

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **CARACTERIZACIÓN DIAGENÉTICA Y ESTRATIGRÁFICA DE LAS SECCIONES “CHEJENDÉ” Y “LA AGUADA” EN EL OCCIDENTE DE VENEZUELA, ESTADO TRUJILLO**

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de  
Venezuela para optar al Título  
De Ingeniero Geólogo  
Por la Br. Quereguan Marval., Ruth Angelina

Caracas, Mayo 2002

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **CARACTERIZACIÓN DIAGENÉTICA Y ESTRATIGRÁFICA DE LAS SECCIONES “CHEJENDÉ” Y “LA AGUADA” EN EL OCCIDENTE DE VENEZUELA, ESTADO TRUJILLO**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Egleé J. Zapata O.

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de  
Venezuela para optar al Título  
De Ingeniero Geólogo  
Por la Br. Quereguan Marval., Ruth Angelina

Caracas, Mayo 2002

**Quereguan M., Ruth A.**

**CARACTERIZACIÓN DIAGENÉTICA Y ESTRATIGRÁFICA DE  
LAS SECCIONES “CHEJENDÉ” Y “LA AGUADA” EN EL  
OCCIDENTE DE VENEZUELA, ESTADO TRUJILLO**

**Tutor Académico: Prof. Egleé Zapata. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería.**

**Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Año 2002, 97 p.**

**Palabras Claves:** Diagénesis, Ambientes, Procesos, Microfacies,  
Geoquímica.

El presente trabajo consiste en un estudio diagenético detallado de la Formación La Luna en las secciones Chejendé y La Aguada ubicadas en el estado Trujillo en el occidente de Venezuela y tiene como objetivo principal evaluar el comportamiento diagenético de la Formación La Luna en estas secciones, para caracterizarla en todos sus aspectos: Procesos diagenéticos, ambientes diagenéticos y evolución.

Para este estudio se procedió al levantamiento al detalle de la sección expuesta en el camino Chejendé-El Potrero, distrito Carache, estado Trujillo y posteriormente se realizó un análisis petrográfico a 35 muestras, tomadas en superficie cada 50 cm. Dicho análisis se respaldó mediante cuantificaciones SEM (Scanning electron microscopy), backscattered y EDS (energy dispersive spectrometry), con la finalidad de determinar los cambios diagenéticos y su evolución en las secciones de estudio. Los datos obtenidos en la petrografía son empleados para la posterior integración diagénesis-geoquímica, basada en análisis de Carbono Orgánico Total (COT), para la posterior correlación de la información diagenética y la data obtenida, para la aplicación de la clasificación de ambientes diagenéticos tempranos propuesta por Berner en 1981.

En este trabajo se identifican siete microfacies, de las cuales cuatro pertenecen al trabajo de GALEA (1989), una al trabajo de MADRID (2001) y dos nuevas microfacies se proponen en este estudio.

La edad probable para las secciones de La Aguada y Chejendé es de Cenomaniense tardío-Turoniense y Turoniense tardío-Santoniense respectivamente, las cuales están dadas por la asociación faunal de foraminíferos, tanto plácticos como béticos, presente en las mismas.

En las secciones de estudio se identifican tres tiempos diagenéticos: dos asociados a diagénesis temprana y otro asociado a una diagénesis intermedia, lo que indica para esta zona una diagénesis asociada principalmente a factores de tipo tectónico.

Se presentan dos ambientes geoquímicos anóxicos para el momento de la sedimentación, los cuales fueron caracterizados por la presencia de minerales diagnósticos como lo son el contenido de sílice, la ocurrencia de piritita y siderita y la cantidad de materia orgánica.

# ÍNDICE GENERAL

pág.

1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Objetivo y alcance del trabajo .....	2
1.2 Ubicación del área de estudio .....	2
1.3 Trabajos previos .....	3
1.4 Metodología empleada .....	6
1.4.1 Etapa preliminar .....	6
1.4.2 Etapa de campo .....	6
1.4.3 Etapa de laboratorio .....	6
1.4.3.1 Análisis petrográfico .....	6
1.4.3.2 Microscopía electrónica .....	7
1.4.3.3 Integración diagénesis-geoquímica .....	7
1.5 Agradecimientos .....	8
2. GEOLOGÍA REGIONAL .....	10
2.1 Sedimentación del Cretácico .....	11
2.2 Geología estructural regional .....	22
3. GEOLOGÍA LOCAL .....	23
3.1 Sección La Aguada .....	24
3.2 Sección Chejendé .....	24
3.3 Aspectos estructurales .....	25
4. SEDIMENTOLOGÍA DE LA FORMACIÓN LA LUNA EN LAS SECCIONES CHEJENDÉ Y LA AGUADA .....	26
4.1 Microfacies .....	27
4.2 Paleontología y edad de la Formación La Luna en las secciones Chejendé y La Aguada .....	36
4.2.1 Introducción .....	36
4.2.2 Sección La Aguada .....	36
4.2.3 Sección Chejendé .....	36
5. DIAGÉNESIS .....	38
5.1 Introducción .....	39

5.2 Evidencias diagenéticas .....	39
5.2.1 Preservación de fósiles .....	39
5.2.2 Minerales autigénicos .....	44
5.2.3 Minerales detríticos .....	51
5.2.4 Materia orgánica .....	52
5.2.5 Matriz .....	53
5.2.6 Fracturas .....	56
5.2.7 Cementos .....	58
5.2.7.1 Cementos de calcita .....	58
5.2.7.2 Cemento de sílice .....	61
5.2.7.3 Cemento de pirita .....	61
5.2.7.4 Cemento de carbonato de hierro .....	61
5.2.8 Estilolitas .....	61
5.2.8.1 Estilolitas de contactos suturados .....	62
5.2.8.2 Estilolitas de contactos no suturados .....	63
5.2.9 Porosidad .....	63
5.3 Procesos diagenéticos .....	64
5.3.1 Procesos orgánicos .....	64
5.3.1.1 Erosión orgánica .....	64
5.3.1.2 Agregación .....	64
5.3.1.3 Acción bacteriana .....	65
5.3.2 Procesos químicos .....	65
5.3.2.1 Neomorfismo .....	65
5.3.2.2 Cementación .....	66
5.3.2.3 Disolución .....	68
5.3.2.4 Reemplazos .....	69
5.3.3 Compactación. Presión-Disolución .....	70
5.4 Ambientes diagenéticos .....	72
5.4.1 Intervalo I .....	72
5.4.2 Intervalo II .....	75
5.4.3 Intervalo III .....	75

5.5 Paragénesis .....	77
6. GEOQUÍMICA ORGÁNICA .....	80
6.1 Introducción .....	81
6.2 Metodología del análisis de Carbono Orgánico Total .....	81
6.3 Porcentaje de Carbono Orgánico Total .....	83
6.4 Clasificación geoquímica de ambientes diagenéticos tempranos .....	85
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	89
7.1 Conclusiones .....	90
7.2 Recomendaciones .....	91
8. BIBLIOGRAFÍA .....	92
9. ANEXOS .....	97

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.1:</b> Ubicación geográfica de las secciones estudiadas .....	3
<b>FIGURA 2.1:</b> Cuadro de correlación correspondiente a la Cuenca de Maracaibo y sus subcuencas. Tomada y modificada de <a href="http://www.pdv.com/lexico">http://www.pdv.com/lexico</a> .....	13
<b>FIGURA 4.1:</b> Acumulación de foraminíferos pláncnicos, mostrando la precipitación de espato (calcita) relleno de las cámaras, además de la matriz oscura, compuesta por arcilla tipo smectita y micrita .....	28
<b>FIGURA 4.2:</b> Imagen de SEM mostrando características texturales de la matriz .....	28
<b>FIGURA 4.3:</b> Espectro composicional de 4.2 .....	28
<b>FIGURA 4.4:</b> Se observa la acumulación de foraminíferos, en algunos sectores formando bandas cementadas más compactas. Se observa también una matriz de color oscuro, conformada por arcilla de tipo montmorillonita-smectita y micrita .....	29
<b>FIGURA 4.5:</b> Características texturales de la matriz en SEM .....	29
<b>FIGURA 4.6:</b> Composición de la matriz en 4.5 .....	29
<b>FIGURA 4.7:</b> Características texturales de arcilla presente en la matriz .....	30
<b>FIGURA 4.8:</b> Micrografía que muestra una vista general de la microfacies 3 (MF3) ...	30
<b>FIGURA 4.9:</b> <i>Favreina</i> sp. ....	30
<b>FIGURA 4.10:</b> Composición de la arcilla smectita .....	30

<b>FIGURA 4.11:</b> Acumulación de fosfato .....	31
<b>FIGURA 4.12:</b> Fragmento fosfatizado .....	31
<b>FIGURA 4.13:</b> MF5. Se observan foraminíferos plácticos y béticos, embebidos en la matriz .....	33
<b>FIGURA 4.14:</b> <i>Inoceramus</i> sp. ....	33
<b>FIGURA 4.15:</b> Laminaciones producto de la acumulación de los fragmentos de Moluscos .....	33
<b>FIGURA 4.16:</b> Laminaciones producto de la acumulación de los fragmentos de Moluscos .....	33
<b>FIGURA 4.17:</b> MF7. Se observan los fragmentos de moluscos embebidos en una matriz micrítica .....	34
<b>FIGURA 4.18:</b> Ostrácodo relleno con cemento equigranular .....	34
<b>FIGURA 4.19:</b> Distribución de microfacies, sección La Aguada .....	34
<b>FIGURA 4.20:</b> Distribución de microfacies, sección Chejendé .....	35
<b>FIGURA 5.1:</b> Bandeamiento producto de acumulaciones de foraminíferos Plácticos .....	40
<b>FIGURA 5.2:</b> Cámaras desplazadas por fractura .....	40
<b>FIGURAS 5.3, 5.4 y 5.5:</b> <i>Heterohelix</i> sp., mostrando distintos tipos de cemento de calcita .....	40
<b>FIGURA 5.6:</b> <i>Heterohelix</i> sp., mostrando cámaras rellenas de caolinita .....	40
<b>FIGURA 5.7:</b> Fragmentos fibrosos de moluscos dispuestos de forma laminar en la roca .....	41
<b>FIGURA 5.8:</b> Fragmento de <i>Inoceramus</i> sp., relleno con cemento tipo drusa .....	41
<b>FIGURA 5.9:</b> Micro fractura perpendicular al eje mayor del fragmento de molusco ....	41
<b>FIGURA 5.10:</b> Fragmento de molusco desplazado en dos direcciones .....	41
<b>FIGURA 5.11:</b> Ostrácodo con pared delgada de calcita y cemento equigranular .....	42
<b>FIGURA 5.12:</b> Ostrácodo con envoltorio micrítico .....	42
<b>FIGURAS 5.13 y 5.14:</b> Radiolarios de orden <i>Spumellaria</i> ? .....	42
<b>FIGURAS 5.15 y 5.16:</b> Radiolarios de orden <i>Nassellaria</i> ? .....	42
<b>FIGURA 5.17:</b> Hueso de pez fosfatizado .....	43
<b>FIGURA 5.18:</b> Vértebra de pez fosfatizada (flecha) .....	43

<b>FIGURA 5.19:</b> En (a) se puede observar una cocósfera entera, bastante preservada. En (b), (c) y (d) se observan cocolitos sueltos, embebidos en la matriz, a pesar de esto presentan buena preservación .....	43
<b>FIGURA 5.20:</b> Imagen de SEM, mostrando paredes silicificadas de foraminífero .....	45
<b>FIGURA 5.21:</b> Composición química correspondiente a Fig. 5.20 .....	45
<b>FIGURAS 5.22 y 5.23:</b> Silicificación en la matriz (SEM) y su composición química ..	45
<b>FIGURA 5.24:</b> Fotomicrografía mostrando cámaras de foraminíferos rellenas de sílice .....	45
<b>FIGURA 5.25:</b> Calcedonia .....	45
<b>FIGURAS 5.26 y 5.27:</b> Puntos de silicificación en matriz carbonática .....	45
<b>FIGURA 5.28:</b> En (a) se observa un cristal subhedral, desarrollando dos caras cristalinas. En (b) se observan agregados framboidales de pirita. El reemplazo de una cámara de foraminífero (u otros fragmentos fósiles) por pirita es común en las secciones de estudio (c). La composición química correspondiente a sulfuro de hierro, determinada por EDS se muestra en (d) .....	46
<b>FIGURA 5.29:</b> Fragmento de molusco parcialmente reemplazado por pirita (flecha) ..	47
<b>FIGURA 5.30:</b> Cavidad rellena con cemento calcáreo y pirita (flecha) .....	47
<b>FIGURA 5.31:</b> Imagen de SEM, mostrando grano de esfalerita por backscattering .....	47
<b>FIGURA 5.32:</b> Composición química correspondiente a sulfuro de zinc, tomada por EDS .....	47
<b>FIGURA 5.33:</b> En (a) se observa en una imagen de SEM, caolinita relleno un poro. Detalle de la imagen anterior en (b). En (c) se observa caolinita vermicular. El espectro de EDS en (d) muestra la composición química de la caolinita .....	48
<b>FIGURA 5.34:</b> Cristales euhedrales de siderita con hábito rómbico se observan claramente en (a). En (b) se muestra un grano que presenta un núcleo calcítico rodeado de un aro de siderita. En (c) aparece un grano amorfo que muestra una asociación de siderita con pirita ferrosa. (d) y (e) muestran la composición química de pirita ferrosa y siderita respectivamente .....	49
<b>FIGURA 5.35:</b> Acumulación de colofano, reemplazando la matriz micrítica .....	50
<b>FIGURA 5.36:</b> Cristales de colofano disseminados en la matriz .....	50



