

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DE LITOFAZIES DEL EOCENO SUPERIOR – MIOCENO EN LA ZONA CENTRO OCCIDENTAL DE LA CUENCA DE FALCÓN, SECCIÓN SURESTE DE LA POBLACIÓN PEDREGAL

Tutor Académico: Prof. Ricardo Alezones

Trabajo Especial de grado presentado
ante la ilustre Universidad Central de
Venezuela para optar por el título de
Ingeniero Geólogo por los bachilleres
Romero Yulner y Salas Rogers.

Caracas, julio de 2004

Caracas, 30 de junio de 2004

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geológica para evaluar el trabajo especial de grado presentado por los Bachilleres, Romero Yulner y Rogers Salas, titulado:

“Estudio de Litofacies del Eoceno Superior – Mioceno Superior en la zona centro occidental de la Cuenca de Falcón, sección sureste de la población Pedregal”

Considera que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Geólogo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por los autores, lo declaran **APROBADO**.

Prof. Paul Romero
Jurado

Prof. Lenin González
Jurado

Prof. Ricardo Alezones
Tutor Académico

Dios no podía estar en todas partes a la vez, y por eso creó a nuestros padres.

Dedicado a mis padres...

Yulner Romero.

Cuando nací mis padres eran los seres que a veces aparecían para aplaudir mis últimos logros. Cuando me iba haciendo mayor, eran la figura que me enseñaban la diferencia entre lo malo y lo bueno. Durante mi adolescencia eran la autoridad que me ponían límites a mis deseos. Ahora que soy adulto, son los mejores consejeros y amigos que tengo.

Dedicado a mis padres y
a mi tío Alex (mi ángel
guardián)...

Rogers Salas.

Agradecimientos de Yulner Romero.

A mis padres Julián y Nérida, por el apoyo brindado durante toda mi carrera, no dudaron nunca de mi, fueron mi fortaleza y mi guía durante estos años.

A mi hermana Yuliana, que siempre estuvo conmigo siendo mi mejor confidente y apoyo en cada instante que la necesite.

A mi primo “Pol”, por enseñarme que la vida es ahora y que debo disfrutarla a cada instante.

A toda mi familia que siempre esperaron por este momento.

A la Universidad Central de Venezuela, mi Alma Mater

A la Escuela de Geología, Minas y Geofísica.

A los profesores Ricardo Alezones, Olga Rey, Lenín González y Paúl Romero, por orientarnos y formarnos como profesionales.

A mi casi hermano Ing. William Olaya (Patea Tobo), cuyo espíritu de cooperación y abnegación hacia sus semejantes y en especial hacia nosotros lo colocan en nuestro mas alto sitial.

A Freddy Ziritt por brindarme su confianza (Baragua).

A Luís B. (Camión de Carne), por sus maravillosos mega píxeles, siempre dispuesto a retratar lo mejor de nosotros y nuestro campo.

A la gente de la UCV, Doris, Chimi, Orly, Abdel, Ivan, Fátima Vanessa, Milly Dayana (Feng Shui), Chilanga, Seymour, Marcel (La Bruja), Jesús (Copiadora), Hildemaro (Columnas), Mariangela, Karen, María, Franco, Susana y Guisepinna Russo, Johan, Deiby, Giovanni (Fortachon), Humberto (Gordo), Humberto (Catire), La Catira, El Brujo, Winnie, Juan Umerez, Jennifer, Cristal, Cristel, Cristalí, Jennifer (Cocosette), Richard Linares, El Chino Cheng, Rosita, Adrianita, La Chuli, Jaime, José S., Castellin, Pepito, Sayuri, Densa

A los guareneros, Yolanda, Julio, Julio Jr, Edylmar, Andrés, Gardel, Lupin, Eneida y Rafael Cárdenas

A la gente de Purureche, Baragua en especial Pedro y Pedro Jr, Candida, La Negra, Heidi, Gitus, Chevo, Alberto, Olivio, Desiderio.

A mi compañero de tesis Rogers (Seno Face) Salas, el mejor de todos...

Agradecimientos de Rogers Salas.

A mis padres Yola y Julio los cuales han sido y serán mi más grande ejemplo de fortaleza, superación, dignidad y moralidad. A mis queridos hermanos Edyl y Julio, por estar conmigo y apoyarme en cada momento que los he necesitado.

A mis casi hermanos Luís (Lupin), Enrique (Gardel), Eneida y Rafael Cárdenas por toda la ayuda emocional y material prestada, ya que gracias a ellos este trabajo pudo ser realizado en el tiempo requerido.

A la ilustre Universidad Central de Venezuela, la casa que vence las sombras.

A la Facultad de Ingeniería y a la Escuela de Geología, Minas y Geofísica.

Al profesor Ricardo Alezones, persona a la que aprecio mucho, nunca me dio la espalda y gracias a él puedo decir que soy Ingeniero de la República.

A mi amigo Yulner (Iguana) Romero, al cual considero un hermano más; me ha acompañado en los momentos buenos y en los difíciles, en verdad un buen ejemplo de amistad y hermandad.

A Luís (Camión) Berroterán, por ser una gran y divertida persona.

A Freddy Ziritt por brindarnos momentos de desasosiego y tranquilidad.

A todos mis compañeros de la UCV Mariangela, Karen Delgado, La Chuli, Iván, Daniel (Winnie Pooh), Jennifer, Adrianita, Martica, Orly (Pumba), Freddy (Chimi), Ma.Gabriela (La Catira), Richard Linares, Seymour, Giovanni (Fortachon), Humberthaw, Deiby, Johan, Marcel (Jarry el Pote), Juan Umerez, Abdel, Chilanga, El Yisus, Doris, Daniel (Pepito), Sayuri, Deysa, Luis Humberto y demás...

Un especial agradecimiento a mi súper panita Ing. William (Salmón) Olaya, persona de una gran calidad humana y de maravillosos sentimientos, siempre atento y presto a ayudar cuando se le necesita.

A la maravillosas personas de las poblaciones de Purureche y Baragua, especialmente a Franco, Pedro, Pedro Jr., La Negra, Heidi, Gitus y Chevo.

A la familia García Aman, por hacerme sentir uno más de ellos, por ayudarme y por soportarme, en especial Rosmary, por ser tan especial conmigo y brindarme todo el apoyo sentimental necesario, en verdad gracias por existir (T.Q.P.S.T). TE AMO

Gracias a Dios por estar conmigo siempre...

INDICE GENERAL

| | |
|--|-------|
| CONSTANCIA DE APROBACIÓN | ii |
| DEDICATORIA | iii |
| AGRADECIMIENTOS | iv |
| INDICE GENERAL | vi |
| INDICE DE FIGURAS | x |
| RESUMEN | xxiii |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 GENERALIDADES | 1 |
| 1.2 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO | 2 |
| 1.3 OBJETIVOS | 4 |
| 1.3.1 Objetivo general | 4 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 4 |
| 1.4 ALCANCE DEL TRABAJO | 4 |
| 1.5 METODOLOGÍA | 5 |
| 1.5.1 Recopilación bibliográfica y cartográfica | 5 |
| 1.5.2 Geología de campo y recolección de muestras | 6 |
| 1.5.2.1 Ubicación de secciones estratigráficas | 6 |
| 1.5.2.2 Levantamiento de secciones estratigráficas | 6 |
| 1.6 FASE DE LABORATORIO | 7 |
| 1.6.1 Análisis petrográfico convencional | 8 |
| 1.6.2 Etapa de oficina | 9 |
| 1.7 CONSIDERACIONES GENERALES DE LA ZONA | |
| SUROESTE DE LA POBLACIÓN PEDREGAL | 9 |
| 1.8 TRABAJOS PREVIOS | 10 |
| 2. GEOLOGÍA REGIONAL | 12 |
| 2.1 EVOLUCIÓN ESTRATIGRÁFICA | 12 |
| 2.1.1 Eoceno Medio y Tardío | 14 |
| 2.1.2 Oligoceno – Mioceno Temprano | 16 |

| | |
|--|----|
| 2.1.3 Mioceno Medio – Mioceno Superior | 27 |
| 2.1.4 Plioceno – Cuaternario | 28 |
| 2.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL | 29 |
| 2.2.1 Evolución tectónica de la Cuenca de Falcón | 31 |
| 2.2.1.1 La Teoría del “Pull Apart” | 31 |
| 2.2.1.2 Teoría de Porras “El Orógeno de Flotación” | 38 |
| 2.2.1.3 Otras teorías | 40 |
| 3. GEOLOGÍA LOCAL | 47 |
| 3.1 SECTORES DE ESTUDIO | 48 |
| 3.1.1 Sector A | 48 |
| 3.1.2 Sector B | 52 |
| 3.1.3 Sector C | 54 |
| 3.1.4 Sector D | 58 |
| 3.1.5 Sector I | 61 |
| 3.1.6 Sector J | 64 |
| 3.1.7 Sector K | 68 |
| 3.1.8 Sector L | 71 |
| 3.1.8 Sector M | 75 |
| 3.2 DEFINICIÓN Y DESCRIPCIONES DE UNIDADES | |
| LITOLÓGICAS | 80 |
| 3.2.1 Unidad Litológica N°1 (UL1) | 81 |
| 3.2.2 Unidad Litológica N° 2 (UL2) | 83 |
| 3.2.3 Unidad Litológica N° 3 (UL3) | 84 |
| 3.2.4 Unidad Litológica N° 4 (UL4) | 85 |
| 3.2.5 Unidad Litológica N° 5 (UL5) | 87 |
| 3.2.6 Unidad Litológica N° 6 (UL6) | 89 |
| 3.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL | 90 |
| 4. LITOFAZIES | 96 |
| 4.1 GENERALIDADES | 96 |
| 4.2 NOMENCLATURA DE LITOFAZIES | 97 |

| | |
|--|------------|
| 4.2.1 Sistema de Clasificación | 98 |
| 4.3 DEFINICIÓN DE LITOFAZIES | 99 |
| 4.3.1 Facies de las areniscas de grano fino (A3) | 99 |
| 4.3.2 Facies de las areniscas de grano fino con fósiles (A3f) | 100 |
| 4.3.3 Facies de las areniscas de grano fino con rizaduras (A3r) | 102 |
| 4.3.4 Facies de las areniscas de grano fino con fósiles y rizaduras (A3fr) | 103 |
| 4.3.5 Facies de las areniscas de grano fino con estratificación Paralela y rizaduras (A3pr) | 104 |
| 4.3.6 Facies de las areniscas de grano fino con estratificación cruzada y rizaduras (A3cr) | 105 |
| 4.3.7 Facies de las areniscas de grano medio (A4) | 106 |
| 4.3.8 Facies de las areniscas de grano grueso con estratificación cruzada (A5c) | 108 |
| 4.3.9 facies de las areniscas de grano grueso con rizaduras (A5r) | 108 |
| 4.3.10 Facies de los conglomerados de gravas (CO7) | 109 |
| 4.3.11 Facies de las heterolitas (H) | 110 |
| 4.3.12 Facies de las calizas (CA) | 111 |
| 4.3.13 Facies de las calizas fosilíferas (CAF) | 112 |
| 4.3.14 Facies de las lutitas carbonosas y carbónes (C) | 113 |
| 4.3.15 Facies de las limolitas (L2) | 114 |
| 4.3.16 Facies de lutitas y lutitas negras | 115 |
| 5. ANÁLISIS PETROGRÁFICO | 116 |
| 5.1 GENERALIDADES | 116 |
| 5.2 MUESTRAS | 117 |
| 5.2.1 Facies A3f : sección M-22 | 117 |
| 5.2.2 Facies A3f : sección J8-3 | 119 |

| | |
|---|-----|
| 5.2.3 Facies A3 : sección D22-1 | 121 |
| 5.2.4 Facies A3r : sección J5 | 123 |
| 5.2.5 Facies A3pr : sección M-61 | 125 |
| 5.2.6 Facies A3cr : sección D26-1 | 127 |
| 5.2.7 Facies A5r : sección M-46 | 129 |
| 5.2.8 Facies A5r : sección M-62 | 131 |
| 5.2.9 Facies A5c : sección L6 | 133 |
| 5.2.10 Facies A4 : sección K9 | 135 |
| 5.2.11 Facies CO7 : sección D1-1 | 137 |
| 5.2.12 Facies CAf : sección C11-11 | 138 |
| 5.2.13 Facies CAf : sección D19-1 | 140 |
| 6. ASOCIACIÓN DE FACIES | 142 |
| 6.1 GENERALIDADES | 142 |
| 6.1.1 Facies | 142 |
| 6.1.2 Ambientes | 142 |
| 6.2 ASOCIACIONES | 144 |
| 6.2.1 Asociación N° 1.- Paludal costero (AF1) | 144 |
| 6.2.2 Asociación N° 2.- Laguna (AF2) | 146 |
| 6.2.3 Asociación N° 3.- Estuario (AF3) | 148 |
| 6.2.4 Asociación N° 4.- Abanico de rotura (AF4) | 152 |
| 6.2.5 Asociación N° 5.- Litoral de costa alta (AF5) | 154 |
| 6.2.6 Asociación N° 6.- Litoral de costa baja (AF6) | 156 |
| 6.2.7 Asociación N° 7.- Sublitoral interno (AF7) | 157 |
| 6.2.8 Asociación N° 8.- Sublitoral externo (AF8) | 161 |
| 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 163 |
| 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 166 |
| 9. ANEXOS | 175 |

INDICE DE FIGURAS

| | Pag. |
|---|-------------|
| Fig. 1.- Mapa de ubicación de la zona de estudio (Atlas Encarta 1998) | 2 |
| Fig. 2.- Mapa de ubicación de la zona de estudio (Atlas Encarta 1998) | 2 |
| Fig. 3.- Ubicación exacta de la zona de estudio realizada a partir de la recopilación cartográfica existente. | 3 |
| Fig. 4.- Ubicación de la Cuenca de Falcón y sus límites. Tomado y modificado de Boessi & Godard (1978) | 13 |
| Fig. 5.- Modelo sedimentario esquemático durante el Oligoceno-Mioceno Temprano para la cuenca de Falcón Bonaire.(Tomado de Porras, 2000). | 17 |
| Fig. 6.- Gráfico que representa la evolución de las cuencas “pull-apart” Falcón y Bonaire, Tomado de Muessig (1978) | 32 |
| Fig..7.- Modelo de generación de cuencas “pull-apart” episuturales (suroeste Caribe) por el desplazamiento de las placas Caribe Suramericana en el Eoceno Tardío. Tomado de Macellari (1995) en la WEC (1997). | 35 |
| Fig. 8.- Evolución del modelo de generación de Cuencas “pull-apart” episuturales en su máximo desarrollo (SO Caribe) por el desplazamiento de las placas Caribe y Suramericana para el Oligoceno Mioceno Tardío. Tomado de Macellari (1995) en la WEC (1997). | 36 |

| | |
|--|----|
| Fig. 9.- Configuración actual de la Cuenca de Falcón según Macellari (1995) en la WEC (1997). | 36 |
| Fig.10.- Reconstrucción del Bloque de Margarita posición en el Eoceno Medio-Tardío. Tomado de Erlych & Barret (1990). | 37 |
| Fig.11.- Modelo de orógeno de flotación para la cuenca de Falcón Bonaire. Tomado de Porras (2000). | 40 |
| Fig.12.- Modelo original conceptual para la cuenca (después de González de Juana, 1980) y una compilación estratigráfica (después de Wheeler, 1963) basado sobre sección transversal a través del centro de la cuenca entre San Luis y Churuguara Tomado y modificado de Boesi & Goddard (1991). | 41 |
| Fig.13.- Modelo conceptual propuesto para la cuenca de Falcón. Tomado y modificado de Boesi & Goddard (1991). | 42 |
| Fig.14.- Secciones esquemáticas a través de la cuenca de Falcón. Tres secciones trasversales noroeste-sureste (A-A',B-B',C-C') mostrando extensión y compresión y una sección longitudinal (D-D') mostrando continuidad de la extensión. Tomado y modificado de Boesi & Goddard (1991). | 44 |
| Fig.15.- Mapa de ubicación de la zona de estudio y de los sectores “este” (en amarillo) y “oeste” (en azul) donde se realizaron los levantamientos sobre las quebradas | 47 |
| Fig.16.- Mapa de ubicación del Sector A, donde se estudiaron 30 afloramientos a lo largo de la Qda. Purureche. | 49 |

| | |
|---|----|
| Fig.17.- Fotografía de un afloramiento de areniscas calcáreas. | |
| Rumbo de foto N80E | 50 |
| Fig.18.- Fotografía de un afloramiento de areniscas masivas de grandes espesores. Rumbo de foto N47E | 50 |
| Fig.19.- Fotografía de un afloramiento de calizas. Rumbo de foto N80E | 51 |
| Fig. 20.- Fotografía de limolitas intercaladas con lutitas. | |
| Rumbo de foto N55E | 51 |
| Fig. 21.- Mapa de ubicación del Sector B, donde se estudiaron 22 afloramientos de un ramal de la Qda. Purureche | 52 |
| Fig.22.- Fotografía de areniscas intercaladas con lutitas. | |
| Rumbo de foto S45W | 54 |
| Fig.23.- Mapa de ubicación del Sector C, donde se estudiaron 26 afloramientos de un ramal de la Qda. Purureche | 55 |
| Fig. 24.- Fotografía de areniscas intercaladas con lutitas. | |
| Rumbo de foto N50E | 56 |
| Fig. 25.- Fotografía de caliza con restos fósiles de turritellas. | |
| Rumbo de foto N40E | 57 |
| Fig. 26.- Fotografía de limolitas intercaladas con lutitas. | |
| Rumbo de foto N60E | 58 |

| | |
|---|----|
| Fig.27.- Mapa de ubicación del Sector D, donde se estudiaron 41 afloramientos a lo largo de la Qda. “Los Pozos” | 59 |
| Fig.28.- Fotografía de areniscas calcáreas intercaladas con lutitas. Rumbo de foto N40E | 60 |
| Fig.29.- Fotografía de conglomerado en discordancia angular contra lutitas. Rumbo de foto N55W | 60 |
| Fig. 30.- Mapa de ubicación del Sector I, donde se estudiaron 29 afloramientos. | 61 |
| Fig. 31.- Fotografía de lutitas laminares grises oscuras. Rumbo de foto N-S | 62 |
| Fig.32.- Fotografía de lutitas intercaladas con areniscas de grano fino. Rumbo S55E | 63 |
| Fig. 33.- Fotografía de paquete de areniscas de grandes espesores Rumbo S55E | 63 |
| Fig. 34.- Mapa de ubicación del Sector J, donde se estudiaron 30 afloramientos. | 64 |
| Fig. 35.- Fotografía de areniscas con nódulos de óxido de Fe. Rumbo de foto N45W | 66 |
| Fig. 36.- Fotografía de lutitas . Rumbo de foto S10W | 66 |

| | |
|---|----|
| Fig. 37.- Fotografía de arenisca calcárea fosilífera con gran cantidad de turritellas. Rumbo de foto S10W | 67 |
| Fig.38.- Fotografía de arenisca calcárea fosilífera con algunas conchas de bivalvos. Rumbo de foto N40W | 67 |
| Fig 39.- Mapa de ubicación del Sector K, donde se estudiaron 12 afloramientos. | 68 |
| Fig 40.- Fotografía donde se aprecia la geometría de la quebrada perteneciente al Sector K. Rumbo de foto S-N | 69 |
| Fig. 41.- Fotografía donde se muestra una capa vertical de arenisca en el Sector K. Rumbo de foto S-N | 70 |
| Fig. 42.- Mapa de ubicación del Sector L, donde se estudiaron 25 afloramientos | 71 |
| Fig. 43.- Fotografía donde se muestra una intercalación de areniscas y lutitas. Rumbo de foto N40E | 72 |
| Fig. 44.- Fotografía panorámica donde se muestra la intercalación de areniscas y lutitas. Rumbo de foto N40W | 73 |
| Fig. 45.- Fotografía donde se muestra una arenisca calcárea con moldes fósiles de turritelas. Rumbo de foto S8E | 74 |
| Fig 46.-Fotografía donde se muestra una caliza fosilífera con conchas bien preservadas de bivalvos tipo pectens. Rumbo de foto S8E | 74 |

| | |
|--|----|
| Fig. 46.- Mapa de ubicación del Sector M, donde se estudiaron 74 afloramientos. | 75 |
| Fig. 47.- Fotografía panorámica donde se muestra la extensión del sector M. Rumbo de foto N-S | 76 |
| Fig. 48.- Fotografía que muestra una intercalación de areniscas y lutitas Rumbo de foto S-N | 77 |
| Fig. 49.- Fotografía que muestra una areniscas con algunos nódulos de óxido de Fe. Rumbo de foto N40W | 77 |
| Fig. 50.-Fotografía que muestra una areniscas con rizaduras simétricas sobre su tope. Rumbo N30W | 78 |
| Fig. 51.- Fotografía que muestra un grupo de limolitas. Rumbo de foto N40W | 78 |
| Fig. 52.- Fotografía que muestra un paquete de heterolitas. Rumbo de foto N50W | 79 |
| Fig.53.-Fotografía que muestra un conglomerado compuesto por gravas. Rumbo de foto N65E | 80 |
| Fig. 54.- Fotografía que muestra la intercalación de lutitas y areniscas de grano fino. Rumbo de foto N50E | 81 |
| Fig. 55.- Fotografía que muestra un afloramiento de lutitas laminares y compactas. Rumbo de foto N50E | 83 |

| | |
|---|-----|
| Fig. 56.- Fotografía que muestra un anticlinal conformado por lutitas y areniscas. Rumbo de foto S60W | 91 |
| Fig. 57.- Fotografía que muestra tomada al Sur del transecto “oeste” donde se aprecia una serie de pliegues. Rumbo de foto S10W | 92 |
| Fig. 58.- Fotografía que muestra una serie de pliegues parásitos. Rumbo de foto E-W | 93 |
| Fig. 59.- Fotografía que muestra una serie de diaclasas. Rumbo de la foto S45E | 94 |
| Fig. 60.- Fotografía que muestra una falla normal. Rumbo de la foto N60W | 95 |
| Fig. 61.- Arenisca de grano fino. Rumbo de Foto N30W | 99 |
| Fig. 62.- Arenisca calcárea de grano fino. Rumbo de foto N50W | 100 |
| Fig. 63.- Arenisca fosilífera. Rumbo de foto N40W | 101 |
| Fig. 64.- Arenisca con rizaduras . Rumbo de foto N30W | 102 |
| Fig. 65.- Arenisca fosilífera con rizaduras . Rumbo de foto N20W | 104 |
| Fig. 66.- Arenisca con rizaduras y estratificación paralela . Rumbo N65E | 105 |
| Fig. 67.- Arenisca con rizaduras y estratificación cruzada planar . Rumbo de foto N68W | 106 |

| | |
|--|-----|
| Fig. 68.- Arenisca de grano medio . Rumbo de foto N20W | 107 |
| Fig. 69.- Conglomerado compuesto por gravas . Rumbo de foto N15W | 109 |
| Fig. 70.- Paquete de heterolitas . Rumbo N60W | 110 |
| Fig. 71.- Muestra de mano de caliza no fosilífera . | 111 |
| Fig. 72.- Caliza fosilífera . Rumbo de foto S-N | 112 |
| Fig. 73.- Lutitas carbonosas . Rumbo S50W | 113 |
| Fig. 74.- Limolitas . Rumbo de foto N10W | 114 |
| Fig. 75.- Lutitas . Rumbo de foto N80E | 115 |
| Fig. 76.- Fotomicrografía donde se observa la recristalización sobre una matriz micritica. Obj. 2,5/0,08. Ocular 12,5x. A la izquierda con nícoles cruzados y a la derecha con nícoles paralelos | 117 |
| Fig. 77.- Triángulo de clasificación de carbonatos de mezclas (Mount, 1985),para la sección M-22 | 118 |
| Fig. 78.- Fotomicrografía donde se observa la ganancia de hierro en la parte superior izquierda de la sección. Nótese también el esqueleto carbonático que presenta porosidad por disolución. Obj. 2,5/0,08. Ocular 12,5x. A la izquierda con nícoles cruzados y a la derecha con nícoles paralelos | 119 |

| | |
|--|-----|
| Fig. 79.- Triángulo de clasificación de carbonatos de mezclas (Mount, 1985), para la sección J8-3 | 120 |
| Fig. 80.- Fotomicrografía donde se observa el escogimiento medio en la sección y la homogeneidad con que se distribuyen los cristales en la sección. La porosidad predominante es interpartícula. Obj. 4 / 0,12. Ocular 12,5x. A la izquierda con nícoles cruzados y a la derecha con nícoles paralelos | 121 |
| Fig. 81.-Triángulo de clasificación de areniscas terrígenas (Modificado de Pettijohn et al. 1972), para la sección D22-1 | 122 |
| Fig. 82.- Fotomicrografía donde se observa el escogimiento medio en la sección y la homogeneidad con que se distribuyen los cristales en la sección. Presencia de cuarzo monocristalino y policristalino. Obj. 4 / 0,12. Ocular 12,5x. A la izquierda con nícoles cruzados y a la derecha con nícoles paralelos | 123 |
| Fig 83.- Triángulo de clasificación de areniscas terrígenas. (Modificado de Pettijohn et al. 1972), para la sección J5. | 124 |
| Fig. 84.- Fotomicrografía donde se observa el escogimiento medio en la sección y la homogeneidad con que se distribuyen los cristales en la sección. Se presentan cuarzos monocristalino y policristalinos. Obj. 4 / 0,12. Ocular 12,5x. A la izquierda con nícoles cruzados y a la derecha con nícoles paralelos. | 125 |
| Fig. 85.- Triángulo de clasificación de areniscas terrígenas . (Modificado de Pettijohn et al. 1972) | 126 |

- Fig. 86.- Fotomicrografía donde se observa el escogimiento medio en la sección. Se presentan cuarzos monocristalino y policristalinos. Obj. 10 / 0,25. Ocular 12,5x. A la izquierda con nícoles cruzados y a la derecha con nícoles paralelos 127
- Fig. 87.- Triángulo de clasificación de areniscas terrígenas.
(Modificado de Pettijohn et al. 1972), para la sección D26-1 128
- Fig. 88.- Fotomicrografía donde se nota la fractura en algunos granos de cuarzo. La porosidad predominante es interpartícula. Obj. 2,5/0,08. Ocular 12,5x. A la izquierda con nícoles cruzados y a la derecha con nícoles paralelos 129
- Fig. 89.- Triángulo de clasificación de areniscas terrígenas.
(Modificado de Pettijohn et al. 1972), para la sección M46 130
- Fig. 90.- Fotomicrografía donde se observa cristales de cuarzo monocristalino y policristalino. Contactos longitudinales y cóncavo – convexo. Obj. 2,5/0,08. Ocular 12,5x. A la izquierda con nícoles cruzados y a la derecha con nícoles paralelos 131
- Fig. 91.-Triángulo de clasificación de areniscas terrígenas .
(Modificado de Pettijohn et al. 1972), para la sección M62. 132
- Fig. 92.- Fotomicrografía donde se observa el escogimiento medio en la sección y la homogeneidad con que se distribuyen los cristales en la sección. La porosidad predominante es interpartícula. Obj. 2,5/0,08. Ocular 12,5x. A la izquierda con nícoles cruzados y a la derecha con nícoles paralelos 133

Fig. 93.- Triángulo de clasificación de areniscas terrígenas.

(Modificado de Pettijohn et al. 1972), para la sección L6 134

Fig. 94.- Fotomicrografía donde se observa el escogimiento medio en la sección y la homogeneidad con que se distribuyen los cristales en la sección. La porosidad predominante es interpartícula.

Obj. 2,5/0,08. Ocular 12,5x. A la izquierda con nícoles cruzados y a la derecha con nícoles paralelos 135

Fig. 95.-Triángulo de clasificación de areniscas terrígenas.

(Modificado de Pettijohn et al. 1972), para la sección K9. 136

Fig. 96.- Fotomicrografía donde se observa el contacto grano – matriz con los cristales de cuarzo y la escasa porosidad presente en la sección. Obj. 2,5/0,08. Ocular 12,5x. A la izquierda con nícoles cruzados y a la derecha con nícoles paralelos 137

Fig. 97.- Fotomicrografía donde se observa los fragmentos de corales en la sección y el cemento de espato. Obj. 2,5/0,08. Ocular 12,5x. A la izquierda con nícoles cruzados y a la derecha con nícoles paralelos 138

Fig. 98.- Triángulo de clasificación de carbonatos de mezclas

(Mount, 1985),para la sección C11-11 139

Fig. 99.- Fotomicrografía donde se observa el proceso de disolución tanto en los granos como en los fragmentos fósiles.Obj. 2,5/0,08. Ocular 12,5x. A la izquierda con nícoles cruzados. Y a la derecha con nícoles paralelos 140

| | |
|--|-----|
| Fig. 100.- Triángulo de clasificación de carbonatos de mezclas (Mount, 1985), para la sección D19-1 | 141 |
| Fig. 101.- Ambientes transicionales y marino. Tomado y modificado de Tarbuck & Lutgens 2000 | 143 |
| Fig. 102.- Leyenda de las columnas estratigráficas | 143 |
| Fig. 103.- Extracto de la columna estratigráfica ‘oeste’ que muestra una secuencia de limolitas, y areniscas de las facies L2 y A3 representando ambiente Paludal Costero. El tramo pertenece a la parte media de la columna. | 145 |
| Fig 104.- Extracto de la columna estratigráfica ‘oeste’ que muestra una secuencia en intercalación de lutitas negras y areniscas de las litofacies A3 y L1, representando ambiente lagunar | 148 |
| Fig. 105.- Extracto de la columna estratigráfica ‘oeste’ que muestra una secuencia de lutitas negras, arenisca calcárea fosilífera, arenisca fosilífera, areniscas de grano grueso y heterolitas de las litofacies L1 , A3, A3f, A5r y H representando un ambiente de Estuario con influencia intermareal. | 152 |
| Fig. 106.- Extracto de la columna estratigráfica ‘este’ que muestra una capa de espesor considerable de arenisca de la facies A3, la cual representa un Abanico de rotura. | 153 |
| Fig. 107.- Extracto de la columna estratigráfica ‘este’ que muestra una secuencia de limolitas fosilíferas, lutitas y calizas de las facies L2 , L1 y CA representando ambiente Litoral de Costa Alta . | 155 |

Fig. 108.- Extracto de la columna estratigráfica ‘oeste’ que muestra una secuencia de lutitas, areniscas y conglomerados de las facies L1, A3 y CO7 representando ambiente Litoral . 157

Fig. 109.- Extracto de la columna estratigráfica ‘este’ que muestra una secuencia de lutitas negras y calizas de las litofacies L1 y CAf, representando ambiente sublitoral interno. 160

Fig. 110.- Extracto de la columna estratigráfica ‘este’ que muestra una secuencia de lutitas negras de la facies L1, la cual representa un ambiente nerítico sublitoral externo. 162

Romero, Y. Salas, R.

**ESTUDIO DE LITOFAZIES DEL EOCENO SUPERIOR – MIOCENO EN LA
ZONA CENTRO OCCIDENTAL DE LA CUENCA DE FALCÓN, SECCIÓN
SURESTE DE LA POBLACIÓN PEDREGAL.**

**Tutor Académico: Ricardo Alezones. Tesis. Caracas. UCV. Facultad de
Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica.
Departamento de Geología. 2004. 175 p.**

Resumen: Este proyecto se llevó a cabo con la finalidad de determinar las litofacies de las formaciones que integran la localidad en la cual se realizó el estudio, así mismo se determinarán los ambientes de deposición para obtener la distribución espacial de las diversas facies sedimentarias en la zona.

En las primeras fases del proyecto se realizó una consulta bibliográfica, cartográfica y aerofotográfica de la zona, para determinar cuales eran las mejores secciones a estudiar.

Después de una rigurosa ubicación, recolección y delimitación del área de estudio se elaboraron dos columnas sedimentarias generalizadas en dos secciones previamente ubicadas para poder determinar las facies presentes y la respectiva asociación de las mismas y definir así los ambientes en los cuales fueron depositados los sedimentos, así como también se realizó un mapa geológico en donde se ubicaron los datos obtenidos.

El proyecto se llevó cabo en distintas fases: una de campo, en la que se realizó un levantamiento geológico en dos secciones paralelas de la zona, en donde se describieron de forma detallada los afloramientos, observándose características texturales, color, disposición geométrica, variación lateral, contactos, estructuras sedimentarias, icnofósiles y algunos elementos relevantes para afinar la descripción.

La siguiente fase consistió en la construcción de un mapa geológico digitalizado en donde se vaciaron todos los datos obtenidos en el estudio de campo y

se integraron las características litológicas, estructurales, topográficas y topónimicas con los datos existentes.

La construcción de las dos columnas generalizadas se realizó con los espesores tomados en campo y las descripciones de todos los afloramientos de las secciones; estas descripciones fueron mejoradas en la fase de oficina, gracias a las muestras que se tomaron y el respectivo análisis de algunas secciones finas elaboradas a partir de dichas muestras.

El resultado principal que se obtuvo fue fundamentalmente la determinación de las facies, y las asociaciones de facies lográndose definir los ambientes depositacionales que caracterizan la zona de estudio, teniendo en cuenta que la misma ha sido muy poco estudiada y la información geológica proviene sólo de los mapas de la Creole Petroleum Corporation C4-D y C5-C (1962), los cuales sirvieron como base para la realización de este proyecto.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

Las litofacies se pueden definir como el conjunto de sedimentos que pueden ser caracterizados y separados de otros a través de su geometría, litología y estructuras sedimentarias además de los fósiles asociados.

El concepto de litofacies ha sido utilizado en muchos sentidos diferentes, tanto en un sentido descriptivo como en un sentido interpretativo.

Para el estudio de las litofacies, se debe considerar un principio básico del análisis en el cual los parámetros de las facies antiguas, de origen desconocido, pueden compararse con las de los depósitos actuales, de los que sí se conoce el medio sedimentario actuante y los procesos que las originan.

También es necesario tener presente que una facies individual puede tener poco valor para realizar una interpretación de un medio sedimentario específico. Sin embargo, puede ser muy significativo si en el análisis se relaciona con las facies que eventualmente pudieran encontrarse por encima y por debajo, formando una asociación de facies que estaría formada por dos o más facies ligadas genéticamente y que podrían reflejar la actividad de un proceso o procesos en un determinado medio o asociación de medios, que actuando en un tiempo suficiente han producido un depósito (Miall, 1990).

Estas definiciones y asociaciones permiten establecer las relaciones entre el clima y la tasa de sedimentación, siendo posible la interpretación de paleoambientes.

1.2 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El trabajo especial de grado se realizó en la zona SE de la población Pedregal del estado Falcón, cuya extensión es aproximadamente 500 Km². (Ver fig. 1 y 2).

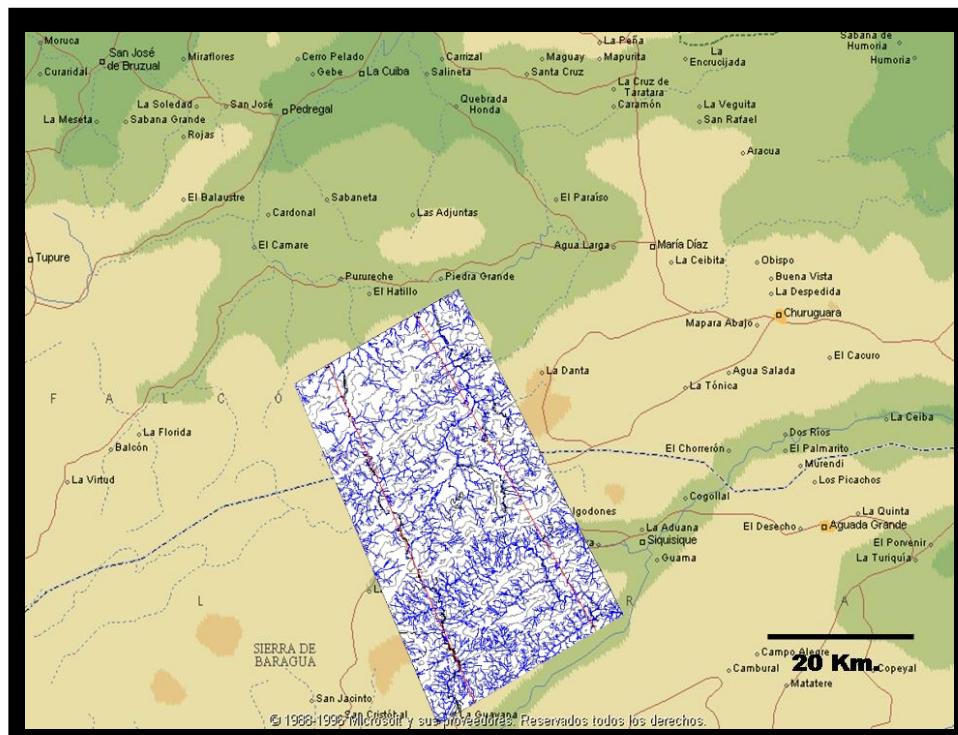


Figura 1 (arriba) y 2 (abajo). Ubicación de la zona de estudio. Tomados de Atlas Encarta 1998 (Microsoft Corporation)

El área de estudio se encuentra ubicada entre los puntos:

- de coordenadas UTM (388607, 1192476)
- de coordenadas UTM (380266, 1187751)
- de coordenadas UTM (387607, 1170456)
- de coordenadas UTM (397083, 1175927)

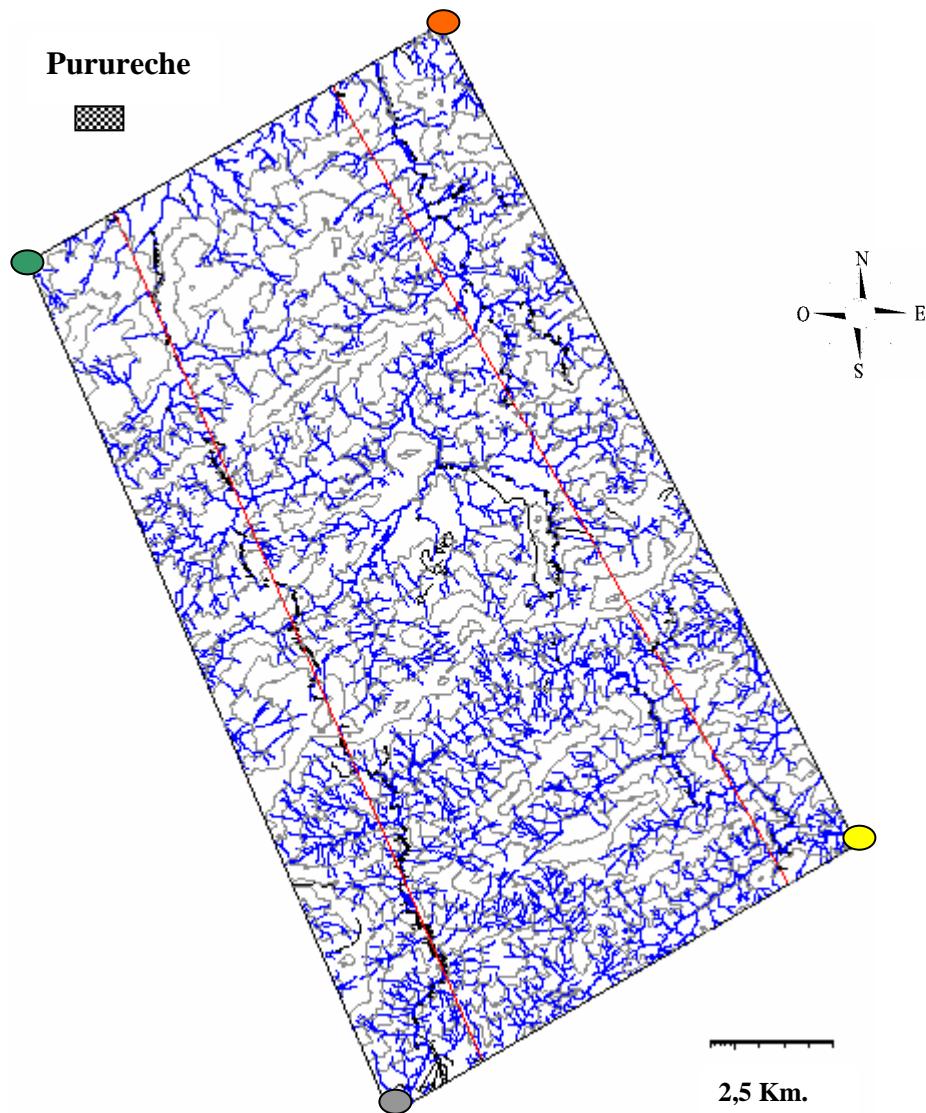


Figura 3. Ubicación exacta de la zona de estudio realizada a partir de la recopilación cartográfica existente.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

El estudio abarca una sección comprendida entre las formaciones El Paraíso, Pecaya, Paují, Santa Rita, Castillo, Churuguara y Agua Clara en la zona Sureste de la población Pedregal, con el propósito de establecer litofacies y homogeneizar la nomenclatura litoestratigráfica basados en los procesos geológicos.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Determinar las litofacies presentes en el área de estudio, la cual esta comprendida entre las formaciones El Paraíso, Pecaya, Paují, Santa Rita, Castillo, Churuguara y Agua Clara.
- Determinar ambientes de deposición.
- Determinar la distribución espacial de las diversas facies sedimentarias en la zona de estudio.

1.4 ALCANCE DEL TRABAJO

Desarrollar un modelo de distribución de litofacies a partir del análisis vertical y espacial de las diferentes litologías encontradas en la formaciones El Paraíso, Pecaya, Paují, santa Rita, Castillo, Churuguara y Agua Clara limitadas en el sector SO de la población Pedregal, zona centro – occidental de la cuenca de Falcón, integrando:

- Litofacies
- Asociación de litofacies

1.5 METODOLOGÍA

La ejecución del presente trabajo se realizará en varias etapas, siendo la primera:

1.5.1 Recopilación Bibliográfica y Cartográfica:

(Realizada entre los meses de agosto/octubre 2003)

- Consistió en la búsqueda, recolección y estudio de la documentación existente en la zona de trabajo, así como también de la selección de las hojas topográficas, que sirvieron como mapas base de la zona de estudio.
- Análisis e interpretación de diversos artículos y publicaciones, referentes a sedimentología, petrografía, con la finalidad de tener un conocimiento general de los conceptos aplicados en el trabajo.
- Revisión de mapas topográficos del I.G.S.B a escala local 1:25.000 que se mencionan a continuación:

| | |
|-------------|-----------------------------|
| 6247-I-NE | Cuenca Media del Río Tocuyo |
| 6148-II-NE | Cuenca Media del Río Tocuyo |
| 6247-IV-NE | Panamá. |
| 6247-IV-SO | El Ojo de Agua |
| 6248-III-SE | Cuenca Media del Río Tocuyo |
| 6247-IV-NO | Baragua |
| 6248-II-SE | Cuenca Media del Río Tocuyo |
| 6248-III-NO | Cuenca Media del Río Tocuyo |
| 6248-III-SO | Cuenca Media del Río Tocuyo |

- Revisión de fotografías aéreas del I.G.S.B, a escala 1:50.000, misión 0201106, compuesta por las series 521-524, 1182-1187, 1205-1210, 1246-1252, para reconocimiento de vías de acceso, distribución de litologías resaltantes, características topográficas y logística de campo.

- Revisión de mapas de Geología de Superficie (Creole Petroleum Corporation, 1962) Escala 1:50.000 C4-D y C5-D.
- Elaboración de un mapa digital con herramienta AUTOCAD[®] que incorpora las características litológicas, estructurales, topográficas y topónimicas con los datos existentes hasta la fecha, el cual servirá de base y referencia durante la etapa de campo (ver anexo 3).

1.5.2 Geología de Campo y Recolección de Muestras

1.5.2.1 Ubicación de Secciones Estratigráficas

En esta etapa se realizó como trabajo inicial el reconocimiento general del área de estudio, para la ubicación y descripción general de las secciones estratigráficas. Para esto se utilizaron fotografías aéreas 1:50.000 de la misión 0201106, compuesta por las series 521-524, 1182-1187, 1205-1210, 1246-1252, correspondientes al área de estudio.

-1.5.2.2 Levantamiento de secciones estratigráficas

A) Mapas Base

Se realizó el levantamiento de nueve secciones estratigráficas, las cuales presentaron la mayor continuidad estratigráfica posible, utilizándose como mapas base las hojas topográficas a escala 1:25.000 mencionadas anteriormente.

B) Medición y Descripción de Secciones Estratigráficas

En cada sección estratigráfica se realizaron mediciones de espesores de capas, describiéndose para cada una de ellas, características texturales, color, geometría,

variación lateral, contactos, estructuras sedimentarias, icnofósiles, así como cualquier otra característica que sirvió para una mejor descripción de la posición espacial de los estratos a lo largo de las secciones.

En los casos de afloramientos que presentaron un intervalo de gran espesor con una intercalación monótona de capas de poco espesor, se realizó un levantamiento resumido, donde se separaron por paquetes y sobre ellos se contaron el número de capas totales para cada tipo litológico y se estimó un promedio de los espesores a lo largo de todo el paquete.

C) Recolección y Nomenclatura de Muestras

Se utilizaron diferentes criterios de recolección de muestras entre los cuales se tomaron los afloramientos que presentaran menor grado de meteorización, aquellos donde los planos de las capas estuvieran bien definidos para tomar datos de rumbo y buzamiento, las cuales dependieron principalmente del tipo litológico.

Para rocas clásticas y rocas carbonáticas, se muestrearon las capas que representaron cambios en la continuidad de la secuencia en los aspectos litológicos, texturales, laterales y de color.

También se tomaron diferentes muestras pertenecientes a los distintos conglomerados que están presentes en las secciones estratigráficas. Se recolectaron en total más de 400 muestras de diversas litologías en las secciones estudiadas.

1.6 FASE DE LABORATORIO

En esta etapa se realizaron varios tipos de análisis con la finalidad de caracterizar las muestras recolectadas de acuerdo a sus propiedades texturales, composicionales, litológicas y efectos diagenéticos principalmente, para luego definir las principales facies y asociaciones de facies.

1.6.1 Análisis petrográfico convencional

El estudio petrográfico se realizó utilizando microscopios de luz polarizada, pertenecientes los laboratorios de Petrografía Ígneo - Metamórfica, mediante los cuales se analizaron un total de 18 secciones finas las cuales representaban a las litofacies definidas; fueron elegidas las mejores muestras de un total de 400, las cuales dependiendo del tipo litológico se les estudiaron las siguientes características:

Limolitas, Areniscas y Conglomerados: Tamaño de grano, escogimiento, redondez, contactos, relaciones granos-matriz o grano-cemento, orientación de granos y/o clastos, porosidad, madurez textural, composición general; bien sean clastos y/o granos, matriz, cemento.

Carbonatos puros y de mezclas: Tamaño de grano, escogimiento, porosidad, contactos, composición general de los elementos; bien sean siliciclásticos, ortoquímicos o aloquímicos, así como los procesos diagenéticos presentes, entre los cuales se encuentran: procesos orgánicos, cementación, neomorfismo, reemplazamiento, compactación, presión-solución.

Se utilizaran las siguientes clasificaciones de rocas:

- Según el tamaño de grano, la clasificación de Udden (1914) – Wentworth (1922).
- Para rocas de granos finos, clasificación textural de las rocas de granos finos y sedimentos de Picard (1972).
- Las areniscas serán clasificadas mediante la clasificación composicional de Pettijhon, *et al.* (1972).
- La clasificación en base a la composición de los clastos de Boggs (1992).
- La clasificación textural de Dunham (1962), modificada por Embry Y Klovan (1971, en Nichols 1999) se utilizará para los carbonatos puros .
- Clasificación para rocas de mezclas de Mount (1985).

1.6.2 Etapa de Oficina

En esta última etapa se realizó la integración e interpretación de los datos obtenidos en campo con los resultados de los estudios de laboratorio, que conjuntamente con la información bibliográfica, condujo a la elaboración de este informe.

1.7 CONSIDERACIONES GENERALES DE LA ZONA SUROESTE DE LA POBLACIÓN PEDREGAL

Según Wheeler (1960, 1963) la litología incluye lutitas oscuras con capas delgadas y nódulos de ferrolita que meteorizan marrón rojizo a oscuro, areniscas "sal y pimienta" calcáreas, moderadamente endurecidas, con granos de fítnita negra, que meteorizan a gris-marrón en una matriz calcárea blanca y blanda; areniscas ferruginosas calcáreas bien cementadas; algunos conglomerados lenticulares con granos de fítnita. Díaz de Gamero (1977), indica que las areniscas son de tipo lítico, hasta con un 30% de fítnita, de grano medio a fino y suelen ser delgadas, generalmente bioturbadas. Al este de la localidad tipo, las lutitas dominan sobre las areniscas, y éstas van haciéndose cada vez menos importantes al este, hasta desaparecer; entre los ríos Paraíso y Pedregal (área tipo), las lutitas son físisiles, intercaladas con numerosas areniscas cuarzosas, aparentemente de grano medio, con rizaduras en el tope de las capas. Las capas delgadas de carbón y las lutitas carbonosas, son muy frecuentes.

Wheeler (1960), asignó la unidad al Oligoceno Tardío, y postuló un largo hiatus entre ella y el Eoceno infrayacente. Posteriormente, Wheeler (1963), modificó esta interpretación y la consideró Oligoceno Temprano a Medio.

