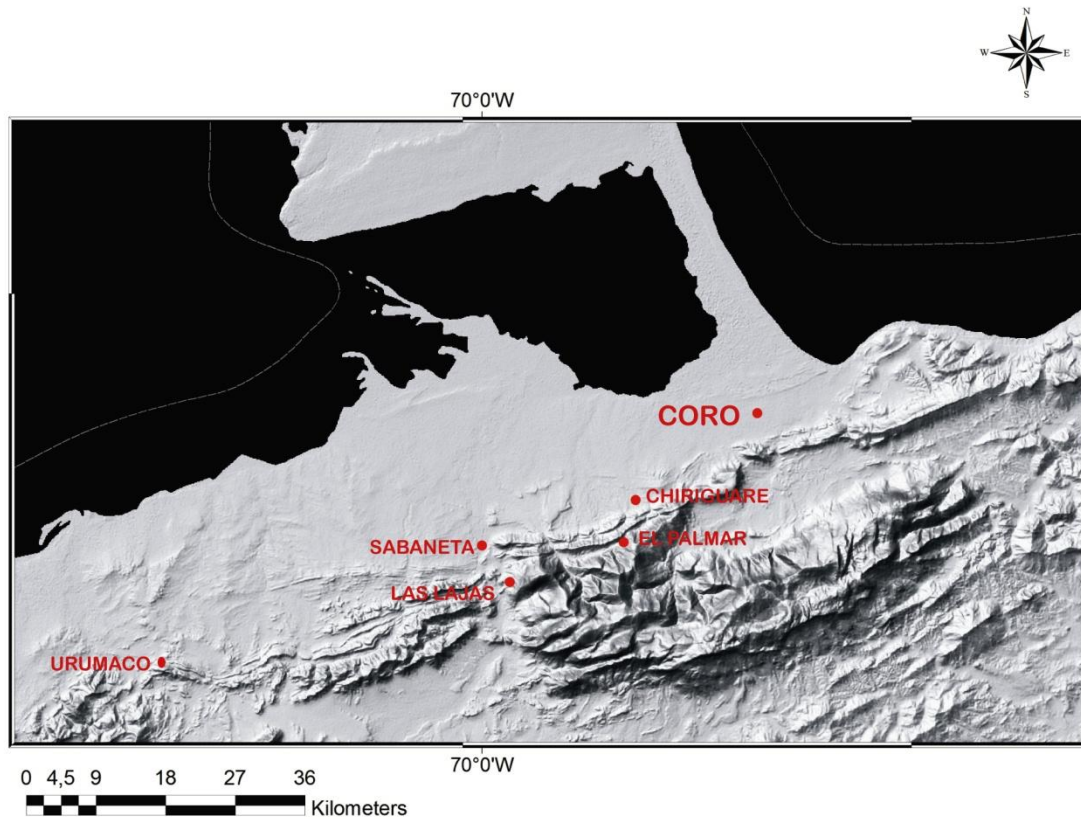


Fig. 1: Ubicación de la zona de estudio. Tomado y modificado de Garrity “et al”. (2004).

1.7 MARCO METODOLÓGICO

El presente trabajo se llevó a cabo en cuatro (4) etapas, que abarcan desde la revisión bibliográfica antes del trabajo de campo hasta la elaboración del trabajo especial de grado. A continuación se detalla las características que contempla cada etapa.

ETAPA 1: Investigación Previa

Contempla toda la investigación y recopilación de información que se realiza al iniciar el trabajo para conocer las características de la zona y el material bibliográfico con el que se cuenta; básicamente enmarca los siguientes pasos:

1.1 Recopilación bibliográfica: búsqueda de trabajos previos tanto de la zona, como del tipo de roca con el que se va a trabajar. Están incluidas tesis, publicaciones, libros, artículos, entre otros.

1.2 Inventario de Muestras: a partir de las tesis seleccionadas se realizó la revisión de las secciones finas.

1.2.1 Se revisó el estado físico en que se encontraban.

1.2.2 Presentaran enumeración y estén ubicadas en los respectivos mapas de muestras de cada tesis.

1.2.3 Se determinó la cantidad de muestras que correspondes a rocas híbridas en cada tesis para poder tener un estimado de secciones finas que se manejaron.

1.2.4 Reconocimiento de los paleoambientes que abarcan las muestras presentes a lo largo de la plataforma.

1.3 Identificar las formaciones en las que se están presentes las rocas híbridas.

1.4 Selección de los mapas a escala 1:25000 que abarcan la zona de estudio: marcar los contactos de las formaciones anteriormente seleccionadas de acuerdo a los trabajos realizados previamente en la zona.

ETAPA 2: Desarrollo

Esta etapa consistió en llevar a cabo el análisis petrográfico de las 73 secciones finas, de las cuales 10 fueron usadas para la calibración de la propuesta de clasificación.

2.1 Estudio Petrográfico

2.1.1 Se realizó la caracterización petrográfica de las muestras: determinando aspectos texturales, fósiles presentes, mineralogía, porcentajes de componentes.

2.1.2 Clasificación: Dar el nombre que más se ajuste a cada roca mediante la clasificación de J. Mount (1985), R. Folk (1959) y R. Dunham (1962).

2.1.3 Evaluación de las etapas diagenéticas: se determinaron los procesos diagenéticos que están afectando las rocas (cementación, compactación, presión solución, recristalización, entre otros).

Estos resultados se presentan detallados en las tablas petrográficas realizadas para cada grupo de muestras en el Anexo II.

ETAPA 3: Análisis de Resultados

3.1 Se realizó el modelo deposicional de acuerdo a los cambios de facies evidenciadas en las muestras.

3.2 Se determinaron las etapas diagenéticas en cada una de las formaciones involucradas.

3.3 Comparación entre la clasificación dada a las rocas en los trabajos previos y en este trabajo.

3.4 Ubicación de las muestras en las facies estándar de deposición propuestas por Wilson (1975).

3.5 Restricción de los límites en las zonas de mezcla propuestas por Mount (1985) a lo largo de los cinturones propuestos por Wilson (1975).

3.6 Planteamiento y calibración del sistema de clasificación.

3.7 Digitalizar la cartográfica de la zona de estudio: Haciendo uso del programa ArcGIS 9.3®, se logró la integración de la información topográfica y geológica recopilada en los trabajos previos

ETAPA 4: Conclusiones y Elaboración del T.E.G

Se realizaron las conclusiones arrojadas en la etapa 3 verificando si se lograron o no los objetivos planteados. Se unificó toda la información dándole forma al trabajo especial de grado según los parámetros exigidos.

1.8 TRABAJOS PREVIOS

De la zona de estudio

De Santis y Parra (1985): Realizan un análisis paleoambiental y de facies de edad Terciario Tardío en los alrededores de Sabaneta estado Falcón haciendo uso de secciones delgadas. Obtuvieron un mapa geológico y una columna detallada de la sección aflorante. Identificaron 10 formaciones cuyas edades van desde el Oligoceno al Plioceno y corresponden a: San Luis, Patiecitos, Guarabal, Agua Clara, Cerro Pelao, Querales, Socorro, Urumaco, Codore y San Gregorio y les atribuyeron los tipos de paleoambientes: arrecifal, periarrecifal, plataforma media, deltaico progradante, plataforma media a interna y fluvio deltaico respectivamente. En las formaciones Urumaco y Codore trataron de establecer variación lateral con Caujarao y La Vela determinando una variación de fluvial a más marino. En la Formación San Gregorio se reconoce un paleoambiente continental caracterizado por conglomerados.

Saavedra y Vélez (1987): Realizan un estudio estratigráfico, sedimentológico y paleontológico en Falcón noroccidental, específicamente en el área tipo de la Formación Urumaco abarcando un área aproximada de 170Km² reconociendo las formaciones Socorro, Urumaco y Codore con edad de depositación Mioceno medio – Plioceno. Para cada formación realizan una descripción litológica, análisis petrográfico, caracterización diagenética, ubicación en un ambiente sedimentario depositacional. La Formación Socorro le asignan edad Mioceno Medio Temprano y

la describen como una alternancia de areniscas y limolitas yesíferas y jarositas depositada en un ambiente de llanura deltáica, la subdividen en un Miembro Superior conocido como Miembro de San Francisco caracterizado por areniscas blancas y un Miembro Inferior. La Formación Urumaco con contacto concordante y transicional con Socorro le atribuyen edad Mioceno Medio – Mioceno Tardío y es dividida en 3 miembros: Miembro inferior constituido por lutitas y limos con intercalaciones de areniscas y calizas conchíferas y un ambiente sedimentario de progradación deltaica con avance en dirección noroeste, miembro intermedio lo describen como intervalos cíclicos de calizas coquinoideas intercaladas con horizontes arenosos y espesores de lutitas y variación de facies que van desde llanura deltaica y frente deltaico a marino somero y el miembro superior de limolitas arenosas y arcillosas sobre las areniscas y lutitas depositadas en una llanura deltaica con un desarrollo costero hacia el tope. La Formación Codore cuenta con un contacto concordante y transicional de edad Mioceno Tardío – Plioceno constituye una secuencia monótona de arcillitas moteadas y limolitas depositadas en facies sedimentarias de llanura aluviales.

Esteves y Villalta (1989): Realizan la estratigrafía de una zona entre Sabaneta y Coro en el estado Falcón logrando reconocer las formaciones: Patiecitos, Guarabal, Querales, Socorro, Caujarao y Codore; las cuales se depositan entre el Oligoceno Medio y Mioceno Tardío. A cada formación le designan una facies: Las dos primeras presentando facies de atrás de arrecife; la Formación Querales se depositó en condiciones plataformales de mar abierto; las formaciones Socorro y Caujarao fueron sedimentadas en lagunas, barreras y playas desarrolladas durante el Mioceno Medio; la Formación Codore representa una facies de llanura de inundación y a la parte distal de un cono aluvial. Elaboran un mapa geológico a escala 1:100000 correspondiente a la hoja 6249 IV y reconocen un pliegue de rodilla de eje NE-SW cuyo flanco sur se encuentra plegado y su flanco norte buza al norte.

Graterol y Orihuela (2004): Realizaron un análisis de facies y de secuencias estratigráficas miocenas en la zona noroccidental de Falcón abarcando las quebradas Agua Viva y El Paují. Estudiaron las formaciones Agua Clara, Cerro Pelado, Querales, Socorro y Urumaco logrando así definir 51 facies entre clásticas y carbonáticas. Sugieren que las secuencias fueron depositadas en paleoambiente de delta con dominio fluvial. A partir de los cambios ambientales observados definen depósitos de bajo nivel, transgresivo y de alto nivel. Realizan columnas generalizadas para cada quebrada y un mapa geológico de la zona de estudio con apoyo de una recopilación bibliográfica previa.

González (2009): Realiza un modelo estratigráfico y sedimentológico a partir de un levantamiento geológico en la zona norcentral del estado Falcón; y a partir de datos de subsuelo del campo La Vela, ubicado al este de La Vela de Coro, estado Falcón igualmente, correspondiente a las formaciones Socorro y Caujarao. Mediante un estudio petrográfico con 24 muestras obtenidas del levantamiento geológico, define 16 facies litológicas; y en base a una descripción sedimentológica detallada de los núcleos define 15 facies litológicas. Adicionalmente con registros de pozos correlaciona arenas correspondientes al intervalo de interés. Define ambientes sedimentarios para las facies litológicas, correspondientes a un sistema de depositación deltaico progradante. Elabora secciones estratigráficas y mapas de isopropiedades para arena neta y arena lutita para establecer que el sentido de sedimentación en la cuenca durante la depositación de las formaciones Socorro y Caujarao tiene dirección suroeste-noreste.

De la metodología

Dunham (1962): Establece una clasificación netamente textural de las rocas carbonáticas indicando los límites de tamaño que van a marcar la diferencia entre el lodo carbonático (< 20micras) y granos carbonáticos (>20micras). Expone que la precipitación de granos y lodo van a depender de los niveles de energía, atribuyendo a

las aguas agitadas el incremento de la depositación de los granos y en aguas quietas el incremento de la depositación del lodo carbonático. En esta clasificación indica nombres a las rocas tales como: Mudstone, Wasckestone, Packestone, Grainstone, Boundstone y Carbonato Cristalino; refiriéndose a rocas carbonáticas que van desde una composición dominada por la presencia de lodo y que carecen de granos hasta aquellas dominadas por granos y que carecen de lodo respectivamente. También toma en cuenta que los componentes originales se encuentren juntos durante la depositación o no.

Folk (1962): Presenta en su trabajo una clasificación de calizas exponiendo que estas podrían ser divididas en tres grandes familias y a su vez en grupos de acuerdo a los tipos texturales los cuales están influenciados por los diferentes niveles de energía durante la depositación. Basa la clasificación en la proporción relativa de aloquímicos y lodo carbonático, el escogimiento de los aloquímicos y la redondez de los aloquímicos. Existe un paralelismo entre los tipos de caliza y la secuencia de maduración textural en las areniscas también presente en las secuencias de inversión textural. Atribuye el desarrollo de la redondez y el buen escogimiento a los niveles de energía.

Zuffa (1980): Publica un artículo sobre las areniscas híbridas donde se plantea una clasificación que consiste en dos aspectos fundamentales: 1) obtener la mejor separación posible entre los componentes de las areniscas intracuenca y extracuenca, y 2) reducir al mínimo la dependencia de la composición de las rocas del tamaño de grano. Toma en consideración la composición y criterios genéticos para formar 4 grupos: los extracuenca no carbonatados (NCE), extracuenca carbonatados (CE), intracuenca no carbonatados (NCI) y los intracuenca carbonatados (CI).

Mount (1985): Propone un sistema de clasificación de rocas mixtas a través de un diagrama tetrahédrico que toma en cuenta la textura y composición de las roca. Emplea como parámetros los porcentajes de: arena, aloquímicos, lodo carbonático y

micrita para así darle el nombre a las rocas que va a estar constituido por los dos o tres componentes mayoritarios presentes. Define los sedimentos y los separa de acuerdo a su tamaño de grano; bioclastos e intraclastos (>20mm de tamaño), lodo carbonático o micrita (< 20mm de tamaño).

Zapata, Rey, Padrón y Machado (2001): Publican un trabajo sobre carbonatos de mezcla en la Formación La Vela de edades Mioceno Tardío-Plioceno. Utilizan 15 petrografías correspondiente a la quebrada El Trigal, estado Falcón realizándole un estudio sedimentológico completo y clasificándolas de acuerdo a Mount (1985), recalculando los porcentajes de los componentes principales para así usar el diagrama ternario propuesto por el autor. Diferencian 5 facies petrográficas: Micrita arenosa, caliza aloquímica arenosa, arenisca micrítica y biomicrita de empaquetamiento suelto. Finalmente indican que la Formación La Vela se depositó en la zona de mezcla “in situ” defina por Mount en su trabajo de 1985.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 CONSIDERACIONES TEÓRICAS (DEFINICIONES)

Rocas Carbonáticas

Las rocas carbonáticas son rocas sedimentarias, pertenecen al grupo de rocas no clásticas, están compuestas predominantemente por minerales de calcita, aragonito y dolomita. Los materiales que las forman se encuentran cerca del sitio de depositación y se originan principalmente en el medio marino por procesos biológicos, y en el caso de la dolomita durante los procesos diagenéticos. Las rocas carbonáticas junto a las clásticas representan un 95% de la columna sedimentaria. Méndez (2009).

Folk (1962) separa los componentes de las rocas carbonáticas en 2 grupos principales: aloquímicos y los Ortoquímicos (micrita o lodo carbonático y cemento calcítico esparítico).

Méndez (2009) separa los constituyentes de los carbonatos en cuatro grupos: granos no esquelatales, granos esquelatales, cemento y micrita. Los dos primeros pertenecen al grupo de los aloquímicos y los dos últimos al grupo de los ortoquímicos definidos por Folk (1962).

Aloquímicos: Se refiere a agregados organizados de sedimentos o rocas carbonáticas que se forman en la cuenca, (Folk 1962) En este grupo se encuentran:

a) Intraclastos: Clastos que se forman dentro de la cuenca que han sido transportados, retrabajados y redepositados dentro de la misma cuenca. Se incluyen en este grupo los fragmentos de rocas tamaño arena. Folk (1962)

b) Oolitas: Son estructuras de composición carbonática, de forma elipsoide o esféricas laminadas alrededor de un núcleo que puede ser de granos carbonáticos, cuarzo, fragmentos fósiles, entre otros; los tamaños pueden variar de >1mm hasta <2mm. Méndez (2009)

c) “Pellets”: Son cuerpos redondeados o de forma elíptica compuestos por lodo carbonático o micrita con estructura interna indefinida, generalmente se forman por restos fecales. Los tamaños están entre 0,03mm hasta 0,15mm aproximadamente, Folk (1962).

d) Partículas esqueléticas o Bioclastos: fragmentos de organismos segregadores de carbonatos. Poseen estructura dura y mantienen una forma reconocible, en este grupo entran las conchas, macrofósiles y microfósiles, partes esqueléticas, etc, Méndez (2009).

e) Extraclastos: Clastos que se originan fuera de la cuenca, tienen diversos tamaños pero que no poseen composición carbonática. Pueden ser granos de cuarzo, feldspatos, fragmentos de rocas, etc. Méndez (2009) los define como fragmentos de caliza o minerales ajenos a la sedimentación de la cuenca y transportados a ésta desde las áreas cercanas.

Ortoquímicos: son aquellos sedimentos que sirven de rellenos entre los espacios o precipitan directamente con una composición carbonática. De acuerdo a su tamaño Folk (1962) reconoce dos tipos principales:

a) Calcita microcristalina o micrita: También llamada matriz o lodo carbonático debido a su tamaño muy pequeño. Los granos poseen un diámetro de 1 a 4 micras.

b) Cemento calcita esparítico: o cemento carbonático, son cristales que suelen tener un tamaño mayor a las 10 micras.

Se manejan dos sistemas de clasificación principales para las rocas carbonáticas, a continuación se describirán brevemente cada uno de ellos:

Clasificación Textural en rocas carbonáticas según Folk (1962)

Folk propone un sistema de clasificación de calizas de acuerdo a los tipos texturales y constituyentes principales. El autor define tres (3) componentes de los que parte la subdivisión de los tipos de calizas:

a) *Agregados carbonáticos o aloquímicos*: son las partículas o granos carbonáticos, el autor considera cuatro tipos de aloquímicos importantes en las calizas; *Intraclastos*: se describen como fragmentos penecontemporáneos, consolidados en los sedimentos carbonáticos que pueden ser retrabajados de partes esqueléticas y redepositados formando el nuevo sedimento, se producen por la erosión de capas sedimentarias, cuentan con variedades de tamaños y suelen estar redondeados; *Oolitas*; *Fósiles* y “*Pellets*”.

b) *Calcita microcristalina o micrita*: formada por granos con tamaños entre 1 y 4 micras de diámetro. Se produce por la abrasión de esqueletos.

c) *Calcita espática o cemento*: formada por cristales de granos de 10 micras de diámetro en adelante, se distingue de la calcita microcristalina porque los cristales son claramente visibles. Su origen puede ser por precipitación química directamente en la roca, aunque muchas veces también ocurre por recristalización de la micrita.

La clasificación se va desarrollando jerárquicamente donde se va excluyendo los componentes de acuerdo a un rango de porcentajes establecidos (ver figs. 2.1 y 2.2). Se deben seguir los siguientes pasos:

- a) Determinar la abundancia relativa de aloquímicos dentro de la roca total. > 10% de granos o < 10% de granos.
- b) Determinar la abundancia mayor del ortoquímico (matriz y cemento).
- c) Distinguir la abundancia de los granos carbonáticos dentro del porcentaje total de la roca. Diferenciar entre Intraclastos, “pellets”, fósiles, ooides, etc.
- d) Seleccionar el nombre apropiado de acuerdo a la clasificación tomando en cuenta los factores establecidos.

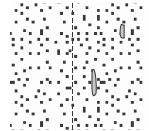
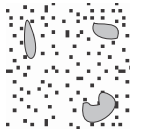
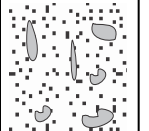
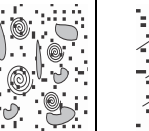
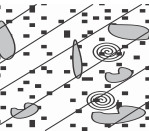
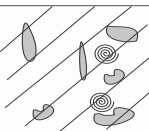
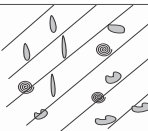
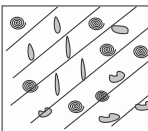
| % Aloquímicos | Más de la 2/3 de matriz limo lodoso | | | | Cantidades igual de limo lodoso y espato | Más de la 2/3 cemento espato | | |
|-------------------------------|---|---|---|--|---|---|---|---|
| | 0-1% | 1-10% | 10-50% | 50% | | Escogimiento pobre | Buen escogimiento | Redondeado y retrabajado |
| Términos representativo Rocas | Micrita y Dismicrita | Micrita fosilífera | Biomicrita Esparcida | Biomicrita Empaquetada | Bioesparita pobremente lavada | Bioesparita no escogida | Bioesparita con buen escogimiento | Bioesparita redondeada |
| Imagen |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Terminología 1959 | Micrita y Dismicrita | Micrita | Biomicrita | Bioesparita | | | | |
| Análogos terrígenos | Arcilla | | Arena Arcillosa | Arena Inmadura o arcillosa | | Areniscas submaduras | Areniscas maduras | Areniscas super madura |

Fig. 2.1: Clasificación de acuerdo a los tipos texturales y constituyentes principales de los carbonatos. Tomado y modificado de Folk (1962).

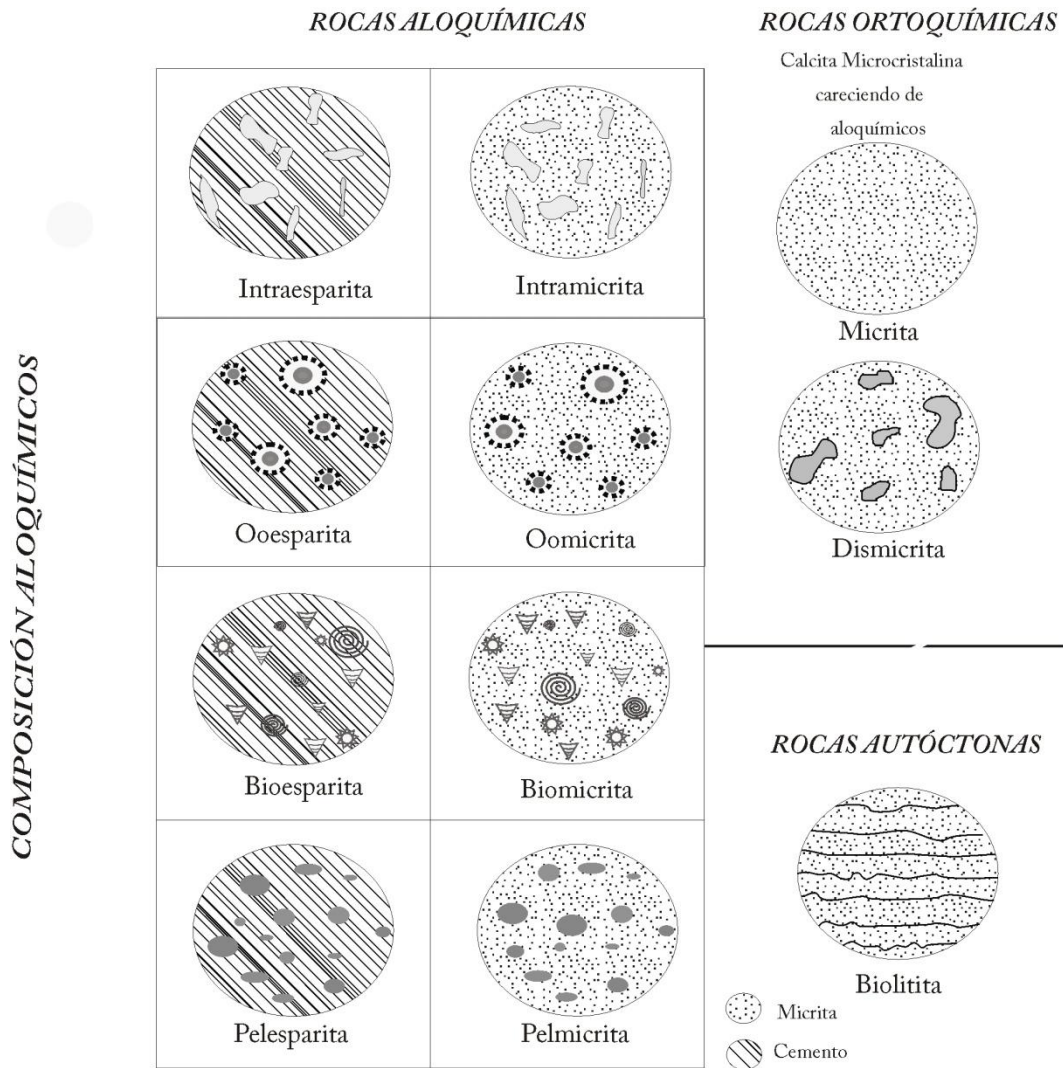


Fig. 2.2: Clasificación de acuerdo a los tipos texturales y constituyentes principales de los carbonatos. Tomado y modificado de Folk (1959).

Clasificación de textura depositacional en rocas carbonáticas según Dunham (1962)

Esta clasificación se basa en la textura que domina la roca en el momento de la depositación. El autor parte de la definición del lodo carbonático y grano carbonático, el cual está referido únicamente al tamaño de los granos, el lodo menor a veinte micras (<20micras) y los granos mayores a veinte micras (>20micras).