<b>FIGURA 5.37:</b> En (a) se puede observar el desarrollo de caras cristalinas en un grano de barita. En (b) se presenta un cristal anhedral. (c) muestra la composición química correspondiente a sulfato de bario, tomada por EDS .....	51
<b>FIGURAS 5.38 Y 5.39:</b> Cristales subhedrales de muscovita, mostrando su alta birrefringencia (círculos) .....	52
<b>FIGURA 5.40:</b> Imagen de SEM que muestra un cristal de muscovita embebido en la matriz carbonática .....	52
<b>FIGURA 5.41:</b> Composición química de la muscovita por EDS, con background de carbonato de calcio correspondiente a la matriz .....	52
<b>FIGURA 5.42:</b> Materia orgánica amorfa diseminada en la matriz (a). En (b) se muestra una microfractura rellena de materia orgánica. En (c) y (d) se observa materia orgánica relleno de cámaras de foraminíferos .....	53
<b>FIGURA 5.43:</b> En (a) se puede observar hojuelas bien definidas de montmorillonita. (b) Aspecto textural correspondiente a matriz micrítica. (c) y (d) muestran la textura de arcilla tipo smectita. En (e) se observa arcilla tipo smectita relleno de una cavidad fósil. En (f) se presenta una mezcla de arcillas y micrita constituyendo matriz. En (g) y (h) se muestran las texturas que caracterizan a arcillas empobrecidas en aluminio, tipo Smectita .....	54
<b>FIGURA 5.44:</b> Espectros correspondientes a la composición química de la figura 5.43, tomados por EDS. (a) Montmorillonita. (b) Matriz carbonática (micrita). (c), (d) y (e) Smectita. (f) Smectita y carbonato de calcio. (g) y (h) Smectita .....	55
<b>FIGURA 5.45:</b> Las flechas indican grietas de tensión (F1) asociadas a estilolitas .....	57
<b>FIGURAS 5.46 y 5.47:</b> Fracturas extensivas totalmente mineralizadas (F2) .....	57
<b>FIGURA 5.48:</b> Fractura de cizalla (F4), desplazando cámaras de foraminíferos (recuadro) .....	57
<b>FIGURA 5.49:</b> Fractura de cizalla (F4), desplazando fractura tipo F2 (recuadro) .....	57
<b>FIGURA 5.50:</b> Microfracturas mineralizadas con cemento carbonático .....	57
<b>FIGURA 5.51:</b> Cemento de calcita equigranular mostrando maclado polisintético .....	59
<b>FIGURA 5.52:</b> Poro rodeado por un anillo de cemento isópaco de calcita .....	59
<b>FIGURA 5.53:</b> Cemento fibroso, conformando una estructura cono en cono .....	59
<b>FIGURA 5.54:</b> Cemento fibroso, asociado a neomorfismo agradante en una matriz	

de lodo carbonático .....	59
<b>FIGURA 5.55a:</b> Imagen de SEM mostrando un cristal de calcita fibrosa .....	59
<b>FIGURA 5.55b:</b> Composición química de CaCO <sub>3</sub> tomada por EDS .....	59
<b>FIGURA 5.56:</b> Poro rodeado por un aro de cemento diente de perro, presentando cemento en bloques en su interior .....	60
<b>FIGURA 5.57:</b> Cemento en bloques relleno totalmente una cámara de foraminífero pláncico. Se observa además el maclado polisintético bien definido .....	60
<b>FIGURA 5.58:</b> Cristal euhedral de calcita romboédrica .....	60
<b>FIGURA 5.59:</b> Cemento de calcita romboédrica .....	60
<b>FIGURA 5.60:</b> Imagen de SEM (backscattered), mostrando detalle de estilolita rellena de residuos insolubles .....	62
<b>FIGURA 5.61:</b> Fotomicrografía mostrando una estilolita de contacto suturado de alta amplitud .....	62
<b>FIGURA 5.62:</b> Estilolita de contacto suturado desplazando una fractura tipo F3 .....	62
<b>FIGURA 5.63:</b> Estilolita de contacto no suturado .....	62
<b>FIGURA 5.64:</b> Fragmento de molusco mostrando desarrollo de envoltorio micrítico (izquierda superior) .....	64
<b>FIGURA 5.65:</b> <i>Hedbergella delrioensis</i> , presentando envoltorio micrítico .....	64
<b>FIGURA 5.66:</b> Fragmento de <i>Inoceramus</i> sp., mostrando neomorfismo de inversión heteroaxial .....	65
<b>FIGURA 5.67:</b> Fragmento de molusco, mostrando textura fibrosa preservada (neomorfismo de inversión homoaxial) .....	65
<b>FIGURA 5.68:</b> Secuencia paragenética de la Formación La Luna en las secciones de Chejendé y La Aguada. (*) La sideritización sólo se presenta como un caso aislado hacia el tope de la sección de Chejendé .....	79
<b>FIGURA 6.1:</b> Distribución de ambientes diagenéticos geoquímicos y su relación con el porcentaje de COT para la sección de La Aguada .....	86
<b>FIGURA 6.2:</b> Distribución de ambientes diagenéticos geoquímicos y su relación con el % de COT para la sección de Chejendé .....	87

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 2.1:</b> Formaciones Río Negro y Apón (Tomado y modificado de Baptista 1994) .	14
<b>TABLA 2.2:</b> Formaciones Lisure y Aguardiente (Tomado y modificado de Baptista 1994)	15
<b>TABLA 2.3:</b> Formaciones Maraca y Capacho (Tomado y modificado de Baptista 1994)	16
<b>TABLA 2.4:</b> Formación La Luna (Tomado y modificado de Baptista 1994)	17
<b>TABLA 2.5:</b> Formaciones Escandalosa, La Morita y Quevedo (Tomado y modificado de Baptista 1994)	18
<b>TABLA 2.6:</b> Formaciones Fortuna y Esperanza (Tomado y modificado de Baptista 1994)	19
<b>TABLA 2.7:</b> Formación Colón (Tomado y modificado de Baptista 1994)	20
<b>TABLA 2.8:</b> Formaciones Burguita y Mito Juan (Tomado y modificado de Baptista 1994)	21
<b>TABLA 6.1.</b> Cantidad del % de COT y su relación como posible roca madre	84
<b>TABLA 6.2.</b> Clasificación geoquímica de ambientes diagenéticos tempranos	85

# **1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1 Objetivo y Alcance del Trabajo**

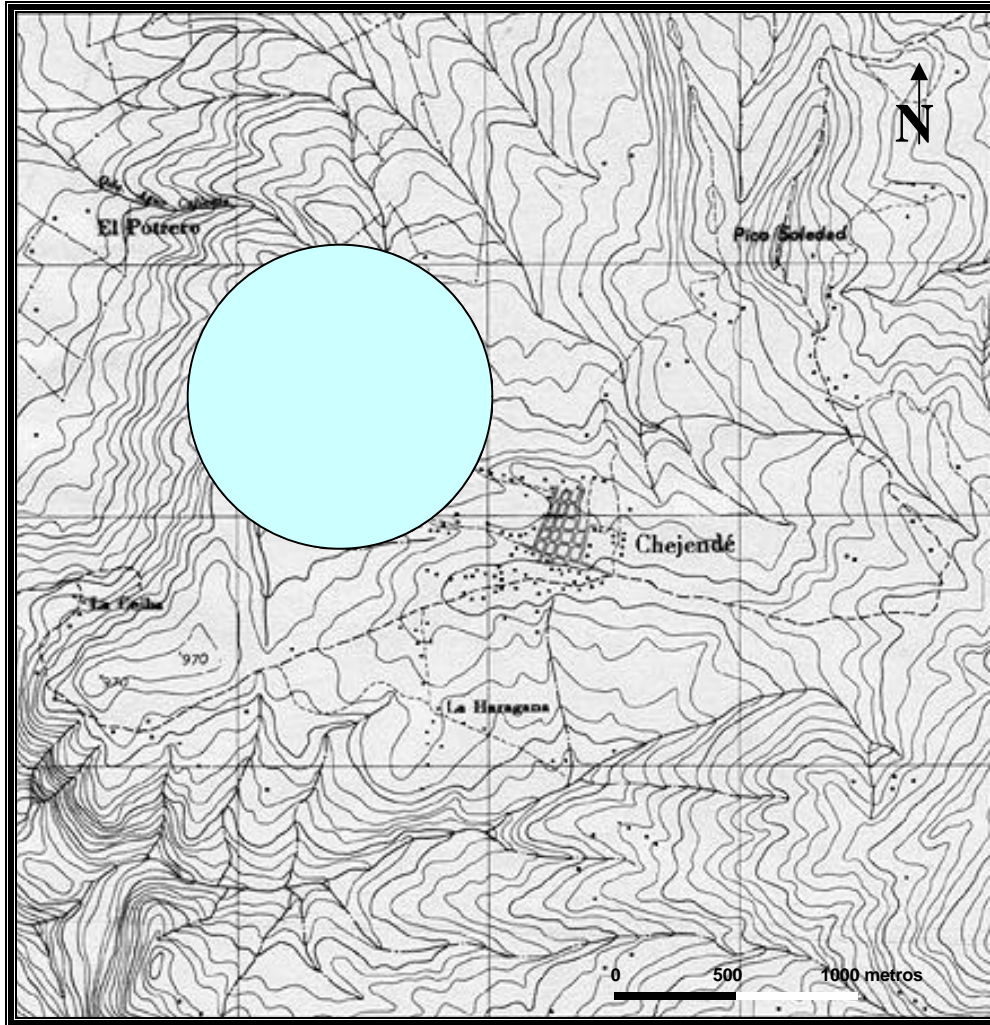
El objetivo general consiste en evaluar el comportamiento diagenético de la Formación La Luna en las secciones Chejendé y La Aguada, para caracterizarla en todos sus aspectos: Evidencias, procesos, ambientes diagenéticos y evolución, para lo cual se señalan como objetivos específicos los siguientes:

- Elaboración de un estudio petrográfico con el fin de identificar evidencias e interpretar los procesos y ambientes diagenéticos en las secciones de estudio, para entender su evolución diagenética.
- Realización de un estudio geoquímico basado en análisis de Carbono Orgánico Total (COT), para la posterior correlación de la información diagenética y la data obtenida.
- Cumplir con el requisito final para optar al título de Ingeniero Geólogo otorgado por la ilustre Universidad Central de Venezuela.

## **1.2 Ubicación del Área de Estudio**

El área de estudio se ubica en el occidente de Venezuela, específicamente al Noreste del estado Trujillo, en el camino Chejendé-El Potrero, donde se encontró un excelente afloramiento de las secciones Chejendé y La Aguada, pertenecientes a la Formación La Luna.

La sección de Chejendé es la más extensa en esta localidad y aflora con un espesor aproximado de 61 m, mientras que la sección de La Aguada presenta un espesor aproximado de 12 m.



**FIGURA 1.1:** Ubicación geográfica de las secciones estudiadas.

### 1.3 Trabajos Previos

RENZ (1959) Estudia la Formación La Luna en los estados Trujillo y Lara y la divide en tres miembros: La Aguada, Chejendé y Timbetes, estableciendo la sección tipo, litología, espesor, fósiles, edad y correlación. En lo referente al estado Táchira, introduce formalmente el Miembro Ftanita de Táchira, donde define su sección tipo.

GALEA (1989) Presenta los resultados de estudios micropaleontológicos y petrográficos de muestras de superficie de la Formación La Luna, provenientes del Flanco Norandino (Estados Táchira y Mérida) y demuestra que la mayor parte de estos sedimentos pertenecen

al episodio anóxico denominado “Oceanic Anoxic Event” (OAE). Propone una secuencia de microfacies que corrobora la distribución de una zona anóxica inferior y otra oxigenada superior, basándose en la distribución de foraminíferos pláncnicos y béticos.

STOUFER (1993) Este trabajo establece una distribución regional del carbono orgánico y del fosfato en la Formación La Luna, Cuenca de Maracaibo. Determina el estudio regional y presenta los resultados en forma de mapas donde presenta la concentración carbono orgánico total (COT) y fosfato.

VILLALOBOS (1993) Realiza un estudio sedimentológico en el pozo SOL-6, donde incluye diagénesis, paleontología y porosidad de las formaciones Río Negro, Apón, Lisure, Maraca y La Luna, Además establece una interpretación tectono-sedimentaria del área por correlación regional con afloramientos de Perijá y con los pozos UD-171, SOL-6 y CLA-111.

BAPTISTA (1994) Presenta un estudio geológico y geoquímico de la Formación La Luna y establece un análisis comparativo de la cuenca de Maracaibo en las secciones correspondientes a: Quebrada La Luna, estado Zulia, camino Chejendé-El Potrero, estado Trujillo y la Aguada de los Chivos, estado Lara. Determina aspectos litoestratigráficos y los elementos relacionados con la sedimentación y diagénesis; establece los porcentajes, tipos, origen y madurez termal de la materia orgánica en las diferentes localidades de la Formación La Luna.

SLITER (1995) Establece las claves para seleccionar el género de foraminíferos pláncnicos del Cretácico en secciones finas, tomando en cuenta las características bidimensionales para una definición sistemática, tomando en cuenta el tipo de enrollamiento, y discrimina en base a las diferentes características morfológicas: ornamentación, grosor de la pared, forma de las cámaras, tamaño del umbílico, periferia o contorno y abertura.

LORENTE, et al (1997) Resumen los resultados de la revisión bioestratigráfica de la Cuenca de Maracaibo, donde establecen indicios que permiten extender la edad del tope de

la Formación La Luna hasta el Campaniense Tardío, y establecen la existencia de un hiatus entre el tope de la Formación La Luna y la base de la Formación Colón.

ERLICH, et al (1999) Realiza un estudio donde define ambientes depositacionales, geoquímica y paleoceanografía en estratos ricos en carbono orgánico del Cretácico superior del Occidente de Venezuela y relaciona los resultados obtenidos con eventos globales.

MARCANO (1999) Realiza un estudio donde establece las características diagenéticas en detalle de la Formación La Luna en los pozos TOT-3 y ALP-6, ubicados en el margen occidental de la Cuenca de Maracaibo, con el propósito de relacionar todos los datos obtenidos con datos de geoquímica orgánica existentes.

PREMOLI SILVA Y SLITER (1999) Realizan una interpretación de la paleoceanografía del Cretácico, basándose principalmente en el desarrollo evolucionario (complejidad morfológica, diversidad y estrategia de vida) de los foraminíferos plácticos; establecen puntos de diversificación que son interrumpidos por eventos de extinción breves y cambios faunales, tomando en cuenta la estructura física y química del océano cretácico.

ZAPATA, et al (2000) Realizan una caracterización isotópica de la Formación La Luna en las secciones de Mesa Bolívar y Las Hernández, en los estados Mérida y Táchira, con el fin de correlacionar esta data con los cambios diagenéticos presentes en esas zonas.

ZAPATA, et al (2000) Realizan una evaluación diagenética de la Formación La Luna en los estados Mérida y Táchira, en el occidente venezolano con el fin de establecer procesos y ambientes diagenéticos.

ZAPATA, et al (2000) Elaboran un análisis del contenido de foraminíferos en secciones finas en la sección del Río San Miguel, ubicada en el estado Mérida, Venezuela.

MADRID (2001) Realiza un estudio diagenético y bioestratigráfico detallado de la Sección “Flor de Patria” de la Formación La Luna en el estado Trujillo, donde correlaciona data



diagenética, estratigráfica y geoquímica, donde establece la incidencia de la diagénesis en cambios isotópicos.

## **1.4 Metodología**

### **1.4.1 Etapa Preliminar**

Se realizó una búsqueda bibliográfica por palabras clave acerca del Cretácico en el occidente de Venezuela, específicamente de la Formación La Luna en el estado Trujillo.