1.8 TRABAJOS PREVIOS

Medina (1979), realizó un estudio geológico de superficie donde identificó las formaciones Agua Clara, Cerro Pelado, Querales y Socorro; caracterizó a la formación Agua Clara por sus intervalos de lutitas grises jarosíticas, con intercalaciones de capas delgadas de subarcosas y sublitarenitas de grano grueso. Explicó que las formaciones que estudió se depositaron en ambientes de plataforma estable, en donde las corrientes provenían del norte, sur y oeste respectivamente, aportando detritos de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias pre-existentes.

Lena (1979) y Medina (1979), dan a conocer los resultados obtenidos de la investigación sobre Geología Sedimentaria y Prospección Carbonífera, efectuada en una zona ubicada en la región noroccidental del estado Falcón y de extensión aproximada de 100 km².

En esta zona se efectuaron mediciones en secuencia continua, de espesores de capa en forma detallada y de estructuras sedimentarias como estratificación cruzada, rizaduras, laminación paralela, laminación convoluta, estratificación flaser para determinar con la ayuda de los análisis de laboratorio los diferentes paleoambientes de cada una de ellas.

Gil y Herrera (1984), estudiaron un área de unos 400 km² mediante levantamiento sedimentológico de detalles. Este trabajo permitió determinar las variaciones paleoambientales de su zona de estudio.

Ellos indicaron que existe un desarrollo arrecifal equivalente a la Formación San Luis que aparece interdigitado lateralmente con calcarenitas turbidíticas, con intercalaciones de lutitas negras anóxicas y areniscas calcáreas ocasionales, correspondientes a la Formación Pedregoso.

Chomiak (1986), realizó un estudio geológico de un área ubicada al oeste de Pedregal, Falcón Noroccidental.

Urdaneta de Rodríguez (1989), realiza un análisis detallado de fotogeología para analizar y evaluar las características geológicas del área en función de patrones escogidos por su inherencia y reciprocidad con la finalidad de actualizar el material cartográfico existente, profundizando en el aspecto morfodinámico de la zona y prestando especial atención en los factores geomorfológicos que actúan en la región.

Hambalek (1993), realizó una revisión de las unidades litoestratigráficas aflorantes en la región de Urumaco (formaciones Agua Clara, Cerro Pelado, Querales, Socorro, Urumaco Codore y San Gregorio), estado Falcón, basado en el levantamiento de columnas estratigráficas detalladas, y en un estudio palinológico reconstruyó la evolución paleoambiental y paleogeográfica

Bermúdez, López y Troconis (2003) realizaron un estudio de litofacies, diagénesis, procedencia y quimioestratigrafía de la Formación Cerro Pelado, como herramienta para determinar su potencialidad generadora y almacenadora de hidrocarburos.

Leal y Rivero (2004) realizaron un estudio de litofacies, diagénesis, procedencia y quimioestratigrafía de la parte superior de la Formación “El Paraíso” como herramienta para determinar su potencialidad generadora y almacenadora de hidrocarburos.

2. GEOLOGIA REGIONAL

2.1 EVOLUCIÓN ESTRATIGRÁFICA

La cuenca de Falcón abarcó una gran porción de la parte noroccidental de Venezuela durante el Oligoceno y Mioceno Temprano, y fue principalmente una cuenca marina durante estos periodos (Audemard, 1997 y Muessig, 1984), rodeada por zonas emergidas, excepto al este (Ver Figura 4).

El límite occidental de la cuenca, es la cuenca del Lago de Maracaibo; al norte y este está limitada por la línea de costa del Golfo de Venezuela y su prolongación, el Golfete de Coro, por el istmo de Los Médanos y por la costa del Atlántico hasta el Golfo Triste y al sur por una serie de elevaciones designadas Sierra de Churuguara de modo general. La cuenca se prolonga hacia el norte y noreste y dentro de las aguas territoriales venezolanas.

Esta región abarca actualmente una extensión geográfica de 36.000 km² aproximadamente y un volumen de sedimentos de 161.000 Km² (Martínez, 1976). Posee su mayor longitud entre La Victoria y Boca Tocuyo, que es de unos 320 km, y su mayor anchura entre la ensenada de La Vela de Coro y Churuguara, que alcanza unos 100 km.

Durante el Oligoceno–Mioceno se desarrollaron los procesos sedimentarios característicos de la cuenca de Falcón, básicamente en la región central y norcentral de Falcón, pero sin embargo, existen evidencias o vestigios de escasos y aislados afloramientos de las rocas del Eoceno, tal es el caso de la Formación Cerro Misión de Falcón oriental, aflora cerca de Tucacas, donde los sedimentos marinos correspondientes a ésta han quedado como testimonio de este período (González De Juana, “et al”. 1980).

La cuenca de Falcón del Oligo-Mioceno es una cuenca sedimentaria insaculada, individualizada después del período orogénico del Eoceno Superior, que ha sido descrita en la literatura con el nombre de canal Falconiano. El centro de la cuenca fue una zona subsidente, donde se desarrollaron ambientes marinos profundos, no obstante sobre los bordes relativamente estables aunque lentamente subsidentes avanzó una sedimentación marginal con mayor influencia terrígena (González De Juana, "et al". 1980).

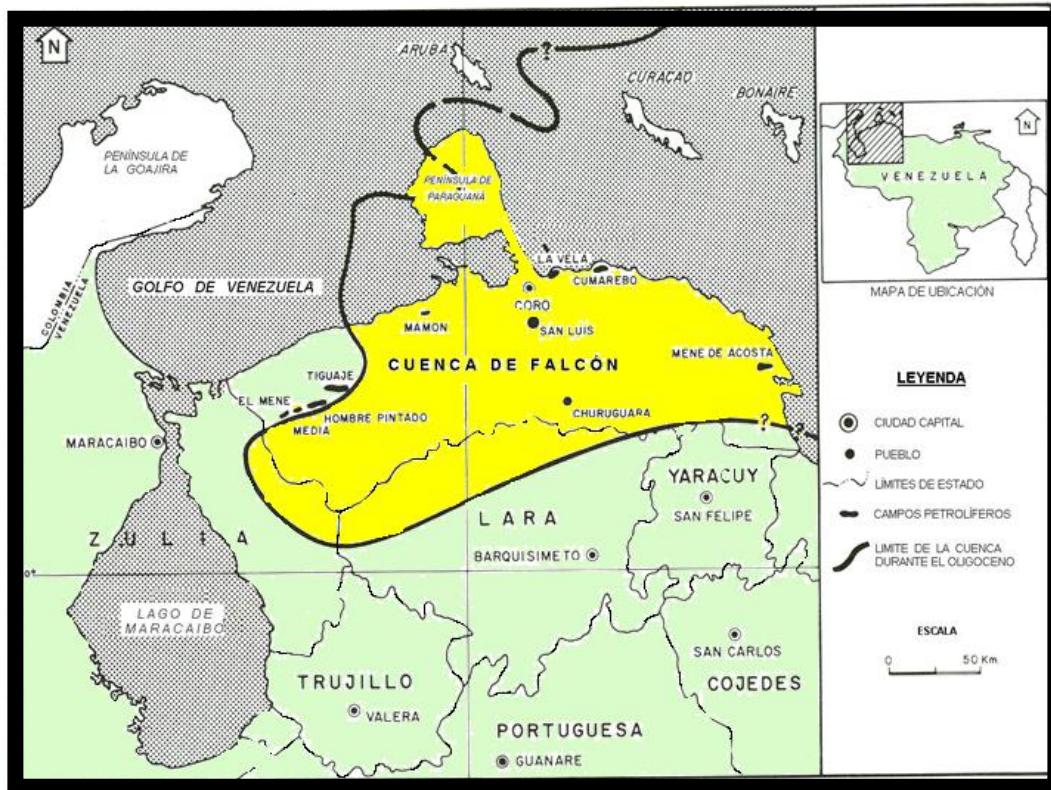


Figura 4. Ubicación de la Cuenca de Falcón y sus límites. Tomado y modificado de Boesi & Godard (1991)

Se encuentran, ocasionalmente, rocas más antiguas aflorando hacia el sur y el borde meridional, pero éstas pertenecen a condiciones paleogeográficas distintas, anteriores al establecimiento de la cuenca. Las más jóvenes parecen ser de edad Eoceno Medio, pero las relaciones de estas unidades con el comienzo de la sedimentación Oligocena no han sido aún satisfactoriamente establecidas. El complejo de edad Oligoceno y Mioceno más inferior ocupa la parte central de la cuenca mientras que, hacia los bordes de la misma, sólo se encuentran rocas miocenas

y más jóvenes. Dentro de este complejo se observan cambios notables en sentido oeste-este, pasando de un predominio de clásticos gruesos a un área constituida casi en su totalidad por lutitas (González de Juana, “et al”. 1980).

La sedimentación de esta cuenca se mantuvo bastante continua y en éstas afloran depósitos que abarcan desde el Eoceno Tardío hasta el Cuaternario, solo presentando tres eventos de discordancias angulares que tienen significado regional. Esta cuenca fue intensamente plegada y tectónicamente invertida durante el Mioceno medio y superior, por esta razón el proceso sedimentario se restringió básicamente al flanco norte del Anticlinorio de Falcón (Audemard, 1997).

A partir del Mioceno Tardío, la sedimentación estuvo restringida exclusivamente al flanco norte del anticlinorio de Falcón en proceso de surrección y los ambientes sedimentarios se fueron haciendo progresivamente menos marinos y cada vez más continentales, tanto en forma vertical como lateral. El estudio tectónico y la síntesis crítica de los datos estratigráficos de la cuenca de Falcón han puesto de manifiesto la existencia de una evolución polifásica durante el Cenozoico (Audemard, 1993).

2.1.1 Eoceno Medio y Tardío:

La sedimentación de la cuenca de Falcón probablemente se inició en Falcón occidental hacia el Eoceno Medio tardío, mientras que hacia Falcón oriental la sedimentación se inició en el Eoceno Medio temprano (Guevara, 1967).

La presencia de Eocene aflorante en la parte occidental de Falcón se conoce desde 1938 referido por González de Juana, aflorando en los Cerros de Tacal. Igualmente se conocen afloramientos del Eocene en Falcón oriental sobre el Alto de Guacharaca, y en la Sierra de Churuguara está la sección tipo de las formaciones Santa Rita y Jarillal, hoy atribuidas al Eocene medio. Durante el Eocene Medio tuvo

lugar una extensa transgresión hacia el Oeste-Suroeste que tiene su mejor expresión en la Formación Jarillal, mientras que la Formación La Victoria presenta características regresivas como posible antecedente del levantamiento y erosión característicos del Eoceno Tardío, al término de los cuales las condiciones paleosedimentarias cambiaron en toda Venezuela occidental (González de Juana *et al.*, 1980).

Los sedimentos involucrados en la depositación inicial de la cuenca en su región occidental, están representados, de abajo hacia arriba por el Grupo Agua Negra de edad Eoceno Medio tardío. Estas rocas se encuentran representados por las formaciones Santa Rita, Jarillal y La Victoria (Guevara, 1978 en Macellari, 1995). Los afloramientos son escasos y se encuentran siempre formando el núcleo de estructuras anticlinales.

La Formación Santa Rita consiste entre 400 - 450 m de gruesos conglomerados, areniscas y margas arenosas con intercalaciones de calizas orbitoidales. Los conglomerados consisten predominantemente en guijarros de hasta 10 cm de cuarzo blanco, cherts negros del Cretáceo, cuarcitas y areniscas diversas. Las calizas más superiores contienen una rica y bien preservada fauna de moluscos” (Senn, 1935). El contacto superior es de transición con la Formación Jarillal. El conglomerado de Santa Rita aflora esporádicamente en la Serranía da Baragua y Cordillera de Buena Vista.

La formación suprayacente, designada originalmente como Lutitas de Jarillal por Senn (1935), tiene su sección tipo en el mismo anticinal de Buena Vista. Consiste allí en unos 375 m de lutitas más o menos arenosas, de colores abigarrados, desde gris oscuro hasta rojo por meteorización. Los 50 m inferiores son muy fosilíferos y contienen una abundante fauna de moluscos y cangrejos y consideradas de edad Eoceno superior. Las lutitas superiores de la Formación Jarillal no contienen macrofósiles en su sección tipo, por lo que Senn (1935) pensó que su edad pudiera

llegar al Oligoceno inferior. Wheeler (1960, 1963) incluye una lista de foraminíferos provenientes de la parte superior de la formación y que indican, según él, una edad Eoceno superior. Hunter, en 1974, reinterpreta la evidencia paleontológica como indicativa de edad Eoceno Medio, parte superior.

La Formación Jarillal tiene una extensión geográfica más amplia que la del conglomerado de Santa Rita, aunque sus afloramientos no son continuos. Según Guevara (1967), se encuentra mayormente en Falcón suroccidental, en el norte de Lara y en Zulia oriental. El contacto inferior es concordante y transicional con la Formación Santa Rita, en el área tipo.

La parte superior del Grupo Agua Negra está representado por la Formación La Victoria, que se compone por unos 2400 metros de lutitas negras con areniscas interbandeadas y carbón (Sutton, 1946 y Guevara, 1967). Esta formación fue predominantemente depositada en un ambiente lacustrino con incursión de agua salobre (González de Juana *et al.*, 1980).

En el este de Falcón, las rocas del Eoceno tienen más de 400 metros de espesor, y éstas presentan las lutitas oscuras calcáreas y lutitas grises a negras fosilíferas de la Formación Cerro Misión. Esta formación se encuentra discordante sobre las rocas del Eoceno medio (Renz, 1948 citado por Macellari, 1995).

2.1.2 Oligoceno – Mioceno Temprano:

En el tiempo aproximadamente correspondiente al Oligoceno-Mioceno, hace unos 22,5 Ma., la cuenca de Falcón muestra una renovada actividad tectónica. La cuenca sufre un hundimiento que la sitúa a profundidades de 1500 m originándose ambientes profundos que se continúan hasta el borde sur del Alto de Dabajuro, el cual continuó parcialmente emergente (Díaz de Gamero 1977).

La forma característica de la cuenca fue definida en el Oligoceno inferior por la sedimentación de Formación El Paraíso posiblemente discordante sobre el substratum formado por las rocas del Eoceno, que Díaz de Gamero (1977) considera como un complejo deltáico progradante originado en las tierras recién levantadas hacia el oeste y suroeste. Otros elementos positivos que limitaban la cuenca son la cordillera de Churuguara y su prolongación por el sur, el Alto de Dabajuro al noroeste, formado por rocas aflorantes del Eoceno medio que constituyó un elemento positivo durante casi toda la historia de la cuenca, y el Alto de Paraguaná-Coro, separado del Alto de Dabajuro por el Surco de Urumaco. (Díaz de Gamero 1977)

La sedimentación de origen marino alcanzó su mayor desarrollo durante el Oligoceno medio al Mioceno Temprano (Ver figura 5). Durante este último las zonas meridionales y centrales de la cuenca se levantaron como áreas positivas, siendo capaces de aportar sedimentos a los ambientes marinos de Falcón centro-norte y Falcón nor-oriental.

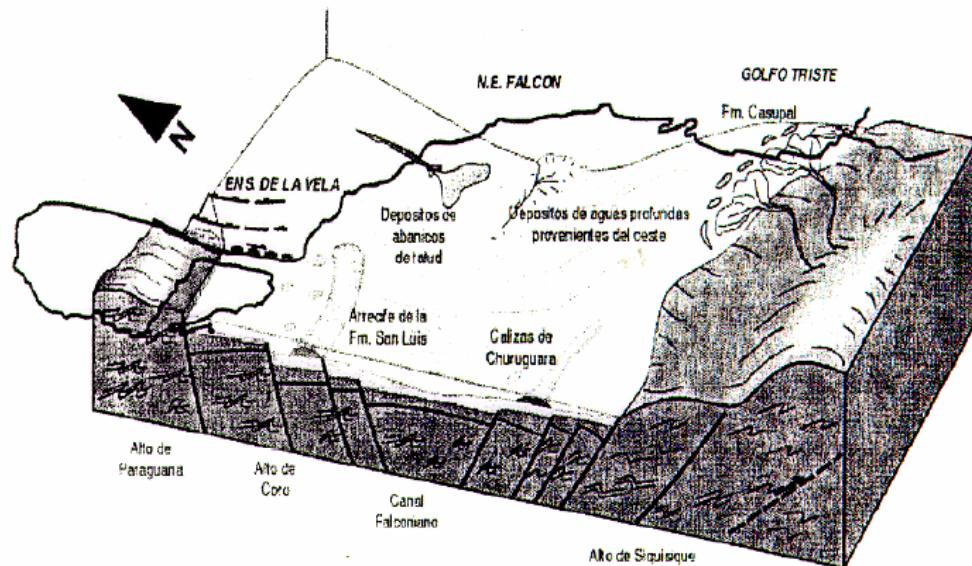


Figura 5. Modelo sedimentario esquemático durante el Oligoceno-Mioceno Temprano para la cuenca de Falcón Bonaire. (Tomado de Porras, 2000).

Durante este periodo el centro de la cuenca se considero una zona subsidente, donde se desarrollaron ambientes marinos profundos, sin embargo en los bordes se observa una sedimentación marginal con mayor influencia terrígena. Díaz de Gamero (1977), calcula una tasa de subsidencia en el centro de la cuenca de unos 500 m\ma para la formaciones El Paraíso y Pecaya inferior, y de 750 m\ma en Pecaya medio.

El área central representa el principal depocentro de la cuenca de Falcón. La sedimentación se inició con la Formación Paraíso. La litología típica incluye, además de las areniscas, conglomerados más o menos endurecidos, formados mayor mente por guijarros de fítnita negra y otros tipos de roca, cementados por material calcáreo. Las areniscas son de grano medio a fino, con estratificación cruzada y madrigueras verticales y subverticales llenas de material ferruginoso. Suelen ser delgadas, pero ocasionalmente forman paquetes de varios metros de espesor, en los que la arenisca superior es la más gruesa. Las lutitas son de colores oscuros y contienen capas delgadas y lentes de ferrolitas, además de numerosos nódulos ferrolíticos. La unidad aflora también, hacia el oeste de Taparoy (Wheeler 1960).

La parte inferior de la formación, en el anticlinal de Taparoy, indica un fuerte levantamiento al sur, posiblemente de carácter local, ya que pasa rápidamente, de condiciones marinas someras, a litorales, e incluso, fluviales. La sección superior de la Formación Paraíso consiste de lutitas oscuras con intercalaciones de areniscas cuarzosas, que se hacen más abundantes hacia el sur. La mayor parte de la Formación Paraíso es de tipo regresivo, en que la costa avanzó desde el suroeste hacia el norte y noreste. Los sedimentos fueron transportados por varios ríos, que progresivamente construyeron una amplia llanura deltática limitadas hacia el oriente por capas de carbón. La fauna fósil es casi inexistente, sólo se encuentran microfósiles de tipo litorales (foraminíferos arenáceos). La sección superior de esta formación posee una fauna diagnóstica de la zona de *Globorotalia opima opima* (Oligoceno Medio tardío). El intervalo más alto puede ser incluido en la zona *Globigerina ampliapertura* (Oligoceno Tardío temprano) (Díaz de Gamero 1977).

La Formación El Paraíso se correlaciona al sur en su parte inferior con la Formación Churuguara (Wheeler, 1960, 1963; Díaz de Gamero, 1977). Las relaciones hacia el este y norte son desconocidas, mientras que al este se correlaciona con la parte inferior del Grupo Agua Salada, el cual fue redefinido por Díaz de Gamero (1985).

En el Oligoceno Medio la cuenca sufre un hundimiento rápido en su parte axial que la sitúa en profundidades aproximadas de 1000 m, en este ambiente profundo se produce la sedimentación de las lutitas netamente marinas de la Formación Pecaya que cubren áreas anteriormente marginales, notablemente alrededor del alto de Dabajuro (Léxico Estratigráfico de Venezuela, 1999).

Probablemente las intrusiones ígneas básicas del centro de la cuenca reflejen este brusco hundimiento y marquen una zona lineal de debilidad a lo largo del eje de la cuenca (Léxico Estratigráfico de Venezuela, 1999).

La definición de la Formación Pecaya fue hecha por Senn (1935) y se refiere a la unidad de lutita oscura comprendida entre las areniscas de San Juan de la Vega y las calizas de Pedregoso. Las lutitas afloran cerca del pueblo de Pecaya y las tres unidades mencionadas están muy bien expuestas al oeste de Pecaya, en el río Mitare.

La Formación Pecaya consiste de lutitas gris oscuro, generalmente físisiles y limolitas, localmente calcáreas, con ocasionales interestratificaciones de areniscas y calizas bioclásticas en capas muy delgadas. Este tipo de intercalaciones se ven generalmente en la región norte, cerca de la sierra de San Luis, donde se ven concreciones irregulares de material calcáreo de hasta más de 2 metros de diámetro (Díaz de Gamero, 1977). Hacia los bordes de la cuenca se observan capas de areniscas parduzcas, limolitas nodulares gris oscuro, areniscas glauconíticas, y algunas intercalaciones de calizas. También se encuentran nódulos de arcillas

ferrolíticos de unos 10 cm de diámetro alineados con la estratificación (Wheeler, 1960; 1963).

Dentro de la Formación Pecaya se encuentra el Miembro San Juan de la Vega que aflora al norte de la cuenca, cerca del río Mitare (Díaz de Gamero, 1977, citado por Leal & Rivero 2004), caracterizado por lutitas con intercalaciones de areniscas, limolitas y pequeñas cantidades de calizas. Las areniscas contienen fragmentos de conchas y están fuertemente bioturbadas (e.g., *Ophiomorpha*). El Miembro San Juan de la Vega se adelgaza hacia el oeste y este, siendo el Alto de Dabajuro su posible fuente de aporte. La biota indica la deposición marina poco profunda dentro de las lutitas de aguas profundas de la Formación Pecaya (Díaz De Gamero, 1977 a). El Miembro San Juan de La Vega refleja una posible deposición en un sistema de bajo nivel asociada con una caída mundial en el nivel del mar que ocurrió en la zona de *Globorotalia opima opima* (Vail y Hardenbol, 1980).

La Formación Pedregoso parece ser una facies local dentro de la Formación Pecaya, y es por lo tanto equivalente a la parte superior de esta. En la parte media y superior de la Formación Pecaya, se correlacionan con la Formación Castillo, al oeste de la cuenca (Díaz de Gamero, 1977). En la región meridional donde aflora esta unidad, se correlaciona con la parte media y superior de la Formación Churuguara (Léxico Estratigráfico de Venezuela, 1999, citado por Leal & Rivero 2004).

La Formación Pedregoso consiste en una intercalación rítmica de lutitas con calizas bioclásticas y areniscas. Las lutitas son similares a la de la Formación Pecaya, duras, de color gris oscuro, limosas y muy calcáreas; a veces con contenido de pirita. Las calizas son el elemento predominante en la parte inferior de la formación, mientras que las areniscas, generalmente calcáreas, se hacen más abundantes hacia el tope. Las calizas de Pedregoso generalmente son de color gris oscuro y se componen de bioclastos embebidos en proporciones variables de matriz. Entre los bioclastos se

reconocen foraminíferos calcáreos, fragmentos de corales, algas coralinas, moluscos y equinodermos. (Díaz de Gamero, 1977).

El espesor de la Formación pedregoso es de 124 m en la sección incompleta en el río Mitare (Wheeler, 1963); cerca de Carrizal el espesor máximo es de 680m (Díaz de Gamero 1977). Se acuña hacia el sur pasando por interdigitación a la Formación Pecaya.

Al final del Oligoceno, probablemente el borde sur de la plataforma de Coro fue un escarpado abrupto, sin transición progresiva de áreas de escasa profundidad a un fondo marino cercano a los 1000 m, que existe en el centro de la cuenca para esa época (Wheeler, 1963).

La disminución de profundidad de la cuenca por el cese de hundimiento en el Mioceno temprano ocasionan que el alto de Paraguaná se eleve y comience el relleno de la cuenca caracterizado por gruesos clásticos que dan origen a la Formación Guarabal la cual consiste generalmente de gruesas capas de areniscas y areniscas conglomeráticas interestratificadas con limolitas y lutitas (Wheeler, 1960; 1963). Hacia el este de su sección tipo las areniscas y conglomerados disminuyen y la sección consiste principalmente de limolitas y algunas lutitas.

Según González De Juana *et al.* (1980), el hundimiento de la Cuenca combinado con el relleno de la misma, dieron lugar a la disminución de la profundidad, originando un importante cambio sedimentológico con la retirada de los mares hacia el norte y noreste.

Estos mismos autores, además, indican que, el hundimiento activo de la cuenca parece haber cesado en el Mioceno Temprano y la cuenca fue haciéndose progresivamente menos profunda a medida que se iba rellenando. El borde occidental incluyendo el alto de Dabajuro, sufre renovados levantamientos y los procesos de su

erosión conforman la Formación Castillo que avanza hacia el este llegando en su máximo desarrollo hasta cerca de Pedregal. (González De Juana *et al.* 1980)

La Formación Castillo litológicamente está caracterizada por los clásticos gruesos, aunque muestra cierta variación, tanto vertical como lateralmente. La parte inferior, que hacia la cuenca está en contacto concordante sobre la Formación Pecaya, contiene principalmente limolitas y arcillas compactas, lutitas fisiles, con delgadas capas de carbón y areniscas de grano medio a grueso. La parte superior es de clásticos más gruesos y la litología característica son las areniscas de grano grueso con lentes conglomeráticos y conglomerados con guijarros cementados por óxidos de hierro. Descansa discordantemente sobre los depósitos del Eoceno. La referencia y descripción originales provienen de Wheeler (1960), para designar la secuencia del borde occidental de la cuenca. La unidad fue depositada bajo condiciones marinas hacia el centro de la cuenca, con contenido salobre y siempre con facies continentales influenciadas hacia el oeste del margen de la cuenca (Macellari, 1995, citado por Leal & Rivero 2004).

La cuenca de Falcón sur-central se desarrolla sobre facies carbonáticas a lo largo de la extensión sur del Alto de Coro. La secuencia completa del Oligoceno-Mioceno inferior consiste de una serie de lomas formadas por calizas, areniscas y lutitas de 125 metros de espesor, las cuales juntas forman a la Formación Churuguara (Wheeler, 1963, citado por Macellari, 1995, en Leal & Rivero 2004).

La Formación Churuguara aflora extensamente en el margen sur de la cuenca y se reconoce desde la quebrada Mamónquito en el oeste, hasta más allá de Santa Cruz de Bucaral, al este. La localidad y sección tipo fueron designadas por Senn (1935) en los flancos del anticlinal de Buena Vista, a lo largo del camino real Piedra Grande - Baragua.

La litología más común en la formación es la de calizas arenosas y areniscas calcáreas, fosilíferas y muy endurecidas. Hacia el oeste, y aumentando en importancia en esa misma dirección, predominan las areniscas limpias de grano medio a grueso, de color gris claro a canela. Las areniscas glauconíticas, si bien no muy frecuentes, son elemento litológico distintivo de la formación y se encuentran en capas gruesas muy irregulares. En las cercanías de María Díaz y al sur de Agua Larga, se observan una serie de areniscas de grano fino y limolitas, con estructuras sedimentarias que parecen indicar deposición en aguas tranquilas, además de areniscas conglomeráticas de granos angulares y pobre escogimiento embebidos en una matriz arcilloso-ferruginosa en lo que pudiera considerarse la zona de transición o interdigitación entre las formaciones Churuguara y Pecaya (Díaz de Gamero 1977).

Según Escalona (1985), la sedimentación de las facies carbonáticas de la Formación Churuguara se desarrolló en un ambiente de aguas tranquilas, claras, bien oxigenadas, de salinidad normal, en un clima tropical. La profundidad promedio sería de 30 a 40 m, con zonas muy llanas, casi subaéreas en la parte superior de los parches, con crecimiento coralino, de 5 a 10 m aproximadamente. La influencia de costas cercanas se refleja en la presencia de clásticos, en su mayoría cuarzo, y óxido de hierro.

Hacia el norte, el complejo arrecifal de la Sierra de San Luis se desarrolla a lo largo del Alto de Coro durante el Oligoceno – Mioceno y está representado por las calizas arrecifales de la Formación San Luis y una serie de unidades formacionales que corresponden a la facies de frente y detrás de arrecife. La edad del desarrollo arrecifal de San Luis no ha sido determinada con toda precisión. La Formación San Luis carece de fauna planctónica y se asignan tentativamente al Oligoceno terminal e inicios del Mioceno, principalmente en base a los foraminíferos bénicos grandes (macroforaminíferos) según (Wheeler, 1963).

En el centro de la cuenca la sedimentación comenzó con las lutitas de la Formación Agua Clara, una secuencia de lutitas ferruginosas negras con intercalaciones de limolitas y areniscas calcáreas que son localmente glauconíticas (González de Juana *et al*, 1980, citado por Leal & Rivero 2004).

La Formación Agua Clara es una unidad lutítica de carácter muy uniforme. En la localidad tipo se compone de lutitas ferruginosas concrecionarias, arenosas y yesíferas de color negruzco con intercalaciones delgadas de areniscas limosas y calcáreas localmente glauconíticas y fosilíferas, de color verdoso a gris modificado por manchones rojizos en superficies meteorizadas. Liddle (1928) indicó que las lutitas predominan y caracterizan a la Formación Agua Clara.

En la mayoría de las áreas de la Formación Agua Clara es una lutita con interestratificaciones ocasionales de areniscas y calizas. Las lutitas son muy fosilíferas con macro y microfósiles, pobemente estratificadas a macizas, de color gris oscuro. Las areniscas son compactas y calcáreas y las calizas son delgadas, arcillosas, fosilíferas y de color gris oscuro (Liddle, 1928)

Wheeler (1960) dividió la Formación Agua Clara en dos miembros definidos en la parte noroccidental del Distrito Democracia y parte nororiental del Distrito Buchivacoa. El miembro inferior, denominado Cauderalito (L.E.V. II, 1970), con localidad tipo en la quebrada del mismo nombre al norte de Cerro Frío en la parte central del Distrito Buchivacoa, se caracterizan por arrecifes muy fosilíferos con corales, briozoarios, pelecípodos, gasterópodos y foraminíferos grandes. Las calizas son muy lenticulares y varían de macizas cristalinas de color azul-gris, a amarilloosas de color amarillo- marrón y se presentan interestratificadas con lutitas, limolitas y areniscas. Las lutitas y limolitas son compactas, gris claro a oscuro, carbonosas y jarosíticas, con vetas de carbón y las areniscas son de grano fino, grises, carbonosas, micáceas, con meteorización en color crema. El miembro superior, denominado Santiago (L.E.V. 1970), con localidad tipo en la quebrada del mismo nombre al norte

de Cerro Frío, está constituido por una sección de lutitas típicas de Agua Clara en pocas areniscas interestratificadas.

El espesor de la Formación Agua Clara es considerable. Wheeler (1963) menciona 1.320 m en una sección incompleta en la localidad tipo y 1.600 m en Cerro Pelado. A corta distancia al oeste están expuestos más de 1750 m en sección también incompleta, asimismo varía de 520 m en Guarabal hasta 1.185 m en el pozo Las Pailas . En el flanco sur varía de espesor de cero a 1.500 (Wheeler, 1963) .

Díaz de Gamero (1977) indicó que la base de la Formación Agua Clara en la localidad tipo corresponde a parte de la zona de “*Catapsydrax dissimilis*” del Mioceno temprano, pudiendo ser más joven hacia el oeste donde suprayace a la Formación Castillo. Wheeler (1963) indicó que la parte superior de Agua Clara varía dentro del Mioceno inferior tardío. Díaz De Gamero (1977b) ubica el tope de Agua Clara en el límite Mioceno Temprano-Mioceno Medio: Zona de *Praeorbulina glomerosa* - Zona de *Globorotalia foysi* peripheroronda.

Posteriormente se sedimenta la Formación Cerro Pelado de ambiente costero deltáico con presencia de carbones que aparentemente indica intercalaciones paludales (Hambalek, “et al”. 1993, citado por Bermúdez, López & Troconis 2003).

La Formación Cerro Pelado está caracterizada principalmente por lutitas arenosas laminadas intercaladas con areniscas de grano fino (Liddle, 1946). Las areniscas se encuentran generalmente con estratificación cruzada, contienen rizaduras, laminación cruzada y presentan capas de lignito de hasta 1m de espesor (González de Juana *et al.*, 1980, citado por Leal & Rivero 2004). Esta formación pasa gradualmente hacia arriba a una secuencia lutítica con intercalaciones menores de arenas y lignitos, denominada Formación Querales, la cual infrayace a la Formación Socorro depositada en un ambiente mas marino de lutitas fosilíferas ocasionalmente arenáceas.

El Mioceno temprano a medio se caracteriza por cambios más locales en el nivel del mar, entre los ambientes deltáicos de la Formación Cerro Pelado y los más marinos de la secuencia Socorro indicada por una transición a los ambientes que comenzaron con la Formación Cerro Pelado (Díaz de Gamero, 1977).

Las capas de la Formación Socorro se aprecian afuera en las colinas del oeste de Falcón y en la zona de Cumarebo. En la sección tipo, cerca de la población del Socorro, la Formación Socorro es una lutita basal con un intervalo de areniscas en el tope. La parte superior son areniscas de grano fino, reservorios de hidrocarburos en el campo de Cumarebo (González de Juana *et al.*, 1980).

La Formación Socorro tiene 1570 metros de espesor pero adelgaza a 660 metros al sur de Coro (González de Juana *et al.*, 1980). La microfauna de la parte baja de la sucesión es asignada a la *Globorotalia foshi foshi* (Mioceno Temprano a Medio, Díaz de Gamero, 1977). La Formación Socorro fue depositada en un ambiente costero al oeste, el cual se hizo más marino gradualmente al este (González de Juana *et al.*, 1980). La Formación Socorro posee una sucesión gradual ascendente hacia la Formación Urumaco en el área del Surco de Urumaco y adelante al este, hacia el Formación Caujara (Macellari, 1995).

La Formación Caujara incluye 1220 metros de lutitas interbandeada con margas, calizas y areniscas de grano fino que guardan hidrocarburos en el campo de Cumarebo (Payne, 1951). Cambios rápidos de facies son reflejados en una diversa nomenclatura estratigráfica. La Formación Caujara fue depositada en una plataforma marina de ambiente cálido, marino tropical (Petzall, 1959). La fauna es rica en indicadores de rango de edad que va desde la *Globorotalia menardii* (Después de Mioceno medio) a la *Globorotalia acostaensis* (después del Mioceno) (Díaz de Gomero (1977) citado por Macellari (1995).

2.1.3 Mioceno Medio – Mioceno Superior

En el Mioceno Medio comenzó la retirada del mar, depositándose hacia el norte en un ambiente de aguas poco profundas la Formación Socorro, seguida de la sedimentación de la Formación Urumaco esta se identifica por la presencia de lutitas marinas y especialmente por calizas coquinoides en la base e influencia terrígena en su tope. Esta última unidad presenta un carácter más marino que las formaciones Cerro Pelado y Socorro, afianzándose este carácter hacia el oriente y de mayor influencia continental hacia el oeste. En la parte oriental de la cuenca la unidad recibe el nombre de Formación Caujarao, en donde las abundantes calizas y margas con numerosos fósiles son características de la parte inferior de la unidad, en la sección del Anticlinal de la Vela de Coro, quedando reducida este carácter de la Formación Urumaco a unas pocas calizas fosilíferas delgadas. Hacia el oeste del Surco de Urumaco sobre el Alto de Dabajuro se produce la sedimentación continental de la Formación La Puerta, equivalente parcial de la secuencia mencionada. (Gozález De Juana, *et al.* 1980).

Hacia el oeste, en el área del Surco de Urumaco, la Formación Caujarao es remplazada por la Formación Urumaco. Estas son facies más proximales que la Formación Caujarao e incluyen lutitas marinas y no marinas, areniscas y carbones marcadores. El espesor de la Formación Urumaco está sobre los 1675 metros (Macellari, 1995).

Posteriormente, durante el Mioceno Medio y Tardío, se producen levantamientos regionales al sur. En la parte norte de la cuenca se establecen condiciones sedimentarias marinas marginales, y en el borde septentrional de Falcón occidental se deposita en ambientes neríticos la Formación Querales, la cual constituye un intervalo lutítico (Marcano. 1990).

La Formación Querales es predominantemente lutítica con un buen desarrollo de gruesos paquetes de areniscas, típicos de barras de desembocadura. Las formaciones infra y suprayacentes muestran un conjunto de características que las identifican como sedimentadas en ambientes marinos deltáicos. Dentro de este marco general, la Formación Querales es de carácter transgresivo consecuencia de una invasión marina discreta que afectó el surco de Urumaco en su totalidad (Bermúdez, López y Troconis 2003)

La sedimentación del Mioceno Tardío en Falcón central está constituida por depósitos predominantemente continentales en el distrito Democracia, incluidos en la Formación Codore; sedimentos marinos de aguas muy someras deltáticas en los distritos Miranda y Colina agrupados en la Formación La Vela y secuencias definitivamente marinas, Formación El Veral en el distrito Zamora. Nuevamente se repiten durante esta época los ambientes sedimentarios progresivamente más marinos hacia el este. (Ballestas & Velásquez 1983).

2.1.4 Plioceno – Cuaternario

Según Audemard, Singer, Rodríguez & Ballestas (1994) el conjunto Plio-Cuaternario es esencialmente continental, exceptuando las zonas actualmente y parcialmente sumergidas durante los máximos marinos interglaciares (tal como Paraguaná y las líneas de costa). Por ende, este conjunto está compuesto por depósitos continentales, restringidos básicamente a la plataforma de Dabajuro y al sector norcentral del estado Falcón, y por depósitos marinos asociados a la costa actual y a la península de Paraguaná. El Plioceno se caracteriza por la sedimentación de conglomerados y lutitas arenosas de la Formación Coro y parte superior de Codore y San Gregorio. Las cuatro terrazas fluviales sobre la Formación Castillete y los aluviones recientes son los representantes de la sedimentación cuaternaria.

2.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL

La cuenca de Falcón – Bonaire sobrepasa una longitud total de 600 km, ya que puede ser seguida hasta el Oeste de la isla de Margarita, aunque solo la cuenca de Falcón aflora actualmente por una longitud de al menos 150 km, entre la Plataforma de Dabajuro y la costa oriental falconiana (Erlich & Barret 1990, citado por Escorihuela & Rondón, 2002).

Según González De Juana (1980), la geología estructural regional se refleja en grandes pliegues que constituyen el anticlinorio de Falcón y en varias fallas verticales o de buzamiento bajo que son el resultado de un característico sistema de esfuerzos. Las fallas más importantes que afectan a la Cuenca de Falcón, son: la falla de Oca-Chirinos, El Mayal, Ancón de Iturre y Pozo Negro, las mismas tienen una orientación casi este-oeste. Las fallas de Oca-Chirinos y Pozo Negro separan dos áreas estructurales distintas: una al norte, donde diferentes fallas se extienden hasta la costa, y otras al sur que se extienden hasta el frente de montañas (León, 1985).

Un elemento estructural significativo en la evolución tectónica de la cuenca, lo constituye la Plataforma de Dabajuro; plataforma que durante el Oligoceno y Mioceno inferior constituyó un alto estructural y fue cubierta durante la deposición de la Formación Agua Clara. El límite oriental de esta plataforma es la falla Lagarto, y hacia el sur la falla de Oca-Chirinos y las demás fallas antes mencionadas (León, 1985).

Previo a la Formación de la cuenca terciaria de Falcón, se reconoce una fase compresiva de orientación norte-sur de edad Cretácico Tardío-Eoceno Medio (Audemard & De Mena, 1985) en la parte oriental de la región de Falcón, la cual generó el sobrecorrimiento de parte del alóctono caribe de edad Paleoceno-Eoceno Temprano, mientras que hacia el occidente, la plataforma carbonática de Maracaibo permaneció estable (Audemard, 1995).

Dicha fase compresiva se cree fue consecuencia del contacto entre la placa Caribe con la placa Suramericana, el cual se produce de manera transpresiva destral, creando deformación a todo el frente norte del continente Suramericano (Audemard, 1995).

Audemard & De Mena (1985) consideran que esta fase compresiva se atenuó durante el Eoceno Medio-Tardío.

A partir de ese momento comienza a generarse una fase distensiva en todo el límite entre las placas Caribe y Sudamérica trayendo como consecuencia la formación de una serie de cuencas a lo largo de dicho margen y dentro de las cuales se encuentra la cuenca de Falcón (Audemard, 1995)

A continuación se presentan algunas de las teorías acerca de la generación de la cuenca: Muessig (1984) menciona que la cuenca de Falcón se originó en el Cenozoico como consecuencia de efectos transtensionales relacionados con fallas transcurrentes como las Fallas de Oca y San Sebastián. Macellari (1995) postuló que la cuenca evolucionó a partir de desplazamientos laterales durante el Eoceno, que dieron origen a una serie de cuencas “pull apart” episuturales. Audemard (1995) atribuye el origen de la cuenca a una fase “rifting” de edad Eoceno Tardío-Oligoceno generalizada en todo el margen septentrional venezolano. Porras (2000) por su parte considera que el origen de la cuenca Falcón-Bonaire está asociado a colapsos extensionales internos dentro de una cuenca detrás de arco (back arc), en un orógeno en flotación que colisionó oblicuamente con el extremo noroccidental de la placa Suramericana, suturándose diacrónicamente de oeste a este desde el Cretácico Tardío hasta comienzos del Mioceno Temprano.

2.2.1 Evolución Tectónica de la Cuenca de Falcón

2.2.1.1 La Teoría del “Pull Apart”

El desarrollo de una estructura *pull-apart* en la cuenca de Falcón refleja la evolución tectónica del período Terciario donde un largo bloque de corteza reflejó al bloque Bonaire (Silver et al., 1975). Este bloque estuvo sujeto a cizallamiento dextral, entre la Placa del Caribe y la Placa Suramericana (Muessig, 1984).

Pindell “et al”. (1998) mencionan un modelo de evolución entre el Golfo de México y la Placa Caribe e indican que desde el Eoceno la Placa del Caribe ha migrado hacia el Este 1100 km con una velocidad aproximada de 2 cm/año. Brueren (1949) menciona que el área de Falcón que está relacionada con las Intrusiones ígneas corresponde a un eje de un geosinclinal Terciario.

Muessig (1978), indica que la cuenca de Falcón se origino durante el Eoceno Tardío a Oligoceno, en una zona tipo *pull-apart*, causado por movimientos transcurrentes entre la Placa Caribe y la Placa Suramericana. Define este límite de placas como una falla transformante y la expresa como una serie de fallamientos dextrales a lo largo de una línea que permite conectar la Falla de Oca con la Falla de San Sebastián.

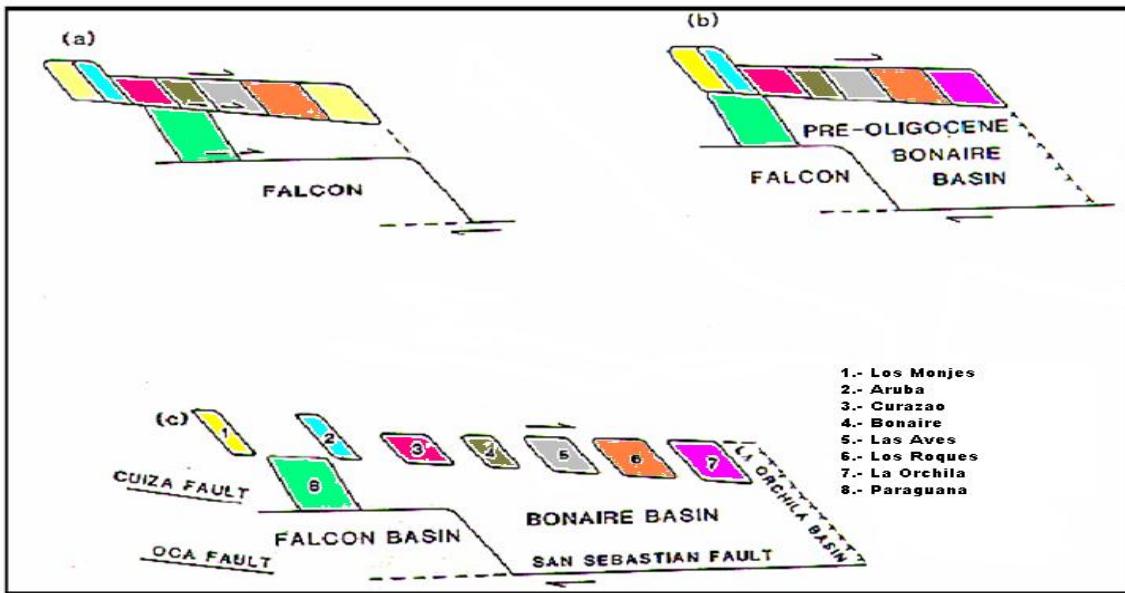


Figura. 6. Gráfico que representa la evolución de las cuencas “pull-apart” Falcón y Bonaire, las opciones a y b representan dos configuraciones del área anterior a la extensión Eoceno Tardío. Para llevarlo a la configuración presente c, la opción a requiere una gran cantidad de extensión y desplazamiento transcurrente dextral del Oligoceno al Mioceno. Tomado de Muessig (1978)

Estos movimientos transcurrentes a lo largo de la fallas generaron la extensión en dirección noreste, produciéndose así fallamientos normales y provocando el adelgazamiento de la corteza y la generación de magmas basálticos alcalinos. Esto permite al autor mencionar en su teoría que las islas de Los Monjes y La Orchila, la península de Paraguaná y la Cuenca de Falcón fueron casi yuxtapuestas antes de la extensión Oligocena. El autor presenta dos modelos, en los cuales se expresan las opciones que dieron origen a la cuenca (Ver Figura 6)

Muessig (1978), adopta la opción b, y representa a través de tres esquemas ilustrados el desarrollo de la cuenca de Falcón y el Bloque Bonaire desde el Eoceno al presente. La extensión de la cuenca ocurre en dirección este-oeste (Muessig 1978, citado por Escorihuela & Rondón 2002)

Durante el Eoceno Temprano las Antillas menores formaron una unidad contigua conectada a la Península de Paraguaná y al área de Falcón. En el Eoceno

Tardío a Oligoceno por extensión se generó la cuenca, evidenciado por el fallamiento y la inyección de magma. Del Mioceno al presente han sucedido grandes eventos compresivos, generando un cambio en la evolución tectónica, donde la cuenca evidencia inversión (Muessig, 1978 citado por Escorihuela & Rondón, 2002).

Muessig (1984), dice que el sistema *pull-apart* de Falcón, es una extensión que fue dispuesta sobre una ancha zona, resultando en áreas de relativa estabilidad y subsidencia. Paraguaná, Dabajuro, La Guajira y el sur de Siquisiqui siguieron como altos, suministrando sedimentos al graben tipo de las zonas *pull-apart*. La cuenca de Falcón, el Surco de Urumaco, la Bahía de La Vela y la cuenca de Bonaire representan las mejores zonas de subsidencia.

Cabrera (1985), citado por Escorihuela & Rondón (2002), menciona en su trabajo la historia tectónica sedimentaria del área, y resume los principales aspectos que intervienen en esta de la siguiente manera:

1.- Fase extensional (Eoceno Tardío - Oligoceno Tardío): se formó el graben tipo ensenada La Vela, donde en esta se notan fallas de crecimiento noreste-suroeste, que favorecen a la sedimentación de grandes espesores para la Formación Pecaya y de sus equivalentes.

2.- En el Mioceno Temprano la transgresión de Agua Clara, produce la máxima actividad de fallas de crecimiento, y resulta la cobertura parcial de los paleo altos.

3.- Al final del Mioceno Temprano, e produce la erosión total de las estructuras preexistentes, y en este período cesa la fase extensional.

4.- En el Eoceno Medio a Mioceno Tardío, se representa un período de relativa estabilidad, y se relleno el graben con sedimentos provenientes de las rocas que pertenecen a las Formaciones Socorro, Caujara o y equivalentes.

5.- Se produce la fase compresional Mioceno Tardío-Plioceno-Reciente, y como consecuencia de esto se activa la inversión de la cuenca, se forma el anticlinorio de dirección este-oeste, y declive al este; la deformación pliocena tiene como límite actual el corrimiento de Guadalupe en la costa Falconiana.

Numerosos autores coinciden con Muessig (1978), en el proceso de generación de la cuenca, la cual resulta de la existencia de transtensión localizada a lo largo del límite dextral entre las placas Caribe y sudamericana (Erlich & Barrett, 1990; Ostos, 1990; Macellari, 1995; Pindell *et al.*, 1998).

Macellari (1995), analiza la estratigrafía del Eoceno hasta el reciente en una serie de cuencas *pull-apart* episuturales (Ver figura 7). Durante el Oligoceno-Mioceno, el eje de subsidencia máxima de esta serie de cuencas estuvo ubicado más hacia el este, en el Surco de Urumaco, y al este en la ensenada de La Vela. Al mismo tiempo comenzó a desarrollarse un depocentro con ubicación este-noroeste-oeste suroeste en la cuenca de Falcón, como respuesta flexural a la carga producida por un frente de cabalgamiento que avanzaba desde el sur (Macellari, 1995 citado por Escorihuela & Rondón, 2002) ya que este modelo permite explicar los flujos basálticos orientados en el centro de la cuenca falconiana.