Posteriormente separa las calizas de acuerdo a si están soportadas por granos (>10% de granos o <10% de granos) o por lodo, es decir, especifica cual componente es más abundante si el lodo carbonático o los granos calcáreos, relacionando esto con los niveles de energía. El lodo carbonático es asociado con aguas quietas que permiten su precipitación, mientras los granos son comunes en aguas agitadas con suficiente energía para transportarlos.

Para clasificar una roca carbonática de acuerdo a Dunham primero se debe determinar si las estructuras esqueléticas que forman la roca se construyeron o no durante la depositación, las rocas que cumplen con esta característica, es decir, rocas formadas de componentes junto con la depositación se denominan “Bounstone”. Para las rocas que no cumplen, se dividen según su contenido de matriz o lodo carbonático denominadas (ver Fig. 2.3):

Mudstone: roca carbonática soportada por lodo carbonático que contiene menos del 10% de granos. Su formación tiene implicaciones de aguas calmadas donde es escasa la producción de organismos.

Wackestone: roca carbonática soportada por lodo carbonático que contiene más de un 10% de granos. Es una mezcla de lodo carbonático y granos.

Packstone: roca carbonática soportada por granos con poco contenido de lodo carbonático. Estas rocas son depositadas en aguas agitadas.

Grainstone: roca carbonática soportada por granos que no contiene lodo. No tiene implicaciones hidráulicas, muchas son producto de una rápida producción local y acumulación de granos antes de que puedan ser contaminados por lodo.

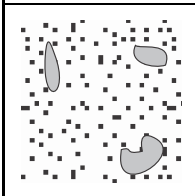
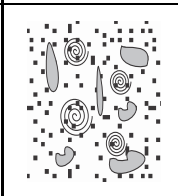
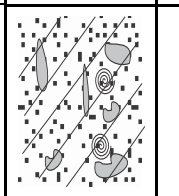
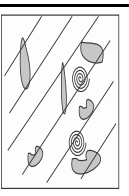
| | | | |
|---|---|--|---|
| Los componentes originales no se encuentran juntos durante la depositación | | | |
| Generalmente grano <2mm (Arena y Limo) | | | |
| Contiene lodo (Matriz micrita) | | No contiene lodo | |
| <10% de granos | >10% de granos | Soportado por granos | |
| Soportado por lodo | | | |
| MUDSTONE | WACKESTONE | PAKESTONE | GRAINSTONE |
|  |  |  |  |

Fig. 2.3: Clasificación de textura depositacional en rocas carbonáticas.

Tomado y modificado de Dunham (1962).

Rocas Carbonáticas de Mezcla

Los carbonatos de mezcla son también denominadas Rocas Híbridas. Se le atribuye este término a aquellas rocas carbonáticas que dentro de su composición tienen más de un 10% de sedimentos clásticos (Mount 1985).

Mount (1985) propone un sistema de clasificación donde unifica los aspectos texturales con la composición de la roca. Los sedimentos mixtos consisten principalmente de cuatro componentes: arenas siliciclásticas, lodo siliciclástico, arenas carbonáticas y lodo carbonático. Los cuatro componentes definen los miembros finales del sistema de clasificación tetrahedral. Es necesario, cuando hacemos subdivisiones basados en textura y composición desarrollar definiciones precisas de cada uno de los componentes, ya que la literatura describe contenidos variables de sedimentos mixtos, antiguos y modernos, usados en estos términos.

Para ello elabora un sistema tetrahedral (Figura 2.4) donde en cada vértice se especifica cada uno de los aspectos a evaluar:

Arenas: Son considerados aquellos granos de cuarzos, feldespatos, otros silicatos y minerales pesados que estén en el rango de 0.0625 a 2mm en diámetro.

Lodo: Describe sedimentos de siliciclastos cuyo diámetro es menor a 0.0625mm y generalmente están conformados por mezclas de sílice y arcillas

Aloquímicos: Son partículas carbonáticas detríticas con tamaños de hasta 20 micras, intracuena que han sido transportadas u organizadas en forma de agregados. Comúnmente incluyen ooides, intraclastos, bioclastos y peloides.

Micrita: Denominada lodo limoso con granos usualmente no mayores a 1-4 micras de diámetro. Sin embargo procesos posteriores de neomorfismo pueden actuar agrandando los cristales considerablemente.

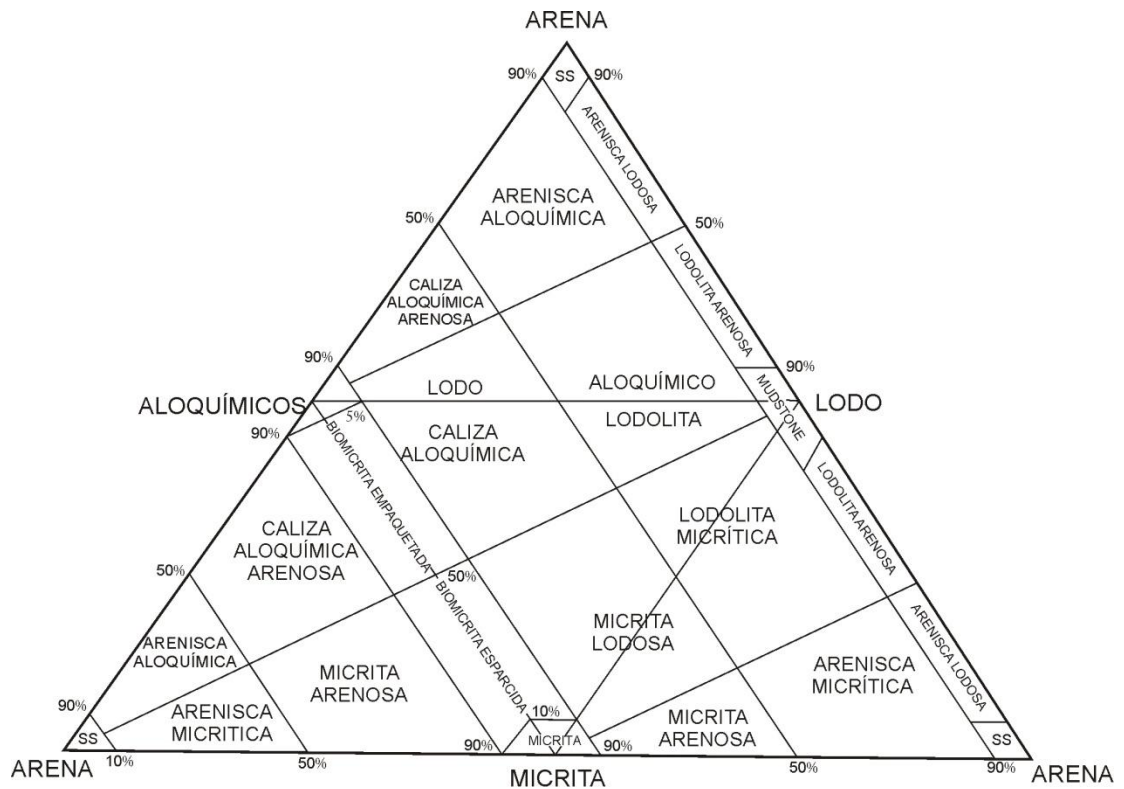


Fig. 2.4 Sistema tetragonal. Tomado de y modificado de Mount (1985)

A partir de allí realiza se genera un diagrama de representación binaria con respuestas positivas y negativas a las preguntas basadas en los aspectos anteriormente mencionados (Fig.2.5). El nombre de la roca está dado por los 2 o 3 componentes mayoritarios.

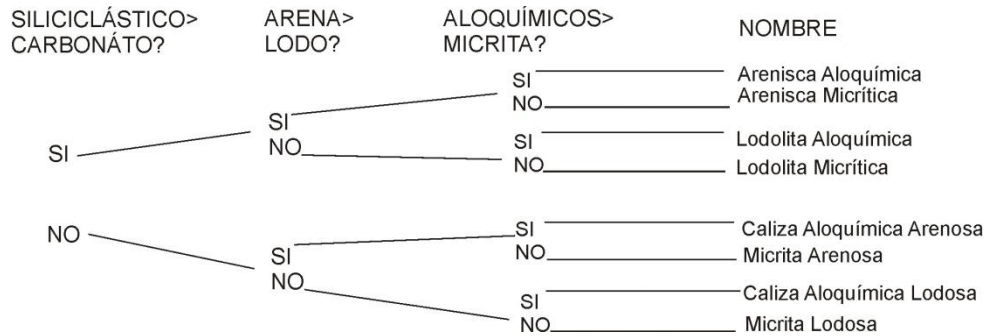


Fig.2.5: Diagrama de representación binario. Tomado y modificado de Mount (1985)

Posteriormente Mount (1985) relaciona los ambientes de plataforma con 4 procesos de depositación de rocas de mezcla, en donde explica que los sedimentos antiguos y recientes se unen mediante los mismos procesos de sedimentación. Estos procesos son agrupados en 4 categorías:

- a) *Mezcla Puntual:* Tienen lugar eventos de sedimentación catastrófica, a) Evento de tormenta, donde ocurre una transferencia esporádica de sedimentos a lo largo de una facies a otra. Se transportan siliciclastos desde aguas profundas dominadas por carbonatos y b) La periodicidad de las mezclas genera que la influencia de siliciclastos sea poco común.

Este tipo de mezcla es poco común en sedimentos modernos, debido a los procesos de tormenta y dificultades en la observación, la erosión es la responsable de la presencia de los bioclastos y las arenas de cuarzo arrastrados en las tormentas. El ambiente donde se presenta es subatual, permitiendo el predominio del lodo carbonático. Mount clasifica bimodalmente los fragmentos flotantes de esqueletos en lodo terrígenos (Fig2.6).



Fig.2.6 Zona donde ocurre la mezcla puntual.

b) *Mezcla de Facies:* Los sedimentos mixtos encuentran su forma en una gradación lateral entre las facies carbonato-siliciclasto. Los contactos estratigráficos entre estas litofacies son definidos y los contactos gradacionales pueden ocurrir en 2 facetas de depositación de plataforma: la primera es la Facies de Cambio, donde ocurre una alteración en las condiciones depositacionales en la plataforma y rápida migración del medioambiente por erosión. La segunda es la Facies de Transición Lateral del medio ambiente de carbonato-siliciclasto puede ocurrir de forma abrupta preservando los sedimentos mixtos. El ambiente abarca desde antes del arrecife hasta las extensiones del arrecife, existe una contribución eólica y la formación de dunas (Fig2.7).

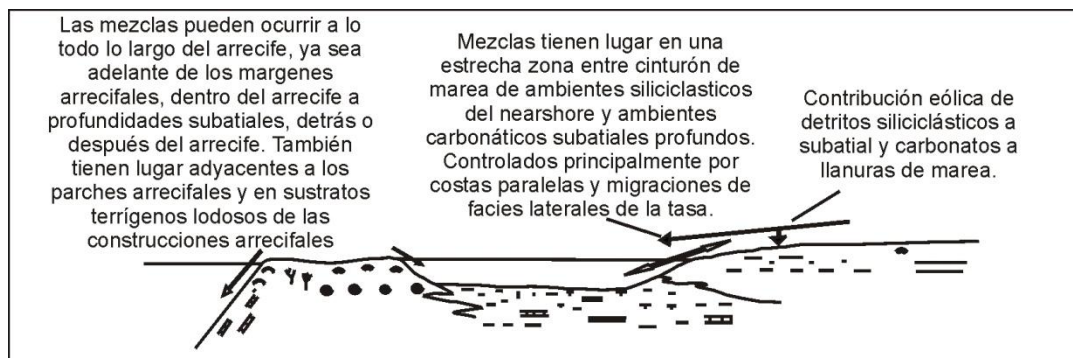


Fig2.7. Zona donde ocurre la mezcla de facies.

b) *Mezcla "In situ"*: Aquí los fósiles son incorporados a la mezcla por organismos de madriguera y corrientes oceánicas débiles. En la plataforma siliciclástica los sedimentos carbonáticos pueden ser autóctonos o parautóctonos. Las corrientes fuertes segregan el lodo carbonático proveniente del retrabajo de los esqueletos. Las algas contribuyen a la mezcla "in situ" produciendo calcio. El material clástico se agrega por ambiente subatual poco profundo e intersticial. La precipitación inorgánica de cemento carbonático y litificación parcial de sedimentos intersticiales y subatiales generan la formación local de sedimentos mixtos. Los ambientes en mezcla "in situ" pueden ser tanto subatiales como terrígenos dominados por lodo (fig2.8)

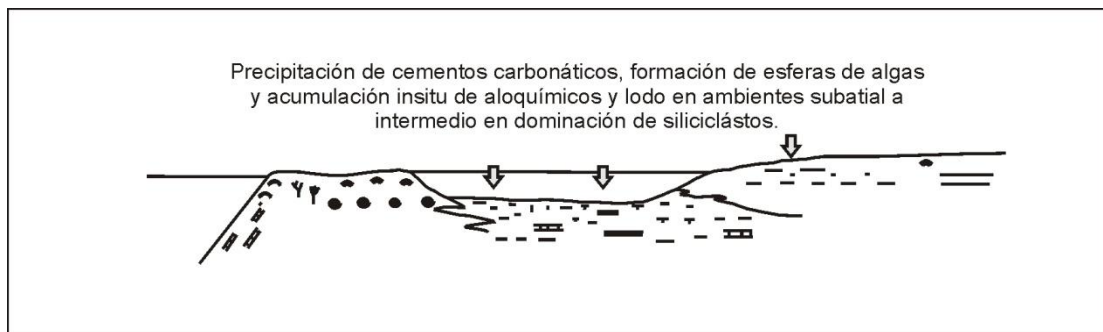


Fig2.8. Zona donde ocurre la mezcla "in situ".

d) *Mezcla a partir de la Fuente*: El material clástico mixto puede ser derivado de tectónica activa reciente, terrenos que contengan basamento metamórfico, areniscas cuarzosas y calizas marinas poco profundas. En las fuentes mixtas los carbonatos no reflejan las condiciones paleoecológicas de la plataforma. La energía hidráulica actúa en la clasificación y abrasión de los clastos carbonáticos.

Por último Jeffrey Mount relaciona los carbonatos modernos ubicados entre el Ecuador y Latitud 60° a tres zonas de acuerdo al contenido fósil de las mismas:

a) Chlorozoan: Constituida por algas verdes y corales. Agua de moderada salinidad y altas temperaturas.

b) Chloralgal: Formada por algas verdes y ambiente de alta salinidad y alta temperatura.

c) Foramol: Zona que contiene foraminíferos y moluscos con un amplio rango de temperatura y salinidad.

Modelo de distribución de facies a través de los márgenes de una plataforma carbonática (Cinturones de Wilson)

Wilson (1975) desarrolla un modelo donde divide la plataforma carbonática en 9 franjas o cinturones y 24 microfacies de acuerdo a las similitudes litológicas y paleontológicas de cada zona (ver fig. 2.9). A continuación se definen cada una de las nueve franjas:

Cinturón 1 (Cuenca):

Las condiciones del agua son euxínicas e hipersalina, por debajo del nivel de oxigenación; debido a la profundidad de la cuenca no llega luz impidiendo la producción bentónica de carbonato. La depositación está influenciada por la cantidad de material silíceo y argiláceo fino, y del plancton en suspensión que precipita. Las rocas presentes son mudstone carbonáticos y lutitas oscuras.

Cinturón 2 (Plataforma de Mar Abierto):

Ambiente nerítico, por debajo del nivel base de tormenta pero por encima del nivel de oxigenación. Aguas con salinidad normal, profundidades hasta unos cientos de metros. La litología presente es intercalación de lutitas y calizas muy fosilíferas. Texturas tipo “wackestone”, rocas bioclásticas y estratos pelotoidales, colores claros y oscuros variados debido a la presencia de algas.

Cinturón 3 (Plataforma Marginal Profunda o Margen de Cuenca):

Pie del talud, el material depositado es derivado de la plataforma carbonática. Las condiciones de salinidad y oxigenación son similares a la franja 2. La litología son calizas de grano fino con bloques exóticos provenientes del talud.

Cinturón 4 (Frente de Talud de Plataforma Carbonática):

Localizada por encima del límite inferior de las aguas oxigenadas y hasta el nivel base de oleaje-tormentas. El talud tiene aproximadamente 30° de inclinación, inestable y con tamaños variables, donde se depositan bloques exóticos y calizas que varían de grano fino a brechas.

Cinturón 5 (Arrecife orgánico de margen de plataforma):

Ubicada en el borde de la plataforma Esta facies puede estar o no presente en las plataformas carbonática, ya que, su formación está ligada a la energía del agua, inclinación del talud, productividad orgánica y frecuencia de exposición subaérea. Se pueden distinguir tres perfiles de construcción orgánica: 1) acumulación de lodo carbonático y restos orgánicos talud abajo, 2) montículos arrecifales de plataforma y 3) arrecife orgánico marginal. La litología son varios tipos de “boudstone”.

Cinturón 6 (Arenas de Borde de Plataforma):

Se encuentra cerca de las construcciones orgánicas, aguas someras entre 5 a 10 metros, afectada por el viento; salinidad normal y bien oxigenada. Pueden ser bancos, playas, barras, abanicos, fajas o islas de dunas con poca cantidad de fauna debido a lo móvil del sustrato. Son comunes areniscas bien escogidas con fósiles arrastrados de las facies 4 y 5.

Cinturón 7 (Plataforma Marina Abierta):

Forma lagunas marinas y bahías ubicadas detrás del margen externo de la plataforma donde la circulación del agua es normal, poco profunda, salinidad marino

normal a variable. Las características y litologías suelen ser similares a las encontradas en el cinturón 2. Se forman depósitos carbonáticos de mezcla, areniscas carbonáticas provenientes del cinturón 6, wackestone y mudstone, intercaladas con limos y lutitas y algunos biohermos.

Cinturón 8 (Plataforma Marina con Circulación Restringida):

Agua someras de plataforma interna, donde la circulación es restringida, incluye agua dulce, salada e hipersalina, puede haber exposición tanto subaérea como aérea, condiciones oxidantes y reductoras en variadas zonas, vegetación marina y pantanos de agua dulce. La depositación de terrígenos transportados por el viento es común. La litología es variada, sedimentos finos como limos y lutitas intercalados con wackestone bioclásticos, areniscas litoclásticas y mudstone, “pellets” y estromatolitos.

Cinturón 9 (Plataforma evaporítica):

Zona intermareal y supramareal, ambientes de charco y supralitoral. Áreas de sabkha, salinas y llanuras saladas. Clima árido y caliente permitiendo la evaporación del flujo marino. Se forman rocas como yeso, anhídritas, estromatolitos, lodositas siliciclásticas o limos y dolomitas nodulares.

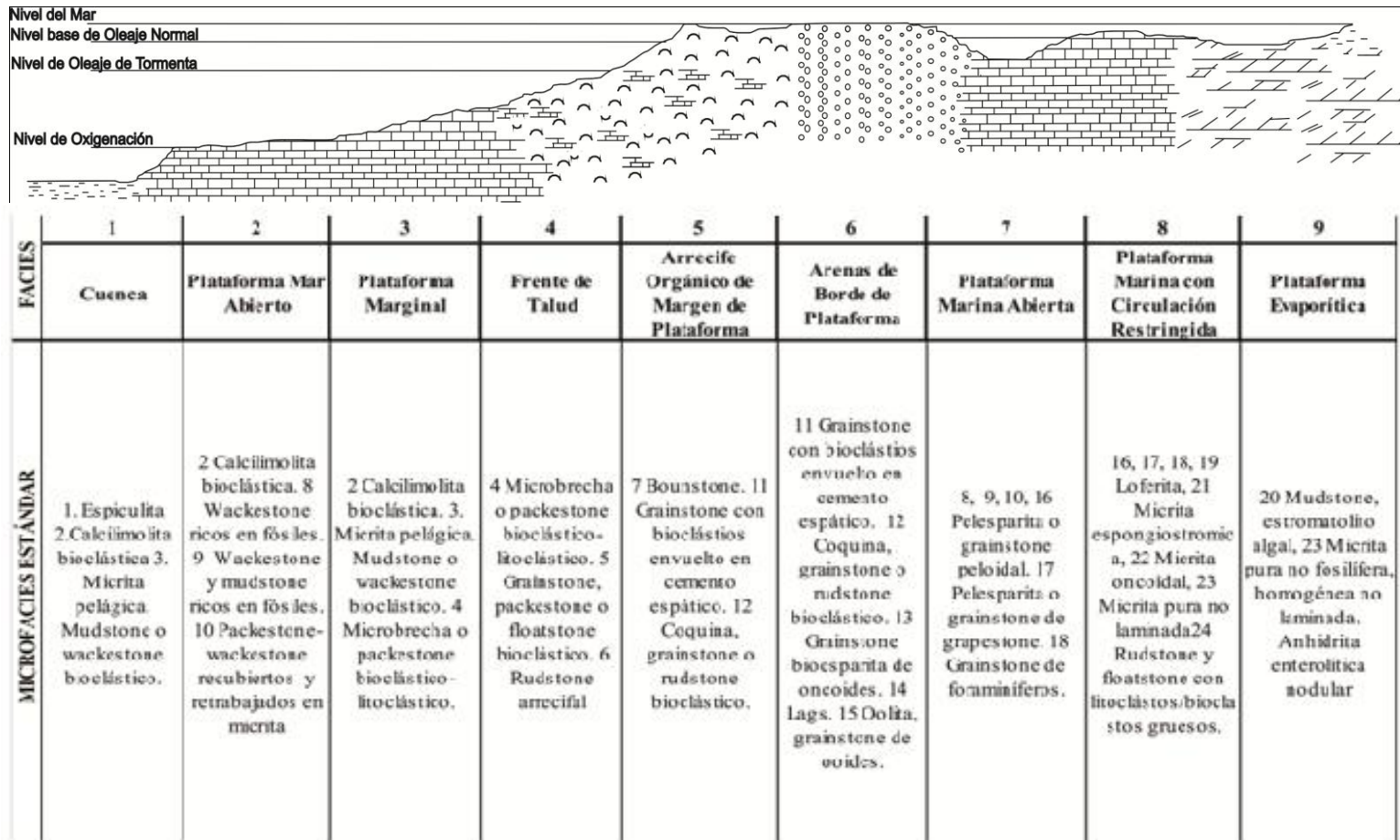


Fig. 2.9 Modelo de distribución de facies a través de los márgenes de una plataforma carbonática (Cinturones de Wilson) y 24 microfacies. Tomado y modificado de Wilson (1975)

2.2 GEOLOGÍA REGIONAL

2.2.1 Estratigrafía Regional

Formación Socorro (Mioceno Medio)

Ubicación: municipio Democracia, estado Falcón. La localidad tipo se ubica en el caserío El Socorro al sur de Urumaco. La formación se extiende hasta el oriente por el distrito Buchivacoa, en Falcón occidental y el sur de Coro, González de Juana (1980).

Descripción General: La morfología de la formación son colinas y filas alargadas. El espesor en la localidad tipo puede ser superior a los 1570m. El contacto inferior y superior en el surco de Urumaco se definió concordante y transicional a las formaciones Querales y Urumaco respectivamente, González de Juana (1980)

Descripción litológica: Está constituida por un intervalo inferior con areniscas, lutitas, margas fosilíferas y calizas, y otro superior de areniscas, turbas y lutitas laminadas, sin elementos calcáreos ni horizontes fosilíferos. La variación de facies dentro de la Formación Socorro, desde el Surco de Urumaco hacia el Alto de Coro, es de una disminución progresiva de areniscas, tanto en frecuencia como en espesor, mientras que las lutitas y los litotipos calcáreos aumentan en esa misma dirección (Williston y Nichols, 1928). En la región de Cumarebo, González de Juana (1980) describe que la Formación Socorro está compuesta por arcillas laminadas y margas con abundantes foraminíferos, las cuales a veces presentan macrofósiles. El tramo superior, conocido como Miembro San Francisco se caracteriza por areniscas blancas de grano fino micáceas.

Correlación: Existe correlación de la Formación Socorro con la parte de la Formación Pozón de Falcón oriental (Díaz de Gamero 1985).

Paleoambientes: En general es fluvio deltaico. Al oeste del Río Mitare, la formación se depositó inicialmente en un frente deltaico, que pasa hacia arriba a depósitos de llanura deltaica con constante influencia marina al este, donde se desarrollan barras playeras y llanuras de marea. En el tope se repiten las condiciones de frente deltaico. En toda la formación son frecuentes las exposiciones subaéreas. (Díaz de Gamero, 1989).

Formación Urumaco (Mioceno Medio-Tardío)

Ubicación: estado Falcón. Se encuentra distribuida en la población Urumaco, al norte, sur y oeste de la misma. La hoja cartográfica nº 6149, escala 1:100.000, González de Juana (1980).

Descripción General: La formación Urumaco consta de una serie de largas filas y depresiones longitudinales de poca elevación. Se pueden apreciar al oeste entre los ríos Zazárida y Lagarto, al este a lo largo del río Mitare. El espesor varía a lo largo de la formación, en la sección tipo se encuentra entre 1.700 y 2000m, disminuyendo al oeste donde se intensifica la deformación y al este hacia la quebrada El Paují alcanzando 1045m. El contacto inferior con la Formación Socorro y el contacto superior con la Formación Codore es concordante y transicional (Díaz de Gamero y Linares 1989).

Descripción litológica: Los trabajos realizados por Díaz de Gamero y Linares (1989), subdividen la sección tipo en tres miembros como se describe a continuación: Miembro inferior lutítico-limoso: Formado por dos tipos de lutitas las cuales no cambian a lo largo de la formación. Las primeras son de color gris, macizas, con pocos microfósiles, son las más comunes y cuentan con mayor espesor. Las segundas

son de color marrón, laminadas, muy ricas en material vegetal fino, pueden tener presencia de carbón, principales portadoras de fósiles de vertebrados en la formación. Entre las estructuras sedimentarias característica se observan concreciones, costras ferruginosas intercaladas con delgadas capas de areniscas o niveles ferruginosos. Las limolitas son muy bioturbadas, con concreciones ferruginosas y madrigueras con alguna laminación paralela.