### **1.4.2 Etapa de campo**

En esta etapa se procedió al levantamiento al detalle de la sección expuesta en el camino Chejendé-El Potrero, distrito Carache, estado Trujillo, donde se procedió al reconocimiento y muestreo detallado cada 0.5 m, de las secciones Chejendé y La Aguada de la Formación La Luna.

Se tomaron aproximadamente entre 300 y 500 gramos de muestra y se delimitaron y demarcaron las zonas de donde fueron extraídas.

Para el levantamiento se hizo uso de un escintilómetro y un GPS (global positional system).

El acceso se realizó desde la ciudad de Trujillo tomando la vía principal hasta interceptar la carretera asfaltada que llega a Chejendé, donde se tomó el camino de tierra que llega al caserío de El Potrero.

### **1.4.3 Etapa de laboratorio**

Se analizaron 67 muestras de superficie en total, donde se prepararon secciones finas para el análisis petrográfico y microscopía electrónica en modo backscatter, tacos para microscopía electrónica y roca pulverizada para análisis de Carbono Orgánico Total (COT).

#### **1.4.3.1 Análisis petrográfico**

El análisis petrográfico se realizó a 26 secciones finas pertenecientes a la sección de Chejendé y 9 a la sección de La Aguada, donde se determinaron los siguientes aspectos:

- Clasificación textural según DUNHAM (1962), con la finalidad de definir microfacies para las secciones de estudio, a partir de los parámetros establecidos por GALEA (1989) y MADRID (2001).
- Identificación de los constituyentes de las muestras, tales como: fósiles, minerales autigénicos, minerales detríticos, matriz y cemento, como evidencias diagenéticas.
- Identificación de procesos diagenéticos como micritización, disolución, fracturamiento, reemplazos, cementación, porosidad según Choquette y Pray (1970), estilolitas según James y Choquette (1990), con la finalidad de describir la diagénesis en términos de paragénesis y ambientes diagenéticos.

#### **1.4.3.2 Microscopía electrónica**

Para complementar la información obtenida en el análisis petrográfico, se realizó, en un total de 22 muestras (tacos y secciones finas), análisis por SEM (Scanning electron microscopy). Este método se aplicó para obtener total precisión en cuanto identificación mineral, debido a que el sistema de análisis de rayos-X (EDS) permite reconocer por separado los elementos presentes, en una zona puntual de aproximadamente 1 µm de diámetro, en la muestra. El SEM resulta una herramienta bastante útil para el reconocimiento de aspectos texturales, especialmente en arcillas, mientras que la aplicación del BSEM (Backscatter mode SEM), se utiliza para la identificación visual y química de minerales.

Para el uso de SEM se requiere que la muestra esté completamente libre de residuos de aceite y seca, por lo que debe ser lavada y secada, para su montaje en un portamuestras y posteriormente se recubre con un material conductor (usualmente oro o carbono).

Para el BSEM, se utilizan secciones finas que previamente han sido pulidas con un material abrasivo (pasta de diamante o alúmina). Para el uso, estas muestras deben estar previamente recubiertas con carbono y colocadas en un portamuestras.

#### **1.4.3.3 Integración diagénesis-geoquímica**

A partir de la información diagenética obtenida, se procedió a correlacionar ésta con datos de porcentaje de Carbono Orgánico Total (%COT), en ambas secciones de estudio.

Para la determinación del % de Carbono Orgánico Total, se utiliza un aparato de análisis de carbono, en el cual se colocan 400 mg de la muestra pulverizada, previa eliminación de carbonatos para eliminar la interferencia de C carbonático con C orgánico. Esto se logra con un tratamiento ácido-base a la muestra para eliminar los carbonatos. Posteriormente la muestra es sometida a una combustión en atmósfera inerte con temperaturas entre 900-1000 °C. El producto de dicha combustión es principalmente CO<sub>2</sub> liberado de esta reacción, que el equipo va a detectar y finalmente se calculará la proporción de % de carbono en términos del CO<sub>2</sub> liberado (OLIVARES, 1997).

## **1.5 Agradecimientos**

A la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela, por permitirme la realización de una de mis metas más grandes.

A mi tutora, la Profesora Egleé Zapata por su optimismo y buena disposición, pero sobretodo por la confianza que depositó en mí. GRACIAS.

A los Profesores Víctor Padrón y Olga Rey por sus enseñanzas e invaluable amistad.

A la Dra. María Antonieta Lorente por darme esta gran oportunidad.

Al personal de INTEVEP que labora en el laboratorio de microscopía electrónica del Departamento de Ciencias de la Tierra, y en especial a las Licenciadas Margarita Navas y Julymar Morantes, por su paciencia, colaboración y valiosos aportes.

Al Prof. Peter Moticska, por sus palabras de aliento y amistad en todo momento y además por enseñarme que la juventud es el tesoro más preciado. El mejor jefe.

Al Prof. Ricardo Alezones, por su excepcional amistad.

A mis compañeros del “equipo”: Isiris, Yayo, Daniel (portu), Gilberto Soto, Vanessa, Saileth, Paolo, Darwin, Silvano y Delmiro. Especialmente a Isiris, Daniel y Gilberto.

A mis padres, por inculcarme valores para enseñarme a distinguir entre el bien y el mal. Por su apoyo, amor y paciencia, pero sobre todo, por permitirme estar aquí.

A mis hermanos, por quererme, apreciarme, admirarme y apoyarme, a pesar de nuestras diferencias.

A mi compañero de vida, Luis Alejandro, por amarme sin necesidad de hacer promesas. Te Amo.

A mi familia, en la que incluyo a mis amigos más cercanos, por esperar siempre lo mejor de mí.

A mis amigos de la Escuela de Geología: Pedro, Eduardo (chino), César, Mariana, Ana, Alonso, Eduardo, Gabriela Carrillo, Leticia, Aytora, Ramón, Lilian, Herbert, Carmen Camacho, Lorena, Gilberto, Lenin, Ali, Adriana, Elías, Raymi, Marien, Luisito, Nahysa, Argenis, Tatiana, Carlos, Claudia, Neca, Ma. Angélica, Karem.

## **2. GEOLOGÍA REGIONAL**

## 2.1 Sedimentación del Cretácico

A comienzos del Cretácico tiene lugar el inicio de una transgresión marina que permitió la depositación de importantes secuencias sedimentarias hacia el norte del área cratónica venezolana.

La sedimentación en el Cretácico Temprano comienza con la depositación de las areniscas de la Formación Río Negro, en el Neocomiense. Esta sedimentación se caracteriza por ser fluvial y GONZÁLEZ DE JUANA *et al* en 1985, la describe como una sedimentación de relleno de surcos.

Los surcos de Machiques, Uribante y Barquisimeto son rellenos con grandes volúmenes de sedimentos fluviales con algunas inclusiones marinas que indican el inicio del progreso de la transgresión. Estas áreas de surcos se consideran como zonas de altas tasas de subsidencia y sedimentación.

Al quedar rellenos los surcos comienza a depositarse una secuencia carbonática, Grupo Cogollo, correspondiente al Aptiense-Albiense. Éste está compuesto por tres formaciones que son: Apón, Lisure y Maraca, en la plataforma de Maracaibo y surco de Machiques. En Los Andes el Grupo Cogollo está representado por las formaciones Apón, Aguardiente y Maraca.

Litológicamente, el Grupo Cogollo es principalmente carbonático por lo que evidencia el paso de ambientes continentales representados por la Formación Río Negro a ambientes marinos como los que representa el Grupo Cogollo.

Se desarrollaron entonces durante el Aptiense Temprano y Medio, ambientes marinos de escasa profundidad, generando las calizas correspondientes al Miembro Tibú de la Formación Apón (GONZÁLEZ DE JUANA *et al*, 1985). A finales del Aptiense se produce la sedimentación de intervalos delgados de lutitas dolomíticas, denominados como Miembro Guaimarós de la Formación Apón.

Una notable subsidencia ocurre en la parte central del surco de Machiques produciendo una sedimentación caracterizada por lutitas calcáreas laminares y oscuras denominadas Miembro Machiques de la Formación Apón, con relativa poca extensión superficial, presentando características de roca madre (MOMPART, 1994).

Durante el Albiense se genera un importante flujo de clásticos hacia toda la cuenca occidental venezolana, evidenciado por las formaciones Lisure y Aguardiente.

A finales del Albiense se igualan las condiciones de sedimentación en la plataforma de Maracaibo, surco de Machiques y Los Andes, donde se depositan las calizas bioclásticas de la Formación Maraca.

El lapso Cenomaniense-Santoniense abarca la etapa de la máxima transgresión y está representado fundamentalmente por la Formación La Luna, predominantemente calcárea. En los estados Trujillo y Lara presenta litologías más diversas por lo que se reconocen los miembros denominados La Aguada, Chejendé y Timbetes.

El miembro Ftanita del Táchira se presenta como una unidad de distribución local correspondiente a la porción superior de la Formación La Luna.

La Formación La Luna presenta durante el lapso Cenomaniense-Turonense un cambio lateral de facies representado por la Formación Capacho con sus tres miembros: La Grita, Seboruco y Guayacán; hacia el SW andino. Para este período existían condiciones anóxicas en una parte de la cuenca, sin embargo en esta área predominaba un ambiente más oxigenado y de mayor energía.

Hacia el sur de la cuenca se depositaron unidades en ambientes costeros que bordeaban el límite norte del cratón de Guayana, como lo son las formaciones Escandalosa y Fortuna, ésta última definida informalmente.

En el lapso Coniaciense-Santoniense se depositan hacia el sur del Táchira los equivalentes cronoestratigráficos de la Formación La Luna denominados Formaciones La Morita y Quevedo. Hacia Barinas se deposita la Formación Esperanza, definida informalmente.

Durante el lapso Campaniense-Maastrichtiense tiene lugar una etapa de reducida tasa de sedimentación indicada por la presencia de capas glauconíticas y fosfáticas.

En la zona de Los Andes se deposita el Miembro Tres Esquinas de la Formación La Luna, mientras que hacia la plataforma de Maracaibo y el surco de Machiques se depositan las calizas del Miembro Socuy de la Formación Colón.

La Formación Colón se considera como un conjunto espeso de lutitas seguido por la sedimentación de areniscas calcáreas de grano fino, limolitas de la Formación Mito Juan donde el contacto entre las dos es difícilmente reconocible (GONZÁLEZ DE JUANA *et al*, 1985).





FORMACIÓN	SECCIÓN TIPO	LITOLOGÍA	FÓSILES Y EDAD	ESPESORES	CORRELACIÓN	CONTACTOS	AMBIENTE
<b>RÍO NEGRO</b>	Definida por HEDBERG Y SASS (1937) en las gargantas del río Negro, al SW del Machiques, distrito Perijá, estado Zulia.	Areniscas líticas, arcosas y conglomerados de color gris-claro amarillento. Es común la estratificación cruzada. Intercalaciones de limolitas y lutitas. Algunas ortocuarcitas y tobas.	Restos vegetales. Abarca el Barremiense, pero extendiéndose muy posiblemente desde el Neocomiense.	3000 m en su sección tipo, sin embargo se posible que en este lugar la sección se encuentre repetida por fallamiento. 1200 m en el río Yasa y 2830 m en el río Apón. En Curarigua estado Lara tiene 160 m y en Pregonero estado Táchira sólo alcanza de 80 a 100 m.	Debido a su posición estratigráfica es aparentemente correlativa con el grupo Yuruma en la península de la Goajira, aunque presentan litologías diferentes. Sin embargo hacia el este se le compara cronológicamente con la Formación Barranquín.	Discordante sobre formaciones precretácicas y concordante con la Formación Apón.	Continental fluvio-deltaico. Ambiente deltaico con influencia marina. También presenta facies de lagunas costeras y llanuras de marea.
<b>APÓN</b>  Miembros: Tibú Guáimaros Machiques Piché	Definida por SUTTON (1946) en el río Apón, 10 Km al oeste de Machiques, distrito Perijá, estado Zulia.	Caliza gris-azulado, dura, densa, en capas gruesas generalmente fosilíferas. Intervalos menores de lutitas calcáreas gris oscuro y lutitas arenosas. El miembro Guáimaros está compuesto en gran medida por lutitas grises generalmente dolomíticas, en parte limolíticas a finamente arenosas.	Cretácico medio Inferior; son comunes los amonites, moluscos y foraminíferos. En Perijá son comunes los amonites de los géneros <i>Chelinoceras</i> , <i>Parahoplites</i> y <i>Deshayesites</i> . Aptiense-Albiense inferior, según la fauna de amontes.	650 m en su sección tipo y 510 m en el río Cachirí. En el surco de Machiques presenta un espesor promedio de 600 m. 250 m en la plataforma de Maracaibo. 100-200 m en Táchira-Tarra. 137 m en la región de Chejendé-Mitón, estado Trujillo.	Equivalente crono y litoestratigráfico de la Formación El Cantil en el oriente venezolano.	Contacto concordante y localmente diacrónico con la Formación Río Negro infrayacente y con la Formación Lisure suprayacente en la plataforma de Maracaibo y surco de Machiques. Donde infrayace a la Formación Aguardiente el contacto es concordante y se distingue por el cambio ascendente de calizas a areniscas.	Ambiente marino abierto de aguas someras y cálidas. Prof. Máx. 50 m. En parte facies de lagunas costaneras protegidas. Miembro Guáimaros: Depositado en aguas más someras y restringidas.