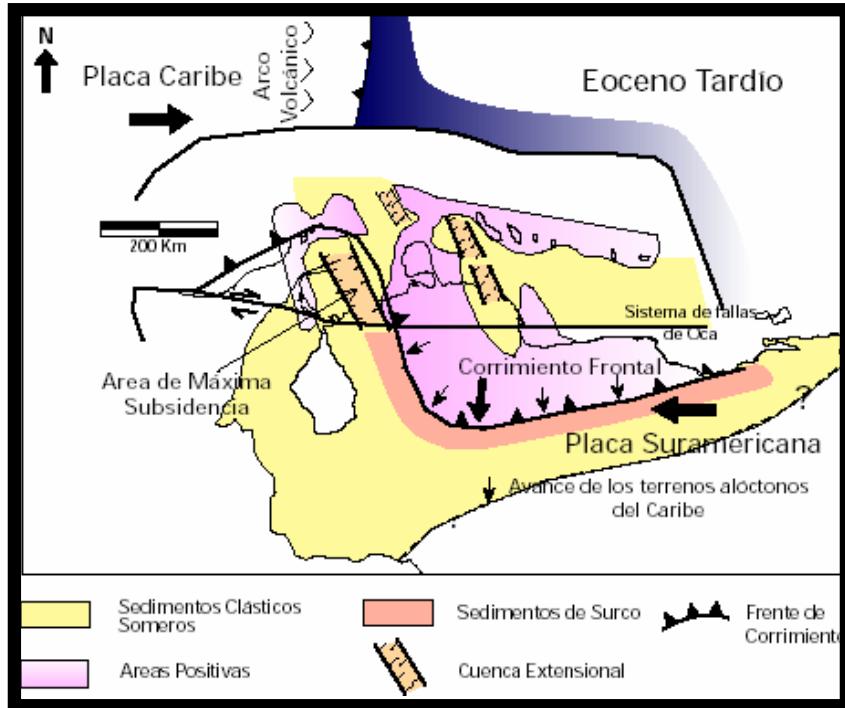
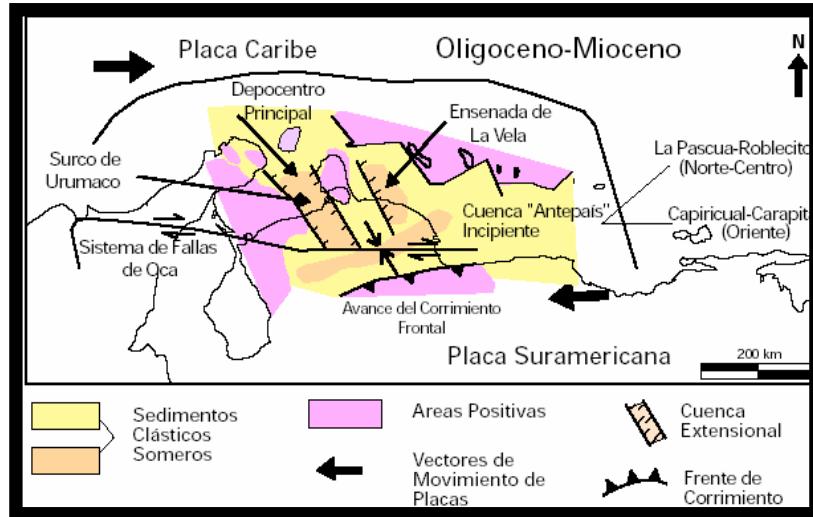
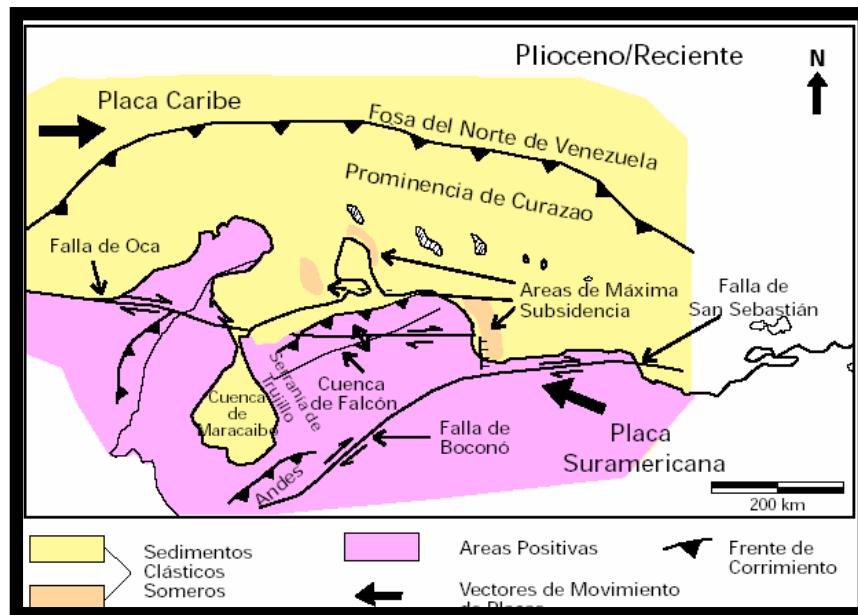


Figura.7. Modelo de generación de cuencas “pull-apart” episuturales (suroeste Caribe) por el desplazamiento de las placas Caribe y Suramericana en el Eoceno Tardío. Tomado de Macellari (1995) en la WEC (1997).

En la figura 8, se observa que durante el Oligoceno y Mioceno comenzó un estrechamiento de la cuenca “pull-apart”, debido al empuje de material alóctono, por lo que los ejes de máxima subsidencia migraron hacia el oeste entre Urumaco y la bahía de La Vela. El desplazamiento continuó a través de la Falla de Oca y se formó un frente de empuje que avanzó progresivamente al norte formándose una cuenca “foreland” con orientación ENE-OSO (Macellari, 1995, citado por Leal & Rivero 2004)



Macellari (1995) indica a través de la figura 9 que durante el Plioceno comenzó la subducción de la Placa del Caribe por el “ridge” de Curazao, debido a esto el empuje frontal del anticlinorio migró al norte y cesó la acción de las fallas con orientación NO–SE, activando el desplazamiento transcurrente destral lo largo de la falla de Boconó (Schubert & Sifontes, 1970).



Erlich & Barrett (1990) establecen que para la reconstrucción el Bloque de Margarita el cual está delimitado por una línea imaginaria alrededor de Tobago-Margarita-Araya/Paria y parte norte de Trinidad (aproximadamente 100-125 km) se necesita mover cerca de 50 km la falla de Oca y aproximadamente 50 km la falla de Boconó generando una clausura parcial de la Cuenca de Falcón, por lo que apoyan la tesis de Muessig (1978) para el modelo de génesis del Bloque de Margarita (Fig. 10). El movimiento diferencial producido por el arrastre a lo largo del margen sur del límite de la placa Caribe-Suramericana causó extensión y transtensión en las cuencas de Falcón y Bonaire.

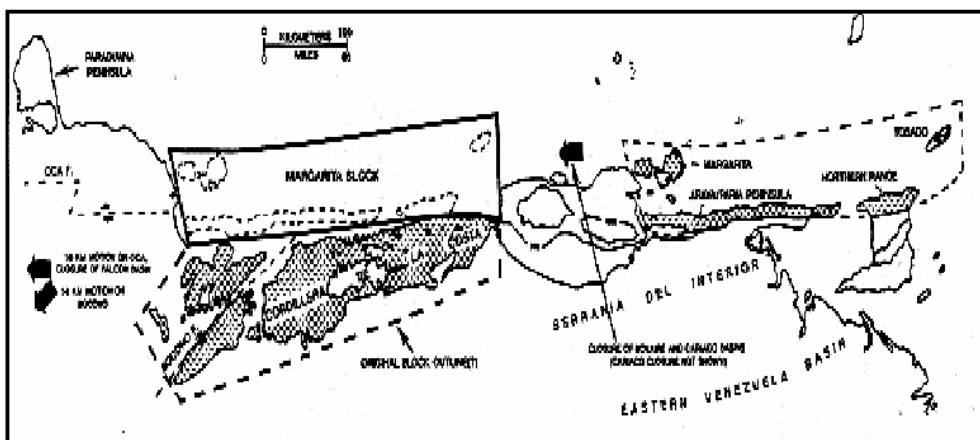


Figura 10 . Reconstrucción del Bloque de Margarita posición en el Eoceno Medio-Tardío.
Tomado de Erlych & Barret (1990).

Ostos (1990) indica que durante el Oligoceno Falcón, Bonaire y la baja Goajira se desarrollaron como resultado de un fallamiento transcurrente dextral al norte de Sudamérica. Las ofiolitas de Siquisique ubicadas al sur de Falcón fueron empujadas hacia la misma dirección antes del desarrollo de la cuenca “pull-apart”. La Falla de Oca (transcurrente dextral) pudo haber causado la compensación de la Península de la Goajira, aunque esta estuvo inactiva en el Oligoceno.

El bloque Maracaibo-Sta. Marta empezó a moverse al norte por la megacizalla de Boconó (Oligoceno Tardío–Mioceno Temprano), relacionado al límite

de subducción tipo andino en el Oeste de Suramérica resultando en el desarrollo del cinturón deformado del Sur–Caribe (Case *et al.* 1984).

En el Mioceno Tardío al presente las cuencas de Falcón y Maracaibo fueron invadidas por los mares. Sin embargo, las cuencas del golfo de La Vela y golfo triste fueron levantadas en el Mioceno Tardío, lo cual está relacionado a la reactivación de las fallas (transcurrentes) E–O o fallas con tendencia N–S o NE– SO (transcurrentes) conjugadas a la mega falla de Boconó.

La evolución tectónica del límite meridional de la Placa del Caribe durante el Plioceno–Cuaternario está caracterizada por las continuas migraciones hacia el norte y este del bloque Maracaibo Santa Marta y el terreno transpresional respectivamente (Erlich & Barrett 1990).

2.2.1.2 Teoría de Porras “El Orógeno de Flotación”

Porras (2000) menciona que el origen de la Cuenca de Falcón-Bonaire está asociado a colapsos extensionales internos dentro de una cuenca de retroarco (“back arc”), en un orógeno de flotación que colisionó oblicuamente con el extremo noroccidental de la Placa Suramericana, suturándose diacrónicamente de Oeste a Este desde el Cretácico Tardío hasta comienzos del Mioceno Temprano. Este modelo está basado en el esquema de orógeno en flotación de Oldow, *et al* (1990), en el cual pueden ocurrir simultáneamente desplazamientos transcurrentes (paralelos a la sutura) y contraccionales (perpendiculares a la sutura). Estos autores indican la existencia de estos sistemas en cuencas de ante-arco (“fore-arc”) y de retro-arco (“back-arc”) que se desarrollan en los márgenes convergentes.

El autor identifica tres períodos principales:

Un período de extensión: que va desde el Eoceno Tardío hasta la parte media del Mioceno Temprano. En este tiempo se comienza a generar la cuenca Falcón Bonaire, como un colapso tectónico detrás de la colisión entre las placas Caribe y Sur América, a partir de este proceso se comienzan a generar estructuras extensionales tipo “graben”.

La fase compresiva: que comenzó hacia el final del Mioceno Temprano inicios del Mioceno Medio. No es sino hasta el Mioceno Medio que esta fase comienza a afectar a la cuenca, por efectos de la orogénesis andina, causando la inversión tectónica de la porción centro-occidental de la cuenca (Anticlinorio de Falcón). Los efectos de la compresión andina generaron el desarrollo de fallas inversas o corrimientos con vergencia norte-noreste, las cuales cortan la sección terciaria, generando pliegues de dirección noroeste-sureste.

Desarrollo simultáneo de estructuras compresivas y distensivas: Plioceno Tardío- Reciente, durante este período el margen entre las placas presenta una componente mayormente transcurrente en dirección este-oeste.

Estos movimientos generaron estructuras de grandes dimensiones, donde se observan efectos transpresivos y transtensivos contemporáneos. En la figura 11 se muestra el modelo de orógeno de flotación el cual es tomado por Porras (2000) para la evolución de la cuenca de Falcón.

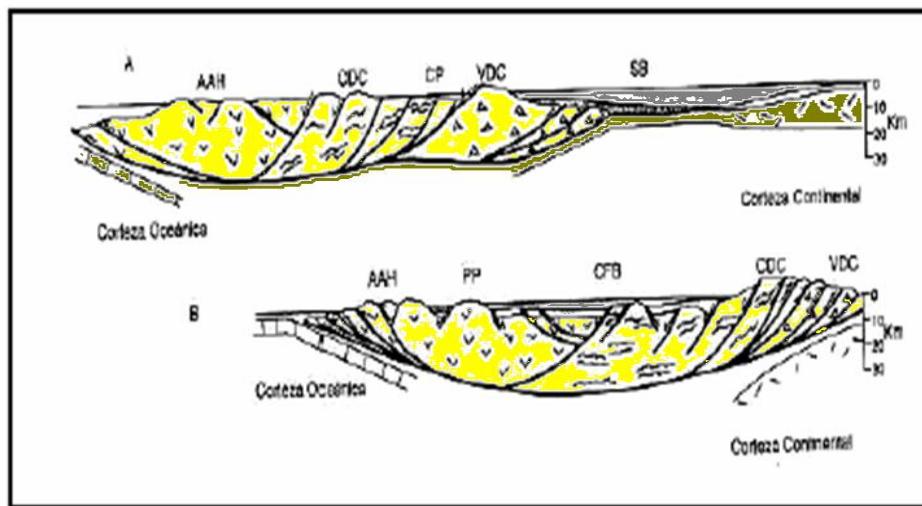


Figura. 11. Modelo de orógeno de flotación para la cuenca de Falcón Bonaire. A Configuración tectónica para el Paleoceno-Eocene Medio. B, configuración tectónica para el Eocene Tardío. SB Surco de Barquisimeto. CP, Cuenca de retroarco de Paracotos, VDC, Arco de Islas de Villa de Cura. CDC Terrenos de la Cordillera de la Costa; AAH, Alto de las Antillas Holandesas, PP, Alto de Paraguaná. CFB, Sedimentación marina en el centro de la cuenca y continental a somera en los márgenes. Tomado de Porras (2000).

2.2.1.3 Otras teorías

Boesi & Goddard (1991), proponen un nuevo modelo conceptual de la cuenca de Falcón, para conocer el hábitat de hidrocarburo en la cuenca. Este modelo incluye la tendencia noroeste de los “horst” y canales mencionados que son responsables por la extensión norte del desarrollo de la cuenca sedimentaria central (Ver figura 12).

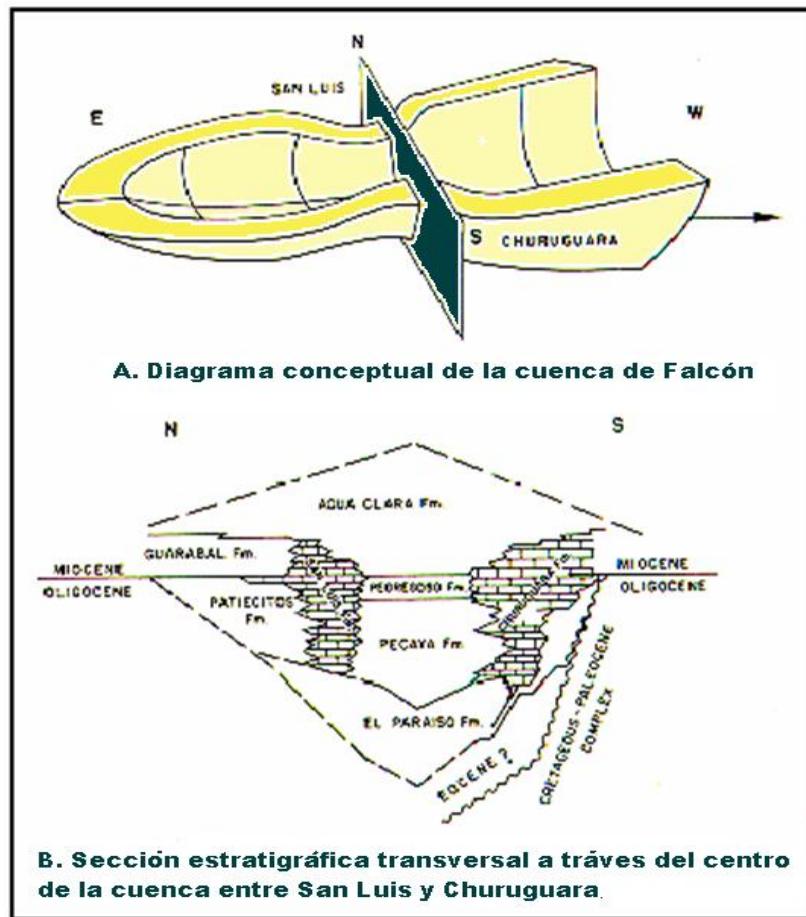


Figura 12.- A) modelo original conceptual para la cuenca (después de González de Juana, 1980) y B) una compilación estratigráfica (después de Wheeler, 1963) basado sobre sección transversal a través del centro de la cuenca entre San Luis y Churuguara cuyas posiciones geográficas están mostradas en la figura. Tomado y modificado de Boesi & Goddard (1991).

El modelo estratigráfico y de sedimentación durante la sedimentación propuesto por los autores es el siguiente:

- Eoceno Tardío: en el Eoceno la sedimentación continuó sin interrupción y se inicia la formación de la cuenca de Falcón.
- Oligoceno: con el incremento de la subsidencia, la cuenca tomó la forma de un elongado bote con un costado inclinado. Se desarrollaron surcos

sinsedimentarios con orientación noroeste en el sector norte con un sector angosto en el área central, (Fig. 13).

Las intrusiones ígneas y submarinas de flujos basálticos están en la parte más profunda de la cuenca, en surcos subsidiendo, y son comunes en el sector norte.

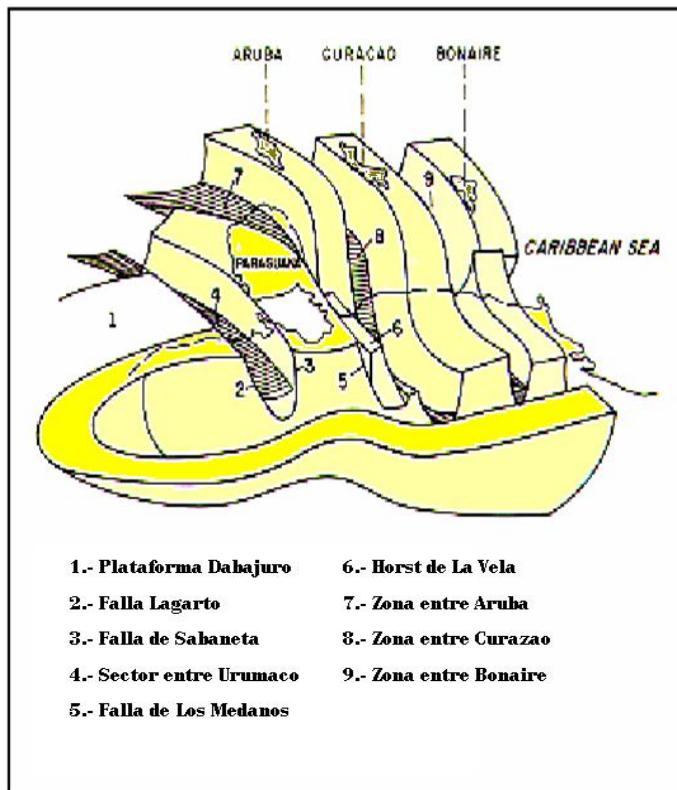


Figura 13. Modelo conceptual propuesto para la cuenca de Falcón. Tomado y modificado de Boesi & Goddard (1991).

- Mioceno: los esfuerzos complejos comenzaron incrementándose durante el Mioceno. Durante el Mioceno Temprano la transgresión marina noreste llega a su fin. En el flanco norte y en la región caribe, los surcos sinsedimentarios continuaron llenándose como continuó la subsidencia, estos factores están relacionados a la extensión tectónica.

La inversión de la cuenca que comenzó en este tiempo fue responsable por el levantamiento y erosión de los sedimentos que fueron depositados en el canal. La

posición ocupada por el eje de la cuenca en el Oligoceno-Mioceno temprano ahora se convierte en el eje de la fila conocida como Anticlinorio de Falcón. Esta fue la iniciación de la subcuenca y la separación del área entre dos zonas distintas, hacia el sur facies marino poco profundas, lagunal y sedimentos fluviales predominantemente, y hacia el norte se desarrollaron facies marino profundo a costera de transición (ver figura 14).

Al final del Mioceno, movimientos tectónicos relacionados a movimientos laterales a lo largo del límite de placas Caribe-Sudamérica fueron evidentes. El área de depositación fue hacia el mar caribe y la sedimentación fue derivada principalmente del sur como de depósitos de reciclaje.

- Plioceno: una tardía actividad tectónica tomó lugar en el Plioceno, afectando principalmente el área de Falcón, y fue responsable por el levantamiento del sistema montañoso. Los procesos sedimentarios responsables de las terrazas aluviales, costas y dunas a lo largo de la zona de piedemonte, posiblemente han sido afectados por la actividad tectónica. Un período orogénico también ocurrió durante el Pleistoceno, procesos similares fueron repetidos. Esta repetición resultó en un número de terrazas de diferentes edades, pero con el mismo desarrollo de deposición. Estas pueden ser observadas hoy a lo largo del entero llano costero.

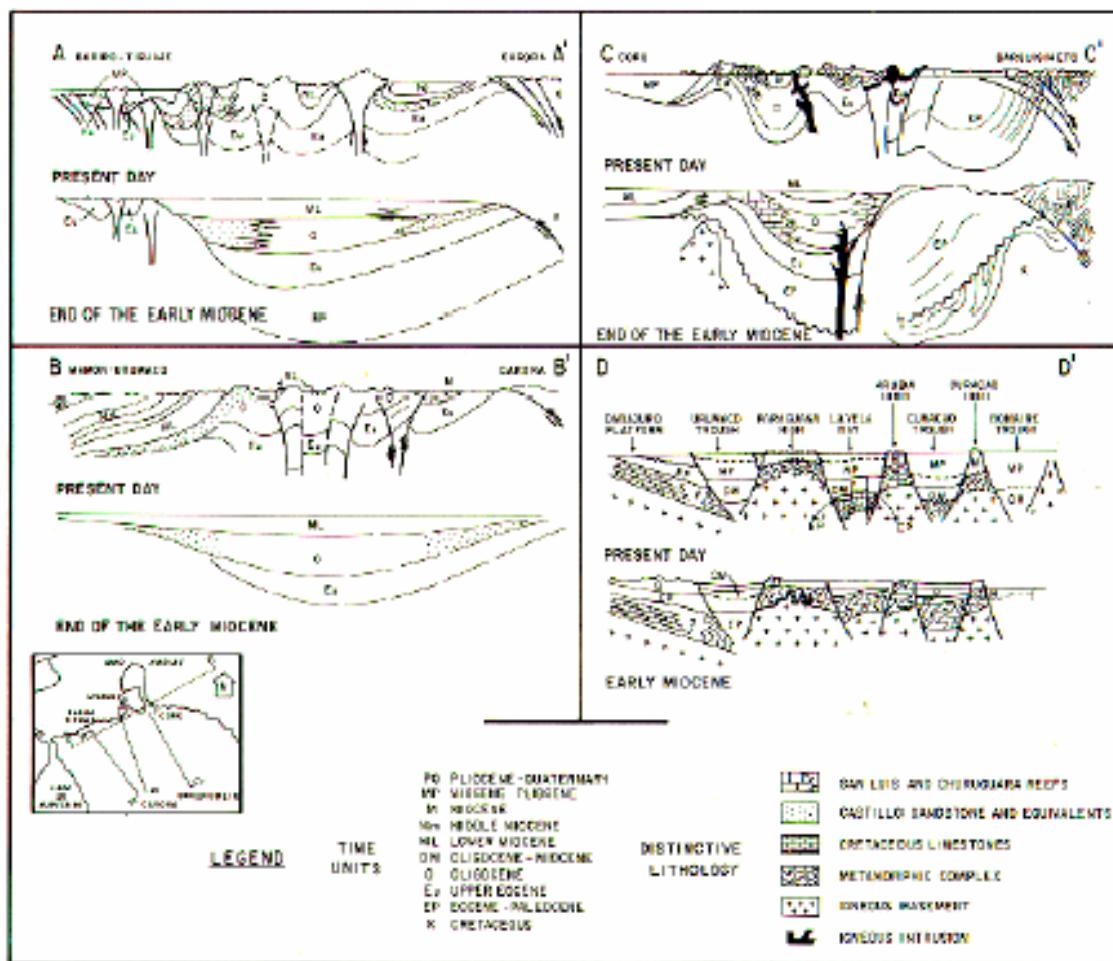


Figura 14.- Secciones esquemáticas a través de la cuenca de Falcón. Tres secciones trasversales noroeste-sureste (A-A', B-B', C-C') mostrando extensión y compresión y una sección longitudinal (D-D') mostrando continuidad de la extensión. Tomado y modificado de Boesi & Goddard (1991).

Audemard (1995) señala en trabajos anteriores que el desplazamiento hacia el norte de la sedimentación hacia el norte de la cuenca de Falcón evidencia claramente el proceso de inversión de la cuenca este proceso fue previamente propuesto por Audmard & De Mena (1985), Testamark *et al.* (1986); y Goddard & Boesi(1991).

Audemard (1995) resume la evolución tectónica de la cuenca de Falcón en las siguientes fases:

El rifting Oligoceno – Mioceno Temprano:

La cuenca de Falcón nace durante una fase de rifting de edad Oligoceno a consecuencia de un campo de esfuerzo regional distensivo, cuyo esfuerzo mínimo está orientado N 150°. La subsidencia tectónica de la cuenca culmina en el límite Oligoceno-Mioceno con las intrusiones y coladas basálticas y la colmatación sedimentaria, durante la subsidencia térmica, está representada por los depósitos lutíticos neríticos de la Formación Agua Clara de edad Mioceno Temprano.

El cierre de la cuenca de Falcón:

El cierre de la cuenca de Falcón se inició en el límite entre el Mioceno Temprano y el Mioceno Medio. Se distinguen tres etapas diferentes grosso modo: Mioceno Medio a Tardío, Plioceno y Cuaternario.

La inversión tectónica de edad Mioceno Medio-Tardío.

Durante el Mioceno Medio y Tardío, la cuenca de Falcón sufrió un proceso de inversión tectónica originado por un campo de esfuerzos regional caracterizado por esfuerzos mínimo y máximo sub-horizontales, con σ_1 orientado N 155°. Este régimen tectónico estructura la cuenca de Falcón en un gran anticlinorio. Más aún, es igualmente responsable del plegamiento general de la cuenca de Falcón, cuyos pliegues parecen cilíndricos y están orientados en dirección WSW-ENE. Este inversión induce el desplazamiento de los procesos sedimentarios hacia el flanco norte del anticlinorio, con la depositación de secuencias de llanura costera y de plataforma marina.

La compresión Mioceno-Plioceno:

Esta fase es en particular responsable de la discordancia que separa las formaciones La Puerta Tardío, Codore y El Veral de las formaciones La Puerta Temprano, Urumaco y Caujarao. Esta discordancia no es de importancia regional pero puede ser observada en diversos sitios de la cuenca de Falcón, a excepción de la plataforma de Coro. Se produjo una fase tectónica en la plataforma de Coro, lo cual indica que la zona fue sometida a una continua fase de compresión desde el límite Mioceno-Plioceno.

La compresión Plioceno-Pleistoceno.

Es la fase responsable de la configuración actual de la cuenca y continua hoy día, ella constituye la última de una trilogía de fases compresivas caracterizadas por esfuerzos máximos que siempre han estado ubicados en el cuadrante NW.

3. GEOLOGÍA LOCAL

De acuerdo al mapa (ver figura 15) correspondiente a la zona de estudio se realizaron dos secciones, un transecto ubicado al “este” (véase rectángulo amarillo) el cual se ubica entre los puntos **A'** y **D'** de coordenadas UTM (386779,1192025) y (395696,1175763) respectivamente, y el transecto “Oeste” (véase rectángulo rojo) ubicado entre los puntos **I** y **M'** de coordenadas UTM (382824,1188372) y (388375, 1171806). Ambas secciones tienen una orientación perpendicular al rumbo general de las filas principales y poseen longitudes aproximadas de 28 km y 27 km respectivamente .

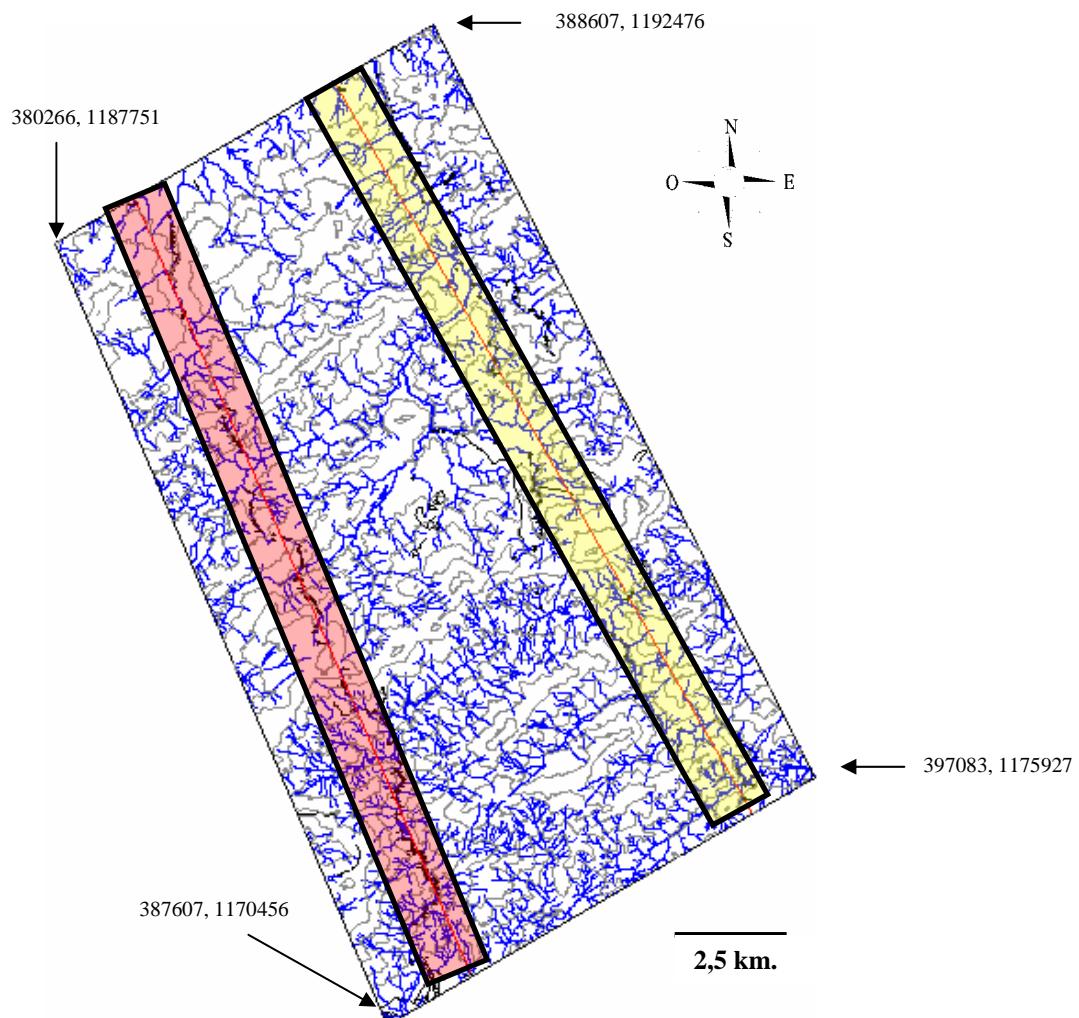


Figura. 15.- Mapa de ubicación de la zona de estudio y de los sectores “este” (en amarillo) y “oeste” (en rojo) donde se realizaron los levantamientos sobre las quebradas

El trabajo de campo realizado dentro de la zona antes descrita se efectuó sobre un conjunto de quebradas que se encontraban aisladas entre sí, por lo que no mostraban continuidad pero ofrecían la mejor información litológica al presentar mayor cantidad de afloramientos y conservar la misma orientación de los transectos seleccionados. Fue necesario dividir dichos transectos en nueve sectores para un análisis litológico más detallado. La sección “este” se dividió en los sectores **A, B, C** y **D**; mientras que la sección “Oeste” se dividió en los sectores **I, J, K, L** y **M**.

3.1 SECTORES DE ESTUDIO

3.1.1 Sector A:

Este sector se encuentra ubicado en la parte norte de la sección “este” (véase figura. 16) entre los puntos **A** de coordenadas UTM (389508, 1186829) y **A'** de coordenadas UTM (386779, 1192025), presenta una longitud aproximada de 5,8 km en línea recta, sobre el curso de la quebrada Purureche y se encuentra a una altura promedio de 450 metros sobre el nivel del mar. Está separado del punto **B** por una zona de aproximadamente 800 metros la cual carecía de afloramientos, ya que la misma se encontraba cubierta de vegetación y sedimentos aluviales.

El sector A se encuentra litológicamente definido por lutitas, areniscas de grano fino a medio, areniscas calcáreas, limolitas, calizas y conglomerados distribuidas en un total de 30 afloramientos a lo largo de sector.

La distribución porcentual de los litotipos que componen este sector se especifican de la siguiente manera: 60% de lutitas, 7% de areniscas de grano fino a medio, 3% de areniscas calcáreas, 23% de limolitas, 6% de calizas y 1% de conglomerados de grano tipo guijarro.

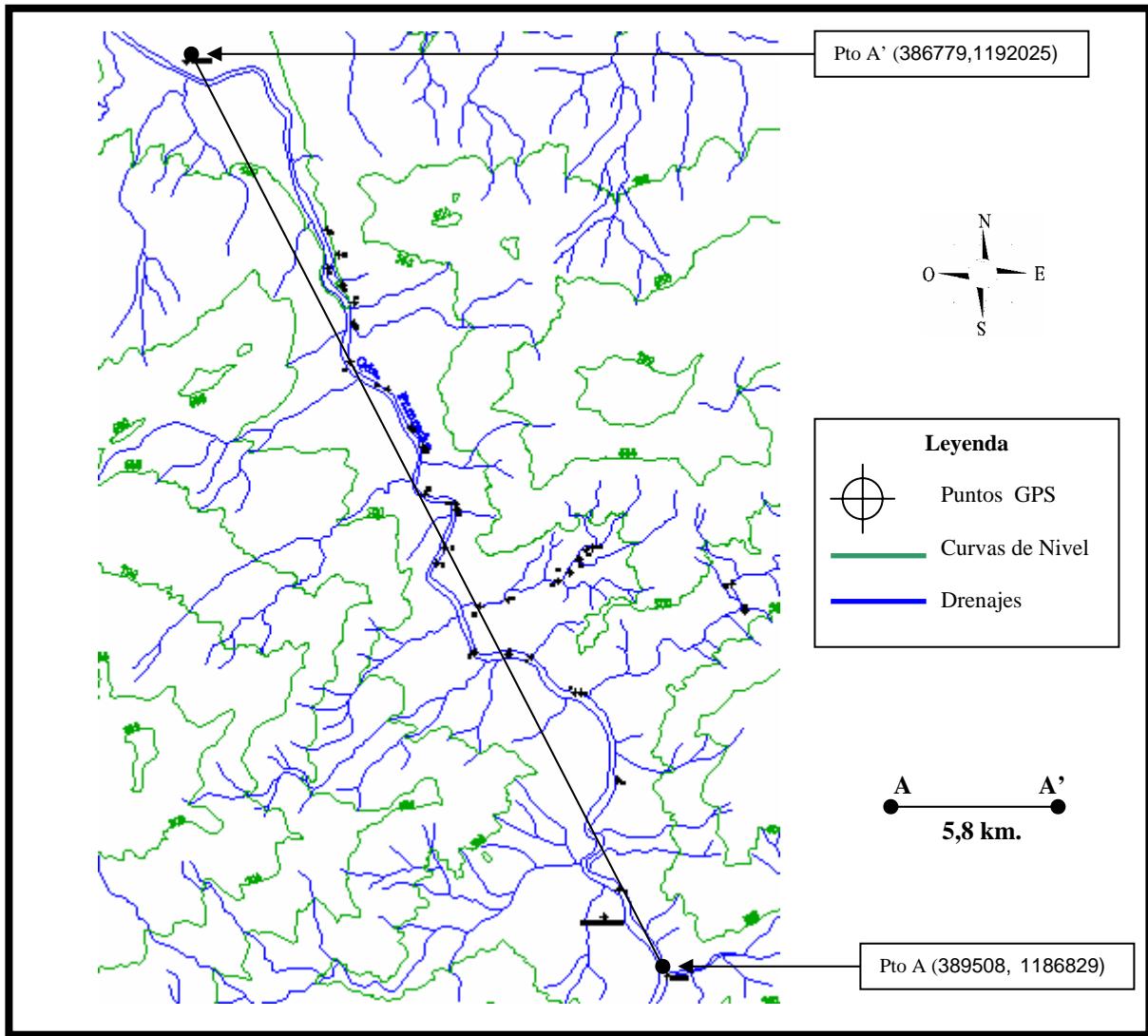


Fig. 16.- Mapa de ubicación del Sector A, donde se estudiaron 30 afloramientos a lo largo de la Qda. Purureche.

Las lutitas que generalmente se encuentran en los afloramientos de este sector se presentan de manera individual generando espesores de pocas decenas de metros y presentando colores frescos que varían desde los grises oscuros a negros intensos.

Las areniscas incluyendo aquellas calcáreas se encuentran comúnmente intercaladas con lutitas (véase figura 17), alcanzando las mismas espesores de hasta 30 metros. Salvo en un pequeño afloramiento fue posible observar una pequeña intercalación de areniscas con conglomerados calcáreos de solo 2,4 metros de

espesor. Algunos capas de areniscas llegan a tener espesores individuales de 5 metros (véase figura 18). Los colores frescos de las areniscas varían entre marrones claros y grises oscuros.

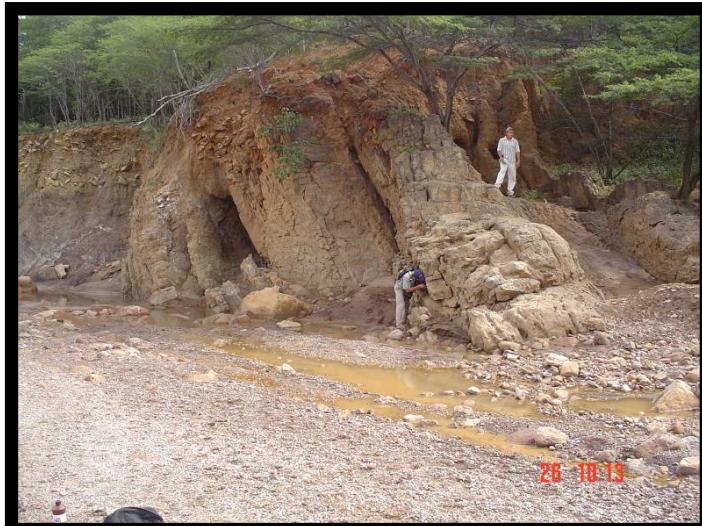


Figura 17.- Fotografía de un afloramiento de areniscas calcáreas. Rumbo de foto N80E

Las calizas se presentan en ciertos afloramientos de forma individual (véase figura 19), llegando algunas capas a tener espesores de hasta 2,5 metros. En pocos casos es posible observarlas intercaladas con lutitas negras en secuencias de hasta 50 metros de espesor, donde las calizas alcanzan espesores individuales de 40 cm.



Figura 18.- Fotografía de un afloramiento de areniscas masivas de grandes espesores.
Rumbo de foto N47E



Figura 19.- Fotografía de un afloramiento de calizas. Rumbo de foto N80E

Los afloramientos compuestos exclusivamente de limolitas llegan a tener espesores de pocas decenas de metros, aunque no es extraño conseguir algunos casos de limolitas intercaladas con lutitas (véase figura 20). Las limolitas comúnmente poseen colores frescos que varían de los marrones oscuros a los grises oscuros.



Figura 20.- Fotografía de limolitas intercaladas con lutitas. Rumbo de foto N55E

3.1.2 Sector B:

Se encuentra ubicado entre la parte norte y media de la sección “este” (véase figura 21) entre los puntos **B** de coordenadas UTM (391261, 1185304) y **B'** de coordenadas UTM (390310, 1186927), presenta una longitud aproximada de 1,8 km en línea recta, sobre el curso de un ramificación de la quebrada Purureche, originada en el punto **A**. El punto **B**, se encuentra a 1 km de distancia del caserío “Los Ranchos”, mientras que el punto **B'** se encuentra a 750 m. del caserío “Los Taques”. Este sector se encuentra a una elevación promedio de 650 metros sobre el nivel del mar.

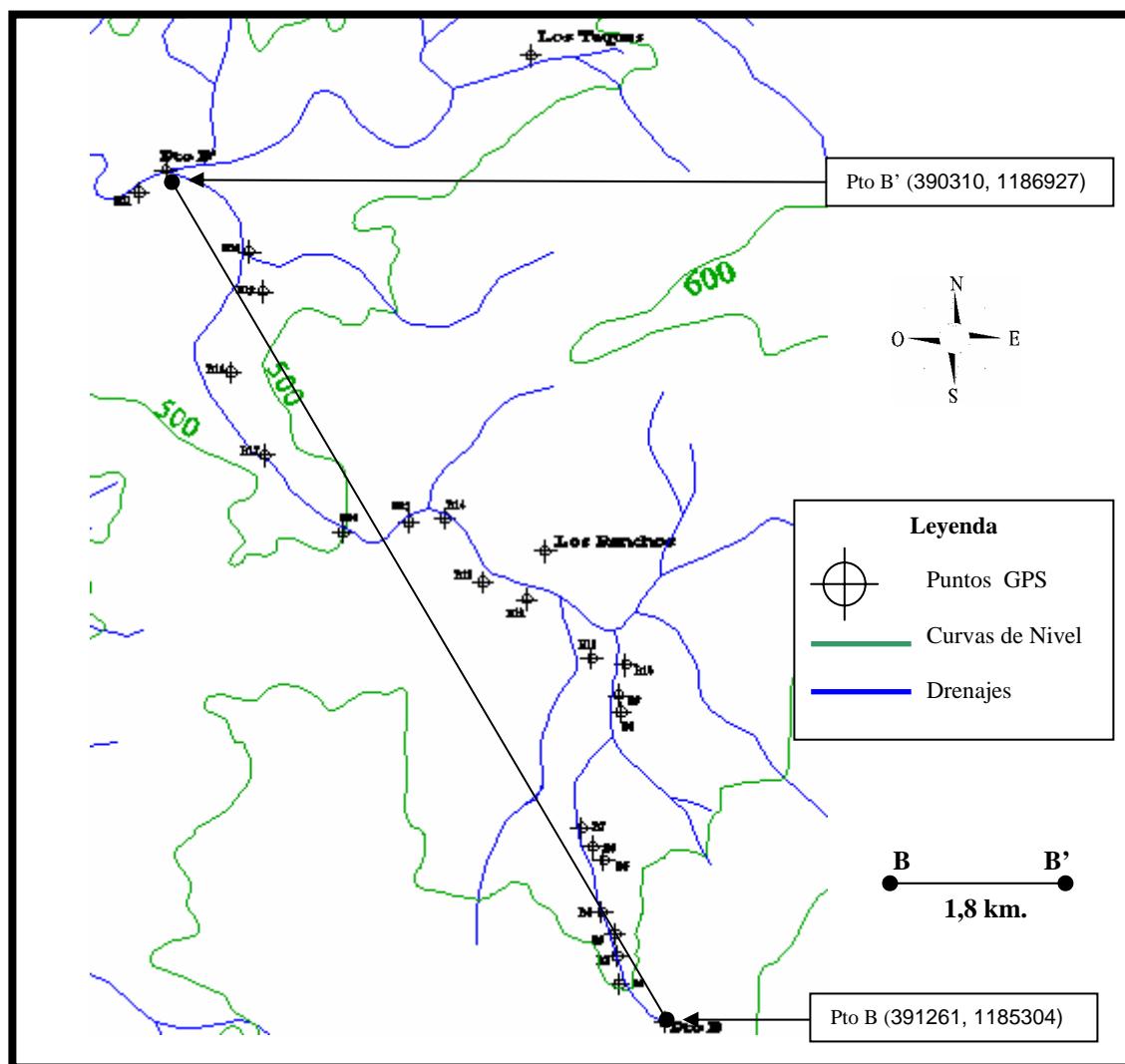


Figura 21.- Mapa de ubicación del Sector B, donde se estudiaron 22 afloramientos de un ramal de la Qda. Purureche

El sector B se encuentra litológicamente definido por lutitas, areniscas de grano fino, areniscas calcáreas, caliza y limolitas distribuidas en un total de 22 afloramientos a lo largo de sector.

La distribución porcentual de los litotipos que componen este sector se especifican de la siguiente manera: 88% de lutitas, 9% de areniscas de grano fino, 1% de areniscas calcáreas, 1% de limolitas y menos del 1% de calizas.

Las lutitas generalmente de presentan de manera individual en la mayoría de los afloramientos del sector, llegando a poseer espesores de hasta 90 metros. Los colores frescos de las lutitas varían entre los grises oscuros a los negros intensos. Ciertas lutitas presentan pequeños nódulos elipsoidales de óxido de Fe en poca cantidad.

Las areniscas siempre se encuentran intercaladas con lutitas (véase figura 22), presentando dichas intercalaciones espesores que alcanzan los 30 metros. Algunas capas de areniscas llegan a tener espesores individuales de 4,5 metros. Los colores frescos de las areniscas varían entre marrones claros y grises oscuros. Algunas de ellas poseen gran cantidad de nódulos de óxido de hierro de formas elipsoidales de pequeñas dimensiones los cuales se encuentran embebidos casi siempre en los topes de las capas. En dos afloramientos fue posible observar que las areniscas presentaban restos de bivalvos (pectínidos) medianamente conservados y algunos moldes los mismos.

Las areniscas calcáreas se presentaban en muy pocos afloramientos, y las mismas poseen una importante cantidad de nódulos de óxido de hierro, además de contar con la presencia de restos de pectens medianamente conservados.

Los colores frescos de estas areniscas varían entre el marrón claro y gris oscuro. El espesor máximo alcanzado por una capa de este tipo fue de unos 2 metros.

En un solo afloramiento fue posible observar una capa de caliza fosilífera, la misma tenía un espesor aproximado de 40 cm; varios nódulos de óxido de Fe se encontraban embebidos en ella, además de presentar restos grandes de Pectens muy bien preservadas de dimensiones 4,5 * 3 cm. Esta caliza presenta color fresco gris oscuro.

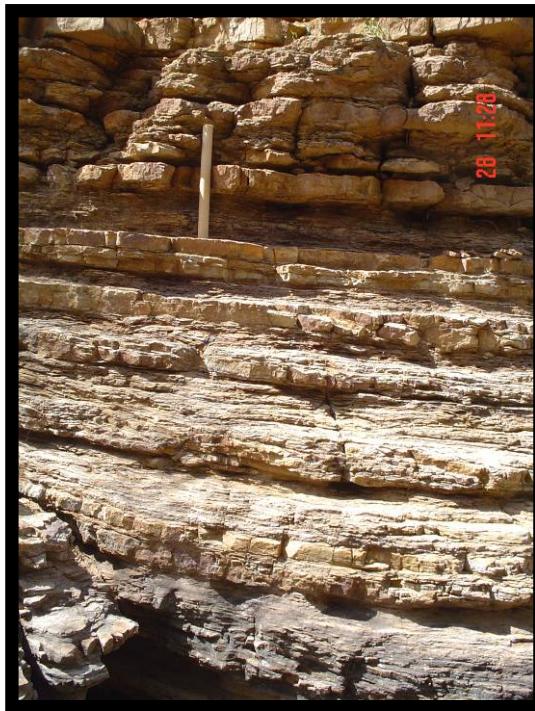


Figura 22.- Fotografía de areniscas intercaladas con lutitas. Rumbo de foto S45W

Solo fue posible hallar una secuencia de 5 metros de limolita, la cual se encontraba entre dos capas de areniscas. Esta limolita posee color fresco gris claro.

3.1.3 Sector C:

Este sector se encuentra ubicado en la parte media de la sección “este” (véase figura 23) entre los puntos **C** de coordenadas UTM (388635, 1183591) y **C'** de coordenadas UTM (390437, 1180798), presenta una longitud aproximada de 3,3 km en línea recta, sobre una ramificación de la quebrada Purureche originada en el punto **C**, la cual se abre hacia el este. El punto **C** se encuentra a 1,2 km del caserío “Las

"Maporitas" en dirección Suroeste. Este sector se encuentra a una elevación promedio de 700 metros sobre el nivel del mar.