Miembro medio lutítico-arenoso-calcáreo: Varían de areniscas fosilíferas hasta calizas coquinoideas consolidadas arenosas, bioturbadas, con concreciones ferruginosas y costras ferruginosas en el tope de las capas. Las areniscas hacia la parte inferior del miembro, son de grano fino a medio, friables, masivas, presentan estratificación cruzada planar y festoneada a gran escala.

Miembro superior lutítico-arenoso: Las lutitas son más abundantes hacia la parte superior, de color gris y limosas están intercaladas con delgadas areniscas con costras de oxidación y niveles carbonosos. Presenta un cambio lateral a condiciones más marinas.

Fósiles: El contenido fósil predominante es de conchas de moluscos, principalmente bivalvos, con grandes tamaños. Los microfósiles son escasos en la formación, sin embargo, hay un importante contenido de vertebrados fósiles, tales como peces, cocodrilos, tortugas, roedores gigantes, entre otros.

Correlación: La Formación Urumaco se correlaciona con la Formación Caujarao, aunque Díaz de Gamero y Linares (1989) en un trabajo inédito afirman que la equivalencia entre la Formación Caujarao sólo corresponde al miembro medio de la Formación Urumaco.

Paleoambientes: El régimen de sedimentación es principalmente transgresivo, donde se ubican un grupo de ambientes marginales y próximos costeros, permitiendo el desarrollo de lagunas amplias y bahías semiprotegidas por barreras litorales (Díaz de Gamero y Linares, 1989).

Formación Caujarao (Mioceno Medio a Plioceno Temprano)

Ubicación: estado Falcón, municipio Miranda. La formación se extiende desde Sabaneta hasta Tocópero por el este, la localidad tipo se ubica en la sección del río Coro, González de Juana (1980).

Descripción General: El espesor en la localidad tipo es de 1220m aproximadamente, los cuales se distribuyen en el miembro Muaco 646m, el miembro Mataruca 331m y el miembro Taratara 245m. El contacto inferior con la formación Socorro es concordante y transicional y el contacto superior con la formación La Vela es Concordante, González de Juana (1980).

Descripción litológica: La formación está constituida por una intercalación de lutitas arcillosas, margas y calizas fosilíferas, a veces capas de areniscas de grano fino. En la localidad tipo la unidad se subdivide en tres miembros; el miembro inferior Muaco, arcilloso, intercalado de calizas y margas fosilíferas y en menor cantidad arenas de grano fino friables. El miembro intermedio Mataruca de calizas nodulares margosas y fosilíferas, intercaladas con lutitas y margas fosilíferas y arenas calcáreas y el miembro superior Taratara arcilloso y lutítico microfosilífero (Petzall, 1959; Vallenilla, 1961).

Esteves y Villalta (1989) describen hacia Sabaneta una región caracterizada por areniscas calcáreas distribuidas hacia la base y el tope, en el medio de la secuencia encuentran calizas y en la parte inferior limolitas calcáreas y niveles carbonosos

Correlación: La Formación Caujarao en su localidad tipo y hacia el oeste se corelaciona con la Formación Urumaco. Por el este desde Sabaneta se mantiene hasta el contacto con la estructura de La Vela de Coro (Díaz de Gamero y Linares, 1989).

Paleoambientes: De acuerdo a Wozniak y Wozniak (1989) la localidad tipo está controlada por ambiente de plataforma con influencia a veces más marina. Esteves y Villalta (1989) definen para el oeste un ambiente de complejo próximo-

costero, conformado por laguna, isla de barrera y playa, con aporte limitado de clásticos.

2.2.2 Marco estructural regional

Existen tres diferentes teorías acerca del origen de la cuenca de Falcón, estas son una cuenca Pull-apart, un colapso orogénico y un rifting. Muchos autores han propuesto diversos modelos para explicar la formación de la misma, lo cual señala que no existe una unificación de criterios entre ellos. En la actualidad sigue siendo un tema de debate. A continuación se describe brevemente el principio de cada una de estas teorías.

Modelo del Pull-apart

Propuesta por Muessig (1984), Boesi y Goddard (1987) y Macellari (1995). Mencionan que la génesis de la cuenca de Falcón pudo deberse en parte al contacto entre la placa Sudamericana y la placa del Caribe, a su vez, en el Terciario Inferior fallas de movimiento transcurrente dextral (dirección E-W), estos factores originaron la hipótesis de que Falcón es una cuenca del tipo Pull-apart; como resultado tres sistemas estructurales se crearon simultáneamente: origen de fallas normales de rumbo norte-noreste hacia el sector norte de la cuenca; además, pliegues paralelos de gran longitud de orientación este-noreste, hacia el centro de la cuenca; el tercer sistema son fallas transcurrentes dextrales de rumbo E-W en el Eoceno Tardío.

Modelo del orógeno en flotación

Propuesta por Porras (2000). La cuenca de Falcón-Bonaire fue formada por colapsos orogénicos internos dentro de una cuenca detrás de arco, en orógenos en flotación; estos chocaron oblicuamente con la placa Sudamericana (extremo noroccidental), desde el Cretácico Tardío hasta el Mioceno Temprano. Se genera una sutura diacrónica comenzando desde el oeste pasando luego hacia el este durante este tiempo. En el Mioceno Medio, a causa de la orogénesis andina comenzó una fase compresiva, creando una inversión tectónica; se originaron fallas lístricas durante el progreso del frente de deformación compresivo generando desestabilización de los taludes (Fig. 2.10).

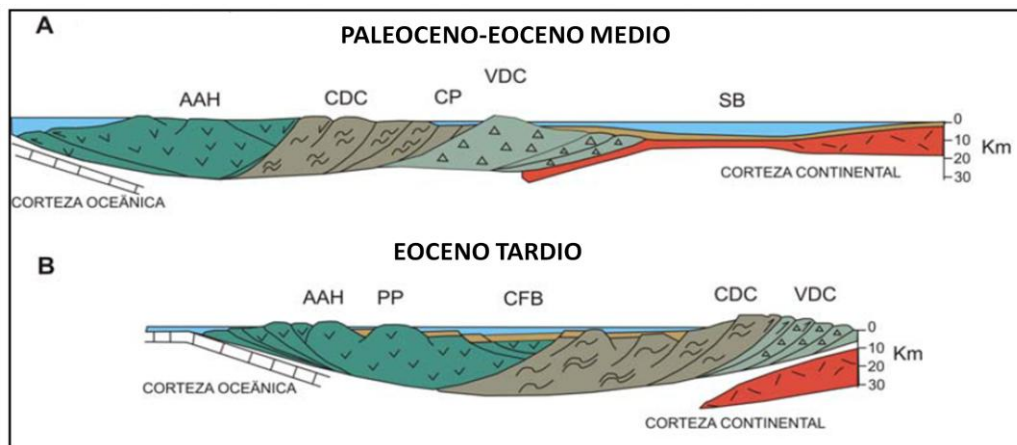


Fig. 2.10 Modelo del orógeno en flotación para la cuenca Falcón-Bonaire. AAH: alto de las Antillas Holandesas; CDC: terrenos de la Cordillera de la Costa; CP: cuenca retroarco de Paracotos; VDC: arco de islas de Villa de Cura; SB: surco de Barquisimeto; PP: alto de Paraguaná; CFB: sedimentación marina en el centro de la cuenca y continental. Tomado y modificado de Porras (2000).

Teoría del Rifting

Audemard (1995), apoya la teoría del Rifting; señalan que en el Oligoceno-Mioceno inferior ocurre una fase distensiva mayor, cuyo esfuerzo mínimo está orientado N150°, este es responsable de la estructuración de la cuenca, genera una fosa estrecha y alargada de dirección E-W. La cuenca de Falcón presenta una geometría de graben alargado limitado por fallas normales de buzamiento opuesto y centrípeto, este evolucionó por el ensanchamiento del rift, a su vez, adelgazamiento cortical permitió la intrusión de coladas basálticas.

La cuenca de Falcón comienza a cerrarse en el Mioceno Temprano - Medio, este cierre es generado en tres etapas diferentes: 1) inversión tectónica (Mioceno Medio-Superior) caracterizada por esfuerzos subhorizontales, estructurando la cuenca de Falcón en un gran anticlinorio y formando el plegamiento general de la cuenca (pliegues cilíndricos orientados WSW-ENE); compresión Mio-Pliocena, en esta fase tectónica el surco de Urumaco fue invertido probablemente por la compresión asociada a la transurrencia dextral del sistema de fallas Oca-Ancón; la compresión Plio-Pleistocena, caracterizada por esfuerzos máximos en el cuadrante NW, generando los siguientes patrones: Sistema NW-SE fallas de la costa oriental con movimiento transcurrente dextral, sistema NNW-SSE fallas normales, sistema N-S a NNE-SSW fallas de movimiento transcurrente sinistral, cabalgamiento Chuchure de dirección ENE-WSW y sistema de fallas Oca-Ancón de dirección E-W con un movimiento dextral compresivo.

2.2.3 Geología Histórica Regional

La geología histórica de la cuenca de Falcón ha sido interpretada de varias formas. Muessig (1984) plantea que el basamento consiste en rocas graníticas, de edad Pre-Cretácico. Boesi y Goddard (1987) plantean la existencia de rocas carbonáticas de edad Cretácico hacia la parte basal. Quizá una de las interpretaciones mejor sustentadas es la planteada por Audemard (1995). Se basa en las intrusiones basálticas para elaborar un modelo que tiene un proceso de rifting por adelgazamiento cortical como el formador de la cuenca de Falcón. La apertura se inicia de este a oeste, y se acentúa en el Oligoceno-Mioceno, por lo que la depositación se inicia con la Formación Cerro Misión, la cual es de edad Eoceno y se encuentra limitada al margen sureste de la cuenca.

Derivado de esta apertura en sentido este-oeste, se tiene que la invasión marina de la cuenca progresa también en ese sentido, subordinando las depositaciones posteriores. Evidencia de esto es la depositación de las facies marinas profundas de la Formación Pecaya, las cuales pasan a series con mayor aporte clástico (formaciones Paraíso y Castillo) y finalmente a calizas de plataforma. Posterior a las intrusiones basálticas se produce subsidencia termal, la cual permite la depositación de la Formación Agua Clara, la cual, coincidiendo con el modelo establecido, presenta facies más profundas hacia el este. Esta sedimentación marina corresponde a la colmatación de la cuenca.

Durante el límite Mioceno Temprano-Mioceno Medio ocurre un proceso de inversión tectónica en la cuenca de Falcón, debido muy probablemente al levantamiento andino, el cual estructura la cuenca en un gran anticlinorio. Consecuencia inmediata de esto es la migración de la depositación hacia el norte: al existir levantamiento hacia el sur, el único espacio disponible para el acomodo de sedimentos es precisamente hacia el norte. De la surrección derivada de este cambio de régimen también se deriva que la depositación que se lleva a cabo durante el

Mioceno medio-Mioceno Superior sea, hacia el oeste, menos marina que la anterior (Formación La Puerta Inferior, de origen deltaico), mientras que hacia el este, debido a la configuración heredada de la cuenca, se tiene aun sedimentación marina (Grupo Agua Salada).

Durante el Mioceno Tardío-Plioceno, continúa la surrección de la cuenca, por lo que la depositación ocurre de manera discordante sobre los conjuntos anteriores. La discordancia no aflora en la zona de Falcón norcentral, probablemente porque la deformación migra de sur a norte. Sin embargo la discordancia aflora en la plataforma de Dabajuro (La Puerta Superior sobre La Puerta Inferior), y al este de Falcón (Punta Gavilán sobre Agua Salada). Audemard (1995) plantea que este régimen compresivo continúa actualmente levantando el anticlinal de La Vela, basada esta observación en la ubicación de rocas de playa en la costa falconiana.

CAPÍTULO III

GEOLOGÍA LOCAL

3.1 GEOLOGÍA LOCAL

Formación Socorro

La Formación Socorro aflora a todo lo largo en la parte meridional de la zona de estudio en forma de franja con dirección NE-SW. La unidad litológica está compuesta principalmente de areniscas de grano fino, limolitas, lutitas, calizas, carbón y escasos conglomerados. La diferencia de litologías origina una morfología de relieve de cuesta, con filas alineadas, como la fila el Capote (Esteves y Villalta 1989).

- *Descripción Litológica:* Saavedra y Vélez (1987) describen en la parte inferior de la secuencia areniscas de grano fino intercaladas con lutitas y limolitas. En la parte intermedia y superior hay disminución de las lutitas y un notable aumento de las areniscas en proporción y espesor.

Las areniscas a veces son limosas, friables de colores claros de crema que meteorizan a pardo rojizo o negro. Los paquetes pueden alcanzar hasta 6.6m de espesor con espesores individuales variables entre 0,1 a 1,5m (De Santis y Parra 1985). El contacto inferior del paquete suele ser abrupto definido por una costra de óxido de unos 10cm de espesor. Algunas presentan bivalvos de 1cm de diámetro y nódulos de 3cm de diámetro.

Las limolitas son generalmente jarosíticas y yesíferas, masivas, de color fresco gris oscuro que meteorizan a gris claro o verdoso. Paquetes con espesores entre 1 a 4m y espesores individuales entre 0,1 y 1,4m interestratificadas con lutitas.

Las lutitas son de color gris a gris claro, meteorizando a pardo oscuro grisáceo. Son físciles, jarosíticas o yesíferas, con nódulos de 3cm de diámetro. El

espesor es variable de unos 10cm hasta paquetes de 20m. En la parte inferior y superior se encuentran lutitas carbonáceas interestratificadas con capas de carbón de espesores variables entre 10cm a 40cm. Presencia escasa de lutitas marrones, los mayores espesores afloran hacia el tope de la secuencia alcanzando entre 10 y 30cm.

Las calizas descritas por Esteves y Villalta (1989) en la parte inferior de la secuencia y en menor cantidad hacia la parte superior; son de color fresco gris y color meteorizado pardo amarillento con abundantes fósiles como pectenés, otras clases de bivalvos, gasterópodos y ostras. Los espesores varían entre 70cm y 2m.

- *Estructuras Sedimentarias:* Las estructuras sedimentarias comunes para esta secuencia son estratificación cruzada planar y paralela, laminación paralela, rizaduras de corriente, estratificación festoneada y lenticular, madrigueras y bioturbaciones, nódulos y concreciones.

- *Contacto:* El contacto inferior con la Formación Querales es concordante transicional definido por Esteves y Villalta (1989) en la base de la primera caliza bioturbada y fosilífera propia de la Formación Socorro. El contacto superior con la Formación Urumaco es concordante y transicional definido por Saavedra y Velez (1987) por el último espesor de potentes areniscas propias de la Formación Socorro; mientras que el contacto entre Socorro y Caujarao representa la transición la transición de una sección arenosa a una sección calcárea, definido por Esteves y Villalta (1989) en la base de una caliza con ostras.

- *Ambientes Sedimentarios:* Los ambientes sedimentarios de la formación sin próximo costero con variaciones entre lagunas, barreras y playas.

- *Edad:* Los autores coinciden que la Formación Socorro se depositó en el Mioceno Medio.

Descripción Petrográfica

En la Formación Socorro se reconocieron cinco (5) tipos de carbonatos de mezcla correspondiente a las 13 secciones finas ubicadas en ella; la arenisca micrítica en un 31,1%, micrita arenosa en un 31,1%, caliza aloquímica arenosa en un 15,4%, lodolita micrítica en un 15,4% y micrita lodosa en un 7%. Las características de cada tipo de roca son descritas en detalle en la sección 4.1.2.

Formación Urumaco

La Formación Urumaco aflora en la parte noroccidental de la zona de estudio en una franja con dirección aproximada este-oeste y espesores que varían a todo lo largo. La topografía se caracteriza por relieves de cuesta. La sección está formada por una secuencia esencialmente lutítica intercalada con arenas, limolitas y algunas calizas dividiendo la formación en 3 miembros informales: un miembro inferior lutítico-limoso, el miembro medio lutítico-arenoso-calcáreo y el miembro superior lutítico-arenoso (Saavedra y Velez, 1987).

- *Descripción Litológica:* El miembro inferior lutítico-limoso está constituido por la intercalación de lutitas y limos con ocasionalmente capas de areniscas y escasos niveles de calizas conchíferas. El espesor máximo es de 300m disminuyendo hacia el este. Las lutitas varían en espesor de 50cm a 7m, de colores grises y marrones que meteorizan a marrón claro, tonos azulados y rojizos. Las lutitas marrones son laminares y no alcanzan espesores mayores a 2m. Ambos tipos son yesíferas intercaladas con delgados espesores de areniscas.

Las limolitas son de colores grisáceos y meteorizan a gris y pardo claro. Espesores variables de 30cm a 8m. Presentan costras de oxidación. Las areniscas son de color pardo a gris claro meteorizando a pardo amarillento y oscuro. El espesor varía de 5cm a 10cm. Las calizas son escasas encontradas generalmente en la parte inferior del miembro y varían de areniscas calcáreas muy friables de poco espesor a

coquinas, son de color pardo, meteorizando a pardo oscuro-rojizo, son comunes fósiles de pecten y ostrea, *turritella sp.* y otros tipos de bivalvos.

El miembro intermedio lutítico-arenoso-calcáreo constituido por intercalaciones de coquinas, arenas y potentes espesores de lutitas marrones y azules tiene un espesor de 1.353m. Sin embargo, este miembro no aflora hacia el este de la sección debido a la disminución lateral de los espesores. Las lutitas y limolitas mantienen las mismas características de la unidad anterior, con variación de tonalidades más oscuras en los colores. Las lutitas grises son más fosilíferas, presentan nódulos y capas delgadas de carbón; las lutitas marrones se caracterizan por tener macrofósiles de cocodrilos, tortugas, roedores y edentados.

Las calizas son las más abundantes en este miembro, con espesores de 50cm a 4m y color fresco pardo y ocre meteorizando a rojo o negrusco. Varían de areniscas fosilíferas a calizas bien consolidadas. Abundante variedad de fósiles, fragmentados embebidos en una matriz arenosa.

Las areniscas se diferencian en tres tipos: 1) areniscas de grano fino a medio, masivas y friables, de color pardo claro meteorizando a ocre, con espesores que varían de 2m a 10m. 2) areniscas de muy fino, masivas y laminares, grises que meteorizan a pardo claro u oscuro, con espesor promedio de 3m y 3) las areniscas de grano fino, friables, de colores claros de beige con espesores menores a los 3m. Las areniscas se vuelven más frecuentes, aumentando su proporción y variedad a comparación del miembro inferior.

El miembro superior lutítico-arenoso, no presenta litotipos carbonáticos y tiene un espesor de 420m. Las lutitas son grises meteorizando a tonos azulados y pardo rojizos con espesores de 6m en la base, disminuyendo a 1m y 2m hacia el tope. Son yesíferas, con niveles de carbón, costras superficiales de óxido de hierro e intercalaciones de capas delgadas de areniscas.

Las areniscas son de grano fino, tienen espesores entre 3m y 7m disminuyendo en proporción al miembro suprayacente. Son micáceas de color gris y

pardo claro meteorizando a crema, ocasionalmente yesíferas. Son friables, tornándose limosas hacia el tope de la secuencia, intercalándose con estratos de limos y lutitas de 5cm a 50cm de espesor.

- *Estructuras sedimentarias:* Se presentan estructuras como, laminación y estratificación paralela, laminación flaser y lenticular, rizaduras y laminación convoluta, nódulos de hierro, madrigueras y bioturbación.
- *Contactos:* De Santis y Parra (1985) definen el contacto inferior con la Formación Socorro concordante transicional, marcado por la primera capa de coquina. Y el contacto superior con la Formación Codore lo definen como transicional concordante marcado por la primera capa de arenisca conglomerática.
- *Ambiente sedimentario:* Deltaico progradante con avance en dirección noroeste, predominado por ambientes próximos costeros.
- *Edad:* Mioceno medio a tardío. Equivalente lateral en edad a la Formación Caujarao, sin embargo los contactos inferiores y superiores son ligeramente mas jóvenes que Caujarao.

Descripción Petrográfica

En la Formación Urumaco se reconocieron cinco (5) tipos de carbonatos de mezcla correspondiente a las 41 secciones finas ubicadas en ella; la micrita arenosa en un 44%, arenisca micrítica en un 17%, caliza aloquímica arenosa en un 17%, arenisca aloquímica en un 17% y lodolita micrítica en un 5%. Las características de cada tipo de roca son descritas en detalle en la sección 4.1.2.

Formación Caujarao

La Formación Caujarao se extiende como una franja de oeste a este. La unidad litológica está compuesta generalmente por calizas, areniscas y lutitas de bajo buzamiento que definen topográficamente un relieve de cuesta.

- *Descripción Litológica:* Esteves y Villalta (1989) describen una secuencia de areniscas calcáreas, areniscas, calizas, lutitas, limolitas calcáreas y capas de carbón. Las areniscas calcáreas ubicadas en la base y tope de la secuencia presentan espesores que varían entre los 10cm hasta 2 m, es posible ubicar paquetes de 3m con capas de 10 a 20 cm. Las areniscas calcáreas son de color fresco marrón y el meteorizado es pardo amarillento, en la sección son mayoritariamente de grano fino, localmente se pueden ubicar niveles de grano medio a grueso, presentan conchas de ostreas, gasterópodos, pectenés y *Amusiu sp.*

Las areniscas son de color gris que meteorizan a pardo, de grano fino, bien escogidas, se presentan en capas individuales hasta de 2m, y forman paquetes de 15 m de espesor que culminan en calizas, dentro de estos paquetes las capas están siendo separadas por superficies de óxido de hierro, además se encuentran intercaladas por lutitas en capas de 2 a 4 cm.

Las calizas se describen en la parte media de la sección litológica, son de color gris y meteorizan a pardo oscuro y gris, su espesor varía entre 0.5 a 2.5 m, la cantidad de fósiles en ciertos niveles forman bancos de ostreas y bivalvos, el contacto es abrupto con las lutitas y transicional con las areniscas infrayacentes. Las lutitas se presentan en toda la secuencia en donde varía su espesor de 2 cm a 30m, son de color gris y marrón, fósiles, yesíferas o jarosíticas, localmente se han descrito lutitas calcáreas con fragmentos fósiles marinos y lutitas con nódulos de óxido de hierro, las lutitas jarosíticas se encuentra intercaladas con láminas de carbón.

Las limolitas calcáreas son de color de pardo anaranjado que meteoriza a ocre, en la unidad solo se observaron dos capas de 50 cm y con fragmentos de fósiles marinos. Las capas de carbón varían su espesor de láminas hasta 70 cm

- *Estructuras sedimentarias:* Las estructuras sedimentarias descritas para esta secuencia son laminación paralela, estratificación cruzada festoneada, laminación y estratificación planar de bajo ángulo, gradación, bioturbación observándose tubos paralelos y perpendiculares a la estratificación, presencia de icnofósiles “*Ophiomorpha nodosa*”, nódulos de limolita y yeso.

- *Contactos:* El contacto inferior con la Formación Socorro es transicional y concordante, definiéndose la caliza fosilífera bioturbada con abundantes ostras la base de la unidad y el inicio de un ciclo sedimentario en donde predomina la caliza sobre las areniscas. El contacto superior es transicional y concordante con la Formación Codore, siendo la base de la capa de arcillita abigarrada el tope de la Formación Caujarao.
- *Ambiente sedimentario:* La Formación Caujarao se depositó en un ambiente próximo costero, conformado por lagunas, islas de barrera y playa transicionalmente con Socorro.
- *Edad:* Mioceno Medio a Tardío.

Descripción Petrográfica

En la Formación Caujarao se reconocieron cinco (5) tipos de carbonatos de mezcla correspondiente a las nueve secciones finas ubicadas en ella; arenisca micrítica en un 33,3%, caliza aloquímica arenosa en un 22,2%, caliza aloquímica lodosa en un 22,2%, arenisca aloquímica en un 1,5% y micrita arenosa en un 1,5% igualmente. Las características de cada tipo de roca son descritas en detalle en la sección 4.1.2.

3.2 RECOPIACIÓN CARTOGRÁFICA Y BIBLIOGRÁFICA DE LA ZONA

A partir de la recopilación cartográfica y bibliográfica de los trabajos previos realizados en la zona de estudio se elaboraron 3 mapas geológicos a escala 1:25.000 donde se ubicaron las muestras usadas, así como la unificación de información geológica de la zona. Se usó la base topográfica del (IGVSB) Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar, hojas a escala 1:25.000 que posteriormente fueron digitalizadas con el programa ArcGis 9.3®. El resultado final se encuentra en el Anexo I. A continuación se describe brevemente las características de cada hoja.

Hoja I: correspondiente a la zona tipo de la Formación Urumaco está localizada al oeste de la zona de estudio. Corresponde al mapa geológico y de muestras del trabajo realizado por Saavedra y Vélez (1987). En esta hoja se ubicaron las muestras tomadas de este trabajo y se indican con la nomenclatura *número-86*.

Distribución de los cuerpos

Las formaciones presentes en orden estratigráfico corresponden a Socorro, Urumaco, Codore y San Gregorio las cuatro formaciones son alargadas y se encuentran orientadas paralelamente es sentido oeste-este. La Formación Urumaco abarca cerca del cincuenta por ciento de la hoja y tiene una litología característica compuesta por variaciones entre lutitas, limolitas, arenas y calizas. Las formaciones Socorro y Urumaco presentan a todo lo largo de la hoja fallas de rumbo paralelas con una orientación aproximada N-S que desplazan los cuerpos interrumpiendo la continuidad de las franjas.