**TABLA 2.1:** Formaciones Río Negro y Apón (Tomado y modificado de Baptista 1994).

FORMACIÓN	SECCIÓN TIPO	LITOLOGÍA	FÓSILES Y EDAD	ESPESORES	CORRELACIÓN	CONTACTOS	AMBIENTE
<b>LISURE</b>	Descrita por ROD y MAYNC (1954) en el caño Cusare, ramal del río Chaparro, con sección de referencia en el caño Lisure, tributario del caño Maraca, Perijá estado Zulia.	Areniscas calcáreas cuarzosas, también glauconíticas, grises o verdosas, areniscas micáceas laminares, calizas arenosas glauconíticas, calizas grises y calizas coquinoides. Intercalaciones de arcillas laminares arenosas y algunas capas de calizas conchíferas.	Foraminíferos tales como <i>Haplostiche texana</i> , <i>Discorbis minima</i> y <i>Textularia rioensis</i> , amontes y equinoides. Albiense medio superior.	135 m en el caño Cusare; 180 m en el caño Maraca; 145 m en el río Yasa. En general, presenta un espesor promedio de 100-130 m en Perijá. En general el espesor formacional se encuentra entre los 55 y 180 m.	Hacia el sureste (Andes, Trujillo y Lara) se correlaciona con la Formación Aguardiente. Se asemeja litológica y faunalmente con la Formación Chimana en el oriente venezolano.	Concordante con la Formación Apón, e infrayacente y transicional con la Formación Maraca suprayacente.	Marino abierto somero con oleaje. Lagunas costeras. Barrera con playa asociada, barrera sumergida en plataforma.
<b>AGUARDIENTE</b>	Sección tipo en la fila de Aguardiente al sur de la concesión Barco en Colombia, concesión de referencia definida por RENZ (1959) en el cerro Peñas Altas, estado Lara.	Mayormente areniscas cuarzosas limpias, bien estratificadas, tamaño de grano variable de grueso a fino de sur a norte de la cuenca. En algunos lugares de Mérida y Táchira son glauconíticas, con intercalaciones de lutitas negras o grises a veces ligníticas.	El índice más importante es <i>Orbitolina concava texana</i> , se encuentra además <i>Exogyrasp.</i> Y el amonites <i>Egonoceras sp.</i> Aptiense superior-Albiense medio.	100-150 m en su sección tipo y 400 m en la sección de referencia en el estado Lara. 500 m cerca de San Cristóbal y 350 m al norte de Táchira, llegando a 1150m en el arco de Mérida. 504 m en el área de Chejendé-Mitón. En Barinas se encuentran espesores entre 70 y 100 m.	En el subsuelo de Barinas la Fm. Aguardiente está representada de manera informal por el miembro "T" de la Fm. Fortuna. Hacia la plataforma de Maracaibo y surco de Machiques se correlaciona con la parte superior de la Fm. Apón y con la Fm. Lisure.	Hacia la base el contacto es concordante y diacrónico con la Fm. Apón. Al sur de Táchira y Barinas donde no aparece la Fm. Apón es discordante sobre rocas pre-cretácicas. Hacia el tope es concordante y transicional con la Fm. Maraca y concordante con la Fm. Escandalosa al sur de Táchira-Barinas.	Barra o cordón litoral y playa asociada. Lagunas costeras pantanosas. Barra sumergida en una plataforma somera. Aguas someras de mar abierto con circulación y salinidad normal.

**TABLA 2.2:** Formaciones Lisure y Aguardiente (Tomado y modificado de Baptista 1994).

FORMACIÓN	SECCIÓN TIPO	LITOLOGÍA	FÓSILES Y EDAD	ESPEORES	CORRELACIÓN	CONTACTOS	AMBIENTE
<b>MARACA</b>	Sección Tipo en el caño Maraca, tributario del río Yasa; definida por ROD y MAYNC (1954).	Calizas coquinoideas masivas de colores claros, calizas arenosas, calizas arenosas grises y muy fosilíferas en capas gruesas y calacarenitas bioclásticas. Intercalaciones de margas y lutitas gris claro a ocre claro.	<i>Ostrea scyphax</i> , <i>Exogyra sp.</i> ; varias especies del género <i>Oxitropidoceras</i> . Albiense superior.	50 m en el caño Maraca. 80 m en el río Negro y 120 m en el caño Cusare. 70 m promedio en Perijá. 8 m aprox. Cerca de Escucue estado Trujillo. 10 a 20 m en Los Andes.	Es contemporánea con parte de las formaciones Chimana y El Cantil al este de Venezuela.	Infrayace a la Fm. La Luna. Y el contacto sugiere un marcado cambio ambiental aunque las relaciones estratigráficas son concordantes y hasta transicionales. El contacto inferior es generalmente transicional con las fms. Lisure en la plataforma de Maracaibo y surco de Machiques, y Aguardiente en Los Andes, Trujillo y Lara.	Marino abierto somero de circulación y salinidad normal de aguas agitadas. También se presentan facies de aguas someras algo protegidas.
<b>CAPACHO</b>  Miembros: La Grita, Seboruco y Guayacán	Localidad tipo: cerro Capacho al sur de Independencia, estado Táchira. RENZ (1959) realiza la subdivisión en miembros. La Grita: río La Grita estado Táchira. Seboruco: río Guaríes estado Mérida. Guayacán: quebrada Guayacán, Colombia. Sección de referencia río Guaríes.	La Grita: calizas negras, densas alternado con calizas arcillosas finamente laminadas y concreciones calcáreas. Seboruco: lutita maciza, dura y no calcárea, gris oscuro a negro con pocas capas delgadas de caliza. Guayacán: capas gruesas de calizas bioclásticas macizas intercaladas con lutitas.	La Grita: restos de peces, foraminíferos plácticos con tipos primitivos de <i>Rotalipora sp.</i> que indican una edad probable Cenomaniense inf.-Albiense sup. Seboruco: <i>Globigerina sp.</i> Cenomaniense sup.-Turoniense inf. Guayacán: pequeños bivalvos, amontes. Turoniense superior.	En Táchira alcanza unos 240 m, 310 m en río de Oro, 460 m en el valle de Carache estado Trujillo, 223 m en las cabeceras del río Cachirí en Perijá y 400 m en el río Apón. En sus secciones tipo: Miembro La Grita: 510 m. Miembro Seboruco: 120 m. Miembro Guayacán: 60 m en la sección de referencia.	Se Correlaciona con la parte inferior de la Fm. La Luna al norte de la cuenca de Maracaibo, y con la Fm. Escandalosa en la cuenca de Barinas.	Concordantes en la base con la Fm. Maraca o con la Fm. Aguardiente, y en el tope con la Fm. La Luna. Excepcionalmente se presentan transicionales, especialmente en aquellos sitios donde las calizas de Maraca y Guayacán desaparecen de la secuencia.	Marino con circulación y salinidad normal con facies muy someras y poco oxigenadas en la base.

**TABLA 2.3:** Formaciones Maraca y Capacho (Tomado y modificado de Baptista 1994).

FORMACIÓN	SECCIÓN TIPO	LITOLOGÍA	FÓSILES Y EDAD	ESPEORES	CORRELACIÓN	CONTACTOS	AMBIENTE
<p><b>LA LUNA</b></p> <p>Hacia Trujillo-Lara se reconocen tres miembros: La Aguada Chejendé Timbetes.</p> <p>Hacia el SW andino se reconoce el Miembro Ftanita de Táchira.</p>	<p>Establecidas por HEDBERG Y SASS (1937). En la quebrada La Luna, distrito Perijá estado Zulia RENZ (1959) define tres miembros en Trujillo y Lara: La Aguada: Caserío La Aguada, 4 Km al N de Barbacoas estado Lara.</p> <p>Chejendé: Camino Chejendé-Mitón, estado Trujillo.</p> <p>Timbetes: quebrada Timbetes, estado Trujillo.</p> <p>En el SW andino establece el Miembro Ftanita de Táchira en la quebrada Zorca.</p>	<p>Calizas laminadas densas gris oscuro a negro, carbonáceas a bituminosas y arcillas, calcáreas o no, de color negro. Son muy típicas las concreciones elipsoidales y discoidales de calizas.</p> <p>Es común la ftanita negra.</p> <p>La Aguada: parte inferior : caliza densa gris oscuro, algunas concreciones, fauna pobre.</p> <p>Parte superior: típica de Fm. La Luna.</p> <p>Chejendé: predominio de lutitas y margas.</p> <p>Timbetes: capas de caliza bien estratificadas, muchas veces concrecionarias.</p> <p>Ftanita del Táchira: Capas de ftanita negra finamente laminada con olor a petróleo.</p> <p>Intercalaciones de lutita y caliza negra.</p>	<p><i>Amonites sp.</i>, <i>Inoceramus sp.</i>, <i>Rotalipora appeninica</i>, <i>Globotruncana</i> de doble quilla, <i>Inoceramus labiatus</i>, <i>Texanites texanum</i>, <i>Paralenticeras sieversi</i>, <i>Globorotalia</i>, <i>Globigerina</i> y <i>Güembelina</i>.</p> <p>Cenomaniense a Santiense.</p> <p>La Aguada: Numerosos amonites del Cenomaniense inferior y medio, foraminíferos plácticos y restos de peces.</p> <p>Chejendé: amonites, varias especies de Inocerámidos y foraminíferos plácticos.</p> <p>Timbetes: <i>Amonites</i>, <i>Inoceramus sp.</i>; foraminíferos: <i>Globigerina</i>, <i>Globotruncana</i> y <i>Güembelina</i>.</p>	<p>300 m en su sección tipo (intervalo repetido por fallas).</p> <p>A lo largo del frente oriental de la sierra de Perijá no sobrepasa los 183 m. Hacia el SE a través de la cuenca, en el valle Carache de Trujillo presenta 315 m. Al SW de Trujillo en el río Buena Vista presenta entre 70 y 100 m de espesor.</p> <p>Espesores de los miembros en su sección tipo: La Aguada: 60 m aproximadamente. Chejendé: 80 m. Timbetes: 90 m. Ftanita de Táchira: 80-100 m.</p>	<p>La porción inferior de la Fm. La Luna es correlaciona con la Fm. Capacho y con la Fm. Escandalosa en la cuenca de Barinas.</p> <p>La Aguada: Equivalente de La Grita y parte de Seboruco.</p> <p>Chejendé: equivalente del Miembro Guayacán y parte de Seboruco.</p> <p>Timbetes: hacia el SW andino se correlaciona con la Fm. La Luna y el Miembro Ftanita del Táchira.</p> <p>Hacia el sur de Táchira-Barinas la porción superior de la Fm. La Luna es correlacionable con las formaciones La Morita y Quevedo.</p> <p>En conjunto, se correlaciona con la Fm. Querecual al este de Venezuela.</p>	<p>En Táchira el contacto inferior es concordante con la Fm. Capacho y hacia el tope pasa gradualmente al Miembro Ftanita del Táchira el cual infrayace a la Fm. Colón. El contacto inferior con la Formación Maraca en general es concordante e inclusive transicional.</p> <p>El contacto con la Fm. Colón suprayacente es estructuralmente concordante, pero existen indicios que podrían sugerir la interrupción temporal de la sedimentación en este contacto.</p>	<p>En general ambiente marino pelágico, bajo condiciones de fondo euxínicas.</p>

**TABLA 2.4:** Formación La Luna(Tomado y modificado de Baptista 1994).

FORMACIÓN	SECCIÓN TIPO	LITOLOGÍA	FÓSILES Y EDAD	ESPEORES	CORRELACIÓN	CONTACTOS	AMBIENTE
<b>ESCANDALOSA</b>	Definida por RENZ (1959) en la quebrada Escandalosa, al SW de Táchira.	Areniscas de grano fino, glauconíticas. Arenisca cuarzosa, maciza, algo calcárea, marrón claro-verdoso con abundante glauconita. Intercalaciones de lutita negra más calcárea, a veces limolítica hasta finamente arenosa y micácea.	En el pozo Burgua-3 se hallan foraminíferos plácticos y béticos no definidos y en otros lugares se ha reportado <i>Ostrea sp.</i> en los intervalos calcáreo-arenosos. Edad Cenomaniense-Turonense por correlación lateral y por sus relaciones estratigráficas.	300 m en sección tipo, 275 m en la quebrada Agua Fría estado Táchira. Entre 150 y 147 m en otras localidades. A través del subsuelo de la cuenca el espesor varía entre 55 y 362 m.	Equivalente de la Fm. Capacho y de los miembros informales "S", "R" y "P" de la Fm. Fortuna en el subsuelo de Barinas. La porción superior de la Fm. Escandalosa se reconoce como el Miembro Guayacán de la Fm. Capacho.	Hacia la base, contacto concordante con la Fm. Aguardiente. Hacia la porción superior de la Formación se reconoce el Miembro Guayacán de al Fm. Capacho en contacto concordante con la Fm. La Morita.	Representa una facies arenosa, nerítica superior de la Fm. Capacho y de la porción inferior de la Fm. La Luna.
<b>LA MORITA</b>	Definida por RENZ (1959) en la quebrada Agua Fría, afluente del río Pita, 36 Km al NE de La Morita.	Lutitas grises oscuras. Varían de calcáreas a parcialmente limolíticas. Se presentan finas intercalaciones calcáreas con pelotillas de fosfato y restos de peces.	Coniaciense según especies de amontes ( <i>Barroisiceras sp.</i> ) reportados en la quebrada Escandalosa hacia la parte inferior de la Formación. Pozo Burgua-3: <i>Globotruncana fornicata</i> , <i>Globigerina sp.</i> , y restos de peces.	180 m en la sección tipo. 150 m en el pozo Burgua-3. 20 m en el campo Sinco.	Hacia el SE de los Andes representa una transición de la Fm. La Luna y de Táchira septentrional. En el campo Sinco equivale al Miembro "N" de la Fm. Esperanza.	Concordante en tope y base con las formaciones Quevedo y Escandalosa respectivamente.	Principalmente de ambiente marino nerítico.
<b>QUEVEDO</b>	Se encuentra al este-NW de la quebrada Quevedo y unos 30 Km al NW de Santa Bárbara de Barinas. El nombre de esta formación fue propuesto por RENZ (1959).	Roca silíceo dura de grano muy fino y de colores claros. Son comunes las capas de pelotillas de fosfato y restos de peces. Intercalaciones de areniscas, lutitas negras y calizas fosfáticas.	Restos de peces, ostrácodos y radiolarios. Los peces son del grupo de los arenques, familia <i>Cupleidae</i> . Se han reportado reptiles marinos del Cretácico superior (Mosasaurios). Santoniense.	180 m en la sección tipo. 210 m en la quebrada Escandalosa. 200 m en el pozo Burgua-3.	Representa un equivalente del Miembro Ftanita del Táchira y es equivalente a la parte superior de la Fm. La Luna de Táchira septentrional. En los campos Silvestre y Sinco equivale a los miembros "M" y "T" de la Fm. Esperanza.	Concordante en base y tope al sur de Táchira con las formaciones La Morita y Burguita respectivamente.	Nerítico a costero-litoral. Aguas someras y bien oxigenadas.