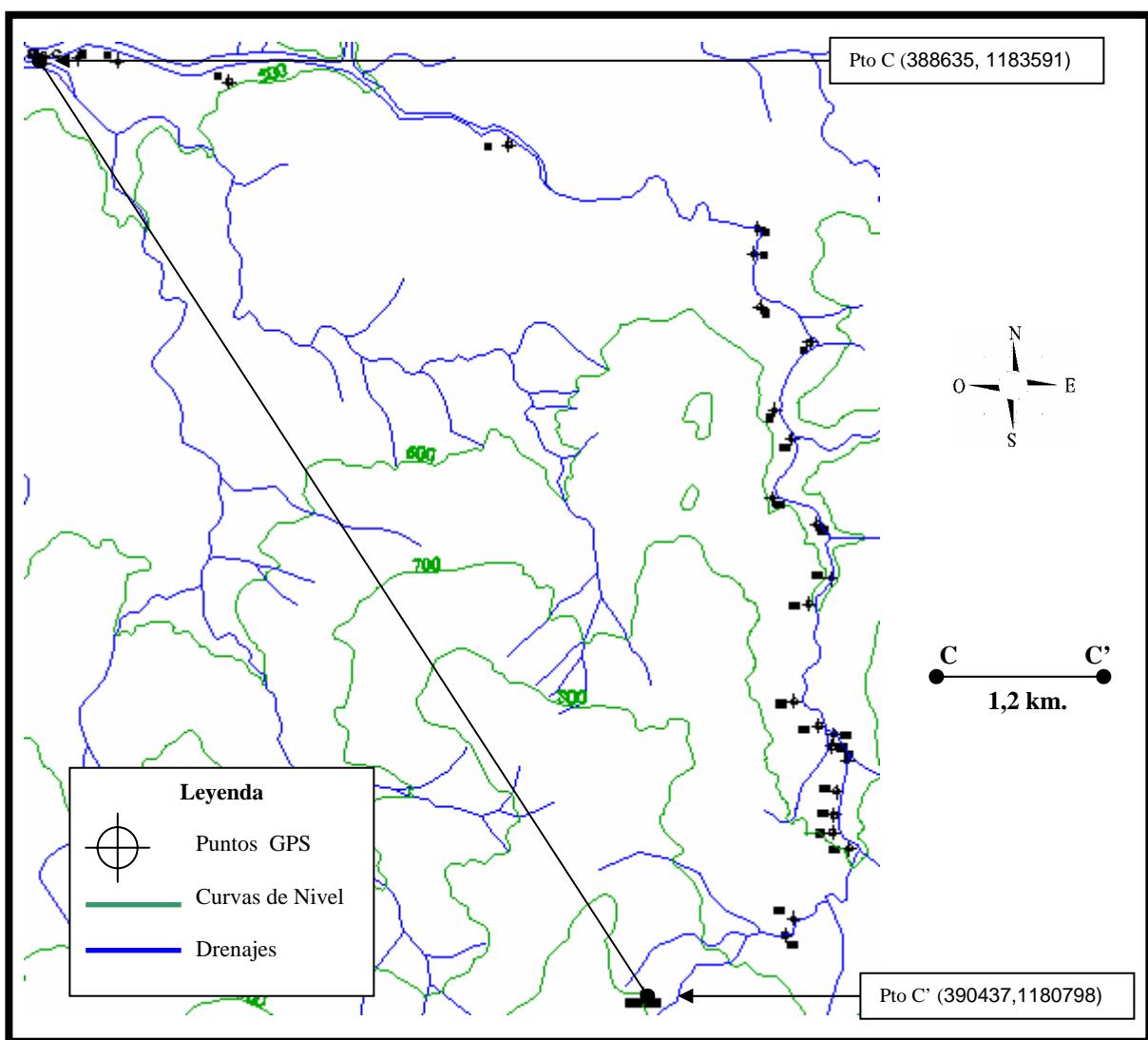


Figura 23.- Mapa de ubicación del Sector C, donde se estudiaron 26 afloramientos de un ramal de la Qda. Purureche

Se encuentra separado del punto **B'** por una zona de aproximadamente 2,5 km. en dirección Suroeste y del punto **D** por una zona de 3 km en dirección sureste.

El sector C se encuentra litológicamente definido por lutitas, areniscas de grano fino a medio, areniscas calcáreas, limolitas y calizas distribuidas en un total de 26 afloramientos.

La distribución porcentual de los litotipos que componen este sector se especifican de la siguiente manera: 82% de lutitas, 6% de areniscas de grano fino a medio, 6% de areniscas calcáreas, 1% de limolitas y 5% de calizas

Las lutitas generalmente en la mayoría de los afloramientos se presentan intercaladas con calizas y areniscas incluyendo las calcáreas (véase figura 24). Estas intercalaciones llegan a tener espesores de hasta 110 metros. Las capas de areniscas calcáreas llegan a tener espesores máximos de 0,6 metros, mientras que en las calizas los mismos llegan a ser de 4,5 metros.



Figura 24.- Fotografía de areniscas intercaladas con lutitas. Rumbo de foto N50E

Las lutitas y las areniscas calcáreas presentan gran cantidad de nódulos esféricos de óxido de hierro de diversos tamaños, las calizas presentan gran cantidad

de restos fósiles medianamente preservadas las cuales pertenecían a turritellas y bivalvos del tipo pectens (véase figura 25).



Figura 25.- Fotografía de caliza con restos fósiles de turritellas. Rumbo de foto N40E

Las lutitas presentan colores fresco que varían desde los grises oscuros hasta los negros intensos, en las calizas varían desde los marrones claros hasta los grises oscuros y en las areniscas calcáreas varían de entre los marrones claros hasta los crema y ocre.

Las areniscas se encuentran comúnmente intercaladas con lutitas, presentando dichas intercalaciones espesores que alcanzan los 10 metros. Algunos areniscas llegan a tener espesores individuales de 4 metros. Los colores frescos de las areniscas varían entre marrones claros y grises oscuros.

Muy pocos afloramientos exhiben limolitas, y los pocos que las contienen las presentan intercaladas con delgadas capas de lutitas (véase figura 26). Las limolitas presentan color fresco marrón claro.



Figura 26.- Fotografía de limolitas intercaladas con lutitas. Rumbo de foto N60E

3.1.4 Sector D:

Este sector se encuentra ubicado en la Sur de la sección “este” (véase figura 27) entre los puntos **D** de coordenadas UTM (393286, 1180709) y **D'** de coordenadas UTM (395695, 1175763), presenta una longitud aproximada de 5,5 km en línea recta, sobre el curso de la quebrada “Los Pozos”. El punto **D** se encuentra a 300 metros del caserío “El Silencio”. Este sector se encuentra a una elevación promedio de 550 metros sobre el nivel del mar.

El sector **D** se encuentra litológicamente definido por lutitas, areniscas de grano fino a medio, areniscas calcáreas, calizas y conglomerados distribuidas en un total de 41 afloramientos.

La distribución porcentual de los litotipos que componen este sector se especifican de la siguiente manera: 61% de lutitas, 24% de areniscas de grano fino a medio, 2% de areniscas calcáreas, 12% de calizas y menos del 1% en conglomerado.

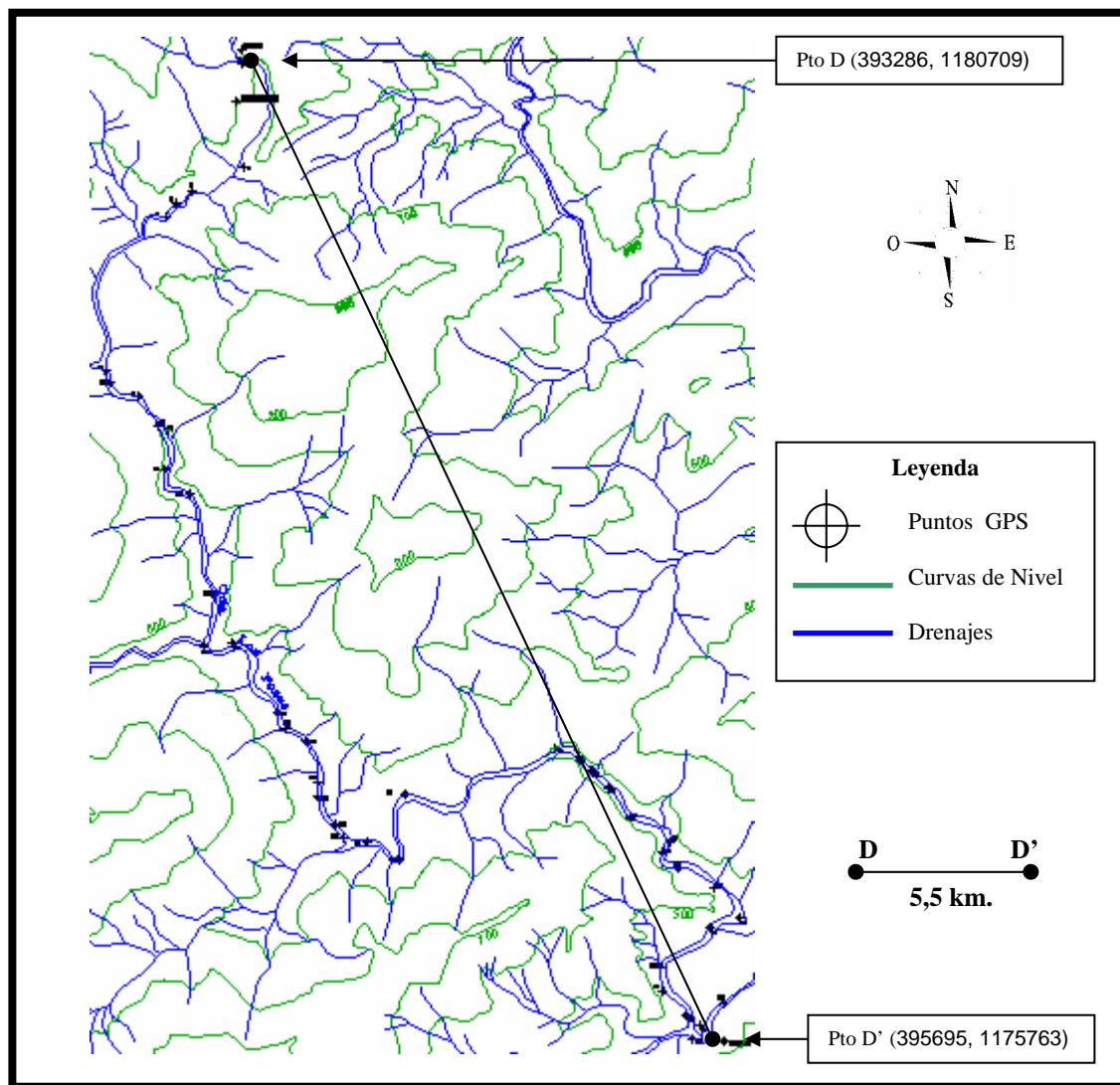


Figura 27.- Mapa de ubicación del Sector D, donde se estudiaron 41 afloramientos a lo largo de la Qda. "Los Pozos"

Las lutitas generalmente se presentan intercaladas con calizas, con areniscas o con areniscas calcáreas (véase figura 28). Estas intercalaciones llegan a tener espesores de hasta 130 metros. Las capas de areniscas calcáreas llegan a tener espesores máximos de hasta 0,6 metros, en las areniscas hasta los 5 metros, mientras que en las calizas llegan a ser de hasta 2 metros. Las lutitas presentan colores frescos que varían desde los grises oscuros hasta los negros intensos, en las calizas varían desde los marrones claros hasta los grises oscuros y en las areniscas varían entre los marrones claros hasta los grises oscuros. Algunas lutitas presentan nódulos de óxido

de Fe de formas esféricas. El 70 % de las calizas presenta un importante contenido fósil compuesto mayoritariamente por bivalvos.

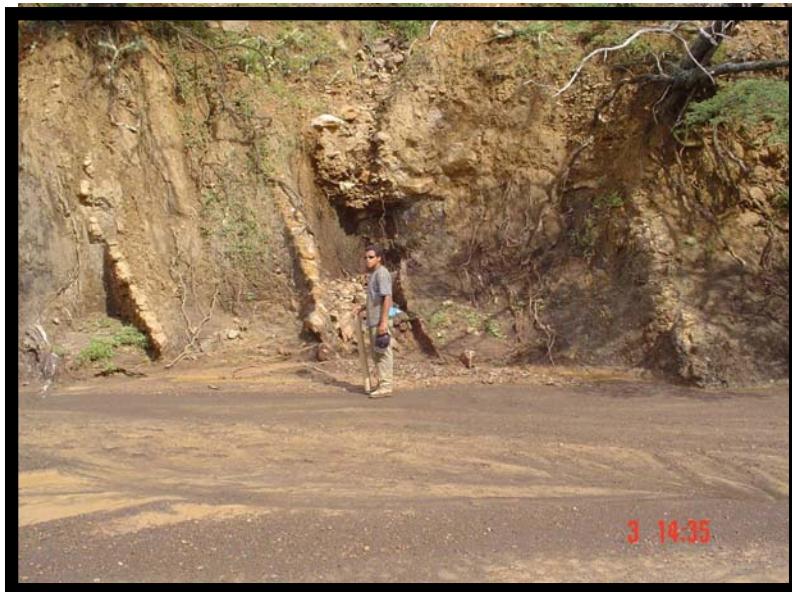


Figura 28.- Fotografía de areniscas calcáreas intercaladas con lutitas. Rumbo de foto N40E

Un solo afloramiento exhibe un conglomerado conformado por gránulos, el cual posee un espesor aproximado de 1,7 metros. Presenta color fresco rojizo con tonalidades crema. El mismo se encuentra en contacto abrupto en discordancia angular hacia su parte basal contra un conjunto de lutitas negras (véase figura 29)



Figura 29.- Fotografía de conglomerado en discordancia angular contra lutitas. Rumbo de foto N55W

3.1.5 Sector I:

Este sector se encuentra ubicado en el Norte de la sección “oeste” (véase figura 30) entre los puntos **I** de coordenadas UTM (384088, 1184122) e **I'** de coordenadas UTM (382824, 1188372), presenta una longitud aproximada de 4,4 km en línea recta, sobre el curso de una quebrada que se encuentra a 5,2 km de la Quebrada Purureche, la cual corre de manera paralela a la misma. Este sector se encuentra a una elevación promedio de 550 metros sobre el nivel del mar.

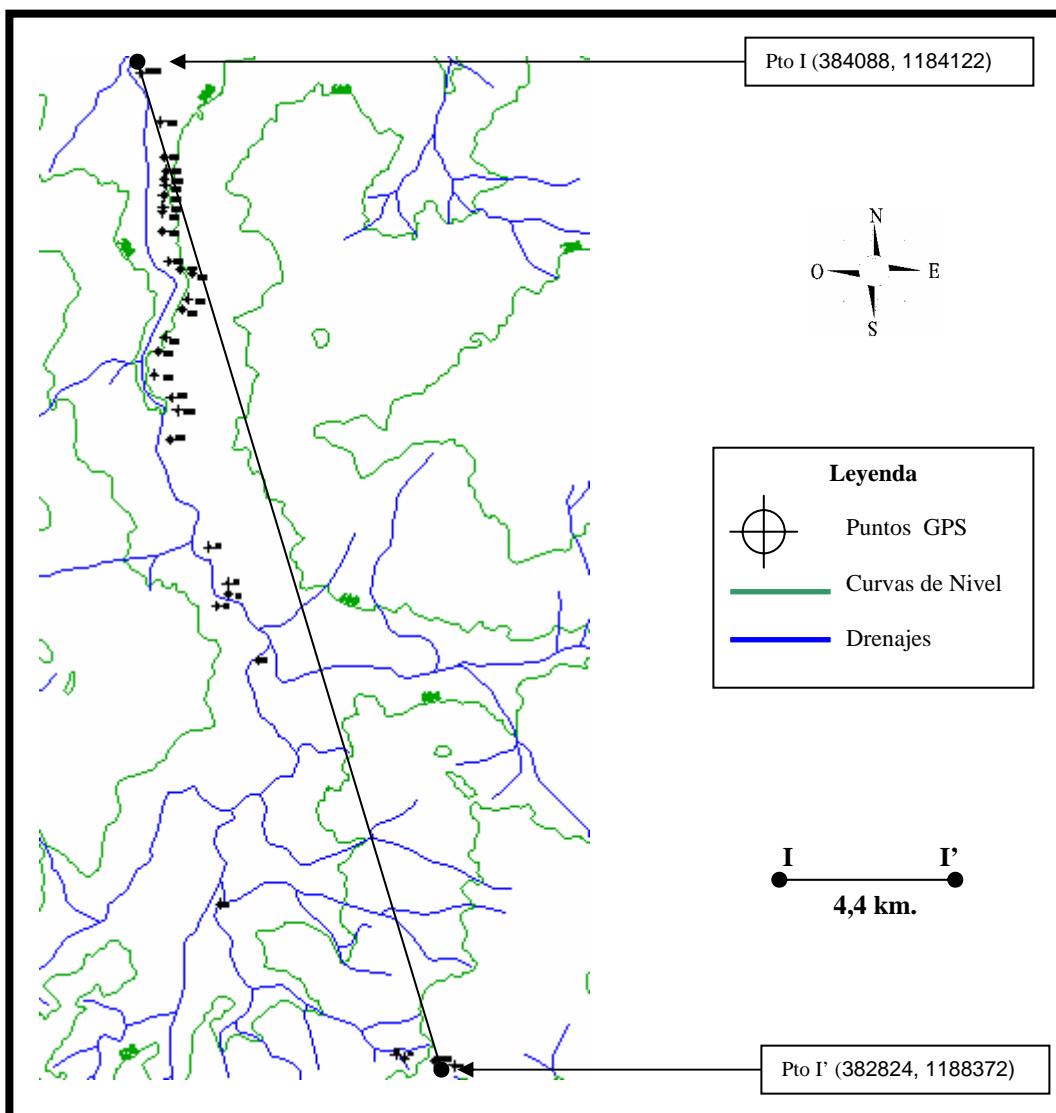


Figura 30.- Mapa de ubicación del Sector I, donde se estudiaron 29 afloramientos.

El sector I se encuentra litológicamente definido por lutitas, areniscas de grano fino y limolitas distribuidas en un total de 29 afloramientos.

La distribución porcentual de los litotipos que componen este sector se especifican de la siguiente manera: 64% de lutitas, 29% de areniscas de grano fino y 7% limolitas.

Las lutitas que se encuentran en los afloramientos de este sector se presentan globalmente de manera individual (véase figura 31) generando espesores de varias decenas de metros. Muchas de estas lutitas presentan embebidas pequeñas cantidades de nódulos elipsoidales de óxido de Fe distribuidos caóticamente. Los colores frescos de las lutitas varían de grises oscuros a negros.



Figura 31.- Fotografía de lutitas laminares grises oscuras. Rumbo de foto N-S

Varios afloramientos exhiben intercalaciones de areniscas - limolitas e intercalaciones de areniscas - lutitas (véase figura 32). Estas secuencias pueden alcanzar espesores máximos aproximados de hasta 100 metros. Pocas capas de areniscas alcanzan espesores individuales cercanos a los 4 metros (véase figura 33). Las areniscas presentan colores fresco que varían de marrones y grises claros hasta los grises oscuros.



Figura 32.- Fotografía de lutitas intercaladas con areniscas de grano fino. Rumbo S55E

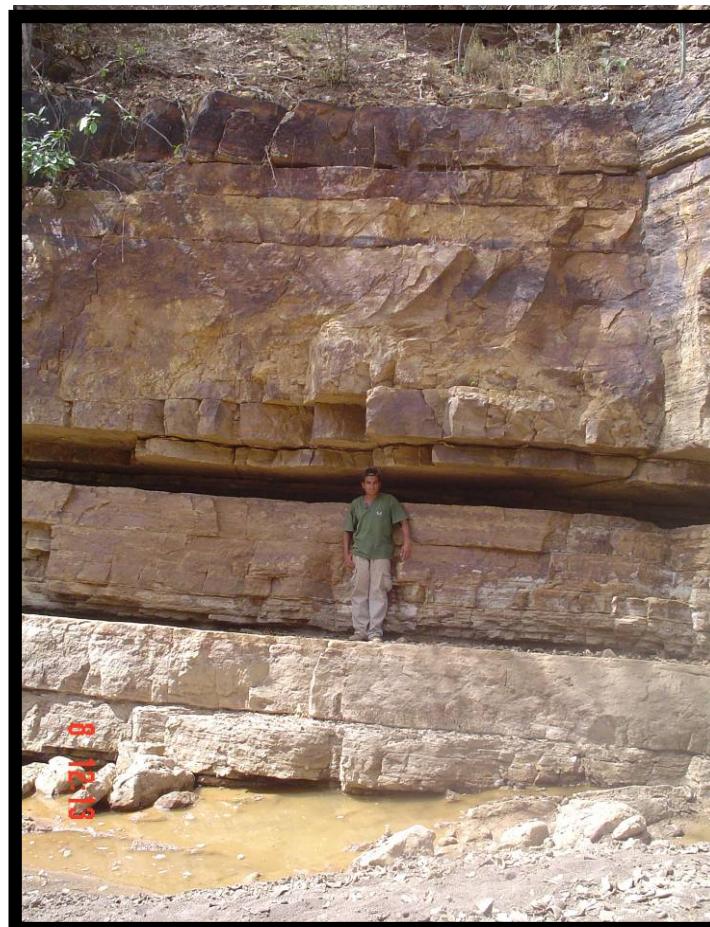


Figura 33.- Fotografía de paquete de areniscas de grandes espesores . Rumbo S55E

3.1.6 Sector J:

Este sector se encuentra ubicado entre la parte media y el Norte de la sección “oeste” (véase figura 34) entre los puntos **J** de coordenadas UTM (384003, 1183851) y **J'** de coordenadas UTM (385093, 1181137), presenta una longitud aproximada de 2,9 km en línea recta. Este sector se encuentra a una elevación promedio entre los 500 y 700 metros sobre el nivel del mar.

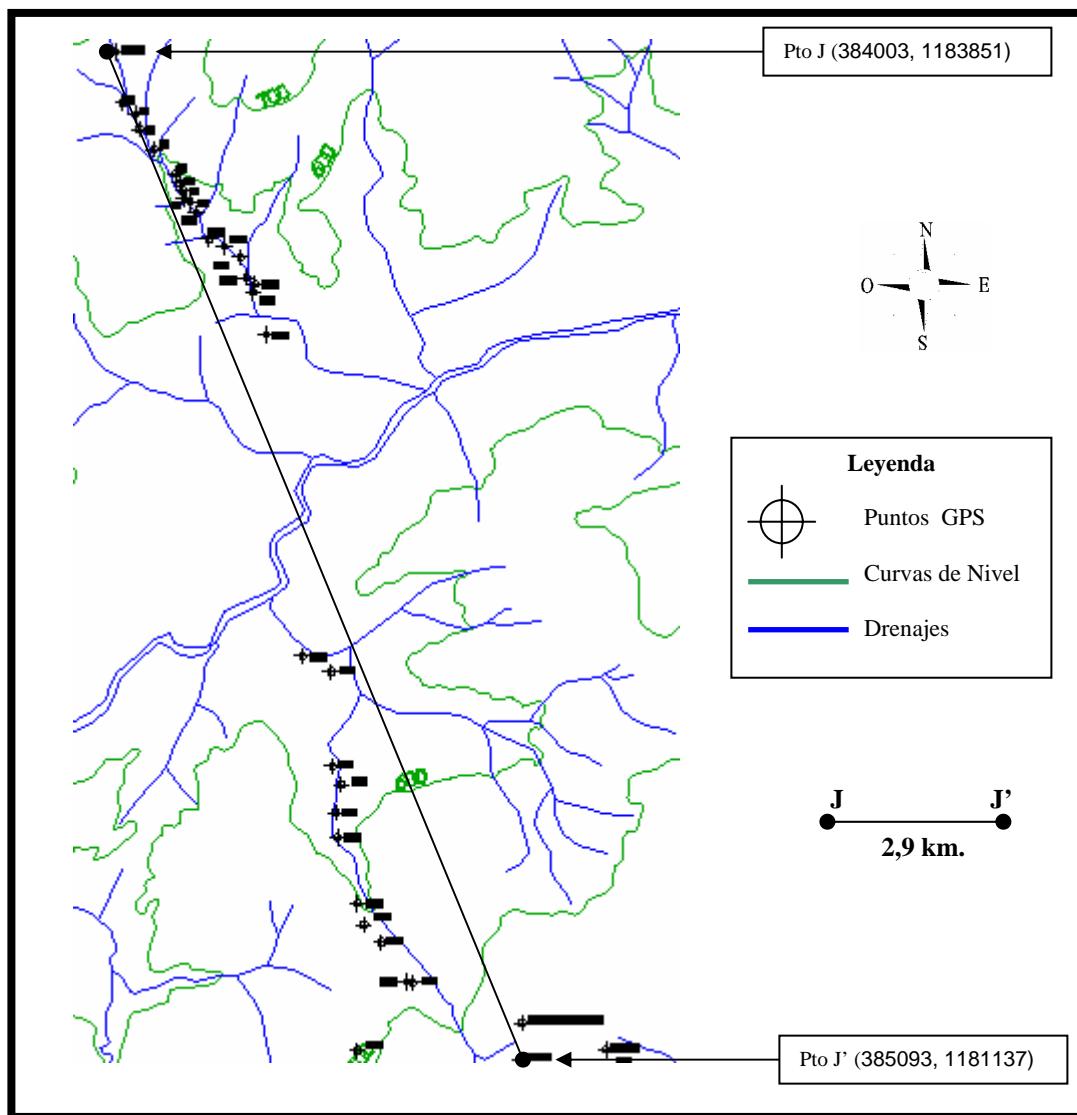


Figura 34.- Mapa de ubicación del Sector J, donde se estudiaron 30 afloramientos.

El punto **J** se encuentra 100 metros al Sur del caserío “La Gloria”, mientras que el punto **J'** se encuentra a 250 m en dirección W-E del punto **K**.

El sector **J** se encuentra litológicamente definido por lutitas, areniscas de grano fino a medio, areniscas calcáreas y limolitas distribuidas en un total de 30 afloramientos.

La distribución porcentual de los litotipos que corresponden a este sector se especifican de la siguiente manera: 79% de lutitas, 18% de areniscas de grano fino a medio, 3% limolitas y menos del 0,1% areniscas calcáreas.

Las areniscas que se encuentran en varios afloramientos de este sector se presentan mayoritariamente intercaladas con lutitas y limolitas generando espesores de pocas decenas de metros. Muchas capas de areniscas contienen nódulos esféricos de óxido de Fe de diferentes dimensiones (véase figura 35). Algunas presentan bioturbaciones en sus bases y diversas estructuras sedimentarias como rizaduras, huellas de carga y estratificaciones tanto paralelas como cruzadas. Los colores frescos de las areniscas varían de marrones claros a grises oscuros; mientras que los colores frescos de las limolitas varían de marrones claros a grises claros.

Algunos afloramientos presentan grandes espesores de lutitas llegando a alcanzar las varias decenas de metros (véase figura 36). Los colores frescos de las lutitas varían e grises oscuros hasta negro.

Varios afloramientos exhiben pocas capas de areniscas calcáreas. Estas areniscas calcáreas presentan un alto contenido fósil, presentando turritellas (ver figura 37) conchas de bivalvos de tipo pectens (ver figura 38) y fragmentos de conchas medianamente a bien preservados. Los colores frescos de las areniscas calcáreas varían de marrones claros a gris oscuro.



Figura 35.- Fotografía de areniscas con nódulos de óxido de Fe . Rumbo de foto N45W

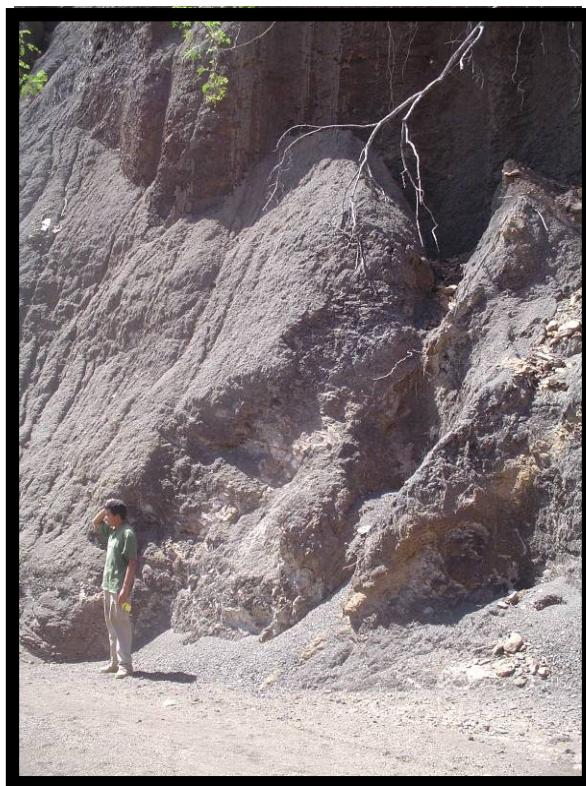


Figura 36.- Fotografía de lutitas . Rumbo de foto S10W



Figura 37.- Fotografía de arenisca calcárea fosilífera con gran cantidad de turritellas.

Rumbo de foto S10W



Figura 38.- Fotografía de arenisca calcárea fosilífera con algunos restos de bivalvos.

Rumbo de foto N40W

3.1.7 Sector K:

Se encuentra ubicado en la parte media de la sección “oeste” (véase figura 39) entre los puntos **K** de coordenadas UTM (385324, 1181165) y **K'** de coordenadas UTM (385763, 1180540), presenta una longitud aproximada de 0,7 km en línea recta, sobre el curso de una pequeña quebrada perpendicular a la Qda Purureche. Este sector se encuentra a una elevación promedio de 650 metros sobre el nivel del mar. La expresión topográfica se puede observar con la figura 40.

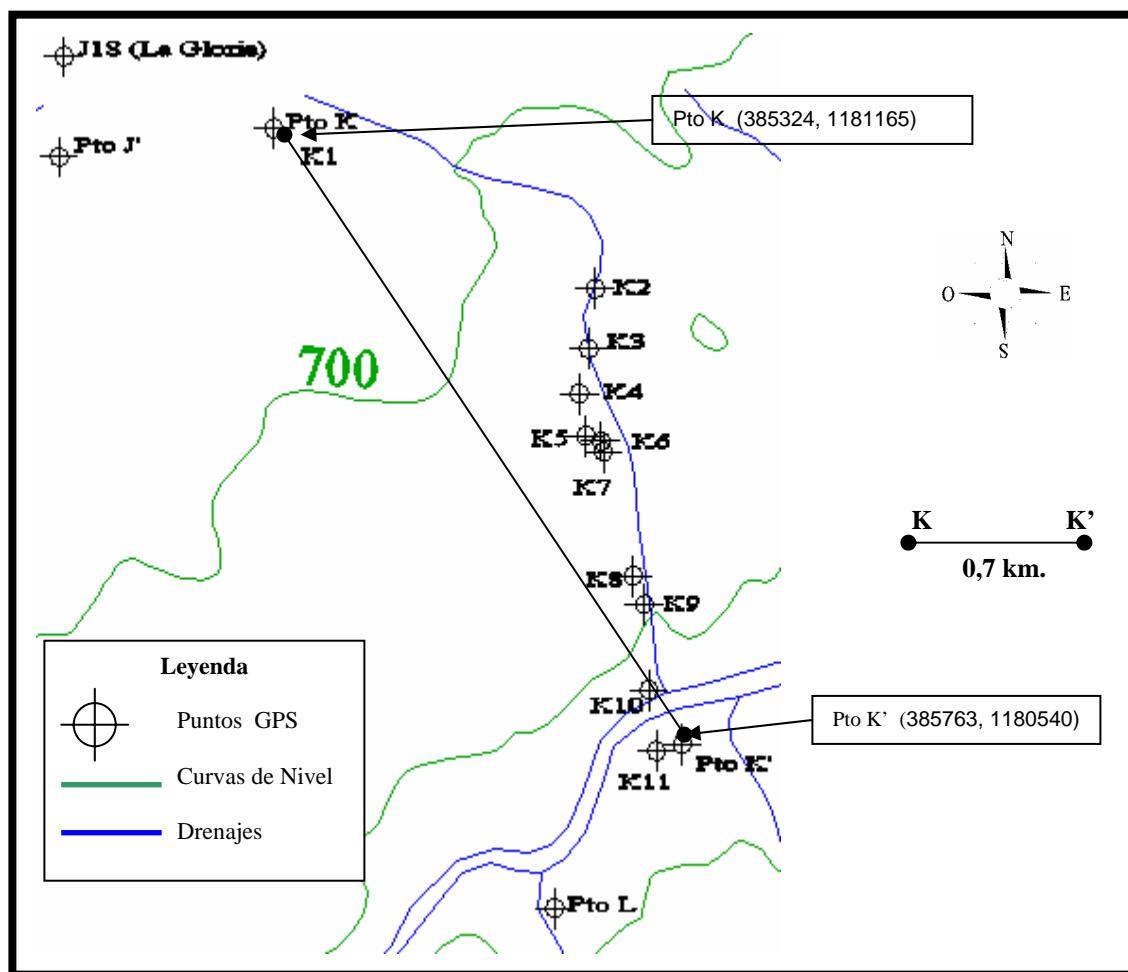


Figura 39.- Mapa de ubicación del Sector K, donde se estudiaron 12 afloramientos.



Fig 40.- Fotografía donde se aprecia la geometría de la quebrada perteneciente al Sector K.

Rumbo de foto S-N

El sector **K** se encuentra litológicamente definido por lutitas, areniscas de grano fino, y limolitas distribuidas en un total de 12 afloramientos.

La distribución porcentual de los litotipos que componen este sector se especifican de la siguiente manera: 75% de lutitas, 20% de areniscas de grano fino incluyendo calcáreas y 5% de limolitas.

Las lutitas casi siempre se encuentran intercaladas con areniscas, presentando dichas intercalaciones espesores que alcanzan las pocas decenas de metros.

Algunas capas de areniscas llegan a tener espesores individuales de 2,5 metros y algunas de ellas son totalmente verticales (ver figura 41). Los colores frescos de las areniscas varían entre marrones claros y grises oscuros. Algunas de ellas poseen nódulos de óxido de hierro de formas de pequeñas dimensiones y rizaduras simétricas en sus topes. Las lutitas poseen colores frescos que varían de grises oscuros a negros.

Las areniscas calcáreas se presentan también intercaladas con lutitas grises oscuras. Las areniscas presentan color fresco grises oscuros y meteorizan a marrón oscuro. El contenido fósil de las mismas es poco variado y se compone casi exclusivamente de conchas de bivalvos bien preservadas.

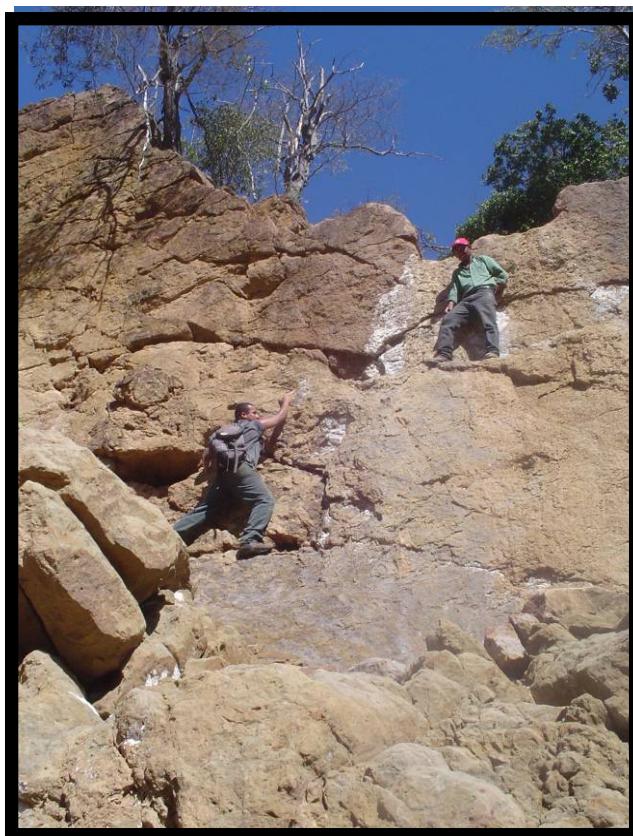


Figura 41.- Fotografía donde se muestra una capa vertical de arenisca en el Sector K.
Rumbo de foto S-N

Las limolitas se presentan en dos afloramientos, y las mismas se encuentran intercaladas con limolitas, tiene nódulos de óxido de hierro, además de contar con la presencia de restos de pectens medianamente conservados. Estas intercalaciones alcanzan espesores máximos de 10 metros. Marrón claro con tonalidades oscuras eran los colores frescos que exhibían las limolitas.

3.1.8 Sector L:

Se encuentra ubicado entre la parte media y Sur de la sección “oeste” (véase figura 42), entre los puntos **L** de coordenadas UTM (385627, 1180372) y **L'** de coordenadas UTM (386087, 1178855), presenta una longitud aproximada de 1,5 Km. El punto **L**, se encuentra a 250 metros de distancia del punto **K'**. Este sector se encuentra a una elevación promedio que varía entre los 700 y 1000 metros sobre el nivel del mar.

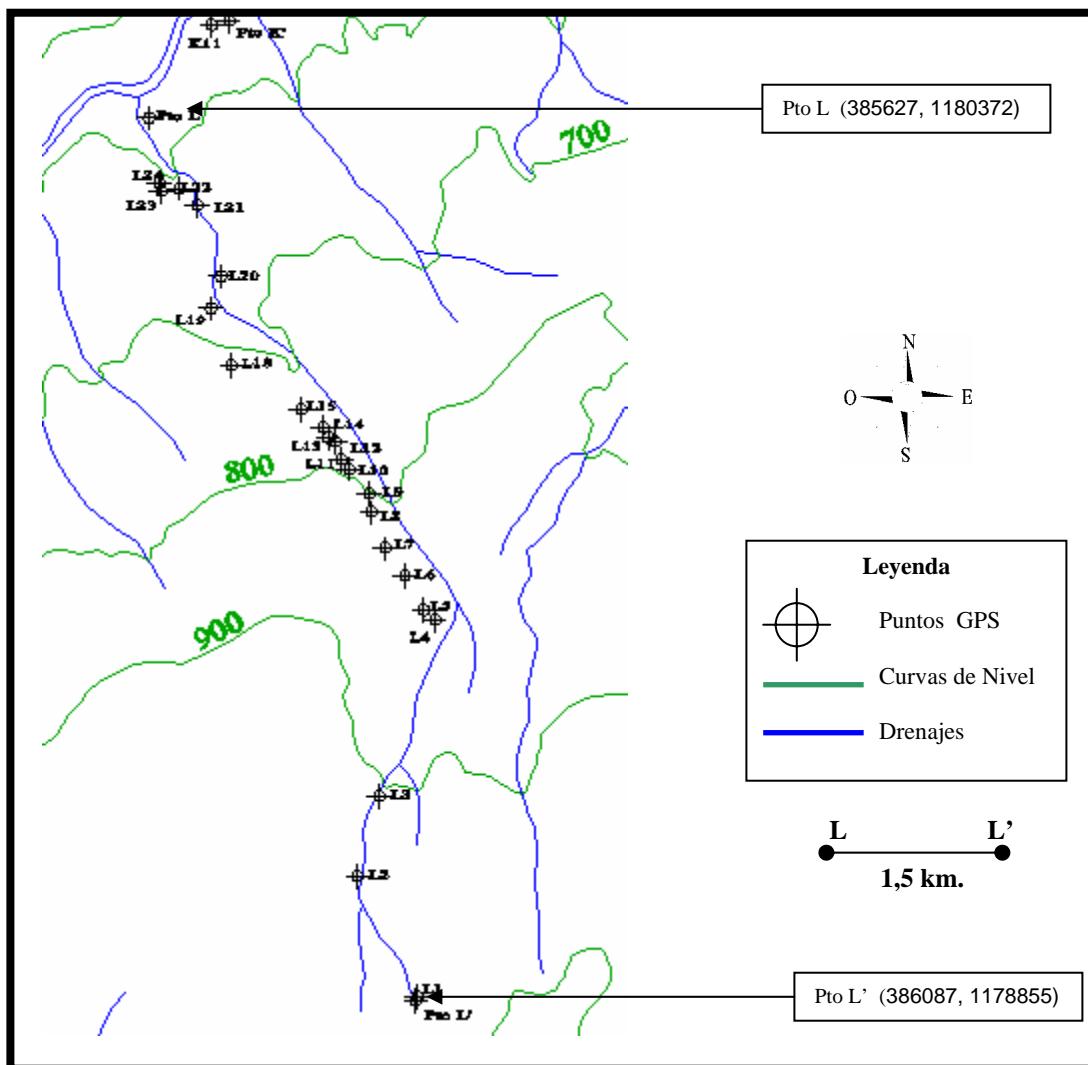


Figura 42.- Mapa de ubicación del Sector L, donde se estudiaron 25 afloramientos.

El sector L se encuentra litológicamente definido por lutitas, areniscas de grano fino, areniscas calcáreas y limolitas distribuidas en un total de 25 afloramientos a lo largo de sector.

La distribución porcentual de los litotipos que componen este sector se especifican de la siguiente manera: 48% de lutitas, 23% de areniscas de grano fino, 1% de areniscas calcáreas, 27% de limolitas y 1% de calizas.

Las lutitas se presentan en ciertos afloramientos de manera individual llegando a obtener espesores aproximados de 100 metros. En otros afloramientos, las lutitas se encuentran intercaladas con areniscas de grano fino (ver figuras 43 y 44), estas otras intercalaciones pueden llegar a alcanzar espesores aproximados de 90 metros. Las lutitas presentan colores frescos que varían de grises oscuros a negro.

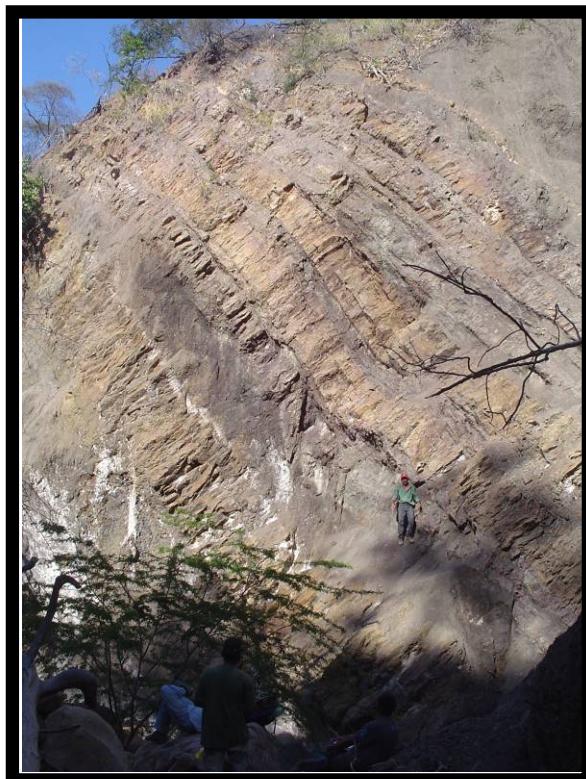


Figura 43.- Fotografía donde se muestra una intercalación de areniscas y lutitas.

Rumbo de foto N40E



Figura 44.- Fotografía panorámica donde se muestra la intercalación de areniscas y lutitas. Esta foto fue tomada durante el ascenso del sector L. Rumbo de foto N40W

Las limolitas se encuentran en todos los afloramientos intercaladas con areniscas de grano fino, estas intercalaciones pueden alcanzar espesores máximos de 150 metros. Los colores frescos de las areniscas varían entre los marrones claros a grises oscuros; mientras que las limolitas presentan colores frescos marrones claros y grises claros .

En dos afloramientos se aprecian delgadas capas de areniscas calcáreas fosilíferas, las cuales en sus bases se encuentran en contacto abrupto con un grupo de lutitas negras. Las areniscas calcáreas presentan espesores individuales que alcanzan los 40 cm. Los colores frescos de estas areniscas son grises oscuros. Presentan algunos nódulos de óxido de Fe, y el contenido fósil está representado por moldes de conchas de bivalvos y moldes de turritellas (ver figura 45). En las bases también es posible observar bioturbaciones.

Dos capas de caliza afloran individualmente en diferentes puntos de este sector, las mismas tiene un espesor de 45 cm. Poseen un alto contenido fósil representando por restos bien preservadas de Bivalvos del tipo Pectens (véase figura 46) además de contener pequeños nódulos de óxido de Fe. Estas calizas presentan color fresco gris claro.



Figura 45.- Fotografía donde se muestra una arenisca calcárea con moldes fósiles de turritelas.

Rumbo de foto S8E



Fig 46.- Fotografía donde se muestra una caliza fosilífera con restos bien preservados de bivalvos tipo pectens. Rumbo de foto S8E

3.1.9 Sector M:

Este sector se encuentra ubicado en la parte Sur de la sección “oeste” (véase figura 46) entre los puntos **M** de coordenadas UTM (386633, 1178318) y **M'** de coordenadas UTM (388376, 1171805), presenta una longitud aproximada de 6,7 km en línea recta. Está separado del punto L' por una zona de aproximadamente 800 metros. Este sector se encuentra a una elevación promedio que varía entre los 700 y 1000 metros sobre el nivel del mar (ver figura 47).

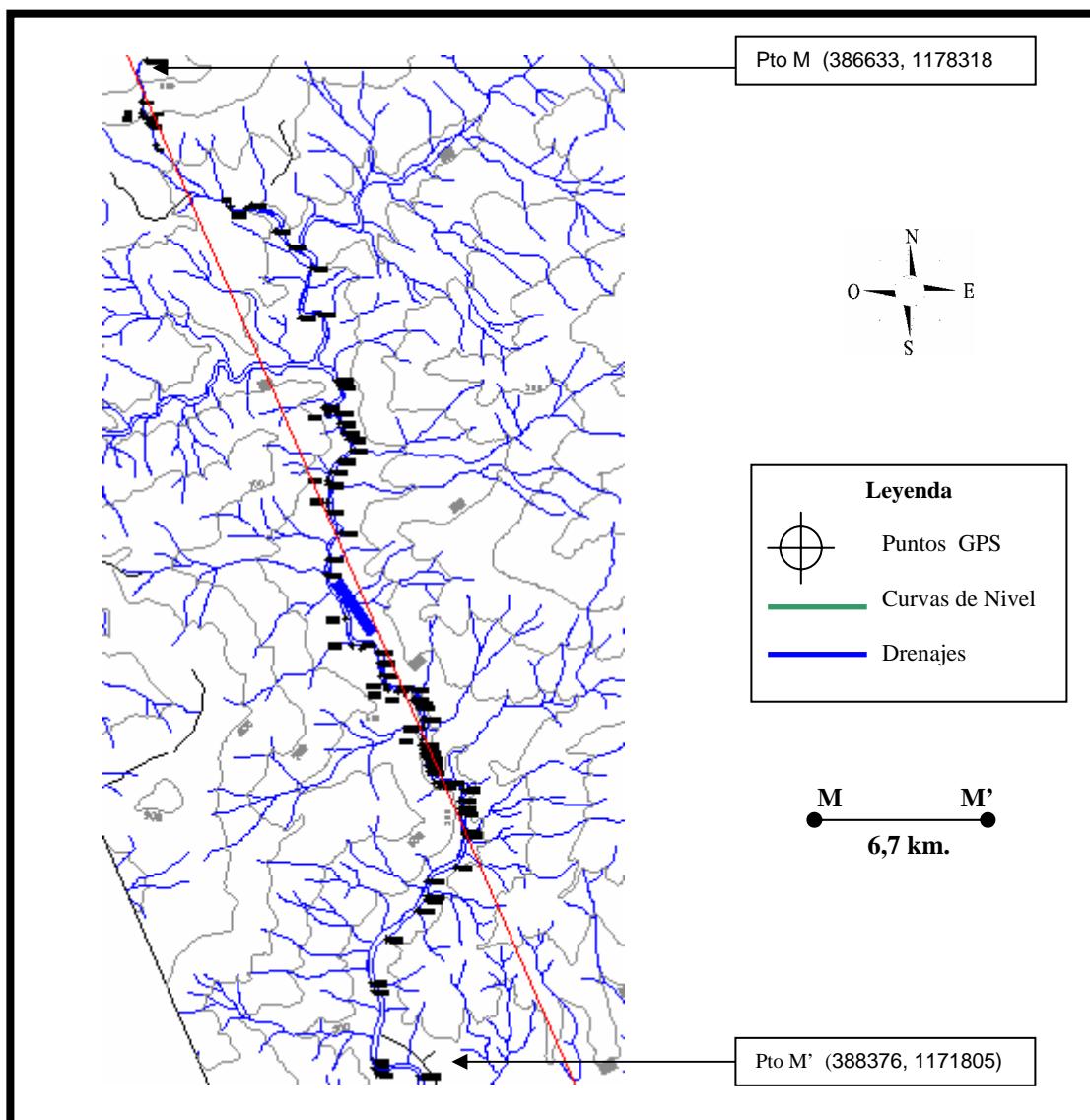


Figura 46.- Mapa de ubicación del Sector M, donde se estudiaron 74 afloramientos.



Figura 47.- Fotografía panorámica donde se muestra la extensión del sector M.
Rumbo de foto N-S

El sector M se encuentra litológicamente definido por lutitas, areniscas de grano fino a medio, areniscas de grano grueso, areniscas calcáreas, limolitas y conglomerados distribuidas en un total de 74 afloramientos a lo largo de sector.

La distribución porcentual de los litotipos que componen este sector se especifican de la siguiente manera: 37% de lutitas, 35% de areniscas de grano fino a medio, 2% de areniscas de grano grueso, 2% de areniscas calcáreas, 22% de limolitas y 2% de conglomerados.

Las lutitas generalmente se encuentran intercaladas con areniscas de grano fino (ver figura 48). Estas intercalaciones llegan a tener espesores de hasta 140 metros. Algunas lutitas y areniscas contienen pequeños nódulos esféricos de óxido de Fe (ver figura 49). Los colores frescos de las mismas varían de grises claros a negros. Las areniscas de estas intercalaciones pueden tener espesores individuales de hasta 1 metro. Los colores frescos de las areniscas varían entre marrones claros y grises oscuros. Algunas de ellas presentan huellas fósiles de bivalvos, bioturbaciones hacia sus bases y diversas estructuras sedimentarias que van desde rizaduras en los topes (ver figura 50) hasta estratificaciones cruzadas y laminares.