Topográficamente la hoja I se caracteriza por presentar un relieve bajo, compuesto por cerros con alturas entre los 50m y 150m ubicados hacia la parte sur de la zona y extensas planicies ubicadas hacia el norte.

El fallamiento característico es de rumbo en sentido sinistral y dextral consecutivamente; la falla principal ubicada al noreste de la zona es la Falla de Urumaco, es una falla de rumbo en sentido sinistral con dirección N15W aproximadamente la cual desplaza las formaciones Socorro y Urumaco hacia la izquierda.

Hoja II: localizada en la parte central de la zona de estudio, ubicada en la región de Sabaneta estado Falcón, corresponde a la compilación realizada del trabajo

de De Santis y Parra (1985) y Graterol y Orihuela (2004). Se señalan las muestras tomadas del trabajo de De Santis y Parra con la nomenclatura *número-85*.

Distribución de los cuerpos

Las formaciones presentes en orden estratigráfico corresponden a San Luis, Cerro Pelado, Querales, Socorro, Urumaco – Caujarao y Codore. Las formaciones son marcadas en franjas paralelas con orientación aproximada N15E. Las formaciones Socorro y Urumaco abarcan el setenta por ciento de la hoja, la Formación Socorro litológicamente se caracteriza por ser lutítica arenosa, mientras que la Formación Urumaco se caracteriza por tener una litología principalmente limosa-arenosa-calcárea.

Topográficamente la zona es de relieve alto, cerros hacia el norte con altura entre 50m y 300m y hacia la zona sureste de la hoja se presenta un gran anticlinal correspondiente a una parte del cerro Abajo de Sabaneta el cual tiene altura de 900m.

El fallamiento principal está marcado por una falla de rumbo con sentido sinistral la cual atraviesa la zona oeste de la hoja en dirección N25W y desplaza las formaciones Cerro Pelado, Querales, Socorro, Urumaco y Codore.

Los contactos litológicos señalados en los trabajos previos en esta zona no guardan ninguna correspondencia entre ellos. Mediante la digitalización de las hojas se logró unificar los criterios de los autores, haciendo uso de la ubicación de las muestras, respetando la topografía y las estructuras presentes en la zona, con la finalidad de obtener la geología más acertada posible.

Hoja III: se ubica al este de la zona de estudio, ubicada entre las quebradas Agua Viva y Saltadero. Corresponde a la compilación realizada del trabajo de Esteves y Villalta (1989) y Graterol y Orihuela (2004). Se marcan las muestras tomadas del trabajo de Esteves y Villalta con la nomenclatura *número-89*.

Descripción de los cuerpos

Las formaciones reconocidas en orden estratigráfico corresponden a San Luis-Patiecitos, Guarabal, Querales, Socorro, Caujarao y Codore. Las formaciones se presentan en forma de franjas angostas con dirección N35E. Las formaciones Socorro y Caujarao abarcan el setenta por ciento. Litológicamente la Formación Socorro se caracteriza por ser lutítica-arenosa con algunas calizas, mientras que la Formación Caujarao se caracteriza por la presencia de calizas, arenas y limo.

Topográficamente es una zona de relieve alto, con pequeños cerros hacia la parte norte con alturas entre 100m y 300m, mientras que la parte sur está marcada por un gran anticlinal que alcanza alturas hasta los 700m, correspondiente al cerro Los Coloraditos.

El fallamiento no es tan marcado en esta hoja, pero los plegamientos de tipo anticlinales son bastante comunes a todo lo largo de la zona sur.

Los contactos litológicos fueron obtenidos a partir de la unificación de los trabajos realizados previamente; al igual que en la hoja II no se presentó correspondencia entre los contactos señalados por autores. Mediante la ubicación de las muestras en la base topográfica y empleando el mapa realizado por Esteves y Villalta (1989) se logró definir los límites entre las formaciones, logrando así la geología más coherente.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 CLASIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS MEDIANTE ESTUDIO PETROGRÁFICO

Posterior a la realización del estudio petrográfico detallado a las 63 muestras, donde se analizaron las características texturales y genéticas, se procedió a darle nombre a cada una de estas muestras, de acuerdo a los sistemas de clasificación propuestos por Mount (1985), Dunham (1962) y Folk (1959); a partir de allí se realizaron una serie de comparaciones y descripciones detalladas de cada litotipo. La información detallada de cada muestra se encuentra en las tablas petrográficas, AnexoII.

4.1.1 Comparación entre la clasificación de las muestras propuestas por los autores y resultados obtenidos

Al comparar la clasificación asignada a las muestras de los trabajos previos usados con los resultados obtenidos en el estudio petrográfico de las mismas se pudieron observar las siguientes características.

Esteves y Villalta (1989) clasifican las muestras de areniscas según Pettijohn, Potter y Siever (1972) y las muestras de carbonatos únicamente según Dunham (1962). Las muestras: 327-89, 42-89, 337-89 y 155-89 son clasificadas como areniscas dándoles el nombre de waca cuarzosa calcárea debido a que el porcentaje de extraclásticos es de un 40% a 45% por lo tanto le dan la connotación de arenisca y el sufijo “calcárea” debido a que los componentes calcáreos superan un 15%. Debido a este porcentaje de carbonatos no se toman como areniscas puras y se clasifican como rocas híbridas.

El resto de las muestras presentan un 100% de correspondencia en la clasificación dada por los autores y la presentada en este trabajo. Destacando que los autores asignan el sufijo “arenoso” cuando los extraclastos superan el 15%, lo que en el actual trabajo se referiría a calizas sucias o rocas híbridas.

Saavedra y Vélez (1987) clasifican las areniscas según Pettijohn, Potter y Siever (1972) y los carbonatos según Dunham (1962). Consideran como waca cuarzosa calcárea la muestra 115-86 y como waca lítica calcárea las muestras 125-86 y 128-86, debido a poseer un porcentaje de extraclásticos entre los 40% y 45%. Las denominan a su vez “calcáreas” porque poseen un porcentaje de carbonatos mayor a un 15%, por lo tanto no coinciden con la clasificación dada en este trabajo ya que aquí son tomadas como carbonatos de mezcla.

Se presenta un 94% de correspondencia entre los resultados obtenidos en los trabajos previos y el arrojado por el estudio petrográfico aquí realizado, los nombres dados a las rocas de acuerdo a la clasificación de Dunham (1972) coinciden, a excepción de la muestra 72-86, la cual de acuerdo a Saavedra y Vélez la consideran como un Packestone pero en el presente trabajo se clasifica como Wackestone por tener lodo en sus componentes.

De Santis y Parra (1985) de igual forma clasifican las areniscas según Pettijohn, Potter y Siever (1972) y los carbonatos según Dunham (1962). Denominan Waca lítica calcárea dolomitizada muestras como por ejemplo 109-85 y 320-85 cuando en el presente trabajo rocas con esas características se clasifican como mudstone por tener cerca de un 10% de aloquímicos, un 45% de extraclásticos y un 40% de matriz principalmente. Solo presenta coincidencia con el presente trabajo, las muestras 136-85, 238-85 y 340-85, clasificadas como “wackestone” y “packestone” las dos últimas, por lo tanto se puede decir que hay muy poca correspondencia entre la clasificación dada a las rocas en el trabajo de los autores y el presente trabajo, de

esto se puede inferir al criterio empleado para la descripción petrográfica y la clasificación.

4.1.2 Descripción por tipo de roca de acuerdo a los nombres propuestos para carbonatos de mezcla por Mount (1985)

Al clasificar las 63 muestras haciendo uso del sistema binario propuesto por Mount (1985) se reconocieron en las formaciones Socorro, Caujarao y Urumaco siete (7) tipos de rocas distintas. A continuación se describen a detalle las características petrográficas de cada una de ellas siguiendo el esquema presentado por Zapata “et al.” (2001).

a) Micrita Arenosa:

Representa el 37% de la totalidad de las muestras estudiadas, corresponde a 23 secciones finas localizadas en las 3 formaciones. Figuras 4.1 y 4.2.

Nombre asignado según la clasificación de otros autores:

De acuerdo a Dunham (1962) puede pertenecer también al grupo de los: “mudstone” o “wackestone”.

De acuerdo a Folk (1959) puede ser también una: Intramicrita y biomicrita.

Caracterización petrográfica:

- Textura: Granular, limosa y algunas veces arenosa, inmadura con un buen escogimiento en el 70% de los granos.
- Extraclastos: Generalmente con altas cantidades entre 25-45%, de tamaño limo en su mayoría (0,004-0,0625mm), principalmente de composición cuarzosa, seguido por menores cantidades de fragmentos de rocas sedimentarias y chert, feldespatos y accesorios de moscovita y glauconita.

- Aloquímicos: Cantidades muy bajas (5%) y las máximas alcanzan un 35%, el promedio de aloquímicos es de 20%, constituido principalmente de fragmentos de fósiles, menores cantidades de conchas de bivalvo; foraminífero y *pellets* alrededor del 3% cada uno. Los tamaños tienden a variar, pueden haber fragmentos de tamaño limo y arena muy fina (0,062-0,25) y algunos tamaño grava de hasta 9mm de largo; en general se encuentran en el rango de arena media (0,25-0,5mm) de largo.
- Ortoquímicos: La micrita se encuentre entre 20-45% siempre de forma dominante sobre el contenido de cemento que es de 15-40% y a veces suele estar ausente. El óxido de hierro se ve asociado a las cantidades de lodo carbonatico y la cementación puede ser de tamaño pseudoespato y menor cantidad de pseudoespato.
- Porosidad: Puede alcanzar hasta un 10% como valor máximo, mientras que en otras muestras es casi nula. Generalmente secundaria por disolución de conchas y de matriz.

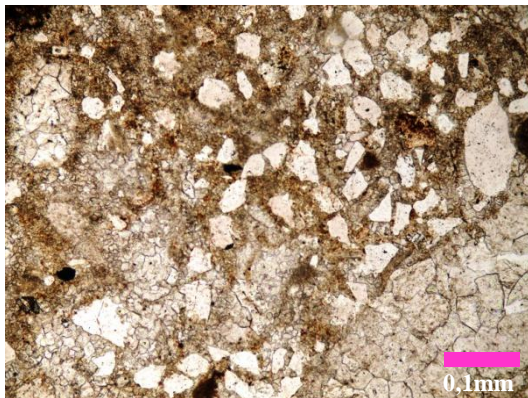


Fig. 4.1. Muestra 356-85. Micrita Arenosa. Nícoles (//), Objetivo 10X.

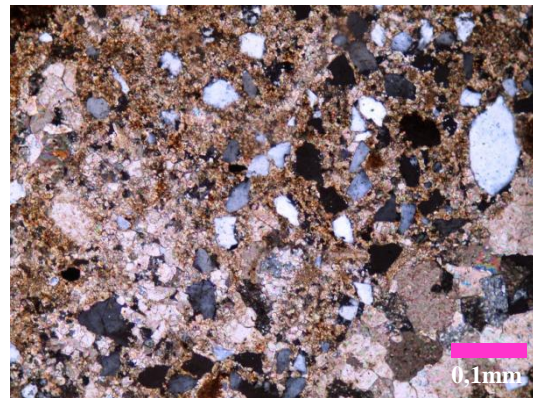


Fig. 4.2. Muestra 356-85. Micrita Arenosa. Nícoles (X), Objetivo 10X.

b) Arenisca Micrítica:

Representa el 22% de la totalidad de las muestras estudiadas, corresponde a 14 secciones finas localizadas en las 3 formaciones. En la Formación Socorro la arenisca micrítica es menos frecuente. Figuras 4.3 y 4.4.

Nombre asignado según la clasificación de otros autores:

De acuerdo a Dunham (1962) puede pertenecer también al grupo de los: “mudstone” y “wackestone”.

De acuerdo a Folk (1959) puede ser también una: Intramicrita, intraesparita, bioesparita o esparita.

Caracterización Petrográfica:

- Textura: Granular fina. El escogimiento es regular en un 50%, generalmente inmadura.
- Extraclastos: Cantidades entre 25-45%, de tamaños variados pero generalmente dentro del rango de las arenas finas (0,125-0,25mm), de composición cuarzosa por lo menos en un 20%, fragmentos de roca sedimentaria, chert y menores cantidades de fragmentos metamórficos alcanzando un 7%, feldespatos como ortosa y microclino en un 5% y accesorios en un 2% de moscovita y trazas de glauconita.
- Aloquímicos: Tienden a ser muy escasos (0-10%), tamaños variados desde limo hasta gravas, compuestos principalmente por fragmentos de fósiles y bivalvos, foraminíferos en cantidades máximas del 2% y trazas de *pellets*.
- Ortoquímicos: Cantidades bajas de lodo carbonático (5-15%), cemento pseudoespato predominante en cantidades moderadas (20-35%).
- Porosidad: Alrededor de un 3% principalmente por disolución de los componentes principales.

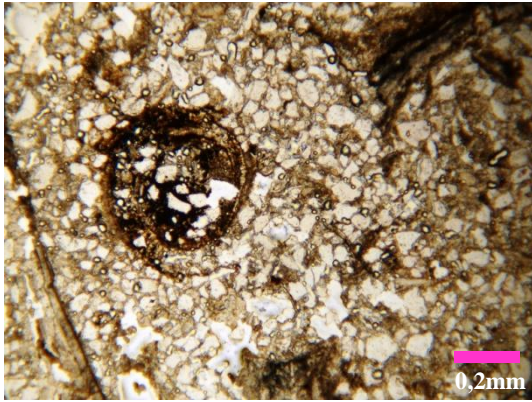


Fig. 4.3. Muestra 320-85. Arenisca Micrítica. Nícoles (//), Objetivo 4X.

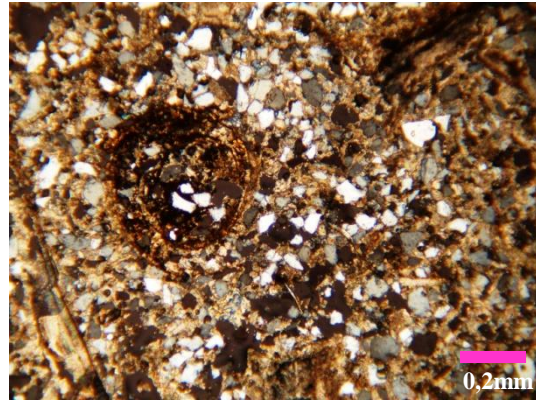


Fig. 4.4. Muestra 20-85. Arenisca Micrítica. Nícoles (X), Objetivo 4X.

c) Caliza Aloquímica Arenosa:

Representa el 18% de la totalidad de las muestras estudiadas, corresponde a 11 secciones finas localizadas en las 3 formaciones. Figuras 4.5 y 4.6.

Nombre asignado según la clasificación de otros autores:

De acuerdo a Dunham (1962) puede pertenecer también al grupo de los: “wackestone” y “packestone”.

De acuerdo a Folk (1959) puede ser también una: Intramicrita, intraesparita, y bioesparita.

Caracterización petrográfica:

- Textura: Granular gruesa, regularmente escogida, inmadura con lodo.
- Extraclastos: Cantidades entre 10-20% con tamaños variados, generalmente arena fina (0,125-0,25mm). Composición cuarzosa en un 15%, fragmentos de roca sedimentaria y chert en un 3%, feldespatos alrededor de un 2% y trazas de moscovita y glauconita.

- Aloquímicos: Abundantes entre 15% y 35%, foraminíferos pueden presentarse hasta en un 10%, fragmentos medianos de fósiles y conchas de bivalvos en un 20%, *pellets* hasta un 4%. Tamaños de arena gruesa (0,5-1mm).
- Ortoquímicos: Matriz entre 10-20%. Cemento de tipo microespato entre 25-45%.
- Porosidad: Alrededor de un 5%, intrapartícula y porosidad secundaria generada por disolución de granos y matriz.

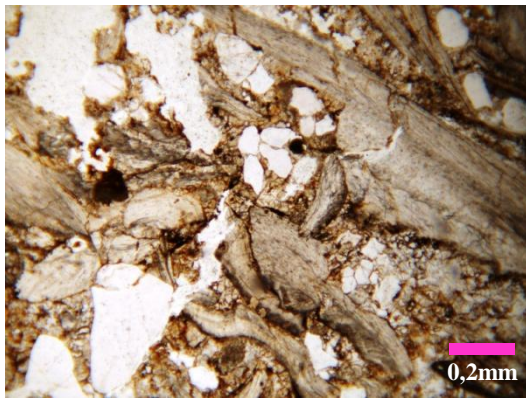


Fig. 4.5. Muestra 242-85. Caliza Aloquímica Arenosa. Nícoles (//), Objetivo 4X.

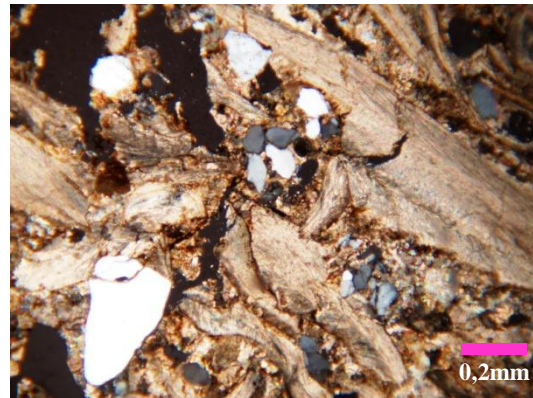


Fig. 4.6. Muestra 242-85. Caliza Aloquímica Arenosa. Nícoles (X), Objetivo 4X.

d) Arenisca Aloquímica:

Representa el 13% de la totalidad de las muestras estudiadas, corresponde a 8 secciones finas localizadas: siete (7) en la Formación Urumaco y una (1) roca en la Formación Caujarao. No se observan areniscas aloquímicas en la Formación Socorro. Figuras 4.7 y 4.8.

Nombre asignado según la clasificación de otros autores:

De acuerdo a Dunham (1962) puede pertenecer también al grupo de los: “wackestone” y “packestone”.

De acuerdo a Folk (1959) puede ser también una: intraesparita, y bioesparita.

Caracterización petrográfica:

- Textura: Granular gruesa, inmadura, escogimiento bueno en un 60% de los granos.
- Extraclastos: Abundantes, cantidades entre 30-45%, tamaños variables, generalmente arena media (0,25-0,5mm). Composición cuarzosa en un 25% de la roca. Fragmentos de roca sedimentaria y chert en un 5%, feldespatos en un 3% y accesorios de moscovita y glauconita en un 2%.
- Aloquímicos: Entre 10-15% de tamaño promedio arena muy gruesa (1-2mm), compuesto de fragmento de fósiles en un 7%, conchas de bivalvos 4%, foraminíferos en un 2% y *pellets* en un 1%.
- Ortoquímicos: El lodo carbonático es escaso con valores entre 0-15%, el cemento dominante es de tipo pseudoespatos con cantidades alrededor del 30%.
- Porosidad: Entre 5% y 10% principalmente por disolución de bioclastos y matriz.

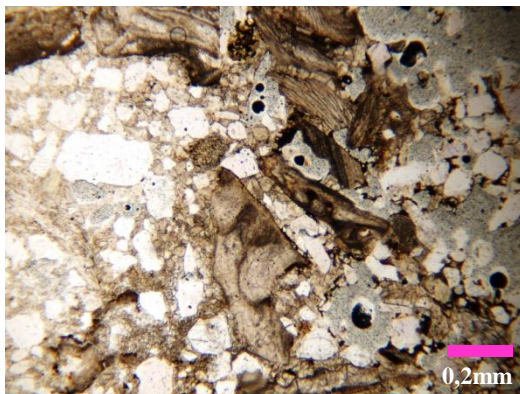


Fig. 4.7. Muestra 58A-85. Arenisca Aloquímica Nícoles (//), Objetivo 4X.

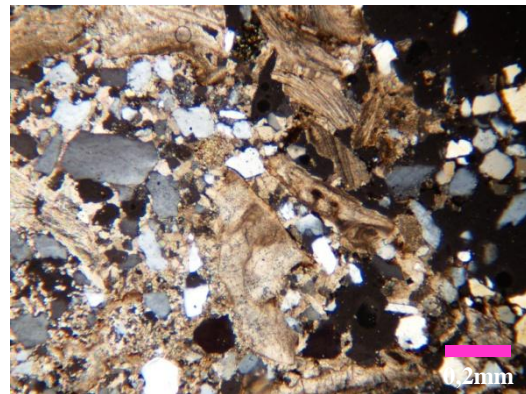


Fig. 4.8. Muestra 58A-85. Arenisca Aloquímica Nícoles (X), Objetivo 4X.

e) Lodolita Micrítica:

Representa el 6% de la totalidad de las muestras estudiadas, corresponde a 4 secciones finas localizadas 2 en la Formación Urumaco y 2 en la Formación Socorro. Figuras 4.9 y 4.10.

Nombre asignado según la clasificación de otros autores:

De acuerdo a Dunham (1962) puede pertenecer también al grupo de los “mudstone”.

De acuerdo a Folk (1959) puede ser también una: intramicrita e intraesparita.

Caracterización petrográfica:

- Textura: Lodosa, inmadura con un buen escogimiento en el 80% de los granos.
- Extraclastos: Entre 20% y 35%. De tamaños lodo y limo (<0,0625mm). De composición cuarzosa en un 25%, fragmentos de rocas sedimentarias y chert en un 3%, feldespatos en un 5% y accesorios de moscovita y biotita en un 1%.
- Aloquímicos: de 3-10% principalmente de conchas de bivalvos y fragmentos pequeños de fósiles. A veces 1% de foraminíferos y trazas de *pellets*.
- Ortoquímicos: Matriz de 10-20%. Cemento de microespato entre 30% y 40%.
- Porosidad: Alrededor de un 3%, puede ser menor, ocasionada por la disolución de granos y matriz.

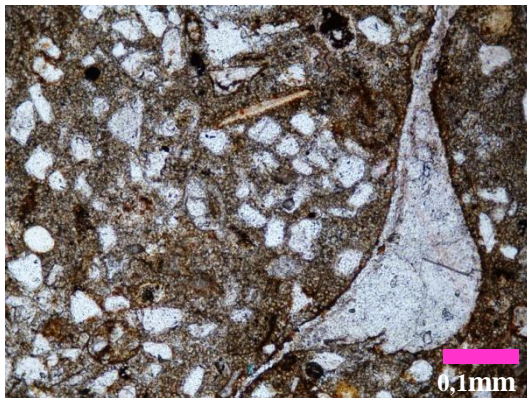


Fig. 4.9. Muestra 225-89. Lodolita Micrítica. Nícoles (//), Objetivo 10X.

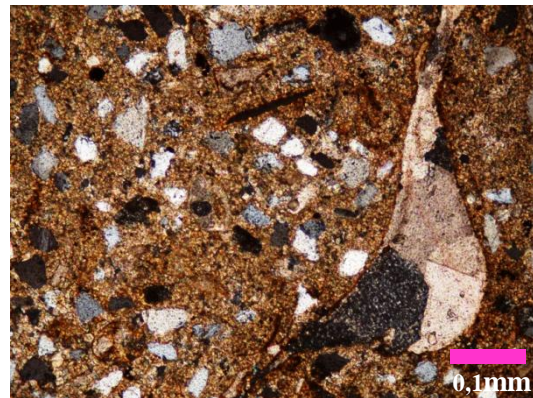


Fig. 4.10. Muestra 225-89. Lodolita Micrítica Nícoles (X), Objetivo 10X.

f) Caliza aloquímica Lodosa:

Representa el 3% de la totalidad de las muestras estudiadas, corresponde a 2 secciones finas localizadas en la Formación Caujarao únicamente. Figuras 4.11 y 4.12.

Nombre asignado según la clasificación de otros autores:

De acuerdo a Dunham (1962) puede pertenecer también al grupo de los “wackestone”.

De acuerdo a Folk (1959) puede ser también una intraesparita.

Caracterización petrográfica:

- Textura: Lodosa, inmadura, muy bien escogida.
- Extraclastos: Cantidades promedio entre 15-30%, de tamaño arcilla (<0,004mm). Composición cuarzosa con fragmentos de roca sedimentaria en un 5%, plagioclasa y ortosas en un 3% y trazas de moscovita.
- Aloquímicos: Entre 20-25% con tamaños medianos. Compuestos principalmente de fragmentos de fósiles y bivalvos en un 20%, foraminíferos en un 3% y “pellets” en un 1%.
- Ortoquímicos: Matriz con valores entre 15-20% y cemento de tipo pseudoespato en un 30%
- Porosidad: Presente en un 5% generada por disolución de aloquímicos y matriz.



Fig. 4.11. Muestra 74A-89. Caliza Aloquímica Lodosa. Nícoles (//), Objetivo 4X.



Fig. 4.12. Muestra 74A-89. Caliza Aloquímica Lodosa. Nícoles (X), Objetivo 4X.

g) Micrita Lodosa:

Representa el 1% de la totalidad de las muestras estudiadas, corresponde a 1 sección fina localizada en la Formación Socorro. Figuras 4.13 y 4.14.

Nombre asignado según la clasificación de otros autores:

De acuerdo a Dunham (1962) puede pertenecer también al grupo de los “wackestone”.

De acuerdo a Folk (1959) puede ser también una intramicrita.

Caracterización petrográfica:

- Textura: Lodosa, inmadura muy bien escogida.
- Extraclastos: Contiene un 10% de extraclastos de composición cuarzosa con trazas de chert y moscovita, tamaños muy pequeños (<0,062mm).
- Aloquímicos: 30% de aloquímicos con tamaños entre arena gruesa y grava (0,5mm-4mm). Principalmente intraclastos y conchas de bivalvos en un 30%, no se observan foraminíferos ni “pellets”.
- Ortoquímicos: Lodo carbonático abundante en un 50%, cemento de tipo microespato en un 9%.
- Porosidad: Porosidad presente por disolución móldica en 1% de la muestra.