**TABLA 2.5:** Formaciones Escandalosa, La Morita y Quevedo (Tomado y modificado de Baptista 1994).

<b>FORMACIÓN</b>	<b>SECCIÓN TIPO</b>	<b>LITOLOGÍA</b>	<b>FÓSILES Y EDAD</b>	<b>ESPEORES</b>	<b>CORRELACIÓN</b>	<b>CONTACTOS</b>	<b>AMBIENTE</b>
<p><b>FORTUNA Y ESPERANZA</b></p> <p>(Informales)</p>	<p>Localidad tipo: Campo Silvestre, estado Barinas.</p>	<p>Fortuna (miembros en orden estratigráfico ascendente):            “T”: caliza arenosa densa a arenisca calcárea.            “S”: lutita carbonosa y micácea.            “R”: arenas macizas localmente calcáreas.            “P”: arenas cuarzosas macizas.            “O”: caliza fosilífera gris.</p> <p>Esperanza:            Sucesión de arcillitas, limolitas, lutitas y areniscas interestratificadas.            Glauconita, fosfato, ftanita y restos de peces.</p>	<p>Son típicos los restos de peces.            En la Formación Esperanza se presentan capas delgadas con espinas de peces altamente radioactivas.</p>	<p>En su sección tipo la Formación Fortuna presenta los siguientes espesores en los miembros informales:            “T”: 5-57 m            “S”: 9 m            “R”: 47 m            “P”: 46 m            “O”: 34 m</p> <p>El espesor de la Formación Esperanza varía entre 107-153 m y depende de la erosión ocurrida durante el Terciario.</p>	<p>Fortuna:            Miembro “T”: equivale a la Formación Aguardiente expuesta en su superficie.            Miembro “O”: equivale al Miembro Guayacán de la Formación Capacho. Los miembros “S”, “R” y “P” son equivalentes de la Fm. Escandalosa hacia el sur de Táchira.</p> <p>Esperanza:            El Miembro “N” es equivalente a la Formación La Morita, y los miembros “M” y “G” en el campo Silvestre de Barinas son equivalentes a la Formación Quevedo hacia el sur del estado Táchira.</p>	<p>Esperanza: contacto inferior con la Formación Fortuna y contacto superior discordante con sedimentos terciarios.</p> <p>Fortuna: contacto superior con la Formación Esperanza y base discordante sobre rocas pre-cretácicas.</p>	<p>Marino de aguas someras a costero.</p>

**TABLA 2.6:** Formaciones Fortuna y Esperanza (Tomado y modificado de Baptista 1994).

FORMACIÓN	SECCIÓN TIPO	LITOLOGÍA	FÓSILES Y EDAD	ESPESTORES	CORRELACIÓN	CONTACTOS	AMBIENTE
<p><b>COLÓN</b></p> <p>Miembros:</p> <p>plataforma de Maracaibo y surco de Machiques: Socuy;</p> <p>Andes, Trujillo-Lara: Tres Esquinas;</p> <p>Trujillo-Lara: Cujisal.</p>	<p>El nombre de Formación Colón fue por primera vez usado por geólogos de la Compañía Shell en los afloramientos del anticlinal de Tarra en el distrito Colón estado Zulia, sin embargo HEDBERG y SASS (1937) recomiendan la sección tipo en el río Lobaterita en la ciudad de Colón, estado Táchira.</p>	<p>Lutitas gris-oscuro negras, macizas, microfósilíferas y piríticas. Eventualmente son micáceas o glauconíticas. Tres Esquinas: zona rica en granos de glauconita y pelotillas de fosfato. Socuy: calizas margosas gris claro con intercalaciones escasas de lutitas. Cujisal: intervalo arenoso de la Formación Colón.</p>	<p>Se ha reportado la presencia de: <i>Pullenia cretacea</i>, <i>Siphogenerinoides bramlettei</i>, <i>Globotruncana</i>.</p> <p>Tres Esquinas: <i>Bolivina explicata</i> (Coniaciense), <i>Globotruncana calcarata</i> (campaniense superior-Maastrichtiense).</p> <p>Socuy: <i>Globotruncana conica</i> (Maastrichtiense), <i>Bolivinoides decoratus</i> (Campanéense superior).</p> <p>Cujisal: Se reportan amonites del género <i>Pachydiscus sp.</i></p>	<p>900 m en el río de Lobaterita, estado Táchira. 370 m en el río de Oro; 470 m en el río Cachirí y 400-500 m en el valle Carache de Trujillo.</p>	<p>Hacia el este del surco de Uribante grada a la Formación Burguita. Es correlativa de las formaciones Mucaria y San Antonio al este de Venezuela.</p>	<p>Pasa transicionalmente hacia el tope a facies más arenosas de la Fm. Mito Juan, lo cual es difícil de reconocer en muchos lugares. El contacto inferior con La Luna es estructuralmente concordante sin embargo esto no indica continuidad en la sedimentación. En Trujillo y Lara infrayace en concordancia a formaciones del Paleoceno.</p>	<p>Marino abierto (región pelágica) de salinidad normal y circulación moderada. La zona glauconítica o Miembro tres Esquinas, parece indicar una etapa de sedimentación reducida en un momento de quietud en la transgresión. En Trujillo-Lara el Miembro Cujisal puede corresponder a un cordón o barra litoral.</p>

**TABLA 2.7:** Formación Colón (Tomado y modificado de Baptista 1994).

FORMACIÓN	SECCIÓN TIPO	LITOLOGÍA	FÓSILES Y EDAD	ESPEORES	CORRELACIÓN	CONTACTOS	AMBIENTE
<b>BURGUITA</b>	Sección tipo fijada por RENZ (1959) en el pozo Burgua-3 donde se perforan 420 m con deformación tectónica. Sección de referencia en el río Mucupatí, NW de Santa Bárbara de Barinas.	Areniscas micáceas y limolíticas que pueden ser parcialmente glauconíticas, con frecuencia calcáreas, friables, de grano fino, gris claro con fragmentos de ftanita. Intercalaciones de lutitas gris oscuro.	Fósiles escasos. <i>Siphogerinoides</i> , <i>Rotalia</i> , <i>Cavulina</i> y <i>Bolivina</i> . Restos de peces, Campaniense superior-Maastrichtiense.	420 m en su sección tipo y 350 m aproximadamente en la sección de referencia. En el subsuelo de la cuenca de Barinas los espesores varían entre 0-177 m debido a la erosión del tope. 21 m promedio en el campo Silvestre. Y decrece hasta desaparecer en el flanco este de la cuenca.	Equivalente a Colón-Mito Juan. Corresponde a la nomenclatura informal de los miembros "H", "G", "F" y "D" de la Formación en el subsuelo de Barinas.	Contacto inferior concordante y transicional con la Formación Quevedo. Infrayace en discordancia con sedimentos terciarios.	Marino en la zona epinerítica.
<b>MITO JUAN</b>  En el surco de Machiques y SW andino se reconoce el Miembro Río de Oro.	Quebrada Mito Juan, Concesión Barco de Colombia. Miembro Río de Oro: definido por HEDBERG y SASS (1937) en las hoyas de drenaje del río de Oro y Catatumbo al norte de la Concesión Barco de Colombia.	Arcillas grises, gris-verdosas y negras, localmente arenosas. Río de Oro: calizas marinas, delgadas, fosilíferas, con frecuencia son glauconíticas y están interestratificadas con arcillas, limolitas y areniscas.	Se le asigna una edad Maastrichtiense sup. En el Miembro Río de Oro se encuentran ejemplares de amonites tales como <i>Sphenodiscus</i> y <i>Cohauillites</i> que indican una edad Maastrichtiense.	El espesor varía entre 100 y 150 m con un espesor promedio de 200 m en el distrito Mara del estado Zulia. El espesor del Miembro Río de Oro varía de 90 a 300 m. Presenta unos 50 m en el río Chama.	Hacia el sur de Táchira y parte de Barinas es equivalente a la parte superior de la Formación Burguita.	Es difícil establecer el límite inferior con la Formación Colón. Es concordante y transicional en su contacto superior con formaciones del Paleoceno.	Aguas Marinas poco profundas con intervalos salobres.

**TABLA 2.8:** Formaciones Burguita y Mito Juan (Tomado y modificado de Baptista 1994).



## 2.2 Geología estructural regional

El levantamiento de Los Andes venezolanos constituye un bloque relativamente estrecho, alargado en dirección noreste, de aproximadamente 420 Km de longitud, entre el pico El Tamá en Táchira hasta su desaparición en la depresión de Lara. Presenta un declive hacia el suroeste en la depresión del Táchira y otro hacia el noroeste en la depresión de Barquisimeto. En ambos declives, predominan las formaciones cretácicas y el plegamiento es relevante tanto en Táchira como en el anticlinorio de Barbacoas (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, 1985).

La falla más prominente en el sistema andino es la Falla de Boconó, la cual se extiende unos 425 Km entre los estados Táchira y Lara paralelamente a la cordillera de Mérida, siendo de carácter transcurrente dextral. SCHUBERT (1984) describe la estructura del levantamiento andino como resultado de los esfuerzos compresivos de la Falla de Boconó, generándose una estructura en flor.

TRIBOVILLARD *et al.* (1990) señala que la falla de Boconó es parte de la zona de contacto entre las placas de Sudamérica y el Caribe, siendo la región noreste de la cordillera de Mérida donde Los Andes autóctonos buzan axialmente bajo el Caribe alóctono. Esta región se denomina Transversal de Barquisimeto.

### **3. GEOLOGÍA LOCAL**

### **3.1 Sección La Aguada**

El Miembro La Aguada consiste en una alternancia de calizas y margas, de color ligeramente más oscuro y azulado que el de las rocas de la Formación Maraca. Las capas de caliza tienen un espesor de 20 a 60 centímetros, siendo las capas de margas aún más delgadas. Las concreciones aparecen unos metros por encima del límite inferior del miembro, dentro de las capas de caliza y marga, con una longitud promedio de 20 a 30 cm. A veces tienen un núcleo de pirita o un fósil de amonite.

El intervalo correspondiente a la sección levantada del miembro La Aguada presenta un paquete de calizas y calizas lodosas de color gris claro, de 14 m de espesor aproximadamente. Las cuales se encuentran intercaladas con pequeños paquetes de lutitas de aproximadamente 50 cm de espesor. Las calizas son fosilíferas, gris oscuro y masivas.

En general esta sección estratigráfica se caracteriza por ser una alternancia de calizas, con frecuencia fosilíferas y lodosas y lutitas. Ocasionalmente se presentan concreciones.

### **3.2 Sección Chejendé**

El Miembro Chejendé consiste en una alternancia de margas o lutitas laminadas, bastante espesas. Las calizas y las margas son de color gris oscuro o negro. Las concreciones están incluidas dentro de la caliza y el tamaño y cantidad aumentan hacia el tope del miembro. El espesor aproximado para esta unidad es de 60 m.

El miembro Chejendé se caracteriza hacia la base por presentar gruesos paquetes de lutitas con intercalaciones de capas delgadas de calizas. Hacia el tope de la sección se presentan intercalaciones de calizas y lutitas con concreciones de diversas formas y tamaños. Las calizas con frecuencia son finamente laminadas, lodosas y microfósilíferas. También se presentan calizas y lutitas con restos o huellas de moluscos (*Inoceramus* sp.).

Inicialmente se presentan unos 16 metros de lutitas laminadas de color gris oscuro intercaladas con delgadas capas de calizas de aproximadamente 50-100 cm de espesor.

Finalmente se presenta un paquete de aproximadamente 30 m de espesor caracterizado por la intercalación de calizas negras finamente laminadas y concrecionarias en capas delgadas (20-50 cm de espesor) y en paquetes que no superan los 5 metros de espesor, calizas grises masivas sin concreciones y capas más gruesas de lutitas calcáreas. Las concreciones generalmente son de calizas lodosas con la presencia de pirita, de formas variadas pero comúnmente esferoidales y/o elipsoidales de tamaños que en general oscilan entre 0.03 y 1.5 m de radio.

Las lutitas presentan cierta variedad de colores, tales como gris oscuro, marrón y púrpura. Generalmente son laminadas, en capas de 1 a 6 m de espesor, con fractura en lajas o también astillosa. Ocasionalmente se encuentran concreciones ferruginosas esferoidales o discoidales bastante pequeñas (4-5 cm de diámetro). A veces se observan huellas de *Inoceramus* sp.

Cerca del tope se presentan algunas capas muy delgadas de chert.

### **3.3 Aspectos estructurales**

El área del afloramiento forma parte del flanco occidental del sinclinal de Chejendé cuyo eje posee un rumbo aproximado de N25E. El rumbo de la estratificación en general oscila entre N5E y N15E, y los buzamientos entre 15 y 30° hacia el sur.

En toda el área de Chejendé predominan fallas con altos ángulos de buzamiento. Se presenta un sistema de fallas cuyo rumbo varía entre N5E y N35E, y otro sistema de fallas de rumbo casi perpendicular al anterior que varía entre N50W y N85W .

**4. SEDIMENTOLOGÍA DE LA FORMACIÓN LA LUNA  
EN LAS SECCIONES CHEJENDÉ Y LA AGUADA**

## **4.1 Microfacies:**

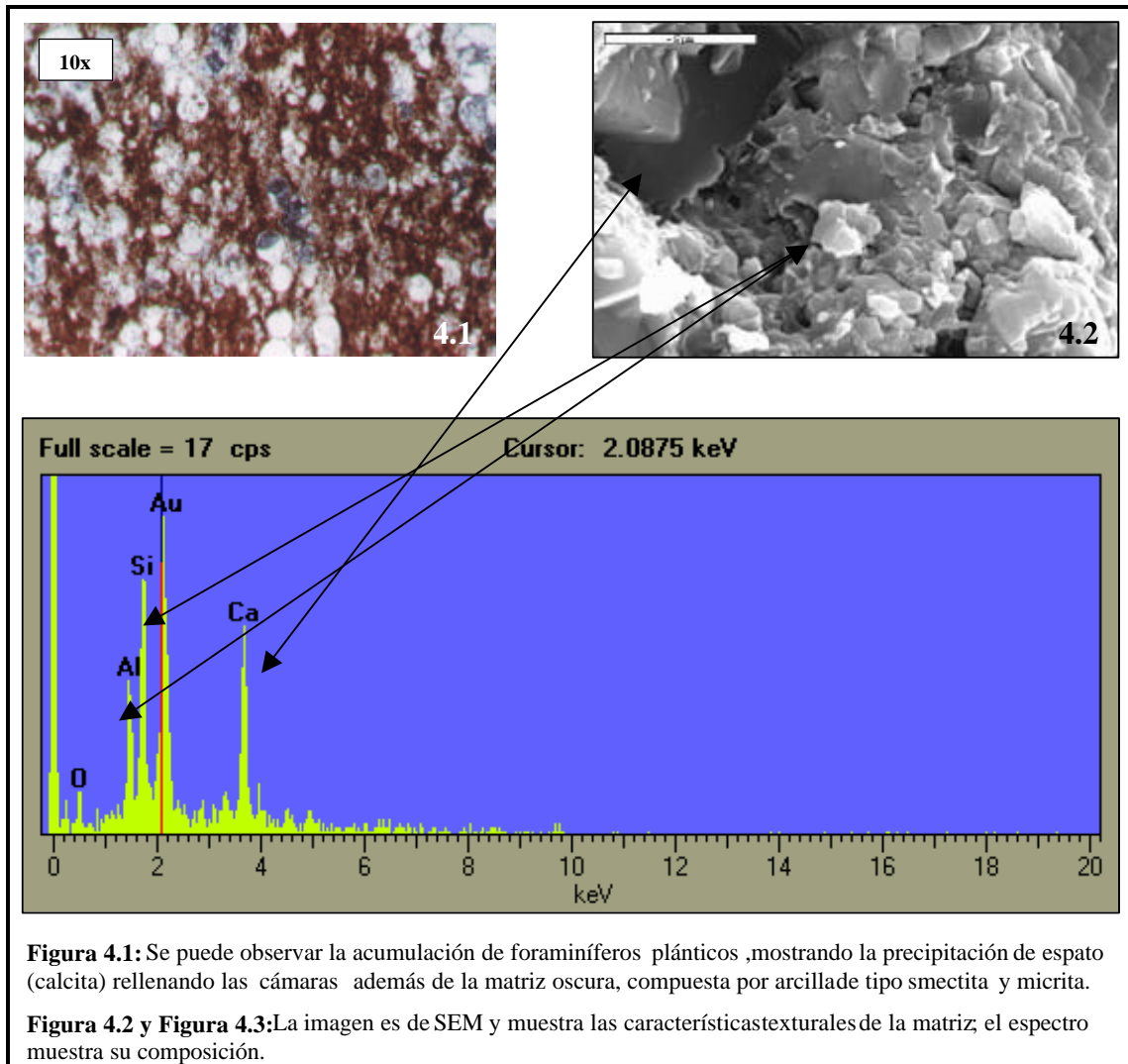
Para este trabajo se toman en cuenta los criterios propuestos por GALEA (1989), donde define ocho microfacies para caracterizar varias localidades de la Formación La Luna en los estados Táchira y Mérida, así como también la definición de dos nuevas microfacies propuestas por MADRID (2001), para caracterizar una sección de ésta Formación en el estado Trujillo.