Figura 48.- Fotografía que muestra una intercalación de areniscas y lutitas
Rumbo de foto S-N



Fig. 49.- Fotografía que muestra una areniscas con algunos nódulos de óxido de Fe
Rumbo de foto N40W



Figura 50.- Fotografía que muestra una areniscas con rizaduras simétricas sobre su tope.

Rumbo N30W

Las limolitas se presentan en pocos afloramientos intercaladas con areniscas de grano fino (ver figura 51) semejantes a las intercaladas con las lutitas, llegando estas intercalaciones a tener hasta 120 metros de espesor. Algunos capas de limolitas tiene nódulos de óxido de Fe de formas esféricas de variadas dimensiones.



Fig. 51.- Fotografía que muestra un grupo de limolitas. Rumbo de foto N40W

Es posible observar también pequeñas secuencias de heterolitas en algunos afloramientos, estas heterolitas no alcanzan el metro de espesor y están constituidas por areniscas de grano fino y limolitas (véase figura 52).

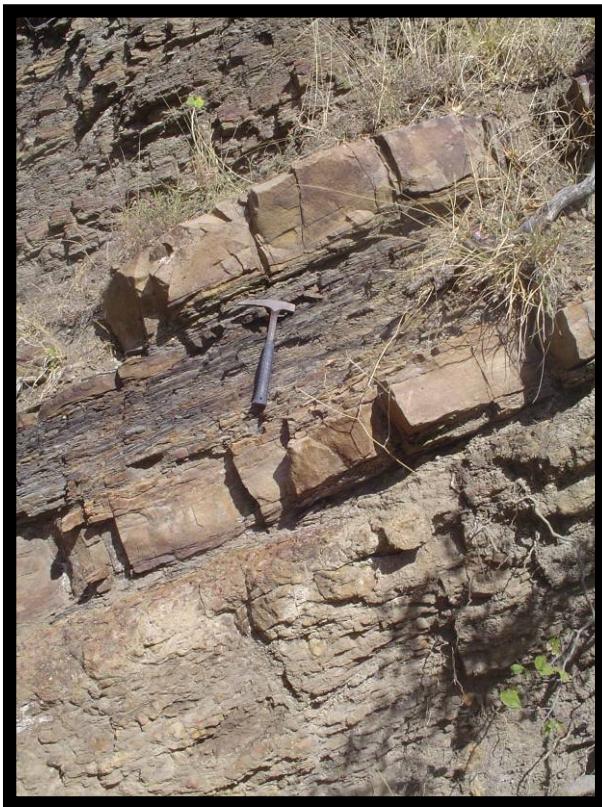


Figura 52.- Fotografía que muestra un paquete de heterolitas. Rumbo de foto N50W

Las pocas areniscas calcáreas presentes en los distintos afloramientos se encuentran dentro de intercalaciones de lutitas y areniscas de grano fino. Poseen pequeñas restos fósiles de bivalvos, además de algunos nódulos de óxido de Fe. Llegan a tener espesores individuales de hasta 2 metros, y presentan colores frescos marrones oscuros.

Los conglomerados y areniscas de grano grueso se presentan en pocos afloramientos, comúnmente dentro de intercalaciones de arenas lutitas o intercalaciones de arenas limolitas. Llegan a obtener espesores importantes de

hasta 2 metros. Las areniscas de grano grueso son generalmente cuarzosas, mientras que los conglomerados son líticos y de grano tamaño guijarro (véase figura 53).



Figura 53.- Fotografía que muestra un conglomerado compuesto por gravas
Rumbo de foto N65E

3.2 DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN DE UNIDADES LITOLÓGICAS

Con los datos obtenidos en cada uno de los sectores fue posible elaborar dos columnas estratigráficas generalizadas en ambos transectos. La columna “este” elaborada a partir de los sectores **A, B, C** y **D** y la columna “oeste” elaborada a partir de los sectores **I, J, K, L** y **M**, para posteriormente realizar la definición de las unidades litológicas de manera detallada. Los espesores totales de las columnas “este” y “oeste” son de 1480 y 1493 metros respectivamente.

En la columna “este” se haya la siguiente distribución porcentual de litologías: 74% de lutitas negras laminadas, masivas y compactas, un 11% de areniscas de grano fino, un 8% de calizas, 3% de areniscas calcáreas, 3% de limolitas y menos del 1% para los conglomerados.

En la columna “oeste” se haya la siguiente distribución porcentual de litologías: 56% de lutitas negras laminadas, masivas y carbonosas un 23% de areniscas de grano fino, un 16% de limolitas, 2% de areniscas gruesas, 1% de areniscas calcáreas y menos del 1% para los conglomerados, areniscas de grano medio y calizas.

Observando la distribución de los tipos litológicos que se encuentran definidos en las columnas generalizadas que representan a la zona de estudio , su disposición, la relación existente entre estos, las características propias de cada uno, se realizó la división definiendo en seis unidades litológicas informales para ambas columnas.

3.2.1 Unidad Litológica N°1 (UL1)

Unidad compuesta exclusivamente por la alternancia sucesiva y rítmica de lutitas laminadas y areniscas de grano fino, siendo la litología dominante las lutitas en casi toda la unidad y estando ambas unidad en contacto abrupto (véase figura 54)



Figura 54.- Fotografía que muestra la intercalación de lutitas y areniscas de grano fino
Rumbo de foto N50E

Se aprecian sobre la columna ‘este’ cuatro secuencias que representan a esta unidad. Una cercana a la parte superior, dos en la parte inferior a media, y la última ubicada en la base,

Los diferentes segmentos tienen espesores aproximados que van desde los 30 metros, hasta los 148 metros teniendo la siguiente distribución de los diferentes litotipos presentes: 70% de lutitas y un 30% de areniscas líticas y calcáreas.

En la columna “oeste” se encuentran 6 segmentos. Uno en la base , dos cercanos a la parte media, dos entre la parte media a superior y el último en la parte superior de la columna.

Los diferentes segmentos tienen espesores aproximados que van desde los 32 metros, hasta los 135 metros teniendo la siguiente distribución de los diferentes litotipos presentes: 70% de lutitas y un 30% de areniscas líticas y calcáreas.

En la columna ‘este’ las lutitas se presentan de forma masiva y compactas, presentan un color fresco gris oscuro a negro y meteorizan a gris claro. Los espesores de las lutitas son variados, en algunos casos entre los 5 y 30 centímetros, llegando a alcanzar espesores cercanos a los 8 metros. Estas lutitas presentan pequeñas cantidades de nódulos elipsoidales y esféricos de óxido de Fe de diversos tamaños, los cuales llegan a tener hasta 5 cm. de radio.

En la columna ‘oeste’ las lutitas se presentan de forma masiva y compacta, presentan un color fresco gris oscuro a negro y meteorizan a gris claro. Los espesores de las lutitas son variados, en algunos casos de 4 a 10 centímetros y llegando a alcanzar espesores cercanos a los 5 metros. En estas lutitas se pueden observar gran cantidad de nódulos elipsoidales y esféricos de óxido de Fe de diversos tamaños, además, se observaron vetas de calcita.

Las areniscas que afloran en esta unidad presentan colores frescos que van de grises claros a grises oscuros; los colores meteorizados varían de marrón claro a marrón oscuro en ciertos casos con tonalidades negras, son de grano fino . Los espesores varían entre los 5 y 90 centímetros, presentan nódulos elipsoidales de óxido de Fe.

3.2.2 Unidad litológica N° 2 (UL2)

Está unidad está compuesta exclusivamente por lutitas laminadas y compactas (véase figura 55).

Se encuentra ubicada en 2 segmentos de la columna “este”; una cercana al tope y la otra cercana a la base. Los diferentes segmentos tienen espesores aproximados de 200 metros y 172 metros respectivamente.



Figura 55.- Fotografía que muestra un afloramiento de lutitas laminares y compactas
Rumbo de foto N50E

En la misma unidad se observan tres segmentos de la columna “oeste”. Un segmento cercano a la base, uno entre la base y parte media y el último en la zona media. Los diferentes segmentos tienen espesores aproximados de 180 metros, 36 metros y 152 metros respectivamente.

Las lutitas se presentan de forma laminares, compactas, presentan color fresco que varía de gris oscuro a negro y meteorizan a grises claros y grises oscuros.

Algunas capas presentan una importante cantidad de nódulos elipsoidales y esféricos de óxido de Fe. El diámetro de dichos nódulos varía de 2 a 20 centímetros. Además, se observan láminas de yeso, vetas de cuarzo, algunas bioturbaciones sin diferenciar y hacia el tope de algunas capas de lutitas una serie de pequeñas vetas de calcita

.

3.2.3 Unidad Litológica N° 3 (UL3)

Está unidad está compuesta por la alternancia de lutitas, calizas y areniscas de grano fino. En la columna ‘este’ se observan cuatro secuencias de esta unidad, una en el tope, una en la parte media y dos cercanas a la parte inferior.

Los espesores totales de estas unidades varían entre los 54 metros hasta los 134 metros teniendo la siguiente distribución de los diferentes litotipos presentes: 70% de lutitas, 20% de calizas y un 10% de areniscas.

Las lutitas se presentan de forma laminar, masivas y compactas, presentan un color fresco que varia de gris oscuro a marrón oscuro y meteorizan marrón claro. Los espesores individuales de las lutitas varían entre los 2 metros llegando a alcanzar espesores cercanos a los 30 metros.

Las calizas que afloran en esta unidad presentan colores frescos que van de grises claros a grises oscuros; los colores meteorizados varían de grises claros a marrón oscuro. Los espesores varían entre los 20 centímetros hasta los 2 metros. Algunas calizas presentan un importante contenido de restos fósiles medianamente bien preservadas de turritellas, bivalvos del tipo pectens y fragmentos de conchas sin diferenciar.

Las pocas capas de areniscas que se presentan son de grano fino, y se encuentran dentro de grandes espesores de lutitas. Estas capas tienen color fresco marrón claro y meteorizan a marrón oscuro. En cuanto a sus espesores, los mismos varían entre los 5 y 10 centímetros. Algunas contiene pequeños nódulos esféricos de óxido de Fe.

3.2.4 Unidad litológica N° 4 (UL4)

Está unidad esta compuesta por la asociación de lutitas, limolitas, areniscas de grano fino, medio y grueso, incluyendo aquellas calcáreas, calizas y heterolitas, en contacto abrupto o transicional.

Esta unidad se encuentra en dos segmentos en la columna ‘este’ cercanos a la parte media de la columna, con un espesor total aproximado de 134 y 150 metros, teniendo la siguiente distribución de los diferentes litotipos presentes: 45% de lutitas, 30% de las areniscas, 10% de calizas, 10% de heterolitas y 5% de limolitas.

Las lutitas se presentan de formas laminares y masivas, presentan color fresco que varia de gris oscuro a negro y meteorizan a grises oscuras. Los espesores de las lutitas varían entre los 2 metros hasta los 20 metros. Es posible observar una pequeña cantidad de nódulos elipsoidales de óxido de Fe.

Las limolitas son laminares, presentan color fresco gris oscuro y meteorizan a grises claras. Los espesores varían entre los 10 cm. hasta 40 cm.

En la columna ‘oeste’ esta unidad se encuentra dividida en siete segmentos distribuyéndose en la columna de la siguiente manera: dos entre la parte inferior y media de la columna, dos en la parte media de la columna, dos en la parte superior de la columna y el último en el tope de la columna. El contacto litológico que se presenta en esta unidad es de tipo abrupto.

Los diferentes segmentos tienen espesores aproximados que varían entre los 11 hasta los 80 metros teniendo la siguiente distribución de los diferentes litotipos presentes: 40% de lutitas, 35% de las areniscas, 10% de calizas, 10% de heterolitas y 5% de limolitas.

Las lutitas se presentan de forma laminar y masiva, presentan color fresco que varía de gris oscuro a negro y meteorizan a gris oscuro. Los espesores de las lutitas varían entre los 2 metros hasta los 20 metros.

Las limolitas son laminares, presentan color fresco gris oscuro y meteorizan a grises claras. Los espesores varían entre los 10 cm hasta 2 metros.

Las areniscas que afloran en esta unidad presentan colores frescos que varían de grises claros a grises oscuros y color meteorizado que varía de marrón claro a marrón oscuro, presentando en ciertos casos tonalidades negras y rojizas. Las distintas areniscas presentan tamaño de grano que varia de fino a grueso. Las areniscas gruesas presentan gradación granocreciente Los espesores varían entre los 25 cm, hasta los 4 metros .

La mayoría de las areniscas presentes en la columna ‘oeste’ incluyendo las calcáreas presentan hacia sus bases huellas de carga y en sus topes rizaduras

simétricas. Algunas presentan estratificación cruzada y laminar. Exhiben nódulos elipsoidales de óxido de Fe los cuales llegan a alcanzar los 10 centímetros de radio; bioturbaciones del tipo “Ophiomorpha” y algunas sin diferenciar, conchas y fragmentos fósiles de bivalvos de tipo Pectens y turritellas. Algunas areniscas calcáreas presentan pequeños lentes de areniscas de grano muy fino.

Las calizas presentan color fresco que varía de gris claro a blanco y color meteorizado que varía de marrón claro a gris claro con tonalidades anaranjadas. Estas capas poseen espesores individuales que varían de los pocos centímetros hasta 1,5 metros. Pocas capas poseen bioturbaciones sin diferenciar.

Las calizas fosilíferas presentan color fresco que varía de gris claro a blanco y color meteorizado que varía de marrón claro a gris claro. Estas capas poseen espesores individuales que varían de los pocos centímetros hasta 1,5 metros. El contenido fósil está constituido por fragmentos y moldes de bivalvos de tipo Pectens, turritellas y fragmentos de conchas sin diferenciar. Algunas capas poseen bioturbaciones.

Las heterolitas se presentan en secuencias de hasta 2 metros de espesor; las areniscas que componen a las mismas son de grano fino, presentan color fresco gris oscuro y color fresco que varía entre el marrón oscuro y gris claro.

3.2.5 Unidad litológica N° 5 (UL5)

La asociación se compone de lutitas, limolitas (algunas fosilíferas), calizas, areniscas de grano fino y conglomerados.

En la columna ‘este’ se observan dos secuencias, una en la parte media a superior de la columna y la otra en el tope de la misma, cuyos espesores son 45 m y 6 m respectivamente teniendo la siguiente distribución de los diferentes litotipos

presentes: 45% de limolitas, 35% calizas, 15% de areniscas de grano fino y 5% de conglomerado.

En la columna ‘oeste’ hay dos segmentos; uno entre la parte media e inferior de la columna y la otra entre la zona media y parte superior. Estos segmentos tienen espesores aproximados que varían entre los 20 hasta los 30 metros teniendo la siguiente distribución de los diferentes litotipos presentes: 30% de lutitas, 30% de areniscas líticas y calcáreas, 10% de conglomerados y 30% de limolitas.

Las limolitas se presentan de forma laminares y compactas, presentan un color fresco gris oscuro y meteorizan a gris claro. Los espesores de las limolitas son variados, llegando a alcanzar espesores cercanos a los 2,5 metros. Presentan gran cantidad de nódulos elipsoidales y esféricos de óxido de Fe, distribuidos homogéneamente en las capas. Las limolitas fosilíferas poseen una gran cantidad de fragmentos fósiles sin diferenciar, restos y moldes de bivalvos tipo Pecten mal preservadas.

Las calizas que afloran en esta unidad presentan colores frescos que van de grises claros a blancos; los colores meteorizados varían de marrón claro a gris oscuro con algunas tonalidades anaranjadas. Los espesores varían entre los 30 centímetros y 4 metros

Las areniscas que afloran en la columna presentan colores frescos grises oscuros y color meteorizado marrón claro en ciertos casos con tonalidades negras y son de grano fino. Los espesores varían entre los 25 centímetros hasta los 2 metros, Las areniscas de la columna ‘oeste’ en muchos casos presentan en sus bases huellas de carga, en sus topes se observan rizaduras simétricas y estratificación cruzada. Presentan nódulos elipsoidales de óxido de Fe, bioturbaciones sin diferenciar y conchas y fragmentos fósiles de bivalvos del tipo Pectens.

Las lutitas se presentan de forma laminar, presentan color fresco negro y meteorizan a grises oscuras. Los espesores de las lutitas varían entre los 20 cm. hasta los 4 metros.

Los conglomerados presentan colores frescos grises oscuros y color meteorizado gris claro en ciertos casos con tonalidades rojizas . El tamaño promedio de estos conglomerados es el de gránulos, los espesores varían entre 1 metro hasta los 2 metros.

El contacto litológico que se presenta en esta unidad es de tipo abrupto, no se aprecia un cambio transicional del tamaño de grano entre las litologías antes descritas.

3.2.6 Unidad Litológica N° 6 (UL6)

Está unidad está compuesta por la alternancia rítmica de limolitas - areniscas de grano fino, lutitas carbonosas – areniscas de grano fino, siendo las litologías dominantes las limolitas.

Esta unidad está dividida en la columna “oeste” en cinco secuencias, una cercana a la parte media de la columna, tres en la parte media y superior y la última se encuentra cercana al tope.

Los espesores totales de estas unidades varían entre los 12 metros hasta los 180 metros teniendo la siguiente distribución de los diferentes litotipos presentes: 40% de limolitas, 40% de areniscas y un 20% de lutitas carbonosas.

Las limolitas se presentan de forma laminar, masivas y compactas, presentan un color fresco que varía de gris oscuro a marrón oscuro y meteorizan marrón claro.

Los espesores individuales de las limolitas varían entre los 10 cm. llegando a alcanzar espesores cercanos a los 10 metros.

En estas limolitas se pueden observar gran cantidad de nódulos elipsoidales y esféricos de óxido de Fe de diversos tamaños.

Las lutitas se presentan de formas laminationes y compactas, presentan color fresco que varía de gris oscuro a negro y meteorizan a grises oscuras y negras. Los espesores de las lutitas varían entre 1 metro hasta los 5 metros. Estas lutitas se caracterizan por poseer gran cantidad de laminas de carbón y lentes carbonosos, así como una importante presencia jarosítica.

Las areniscas que afloran en esta unidad presentan colores frescos que van de grises claros a grises oscuros; los colores meteorizados varían de marrón claro a marrón oscuro en ciertos casos con tonalidades negras, son de grano fino. Los espesores varían entre los 5 cm. hasta los 2 metros, presentan nódulos elipsoidales de óxido de Fe, rizaduras simétricas, huellas de carga y estratificación cruzada. Las bioturbaciones sin diferenciar son evidentes en algunas de estas capas.

El contacto litológico en las intercalaciones areniscas – lutitas carbonosas es del tipo abrupto, mientras que en la intercalación areniscas – limolitas es del tipo transicional.

3.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL LOCAL

La geología estructural local del área de estudio sólo se referirá al modelo estructural general, atendiendo exclusivamente a la geometría de las litologías aflorantes, como se encuentran dada su orientación geológica y buzamientos, su relación con la topografía.

La región central de la cuenca de Falcón se caracteriza por una serie de largos pliegues con rumbo aproximado de N70E, que constituyen lo que se ha denominado como el anticlinorio de Falcón (Díaz de Gamero, 1977).

La zona de estudio se encuentra intensamente deformada, presentando un conjunto de anticlinales y sinclinales (ver figuras 56 y 57) que se aprecian a lo largo de ambos transectos los cuales han sido dislocados en la región por fallas de tipo transcurrentes.



Figura 56.- Fotografía que muestra un anticlinal conformado por lutitas y areniscas
Rumbo de foto S60W



Fig. 57.- Fotografía que muestra tomada al sur del transecto “oeste” donde se aprecia una serie de pliegues. Rumbo de foto S10W

En ambos transectos la mayoría de las secuencias estratigráficas se encuentran deformadas como series de anticlinales y sinclinales donde sus ejes se encuentran orientados en direcciones que oscilan entre los N50E y los N75E. Muchos de estos pliegues se encuentran muy fracturados y en algunos casos es posible observar planos de fallas que definen los movimientos normal e inverso.

Los principales pliegues se encuentran representados en aquellos tipos litológicos caracterizados por un alto porcentaje de material fino y endeble, como son las lutitas y las limolitas de las diferentes unidades litológicas; ya que presentan menor resistencia a los efectos tectónicos que prevalecieron en la zona, trayendo como consecuencia la formación de estructuras de gran envergadura

Muchas de las areniscas observadas en los diferentes afloramientos presentan un importante grado de diaclasamiento, observándose en algunos casos plegadas y hasta falladas. Los pliegues formados por las areniscas antes mencionadas son

considerados pliegues parásitos (ver figura 58) que forman parte de las grandes estructuras anticlinales de los diferentes transectos



Fig. 58.- Fotografía que muestra tomada al Norte del transecto “este” donde se aprecia una serie de pliegues parásitos. Rumbo de foto E-W

La mayoría las capas que definen la estratificación tienen orientación preferencial de rumbo N60E a N80E, mientras que la minoría se encuentran concentrados en una dirección semejante (NE-SW). La magnitud de los buzamientos es muy variada, sin embargo, el 19% de los datos se encuentran en los intervalos comprendidos entre 30°–40° y 50°–60°. También se encuentra una gran población de datos entre 50°–60°, verticales a subverticales y horizontales a subhorizontales. (Berroterán y Ziritt, 2004).

Las diaclasas en su mayoría son consecuencia del fallamiento (ver figura 59) del área de estudio, lo cual se evidencia por cierto paralelismo entre la orientación de los sistemas de diaclasas y las orientaciones de algunas de fallas. Ocurren con mayor frecuencia en las rocas más competentes como las calizas y areniscas.

La orientación preferencial de las diaclasas es N20W a N40W. Los buzamientos de las diaclasas son mayormente de verticales a subverticales, estando el 29% entre 80° y 90°, el 23% entre 80° y 70°, mientras que el resto presenta buzamientos variados entre 0° y 70° (Berroteran y Ziritt, 2004).



Figura 59.- Fotografía que muestra una serie de diaclasas. Rumbo de la foto S45E

Existen cuatro orientaciones principales para las fallas, 20% en donde el rumbo predominante es N20-40W, 16% donde es N0-20W y N60-80W y por ultimo se observa una población variada de fallas que representa el 40% de la muestra y esta orientada NE-SW con su máximo entre N50-80E. Los buzamientos de todas estas fallas son variados sin embargo predomina la inclinación vertical. (Berroteran y Ziritt, 2004)



Figura 60.- Fotografía que muestra una falla normal. (Tomado de Berroteran & Ziritt 2004). Rumbo de la foto N60W

La magnitud del buzamiento para todos los tipos de fallas va desde 90° a 50°. Para las fallas inversas 70°-80°, fallas normales (ver figura 60) 70°-90° y 50°-60°, fallas transcurrentes dextrales 60°-70° y 80°-90° y las fallas transcurrentes sinestrales 80°-90° (Berroterán y Ziritt, 2004).

En resumen, los rasgos estructurales reinantes en la zona de estudio podrían estar asociados a los patrones estructurales mas jóvenes existentes en el área, los cuales son fallas de tipo gravitacional que cortan casi perpendicularmente las estructuras más antiguas y que pueden ser explicadas como fallas de ajuste en respuesta a los esfuerzos de extensión y compresión a que fue sometida la cuenca de Falcón en su última etapa de evolución.

4. LITOFACIES

4.1 GENERALIDADES

La facies se refiere a un cuerpo de roca caracterizado por una particularidad litológica, estructuras sedimentarias y contenido biológico que denotan un aspecto diferente del cuerpo de roca infrayacente, suprayacente o del que se encuentra lateralmente equivalente (Miall, 1990, citado en Leal & Rivero 2004).

El significado de la palabra facies ha sido de gran controversia en los estudios geológicos modernos, como en el área de la petrología metamórfica. Hoy en día esta definición se utiliza tanto en sentido descriptivo como interpretativo, y la palabra en si misma es tanto singular como plural (Miall, 1990, citado en Leal & Rivero 2004).

Las facies en sentido descriptivo incluyen litofacies y biofacies, y ambas son usadas para referir determinadas características de un cuerpo de roca sedimentaria que puede ser interpretado en términos de procesos depositacionales o biológicos. Una litofacies individual es una unidad de roca definida en las bases de sus semejanzas litológicas, tamaño de grano, características de la estratificación y estructuras sedimentarias. Las biofacies se definen en las bases de los componentes fósiles, incluyendo cuerpos fósiles o trazas fósiles (Miall, 1990, citado en Leal & Rivero 2004).

Para el estudio de las litofacies, se debe considerar un principio básico del análisis en el cual los parámetros de las facies antiguas, de origen desconocido, pueden compararse con las de los depósitos actuales, de los que si se conoce el medio sedimentario actuante y los procesos que las originan.

4.2 NOMENCLATURA DE LITOFAZIES

La nomenclatura que se usa en la definición de litofacies de este trabajo, se fundamenta en utilizar un sistema de siglas de fácil manejo y aprendizaje, el cual se basa en tomar primero la(s) letra(s) inicial(es) de cada tipo de roca y colocarla(s) en mayúscula, con la intención de identificar a la misma; luego asignarle un valor numérico (1,2,3,...) para el tamaño de grano predominante en la roca que se clasifica, en el caso en el que la mismas sean de composición terrígena o clástica, con la intención de establecer un código alfanumérico que combine a la roca que se quiere clasificar con el tamaño de grano que la caracteriza. (Leal & Rivero 2004)

Ya definidos estos dos primeros parámetros, se asignará una segunda letra en minúscula para establecer la estructura sedimentaria predominante en la roca.

Ya establecida una secuencia alfanumérica que denotará el tipo de roca, tamaño del grano, y el tipo de estructura sedimentaria presente, se agregarán otras connotación con una letra minúscula y cursiva que sirve para establecer otras características importantes como restos fósiles, marcas de conchas y moldes, etc.

Ya teniendo establecido el sistema de clasificación y definición de litofacies para las diferentes rocas que se encuentran en esta región de la cuenca de Falcón, se presenta el siguiente sistema de abreviación:

4.2.1 Sistema de clasificación

1.- Para los tipos de rocas sedimentarias:

CO: conglomerados (gravas y guijarros).

A: areniscas.

L: lutitas y limolita.

C: carbones y lutitas o limolita carbonosas.

CA: calizas.

H: intercalación de láminas y/o capas delgadas de areniscas con láminas de lutitas, "heterolitas".

2.- Para indicar el tamaño del grano en la roca:

Para la lutitas y limolitas: (según Wentworth et al. 1922)

1: Lutita (menor o igual a 1/256 mm).

2: Limolita (1/256 mm a 1/16 mm).

Para las areniscas: (según Wentworth et al. 1922)

3: de muy fino a fino (1/16 mm a 1/4 mm).

4: de fino a medio (1/4 mm a 1/2mm).

5: de medio a grueso (1/2 mm a 2 mm).

Para los conglomerados: (según Wentworth "et al". 1922)

6: granulo (2mm a 4mm)

7: guijarros (4mm a 64 mm)

8: peñas (64 mm a 256 mm)

9: peñones (mayor o igual a 256 mm)

3.- Para indicar el tipo de estructura sedimentaria presente en la roca, si esta existe en la misma.

p: laminación y/o estratificación paralela

c: laminación y/o estratificación cruzada planar o festoneada

h: laminación y/o estratificación hummocky

e: laminación y/o estratificación espina de pescado

r: rizaduras

4.- Para indicar otras características:

m: moldes de fósiles y conchas.

f: fósiles y restos fósiles.

4.3 DEFINICIÓN DE LITOFAZIES

4.3.1 Facies de las areniscas de grano fino (A3):

Areniscas masivas de grano fino las cuales presentan un escogimiento que varía de bien a muy bien escogidas, siendo las areniscas no calcáreas las más abundantes.

Las areniscas no calcáreas presentan colores meteorizados que van desde marrón claro hasta marrón oscuro, presentando en algunos casos manchas rojizas, anaranjadas y negras. Los colores frescos varían entre el marrón oscuro hasta los grises claros y oscuros (ver figura 61).

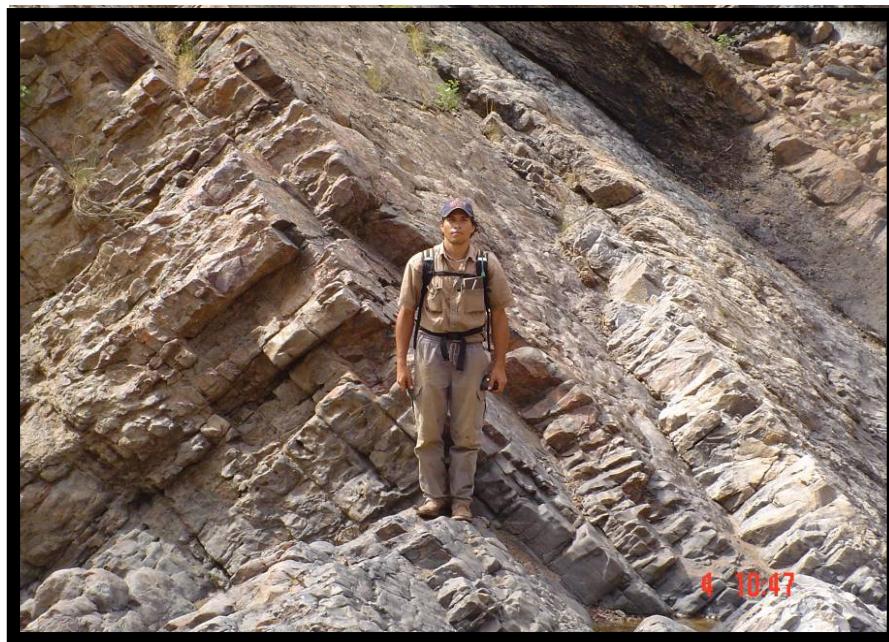


Figura 61. Arenisca de grano fino. Rumbo de Foto N30W

En ocasiones las areniscas pueden ser calcáreas (ver figura 62) y presentan colores meteorizados que van desde el marrón claro hasta el marrón oscuro, presentando algunas manchas negras y rojizas, producto de alta oxidación de Fe .

Los colores frescos de las areniscas calcáreas varían de grises claras a grises oscuras, con algunas manchas blanquecinas y pardas.



Figura 62. Arenisca calcárea de grano fino. Rumbo de foto N50W

Los espesores son variables y van desde los pocos centímetros hasta los 5,5 metros. Algunas capas contienen gran cantidad de nódulos de óxido de hierro (Fe) de colores rojos y anaranjados de formas elipsoidales de variadas dimensiones que van desde los elipsoides de 4*3 cm. hasta los elipsoides de 7*10 centímetros. Algunas capas presentan huellas de carga en sus bases.

4.3.2 Facies de las areniscas de grano fino con fósiles (A3f):

Areniscas de grano fino a muy fino las cuales presentan un buen escogimiento (ver figura 63). Presentan colores meteorizados que van desde el marrón claro hasta el marrón oscuro, presentando algunas manchas negras y rojizas, producto de alta oxidación de material férrico y ferroso. Los colores frescos varían de gris claro a gris oscuro, con algunas manchas blanquecinas y pardas. Los espesores

varían entre los pocos centímetros hasta los 3 metros. Algunas capas contienen nódulos de óxido de hierro (Fe) de colores rojos y anaranjados de formas elipsoidales.

Las bioturbaciones son comunes y se presentan en varias capas, siendo los ichnofósiles del tipo Ophiomorpha los más numerosos, comúnmente orientados perpendicularmente a la estratificación y en pocos casos mal distribuidas, algunas de ellas de grandes tamaños con diámetros que alcanzan los 6 cm. También se observan, muy raras veces, icnofósiles sin diferenciar de pequeñas dimensiones.

Presentan un importante contenido fósil, el cual no es muy variado, los cuales se encuentran sobre las capas como conchas de diversos tamaños de bivalvos comúnmente pectindos y turritellas; encontrándose los mismos bien preservados y distribuidos homogéneamente sobre las capas. Los moldes de conchas fósiles formados por disolución del material calcáreo que las conformaba no son muy frecuentes en esta facies, son mayoritariamente conchas de bivalvos y turritellas. Algunas capas presentan huellas de carga en sus bases.



Figura 63. Arenisca fosilífera. Rumbo de foto N40W

4.3.3 Facies de las areniscas de grano fino con rizaduras (A3r):

Areniscas de grano fino las cuales presentan un escogimiento que varía de bien a muy bien escogidas (ver figura 64).

Presentan colores meteorizados que van desde marrón claro hasta marrón oscuro, presentando en algunos casos manchas rojizas, anaranjadas y negras. Los colores frescos de este tipo de areniscas varían entre el marrón oscuro hasta los grises claros y oscuros. Estas capas presentan espesores muy variables que van desde los pocos centímetros hasta los 1,5 metros.

Algunas capas contienen pequeños nódulos de óxido de hierro (Fe) de colores rojos y anaranjados de formas elipsoidales y esferoidales. Se observan en algunas capas pequeñas variaciones granulométricas granodecrecientes pasando de granos finos a muy finos. La mayoría de las capas de esta facies presentan rizaduras simétricas hacia sus topes, generadas a partir de diversos niveles de energía. Algunas capas presentan huellas de carga en sus bases.



Figura 64. Arenisca con rizaduras . Rumbo de foto N30W

4.3.4 Facies de las areniscas de grano fino con rizaduras y fósiles (A3fr):

Areniscas de grano fino (ver figura 65) las cuales están bien escogidas, pudiendo ser calcáreas, y menos abundantes.

Presentan colores meteorizados que van desde el marrón claro hasta el marrón oscuro, presentando algunas manchas negras y rojizas. Los colores frescos de las areniscas calcáreas varían de grises claras a grises oscuras, con algunas manchas blanquecinas y pardas.

Las areniscas no calcáreas que a su vez contienen fósiles presentan colores meteorizados que van desde marrón claro hasta marrón oscuro, presentando en algunos casos manchas rojizas, anaranjadas y negras. Los colores frescos de este tipo de areniscas varían entre el marrón oscuro hasta los grises claros y oscuros. Estas capas presentan espesores variables que van desde los 20 cm. centímetros hasta los 3,5 metros.

Algunas capas contienen gran cantidad de nódulos de óxido de hierro (Fe) de colores rojos y anaranjados de formas elipsoidales y esferoidales. En ciertas capas es posible observar bioturbaciones siendo las huellas de Ophiomorpha las más comunes. También se observan muy raras veces bioturbaciones sin diferenciar.

El contenido fósil no es muy variado, siendo los más representativos las conchas de diversos tamaños de bivalvos (Pecten) y turritellas; estando los mismos entre medianamente y bien preservados. Se encuentran distribuidos aleatoriamente sobre las capas.

Los moldes de conchas fósiles no son muy frecuentes. Son mayoritariamente conchas de pectinidos y turritellas

Las capas de esta facies presentan rizaduras simétricas hacia sus topes, de diversas dimensiones, generadas a partir de diversos niveles de energía. La mayoría de las capas presentan huellas de carga en sus bases.



Figura 65. Arenisca fosilífera con rizaduras . Rumbo de foto N20W

4.3.5 Facies de las areniscas de grano fino con estratificación paralela y rizaduras (A3pr):

Areniscas de grano fino que presentan buen escogimiento (ver figura 66). Presentan colores meteorizados que van desde marrón claro hasta marrón oscuro, y en algunos casos se aprecian manchas rojizas, anaranjadas y negras. Los colores frescos de este tipo de areniscas varían entre el marrón oscuro hasta los grises claros y oscuros.

Estas capas presentan espesores muy variables que van desde los pocos centímetros hasta los 4 metros. Presentan rizaduras simétricas hacia sus topes. Se

observan estratificaciones paralelas las cuales se acomodan en las zonas medianas de las capas.

Se aprecian huellas de Ophiomorpha, orientadas perpendicularmente a la estratificación, algunas de ellas con tamaños que alcanzan diámetros de hasta 6 cm. Algunas capas presentan huellas de carga en sus bases.

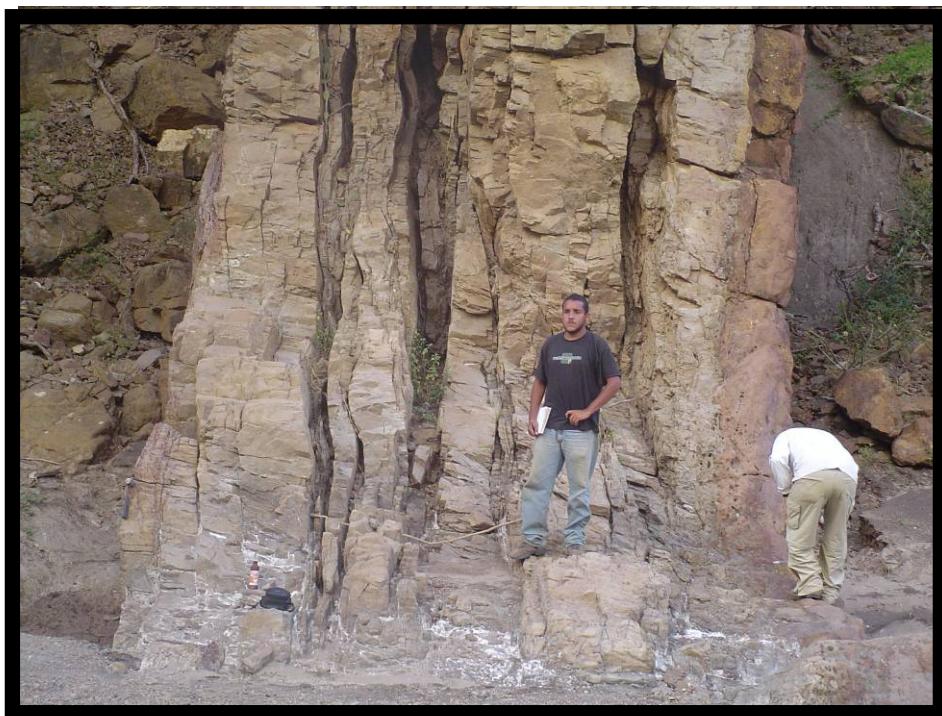


Figura 66. Arenisca con rizaduras y estratificación paralela . Rumbo N65E

4.3.6 Facies de las areniscas de grano fino con estratificación cruzada y rizaduras (A3cr):

Areniscas de grano fino que presentan un escogimiento que varía de bien a muy bien escogidas (ver figura 67).

Presentan colores meteorizados que van desde marrón claro hasta marrón oscuro, presentando en algunos casos manchas rojizas, anaranjadas y negras. Los

colores frescos de este tipo de areniscas varían entre el marrón oscuro hasta los grises claros y oscuros.

Estas capas presentan espesores muy variables que van desde los pocos centímetros hasta los 3 metros.

La mayoría de las capas de esta facies presentan rizaduras simétricas hacia sus topes. Se aprecian estratificaciones cruzadas planares las cuales se ubican comúnmente cercanas a la base y en el medio de la capa. Algunas capas presentan huellas de carga en sus bases.



Figura 67. Arenisca con rizaduras y estratificación cruzada planar . Rumbo de foto N68W

4.3.7 Facies de las areniscas de grano medio (A4):

Areniscas masivas cuyo tamaño de grano es medio (ver figura 68). La mayoría son compactas, algunas tienden a ser cuarzosas, a ser muy friables y a disgregarse fácilmente.

Los colores meteorizados que presentan las litologías de esta facies varían desde el marrón claro, gris y crema, presentando sectores y manchas parduscas, blancas, anaranjadas y negras sobre las superficies de las capas. Los colores frescos varían desde el gris oscuro hasta el blanco.

Los espesores promedio de las capas que componen esta facies varían desde los 10 a 55 centímetros. Es común observar nódulos rojizos de óxido de hierro (Fe) de formas elipsoidales de pequeñas dimensiones que alcanzan los 5 cm de diámetro, distribuidos homogéneamente.

En las bases de las capas es posible apreciar pequeñas huellas de carga, así como icnofósiles sin diferenciar distribuidas desordenadamente en las mismas. En cuanto a composición mineralógica se observa gran cantidad de micas del tipo moscovítico en las areniscas cuarzosas pertenecientes a esta facies.



Figura 68. Arenisca de grano medio . Rumbo de foto N20W

4.3.8 Facies de las areniscas de grano grueso con estratificación cruzada (A5c):

Areniscas de grano grueso friables. Las areniscas pertenecientes a esta facies son exclusivamente cuarzosas. Poseen color meteorizado gris claro con tonalidades rojizas, mientras que el color fresco varía de anaranjado en al blanco.

Estas areniscas se presentan granodecrecientes, alcanzando en los topes un tamaño de grano medio. Sus espesores varían de 50 centímetros hasta los 3 metros.

Se observan estratificación cruzada y festoneada en las zonas medias de las capas. Algunos lentes de arena de grano fino se encuentran embebidos dentro de algunas areniscas pertenecientes a esta facies.

En ciertas capas se aprecian nódulos rojizos de óxido de Fe, de pequeñas dimensiones y de formas esféricas y elipsoidales.

4.3.9 Facies de las areniscas de grano grueso con rizaduras (A5r):

Areniscas cuarzosas de grueso friables. Presentan color meteorizado gris claro con tonalidades rojizas, el color fresco varía es blanco con algunas tonalidades anaranjadas

Sus espesores varían de 40 centímetros hasta los 3 metros. Sobre ellas se pueden apreciar rizaduras simétricas de medianas dimensiones en sus topes. En algunas capas se aprecian nódulos rojizos de óxido de Fe, de pequeñas dimensiones que alcanzan diámetros de hasta 6 cm. con formas esféricas y elipsoidales.

4.3.10 Facies de los conglomerados de gravas (CO7):

Conglomerados que presentan tamaño de grano promedio entre gránulos a gravas (ver figura 69).

La composición de los clastos es mayoritariamente de cuarzo. El color meteorizado varía entre gris claro, gris oscuro y marrón claro, además se observan manchas de tonalidades rojizas producto de oxidación de componentes férricos.

El color fresco varía desde gris claro tenue hasta el gris muy oscuro. Los conglomerados tienen espesores promedios que varían desde los 30 cm. hasta los 3,5 metros. Algunos de estos conglomerados tienden a ser granodecrescentes en gradación normal.



Figura 69. Conglomerado compuesto por gravas . Rumbo de foto N15W

4.3.11 Facies de las heterolitas (H):

Pequeñas intercalaciones de areniscas y limolitas que conforman un patrón cíclico de superposición de las mismas (ver figura 70). Los espesores promedio de las areniscas y lutitas varían de 1 cm. hasta los 7 cm. Las areniscas presentan colores meteorizados marrón claro con tonalidades oscuras, mientras su color fresco es marrón oscuro. Las limolitas presentan color fresco y color meteorizado gris oscuro.

Estas heterolitas presentan una gran cantidad de nódulos rojizos de óxido de Fe, de formas elipsoidales y esféricas de pequeños dimensiones que alcanzan en promedio los 4 cm. de diámetro.

Sobre las areniscas es posible observar pequeñas rizaduras. Los paquetes de heterolitas presentan espesores generales cercanos a los 1,5 metros.



Figura 70. Paquete de heterolitas . Rumbo N60W

4.3.12 Facies de las calizas (CA):

Calizas masivas y muy compactas (ver figura 71). Presentan color meteorizado que varia desde el marrón claro hasta el gris claro, con algunas tonalidades anaranjadas y parduscas. El color fresco de las calizas varía desde los grises claros hasta los blancos.

Estas calizas presentan espesores muy variables que van desde los 30 centímetros hasta los 4 metros.

Algunas capas contienen gran cantidad de nódulos de óxido de hierro (Fe) de colores rojos y anaranjados de formas elipsoidales de variadas dimensiones que van desde los elipsoides de 4*3 cm. hasta los elipsoides de 5*8 centímetros. Ciertas capas presentan algunos icnofósiles sin diferenciar hacia sus bases.



Figura 71. Muestra de mano de caliza no fosilifera .

4.3.13 Facies de las Calizas fosilíferas (CAF):

Calizas masivas compactas (ver figura 72). Presentan color meteorizado marrón claro, gris claro, con algunas tonalidades parduscas. El color fresco varía de gris claro a blanco.

Estas calizas presentan espesores muy variables que van desde los 40 centímetros hasta los 2,5 metros. Se observan muy raras veces bioturbaciones sin diferenciar distribuidas caóticamente en las bases de algunas capas

Muchas veces presentan altos contenidos fósiles, comúnmente representados por pectinidos y turritellas, muy bien preservados y distribuidos homogéneamente sobre las capas.

Los moldes de conchas fósiles no son muy frecuentes en las calizas, y los pocos moldes existentes corresponden generalmente a pectinidos y bivalvos.



Figura 72. Caliza fosilífera . Rumbo de foto S-N

4.3.14 Facies de las lutitas carbonosas y carbones (C):

Las lutitas carbonosas presentan colores meteorizados que varían desde gris muy oscuro a negro muy intenso (ver figura 73); con algunas tonalidades amarillentas y violáceas. El color fresco de las lutitas varía entre gris oscuro a negro.

Los espesores promedio de las lutitas carbonosas varían entre los 20 y los 40 centímetros. Se observan también algunas capas delgadas de carbón de espesores menores a los 5 centímetros.

En algunas capas de lutitas se aprecian pequeños nódulos rojizos de óxido de Fe, de pequeñas dimensiones que alcanzan diámetros de 5 cm. y de formas esféricas mal distribuidos .

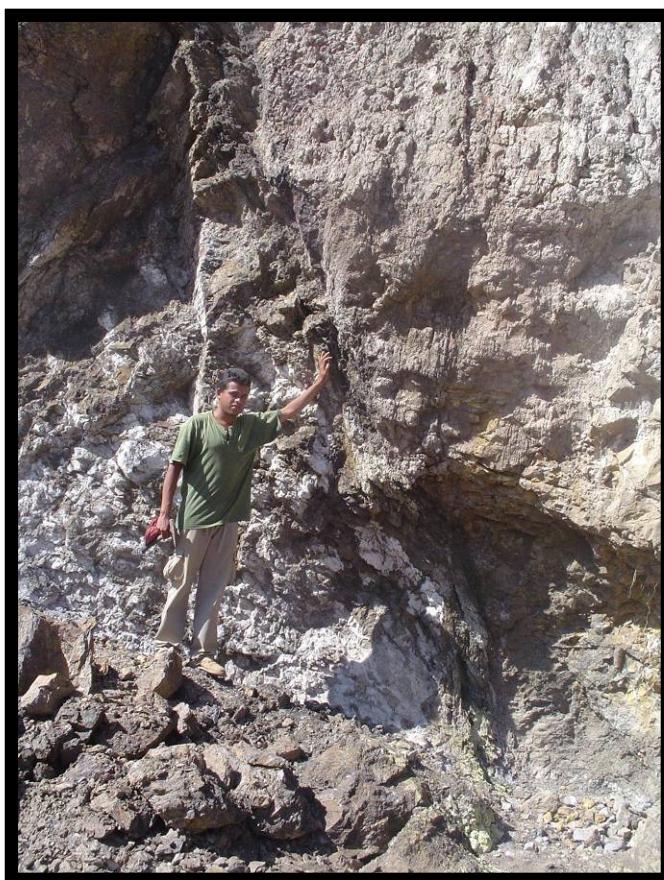


Figura 73. Lutitas carbonosas . Rumbo S50W

4.3.15 Facies de limolitas (L2):

Las limolitas presentan color meteorizado marrón claro, marrón oscuro, gris claro y gris oscuro; presentando algunas tonalidades anaranjadas y beige. Los colores frescos de las limolitas se presentan como grises oscuros, marrón oscuro y marrón claro (ver figura 74).

Las limolitas presentan espesores promedio que van desde los 5 hasta los 40 centímetros. Muchas de las capas limolíticas presentan gran cantidad de nódulos de óxido de hierro (Fe) de colores rojos y anaranjados de formas elipsoidales y esféricas, con tamaños promedio de 25*16 centímetros.

En ocasiones se observa estratificación tipo “hummocky”, las cuales se aprecian claramente como bandas redondeadas a lo largo de dichas capas. Algunas limolitas presentan fragmentos de conchas de bivalvos muy mal preservados y muy disgregados en las capas. En menor medida se presentan moldes de conchas fósiles de bivalvos. En ciertas capas deformadas se encuentran decenas de vetas de calcita entre los planos de fractura.



Figura 74. Limolitas . Rumbo de foto N10W

4.3.16 Facies de lutitas, y lutitas negras (L1):

Lutitas que presentan color meteorizado que varía entre gris claro, gris oscuro y negro; mientras que los colores frescos se mantiene entre gris muy oscuro y negro (ver figura 75).

Las lutitas se presentan en forma de delgadas laminas de menos de 2 cm. de espesor, o en paquetes que van desde los 20 cm. hasta las decenas decenas de metros.

La mayoría de las lutitas grises son muy compactas y se presentan en forma masiva, mientras que las lutitas negras son débiles y se presentan en forma laminar. En algunos paquetes de lutitas negras se observa la presencia de muchos nódulos rojizos de óxido de Fe, de formas elipsoidales y esféricas, donde las elipses tienen tamaños variables de 4*5 a 25*20 centímetros.

Se presentan vetas de calcita, yeso y azufre en fracturas presentes en algunas lutitas.



Figura 75. Lutitas . Rumbo de foto N80E

5. ANÁLISIS PETROGRÁFICO

5.1 GENERALIDADES

Se estudió un total de 13 muestras utilizando para ello el análisis petrográfico convencional, obteniéndose de esta forma datos, tanto cualitativos como cuantitativos de los minerales encontrados en las muestras, para así determinar el tipo de roca utilizando la clasificación de Pettijhon (1975) para las areniscas y Mount (1985) para el caso de los carbonatos de mezcla.

Para cada una de las facies se tomó por lo menos una muestra y se le hizo una sección fina para lograr tener una descripción más detallada de cada una de las facies mencionadas.