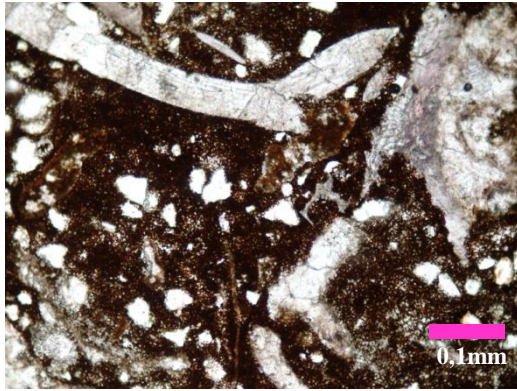


Fig. 4.13. Muestra 54-86. Micrita Lodosa
Nícoles (//), Objetivo 10X.

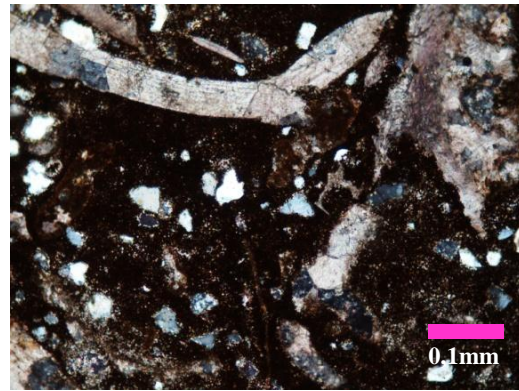


Fig. 4.14. Muestra 54-86. Micrita Lodosa.
Nícoles (X), Objetivo 10X.

4.2 UBICACIÓN LAS ROCAS CARBONÁTICAS DE MEZCLA EN EL MODELO DEPOSITACIONAL DE CINTURONES DE WILSON

4.2.1 Ubicación de las muestras en los cinturones y características petrográficas principales

Wilson (1975) propone nueve cinturones estándar de depositación de los cuerpos sedimentarios carbonáticos.

Mediante este esquema se ubicaron las muestras en cada cinturón, de acuerdo a la formación y ambiente de depositación (tablas 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4) se puede determinar las siguientes características texturales para cada franja, las cuales son presentadas individualmente en forma de tablas en el Anexo III.

Cinturón 1: Se refiere a la zona de cuenca en la plataforma carbonática. En esta investigación no hay muestras que coincidan con las características litológicas que corresponden a la cuenca. De acuerdo a Wilson (1975) las franjas pueden ser tanto euxínicas como evaporíticas profundas permitiendo así la existencia de clásticos finos, carbonatos y evaporitas profundas. Las rocas presentes son de grano

fino, lutitas, limos y calizas delgadas, colores marrones oscuro y negro, denominadas lodos calcáreos y calcilimolitas finas. Los extraclásticos suelen ser cuarzos tamaño limo (0,004 - 0,0625 mm) y arcilla (<0,004mm) que fueron transportados en suspensión.

Cinturón 2: Plataforma de mar abierto. Cantidades importantes de microfósiles. Extraclastos casi ausentes con tamaños pequeños. La textura característica es “wackestone bioclásticos” y las rocas se clasificaron como caliza aloquímica arenosa y micrita arenosa.

Descripción Textural:

-*Tamaño de Aloquímicos:* Los microfósiles tamaño grava (>2mm) son bastantes comunes en esta franja. El intervalo de los fósiles varía entre arena media (0,25-0,5mm) hasta grava (25mm).

- *Aloquímicos:* Cantidades que varían entre 18% y 30% teniendo como promedio un 25% en la roca.

-*Tamaño de Extraclastos:* Desde limo (0,004-0,0625mm) hasta arena gruesa (0,5-1mm). En promedio se encuentran tamaño arena media (0,25-0,5mm)

- *Extraclastos:* La cantidad de extraclastos en esta franja es muy baja, puede llegar a ser nula en carbonatos puros. Las rocas mezcla alcanzan entre 10-15% de clásticos.

Clastos inmaduros texturalmente, bordes surangulosos en el 70% de los granos y suredondeados en el 30% restante. El escogimiento no es uniforme, 50% bueno, 30% regular y 20% pobre.

- *Ortoquímicos:* Los ortoquímicos son abundantes, llegan a un 63% en composición total de la roca, las cantidades de matriz varían entre 15-25% y el cemento de tipo microespato es el más abundante estando entre el 25-40%.

-Precipitación y/o Reemplazamientos: La fosfatización se observa en forma de trazas, mientras el óxido de Fe es nulo. La materia orgánica llega a alcanzar hasta un 15% en la roca.

Cinturón 3: Zona de pie de talud donde las litologías presentes en su mayoría corresponden a mudstone con algunos “wackestone” o también clasificadas como micrita areniscas y areniscas micríticas.

Descripción Textural:

-Tamaño de Aloquímicos: Es bastante variado, abarca desde fragmentos fósiles tamaño arcilla (<0,004mm) hasta moluscos tamaño grava (>2mm), aunque en promedio el tamaño arena muy fina en los fragmentos es el más abundante (0,062 - 0,125 mm).

- Aloquímicos: Llega a tener un porcentaje máximo de 15% y un mínimo de 3% en cantidad total de las rocas.

-Tamaño de Extraclastos: En promedio el tamaño más abundante es de (0,004 - 0,0625 mm) y en segundo lugar arena media (0,25-0,5mm). Aunque algunas muestras presentan texturas arcillosas (<0,004mm) y de arenas gruesas (0,5-1mm).

- Extraclastos: Esta zona de la plataforma presenta una moderada depositación de extraclastos. Donde el promedio se encuentra en un 30% de extraclastos en la composición de la roca total, pudiendo haber algunas muestras que llegan a tener un máximo de 45% y un mínimo de 25%.

El escogimiento del mismo tiende a ser bueno en un 60% de la roca y regular en un 40%, aunque se llega a ver muestras que presentan un excelente escogimiento en un 100%. La redondez en la muestras se inclina hacia los patrones ángulos alcanzando hasta un 50% en el total de los granos; las tendencias subangulosas y subredondeadas se distribuyen en el 50% restante de los granos alternándose en un 20% y 30% de acuerdo a las muestras.

- *Ortoquímicos*: La cantidad total de ortoquímicos en las rocas es bastante alto, abarca un rango de 45% hasta 67%, de los cuales el porcentaje de matriz abarca desde un 15% - 40% sin embargo el promedio no supera un 25%. La cementación varía desde 5% hasta 52% en las muestras pero el promedio se mantiene en un 30% de pseudoespato como el más abundante

-*Precipitación y/o Reemplazamientos*: Es frecuente observar oxidación en las muestras y acumulación de materia orgánica asociada al momento de la depositación. La glauconitización y fosfatización de granos y la presencia de glauconita en los accesorios no alcanza el 1% en la roca.

Cinturón 4: Comprende por la zona de talud de la plataforma. Las litologías asociadas a esta facies son, packstone o calizas aloquímicas lodosa.

Descripción Textural:

-*Tamaño de Aloquímicos*: Esta comprende desde fragmentos tamaño limo (0,004 - 0,0625 mm) hasta fragmentos tamaño grava de aproximadamente 2,5mm, siendo estos últimos los más abundantes.

- *Aloquímicos*: Abundantes desde un 20% hasta un 35% aproximadamente.

-*Tamaño de Extraclastos*: Bastante homogéneo y se mantiene constante alrededor del tamaño limo (0,004 - 0,0625 mm).

- *Extraclastos*: Se observa poco contenido de material extraclástico para este cinturón (10%), los cuales presentan un escogimiento entre bueno y regular en su mayoría y una angulosidad del 70%.

- *Ortoquímicos*: La cantidad de ortoquímicos varía de 54% a 71%, el contenido de matriz es muy bajo, alcanzando solo un 15% en la roca total, mientras que el porcentaje de cementación es mucho más alto, entre un 40% y 56% de tipo pseudoespato y microespato respectivamente.

-Precipitación y/o Reemplazamientos: La precipitación de óxido de hierro es bastante común en esta zona aunque no se presenta de forma abundante, se llega a evidenciar cubriendo los granos alrededor de un 15% de frecuencia. También se observa glauconitización que llega a abarcar cerca del 1% entre los accesorios y reemplazamientos.

Cinturón 5: Correspondiente a la zona de arrecife o construcciones orgánicas. Este cinturón puede estar o no presente en la secuencia; se caracteriza por coquinas con microfósiles, ortoquímicos precipitados entre los granos e inexistente contenido de extraclásticos. Por este motivo en las formaciones estudiadas no se reconocieron muestras que cumplan las características. Para Zapata y otros (1980) la facies se reconoce por la presencia de masas de “boundstone”, calizas y dolomías masivas de colores claros, “packestone” y “grainstone”.

Cinturón 6: Esta representado por la zona de barreras y de aguas someras donde las litologías presentes son muy variadas; entre las rocas más abundantes se encuentran los mudstone, seguido de “wackestone” y en menor cantidad “packstone”.

Descripción Textural:

-Tamaño de Aloquímicos: La mayoría de los fragmentos de fósiles presentan un tamaño mínimo de (0,004-0,0625mm) y en promedio el tamaño que alcanzan es de arenas medias (0,25-0,5mm), sin embargo también se reconocen microfósiles con tamaños de 2mm hasta 20mm.

- Aloquímicos: Los aloquímicos en promedio abarcan un 15% en la composición total de la muestra, aunque hay rocas donde la existencia es mucho menor, de sólo un 5%, mientras que hay otras donde la presencia es más marcada observándose hasta un 35% de fósiles.

-*Tamaño de Extraclastos:* En esta zona de la plataforma los extraclastos son de mayor tamaño, ubicándose en promedio en arenas medias a gruesas (0,25mm-1mm) y con frecuencia alcanzando tamaños de más de 2mm. Los tamaños mínimos de los granos no son menores a 0,004mm correspondiente a limos.

-*Extraclastos:* La cantidad de extraclastos es bastante variada, entre 17% y 45% en el porcentaje total de la roca. Aunque en promedio los extraclastos se encuentran alrededor de un 30%. El escogimiento de los tamaños de granos es bueno en un 90% y bordes subredondeados en un 60% de los granos y subangulosos y redondeados en menor cantidad, indicando el transporte sufrido.

- *Ortoquímicos:* La cantidad de ortoquímicos se encuentran entre un rango del 40% al 76%, donde los porcentajes de matriz y cemento son bastante variados (10-40% de micrita y 10-60% de cemento) pero en promedio alcanzan un 20% y 30% respectivamente, presentando como cemento predominante la recristalización de pseudoespato y microespato.

-*Precipitación y/o Reemplazamientos:* El óxido de hierro está presente en casi todas las muestras en cantidad moderada. La materia orgánica y la glauconitización a pesar de evidenciarse en la mayoría de las rocas no llega a un 1,5% y a veces solo se observa en como trazas. Presencia de fosfatización en granos.

Cinturón 7: Corresponde a la zona marina restringida donde se forma la laguna marina o “lagoon”. Las litologías son bastante variadas pero se encuentran dentro de los tipos “wackestone” y “mudstone”. Se observan tendencias tanto lodosas como arenosas.

Descripción Textural:

-*Tamaño de Aloquímicos:* Abarca un gran rango desde microfósiles tamaños limos (0,004mm) hasta macrofósiles tamaño grava (25mm). La mayor parte de los fragmentos se ubica dentro del tamaño de arenas muy gruesas (1-2mm).

- *Aloquímicos*: La cantidad de fósiles puede ser muy baja de 5% y alcanzar valores moderados de 30%. Sin embargo gran parte de las rocas tienen alrededor 20% de aloquímicos.

- *Tamaño de Extraclastos*: Varía en todos los rangos de tamaño, desde arcilla hasta gravas. Sin embargo, el tamaño limo (0,004-0,0625mm) y arena media (0,25-0,5mm) es el intervalo donde se ubica la mayoría de las muestras.

- *Extraclastos*: Pueden alcanzar valores intermedios de 20% hasta muy altos de 40%. La mayor parte de las muestras se encuentra alrededor del 25-40%. El escogimiento tiende a ser bueno en el total de las muestras, también puede llegar a ser regular y pobre pero en no más de un 25%. Los granos tienden a ser subangulosos y subredondeados hasta en un 60%, angulosos y redondeados en menor cantidad.

- *Ortoquímicos*: Se encuentran en cantidades entre el 40-60% de los cuales la micrita puede ser escasa en algunas muestras y llegar hasta un 44% en otras, pero en su mayoría se encuentra alrededor del 20%. Con el cemento ocurre similar, abarca un amplio rango de 15-60% pero manteniéndose más constante alrededor del 30% predominando como tipo de cemento el microespato seguido de pseudoespato.

- *Precipitación y/o Reemplazamientos*: Como abarca una gran cantidad de ambientes se puede observar tanto óxido de hierro, glauconitización en gran número de muestras a veces hasta simultáneamente en cantidades moderadas y menores niveles de mataría orgánica y fosfatización de granos.

Cinturón 8: De plataforma restringida, donde las rocas características son “wackestone” y micritas con tendencia arenosa.

Descripción Textural:

- *Tamaño de Aloquímicos*: Los fósiles presentan un buen tamaño. Fragmentos y foraminíferos con tamaños mínimos de 0,004mm y microfósiles mayores hasta de

15mm. El tamaño promedio que se encuentran los aloquímicos es de arenas gruesas, es decir entre (0,5-1mm).

-Porcentaje (%) de Aloquímicos: Moderado, entre 20% y 30% como máximo.

-Tamaño de Extraclastos: Los granos más pequeños son tamaño limo (0,004-0,0625mm) y los de mayor tamaño alcanzan hasta 2mm de diámetro correspondiente a arenas muy gruesas. El mayor número de granos se encuentra dentro del tipo de las arenas gruesas (0,5-1mm).

-Extraclastos: Llegan a estar entre un 20% hasta un 35% en el porcentaje total de la roca, aunque más comúnmente en las muestras se observó un 25% de extraclásticos. El escogimiento puede llegar a ser bueno hasta en un 100% de la roca y los bordes de los granos tienden a estar distribuidos entre los tipos subredondeados y subangulosos con inclinación en un 30% a ser angulosos.

-Ortoquímicos: Se encuentran en un 47-57%, de los cuales entre un 20-30% corresponde a micrita y 20-30% cemento, aunque pueden haber valores menores que alcanzan un 7% de cementación, siempre resultando más predominante el microespato.

-Precipitación y/o Reemplazamientos: La glauconitización está reflejada en poca cantidad (trazas), mientras que el óxido de hierro es nulo y la materia orgánica puede alcanzar un 5%.

Cinturón 9: Correspondiente a la zona evaporítica o de sabkha, las rocas que la caracterizan son areniscas micríticas o “mudstone”.

Descripción Textural:

-Tamaño de Aloquímicos: Está comprendido desde tamaño limo (0,004mm) hasta arena muy gruesa (2mm). La mayor cantidad de aloquímicos se encuentra alrededor de los (0,5-1mm) correspondiente a arenas gruesas.

- *Aloquímicos*: Puede llegar a ser muy poca la cantidad de aloquímicos en porcentaje de roca total a totalmente nula (0-5%).

- *Tamaño de Extraclastos*: Es variado; tamaños mínimos de 0,004mm y máximos que pueden llegar a los 3mm de diámetro. El tamaño de grano predominante es arena media (0,25-0,5mm).

- *Extraclastos*: Tienden a ser abundantes (20-45%), la mayor cantidad de rocas se encuentran alrededor del 40% en el contenido de extraclásticos. El escogimiento es bueno en un 70% y regular en un 30% de las rocas. Los granos presentan bordes angulosos y subangulosos en casi las mismas proporciones y redondeados y subredondeados en menor cantidad.

- *Ortoquímicos*: En algunas rocas alcanzan porcentajes altos, la cantidad de ortoquímicos totales es de 70-45%. La micrita y el cemento abarcan un gran intervalo de 5-60% pero predominan los bajos contenidos de matriz y de 5-55% de cemento, con cantidades promedios de 30-40% de pseudoespato.

- *Precipitación y/o Reemplazamientos*: Poca presencia de óxido de hierro (5%) escasa depositación de materia orgánica. Cantidades menores al 1% de glauconita reemplazando *pellets*.

Tabla 4.1. Muestras de todas las formaciones ubicadas en cada uno de los Cinturones de Wilson.

| | Cuenca | Plataforma Mar Abierto | Plataforma Marginal | Frente de Talud | Arrecife Orgánico de Margen de Plataforma | Arenas de Borde de Plataforma | Plataforma Marina Abierta | Plataforma Marina con Circulación Restringida | Plataforma Evaporítica |
|--------------------------|---------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------|--|--------------------------------------|----------------------------------|--|-------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Número de Muestra | | 128-85 | 300-89 | 75-89 | | 34-89 | 74-89 | 96-89 | 109A-85 |
| | | 241-85 | 114-89 | 283-89 | | 52-89 | 74A-89 | 72-86 | 109-85 |
| | | 242-85 | 133-89 | | | 155-89 | 42-89 | 133-86 | 218-85 |
| | | 250-85 | 136-89 | | | 315-89 | 97-89 | 134-86 | 217-85 |
| | | 254-85 | 287-89 | | | 225-89 | 270-89 | 135-86 | |
| | | | 327-89 | | | 337-89 | 42-86 | | |
| | | | 243A-85 | | | 236-85 | 64-86 | | |
| | | | 246-85 | | | 320-85 | 65-86 | | |
| | | | | | | 402-85 | 68-86 | | |
| | | | | | | | 87-86 | | |
| | | | | | | | 107-86 | | |
| | | | | | | | 115-86 | | |
| | | | | | | | 117-86 | | |
| | | | | | | | 125-86 | | |
| | | | | | | | 128-86 | | |
| | | | | | | | 56-85 | 238-85 | |
| | | | | | | | 58A-85 | 247-85 | |
| | | | | | | | 136-85 | 356-85 | |
| | | | | | | 136A-85 | 390-85 | | |

Tabla 4.2. Muestras de la Formación Socorro ubicadas en cada uno de los Cinturones de Wilson.

| | Cuenca | Plataforma Mar Abierto | Plataforma Marginal | Frente de Talud | Arrecife Orgánico de Margen de Plataforma | Arenas de Borde de Plataforma | Plataforma Marina Abierta | Plataforma Marina con Circulación Restringida | Plataforma Evaporítica |
|-------------------|--------|------------------------|---------------------|-----------------|---|-------------------------------|---------------------------|---|------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Número de Muestra | | | 114-89 | 283-89 | | 225-89 | 42-89 | 96-89 | |
| | | | 133-89 | 39-86 | | | 97-89 | | |
| | | | 136-89 | | | | 270-89 | | |
| | | | 287-89 | | | | | | |
| | | | 327-89 | | | | | | |

Tabla 4.3 Muestras de la Formación Urumaco ubicadas en cada uno de los Cinturones de Wilson.

| Cuenca | Plataforma Mar Abierto | Plataforma Marginal | Frente de Talud | Arrecife Orgánico de Margen de Plataforma | Arenas de Borde de Plataforma | Plataforma Marina Abierta | Plataforma Marina con Circulación Restringida | Plataforma Evaporítica |
|-------------------|------------------------|---------------------|-----------------|---|-------------------------------|---------------------------|---|------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Número de Muestra | 128-85 | 243A-85 | | | 236-85 | 42-86 | 72-86 | 109A-85 |
| | 241-85 | 246-85 | | | 320-85 | 64-86 | 133-86 | 109-85 |
| | 242-85 | | | | 402-85 | 65-86 | 134-86 | 218-85 |
| | 250-85 | | | | | 68-86 | 135-86 | 217-85 |
| | 254-85 | | | | | 87-86 | | |
| | | | | | | 107-86 | | |
| | | | | | | 115-86 | | |
| | | | | | | 117-86 | | |
| | | | | | | 125-86 | | |
| | | | | | | 128-86 | | |
| | | | | | | 56-85 | | |
| | | | | | | 58A-85 | | |
| | | | | | | 247-85 | | |
| | | | | | | 136-85 | | |
| | | | | | | 136A-85 | | |
| | | | | | | 238-85 | | |
| | | | | | | 356-85 | | |
| | | | | | | 390-85 | | |

Tabla 4.4. Muestras de la Formación Caujarao ubicadas en cada uno de los Cinturones de Wilson.

| | Cuenca | Plataforma Mar Abierto | Plataforma Marginal | Frente de Talud | Arrecife Orgánico de Margen de Plataforma | Arenas de Borde de Plataforma | Plataforma Marina Abierta | Plataforma Marina con Circulación Restringida | Plataforma Evaporítica |
|-------------------|--------|------------------------|---------------------|-----------------|---|-------------------------------|---------------------------|---|------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Número de Muestra | | | 300-89 | 75-89 | | 34-89 | 74-89 | | |
| | | | | | | 52-89 | 74A-89 | | |
| | | | | | | 155-89 | | | |
| | | | | | | 315-89 | | | |
| | | | | | | 337-89 | | | |

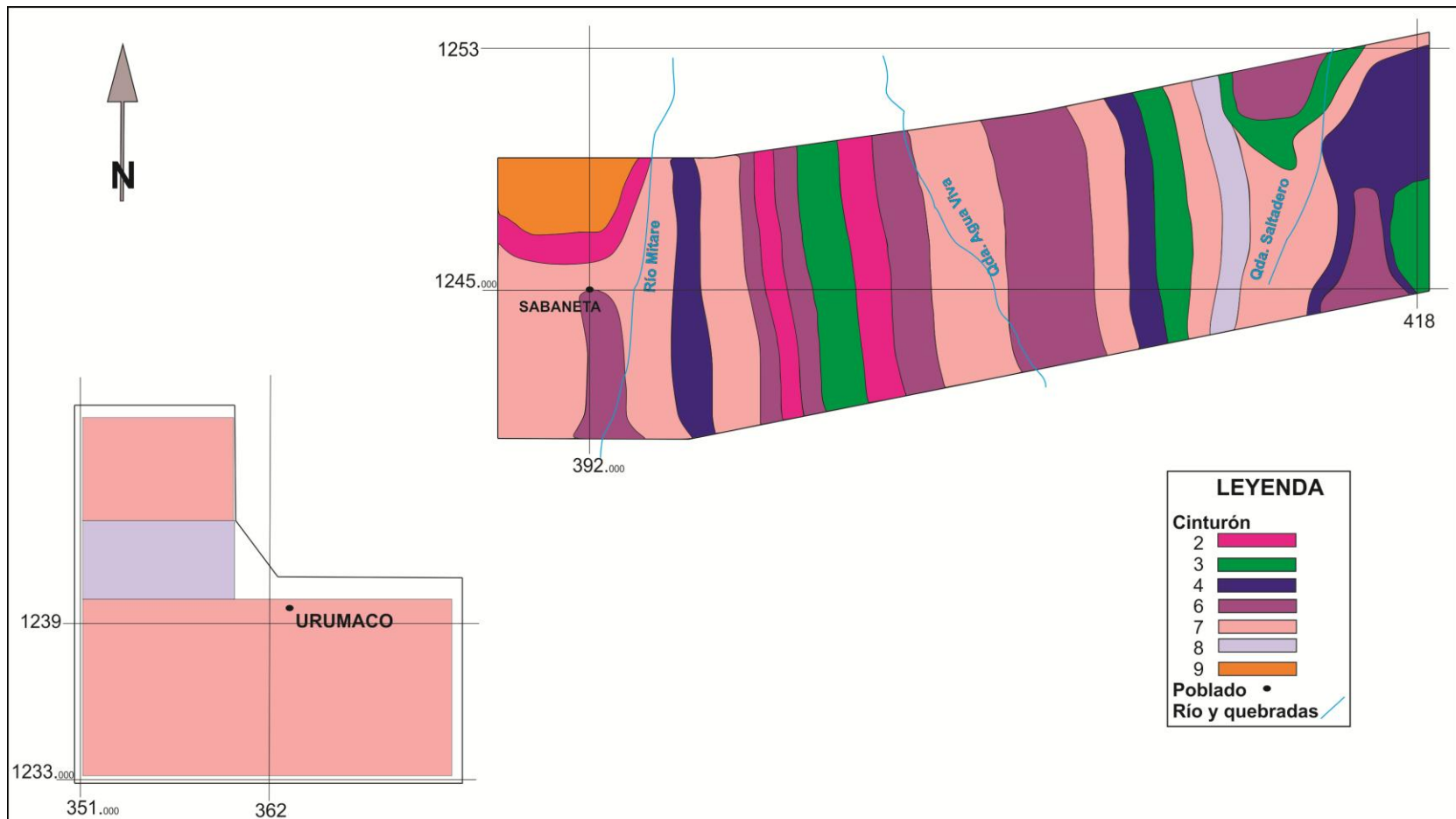
4.2.2 Distribución de los cinturones de Wilson (1985) en los mapas

Mediante la compilación cartográfica de la zona de estudio se elaboraron tres (3) mapas, donde se indica la unificación geológica descrita en el capítulo anterior, necesaria para ubicar la zona de estudio a lo largo de la plataforma carbonática. En la tabla 4.5 se muestra un “croquis” de la zona de estudio con la distribución de los cinturones de Wilson (1985), realizado a partir de la ubicación de las muestras en los cinturones señalado en la sección anterior.

Se debe resaltar que los cinturones de Wilson (1985) no se encuentran distribuidos secuencialmente a lo largo de las tres (3) hojas. Esta distribución corresponde a la variación que existe con la cantidad de siliciclásticos y aloquímicos presentes, la cual está referida a los diferentes eventos de sedimentación clástica ocurrida en la cuenca de Falcón. Se puede observar, que la distribución está marcada básicamente en los cinturones 4, 6 y 7, con algunas zonas puntuales correspondientes al cinturón 2 y 9.