GALEA en 1989, define las microfacies basándose en la biota y las características sedimentológicas. En cuanto a la biota se distinguen: distribución de foraminíferos plánticos y bénticos, moluscos y restos de peces. Dentro de las características sedimentológicas se incluyen la laminación, bioturbación, y contenido de glauconita y fosfatos, en algunos casos utiliza como variable el contenido de materia orgánica. MADRID (2001), toma en cuenta las características propuestas por GALEA (1989), integrándolas con la caracterización textural de DUNHAM (1962).

Para caracterizar las secciones Chejendé y La Aguada, ubicadas en el estado Trujillo, se reconocen cuatro de las microfacies propuestas por GALEA en 1989, identificadas como MF1, MF2, MF4 y MF5; una de las microfacies propuestas por MADRID en 2001, identificada como MF3; finalmente se proponen dos nuevas microfacies, identificadas como MF6 y MF7. A continuación la descripción de cada una de las microfacies:

### **Microfacies 1 (MF1): Wack-packstone de foraminíferos plánticos:**

Se reconoce sólo en la sección de Chejendé, presentándose a lo largo de toda la columna carbonática y se caracteriza por litotipos lodosos (wackstone). Está conformada por una matriz arcillosa mezclada con CaCO<sub>3</sub> y foraminíferos plánticos (15-20 %), oportunistas, bien preservados, presentando precipitación de calcita tamaño espato de tipo equigranular y/o blocky en sus cámaras (Figura 4.1), el cemento también se puede observar en fracturas extensivas. Ocasionalmente se pueden observar moluscos, que conservan en algunos casos su textura fibrosa original, aunque se pueden encontrar presentando neomorfismo de inversión heteroaxial.

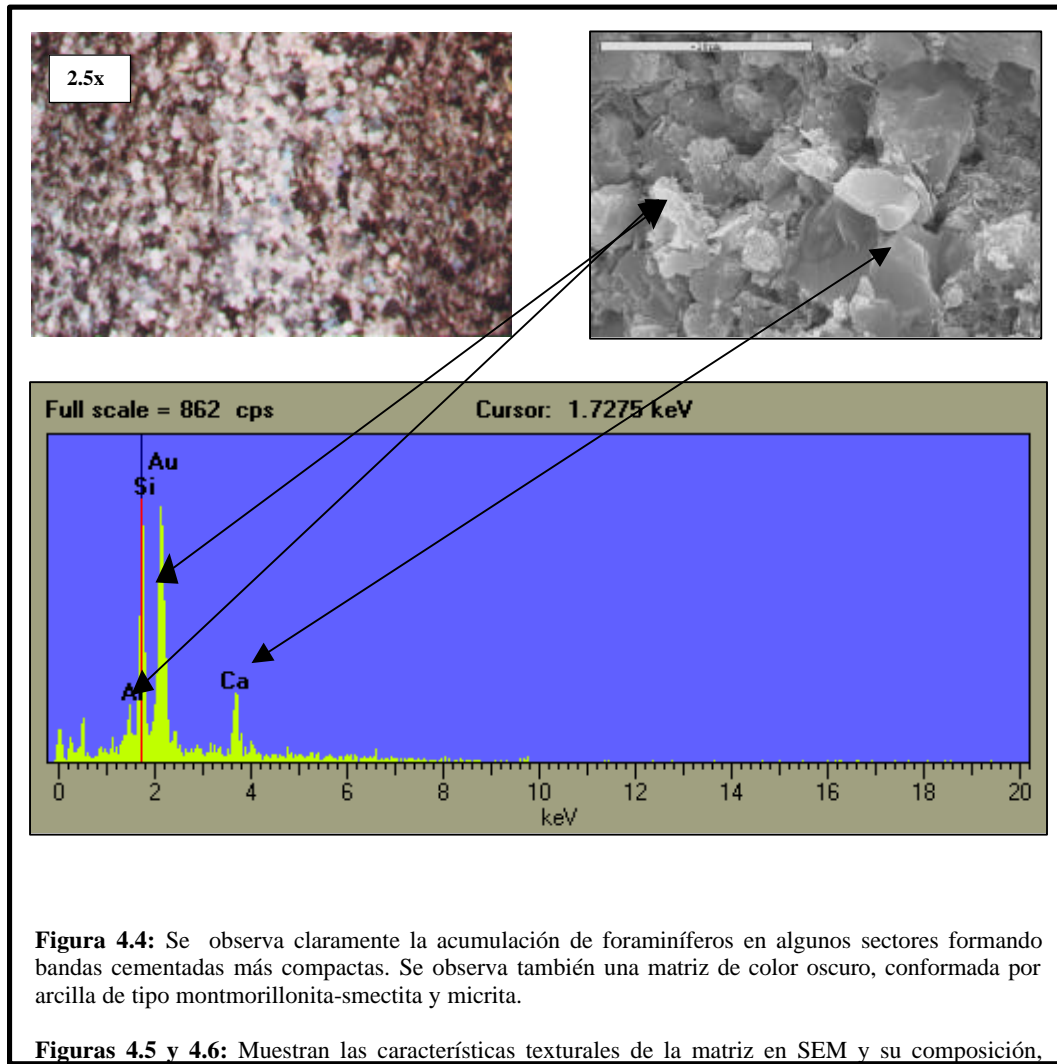


La matriz está compuesta principalmente por arcilla de tipo montmorillonita-smectita y micrita (Figuras 4.2 y 4.3), siendo esta última bastante escasa.

Pirita, sílice siderita y fosfatos se encuentran como minerales autigénicos. La porosidad es escasa y principalmente por fractura, aunque puede ser intrapartícula o por disolución.

## Microfacies 2 (MF2): Packstone microlaminado de foraminíferos plánticos.

Se presenta a lo largo de toda la columna carbonática de Chejendé y sólo hacia el tope en La Aguada. Se encuentra en los litotipos de calizas y se caracteriza principalmente por la agrupación de foraminíferos plánticos formando bandas blanquecinas, paralelas a la laminación (Fig. 4.4).



Los foraminíferos plánticos presentan características similares a las observadas en la microfacies 1 (MF1), aunque ocasionalmente pueden observarse cámaras con materia orgánica en su interior. Los moluscos se presentan orientados paralelamente a la



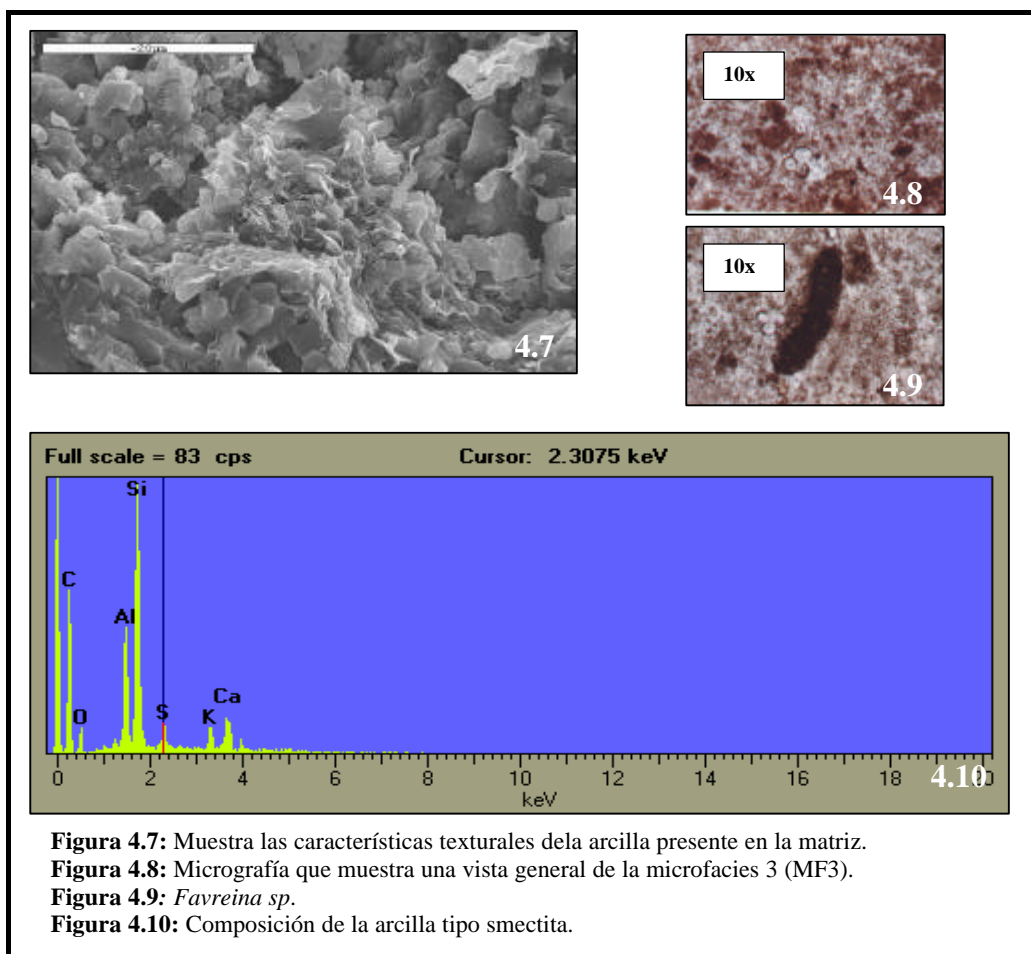
laminación; presentando neomorfismo. El cemento es calcáreo, aunque también se observa precipitación de caolinita en las cámaras de foraminíferos.

La matriz es mayormente micrítica, mezclada en menor proporción con arcillas de tipo montmorillonita-smectita (Fig. 4.5 y 4.6), las cuales se observan comúnmente en esta facies rellenando intersticios y estilolitas.

Pirita, sílice, siderita y fosfatos se presentan en esta facies, a lo largo de toda la columna carbonática, como minerales autigénicos.

### Microfacies 3 (MF3): Mudstone de foraminíferos plánticos.

En esta microfacies el contenido de arcilla tipo smectita (Fig. 4.7 y 4.10) es abundante, aunque se puede observar micrita, las arcillas representan el material correspondiente a la composición de la matriz. Los foraminíferos plánticos se encuentran en menores cantidades diseminados en la roca, sin algún tipo de arreglo preferencial. Se reconoce sólo en la sección media de ambas secciones en los litotipos de lutitas y margas.

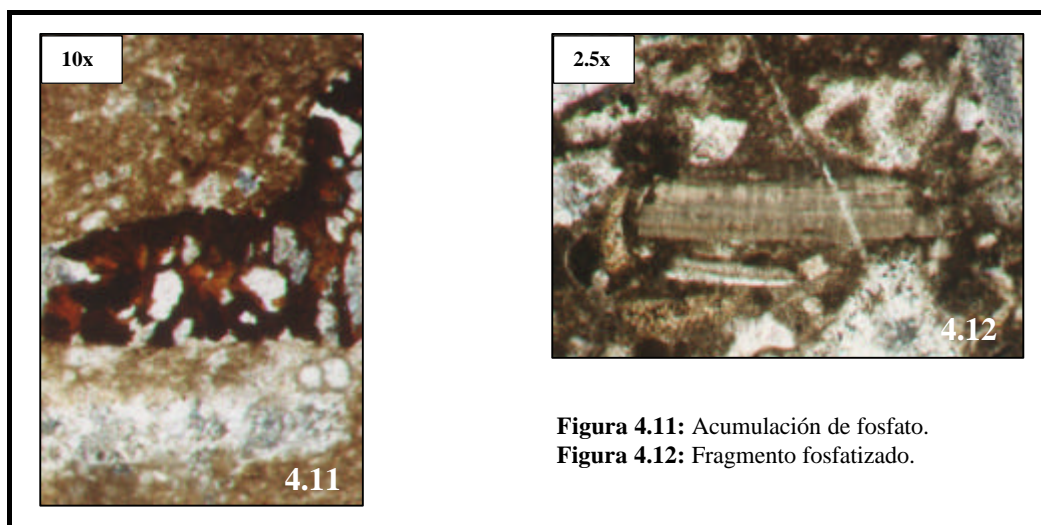


En esta microfacies se observan bioturbación y pellets fecales (Fig. 4.8) , específicamente madrigueras del género *Favreina sp.* (Fig. 4.9), compuestos de una mezcla de materia orgánica, micrita y arcillas.

Los minerales autigénicos, representados por sílice y pirita son escasos.

#### **Microfacies 4 (MF4): Wack-packstone de foraminíferos plánticos y restos de peces.**

Esta microfacies se observa sólo hacia el tope de Chejendé y en la sección media de La Aguada y resulta bastante escasa. Se caracteriza principalmente por la presencia de acumulaciones de fosfatos (Fig. 4.11), fragmentos fosfatizados de peces (Fig. 4.12) y abundantes foraminíferos plánticos, bien preservados. Se observan también fragmentos de moluscos que conservan su textura fibrosa original. La matriz está compuesta por arcillas y micrita, en menor porcentaje.



**Figura 4.11:** Acumulación de fosfato.

**Figura 4.12:** Fragmento fosfatizado.

El cemento es calcáreo y se presenta relleno de cámaras de foraminíferos y fracturas. La porosidad se presenta por fracturamiento, por disolución y móldica.