A continuación se presenta una descripción de las características mineralógicas de las muestras pertenecientes a la zona de estudio, tales como tipos de cuarzo, tamaño de grano, forma y composición de los fragmentos de roca, de los feldespatos, y de la matriz.

5.2 MUESTRAS

5.2.1 Facies A3f : Sección M-22

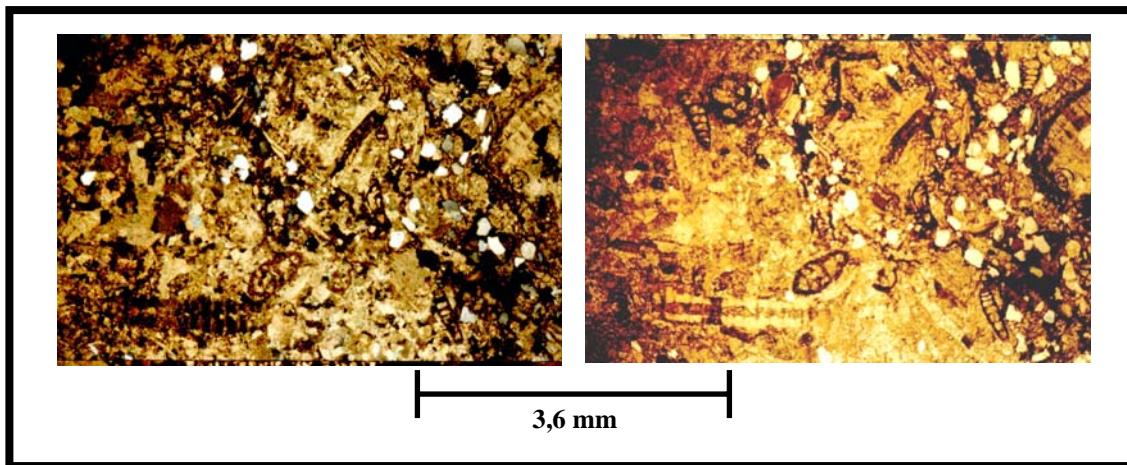


Figura 76. Fotomicrografía donde se observa la recristalización sobre una matriz micrítica. Obj. 2,5/0,08. Ocular 12,5x. A la izquierda con nícoles cruzados. Y a la derecha con nícoles paralelos

Se observa una estructura de flujo producto posiblemente de una composición en donde se acumula gran cantidad de extraclastos (cuarzo) y feldespato que no supera el 1% en la sección, algo de matriz (micrita) y gran cantidad de foraminíferos plantónicos y bentónicos, foraminíferos globosos Numulites, foaminíferos biseriados. Se puede observar procesos de recristalización sobre una matriz micrítica (ver figuras 76 y 77).

SEGÚN MOUNT (1985): CALIZA DE ALOQUÍMICOS LODOSA

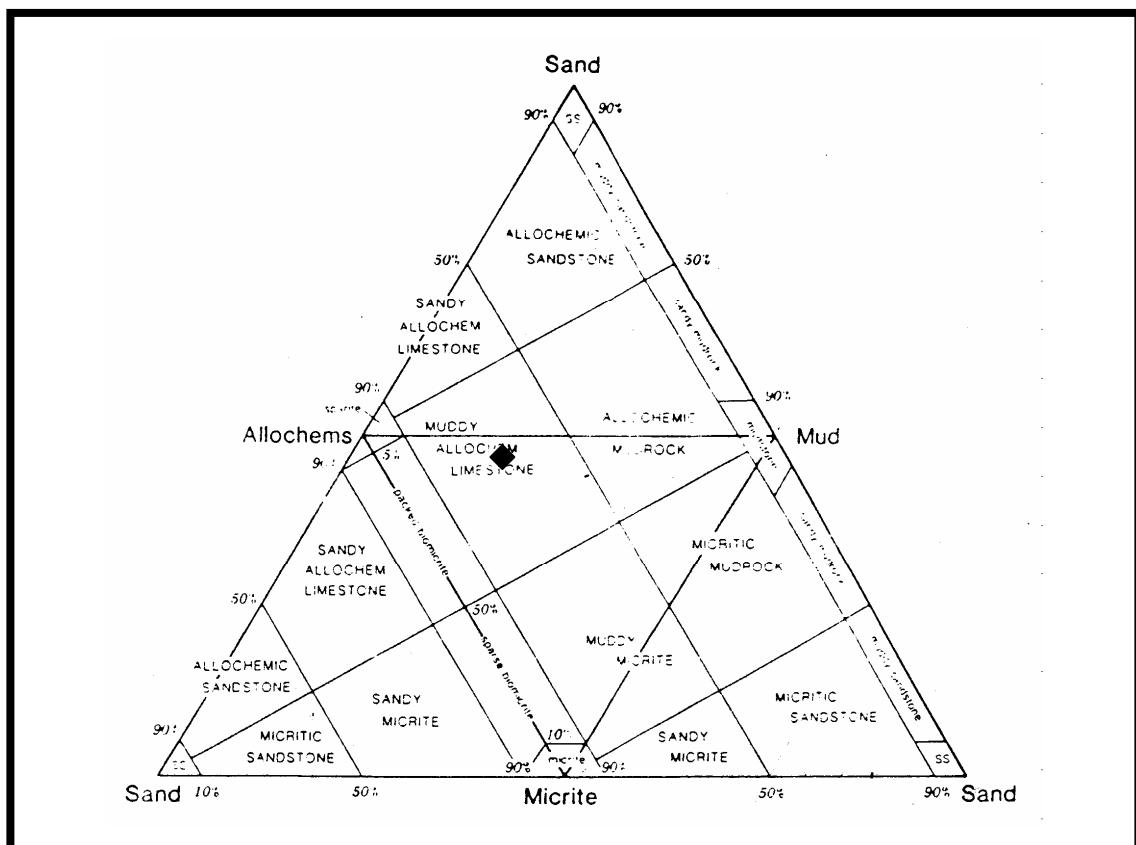


Figura 77. Triángulo de clasificación de carbonatos de mezclas (Mount, 1985), para la sección M-22

5.2.2 Facies A3f : Sección J8-3

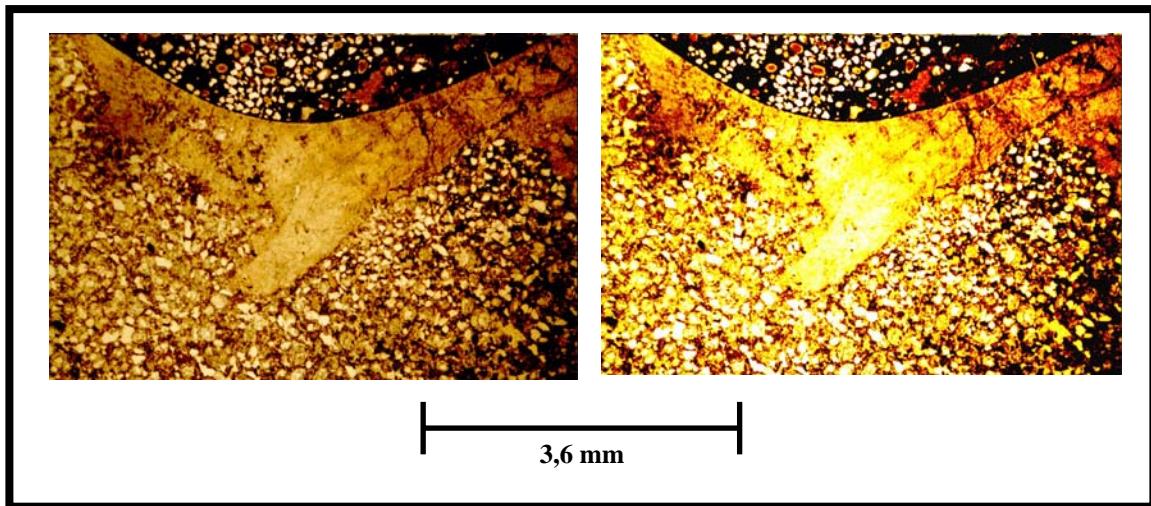


Figura 78. Fotomicrografía donde se observa la ganancia de hierro en la parte superior izquierda de la sección. Nótese también el esqueleto carbonático que presenta porosidad por disolución. Obj. 2,5/0,08. Ocular 12,5x. A la izquierda con nícoles cruzados. Y a la derecha con nícoles paralelos

En dos de las cámaras de la estructura gigante ubicada a la izquierda de la sección se puede observar una posible ganancia de hierro generando procesos de oxidación de hierro dentro de la matriz para ese sector. La estructura está bandeada por un esqueleto de carbonato de calcio y en algunos lugares presenta porosidad por disolución. Hay presencia de una matriz de micrita dentro de las cámaras de la estructura grande ubicada a la izquierda de la sección.

El cemento es de microespato y este es producto de la recristalización de una matriz micritica. Los granos extraclastos (cuarzo) son de un tamaño bastante pequeño. Y conforman un 40% aproximadamente de toda la sección y corresponden a cuarzo monocristalino ígneo plutónico (ver figuras 78 y 79).

SEGÚN MOUNT (1985): MICRITA ARENOSA.

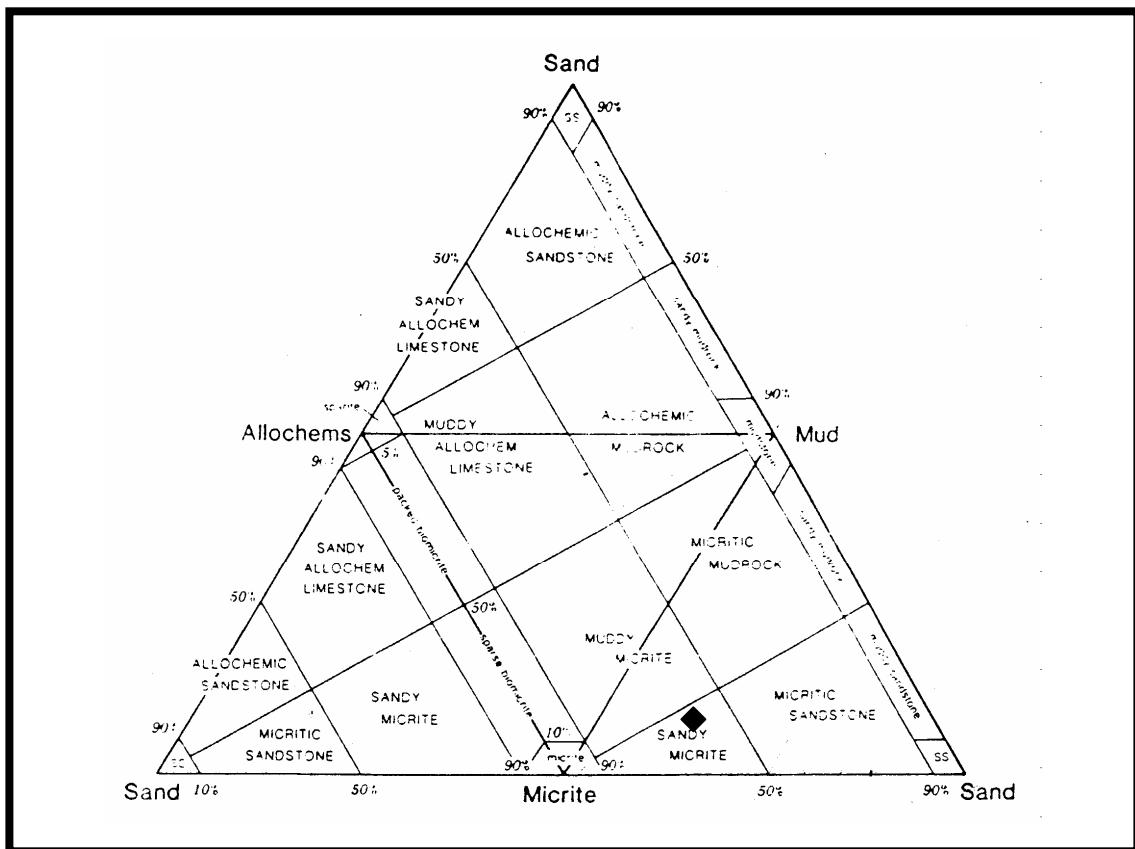


Fig 79. Triángulo de clasificación de carbonatos de mezclas (Mount, 1985), para la sección J8-3

5.2.3 Facies A3 : Sección D22-1

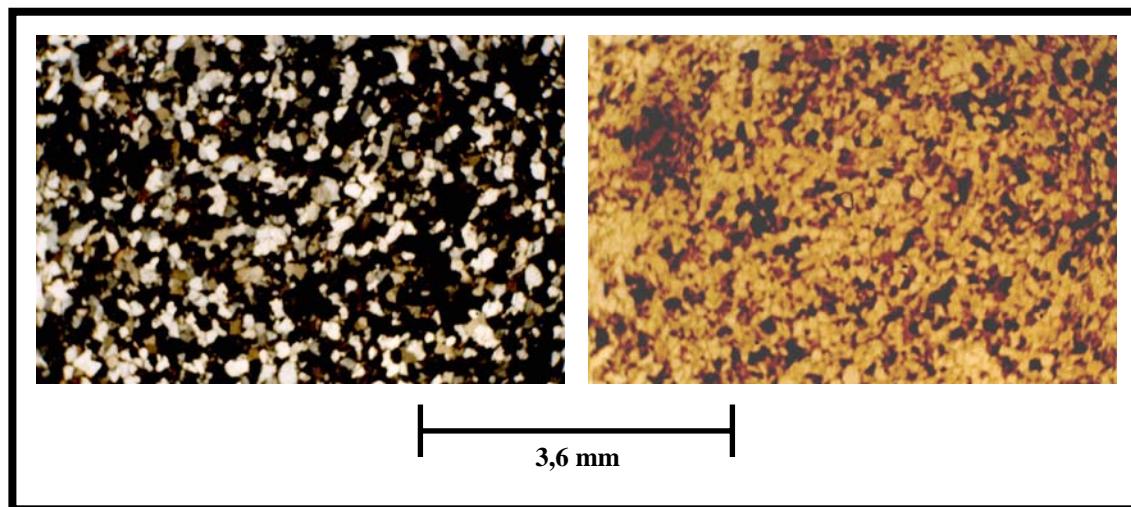


Figura 80. Fotomicrografía donde se observa el escogimiento medio en la sección y la homogeneidad con que se distribuyen los cristales en la sección. La porosidad predominante es interpartícula.
Obj. 4 / 0,12. Ocular 12,5x. A la izquierda con nícoles cruzados. Y a la derecha con nícoles paralelos

Se observan cristales granulares de cuarzo, en su mayoría monocristalino plutónico y metamórfico, con tamaños mínimo de 0,05mm, máximo 0,2 mm y promedio de 0,1 mm, fragmentos de roca metamórficos y chert, el escogimiento tiende a ser malo a medio, los contactos presentes son en su mayoría longitudinal y tangencial aunque también se observan contactos grano matriz, el material cementante es principalmente de cuarzo. Se observa porosidad interpartícula sin descartar una posible porosidad por disolución (ver figuras 80 y 81).

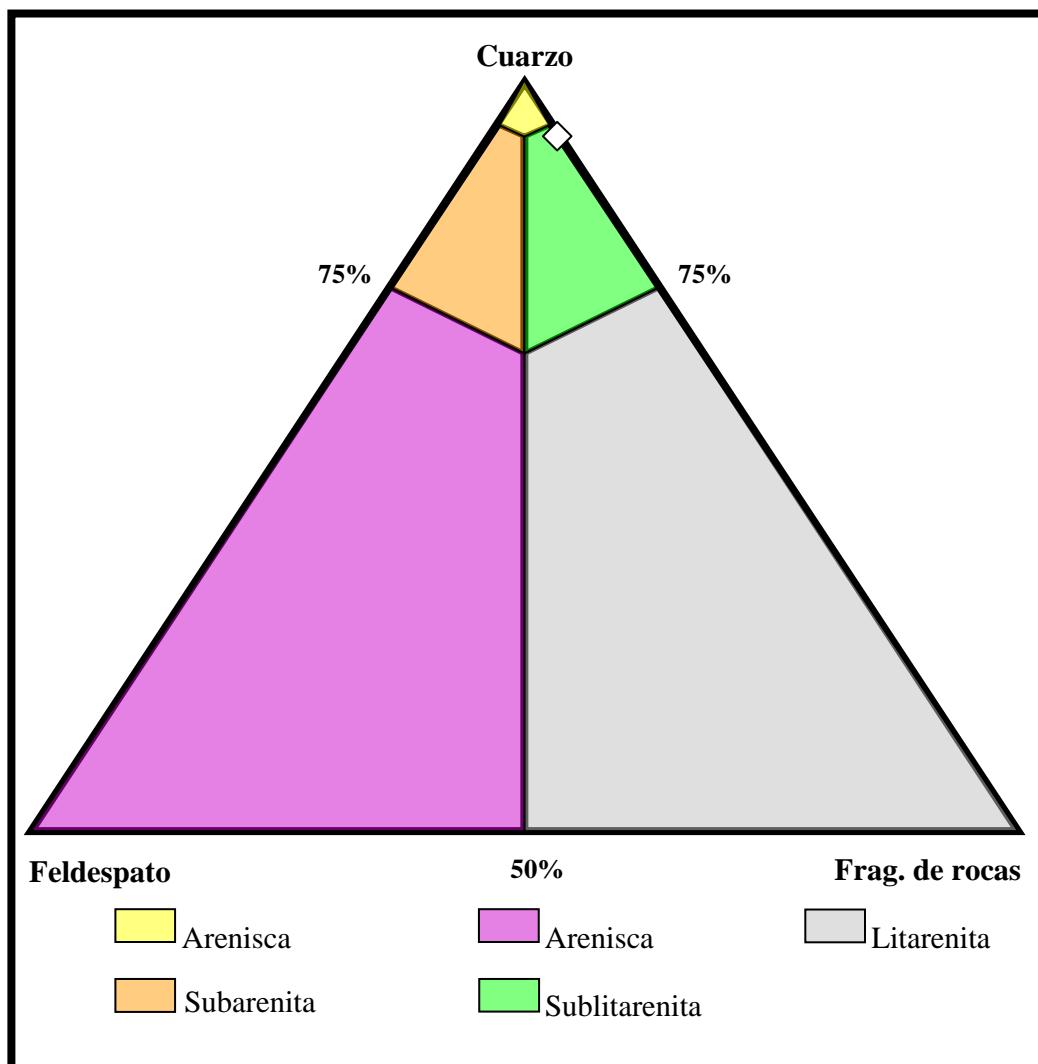
SEGÚN PETTIJOHN (1972): ARENISCA CUARZOSA

Fig 81. Triángulo de clasificación de arenas terrígenas (Modificado de Pettijohn *et al.* 1972), para la sección D22-1

5.2.4 Facies A3r : Sección J5:

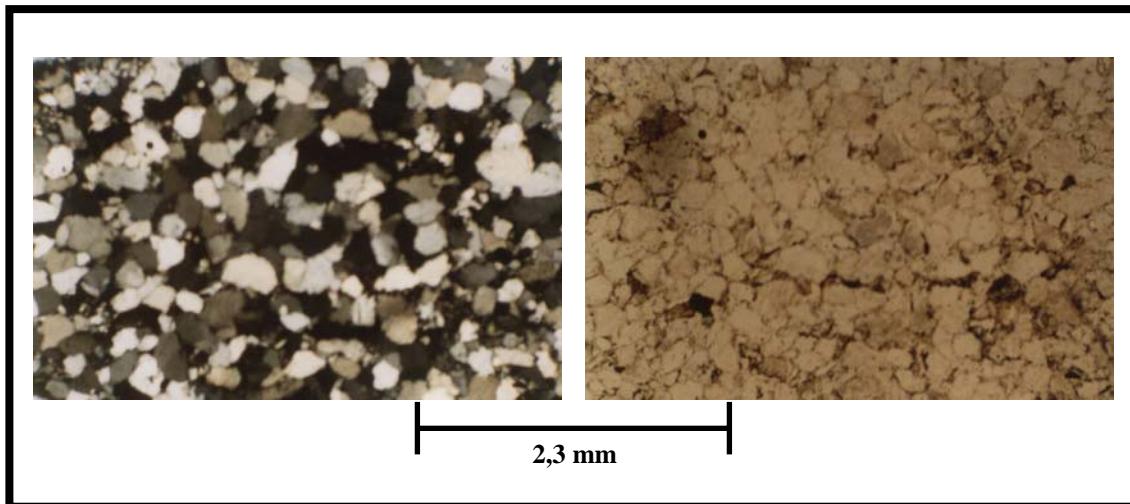


Fig. 82. Fotomicrografía donde se observa el escogimiento medio en la sección y la homogeneidad con que se distribuyen los cristales en la sección. Presencia de cuarzo monocristalino y policristalino. Obj. 4 / 0,12. Ocular 12,5x. A la izquierda con nícoles cruzados. Y a la derecha con nícoles paralelos

Se observan cristales granulares de cuarzo, con bordes subangulosos; el escogimiento tiende a ser regular a medio, un tamaño mínimo aproximado de 0,1 mm, máximo 0,7 mm y promedio de 0,56mm. Los contactos tienden a ser grano - grano, en mayor porcentaje es longitudinal. Es el mineral más abundante dentro de la muestra, siendo su distribución homogénea. Pueden hallarse varios tipos: monocristalino, policristalino. Se observa porosidad interpartícula y sólo el 1% aproximadamente de los granos se encuentran fracturados (ver figuras 82 y 83).

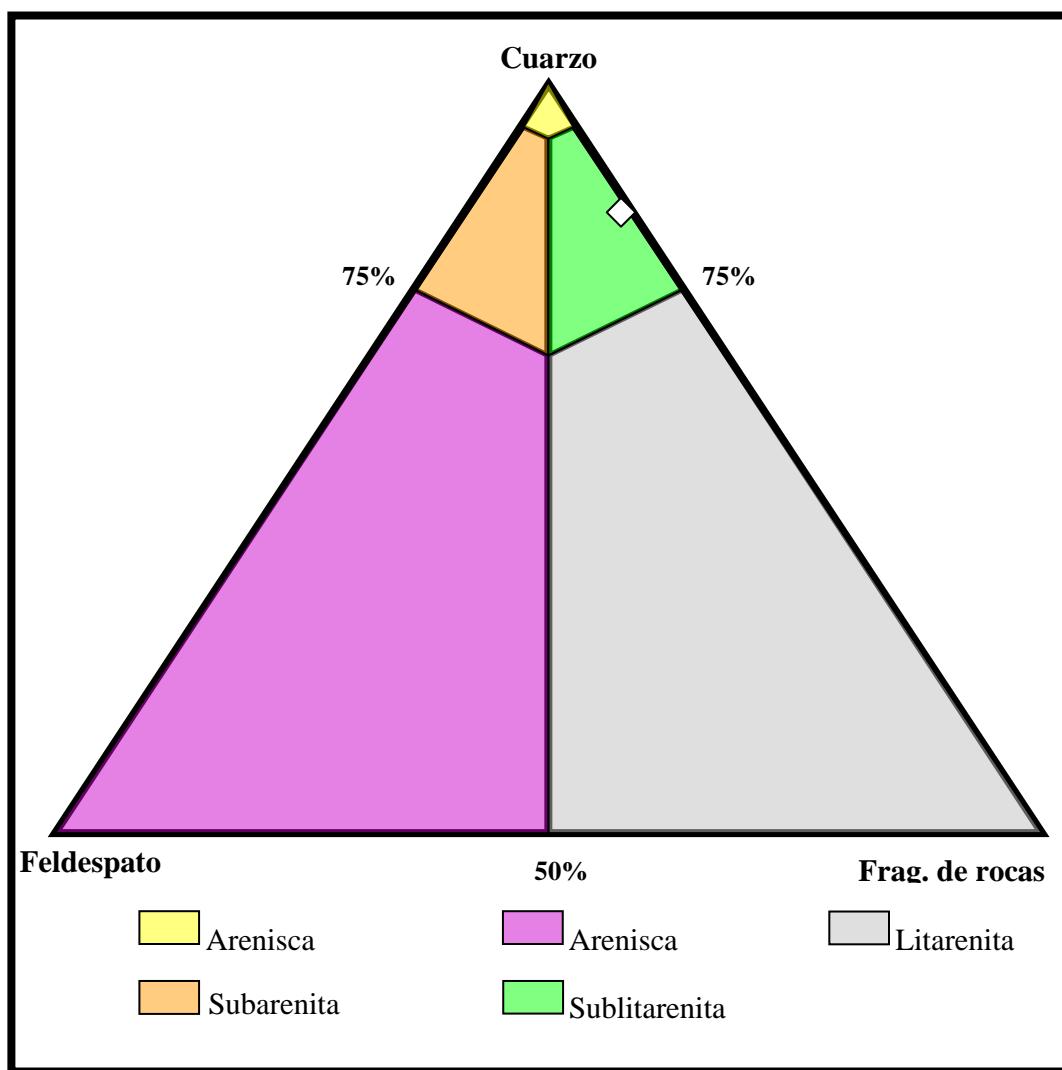
SEGÚN PETTIJOHN (1972): SUBLITARENITA

Fig 83. Triángulo de clasificación de arenas terriégenas. (Modificado de Pettijohn *et al.* 1972), para la sección J5.

5.2.5 Facies A3pr : Sección M61

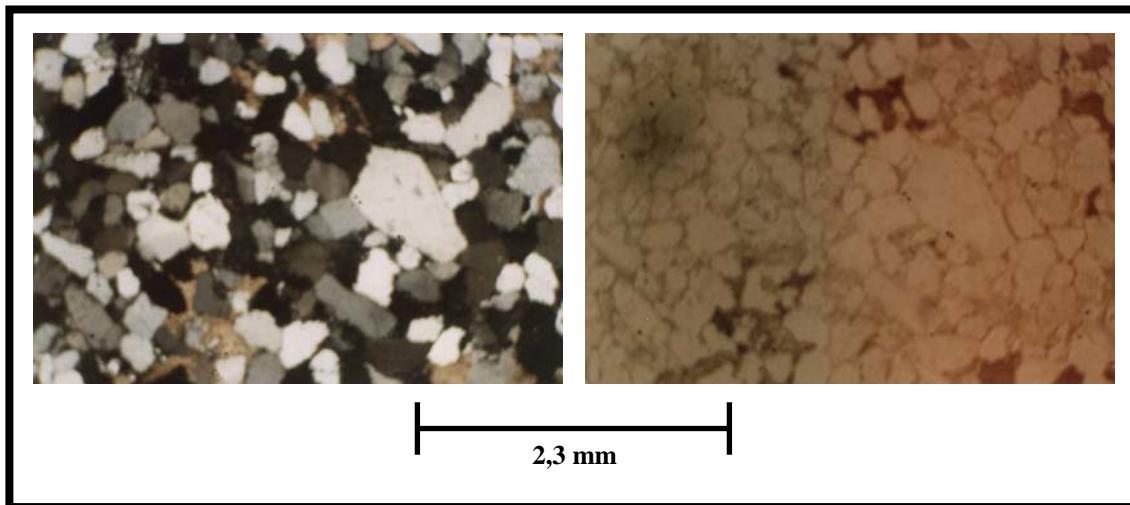


Figura 84. Fotomicrografía donde se observa el escogimiento medio en la sección y la homogeneidad con que se distribuyen los cristales en la sección. Se presentan cuarzos monocrystalino y policristalinos.

Obj. 4 / 0,12. Ocular 12,5x. A la izquierda con nícoles cruzados. Y a la derecha con nícoles paralelos.

Presenta granos de cuarzo, los cuales son los más abundantes dentro de la muestra. Son de forma granular, de distribución homogénea en toda la sección. Los contactos entre los granos son longitudinal, cóncavo - convexo y en algunos casos suturados. Los tamaños de grano varían, aunque la tendencia es de grano fino, cuantitativamente las dimensiones de los granos son 0,16mm el mínimo, 0,56 el máximo y 0,3 el promedio. Pueden observarse varios tipos de cuarzo: monocrystalinos, policristalinos. La porosidad observada es interpartícula y no abarca más de un 5% de toda la sección. La matriz observada es de material carbonático (ver figuras 84 y 85).

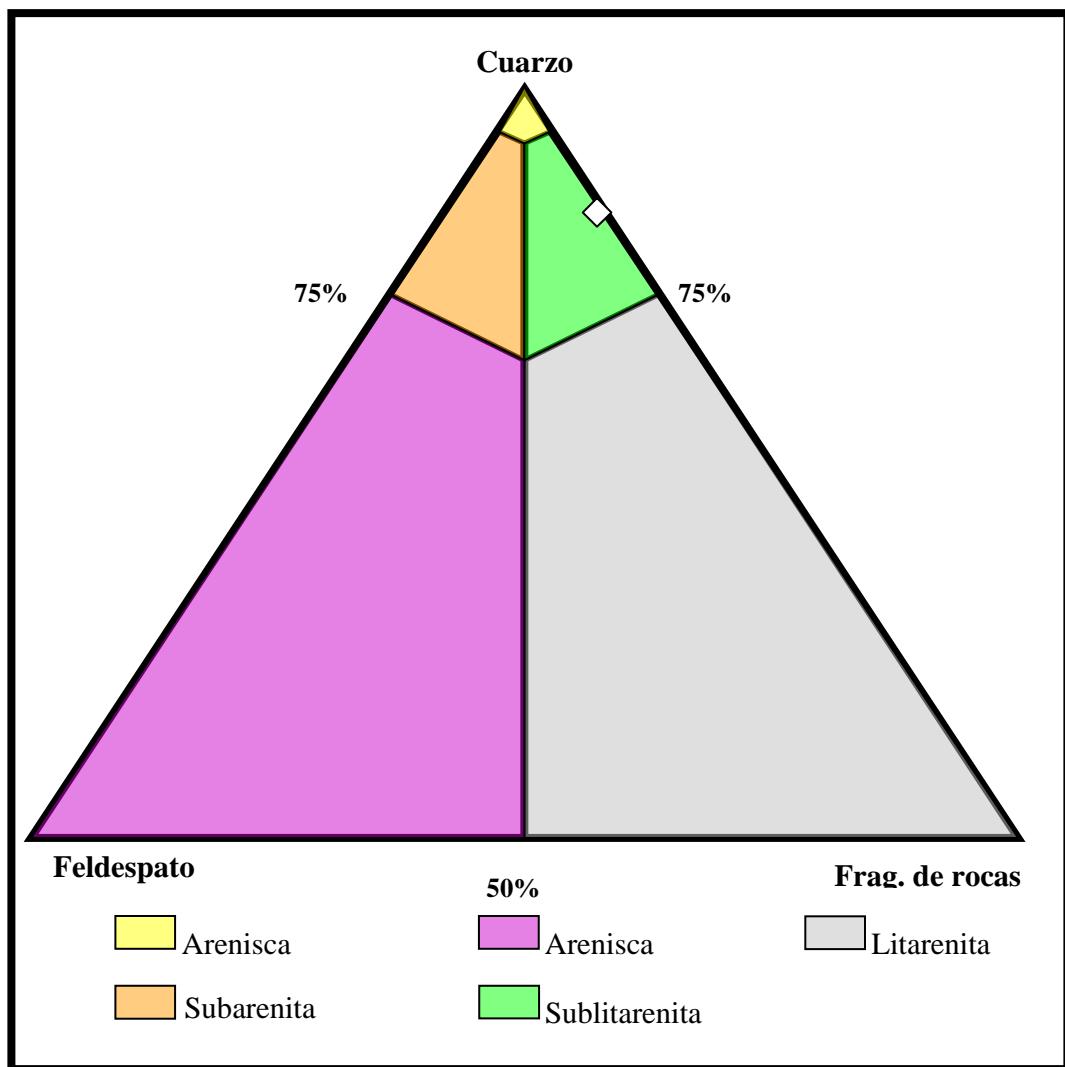
SEGÚN PETTIJOHN (1972): SUBLITARENITA

Figura 85. Triángulo de clasificación de arenas terriegas . (Modificado de Pettijohn *et al.* 1972)

5.2.6 Facies A3cr : Sección D26-1:

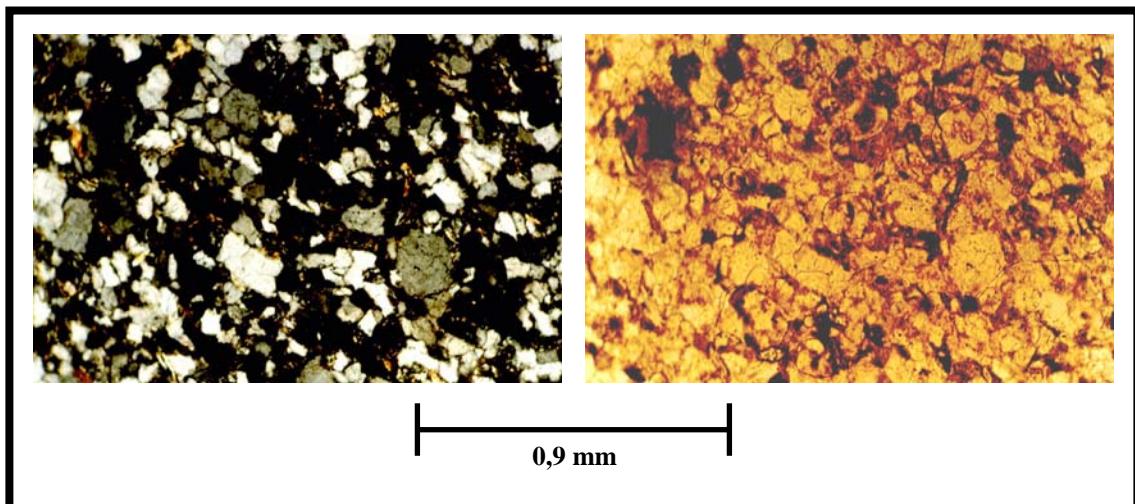


Figura 86. Fotomicrografía donde se observa el escogimiento medio en la sección. Se presentan cuarzos monocristalino y policristalinos.

Obj. 10 / 0,25. Ocular 12,5x. A la izquierda con nícoles cruzados. Y a la derecha con nícoles paralelos

Se observan cristales granulares de cuarzo, en su mayoría monocristalino plutónico, fragmentos de roca metamórficos y chert, el escogimiento tiende a ser malo a medio, los contactos presentes son en su mayoría longitudinal y tangencial, aunque también se observan contactos grano matriz, el material cementante es principalmente de cuarzo. Se observa porosidad interparticula sin descartar una posible porosidad por disolución (ver figuras 86 y 87).

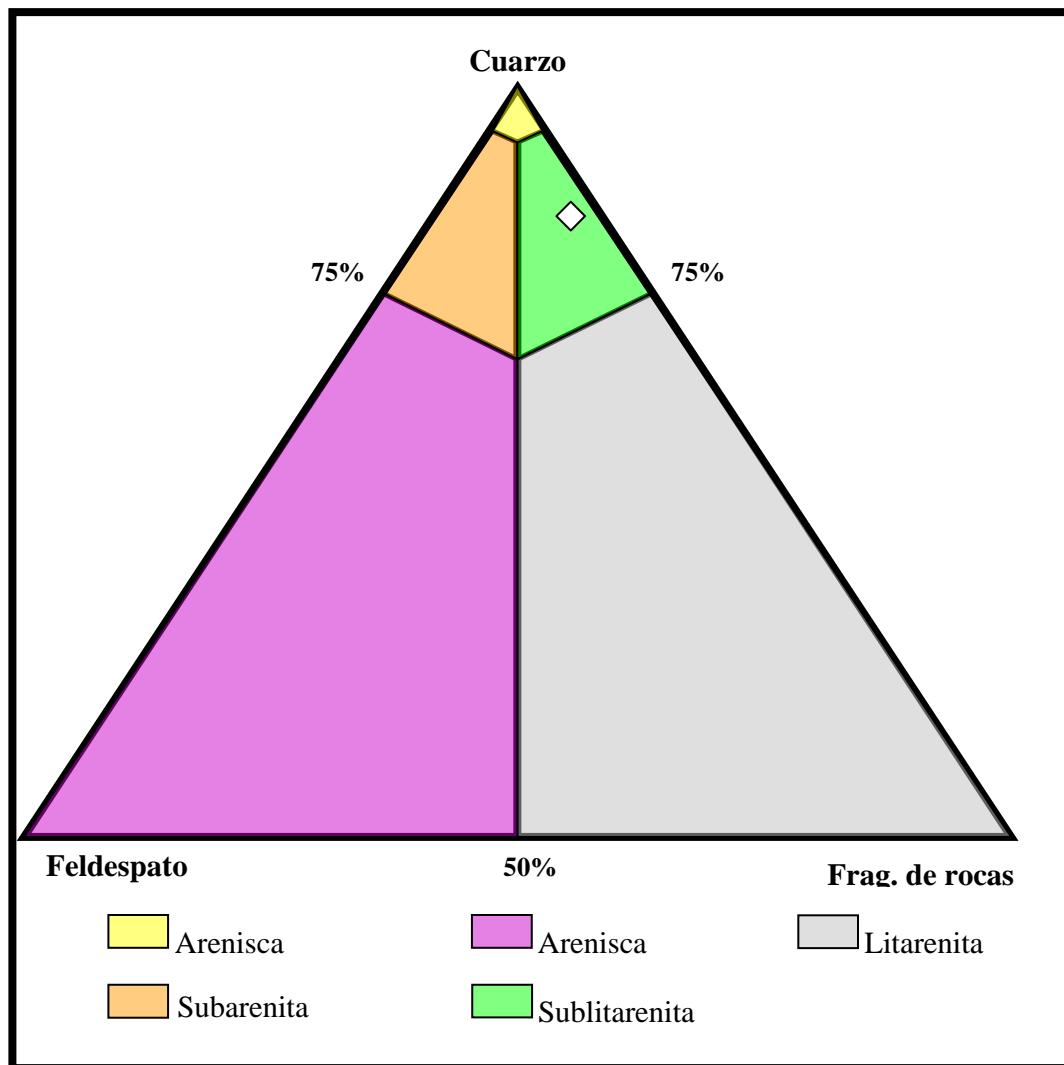
SEGÚN PETTIJOHN (1972): SUBLITARENITA

Figura 87. Triángulo de clasificación de arenas terrígenas. (Modificado de Pettijohn *et al.* 1972), para la sección D26-1

5.2.7 Facies A5r : Sección M46 :

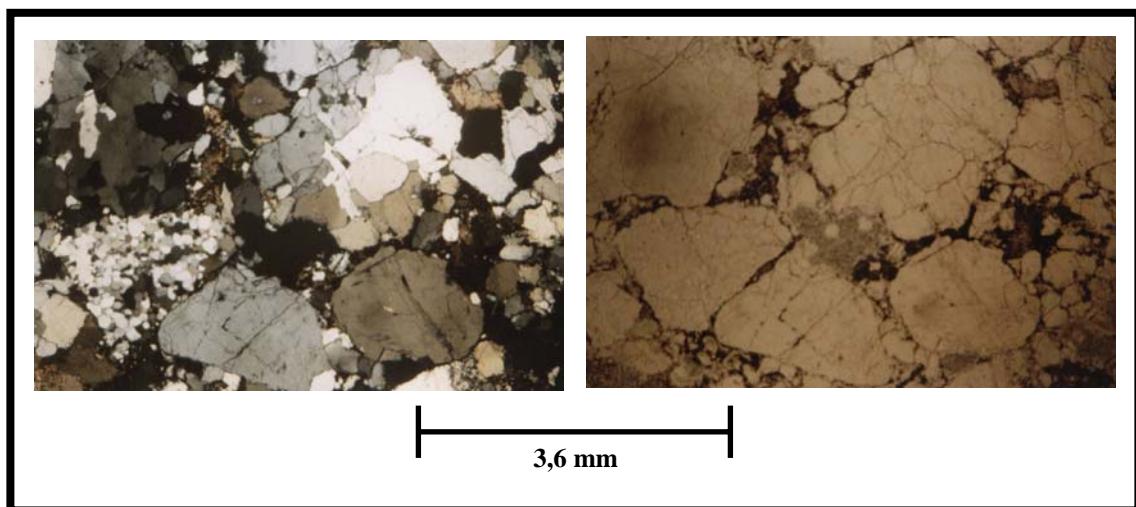


Figura 88. Fotomicrografía donde se nota la fractura en algunos granos de cuarzo. La porosidad predominante es interpartícula.

Obj. 2,5/0,08. Ocular 12,5x. A la izquierda con nícoles cruzados. Y a la derecha con nícoles paralelos

Presenta granos de cuarzo, con tamaño mínimo de 0,3 mm, máximo 4 mm y promedio 2,25 mm. Son los más abundantes dentro de la muestra, en su mayoría de angulosos a subangulosos. Pueden observarse varios tipos de cuarzo: monocrystalinos, policristalino. La distribución dentro de la sección no es homogénea. Los contactos son principalmente longitudinales y la porosidad es interpartícula, algunos granos están fracturados. Se observan también fragmentos de roca dentro de la sección tanto chert como de rocas sedimentarias (ver figuras 88 y 89).

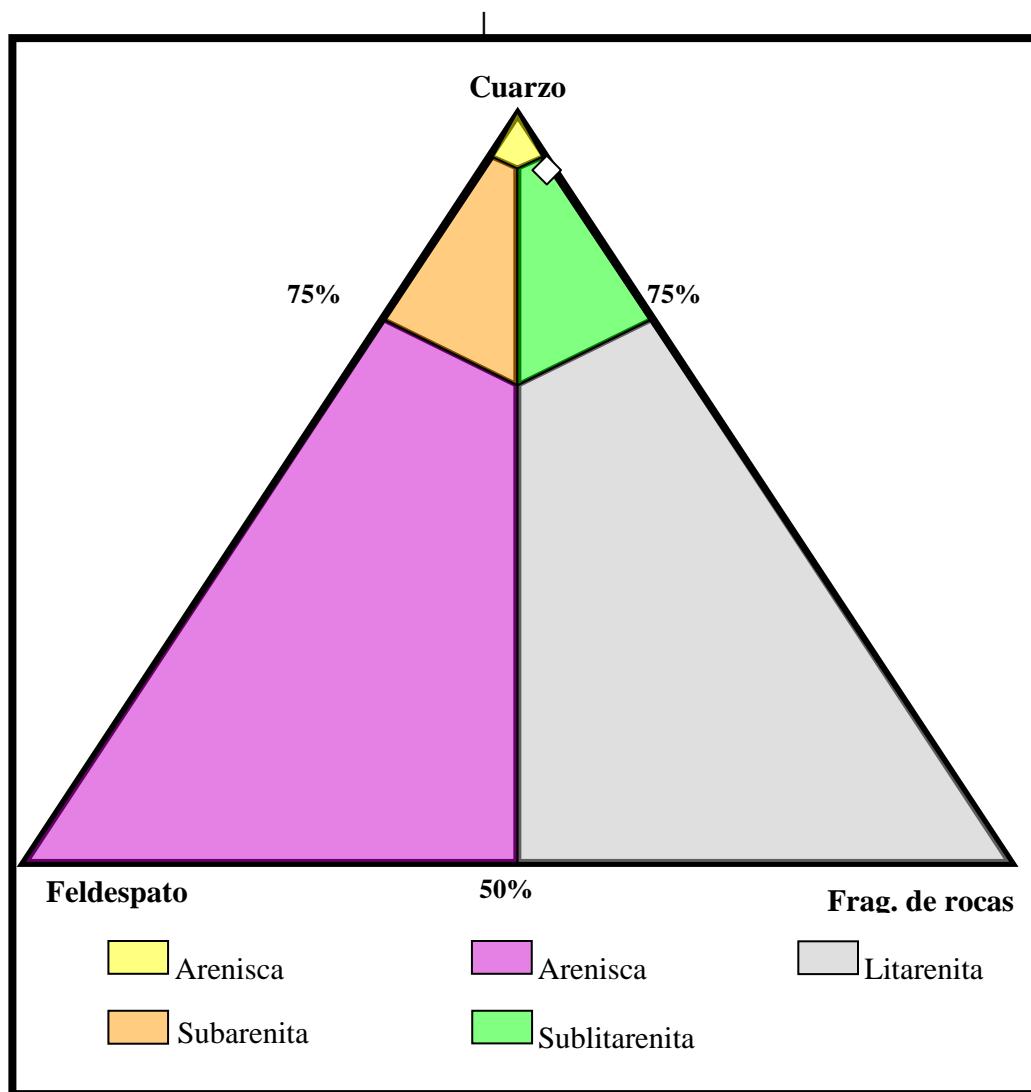
SEGÚN PETTIJOHN (1972): SUBLITARENITA

Figura 89 . Triángulo de clasificación de arenas terriégenas. (Modificado de Pettijohn *et al.* 1972), para la sección M46

5.2.8 Facies A5r : Sección M62:

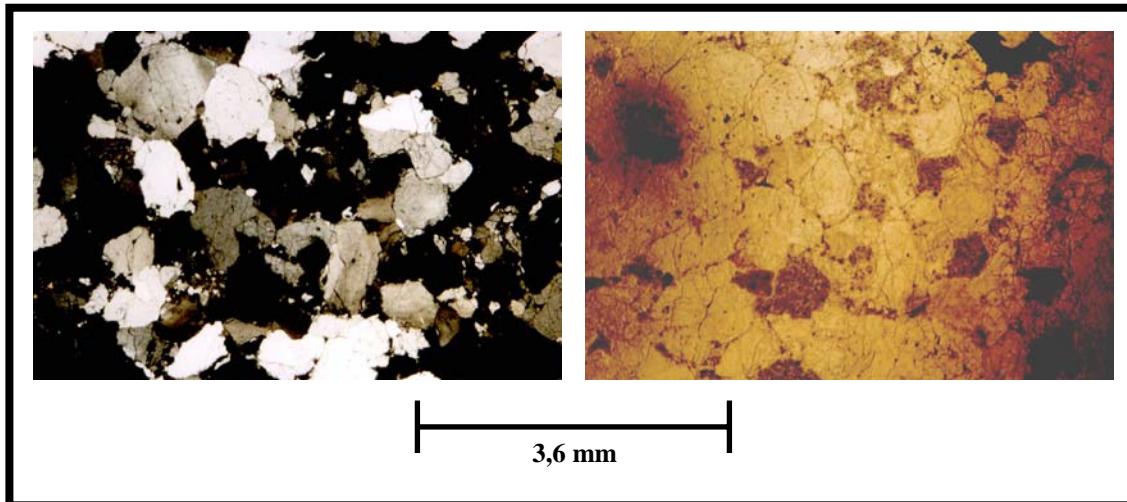


Figura 90. Fotomicrografía donde se observa cristales de cuarzo monocristalino y policristalino. Contactos longitudinales y cóncavo – convexo.
Obj. 2,5/0,08. Ocular 12,5x. A la izquierda con nícoles cruzados. Y a la derecha con nícoles paralelos

Se observan cristales granulares de cuarzo, con bordes subredondeados a subangulosos, el escogimiento tiende a ser malo a medio. El tamaño de grano mínimo es de 0,2 mm, el máximo es de 3 mm y el promedio es de 1,2 mm. Los contactos tienden a ser grano/grano del tipo longitudinal y en menor porcentaje cóncavo – convexo. Es la especie mineral más abundante dentro de la muestra, siendo su distribución homogénea. Pueden hallarse varios tipos: monocristalino, policristalino (ver figuras 90 y 91).

SEGÚN PETTIJOHN (1972): ARENISCA CUARZOSA

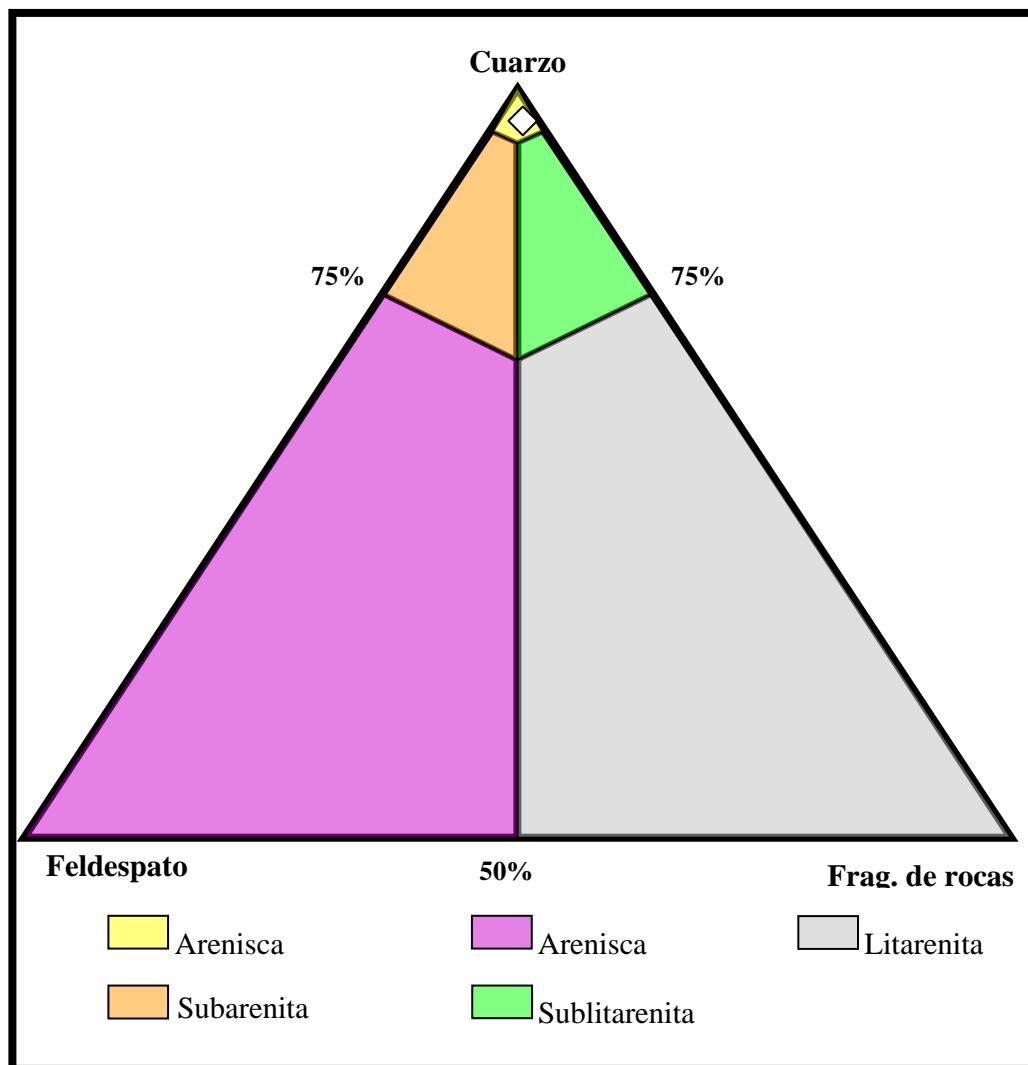


Figura 91. Triángulo de clasificación de arenas terrestres . (Modificado de Pettijohn *et al.* 1972), para la sección M62.