La marcada acumulación en los cinturones 4, 6 y 7, está influenciada por los diferentes ciclos de sedimentación que tuvieron lugar en las franjas correspondiente al talud, zona de barreras y “lagoon”; de la misma forma, estos cinturones pueden verse afectados verticalmente (al evidenciarse en todas las formaciones estudiadas), es decir, que la distribución a pesar de ser areal, sea netamente vertical. Al ser un apilamiento vertical, está directamente amarrado a los cambios eustáticos del nivel del mar, marcados por la diferenciación de la línea de costa progradante que ocurre en los diferentes cambios del nivel del mar.

Tabla 4.5 Croquis de la zona de estudio con la distribución de los cinturones de Wilson (1985)



4.2.3 Características propias de cada cinturón según este estudio

A partir del estudio petrográfico y la ubicación de las muestras en cada cinturón, se pudo determinar para las rocas de mezcla características propias presentes en cada franja a lo largo de la plataforma carbonática.

Cinturón 1: Al no tener muestras ubicadas en este cinturón no se pueden definir características texturales específicas para carbonatos de mezcla. En términos generales se puede decir que esta franja tiene condiciones marino profundas, reductoras. Los extraclastos pequeños son de tamaño arcilla (<0,004mm), generalmente cuarzosos y micas flotando. Las calizas deben tener colores oscuros con abundante contenido de matriz. Los fósiles con tamaños en el orden de las gravas (>2mm) y foraminíferos planctónicos.

Cinturón 2: Plataforma marina. Características similares a las del cinturón 7, diferenciándose por menor cantidad de extraclastos, rocas con colores oscuros, ambiente menos oxigenado y materia orgánica preservada.

a) *Extraclastos:* Puede llegar a ser nulo en calizas puras. Las rocas de mezcla tienen cantidades entre 10-15% en el contenido de la roca total, mineralógicamente dominados por cuarzo (8%), fragmentos de rocas sedimentarias y metamórficas en un 3% y moscovita en forma de accesorios en cantidades menores al 1%. El tamaño promedio de los granos es de arena media (0,25-0,5mm) con bordes subangulosos en un 70% y subredondeados en el 30% restante. El escogimiento de de bueno a regular con un 20% de granos mal escogidos.

b) *Aloquímicos:* Presencia de macrofósiles bastante marcada. Porcentajes alrededor del 25% con tamaño grava que generalmente va de 2mm hasta 5mm, pero se encuentran fragmentos de bivalvos de hasta 25mm de largo.

Los tipos de aloquímicos que se observan en este cinturón son: foraminíferos planctónicos (2%), moluscos como bivalvos hasta 7%, macrofósiles de bivalvos y

fragmentos fósiles grandes en un 15%, fragmentos de fósiles de menor tamaño un 5% algas rojas en trazas.

c) *Ortoquímicos*: Alcanzan hasta el 60%, la micrita se encuentra en intervalos de 15-25% y el cemento de tipo microespato en un 25-40%.

d) *Características ambientales*: El ambiente de sedimentación se muestra poco oxigenado permitiendo la preservación de la materia orgánica, con cantidades menores al 1% de fosfatización. No se observa glauconitización, óxido de hierro ni formación de *pellets*.

Cinturón 3: Correspondiente a la zona de tormentas o pie de talud.

a) *Extraclastos*: Presentan un porcentaje más o menos de 30% en contenido de la roca total, principalmente cuarzosas (22%), fragmentos de rocas sedimentarias y menores cantidad de fragmentos metamórficos y 1% en accesorios de moscovita y glauconita. Tamaño característico de arena fina (0,125-0,25mm). Escogimiento bueno en un 60% y regular en un 40% aproximadamente. Granos inmaduros texturalmente presentando bordes subredondeados, subangulosos y angulosos.

b) *Aloquímicos*: Los aloquímicos suelen a ser escasos en esta franja con valores muy bajos de 5% hasta un 15% en fragmentos de fósiles retrabajados y algunos moluscos con tamaños bastantes pequeños de limo (0,004-0,062mm) hasta arena muy fina (0,062-0,125mm).

Los tipos de aloquímicos que se observan en este cinturón son: foraminíferos planctónicos (3%), fragmentos de fósiles pequeños (7%), es decir, menores a 1mm de tamaño y trazas de: foraminíferos bentónicos, moluscos de la clase *turritela sp.* y fragmentos de fósiles grandes (mayores a 1mm).

c) *Ortoquímicos*: En contenido de la roca total se encuentran alrededor de un 60% siendo de esto un 25% de lodo carbonático y un 35% de cementación del tipo pseudoespato.

d) *Características ambientales*: El ambiente está marcado por las condiciones oxigenadas o también posiblemente producto de procesos telogenéticos permitiendo el desarrollo de óxido de hierro hasta en un 3%, , y la fosfatización en cantidades menores al 1%. La glauconitización de granos es menos frecuente, se aprecia como traza a la glauconita algunas veces.

Cinturón 4: Corresponde al área del talud donde la sedimentación es inestable, poca cantidad de extraclastos, mal escogidos. Altos porcentajes de fósiles.

a) *Extraclastos*: Cantidades de extraclásticos bajas (10%), de composición principalmente cuarzosa (8%), se observan fragmentos de roca sedimentaria y chert en aproximadamente un 2% y trazas de glauconita y moscovita que no llegan al 1% en el total de la roca. Los granos tienen tamaño limo (0,004-0,0625mm) con buen escogimiento en un 80% y bordes angulosos en el 70% y subangulosos en el 30%.

b) *Aloquímicos*: Buena cantidad de aloquímicos, entre 20% y 35% con variados tamaños desde limos hasta gravas pero predominantemente gruesos (arena muy gruesa 1-2mm y gravas entre 2mm y 6mm).

En este cinturón se observa gran variedad de aloquímicos, fragmentos grandes de fósiles alrededor de un 10%, fragmentos pequeños de fósiles un 6%, foraminífero bentónico y planctónicos entre 5% y 10%, moluscos como bivalvos de tamaños medianos entre 5% 10%. Se comienzan a observar *pellets* en poca cantidad (máximo un 3%) y moluscos pequeños de la clase *turritela sp.* y algas rojas en forma de trazas con cantidades menores al 1%

c) *Ortoquímicos*: El lodo carbonático o micrita no es muy abundante, con valores alrededor del 10% mientras que la cementación de tipo pseudoespato abarca más o menos un 50% en la composición de la roca total.

d) *Características ambientales*: El ambiente es predominantemente oxidante con un 15% de óxido de Fe y cerca de un 1% de glauconita en granos de aloquímicos.

Cinturón 5: Correspondiente a las construcciones arrecifales, asociada a las coquinas. Es poco común la formación de carbonatos de mezcla en esta franja, debido a que el contenido de extraclastos es menor al 5%, sin embargo, las partículas terrígenas presentes suelen ser de tamaño grueso, arenas gruesas y muy gruesas (0,5-2mm). El contenido fósil es abundante, moluscos de grandes tamaños, comúnmente ostras, pectem y bivalvos, gasterópodos como *turritela sp.*, corales y algas. Los foraminíferos son escasos o casi nulos debido a las condiciones marino somera y expuesta a la que son sometidos. Lodo carbonático y difícilmente cementación. Condiciones totalmente oxidantes. Las rocas allí formadas son de textura boundstone y floatstone.

Cinturón 6: Ubicado en las barreras de la plataforma carbonática caracterizado por la acumulación de buenos porcentajes de extraclásticos muy bien escogidos, granos texturalmente maduros y contenido fósil moderado con tamaños significativos.

a) *Extraclastos*: Pueden alcanzar valores de hasta un 45% de contenido en la roca total pero en promedio las cantidades se encuentran alrededor de un 30%, de composición cuarzosa en un 25%, feldespatos 3%, fragmentos de rocas sedimentarias y chert en un 4% y moscovita como accesorios en 1%. Las rocas se caracterizan por un muy buen escogimiento (95% buen escogimiento), 60% de granos con bordes

subredondeados con tamaños que van desde arena media hasta arena gruesa (0,025-1mm).

b) *Aloquímicos*: Pueden llegar a ser abundantes, hasta un 35%, pero en promedio la cantidad se encuentra alrededor de un 15%, con tamaños que varían desde fragmentos muy pequeños tipo limo y grandes bioclastos tipo grava, siendo el tamaño comúnmente dominante arena media (0,25-0,5mm).

Los aloquímicos comunes de encontrar en este cinturón son: fragmentos de fósiles en un 10%, foraminíferos bénticos y plácticos en un 2%, conchas de bivalvos en un 5%, muy pocos fragmentos de fósiles pequeños y menores cantidades de *pellets* (<1%).

c) *Ortoquímicos*: Las cantidades totales de ortoquímicos son altas y tienden a variar; la micrita suele ser menos abundante con valores promedio en un 20% mientras que el cemento es más común promediándose en un 30-35% de tipo pseudoespato y de forma menos frecuente de tipo microespato.

d) *Características ambientales*: Presenta las condiciones oxidantes más marcadas en comparación al resto de los cinturones, permitiendo la formación de óxido de Fe en un 20% y fosfatización de aloquímicos en un 1%. La glauconitización se presenta en un 2% y comienza a ocurrir dolomitización tardía (romboedros de tamaños significativos con caras bien desarrolladas) producto del reemplazamiento durante etapas diagenéticas tardías.

Cinturón 7: Condiciones de “lagoon”, zona restringida de baja energía. No se observan foraminíferos bentónicos y el tamaño de los aloquímicos tiende a ser de 1-2 mm. La dolomitización es frecuente pero en menores cantidades que en el cinturón 6. La oxidación y la fosfatización son menores pero aumenta la glauconitización indicando dominación de las condiciones reductoras.

a) *Extraclastos:* Los extraclastos son abundantes, con cantidades entre 25% y 40% y composición cuarzosa en un 25%, fragmentos de roca sedimentaria y chert en un 7%, feldespatos 3% y accesorios de moscovita y glauconita en 1%. Granos con tamaño de arena muy fina y arena fina generalmente (0,062-0,25mm), con bordes subangulosos y subredondeados en un 60% y escogimiento regular en un 75%.

b) *Aloquímicos:* Pueden llegar a ser escasos en ciertas zonas y en cantidades moderadas en otras, el promedio de aloquímicos es de 20% y tamaño de arena muy gruesa (1-2mm).

Los aloquímicos más comunes son fragmentos fósiles grandes y conchas de bivalvos desde 5% hasta 20%, fragmentos fósiles pequeños en un 7%, foraminíferos bentónicos hasta en un 5%, algas rojas 3% y *pellets* alrededor de un 2%.

c) *Ortoquímicos:* La matriz puede llegar a ser escasa en este cinturón promediándose alrededor del 20%, mientras que el cemento suele alcanzar valores altos, teniendo como promedio un 35% de tipo pseudoespato o microespato.

d) *Características ambientales:* Las condiciones oxidantes disminuyen presentando óxido de hierro alrededor de un 10%, cerca del 1% de fosfatización de bioclastos, niveles de acumulación de materia orgánica en un 2% y glauconitización de pellets en un 3%. Presencia de dolomitización tardía en bordes de conchas y reemplazando el lodo carbonático.

Cinturón 8: Plataforma restringida, donde es común la mezcla de agua marina y agua dulce. La dolomitización es más marcada, y la variedad de fósiles es mínima pero de buen tamaño, los foraminíferos se observan en forma de trazas, debido a las difíciles condiciones ambientales; las algas están totalmente ausentes.

a) *Extraclastos:* Cantidades moderadas entre 25% y 35%, cuarzosos principalmente en un 20%, fragmentos de rocas sedimentarias y chert cerca de un 5%, feldespato en un 3% y accesorios de moscovita y trazas de glauconita. Los granos son de tamaño arena gruesa (0,5-1mm), muy bien escogidos en su totalidad, con bordes subredondeados y subangulosos.

b) *Aloquímicos:* Los aloquímicos se encuentran entre un 20% y un 30%, de grandes tamaños, a veces macrofósiles que tienen tamaños que van desde arena gruesa hasta grava (0,5-15mm).

Los aloquímicos presentes en este cinturón son conchas de bivalvos y fragmentos fósiles grandes en un 20%, menos del 5% de fragmentos de fósiles pequeños y trazas de foraminíferos bentónicos y platónicos. No hay presencia de algas.

c) *Ortoquímicos:* La matriz y el cemento se encuentran en cantidades similares, entre un 20% y un 30%, siendo el microespato el tamaño de cemento predominante.

d) *Características ambientales:* Ambiente reductor con la presencia de materia orgánica en un 5% y trazas de glauconitización. No se observa oxidación ni fosfatización. La dolomita tardía tiene lugar por recristalización, permitiendo el desarrollo de rombos con caras definidas.

Cinturón 9: Correspondiente a la zona evaporítica y con influencia eólica. Característico por el alto porcentaje de terrígenos debido a la fuerte influencia continental, inmaduros texturalmente por el poco transporte que sufren. Escasa existencia de fósiles y dolomitización primaria generada por las condiciones áridas del ambiente.

a) *Extraclastos:* Los porcentajes de extraclastos tienden a ser altos (35%), compuestos principalmente por cuarzo (20%), feldespato (5%), fragmentos de roca

sedimentaria, metamórfica y chert (8%) y accesorios de moscovita en un 1%. El tamaño de los granos es de arena media (0,25-0,5mm), escogimiento bueno en un 70%, con bordes angulosos y subangulosos debido a la falta de transporte.

b) *Aloquímicos*: Los aloquímicos son escasos debido a las condiciones ambientales (0-5%), con tamaños de arena gruesa (0,5-1mm), compuestos de conchas de bivalvos y fragmentos de fósiles grandes.

c) *Ortoquímicos*: El lodo carbonático es escaso, se puede encontrar reemplazado por dolomita primaria en porcentajes entre 5% y 15%, mientras que el cemento predominante es de tipo pseudoespato en cantidades entre 30% y 40%.

d) *Condiciones ambientales*: El ambiente es oxidante con niveles alrededor del 5% de óxido de Fe. Trazas de glauconita y materia orgánica proveniente de los cinturones anteriores. La dolomita primaria se reconoce por los tamaños entre 4 y 6 micras, con bordes no desarrollados ocupando los espacios donde debería encontrarse el lodo carbonático.

4.3 ENSAYO DE UBICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LAS ZONAS DE MEZCLA DE MOUNT (1985) A LO LARGO DE LOS CINTURONES DE LA PLATAFORMA CARBONÁTICA DE WILSON (1975).

De acuerdo a las 4 zonas de depositación de carbonatos de mezcla propuesta por Mount (1985) se ubicó cada zona a lo largo de la división de franjas de la plataforma carbonática realizada por Wilson (1975) y se le asignó uno o varios cinturones específicos de acuerdo a las características propias de cada ambiente de mezcla. En la figura 4.15 se presenta un esquema donde se muestra las zonas de mezcla distribuidas a lo largo de la plataforma carbonática. A continuación se describe cada uno de esos ambientes:

a) Zona de mezcla de facies: Se encuentra ubicada a lo largo de los cinturones 4, 5, 6 y 9, correspondiente al talud, arrecife o construcciones orgánicas, barrera y evaporitas, dunas o sabkha. Se caracteriza por la combinación de facies con sedimentos carbonáticos y siliciclásticos que pueden variar lateralmente, así como por la continua exposición a ambientes meteóricos y freáticos de agua fresca o someramente marinos.

b) Zona de mezcla puntual: Limitada al cinturón 3. Se caracteriza por una sedimentación catastrófica generada por las continuas tormentas que arrastran los sedimentos desde el fondo marino (cinturones 1 y 2) hasta el margen de la cuenca. Extraclastos moderados e inmaduros texturalmente.

c) Zona de mezcla “in situ”: Caracterizada por organismos autóctonos o parautóctonos (organismos calcáreos muertos) y lodo carbonático segregado de los esqueletos por las corrientes fuertes (cinturón 6). Zona con bajos niveles de energía marcada por los cinturones 2, 7 y 8. Clastos provenientes de ambientes poco profundos y someros.

d) Zona de mezcla fuente: Caracterizada por importante aporte de material carbonático y menos frecuente siliciclástico. No posee condiciones adecuadas para el desarrollo de actividades paleoecológicas. Esta zona se observa con mayor importancia en los cinturones 8 y 9, donde existe cercanía con terrenos (fuente) carbonática expuesta a la erosión producto de levantamientos tectónicos en la cuenca.

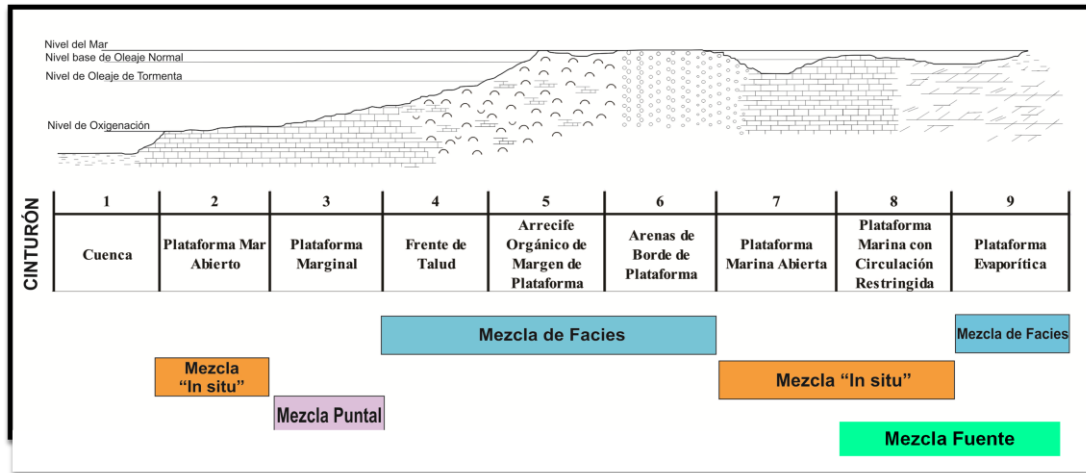


Fig. 4.15. Ubicación y delimitación de las zonas de mezcla de Mount (1985) a lo largo de los cinturones de la plataforma carbonática de Wilson (1975).

4.4 ANÁLISIS DIAGENÉTICO

De acuerdo al esquema diagenético elaborado por Ginsburg (1957) y modificado por Zapata (1983) se reconocen tres etapas diagenéticas; temprana, intermedia y tardía; sin embargo, la etapa intermedia se puede considerar también como una avanzada etapa de diagénesis temprana o como los primeros indicios de diagénesis tardía, esto debido a lo difícil que resulta marcar parámetros estrictos que a separen una de otra. Los autores mencionan que la diagénesis temprana está influenciada por el ambiente depositacional y los cambios que sufre la roca durante su formación inmediatamente que es depositada y los efectos diagenéticos tardíos no están relacionados al ambiente depositacional ni a los cambios físico-químicos del agua.

Los procesos que afectan las rocas de mezcla pueden ser tanto orgánicos como químicos y estos últimos pueden ser carbonáticos o no carbonáticos.

La diagénesis temprana y temprana-intermedia se caracteriza por procesos orgánicos tales como la agregación o formación de pellets, que no es más que la formación de “pequeñas bolitas” de residuos fecales y su forma redondeada se debe a la influencia de las corrientes, la formación de envoltorios micríticos o de lodo carbonático alrededor de fragmentos fósiles y granos, presencia de madrigueras y horadación también es característico.

Entre los procesos físico-químicos carbonáticos es común la cementación inicial de aragonito, disolución de los componentes principales (extraclásticos, aloquímicos y ortoquímicos), neomorfismo de tipo inversión homoaxial en las conchas fósiles (se observa la textura fibrosa del aragonito), que indica un proceso de transformación, donde se disuelve el mineral existente mediante una película de líquido que va migrando, mientras se va precipitando el nuevo mineral simultáneamente; y la presencia de dolomitización primaria o singenética debido al reemplazo del Calcio (Ca) por magnesio (Mg) al exponer la roca a aguas marinas supersalinas; se debe destacar que estas dolomitas primarias no muestran los bordes romboédricos perfectos, sino mas bien, parecen una recristalización de micrita.

La glauconitización causada por la reducción de la materia orgánica y en condiciones reductoras del ambiente o por la alteración diagenética de la biotita (meteorización química) y la piritización generada en ambientes reductores, donde la presencia de materia orgánica es factible por la falta de oxígeno (sí el agua presenta elementos químicos en solución como hierro (Fe^{+2}) y azufre (S) la piritita tiende a precipitar); la silicificación que es el reemplazo de material carbonático, ya sea de conchas u ortoquímicos por sílice y la formación de concreciones, son procesos físico-químicos no carbonáticos que comúnmente tienen lugar en las primeras etapas diagenéticas.

La diagénesis intermedia y tardía es marcada por procesos tales como, recristalización o inversión heteroaxial por neomorfismo, donde se observa el maclado característico de la calcita, esto ocurre sin la presencia de un líquido migrante, sino por un cambio de posición de los iones en la película cristalina. La cementación, se presenta rellenando vetas y espacios vacíos, los efectos debidos a la presión-disolución tales como, fracturamiento de granos y conchas, la deformación de granos dúctiles y marcando el final de la diagénesis la presencia de estilolitas. La dolomitización tardía marca una diagénesis avanzada con romboedros perfectos formados en ambientes marinos carbonáticos.

Las diferentes texturas desarrolladas por los cementos carbonáticos en las rocas ya sea durante la depositación o el enterramiento van a indicar las características ambientales a las que se vieron sometidas las rocas en determinado momento. Méndez (2009) señala la variedad de texturas de cementación que se pueden desarrollar de acuerdo al ambiente presente y los separa inicialmente en tres grupos: Cementos meteóricos, cementos marinos y cementos del subsuelo.

a) *Cementos Meteóricos*: Formados por calcita, agua dulce y aire entre los poros en la zona vadosa y una mezcla de agua dulce o meteórica y agua marina en la zona freática de agua fresca ambas generan calcita con bajo magnesio (Mg). La zona vadosa se caracteriza por desarrollar texturas de tipo menisco, pendiente – estalagmítico y whisker (forma de agujas) entre los granos; y la zona freática de agua fresca desarrolla texturas granular - mosaico, isopaco y sintaxial.

b) *Cementos Marinos*: Ubicados en ambientes freáticos marinos donde existe una circulación normal de agua marina. Los cementos marinos están compuestos por aragonito, calcita con alto contenido en Mg o combinación de ambos. Los cementos de aragonito generan texturas tales como: botroidal, agujas, isópaco o cubiertas micríticas; los cementos de calcita Mg generan texturas tales como: fibras-hojas y forros de micrita; los cementos compuesto por calcita Mg y Aragonito (característico

de las rocas de playa) generan texturas tales como: pendiente-menisco, fibras-hojas y cubiertas micríticas alrededor de los aloquímicos.

c) *Cementos del Subsuelo*: Se originan como cementación secundaria después de la litificación del sedimento y compactación. Están formados por calcita con bajo contenido de Mg y las texturas comunes son: granular-mosaico, granular-mosaico gruesos y poiquilotópico.

A continuación se mencionaran los procesos característicos que se evidenciaron en cada formación y las etapas diagenéticas involucradas.

Formación Caujarao

Entre las evidencias de una etapa de diagénesis temprana se encontró glauconitización y formación de pelets (fig.4.16), ambos en cantidades no mayor a un 3% e inversión homoaxial en algunos fragmentos fósiles (fig. 4.17).

La diagénesis tardía es más evidente en las petrografías, efectos como recristalización y neomorfismo agradante como los que se aprecian en la figura 4.18, inversión heteroaxial, donde se observa el paso de aragonito a cemento de calcita en un fragmento fósil (figs.4.19 y 4.20). La figura 4.21 muestra un las cavidades de un fragmento fósil donde ya se ha finalizado totalmente el proceso de inversión heteroaxial. Efectos de presión solución se aprecian en las figuras 4.22 y 4.23 mediante la alineación y deformación de granos dúctiles. Por último una muestra de altas etapas diagenéticas es la formación de dolomitas con romboedros bien desarrollados como los de la figura 4.24.

La cementación con textura radial alrededor de las conchas que se observa en la figura fig.4.25 ubica a la secuencia en un ambiente freático marino.

De acuerdo a las evidencias encontradas de una etapa diagenética avanzada y en menor cantidad rasgos característicos de diagénesis temprana, se puede concluir Formación Caujarao se encuentra definida por una etapa diagenética intermedia.

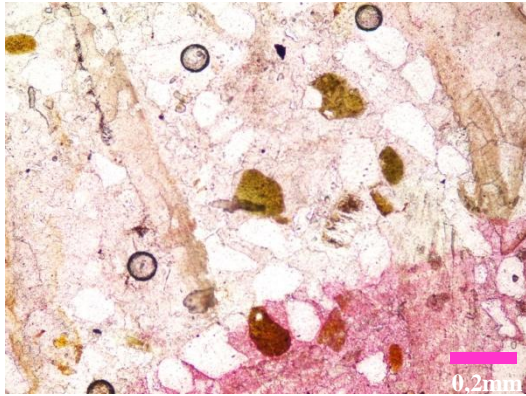


Fig.4.16. Muestra 74-89. Glauconita.