El fosfato aparece como mineral autigénico y en menor proporción sílice, pirita y siderita.

**Microfacies 5 (MF5): Wack-packstone de foraminíferos bénticos y plánticos.**

Se reconoce sólo hacia el tope de Chejendé, en los litotipos de calizas y margas, donde los foraminíferos bénticos y plánticos tienen una distribución equitativa (Fig. 4.13). La matriz se compone de arcillas y micrita, de color bastante oscuro, cementada en algunos sectores. El cemento, tamaño espato, se presenta rellenando cámaras de foraminíferos. Ocasionalmente se observan moluscos neomorfizados. Se observan madrigueras (*Favreina* sp.).

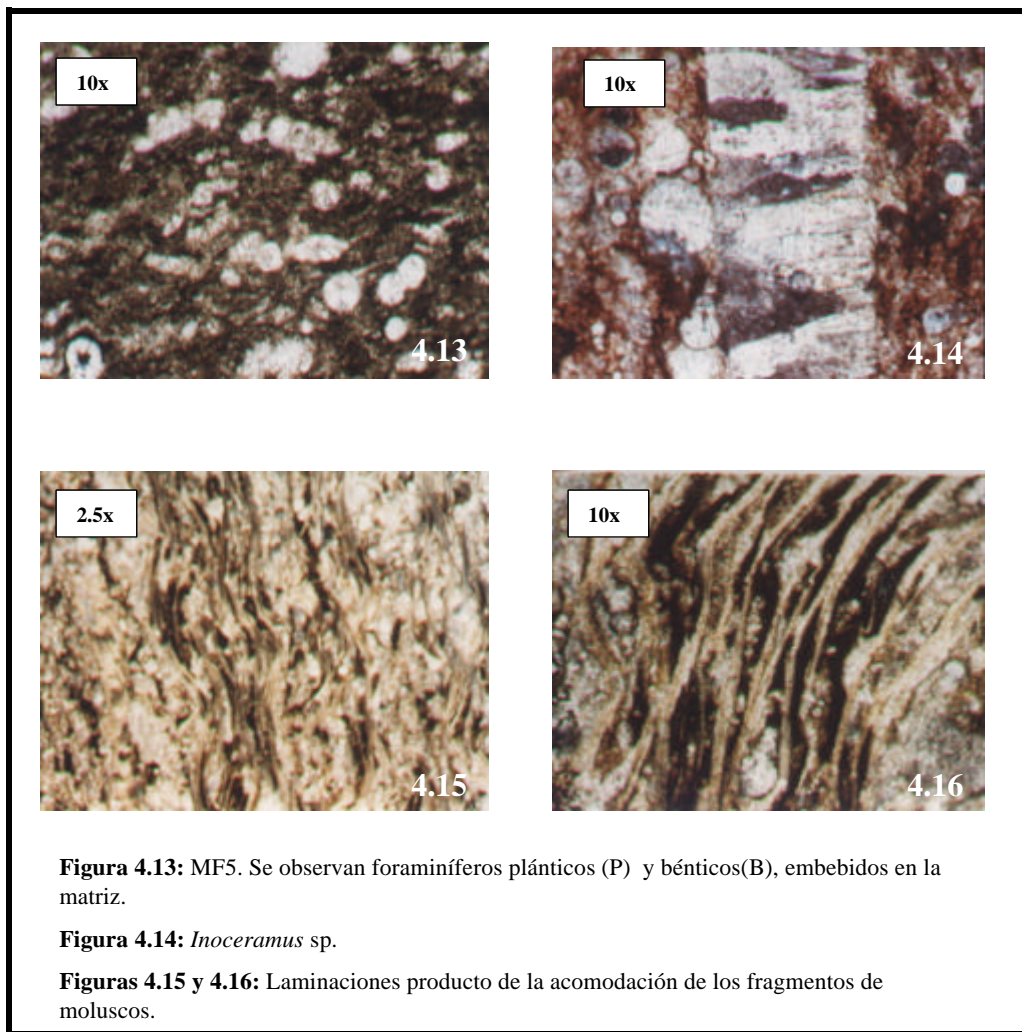
Se observa sílice, pirita y siderita, además de precipitación de caolinita.

**Microfacies 6 (MF6): Packstone microlaminado de fragmentos de moluscos.**

Esta microfacies se reconoce sólo hacia la base de Chejendé y se caracteriza por contener un alto contenido de fragmentos de moluscos (*Inoceramus* sp.) (Fig. 4.14), acomodados paralelamente, produciendo una laminación muy fina (Fig. 4.15 y 4.16). Estos fragmentos se encuentran neomorfizados, presentando inversión homoaxial y heteroaxial. Estas laminaciones se presentan en litotipos de calizas, con un contenido muy bajo de matriz, la cual está conformada principalmente por arcillas de tipo smectita.

Se observan en buena proporción foraminíferos plánticos bien preservados, embebidos entre las láminas, con precipitación de cemento tamaño espato rellenando las cámaras, de tipo equigranular y/o blocky.

Como minerales autigénicos se presentan fosfatos, barita (sulfato), siderita, además de precipitación de caolinita.



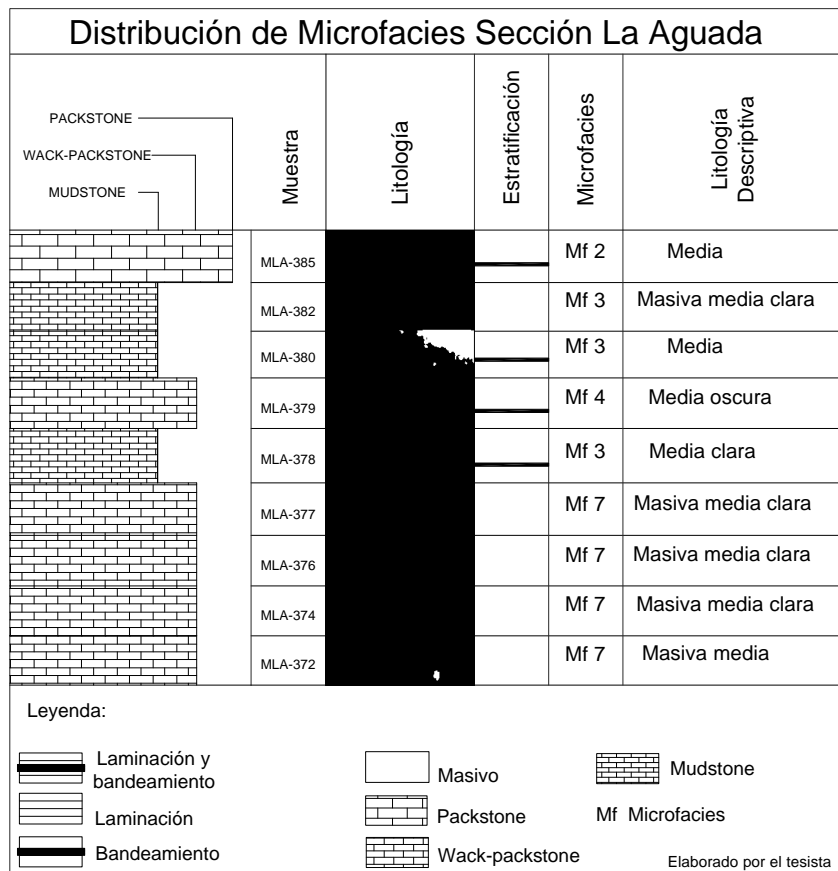
### **Microfacies 7 (MF7): Wack-packstone de fragmentos de moluscos.**

Esta microfacies se presenta sólo en La Aguada, en su sección basal y se caracteriza por contener abundantes fragmentos de moluscos, embebidos en una matriz micrítica con bajo contenido de arcillas (Fig. 4.17). Los moluscos presentan neomorfismo de inversión homoaxial y heteroaxial, también se observan foraminíferos plánticos y ocasionalmente aparecen ostrácodos (Fig. 4.18).

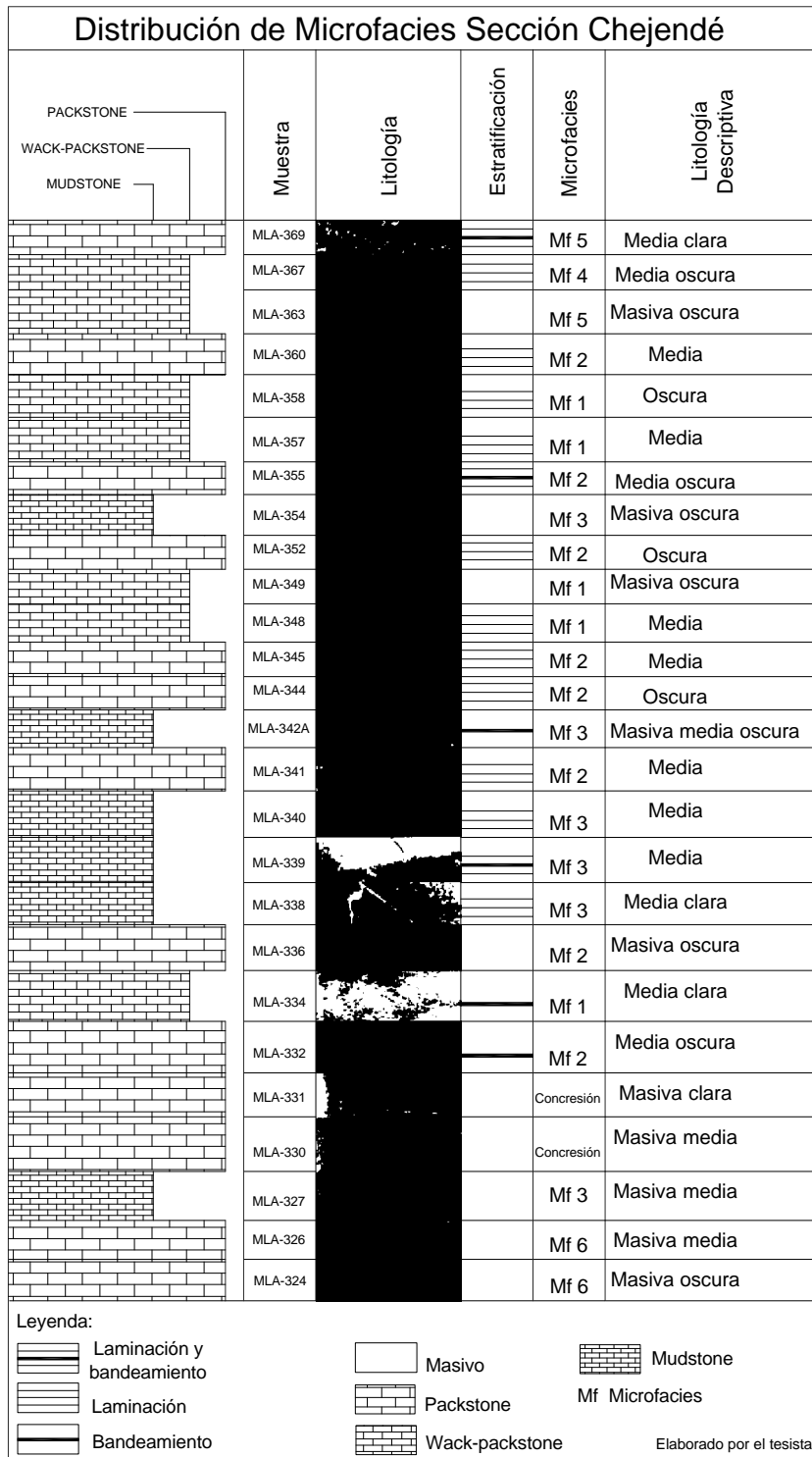
La pirita, es el mineral autigénico más abundante seguido por sílice, siderita y fosfatos.



En las Fig. 4.19 y 4.20 se presenta la distribución de las microfácies para la sección de La Aguada y la sección de Chejendé respectivamente.



**FIGURA 4.19:** Distribución de microfácies, sección La Aguada.



**FIGURA 4.20:** Distribución de microfacies, sección Chejendé.

Se puede observar que la MF7 se presenta sólo hacia la base de la sección de La Aguada y está ausente para la sección de Chejendé, donde se encuentran distribuidas las demás microfacies, predominando las microfacies 1 y 2, las cuales se encuentran asociadas directamente con el bandeamiento o la laminación presente en la mayoría de las muestras.

## **4.2 Paleontología y edad de la Formación La Luna en las secciones Chejendé y La Aguada**

### **4.2.1 Introducción**

En las secciones de Chejendé y La Aguada predomina la presencia de foraminíferos plánticos a lo largo de ambas columnas carbonáticas y con menor frecuencia ocurren apariciones de foraminíferos béticos hacia el tope de la sección de La Aguada y hacia la parte media-superior de la sección de Chejendé.

Según este contenido faunal se ratifica que durante la sedimentación de estas secciones prevalecieron condiciones euxínicas desde su inicio y finalmente más oxigenadas.

### **4.2.2 Sección La Aguada**

Esta sección tiene una edad probable Cenomaniense tardío – Turoniense, dada por la asociación faunal. Predominan los foraminíferos plánticos, principalmente organismos oportunistas como *Hedbergella* sp., *Hedbergella delrioensis*, *Heterohelix reussi*, *Heterohelix* sp., *Globigerinelloides ultramicrus*, *Whiteinella* sp., *Whiteinella báltica*. Menos comúnmente se encuentran los especialistas como *Dicarinella* sp., y *Marginotruncana* sp. En cuanto a los foraminíferos béticos predominan *Bolivina* sp., *Bulimina* sp., *Orthokarstenia* sp., y ocasionalmente *Lenticulina* sp.

También es común la presencia de restos de peces y fragmentos de moluscos *Inoceramus* sp., así como la presencia de ostrácodos, radiolarios de orden *Nassellaria* y *Spumellaria* y nanoplancton calcáreo.

### **4.2.3 Sección Chejendé**

Esta sección tiene una edad probable Turoniense tardío – Santoniense, marcado por la presencia de *Globigerinelloides bolli* en la base de la misma y por la presencia de

*Eohastigerinella watersi* hacia el tope de la misma. Predominan los foraminíferos plánticos, principalmente organismos oportunistas como *Hedbergella* sp., *Hedbergella delrioensis*, *Hedbergella planispira*, *Hedbergella simplex*, *Heterohelix reussi*, *Heterohelix* sp., *Heterohelix moremani*, *Globigerinelloides bolli*, *Globigerinelloides ultramicrus*, *Whiteinella* sp., *Whiteinella báltica*. Menos comúnmente se encuentran los especialistas como *Dicarinella* sp., *Dicarinella asyimetrica*, *Dicarinella primitiva* y *Marginotruncana* sp. En cuanto a los foraminíferos béticos predominan *Bolivina* sp., *Bulimina* sp., *Orthokarstenia* sp., y ocasionalmente *Lenticulina* sp.