5.2.9 Facies A5c : Sección L6

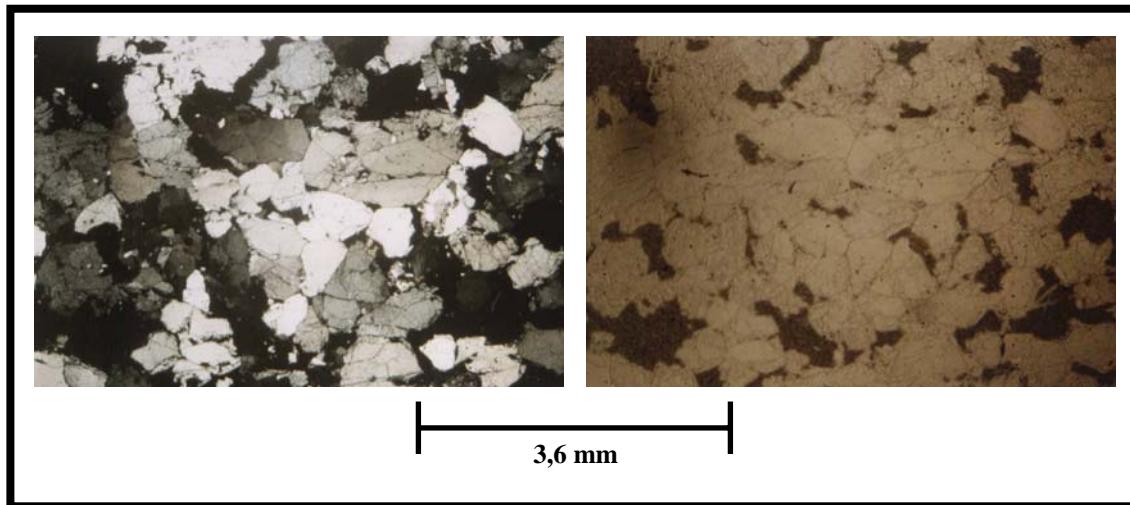


Figura 92. Fotomicrografía donde se observa el escogimiento medio en la sección y la homogeneidad con que se distribuyen los cristales en la sección. La porosidad predominante es interpartícula. Obj. 2,5/0,08. Ocular 12,5x. A la izquierda con nícoles cruzados. Y a la derecha con nícoles paralelos

Esta sección muestra un alto porcentaje (60%) de cristales de cuarzo con hábito granular, de bordes irregulares, de sub-angulosos a angulosos. El tamaño de grano mínimo es de 2,7 mm, el máximo 1,13 mm y el promedio es de 1,91 mm. El grado de escogimiento es mediano. Los contactos son grano/grano de tipo longitudinal, aunque se observan contactos grano/matriz. La distribución es homogénea dentro de la muestra. Se observan fracturas en los granos de cuarzo (ver figuras 92 y 93).

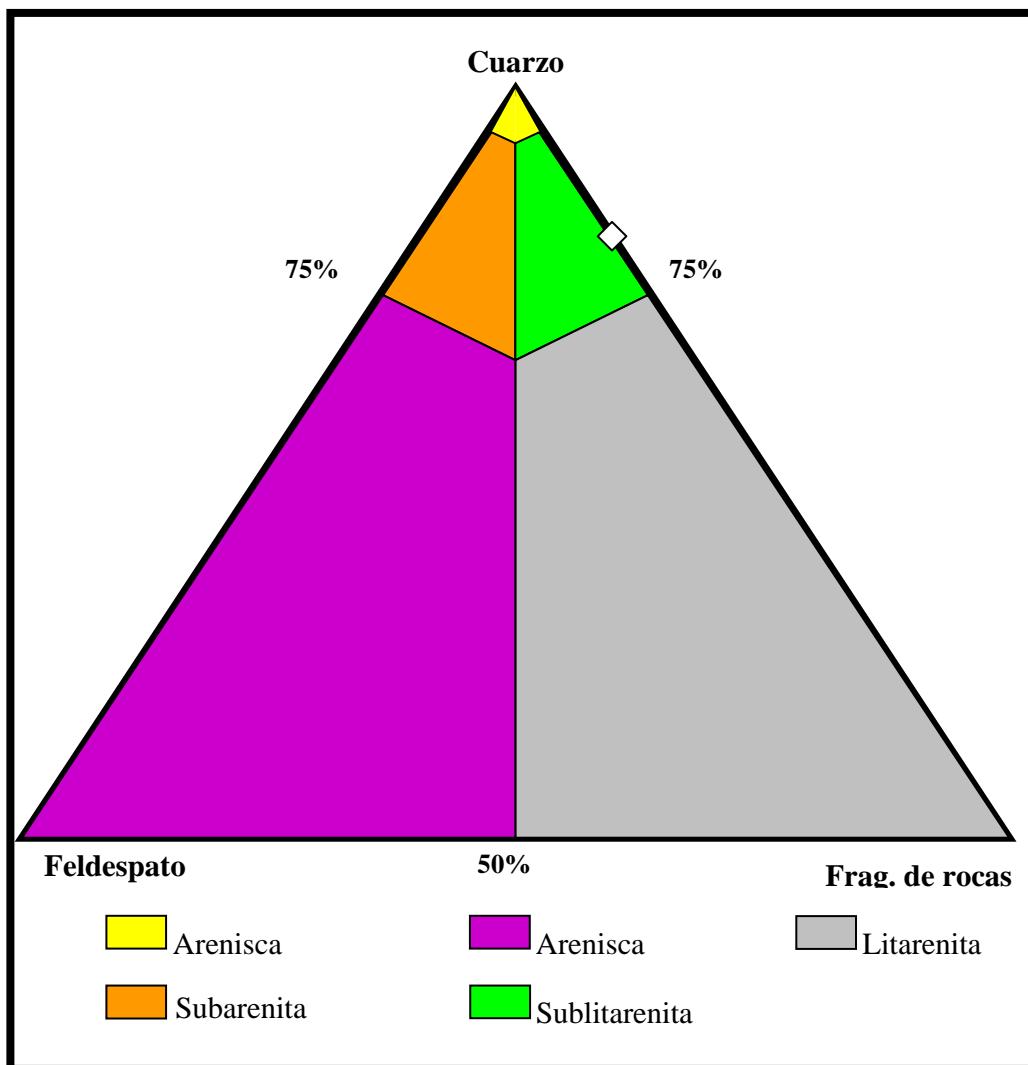
SEGÚN PETTIJOHN (1972): SUBLITARENITA

Figura 93. Triángulo de clasificación de arenas terrestres. (Modificado de Pettijohn *et al.* 1972), para la sección L6

5.2.10 Facies A4 : Sección K9

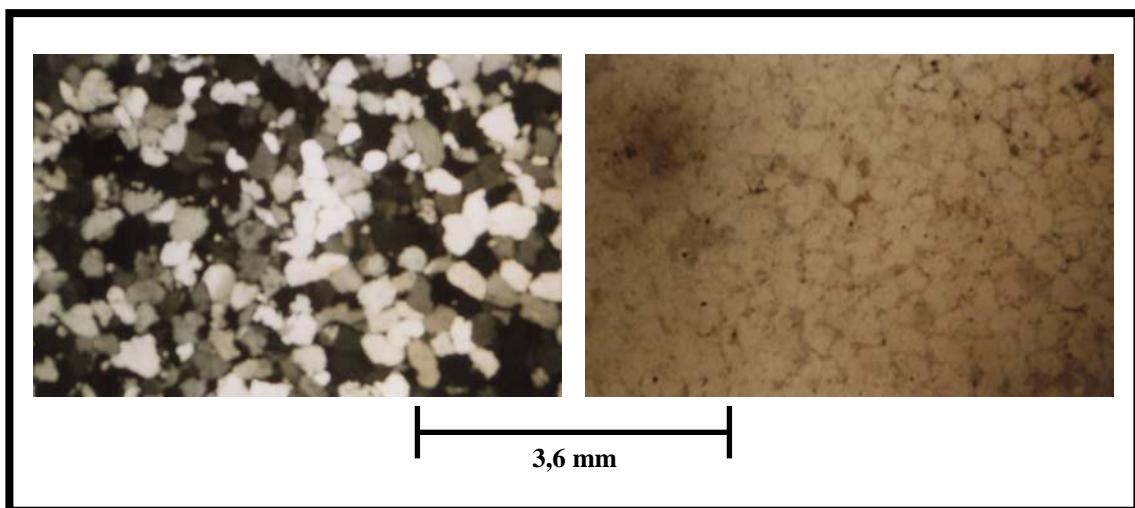


Fig. 94. Fotomicrografía donde se observa el escogimiento medio en la sección y la homogeneidad con que se distribuyen los cristales en la sección. La porosidad predominante es interpartícula.
Obj. 2,5/0,08. Ocular 12,5x. A la izquierda con nícoles cruzados. Y a la derecha con nícoles paralelos

Esta muestra es semejante a J5. Se observan cristales granulares de cuarzo, con bordes subangulosos; el escogimiento tiende a ser regular a medio, los mismos conforman la sección total en aproximadamente 50%. Tienen tamaño mínimo de 0,1 mm, máximo de 0,8 mm y promedio de 0,4 mm. Los contactos tienden a ser grano - grano, en mayor porcentaje es longitudinal. Es el mineral más abundante dentro de la muestra, siendo su distribución homogénea. Pueden hallarse varios tipos: monocrystalino, policristalino. Se observa porosidad es interpartícula hasta de un 24%. (ver figuras 94 y 95).

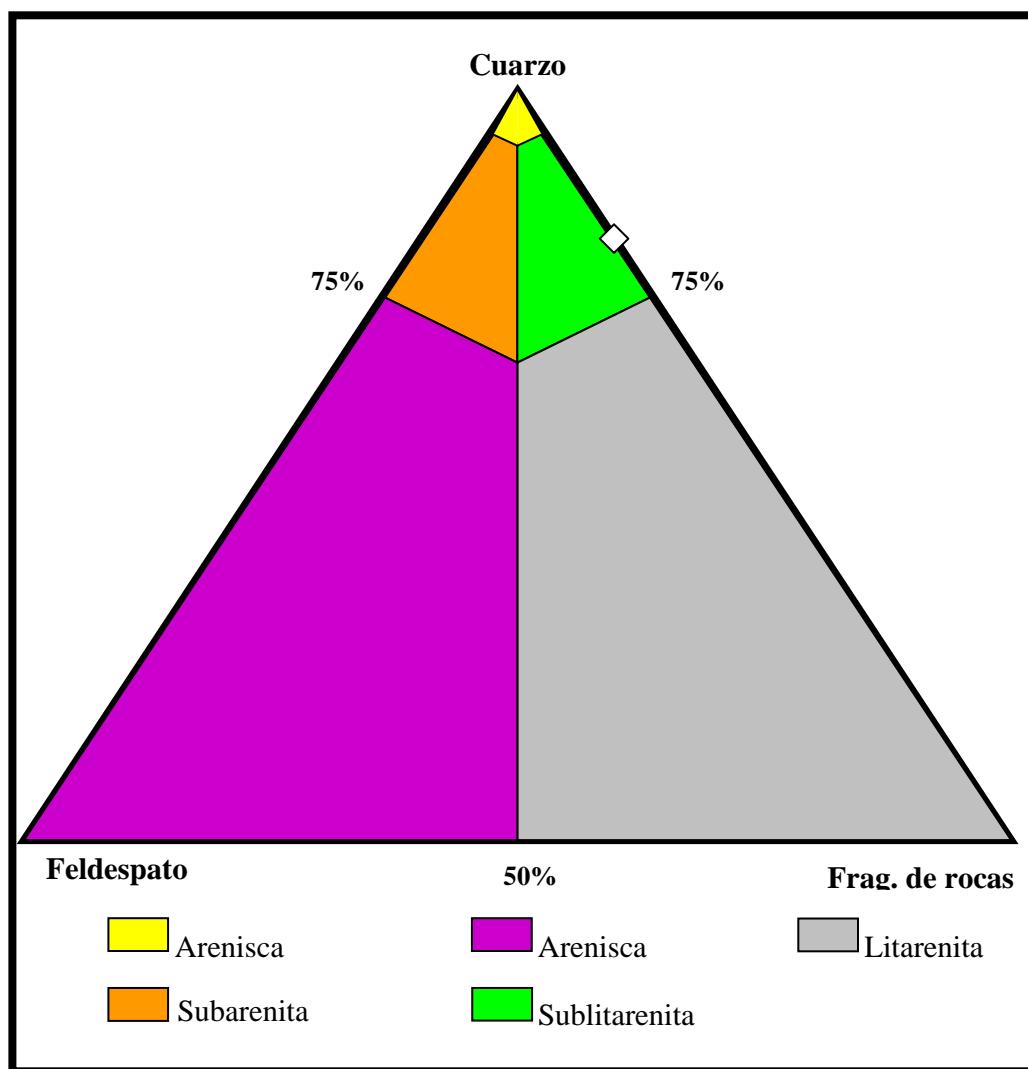
SEGÚN PETTIJOHN (1972): SUBLITARENITA

Figura 95. Triángulo de clasificación de arenas terrestres. (Modificado de Pettijohn *et al.* 1972), para la sección K9.

5.2.11 Facies CO7 : Sección D1-1

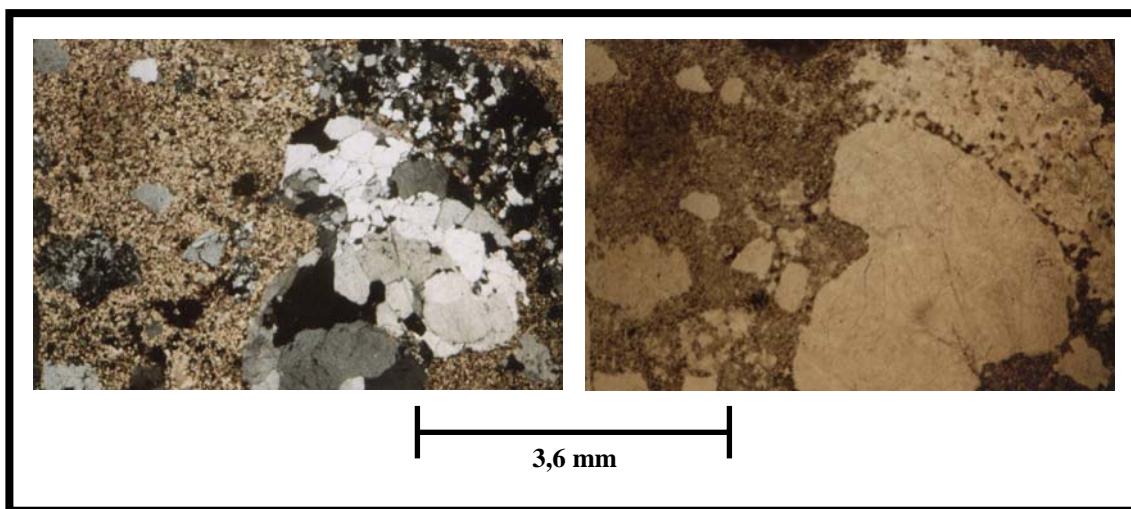


Figura 96. Fotomicrografía donde se observa el contacto grano – matriz con los cristales de cuarzo y la escasa porosidad presente en la sección.

Obj. 2,5/0,08. Ocular 12,5x. A la izquierda con nícoles cruzados. Y a la derecha con nícoles paralelos

Esta sección se compone de cristales de cuarzo en 55% de toda la sección y tienen un tamaño promedio de 2,25 mm. Se observa un 10% aproximadamente de matriz calcárea, los contactos presentes son grano - matriz y grano - grano siendo en su mayoría longitudinales y en ocasiones cóncavo – convexo, en algunos sectores se observan fragmentos de roca metamórfica pero los mismos no alcanzan el 1% de toda la sección. La porosidad en esta muestra es relativamente reducida, la misma no supera el 10% y es en su mayoría interpartícula, no se descarta porosidad por disolución.

Según el tamaño de grano de la clasificación según Wentworth la roca es un **conglomerado**, con tamaño de grano del tipo grava.

Nota: El tamaño de grano de esta roca es visible a simple vista y coincide aproximadamente con la medida observada al microscopio (ver figura 96).

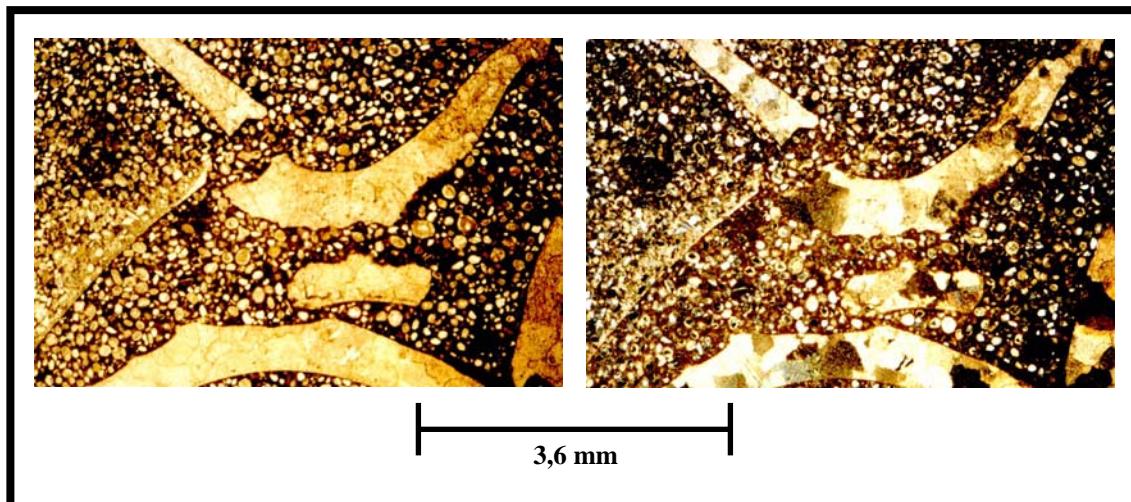
5.2.12 Facies CAf. Sección C11-11:

Figura 97. Fotomicrografía donde se observa los fragmentos de corales en la sección y el cemento de espato.

Obj. 2,5/0,08. Ocular 12,5x. A la izquierda con nícoles cruzados. Y a la derecha con nícoles paralelos

Se tienen intraclastos (Fr. de corales) de gran tamaño, es decir, utilizando el objetivo 3,5/0,10 los mismos sobrepasan los 2 mm.

Cemento de espato observable en la mayoría de la sección como manchas de precipitación dentro de espacios porales. (ver figuras 97 y 98).

SEGÚN MOUNT (1985): MICRITA ARENOSA

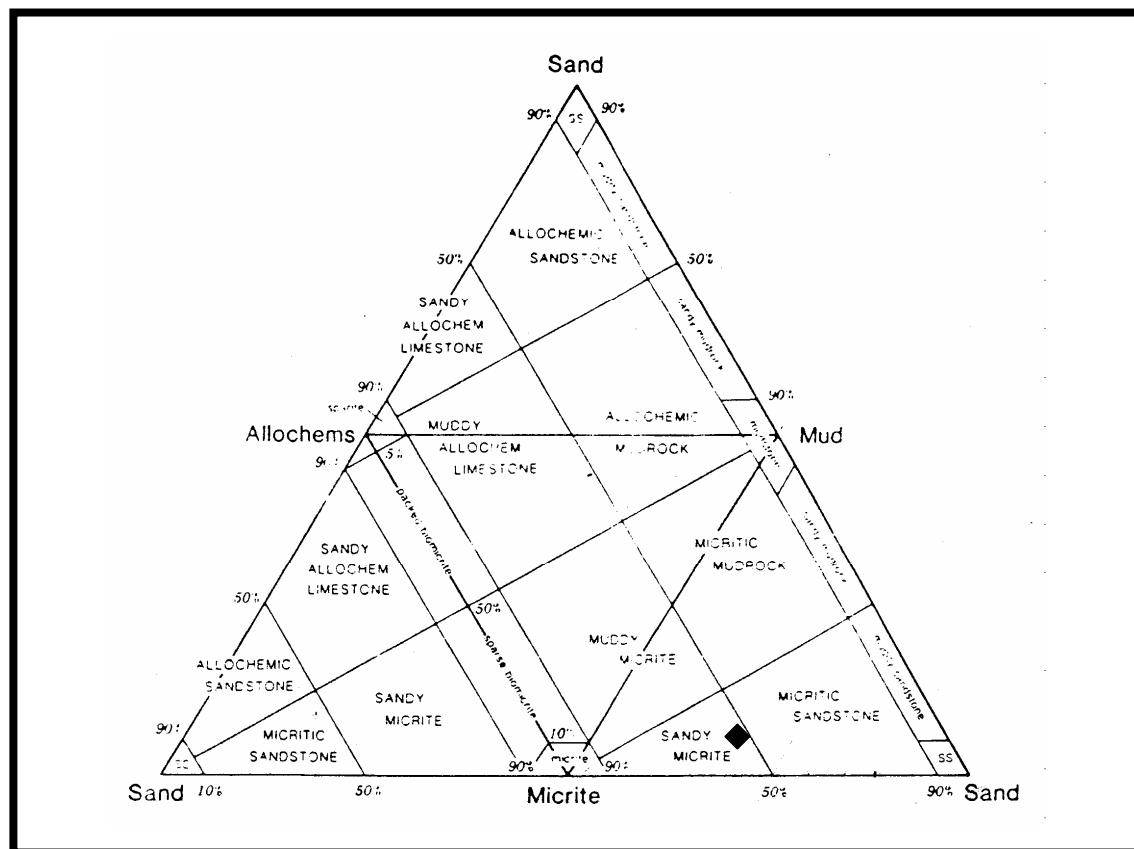


Figura 98. Triángulo de clasificación de carbonatos de mezclas (Mount, 1985), para la sección C11-11

5.2.13 Facies CAf : Sección D19-1

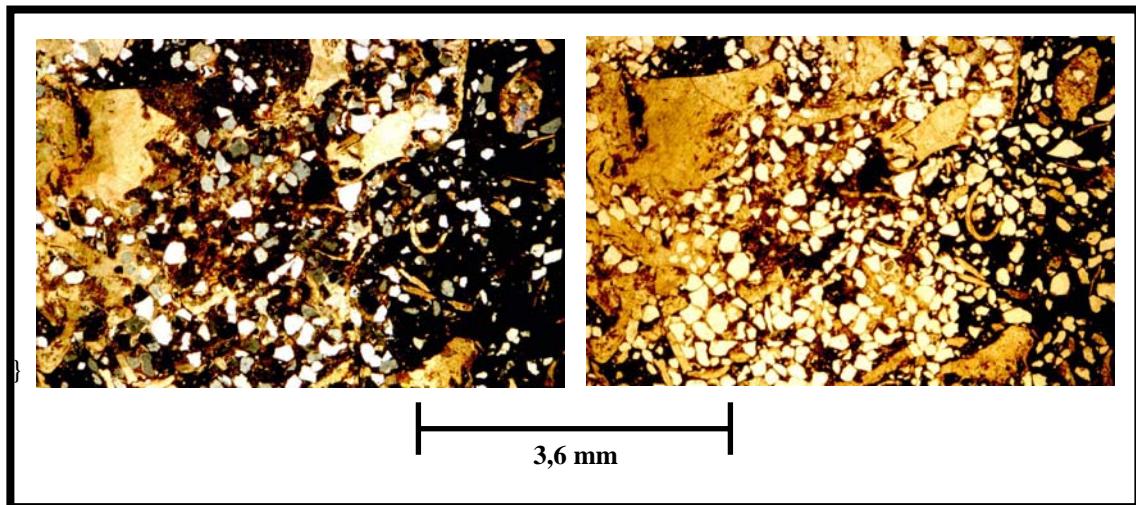


Figura 99. Fotomicrografía donde se observa el proceso de disolución tanto en los granos como en los fragmentos fósiles.

Obj. 2,5/0,08. Ocular 12,5x. A la izquierda con nícoles cruzados. Y a la derecha con nícoles paralelos

En esta sección se aprecia un proceso de disolución tanto en los granos como en los fragmentos fósiles.

Se tienen cementos de espato como de microespato. El cemento de espato se produce por precipitación en los espacios porales y se presenta como pequeñas manchas en la sección. El cemento de microespato es producto de la recristalización de una matriz micrítica (ver figuras 99 y 100).

SEGÚN MOUNT (1985): ARENISCA DE ALOQUÍMICOS.

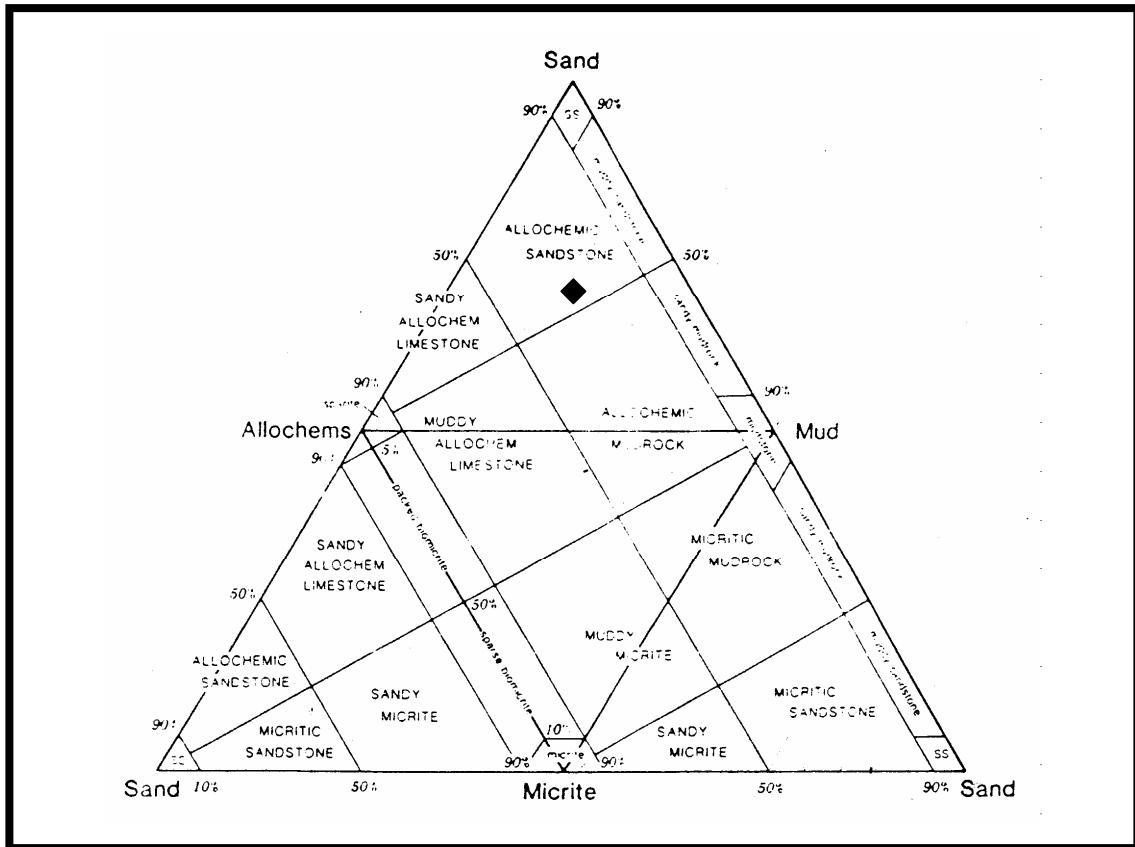


Figura 100. Triángulo de clasificación de carbonatos de mezclas (Mount, 1985), para la sección D19-1

6. ASOCIACION DE FACIES

6.1 GENERALIDADES

6.1.1 Facies

Este concepto fue introducido por Potter (1967) como "una agrupación de atributos sedimentarios que se asocian, incluyendo la geometría (espesores y extensión areal), continuidad y secuencia de unidades litológicas, tipos de rocas, estructuras sedimentarias y fauna (tipos y abundancia)" (Miall, 1990).

Miall (1990) citado por Bermúdez *et al.* (2003) indica que cada litofacies por separado puede representar un evento depositacional individual, y estas pueden ser agrupadas en asociaciones de litofacies que son la base para definir modelos de facies, que tienden a ser comúnmente cíclicos.

6.1.2 Ambientes

La zona de encuentro entre el mar y la tierra está compuesta por una compleja variedad de medios, que incluyen: deltas maréales, canales o pasos de marea, estuarios, llanuras de marea y bahías (ver figura 101).

La importancia de un conocimiento completo de este tipo de medios estriba tanto en las aplicaciones que tiene a la hora de una planificación de un dominio costero, como en la información que aporta a la hora de interpretar las diversas facies preservadas no es fácil establecer el límite entre el tránsito del medio fluvial al marino, como tampoco lo es la determinación de un medio específico, dado que si bien puede estar perfectamente caracterizado, frecuentemente presenta transiciones a otros medios con los que están asociados.

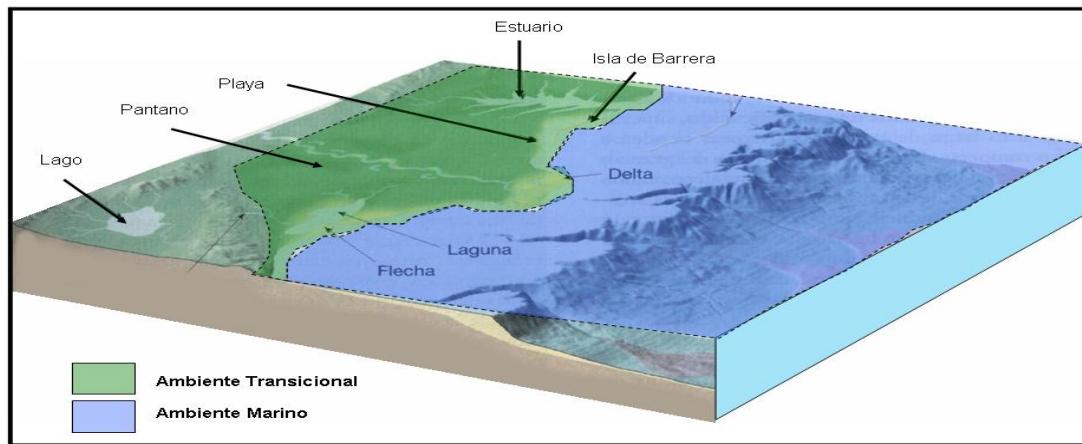


Figura 101.- Ambientes transicionales y marino. Tomado y modificado de Tarbuck & Lutgens

En este capítulo se ejemplifican las asociaciones de facies con fragmentos representativos de las columnas estratigráficas para cada tipo de sub ambiente depositacional, por lo que se anexa la leyenda (ver figura 102)



Figura 102.- Leyenda de las columnas estratigráficas

6.2 ASOCIACIONES

6.2.1 Asociación N° 1.- Paludal costero (AF1).

La asociación se compone de las litofacies **A3, A3c, L2 y C**. Se observan cinco secuencias en la columna “oeste”, una cercana a la parte media, de espesor 80 m, tres en la parte media y superior de la columna de espesores 160 m, 12 m y 130 m respectivamente, y la última se encuentra cercana al tope la cual presenta un espesor aproximado de 44 m. (**ver anexo 2**). Esta asociación representa el 14.3% de todas las secciones de estudio.

Las arcillas son mas abundantes, las areniscas presentan un tamaño de grano que varía de muy fino a fino, en donde los contactos entre facies se observan de forma abrupta. La estructura sedimentaria de las areniscas que domina en esta asociación es la estratificación cruzada. Los nódulos en su mayoría se encuentran embebidos dentro de las limolitas. Las lutitas carbonosas, aunque escasas se presentan de forma laminar intercaladas con pequeños lentejones de carbón .

De acuerdo a las características de estas facies, su distribución y la relación entre ellas podemos inferir que estamos en presencia de un pantano costero (ver figura 103).

Los ambientes pantanosos o fangosos (palustres), suelen tener una extensión geográfica limitada, y su duración (en escala geológica) es en general breve. Se caracteriza por el gran desarrollo de la vegetación acuática propia de aguas poco profundas, y está asociado geográficamente o por sucesión cronológica, a otros ambientes continentales, tales como el fluvial y el lacustre; pueden extenderse también sobre extensiones subaéreas de algunos deltas y en la proximidad de las líneas costeras marinas (pantanitos costeros): El ambiente paludal esta relacionado con

el clima húmedo y con el aplanamiento de las tierras emergidas que favorecen la escasez de los aportes detríticos y la existencia de vastas llanuras fluviales. Los sedimentos característicos del ambiente palustre son organógenos, y están constituidos por material vegetal acumulado en el lugar de crecimiento, o transportados por corrientes de agua. En los pantanos de extensión, situados a menudo junto a mar, se forman depósitos de carbón. Lentejones de turba o carbón, de dimensiones limitadas, se han originado en pantanos más pequeños asociados a ambientes fluviales o lagunares. En los pantanos se depositan también sedimentos clásticos, en general arcillas limosas mal clasificadas, además de hidróxido de Fe, de manganeso, en parte de origen bacteriano (Twenhofel, 1967).

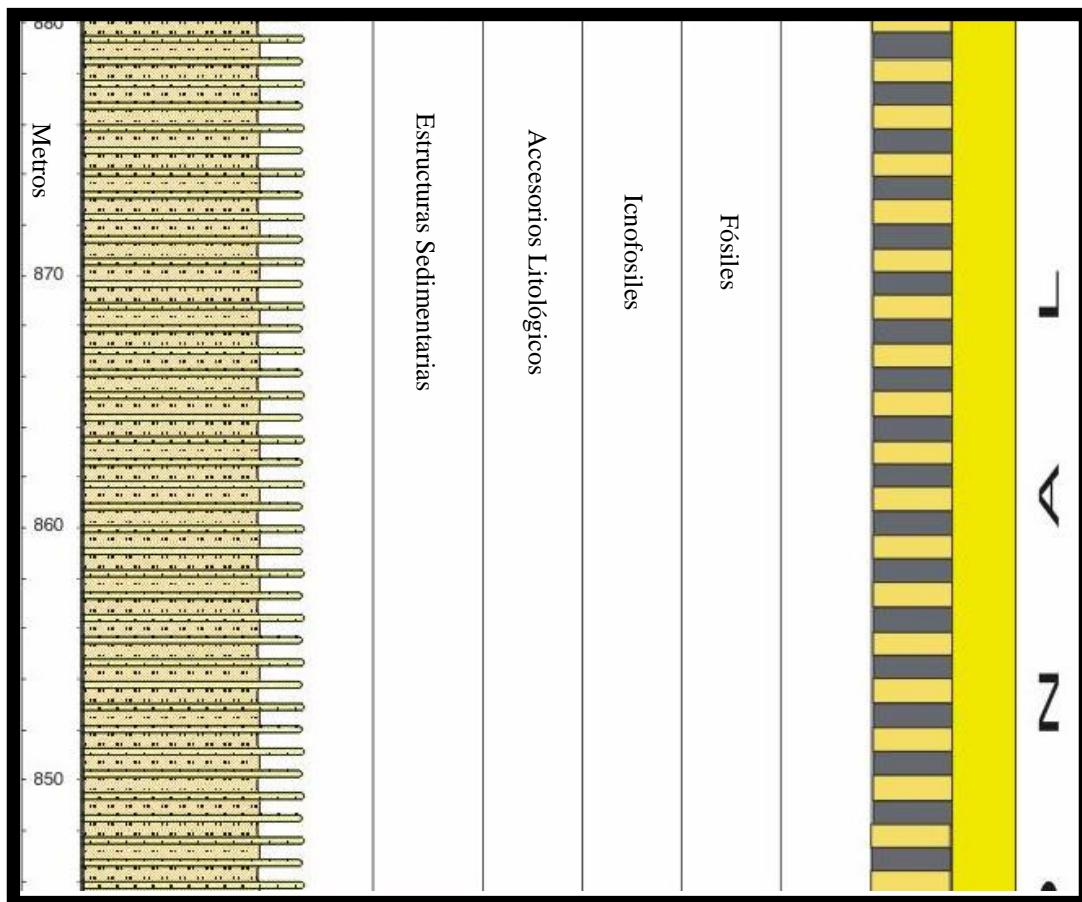


Figura 103.- Extracto de la columna estratigráfica 'oeste' que muestra una secuencia de limolitas, y areniscas de las facies L2 y A3 representando ambiente Paludal Costero. El tramo pertenece a la parte media de la columna.

6.2.2 Asociación Nº 2.- Laguna (AF2)

Esta asociación se encuentra constituida por las facies **A3** y **L1**, las cuales se presentan intercaladas sucesivamente, o en forma rítmica, siendo los contactos entre facies abruptos (ver figura 104).

En la columna ‘este’ se aprecian cinco secuencias que representan a esta asociación. Una cercana a la parte superior, tres en la parte inferior a media, y la última ubicada en la base, de espesores aproximados 30 m, 120 m, 38 m, 17m y 148m respectivamente (**ver anexo 1**).

En la columna ‘oeste’ se aprecian cinco segmentos de esta asociación, dos hacia el tope, dos en la parte inferior a media y uno en la base, de espesores aproximados 135 m, 40 m, 32 m, 73 m, 122 m respectivamente (**ver anexo 2**).

Esta asociación representa el 25.4% de todas las secciones de estudio. El tamaño de grano promedio para las areniscas es de muy fino a fino. En una de las secuencias que se encuentran en la parte superior de la columna ‘oeste’ hay un cambio notorio de areniscas a areniscas calcáreas, esto debido a que hubo una invasión marina la cual afectó enormemente a la laguna, para luego volver a retirarse.

En el 50% de las areniscas presentes en esta asociación se observan nódulos de óxido de Fe; mientras que en una secuencia ubicada hacia el tope de la columna ‘oeste’ las areniscas presentan bioturbaciones del tipo Ophiomorpha.

Según las características antes expuestas, se puede inferir un ambiente con condiciones de energía extremadamente bajas, con pequeñas variaciones en el nivel de sedimentación lo cual es reflejado por el contacto abrupto entre facies. Las

características mencionadas anteriormente son típicas de un ambiente de laguna costera.

Las lagunas costeras son masas de agua de comunicación parcial con el mar, situadas dentro de la franja arenosa, acumuladas por las olas y las corrientes costeras. Los sedimentos de estas lagunas son sobre todo clásticos y están constituidos por limos y arcillas, aportados por los ríos, pero en mayor cantidad por las mareas que penetran a través del cordón litoral arenoso. (Dunbar y Rodgers 1963).

Las secuencias de laguna generalmente consisten en intercalaciones e interdigitaciones de areniscas y arcillas que cubren generalmente grandes extensiones (Walker 1992). Esta variabilidad es claramente ilustrada por los estudios de lagunas modernas (Nichols 1999).

La sedimentación de estos materiales se realiza bajo condiciones de muy baja energía en el centro de la cuenca, el cual se caracteriza por ser de granulometría muy fina. En el caso de los márgenes o límites, donde los ríos inciden en las lagunas, y más específicamente hacia la zona litoral, donde la laguna se encuentra limitada y en contacto con la barra de playa, en la mayoría de los casos el nivel de energía es mayor, quizás dominado por mareas, y en estos lugares se pueden encontrar estratificación cruzada planar y marcas de rizaduras (Mc. Cubbin D.G., 1982, en Leal y Rivero 2004).

La presencia de areniscas litorales o playeras en las lagunas pueden ser producto de la acción de los vientos en las dunas y playas, transportando el material sedimentario retrabajado a los bordes de las lagunas o a sus partes centrales, donde luego de ser depositado se litifica bajo niveles de energía casi inertes.

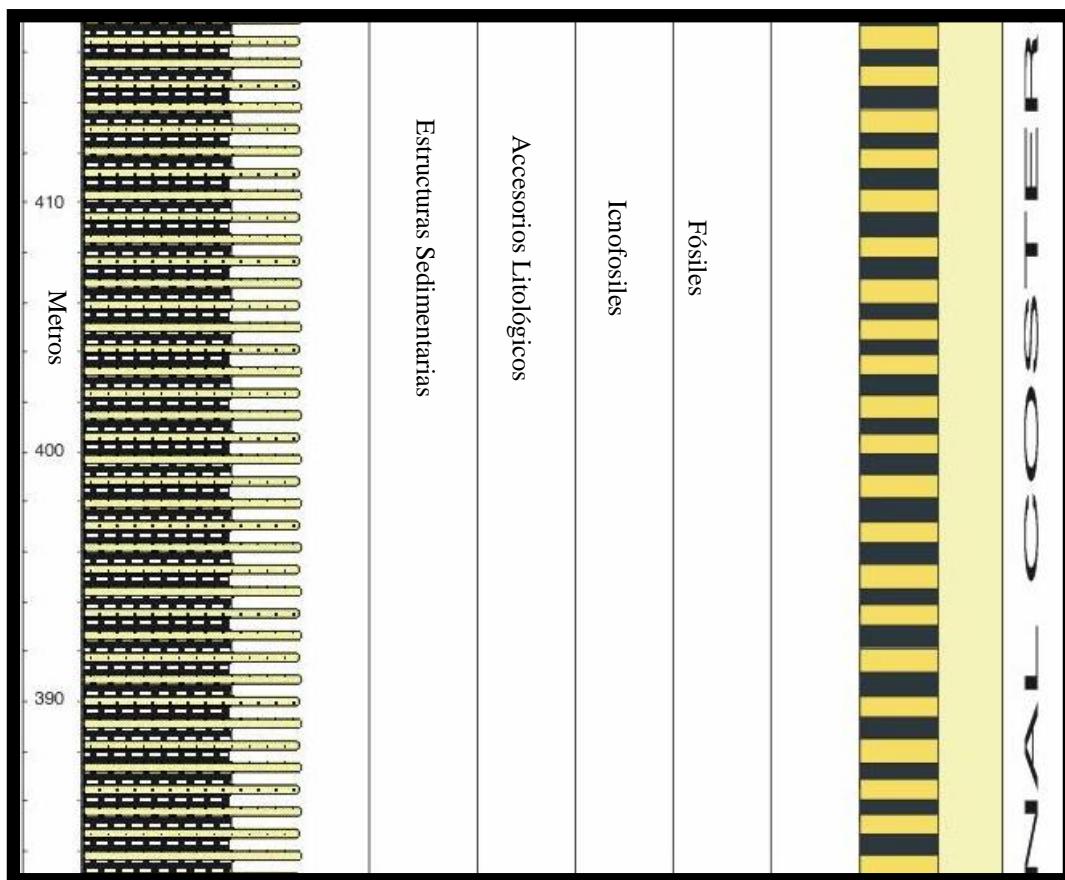


Fig 104.- Extracto de la columna estratigráfica 'oeste' que muestra una secuencia en intercalación de lutitas negras y areniscas de las litofacies A3 y L1, representando ambiente lagunar

6.2.3 Asociación N° 3.- Estuario (AF3).

Esta asociación se encuentra constituida por las facies **A3f, A3c, A3p, A3r, L1, L2, CAf, A4, A5, A5c y H.**

Se aprecian siete secuencias de esta asociación en la columna 'oeste', las mismas se distribuyen de la siguiente manera: dos entre la parte inferior y media de la columna, de espesores aproximados 14 m y 80 m respectivamente; dos en la parte media de la columna de espesores aproximados 17 m y 62 m y dos en la parte superior de la columna cuyos espesores son 52 m y 17 m y el último segmento se

encuentran en el tope de la columna con un espesor de 11 m. Esta asociación representa el 8,5% de todas las secciones de estudio. (**ver anexo 2**)

En la secuencia inferior de espesor 14 m y en la superior de espesor 11 m, las lutitas se encuentran intercaladas con areniscas que presentan tamaño de grano fino, rizaduras en sus topes, nódulos de óxido, estratificación cruzada festoneada y restos fósiles de bivalvos (pectínidos). El contacto entre ambas facies es abrupto.

La próxima secuencia que se encuentra cercana a la base de espesor 80 m, se encuentra compuesta por la intercalación de lutitas negras con presencia de nódulos y areniscas de grano fino, medio y grueso. En dichas areniscas se aprecian huellas de carga, conchas de bivalvos, nódulos de óxido de hierro e icnofósiles sin diferenciar. Sólo las areniscas de grano grueso exhiben estratificación cruzada. Los contactos entre las areniscas es transicional, mientras que con las lutitas es abrupto.

Los segmentos que se encuentran en la parte media de la columna cuyos espesores son 17 y 62 metros respectivamente están constituidos por la intercalación no rítmica de areniscas, areniscas calcáreas, calizas y lutitas, donde los contactos se muestran de forma abrupta. El tamaño de grano de las areniscas varía de fino a medio, las calcáreas son de grano fino, con moldes de conchas de pectínidos, icnofósiles sin diferenciar y nódulos de óxido de Fe. Las calizas presentan fósiles de pectens y turritellas bien preservados, además de icnofósiles sin diferenciar.

Las secuencias que se encuentran en la parte superior de la columna cuyos espesores son 52 y 17 metros respectivamente están constituidos por la asociación de areniscas, areniscas calcáreas, heterolitas y lutitas, donde los contactos se muestran de forma abrupta. Las areniscas comúnmente son cuarzosas con tamaños de grano que varían de fino a grueso, exhiben huellas de carga y rizaduras. Las areniscas calcáreas son de grano fino, con conchas de pectínidos, huellas de Ophiomorpha y nódulos de óxido de Fe. Las Heterolitas contienen pequeños nódulos de óxido de Fe.

Un estuario es un cuerpo de agua semiencerrado en la costa, que tiene libre conexión con el mar abierto donde el agua de mar es mesurablemente diluida con agua dulce derivada de los drenajes continentales (Pritchard, 1967)

El agua dulce se mueve hacia la costa en superficie y se mezcla progresivamente con agua del mar, generándose como composición una corriente profunda de agua marina en dirección al drenaje. De esta forma el drenaje afecta a la ascensión de aguas marinas que pueden ser ricas en nutrientes. (Margalef, 1983).

En estas aguas próximas a la superficie, los calentamientos y enfriamientos producen amplios cambios de temperatura tanto en el agua del río como en las aguas marinas. Las bajas temperaturas coinciden frecuentemente con una salinidad muy pequeña (Tait, 1971).

Los aportes orgánicos del río, y la deriva marina, fertilizan directamente a los estuarios y marismas costeras. La abundante materia orgánica que el agua dulce lleva consigo se mezcla con el agua del mar y precipita. Las partículas minerales como las arcillas, resultan estar menos cargadas al llegar al agua del mar y se comportan de manera diferente, las relaciones entre Ca y Mg varían fuertemente sobre una distancia corta y contribuyen a las especiales características del ambiente bentónico local. (Margalef, 1983)

En función de los procesos marinos que han actuado en la boca del estuario se distinguen los principales tipos:

- 1) estuarios con entradas relativamente anchas y profundas, con un intercambio mareal completo
- 2) estuarios con entradas formadas por estrechos canales, en los que las mareas son atenuadas
- 3) estuarios que tienen su entrada cerrada bajo la mayor parte de las condiciones

Estos tipos de estuarios surgen de los controles primarios que actúan de manera jerárquica. Primero, el inherente a la topografía costera que controla el modo de sedimentación de arenas marinas en valles costeros sumergidos: los primeros tipos de estuarios descritos tienen deltas mareales subacuáticos, mientras que los estuarios con entradas estrechas o mayormente cerradas, aparecen detrás de barreras arenosas costeras que se elevan por encima del nivel marino. En segundo lugar, las descargas fluviales, en combinación con los procesos marinos que actúan en la boca del estuario, determina cuando la entrada de los canales a través de las barreras costeras permanecen abiertas o cerradas por largos períodos. (Margalef, 1983)

Bajo condiciones estables del nivel marino, la evolución de los estuarios sucede a consecuencia del relleno por sedimentos, dando origen a una serie de etapas progresivas desde el estadio juvenil a la madurez. La colmatación se realiza desde el mar por aportes de arenas, o desde tierra por arenas o fangos fluviales. Los restos calcáreos de animales y materias orgánicas de plantas son incorporados a los sedimentos durante o después de los momentos de deposición. El tipo de estuario, tamaño de la cuenca y sedimentos aportados, condiciona el grado de relleno del estuario. (Margalef, 1983).

Debido a las características que definen a los ambientes estuarinos y la relación de litofacies que componen esta asociación se puede inferir que la sección estudiada corresponde a un ambiente de estuario (ver figura 105) formado por la influencia intermareal, y por otra parte el aporte fluvial permite una sedimentación de material limoso en condiciones de baja energía.