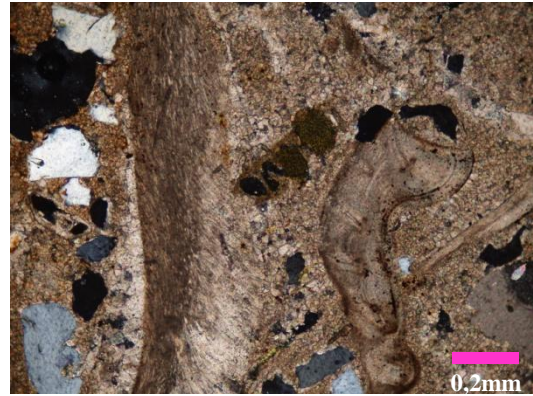


Fig.4.17. Muestra 52-89. Inversión Homoaxial de concha de molusco. Glauconita y disolución de matriz.

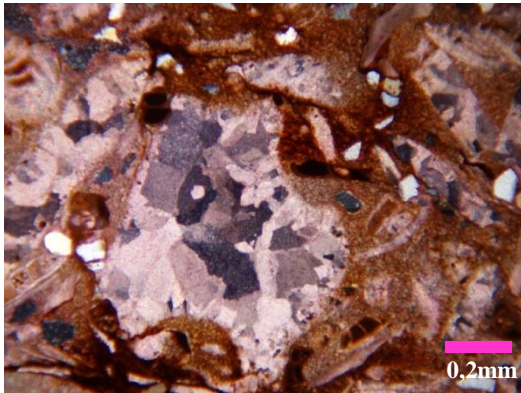


Fig.4.18. Muestra 75-89. Neomorfismo agradante.

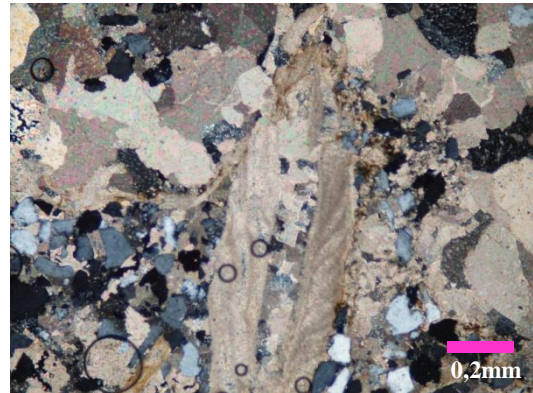


Fig.4.19. Muestra 337-89. Inversión Heteroaxial



Fig.4.20. Muestra 337-89. Inversión Heteroaxial

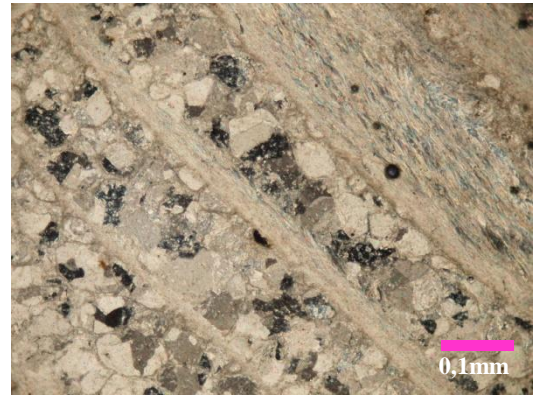


Fig.4.21. Muestra 74A-89. Inversión Heteroaxial en cavidades de fósil.

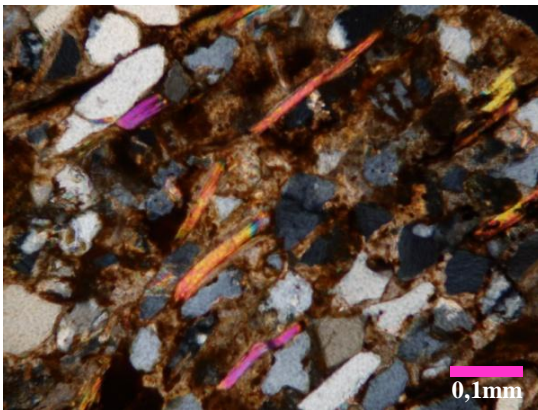


Fig4.22. Muestra 155-89. Alineación y deformación de micas.

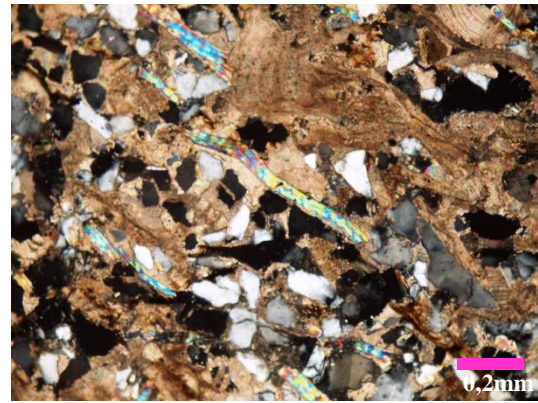


Fig.4.23. Muestra 315-89. Deformación de granos dúctiles.

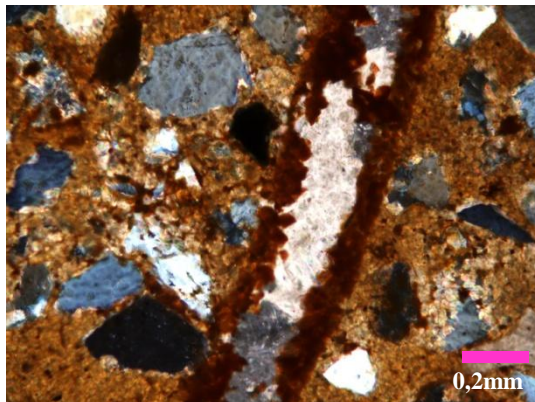


Fig4.24. Muestra 34-89. Dolomitización.

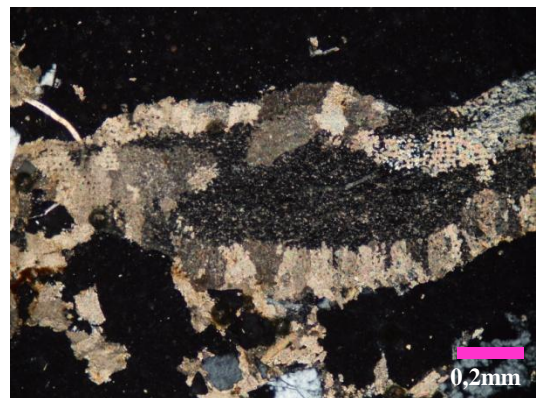


Fig4.25. Muestra 34-89. Cementación Radial.

Formación Socorro

La formación presenta una etapa de diagénesis temprana marcada por la presencia de *pellets* (fig.4.26), glauconitización de granos (figs.4.27 y 4.28) y la disolución de granos aloquímicos (fig.4.29) y ortoquímicos (fig.4.30). Otras evidencias es inversión homoaxial en fósiles de varias muestras marcando las etapas finales de diagénesis temprana.

La diagénesis tardía se empieza a observar con neomorfismo agradable en algunos fragmentos fósiles como se muestra en la figura 4.31. También es muy frecuente inversión heteroaxial en conchas. Las figuras 4.32, 4.33 y 4.34 muestran cómo va recristalizando la dolomita marcando así una avanzada etapa de diagénesis tardía.

Cementación con textura radial ubica a la roca en ambiente freático marino. Posteriormente cementación con textura isópaca en forma de hojas y mosaicos de tamaños pequeños sugieren la exposición de la roca en ambientes freáticos de agua fresca.

A partir de estas evidencias se puede señalar que la Formación Socorro se encuentra en una etapa diagenética intermedia.

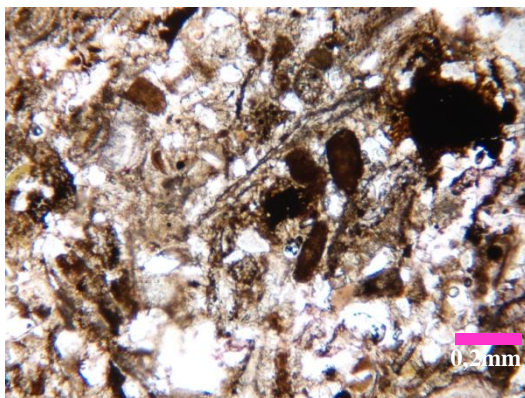


Fig.4.26. Muestra 337-89. *Pellets*

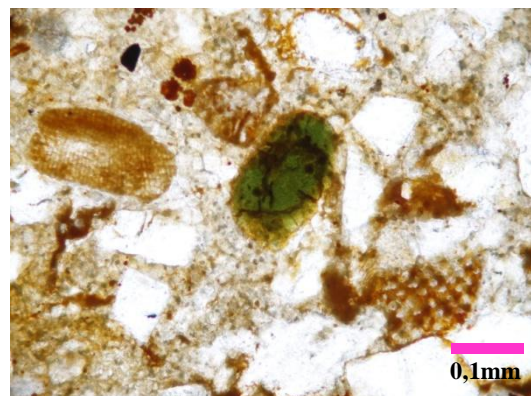


Fig.4.27. Muestra 136-89. Glauconita.

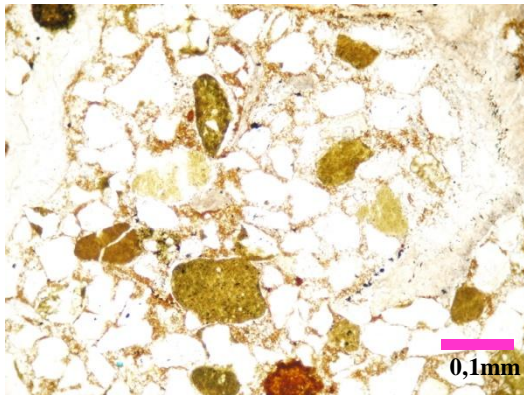


Fig.4.28. Muestra 270-89. Glauconitificación

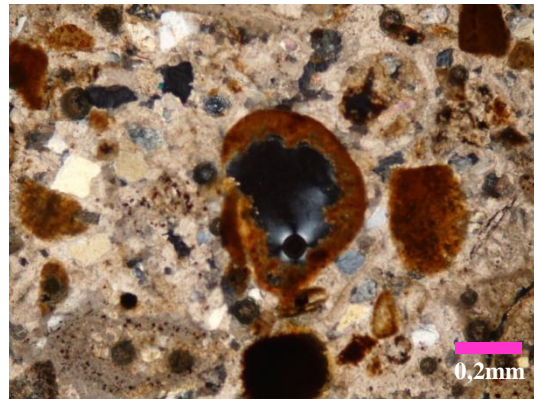


Fig.4.29. Muestra 283-89. Disolución de Aloquímicos

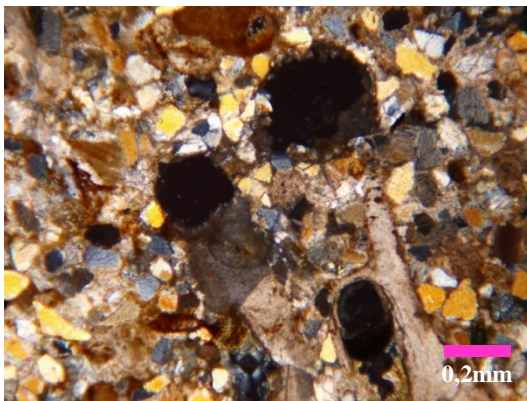


Fig.4.30. Muestra 97-89. Disolución de Ortoquímicos.

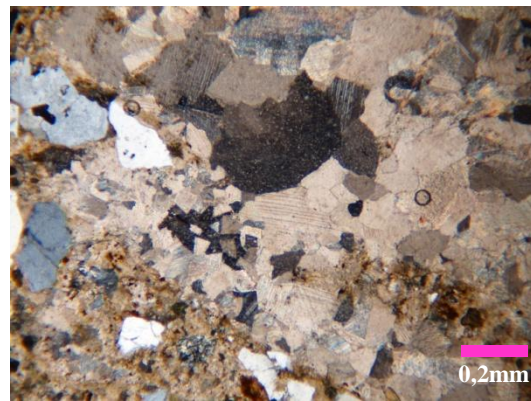


Fig.4.31. Muestra 114-89. Neomorfismo agradable.



Fig.4.32. Muestra 96-89. Matriz dolomitizada.



Fig.4.33. Muestra 96-89. Bordes dolomitizando

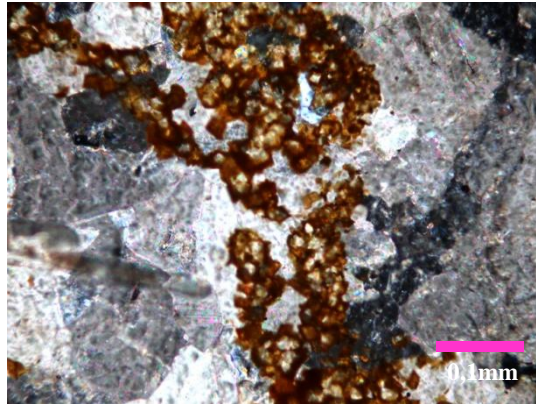


Fig.4.34. Muestra 42-89. Dolomita

Formación Urumaco

La Formación Urumaco presenta una muy bien marcada etapa de diagénesis temprana. Los procesos característicos que se observan son la formación de agregados y *pellets* (figuras 4.35 y 4.36), glauconitización de aloquímicos (fig.4.37), inversión homoaxial de fragmentos fósiles (fig.4.38), conchas bioturbadas con relleno parcial de microespato y porosidad secundaria tipo “vug”.

Otros aspectos relevantes son la calcitización en los bordes de extraclastos y algunas muestras que comienzan a mostrar calcita magnesiana y el inicio de inversión heteroaxial (fig.4.39), marcando así el final de la diagénesis temprana. También se puede reconocer en la figura 4.40 porosidad móldica y fracturamiento del fósil el cual indica que la diagénesis se llevo a cabo por presión ejercida en las rocas. La figura 4.41 muestra una meteorización superficial del óxido de hierro y la figura 4.42 la presencia de siderita en la formación, lo cual está relacionado con el ambiente diagenético.

La etapa de diagénesis tardía se inicia con la recristalización del lodo carbonático a cemento microespato y pseudoespatos como se aprecia en la figura 4.43.

Cemento rellenando fósiles (fig. 4.44) y fósil totalmente recristalizado evidencian una diagénesis tardía más avanzada (figs. 4.45 y 4.46). Micas orientadas de la figura 4.47 señalan presión existente en la roca. El fin de la diagénesis tardía la marca la aparición de inversión heteroaxial en conchas de moluscos (fig.4.48) y dolomitización de matriz en calcitas magnesianas (fig.4.49).

Las figuras 4.50, 4.51 y 4.52, muestran la recristalización del lodo carbonático a pseudoespato. También se observa la disminución del porcentaje de óxido a medida que ocurre la recristalización y la meteorización superficial del óxido de hierro (figs.4.51 y 4.52).

Se puede decir que la secuencia en determinados momentos se ubicó en diferentes ambientes. La porosidad tipo “vug” señala la exposición de la roca en una zona vadosa donde se vio expuesta a aguas meteóricas y oxígeno permitiendo la formación de estos espacios porales. Posteriormente ascendió el nivel del mar quedando totalmente sumergida en un ambiente freático marino cementando con textura radial como se observa en la figura 4.44. Finalmente descendió la columna de agua dejando la roca en una zona freática de agua fresca permitiendo el desarrollo de textura isópaca alrededor de los granos, siendo esta la más común en las muestras.

La Formación Urumaco cuenta con evidencias características de una diagénesis temprana bastante prolongada, mientras que no logra llegar al final de la diagénesis tardía, siendo esta mucho más corta y menos marcada, por lo tanto, se puede ubicar la formación en una etapa diagenética intermedia.

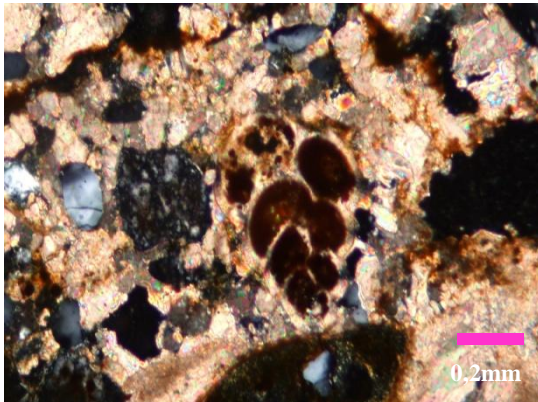


Fig.4.35. Muestra 128-85. Agregado.

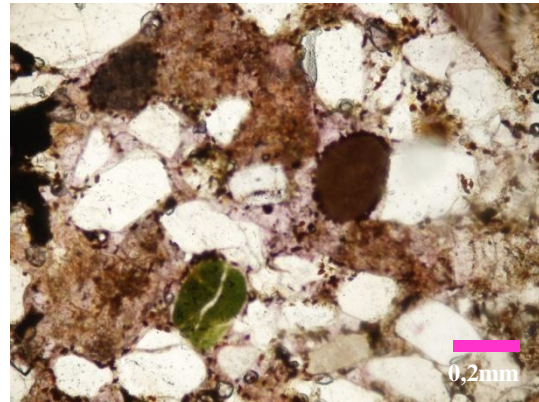


Fig.4.36. Muestra 99-86. Pellets glauconitizados

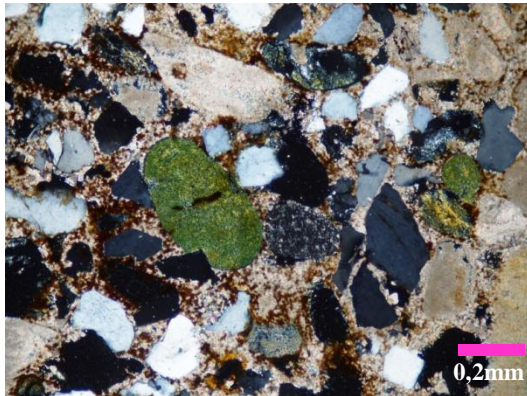


Fig. 4.37. Muestra 116-85. Glauconificación de Aloquímicos.

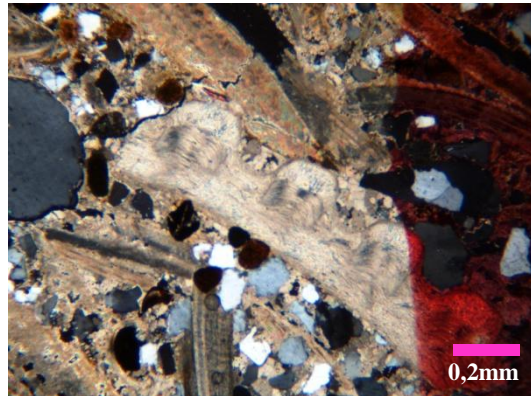


Fig.4.38. Muestra 238-85. Inversión Homoaxial de Fósil. Pellets.

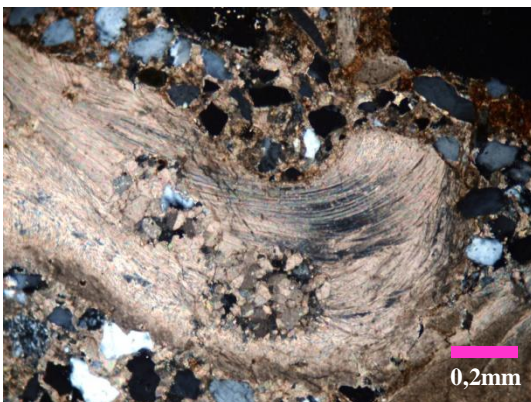


Fig.4.39. Muestra 247-85 Inversión homoaxial e inicio de inversión heteroaxial.

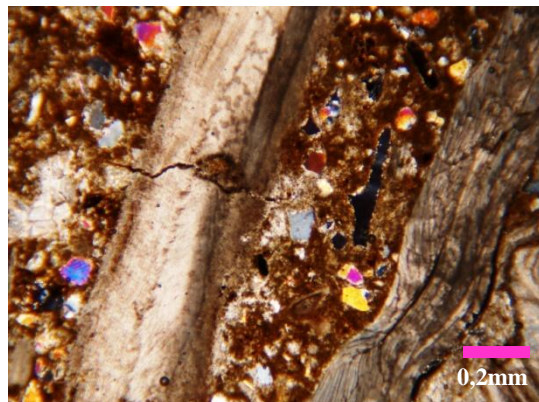


Fig.4.40. Muestra 61-86. Inversión homoaxial de molusco. Porosidad móldica. Fracturamiento de molusco.

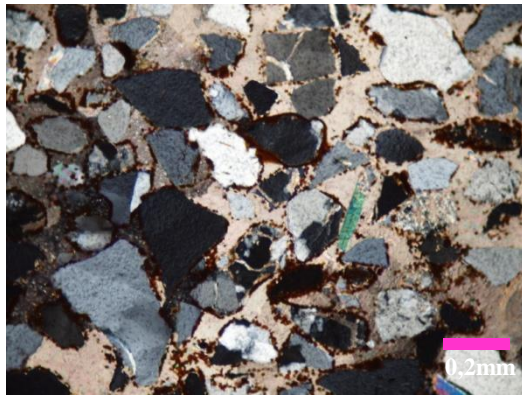


Fig.4.41. Muestra 115-86. Meteorización superficial de óxido de hierro.

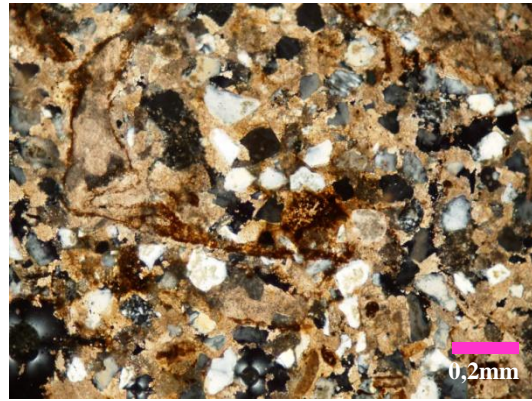


Fig.4.42. Muestra 117-86. Siderita.

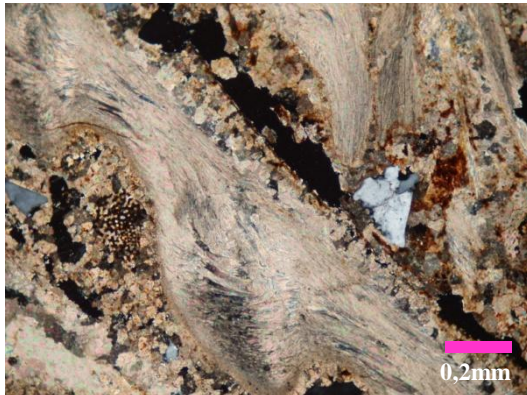


Fig.4.43. Muestra 390-85. Cemento equigranular.

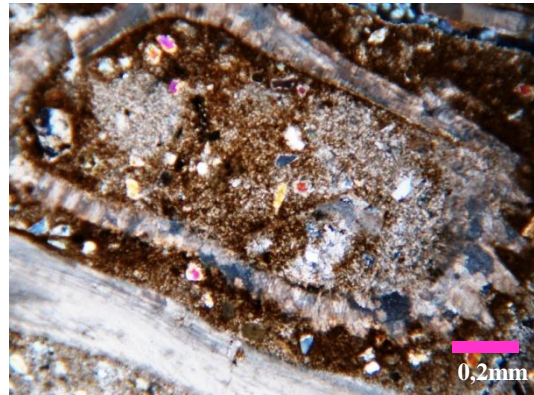


Fig.4.44. Muestra 64-86. Cemento radial.

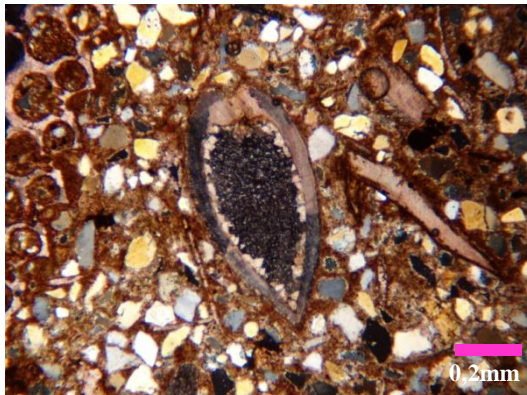


Fig.4.45. Muestra 68-86. Fósil recristalizado.



Fig.4.46. Muestra 68-86. Fósil recristalizado.

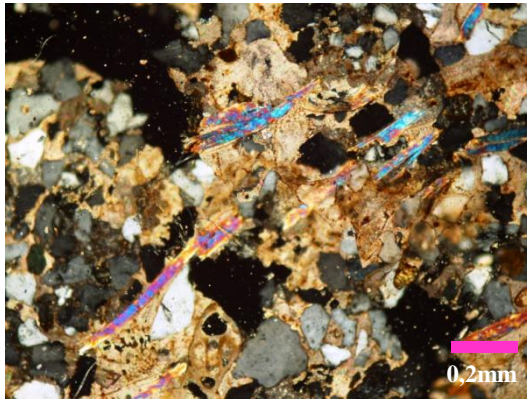


Fig.4.47. Muestra 111-85. Micas orientadas.

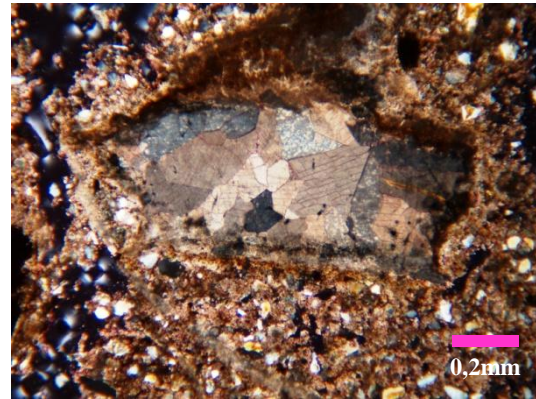


Fig.4.48. Muestra 65-86. Inversión heteroaxial.

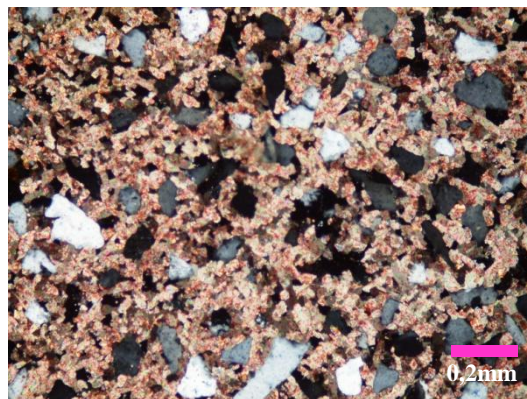


Fig.4.49. Muestra 109A-85. Dolomitización. Calcita Magnésiana

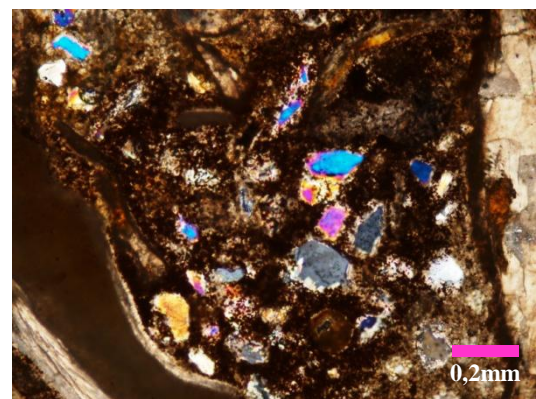


Fig. 4.50. Muestra 135-86. Lodo carbonático y óxido de hierro.

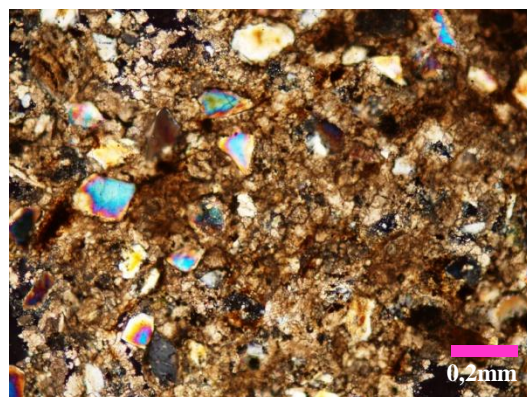


Fig.4.51. Muestra 134-86. Microespato. Disminución de cantidad de óxido de Fe.

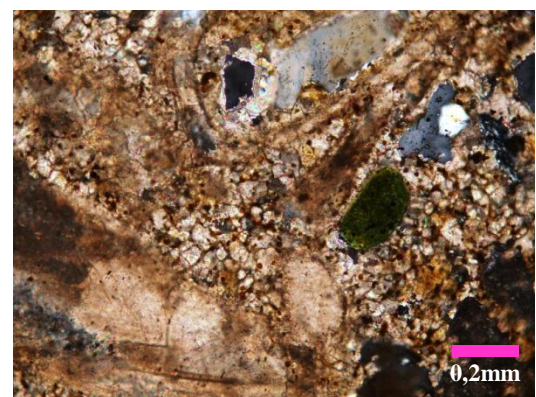


Fig.4.52. Muestra 133-86. Formación de Pseudoespato y meteorización superficial de Óxido de Fe.

4.6 PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN DE CARBONATOS DE MEZCLA

La clasificación pretende recopilar aspectos texturales y genéticos de las rocas de mezcla con la finalidad de obtener información sobre el ambiente donde estas se desarrollaron. Antes de explicar el sistema de clasificación para carbonatos de mezcla propuesto en este trabajo es necesario aclarar algunas definiciones.

4.6.1 Definiciones

Se entiende por roca híbrida al concepto inicialmente definido por Mount (1985), donde una roca de mezcla es aquella roca sedimentaria carbonática que en su composición tiene un porcentaje de extraclastos entre 10% y 50%.

- **Extraclastos:** Están definidos como aquellos clastos alóctonos, formados fuera del lugar de depositación o extracuencales (cuarzo, feldespatos, fragmentos de rocas sedimentarias y metamórficas, chert, moscovita, biotita, accesorios de circón glaucofano, glauconita, apatito, etc.) los cuales sufren transporte hidráulico otorgándole así características texturales indicativas de los niveles de energía a los cuales fueron sometidos. Es decir, bordes angulosos y subangulosos son indicios de rocas poco transportadas, o que la fuente se encuentra próxima; mientras que bordes redondeados y subredondeados señalan mayor cantidad de transporte. El tamaño de los granos también indica el tipo de transporte sufrido y otorga características del ambiente de depositación, granos tamaño arcilla de cuarzo o micas señalan ambientes de baja energía donde se encontraban en suspensión, mientras que grandes clastos o gravas indican alta energía hidráulica y un transporte por rodamiento o saltación.

- **Aloquímicos:** Referido a aquellos clastos de composición carbonática que habitan o se desarrollan en el lugar de depositación, por lo tanto son autóctonos o intracuencales. Los aloquímicos son divididos en dos grupos: Los intraclastos y los bioclastos. Los intraclastos son los fragmentos de caliza y todos aquellos fragmentos de fósiles retrabajados de tamaños variables en los cuales no se puede diferenciar el

tipo específico de fósil. Los bioclástonos son los fósiles completos o fragmentados en los cuales se puede diferenciar el tipo específico preexistente, entre este grupo están los: moluscos como los bivalvos, ostreas, entre otros; foraminíferos béticos y plancticos, algas, corales, etc; también se incluyen los pelets, ooides y agregados, los cuales a pesar de no tener el mismo origen que los anteriores, estos son reconocibles y se forman durante la depositación.

- **Ortoquímicos:** Divididos en dos grupos, la matriz o lodo carbonático y el cemento. La matriz son aquellos granos carbonáticos con tamaños entre 1-4micras. El cemento se refiere a aquellos granos carbonáticos formados por depositación directa o recristalización de la matriz por neomorfismo, el cemento se divide en tres (3) grupos: microespato (tamaño entre 5-15 micras), pseudoespato (tamaño entre 30-40micras) y el espato (tamaños mayores a las 64micras), el microespato y el pseudoespato suelen desarrollarse por recristalización de la matriz y el microespato sucesivamente, mientras que el espato rara vez se genera por neomorfismo, es depositado directamente.

- **Porosidad:** Son todos aquellos espacios vacíos que se observan en la roca. Puede ser primaria, que tiene lugar durante el proceso de depositación, secundaria generada durante la diagénesis por procesos de compactación, presión solución y cambios químicos del ambiente y porosidad inducida generada por el hombre durante el manejo de la roca en su extracción o elaboración de la sección fina, esta última no debe cuantificarse dentro del porcentaje de porosidad de la roca.

4.6.2 Propuesta de Clasificación

El sistema de clasificación para carbonatos de mezcla está elaborado en base al conocimiento de los porcentajes, de los componentes principales de la roca: extraclástonos, aloquímicos y ortoquímicos; mediante la previa descripción petrográfica

de la misma. Se pretende proporcionar un mecanismo para clasificar las rocas híbridas en el cual, a partir de la información obtenida en un estudio petrográfico sencillo se le pueda dar nombre y ubicarla en una zona de la plataforma carbonática. Para simplificar el sistema, los nombres dados a las rocas son los mismos usados por Mount (1985) en su clasificación. Se ubica cada tipo de roca en un cinturón de la plataforma carbonática y se mencionan algunas características principales.

La clasificación consiste en una tabla (figura 4.53) donde la división principal es la cantidad de extraclastos, ubicado en la parte superior del esquema, ya sea esta cantidad casi nula (entre 0-5%), muy baja (10-5), intermedia (15-30%) y alta (30-45%); posteriormente se considera el porcentaje de aloquímicos (tanto intraclastos como bioclastos); la cantidad de matriz presente en la roca: poca o regular; y el tipo de cemento predominante, ya sea de tamaño microespato o pseudoespato.

| | EXTRA CLASTOS 10-15% | | | EXTRA CLASTOS 15-30% | | EXTRA CLASTOS 15-35% | | EXTRA CLASTOS 30-45% | | EXTRA CLASTOS < 5% |
|----|--|--------------------|------------------------|---|--------------------|-------------------------------------|--------------------|----------------------------|-------------------------------------|--|
| %A | 20-30% | | | 0-15% | | 15-35% | | 0-5% | 10-20% | Abundante > 30% |
| M | Poca | | | Regular | | Poca | | Poca o Nada | | Regular - abundante |
| C | Microespato | | | Microespato | | Pseudoespato y Microespato | | Pseudoespato y Microespato | | Escaso, generalmente microespato |
| TA | F. Pequeños | F. Grande Completo | F. Mediano Retrabajado | F. Mediano Retrabajado | F. Grande Completo | F. Mediano Retrabajado | F. Grande Completo | F. Pequeño Retrabajado | F. Grande Retrabajado | Fósil Grande Completo y ocasionalmente retrabajado |
| W | 1 | 2 | 4 | 3 | | 6 ó 7 6 = Mayor contenido de FeO | | 9 | 6 ó 7 6 = Mayor contenido de FeO | 5 Biodermo |
| TE | < 0,004mm | | | (< 0,004mm Lodosa); (> 0,004mm Arenosa) | | | | < 0,004mm | > 0,004mm | Variado |
| N | Caliza Aloquímica Lodosa, Micrita Lodosa (Oscuras) | Caliza Aloquímica | | Micrita | | Caliza Aloquímica | | Lodolita Micritica | Arenisca Micritica | Boundstone, Floastone |

Fig. 4.53 Esquema de clasificación propuesta para carbonatos de mezcla. El Anexo IX muestra la tabla ampliada. %A: porcentaje % de aloquímicos; M: matriz; C: cemento predominante; TA: tamaño de aloquímicos; W: cinturón de Wilson; TE: tamaño de extraclastos; N: nombre; F: fósil.

Finalmente se evalúa el estado y tamaño del contenido fósil (aloquímicos) que es más frecuente en la roca, se toman en cuenta de cuatro formas: fósil pequeño

retrabajado, fósil mediano retrabajado, fósil grande retrabajado y fósil grande completo. Cada tipo de roca se encuentra ubicado en un cinturón de la plataforma carbonática señalado en la parte inferior del cuadro por el número correspondiente a la franja. El término arenisca o lodolita es dado por el tamaño predominante de los extraclastos, tamaño lodo ($< 0,004\text{mm}$) o tamaño arena ($>0,004\text{mm}$), subdividiéndose así cada renglón hasta llegar al nombre, el cual está dado por los dos o tres componentes mayoritarios en la roca.

Se añadió una columna extra con las características que se encuentran en una roca localizada en el cinturón 5 correspondiente al arrecife o construcciones orgánicas. El porcentaje de extraclastos es menor al 5% por lo tanto no se consideran carbonatos de mezcla, sino mas bien calizas puras o coquinas.

En el Anexo X se encuentra la planilla propuesta para realizar el estudio petrográfico. En líneas generales se mantiene el esquema de la planilla actual utilizada para los carbonatos, pero se añaden las características texturales de los extraclastos y se señalan patrones ambientales específicos propios de ambientes oxidantes y reductores.

4.6.1 Ensayo para Corroborar la Clasificación Propuesta

Para calibrar el sistema de clasificación y garantizar que puede ser aplicado en rocas híbridas, formadas en cuencas con condiciones iguales o parecidas a las de la zona estudiada; se evaluaron diez (10) secciones tomadas del trabajo de González (2009), correspondientes a las formaciones Socorro y Caujarao del área de la Vela de Coro, estado Falcón, localizadas específicamente al nororiente de la zona de estudio.

Se les realizó el mismo estudio petrográfico llevado a cabo en las demás muestras y de acuerdo a las descripciones ambientales hechas por el autor se ubicaron en las los cinturones correspondiente, tabla. 4.5. La tabla petrográfica detallada de las diez muestras se encuentra en el Anexo XI.

Clasificación y caracterización diagenética de rocas carbonáticas de mezcla en Falcón noroccidental a través de un estudio petrográfico.

López P. Elisa (2011)

Tabla 4.6. Ubicación de las diez muestras del trabajo de González (2009) en la cinturones de Wilson (1985) de acuerdo al ambiente depositacional señalado por el autor.

| CINTURÓN | Cuenca | Plataforma Mar Abierto | Plataforma Marginal | Frente de Talud | Arrecife Orgánico | Arenas de Borde de Plataforma | Plataforma Marina Abierta | Plataforma Circulación Restringida | Plataforma Evaporítica |
|-------------------|--------|------------------------|---------------------|-----------------|-------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------------|------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Número de Muestra | | | | | | CA-06 | CA-02 | CA-24 | |
| | | | | | | CA-12 | CA-11 | | |
| | | | | | | CA-16 | CA-19 | | |
| | | | | | | CA-18 | CA-20 | | |
| | | | | | | CA-23 | | | |

Al clasificar las muestras con el sistema propuesto se corrobora si coinciden en ubicación en los cinturones y si el nombre dado a las rocas es el apropiado o se debe realizar alguna corrección. La figura 4.54 muestra el esquema de clasificación propuesto, con una fila anexa donde se colocan las muestras correspondientes a cada nombre. La clasificación propuesta arroja los mismos nombres obtenidos al clasificar las diez (10) muestras según la clasificación de Mount (1985) y estas se distribuyen en los cinturones 6, 7 y 8 al igual que en la ubicación previa realizada únicamente con las características ambientales.

| | EXTRACLASTOS 10-15% | | | EXTRACLASTOS 15-30% | | EXTRACLASTOS 15-35% | | EXTRACLASTOS 30-45% | | | |
|----|--|--------------------|------------------------|---|--------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| %A | 20-30% | | | 0-15% | | 15-35% | | 0-5% | | 10-20% | |
| M | Poca | | | Regular | | Poca | | Poca o Nada | | | |
| C | Microespato | | | Microespato | | Pseudoespato y Microespato | | Pseudoespato y Microespato | | | |
| TA | F. Pequeños | F. Grande Completo | F. Mediano Retrabajado | F. Mediano Retrabajado | F. Grande Completo | F. Mediano Retrabajado | F. Grande Completo | F. Pequeño Retrabajado | F. Grande Retrabajado | | |
| W | 1 | 2 | 4 | 3 | | 6 ó 7 | 8 | 9 | | 6 ó 7 | |
| TE | < 0,004mm | | | (< 0,004mm Lodosa); (> 0,004mm Arenosa) | | > 0,004mm | | < 0,004mm | > 0,004mm | < 0,004mm | > 0,004mm |
| N | Caliza Aloquímica Lodosa, Micrita Lodosa (Oscuras) | Caliza Aloquímica | | Micrita | | Caliza Aloquímica | | Lodolita Micrítica | Arenisca Micrítica | Lodolita Aloquímica | Arenisca Aloquímica |
| N° | | | | | | CA-12, 16, 18, 23 | 11, 19, 20 | CA-24 | | CA-02, CA-06 | |
| N | | | | | | Caliza Aloquímica Arenosa | Caliza Aloquímica Arenosa | | | Arenisca Aloquímica | |

Fig 4.54. Ubicación de las muestras de corroboración en el esquema de clasificación propuesto.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La clasificación para calizas propuesta por Robert Dunham en 1962, no establece una caracterización genética de las rocas, no indica los ambientes depositacionales donde éstas se pueden desarrollar, ni define la existencia de siliciclásticos en los carbonatos.

La clasificación para carbonatos de mezcla propuesta por Zuffa (1975), solo indica la procedencia de los componentes principales pero no me brinda un nombre que defina las características de la roca.

La clasificación para rocas híbridas propuesta por Mount (1985), permite separar por tipo de roca pero no asocia parámetros texturales de los extraclastos ni la cementación predominante, importantes para la ubicación de esta en un marco ambiental.

La presencia y reconocimiento del tipo de dolomita brinda información ambiental y diagenética de la roca.

La dolomitización primaria se definió para el cinturón evaporítico 9, donde las dolomitas se encuentran reemplazando al cemento microespato, presentan romboedros con bordes sin desarrollarse y tamaños entre 4-6 micras. Mientras que las dolomitas tardías producto de la recristalización tienen cristales bien desarrollados, en forma de romboedros perfectos de tamaños mayores a las 20micras, estas se ubican en los cinturones 6, 7 y más marcadamente en el cinturón 8.

En la zona de estudio se definieron siete (7) litotipos: arenisca micrítica, arenisca aloquímica, caliza aloquímica arenosa, caliza aloquímica lodosa, micrita arenosa, micrita lodosa y lodolita micrítica.

Las formaciones se encuentran ubicadas a lo largo de 3 de las zonas de mezcla propuestas por Mount (1985), en plataforma carbonática, teniendo así influencia de siliciclásticos por mezcla “in situ”, puntual y mezcla de facies.

La Formación Urumaco y Caujarao al ser contemporáneas, coinciden en ser característicamente arenosas. Mientras que la Formación Socorro tiende a ser tanto arenosa como lodosa.

Las formaciones estudiadas abarcan los cinturones 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9. Los cinturones 1 y 5 definidos por Wilson (1985) rara vez suelen formar carbonatos de mezcla, debido a la escasa presencia de terrígenos en esas áreas (cuenca marino profundo y arrecifes).

La Formación Socorro, Caujarao y Urumaco se encuentran en una diagénesis intermedia, definida así por presentar características tanto de una etapa temprana y tardía diagenética.

La etapa de diagénesis temprana de la Formación Urumaco, tuvo lugar por presión litoestática ejercida no por compactación al presenta microfósiles fracturados y fallados “insitu”.

El contacto entre la Formación Urumaco y la Formación Caujarao no se puede definir con precisión por ser una transición lateral de la misma edad.

La zona de estudio se puede definir en unos ambientes depositacionales conformados por: ambiente deltaico progradante con influencia fluvial y aporte continental, barras de desembocadura y barras progradantes, lagunas marinas restringidas y barras arrecifales distales.

RECOMENDACIONES

Para un estudio a detalle de las rocas de mezcla usando la clasificación propuesta por Mount (1985), es recomendable recalcular los valores de extraclastos, aloquímicos y micrita a partir de los componentes principales, para posteriormente graficar en el diagrama tetraedral y obtener mayor precisión en los tipos de rocas.

Llevar a cabo este trabajo con secciones conocidas en otras formaciones y así completar la información en los nueve (9) cinturones y perfeccionar las descripciones aquí echas de cada tipo de roca.

Aplicar este trabajo en cuencas con características diferentes a las de Falcón y determinar si el patrón puede generalizarse o solo está particularizado para esta zona.

Afinar la clasificación para rocas híbridas aquí propuesta y marcar diferencias más puntuales entre los cinturones 6 y 7 mas allá de las condiciones ambientales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Audemard, F. (1995). “La cuenca terciaria de Falcón, Venezuela noroccidental: Síntesis Estratigráfica, Génesis e Inversión Tectónica”. IX Congreso Latinoamericano de geología. Caracas.
- Boesi, T y Goddard, D. (1987); “A new geological model related to the distribution of hydrocarbon source rocks in the Falcon basin, northwestern Venezuela”, en BIDDLE, K., (ed.) AAPG, Memoir 48, p. 303 – 319.
- De Santis, F. y Parra, G. (1985). “Análisis paleoambiental y de facies del terciario superior en los alrededores de Sabaneta”, Trabajo Especial de Grado, Caracas, pp. 1-6; 102-104.
- Díaz de Gamero, M. L. (1989). “Formación Socorro, Código estratigráfico de las cuencas petroleras de Venezuela”. <http://www.pdvsa.com/lexico/s24w.htm> (consulta 23-3- 2011).
- Díaz de Gamero, M. L. (1985). “Formación Socorro, Código estratigráfico de las cuencas petroleras de Venezuela”. <http://www.pdvsa.com/lexico/s24w.htm> (consulta 23-3- 2011).
- Díaz de Gamero, M. L. y O. J. Linares. (1989). “Formación Caujarao. Código estratigráfico de las cuencas petroleras de Venezuela”. <http://www.pdvsa.com/lexico/s24w.htm> (consulta 23-3-2011)
- Díaz de Gamero, M. L. y O. J. Linares. (1989). “Formación Urumaco. Código estratigráfico de las cuencas petroleras de Venezuela”. <http://www.pdvsa.com/lexico/s24w.htm> (consulta 23-3-2011)
- Dunham, R. (1962). “Classification of carbonate rocks according to depositional texture”, Classification of Carbonate Rocks, Memoria 1, pp. 108-121.

- Esteves, T. y Villalta, E. (1989) "Estratigrafía de una zona ubicada entre Sabaneta y Coro, Distrito Miranda, Estado Falcón", Trabajo Especial de Grado, Caracas, pp. 1-4; 109-116.
- Folk, R. (1962). "Spectral subdivision of limestone types", Classification of Carbonate Rocks, Memoria 1, pp. 62-84.
- Garrity, C., Hackley P., Urbani, F. (2004). "Digital Shaded-Relief Map of Venezuela", United States Geological Survey and Universidad Central de Venezuela.
- Ginsburg, R. (1957). "Early diagenesis and lithification of shallow-water carbonate sediments in south Florida", Regional aspects of carbonate deposition S.E.P.M Spec publ, pp 80-99.
- González, P. (2009). "Control sedimentológico y análisis de facies de las formaciones Socorro y Caujarao, campo La Vela, estado Falcón", Trabajo Especial de Grado, Caracas, p. 188.
- González de Juana, C., Arozena & X. Picard-Cadillat. (1980). "Geología de Venezuela y sus cuencas petrolíferas". Caracas, Foninves ediciones, v.2, pp. 586-590.
- Graterol, M. y Orihuela, M. (2004). "Estudio de facies sedimentarias y análisis de secuencias estratigráficas en los depósitos miocénicos aflorantes en las quebradas agua viva y el paují, estado Falcón", Trabajo Especial de Grado, Caracas, pp. 10-11; 66-97.
- Macellari, C. (1995). "Cenozoic sedimentation and tectonics of the southwestern Caribbean pullapart basin, Venezuela and Colombia", AAPG (62), pp. 757-780.
- Méndez, J. (2009). "Carbonatos. Origen y Sedimentación", Universidad Central de Venezuela, Caracas, pp. 111-130.
- Mount, J. (1985). "Mixed siliciclastic and carbonate sediments: a proposed first-order textural and compositional classification", Journal of Sedimentary Petrology, Vol.50, No. 32, 1985, pp. 435-442.
- Muesssig, K. (1984); "Structure and Cenozoic tectonics of the Falcon basin, Venezuela and adjacent areas en W. E. Bonini, R. B. Hargraves y R. Shagam,

-
- The Caribbean – South American Plate boundary and regional tectonics”, Geological Society of America, Memoria 162, pp. 217 – 230.
- Pettijohn F. J., Potter P. E. & Siever (1972). “Sand and Sandstone”. Springer-Verlag, New York-Heidelberg, p. 618.
- Petzall, C. K. (1959). “Formación Caujarao. Código estratigráfico de las cuencas petroleras de Venezuela”. <http://www.pdvsa.com/lexico/s24w.htm> (consulta 23-3- 2011).
- Porras, L. (2000); “Evolución tectónica y estilos estructurales de la región costa afuera de las cuencas de Falcón y Bonaire”, VII Simposio Bolivariano, Exploración Petrolera en las Cuencas Sub andinas, Sociedad Venezolana de Geólogos, Caracas, Venezuela, pp. 279 – 292.
- Reyes, A., Torre, L. (2007). “Estratigrafía y caracterización de facies de la Formación Querales en sus contactos superior e inferior, noroccidente del estado Falcón”, Trabajo especial de Grado, Caracas, p. 188.
- Saavedra, J. y Vélez F. (1987). “Análisis estratigráfico, sedimentológico y paleontológico de la Formación Urumaco en su área tipo”, Trabajo Especial de Grado, Caracas, pp. 38-99.
- Vallenilla, L. P. (1961). “Formación Caujarao. Código estratigráfico de las cuencas petroleras de Venezuela”. <http://www.pdvsa.com/lexico/s24w.htm> (consulta 23-3-2011).
- Wilson, J. (1975). “Carbonate facies in geologic history”. New York, Heidelberg Berlin, pp 57-71.
- Williston, S. H. y Nichols C. R. (1928). “Formación Urumaco. Código estratigráfico de las cuencas petroleras de Venezuela”. <http://www.pdvsa.com/lexico/s24w.htm> (consulta 23-3-2011).
- Wozniak J. y Wozniak H., (1989). “Formación Caujarao. Código estratigráfico de las cuencas petroleras de Venezuela”. <http://www.pdvsa.com/lexico/s24w.htm> (consulta 23-3- 2011).
- Zapata E., Rey O., Padrón V., Machado A. (2001). “Carbonatos de mezcla en la Formación la Vela (Mioceno Tardío – Plioceno). Venezuela occidental”, Revista de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V., Vol (16), N° 1, pp 73-84.

Zapata, E. (1983). "Manual de petrografía y diagénesis de rocas carbonáticas". Geos (28), pp 3-140.

Zuffa, G. (1980). "Hybrid arenites: their composition and classification", Journal of Sedimentary Petrology, Vol.50, No. 1, pp 21-28.

ANEXOS

LISTADO DE ANEXOS

Anexo I: Mapa Geológico, Hoja I, II y III.

Anexo II: Tablas Petrográficas de 63 muestras.

Anexo III: Tablas con las características petrográficas para cada cinturón de Wilson.

Anexo IV: Esquema de clasificación para rocas carbonáticas de mezcla propuesta.

Anexo X: Planilla petrográfica propuesta para carbonatos de mezcla.

Anexo XI: Tabla petrográfica de 10 muestra usadas para la corroboración de la clasificación.