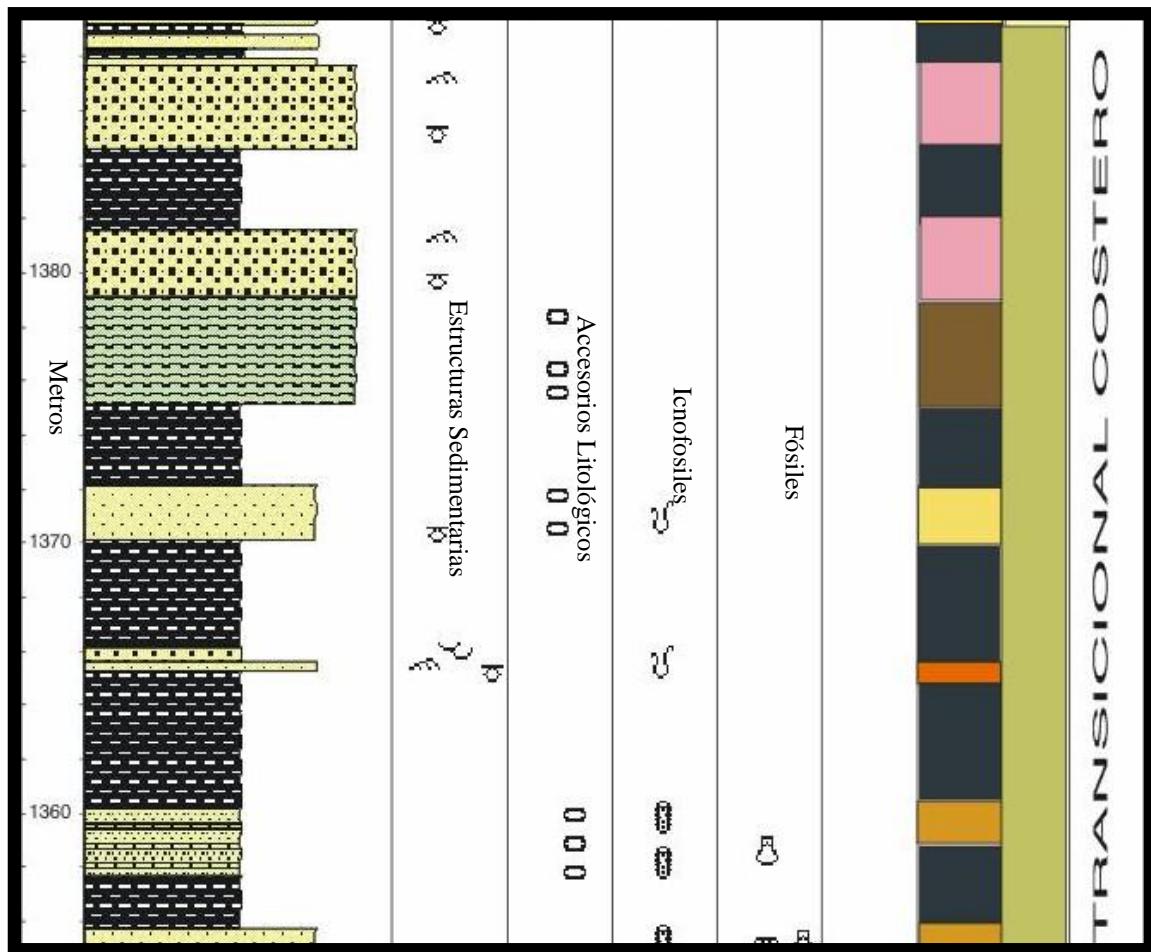


Figura 105.- Extracto de la columna estratigráfica ‘oeste’ que muestra una secuencia de lutitas negras, arenisca calcárea fosilífera, arenisca fosilífera, areniscas de grano grueso y heterolíticas de las litofacies L1 , A3, A3f, A5r y H representando un ambiente de Estuario con influencia intermareal. El tramo pertenece a la parte superior de la columna.

6.2.4 Asociación N° 4.-Abanico de Rotura (AF4).

Se aprecian dos secuencias de esta asociación, ubicadas en la parte central de la columna ‘este’, en donde los espesores de ambas secuencias son de 8 m aproximadamente. Se compone por la litofacies **A3** y **A4**. Esta asociación representa el 0,5% de todas las secciones de estudio.

De acuerdo a las características de estas facies, su distribución y la relación entre ellas podemos inferir que estamos en presencia de un abanico de rotura (ver figura 106).

La influencia arenosa que origina los abanicos de roturas, dentro de los depósitos estuarinos, está representada por areniscas con tamaños de grano fino, las cuales presentan en sus topes tamaños de grano medio. Se encuentran en contacto superior e inferior abrupto con los depósitos de los estuarios AF3.

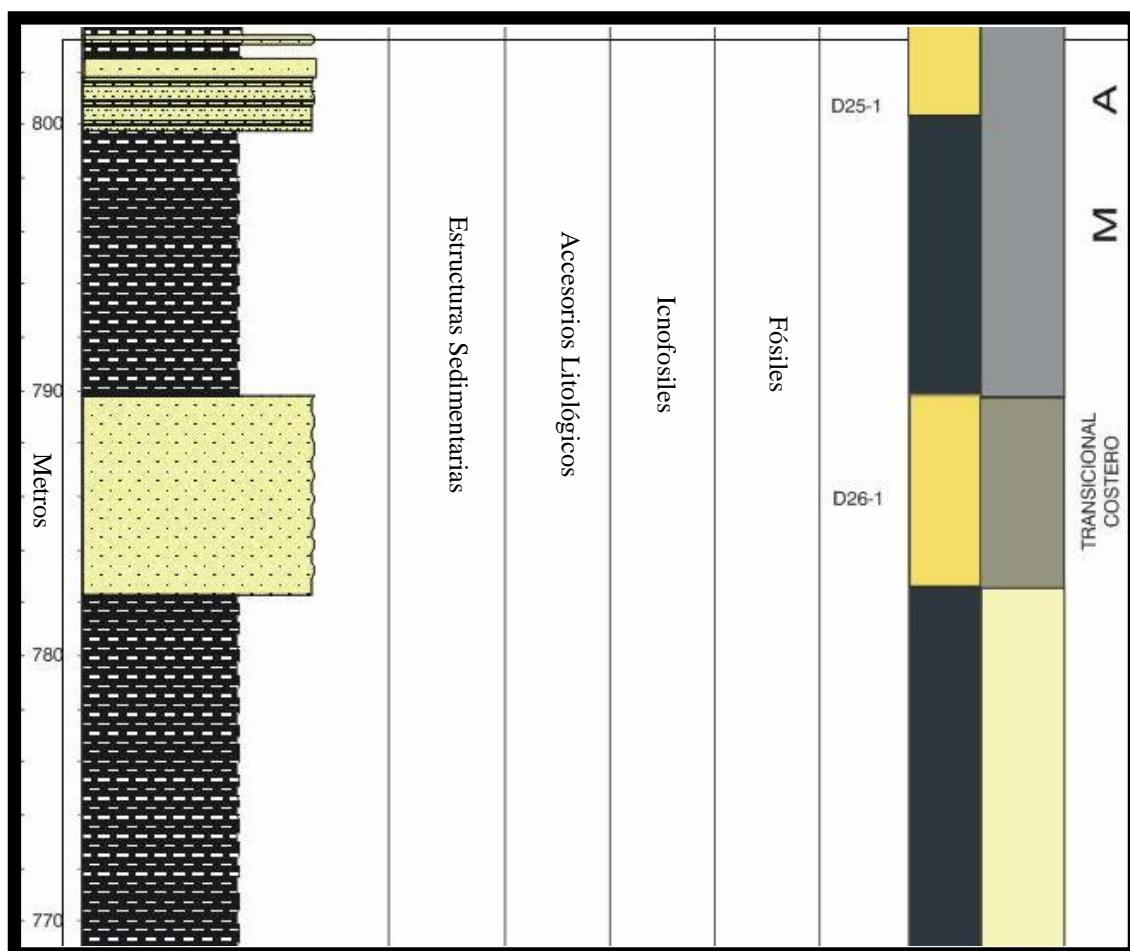


Figura 106.- Extracto de la columna estratigráfica 'este' que muestra una capa de espesor considerable de arenisca de la facies A3, la cual representa un Abanico de rotura. El tramo pertenece a la parte media de la columna.

Debido a las características que definen a las abanicos de rotura y la relación con la asociación de facies realizada se puede inferir que la sección estudiada corresponde a dicho ambiente, formado bajo la acción de eventos que permiten inferir un nivel de energía moderado.

6.2.5 Asociación Nº 5.- Litoral de Costa Alta (AF5).

La asociación se compone de las litofacies **L1, L2, CA, CO7** y **A3**. Se observan dos secuencias en la columna ‘este’, una en la parte media a superior y la otra en el tope de la misma, cuyos espesores son 45 m y 6 m respectivamente. Esta asociación representa el 1,7% de todas las secciones de estudio (**ver anexo 1**).

Las limolitas y calizas son las más abundantes. Las limolitas contienen fragmentos de conchas de bivalvos, fragmentos fósiles sin diferenciar y pequeños nódulos de óxido de Fe. Las calizas poseen gran cantidad de nódulos de Fe y no se observa ningún contenido fósil.

Las areniscas son de grano fino y se presentan en capas delgadas, mientras que en los conglomerados el grano varia de gránulos a gravas. El contacto entre las distintas facies que componen esta asociación es del tipo abrupto.

El ambiente litoral se presenta en la faja de costa comprendida entre los niveles de pleamar y bajamar, que determinan la emersión y la inmersión periódica de esta zona. Este ambiente, en el que la sedimentación está condicionada por factores esencialmente mecánicos, constituye la transición del ambiente continental por una parte y al ambiente nerítico por otra. La distinción geomorfológica entre costa alta y costa baja viene reflejada también por el tipo de sedimento que se origina en cada una de ellas. A lo largo de la costa alta se acumulan grandes bloques arrancados a los acantilados por la acción erosiva de las olas; estos bloques llegan a formar una

estrecha y poco potente franja, que lateralmente puede transformarse en sedimentos arenosos o limosos fosilíferos. Más típicas de costas altas son las formaciones arenosas que localmente presentan aspecto conglomerático, por lo que se puede inferir un alto nivel de energía. Dunbar & Rodgers (1963)

Debido a las características que definen a los ambientes litorales de Costa Alta y la relación con la asociación de facies realizada se puede inferir que la sección estudiada corresponde a este ambiente (ver figura 107), formado bajo la acción de procesos mecánicos en los cuales los niveles de energía son altos, por lo que se tiene la presencia de conglomerados.

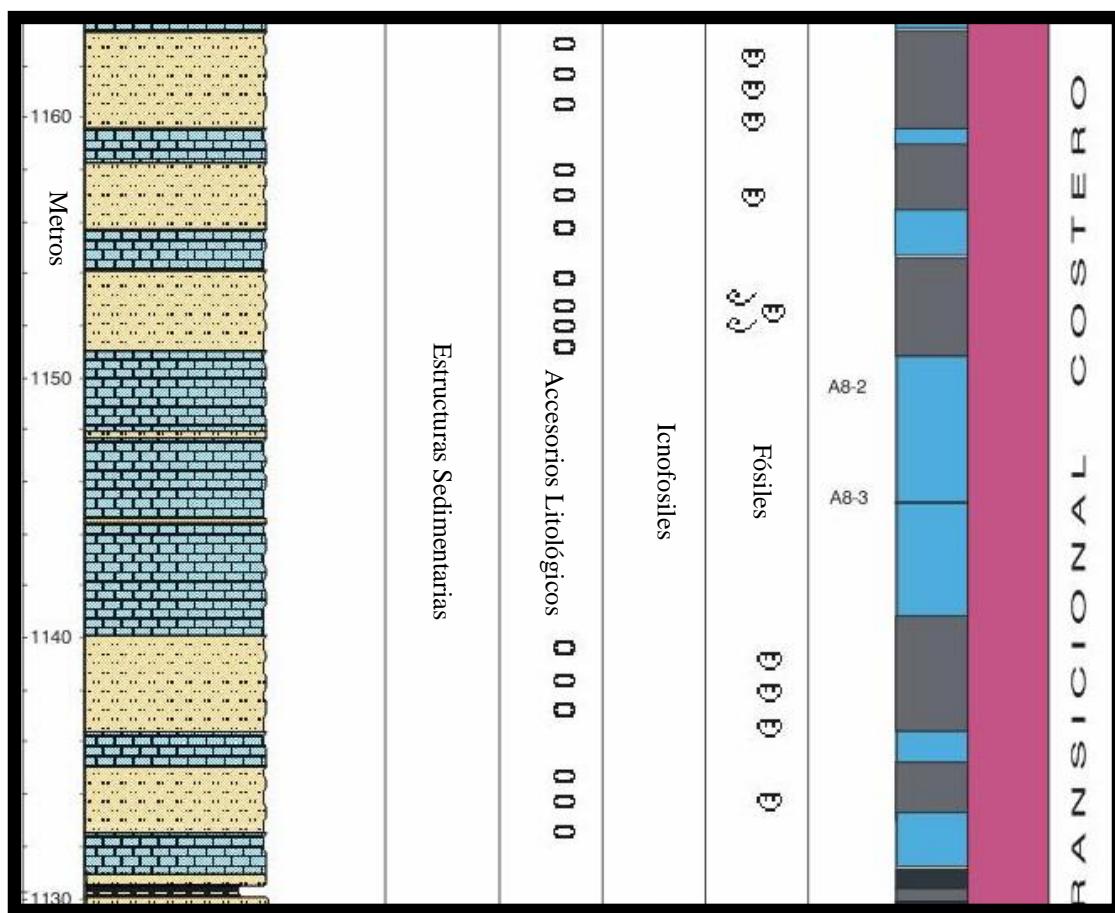


Figura 107.- Extracto de la columna estratigráfica ‘este’ que muestra una secuencia de limolitas fosilíferas, lutitas y calizas de las facies L2, L1 y CA representando ambiente Litoral de Costa Alta . El tramo pertenece a la parte superior de la columna.

6.2.6 Asociación N° 6.- Litoral de Costa Baja (AF6).

La asociación se compone de las litofacies **A3r, A3f, L2, CO7 y L1**, Se observan dos secuencias en la columna ‘oeste’, una entre la parte media e inferior y otra entre la zona media y parte superior de la misma, cuyos espesores son 30 m y 18 m respectivamente (ver figura 108). Esta asociación representa el 1,6% de todas las secciones de estudio. Los contactos entre estas facies se observan de tipo abrupto. (ver anexo 2)

Las lutitas se encuentran intercaladas rítmicamente con areniscas de grano fino y conglomerados; mientras que las limolitas se encuentran intercaladas rítmicamente con areniscas y conglomerados.

Las areniscas comúnmente presentan rizaduras simétricas y huellas de carga muy marcadas. El tamaño de grano de los conglomerados varía de gránulos a gravas.

Los depósitos de costa baja están constituidos sobre todo por arenas cuarzosas; estos sedimentos se hallan representados por formaciones de vasta extensión, pero de espesor reducido, las cuales se originan durante transgresiones marinas sobre zonas continentales aplanadas (Dunbar & Rodgers, 1963).

Al pie del litoral se encuentra una acumulación de las fracciones más gruesas de sedimento disponible y de fósiles que forman el escalón. Su estructura interna consiste de estratificación cruzada apuntando hacia el mar si el tamaño de grano permite su desarrollo; en otros casos, cuando el tamaño es muy grueso, sólo se encuentra la acumulación. Inmediatamente hacia el mar, suelen formarse además ripples de oscilación de cresta recta que indica condiciones de baja energía. Esta curiosa coincidencia que sugiere a la vez energía alta y baja se debe al frenado brusco de la lámina de agua que retorna al mar arrastrando mucho sedimento pendiente

debajo de la zona de batida, cuando llega al cambio de pendiente y choca con las olas que llegan a la orilla (Boggs 1992).

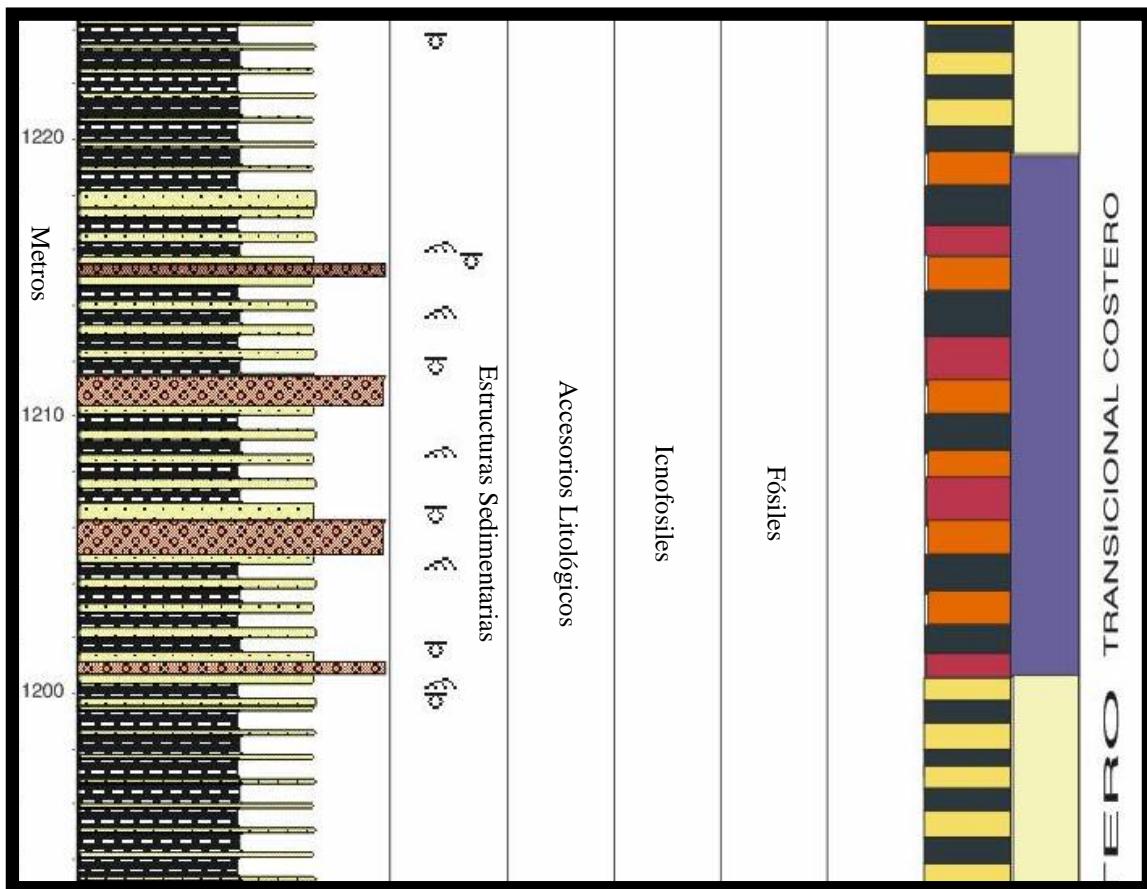


Figura 108.- Extracto de la columna estratigráfica 'oeste' que muestra una secuencia de lutitas, areniscas y conglomerados de las facies L1, A3 y CO7 representando ambiente Litoral de Costa Baja . El tramo pertenece a la parte superior de la columna.

6.2.7 Asociación N° 7.- Sublitoral interno (AF7)

En la columna 'este' se observan 5 secuencias de esta asociación, una en el tope, una en la parte media a superior, una en la parte media y dos cercanas a la parte inferior de la columna. Las litofacies que componen esta asociación son **CA**, **CAF**, **L1, L2, H** y **A3**.

El espesor de la secuencia superior es de 54 m en los cuales las calizas presentan espesor promedio de 3,6 m y 3 m las lutitas. El espesor de la secuencia inferior es de 134 m constituida por grandes espesores de lutitas asociadas con areniscas. La secuencia ubicada en la parte media tiene un espesor de 124 metros aproximadamente, donde las calizas varían entre 0,5 m y 1,4 m, las areniscas calcáreas tienen un espesor de 0,9 m, las lutitas 3,6 m y las areniscas de grano fino 1,5 m. Los espesores de los últimos segmentos son 134 m y 81 m respectivamente en donde las calizas miden 1 metro en promedio y las lutitas 20 m. Esta asociación representa el 17,7% de todas las secciones de estudio. Los contactos entre estas facies son del tipo abrupto. (**ver anexos 1 y 2**)

De base a tope, las dos primeras secuencias de espesores 81 y 134 metros, están conformadas por la asociación de grandes espesores de lutitas negras y calizas cuyo contenido fósil corresponde a turritellas, conchas y huellas de pectinidos bien preservados, fragmentos fósiles sin diferenciar y pequeños nódulos de óxido de Fe.

La secuencia ubicada en la parte media de la columna ‘este’ de 124 metros de espesor, está conformada primeramente de base a tope por la intercalación rítmica de areniscas calcáreas de grano fino y lutitas negras. Las areniscas calcáreas son fosilíferas, con alto contenido de pectínidos. Luego la intercalación rítmica pasa a ser de calizas fosilíferas y lutitas. Las calizas poseen conchas bien preservadas de pectínidos. Se observa también la presencia de dos capas de areniscas de grano fino de 1 metro de espesor.

El segmento que se encuentra entre la parte media y el tope de la columna ‘este’, cuyo espesor es de 134 metros, está conformado por grandes espesores de lutitas negras con nódulos de óxido de Fe, asociadas con areniscas de grano fino y un pequeño paquete de heterolitas de 2 metros de espesor.

La última secuencia que se encuentra en el tope de esta columna de espesor aproximado 54 metros, está compuesta por la intercalación rítmica de calizas fosilíferas y lutitas. Las calizas presentan conchas de pectínidos bien preservadas.

En el ambiente nerítico sublitoral interno, la intensidad de la luz es moderada a baja, la cantidad de oxígeno es típicamente moderada, el agua es salada, ocasionalmente hipersalina, los sustratos son firmes a blandos y la turbidez es de moderada a alta. Los sedimentos van de grano fino a medio. Se presentan depósitos tabulares carbonáticos y en algunos casos evaporíticos. (Manual de Facies Clásticas, 1976).

Según Dunbar & Rodgers (1963) los sedimentos depositados en los primeros metros del ambiente nerítico están muy influenciados por el ambiente costero debido a que los materiales son constantemente removidos por las olas. Dentro de esta zona se encuentra también una franja de tierra firme donde el viento puede transportar y depositar arenas costeras.

En la zona más externa de este sublitoral las arenas se depositan en estratos levemente inclinados hacia el mar, los cuales están formados por láminas paralelas, cada una de las cuales se constituyen durante un período en que la intensidad de la resaca es casi igual.

Las arenas sedimentarias de los primeros metros de profundidad de los ambientes neríticos difieren de las del litoral por un menor desarrollo de las laminaciones paralelas, que a veces son sustituidas por las laminaciones cruzadas.

La fauna propia es regular y localizada en pequeñas depresiones del fondo al resguardo de la acción mecánica del oleaje. Abundan los moluscos, crustáceos y anélidos, corales, briozoarios, equinodermos cavadores.

Las características que definen a un ambiente nerítico sublitoral interno y la relación de ellas con la asociación de facies realizada permite inferir que esta sección corresponde a dicho ambiente (ver figura 109), en la que se tienen depósitos de sedimentos de grano fino de espesores considerables intercalados con sedimentos carbonáticos con presencia de organismos marinos bien preservados por lo que infiere un nivel de energía bajo.

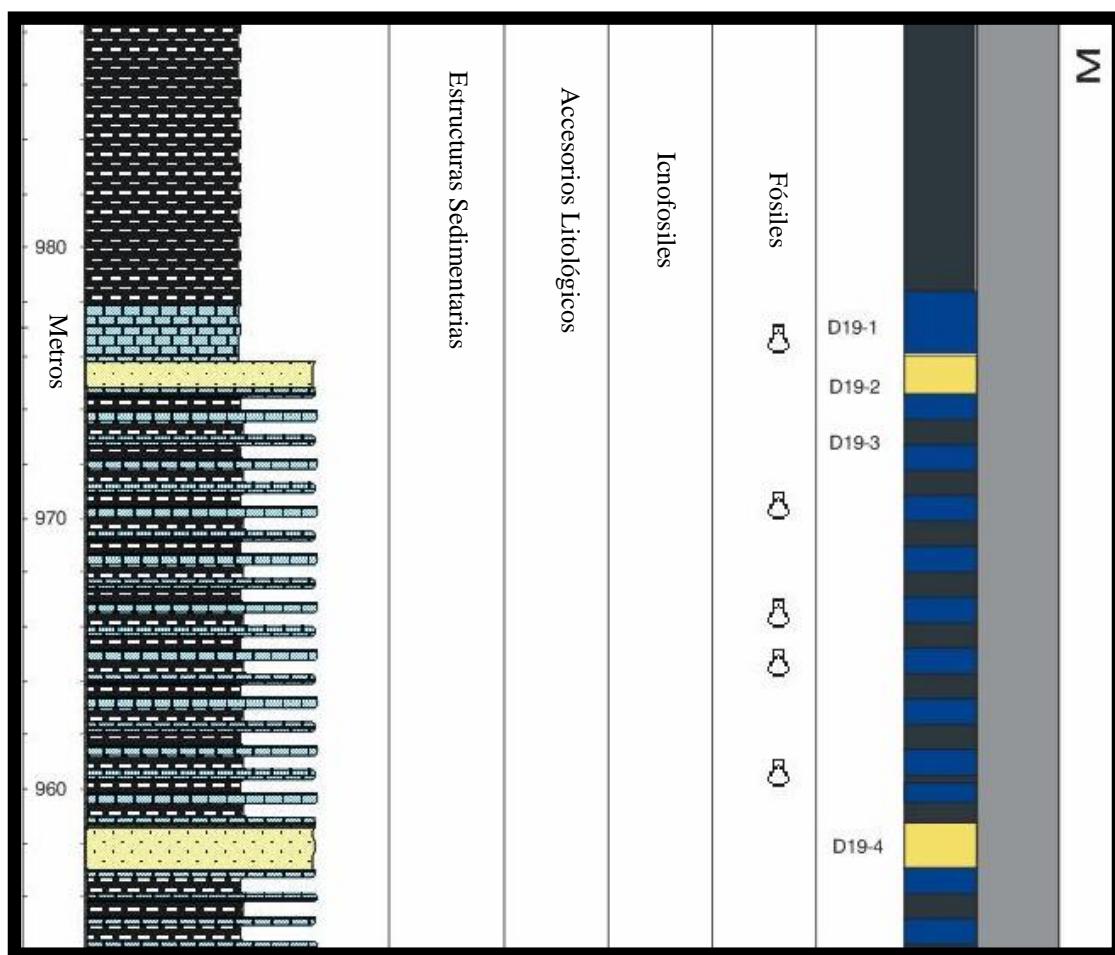


Figura 109.- Fragmento de la columna estratigráfica ‘este’ que muestra una secuencia de lutitas negras y calizas de las litofacies L1 y CAf, representando ambiente sublitoral interno. El tramo pertenece a la parte media de la columna.

6.2 8 Asociación N° 8.- . Sublitoral Externo (AF8)

Se observan 2 secuencias importantes en la columna ‘este’, una cercana a la base y otra en la parte superior, de espesores aproximados de 170 m y 200 m respectivamente. En la columna ‘oeste’ existen 2 secuencias importantes, una cercana a la base y otra en la parte media, de espesores aproximados de 180 m y 168 m respectivamente.

Está definido exclusivamente por la facies **L1** que está constituida por lutitas negras. Esta asociación representa el 22% de todas las secciones de estudio. (ver **anexos 1 y 2**)

La mayoría de las lutitas de esta asociación se disponen de forma laminar, y en pocas ocasiones de forma compacta. Contienen generalmente nódulos de óxido de Fe.

De acuerdo a las características litológicas y la relación que existe con respecto a las facies adyacentes se puede inferir un ambiente sublitoral externo, caracterizado por baja energía y por la baja o casi nula acción del oleaje (ver figura 110).

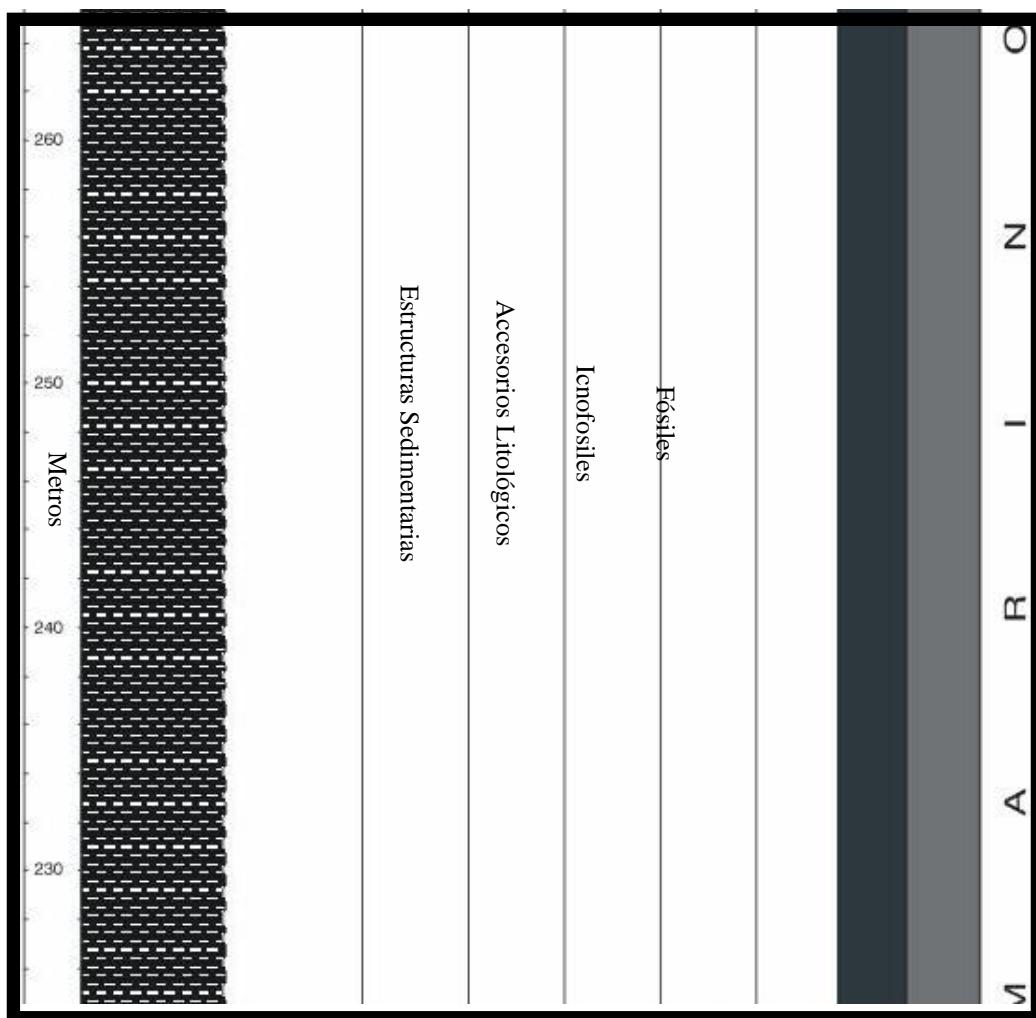


Figura 110.- Extracto de la columna estratigráfica 'este' que muestra una secuencia de lutitas negras de la facies L1, la cual representa un ambiente nerítico sublitoral externo. El tramo pertenece a la parte inferior de la columna.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se definieron seis unidades litológicas, la primera unidad **UL1** caracterizada por presentar una alternancia sucesiva y rítmica de lutitas laminadas y areniscas de grano fino, la unidad litológica **UL2** compuesta exclusivamente por lutitas laminadas y compactas, **UL3** esta constituida compuesta por la alternancia de lutitas, calizas y areniscas de grano fino, la unidad litológica **UL4** esta compuesta por la asociación de lutitas, limolitas, areniscas de grano fino, medio y grueso, incluyendo aquellas calcáreas, calizas y heterolitas, **UL5** se compone de lutitas, limolitas (algunas fosilíferas), calizas, areniscas de grano fino y conglomerados y la ultima unidad **UL6** esta compuesta por la alternancia rítmica de limolitas - areniscas de grano fino, lutitas carbonosas – areniscas de grano fino.

En base al tipo de roca, tamaño de grano y estructura sedimentaria dominante, se definieron 16 litofacies. Se nombró **A3** a las areniscas de grano fino, **A3f** a las areniscas de grano fino con fósiles, **A3r** a las areniscas de grano fino con rizaduras , **A3fr** son areniscas de grano fino fosilíferas y rizaduras, **A3pr** caracterizadas por ser areniscas de grano fino con estratificación paralela y rizaduras, **A3cr** son areniscas de grano fino con estratificación cruzada y rizaduras, **A4** a las areniscas de grano medio, **A5c** son areniscas de grano grueso con estratificación cruzada, **A5r** a las areniscas de grano grueso con rizaduras, **CO7** a los conglomerados compuestos por gravas, **H** a las heterolitas, **CA** a las calizas, **CAF** son calizas con contenido fosil, **C** a las lutitas carbonosas y carbones, **L2** a las limolitas y **L1** al resto de las arcillas denominadas lutitas.

Se definieron ocho asociaciones de litofacies, la primera **AF1: Paludal Costero**, compuestos de las litofacies **A3, A3c, L2 y C**. La segunda asociación de litofacies **AF2: Laguna**, constituida por las facies **A3 y L1**. La tercera asociación **AF3: Estuario**, constituida por las litofacies **A3f, A3c, A3p, A3r, L1, L2, CAF, A4, A5, A5c y H**. La cuarta asociación **AF4: Abanico de Rotura**, la cual se compone por

la litofacies **A3** y **A4**. La quinta asociación **AF5**: *Litoral de Costa Alta*, compuesto por las litofacies **L1**, **L2**, **CA**, **CO7** y **A3**. La sexta asociación **AF6**: *Litoral de Costa Baja*, compuesto por las litofacies **A3r**, **A3f**, **L2**, **CO7** y **L1**. La séptima asociación **AF7**: *Sublitoral Interno*, compuesta por las litofacies **CA**, **CAF**, **L1**, **L2**, **H** y **A3**. La ultima asociación **AF8**: *Sublitoral Externo*, esta compuesta por la litofacies **L1**.

Se realizó petrografía a trece muestras representativas para las facies. La muestra **M-22**: *Caliza de aloquímicos lodoso*, **J83**: *Micrita lodoso*, **D22-1**: *Arenisca cuarzosa*, representan a la facies **A3f**. La muestra **J5**: *Sublitarenita*, representa a la facies **A3r**. La muestra **M61**: *Sublitarenita*, que representa a la facies **A3pr**. La muestra **D26-1**: *Sublitarenita*, que representa a la facies **A3cr**. La muestra **M46**: *Sublitarenita* que representa la facies **A5r**. La muestra **M62**: *Arenisca cuarzosa*, que representa a la facies **A5r**. La muestra **L6**: *Sublitarenita* que representa a la facies **A5c**. La muestra **K9**: *Sublitarenita* que representa a la facies **A4**. La muestra **D1-1**: *Conglomerado* que representa a la facies **CO7**. La muestra **C11-11**: *Micrita arenosa* y la muestra **D19-1**: *Arenisca de aloquímicos*, que representan a la facies **CAF**.

El mapa las asociaciones de facies final corresponde a la unificación de asociaciones AF1, AF2 y AF3, que corresponden a sedimentos terrígenos. Mientras que las asociaciones AF5, AF6 y AF7 corresponden a sedimentos mas marinos al igual que AF8.

Se recomienda:

- Realizar un estudio bioestratigráfico en ambas secciones para poder determinar las edades relativas de la zona en estudio con la finalidad de precisar con mayor exactitud los ambientes transicionales.
- Realizar un estudio, más detallado para analizar las variaciones laterales de los ambientes desarrollados en la zona de estudio. Se recomienda emplear la nomenclatura de litofacies y asociaciones de facies generada en el presente informe, aplicable a ambientes trancisionales y marinos.
- Realizar un estudio quimioestratigráfico para comparar los grupos químicos obtenidos con el número de unidades litológicas definidas y observar si existe correspondencia entre ambos estudios.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Audemard, F., & I.J. De Mena (1985). Falcón oriental, nueva interpretación estructural: VI Congreso Geológico Venezolano, Memorias 4, pp. 2317-2319.
- Audemard, F. (1993). Basement involved thrusts from northwestern Maracaibo basin. AAPG/ Soc.Venezolana deGeól. Int. Congreso; Caracas, pp 3/14-17/93
- Audemard, F.; Singer, A.; Rodríguez, J.; y Beltrán, C. (1994). Definición de la traza activa del sistema de fallas de Oca – Ancón, noroccidente de Venezuela. VII Congreso Venezolano de Geofísicos, Soc. Venezolana de Ingenieros Geofísicos. – Tomo I - pág. 42 - 50.
- Audemard, F. (1995). La Cuenca Terciaria de Falcón, Venezuela Nororiental, síntesis estratigráfica, génesis e inversión tectónica. IX Congreso Latinoamericano de Geología. South America, Venezuela, Tectonic, Stratigraphy.
- Audemard, F. (1997) Tectónica activa de la región septentrional de la cuenca invertida de Falcón, Venezuela Occidental. Memoria del VIII Congreso Geológico Venezolano, Soc. Venezolana de Geól. – Tomo I – pág. 93-100.
- Ballestas, O y Velásquez, M. (1983) Geología y estratigrafía de la región de Urumaco, Falcón noroccidental. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología, Universidad Central de Venezuela. Inédito.
- Berroterán L. & F. Ziritt (2004). Interpretación estructural y restauración de secciones de un transecto ubicado entre los poblados Purureche, estado Falcón y Baragua, estado Lara . Trabajo Especial de Grado, no publicado. Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. 132 p.

Boesi, T. ; and Goddard, D. (1991) A new geologic model related to the distribution of hydrocarbon source rocks in the Falcón basin, northwestern Venezuela, in K.T. Biddle, ed., Active margin basins: AAPG, Memoir 52, pág. 303 – 319.

Boggs, S. J. (1992). Petrology of Sedimentary Rocks. Macmillan Publishing Co, New York. 707 p.

Brueren J. W. R. (1949). Geological Report CPMS-310 Paraíso-Manaure Área Central Falcón. Congreso Geológico Venezolano, Caracas (10): 6575-6614.

Bermúdez E., M. López & E. Troconis (2003). Estudio de litofacies, diagénesis, procedencia y quimioestratigrafía de la formación cerro pelado, cuenca de Falcón, como herramienta para determinar su potencialidad generadora y almacenadora de hidrocarburos. Trabajo Especial de Grado, no publicado. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Universidad Central de Venezuela. Caracas. 232 p.

Cabrera de Molina, E. (1985). Evolución Estructural de Falcón Central. Trabajo Especial de Grado, M.Sc. no publicado. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Universidad Central de Venezuela. 59 p.

Case, J. E., T. L. Holcombe, & R. G. Martin (1984). Map of geologic provinces in the Caribbean region, in W. E. Bonini, R. B. Hargraves, and R. Shagan, eds., The Caribbean-South American plate boundary and regional tectonics: GSA Memoir (162): 1-30.

Chomiak, Z. (1986) Estudio geológico-geotectónico en un área ubicada al oeste de Pedregal, estado Falcón. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología, Universidad Central de Venezuela. Inédito

Creole Petroleum Corporation y Exxon Production Research Company (1976). Manual de Facies Clásicas. Editado por D.C. Swanson EPRCo. U.S.A.

Creole Petroleum Corporation. (1962). Mapa de geología de superficie a escala 1:50.000, hoja C4-D y C5-D

Díaz de Gamero, M. L. (1977). Estratigrafía y Micropaleontología del Oligoceno y Mioceno Inferior del Centro de la Cuenca de Falcón, Venezuela. Geos (22):3-60.

Dunbar C.O. y Rodgers J. (1963) Principios de Estratigrafía Continental, México.

Dunham, R. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture. Classification of carbonate rocks. AAPG. Memoir I: 108 – 121.

Embry, A & E. Klovan. (1971). A late Devonian reef tract on northeastern Bank Island Northwest Territories. Bulletin Canadian Petroleum Geologists, v. 19, p. 730-781.

Erlich, R. & S. Barrett. (1990). Cenozoic Plate Tectonic History of the Northern Venezuela-Trinidad area. Tectonics 9(1): 161-184

Escalona, N. (1985). Exploración radimétrica autotransportada preliminar en el Estado Falcón. Soc. Venezolana de Geól. VI Congreso Geológico Venezolano, 6, p. 5094-5121

Escorihuela N. & J. Rondón (2002). Estudio de las rocas ígneas que afloran en la parte central de la cuenca de Falcón. Trabajo Especial de Grado, no publicado. Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. 217 p.

- Gil, J.L y Herrera, S.I. (1984) Estudio Sedimentológico en la zona de los distritos Buchivacoa y Democracia, estado Falcón. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología, Universidad Central de Venezuela. Inédito.
- González De Juana, C. (1938) Contribución al estudio de la cuenca sedimentaria Zulia-Falcón. II Congreso Geológico Venezolano in Boletín de Geología y Minería. Ministerio de Fomento N° 2, 3 y 4, Tomo II, pág. 123-140.
- González de Juana, C., J. Iturrealde, & X. Picard (1980). Geología de Venezuela y sus Cuencas Petrolíferas. Ed. FONINVES, Caracas. (1): 407 & (2): 624.
- Guevara, E. (1967). The Santa Rita, Jarillal and La Victoria formations. Asoc. Ven. Geol. Min. Petr. Boll Inform., 10(2): 51-69.
- Hambalek, N. (1993) Palinoestratigrafía del mioceno-plioceno de la región de Urumaco, Falcón noroccidental. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología, Universidad Central de Venezuela. Inédito.
- Hunter, V. F. (1974). A Mid-Tertiary stratigraphic unit of the southern Caribbean area. En: Contributions dedicated to the Geology and Paleobiology of the Caribbean and Adyacent Areas. The Kugler Volume, P. JUNG et al., Editores. Vernhandl. Naturf. Ges. Basilea. Suiza. 84(1): 520 p.
- Krumbein W.C. y Sloss L.L. (1963). Stratigraphy and Sedimentation, 2da Ed, Freeman, San Francisco

Leal F. & O. Rivero (2004). Estudio de litofacies y quimioestratigrafía de la sección superior de la Formación El Paraíso, como herramienta para determinar posibles características de potencialidad generadora y/o almacenadota de hidrocarburos en la sección geológica del Río Paraíso. Trabajo Especial de Grado, no publicado. Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. 177 p.

Lena, P. (1979) Geología sedimentaria de una zona de los distritos Miranda y Democracia, estado Falcón, Venezuela. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología, Universidad Central de Venezuela. Inédito.

León, K. (1985). “Estratigrafía y sedimentología de un área situada al sureste de Coro Edo. Falcón”. TESIS EGMG. 195p.

Léxico Estratigráfico de Venezuela. (1970). CIEN – Comité Interfiliales de Estratigrafía y Nomenclatura. 1970. PDVSA, INTEVEP.

Liddle, R. (1928). The geology of Venezuela and Trinidad. Texas, J. P. MacGowan, 552 p.

Macellari, C. (1995). Cenozoic sedimentation and tectonics of the southwestern Caribbean pull-apart basin, Venezuela and Colombia, in A. J. Tankard, R. Suarez S., and H.J. Welsink, Petroleum basins of South America: AAPG Memoir (62): 757-780.

Marcano del V., S. (1990) Yacimientos de Carbón Entre Pedregal y Sabaneta., Estado Falcón. Geología, Marco Tectónico estructural y Petrografía Orgánica. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. U.C.V. Caracas, 186 p.

- Martínez, A. (1976). Cronología del Petróleo Venezolano. Colección Ciencia y Petróleo, Tomo 1. Ediciones Foninves, Caracas. 349 p
- Mc. Cubbin D.G. (1982). Barrier-Island and Strand-Plain Facies in Sandstone Depositional Environments AAPG Memoir 31.
- Medina, J. L. (1979). Geología sedimentaria de una zona de los distritos Miranda y Democracia, estado Falcón, Venezuela. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología, Universidad Central de Venezuela. Inédito.
- Miall, A. (1990). Principles of Sedimentary Basin Analysis. Second edition. Springer, Ontario, Canada. 668 p.
- Mount, J. (1985). Mixed siliciclastic and carbonate sediments: a proposed first-order textural and compositional classification. *Sedimentology*, 32: 435 – 442.
- Muessig, K. (1978). The central Falcon igneous suite, Venezuela; alkaline basaltic intrusions of Oligocene-Miocene age. The 8th Caribbean geological conference. Willemstad, Netherlands Antilles, Jul. 4-24, 1977
- Muessig, K. (1984). Structure and Cenozoic tectonics of the Falcón basin, Venezuela and adjacent areas, in W. E. Bonini, R. B. Hargraves and Shagam, eds. The Caribbean-South American plate boundary and regional tectonics: GSA Memoir (162): 217-230.
- Nichols, G. (1999). Sedimentology and Stratigraphy. Blackwell. Oxford. 355 p.
- Ostos, M. (1990). Evolución tectónica del margen Sur – Central del Caribe, basado en datos geoquímicos. *Geos (U.C.V.)*, (30): 1 – 294.

Payne, A. L. (1951). Cumarebo oil field, Falcón, Venezuela: A.A.P.G Bulletin, (35): 1850-1878.

Pettijohn, F. J., Potter, P. E., and Siever, R. (1972). Sand and Sandstone, Springer-Verlag, New York-Heidelberg, 618 p.

Petzall, C. (1959). Estudio de una sección de la Formación Caujarao en el anticinal de La Vela, Estado Falcón: Asociación Venezolana de Geólogos Mineros y Petroleros, Boletín Informativo, (2): 269-319.

Picard, M. (1972). Criteria for recognizing lacustrine rocks in: Rigby J. and Hamblin W. Recognition of Ancient Sedimentary Environments. Society of Paleontologists and Mineralogists. Special Publication. N° 16, pp. 108 – 145.

Pindell, J.L., R. Higgs, & Jf. Dewey (1998). Cenozoic palinspastic reconstruction, paleogeographyc evolution and hydrocarbon setting of the northern margin of South America. In: Pindell, J.L., Drake, C. (Eds.), Paleogeographyc Evolution and Non-Glacial Eustasy, Northern South America. Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Publ. 58, 45-85.

Porras L. R. (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 Subandinas. Caracas. Tomo I. 279-292 p.

Potter, P. L. (1967). Sand bodies and sedimentary environments: A review. AAPG Bull., 51, 337-365 p.

Pritchard, D. W. (1967). What is an Estuary? In: Lauff, G.H., ED., Estuaries. A. A.A. S. Pup 83, Washington D.C. pp. 3-5.

Renz, H. H. (1948). Stratigraphy and fauna of the Agua Salada Group, State of Falcón, Venezuela, Geol. Soc. Amer., Mem., 32, 219 p.

Margalef. R., (1983). Limnología. Ed. Omega.

Schubert, C., & R. S. Sifontes (1970). Boconó fault, Venezuelan Andes: Science, (175): 560-561.

Senn, A. (1935). Die stratigraphische Verbreitung der Tertiären Orbitoiden, mit spezieller Berücksichtigung ihres Vorkommens in Nord-Venezuela und Nord-Marokko. Eclog. geol. Helv., 28(1): 51-113 & 369-373.

Silver, E. A., J. E. Case, & H. J. Macgillavry (1975). Geophysical study of the Venezuelan borderland: GSA Bull. (86): 213-226.

Sutton, F. A. (1946). Geology of Maracaibo Basin, Venezuela, Amer. Assoc. Petrol. Geol., Bull. 30(10): 1621-1741.

Tait. (1971). Elementos de ecología marina. Ed. Acubia.

Tarbuck, E.; Lutgens, F. (1999) Ciencias de la Tierra – Una introducción a la Geología Física, Sexta Edición, Prentice Hall, Madrid. 616p.

Testamark, J.; Ríos, J.; González, E y Franco, A. (1986) Informe geológico final del sector centro oriental de la Serranía de San Luis, estado Falcón. Unpubl. Co. Rpt. SERVIGEOMIN., pág. 59.

Twenhofel W. H. (1967), Principles of Sedimentation, 2da Edición., McGraw-Hill, New Cork.

Urdaneta de Rodríguez, L. (1989). Estudio fotogeológico y geomorfológico del área Urumaco – Sabaneta, Estado Falcón. Magister Scientiarum en Geología del Petróleo, Universidad del Zulia, Facultad de Ingeniería, División de Post-Grado, Maracaibo.

Vail, P and Hardenbol, J (1980) Sea-level changes during the Tertiary: Oceanus, Vol. 22, pág. 71-79.

Walker, R. (1992). Facies Models = Response to sea level change. Geological Association of Canada, Ontario, Canada, 409 p.

Wheeler, C. B. (1960). Estratigrafía del Oligoceno y Mioceno inferior de Falcón occidental y nororiental, III Congr. Geol. Venez., Mem., (1): 407-465.

Wheeler, C. B. (1963). Oligocene and lower Miocene stratigraphy of western and northeastern Falcón Basin, Venezuela, Amer. Assoc. Petrol. Geol., Bull., 47(1): 35-68.

“Léxico Estratigráfico de Venezuela” (1999). CIEN – Comité Interfiliales de Estratigrafía y Nomenclatura. 1999. Léxico estratigráfico electrónico de Venezuela. PDVSA, INTEVEP, edición en CD y en www.Pdvsacom/lexico/

Microsoft Encarta Biblioteca de Consulta 2000. Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

ANEXOS