También es común la presencia de restos de peces y fragmentos de moluscos *Inoceramus* sp., así como la presencia de ostrácodos, radiolarios de orden *Nassellaria* y *Spumellaria* y nanoplancton calcáreo.



## **5. DIAGÉNESIS**

## **5.1 Introducción**

Para el estudio diagenético de las secciones Chejendé y La Aguada, se utilizaron 35 secciones finas, donde se determinaron, por medio de un microscopio petrográfico, evidencias diagenéticas como minerales autigénicos, cementos, tipos de porosidad, fracturas, estilolitas, preservación de partículas fósiles, minerales detríticos y características distintivas en la matriz, como también procesos involucrados en la diagénesis que permiten determinar los diferentes ambientes diagenéticos en las secciones de estudio.

## **5.2 Evidencias Diagenéticas**

### **5.2.1 Preservación de Fósiles**

#### **Foraminíferos Pláncticos y Bénticos:**

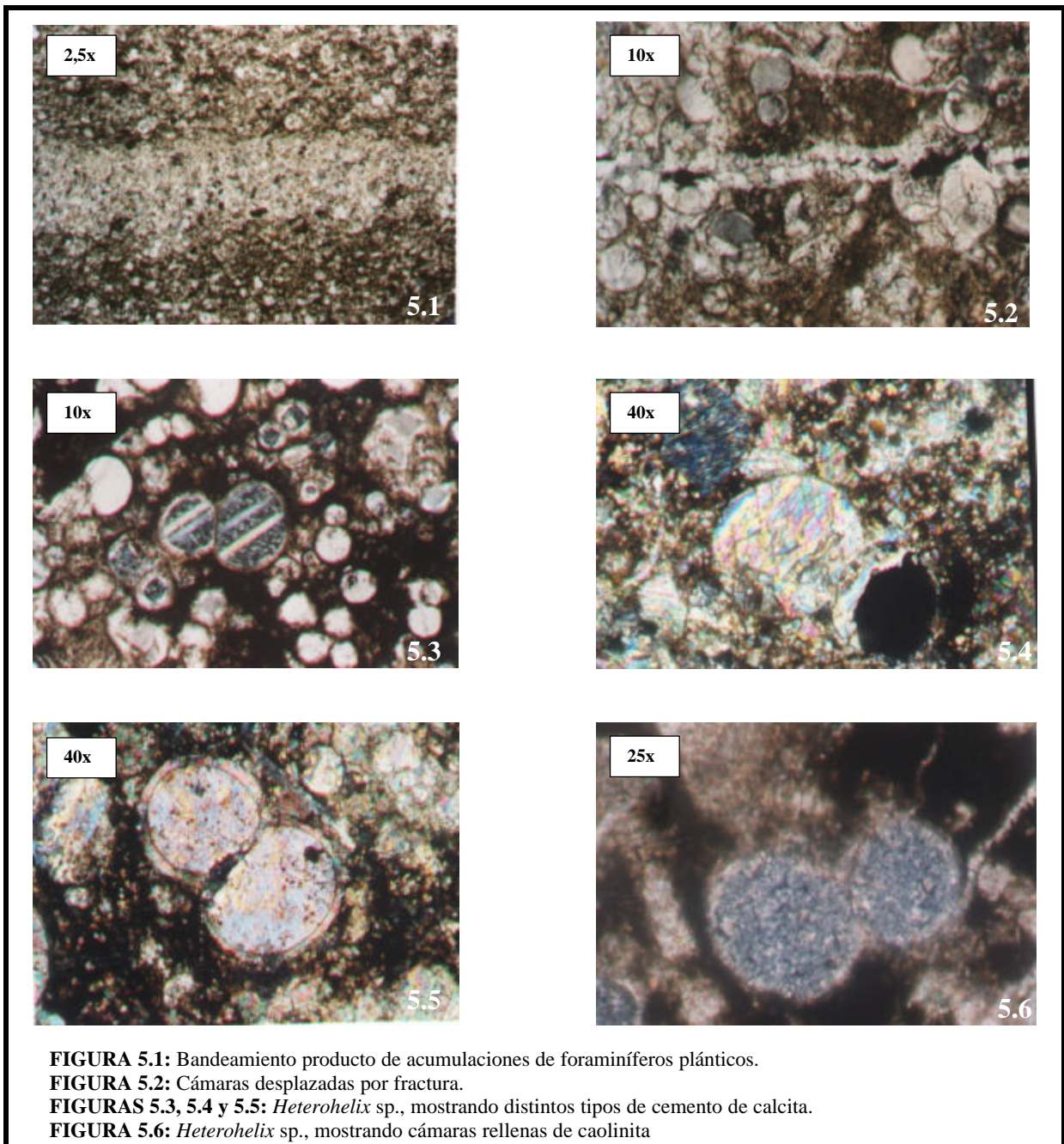
Representan el grupo fósil más abundante en las secciones estudiadas y se encuentran ampliamente distribuidos en los distintos tipos petrográficos, desde aproximadamente 10% en los mudstones hasta 40% en los packstones, respecto al contenido en roca total. En general presentan buena preservación a lo largo de ambas secciones, sin embargo, es posible encontrar cámaras sueltas y/o fragmentadas.

En algunos niveles se caracterizan por acumulaciones, dispuestos en bandas blanquecinas paralelas a la laminación, generando estructuras bandeadas, que pueden ser observadas a simple vista y en sección fina (Fig. 5.1).

También se pueden observar cámaras deformadas por la compactación y acomodadas de acuerdo a la laminación, o deformadas y posteriormente desplazadas por efectos de las fracturas (Fig. 5.2).

Las cámaras de estos fósiles, en su mayoría, se encuentran parcial o totalmente rellenas de cemento de calcita tipo equigranular, sintaxial o en bloques (Fig. 5.3, 5.4 y 5.5), aunque también se puede observar, sílice autigénica, caolinita (Fig.5.6), pirita y siderita como cemento.

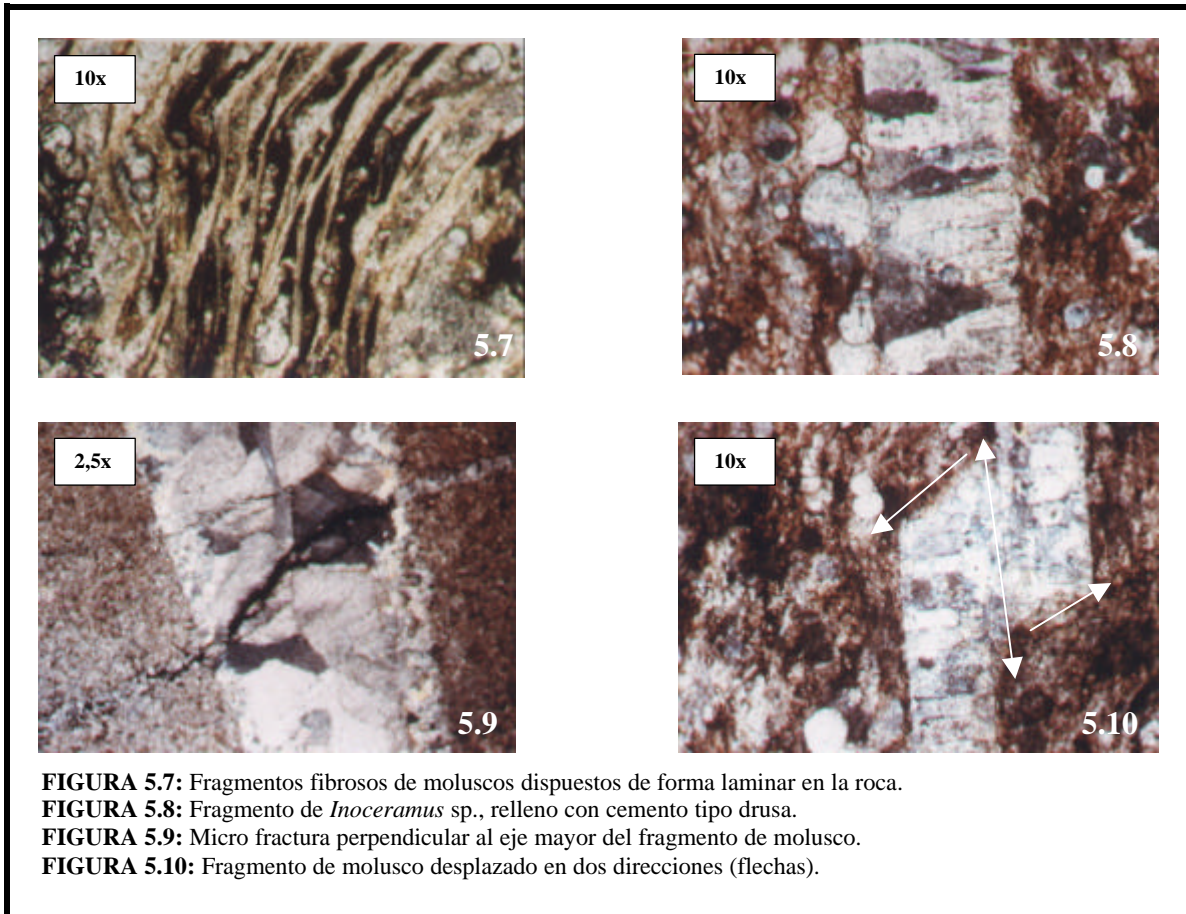
Algunas cámaras se observan parcialmente disueltas en contacto con la superficie de estilolitas, generalmente rellenas de arcilla tipo smectita.



### Moluscos:

Los fragmentos de moluscos se encuentran ampliamente distribuidos a lo largo de toda la columna carbonática de ambas secciones. Su tamaño varía de mediano a muy grueso, en algunos casos se presentan dispuestos paralelos a la estratificación, contribuyendo con el aspecto laminar de las rocas (Fig. 5.7).

Se identificaron fragmentos de *Inoceramus* sp. (Fig. 5.8), los cuales se presentan alargados y tabulares, con superficies parcial o totalmente recrystalizadas y en algunos casos preservando apariencia fibrosa .



En algunos fragmentos gruesos es posible apreciar pequeñas micro fracturas rellenas de arcilla tipo smectita, perpendiculares a su eje mayor (Fig. 5.9), y en algunos casos se observan los fragmentos completamente desplazados hasta en dos direcciones (Fig. 5.10), asociados a fracturas extensivas y en algunos casos en contacto con superficies de estilolitas.

### Ostrácodos:

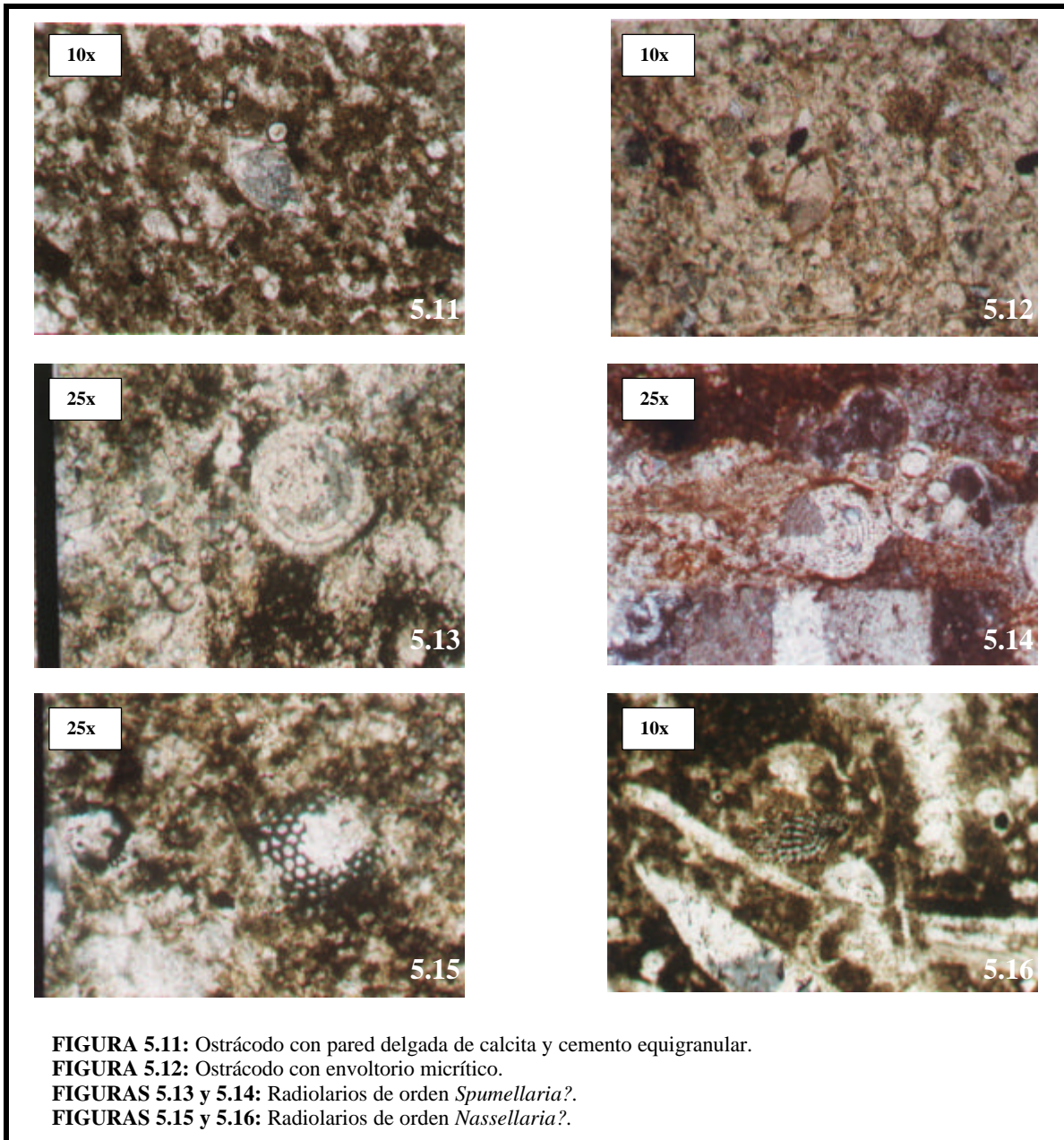
Se observan en la sección basal y media de Chejendé, y hacia el centro y tope de La Aguada, y son bastante escasos. En general están bien preservados, presentando pared de



calcita (Fig. 5.11) o envoltorios micríticos (Fig. 5.12), en general se encuentran rellenos de cemento de calcita.

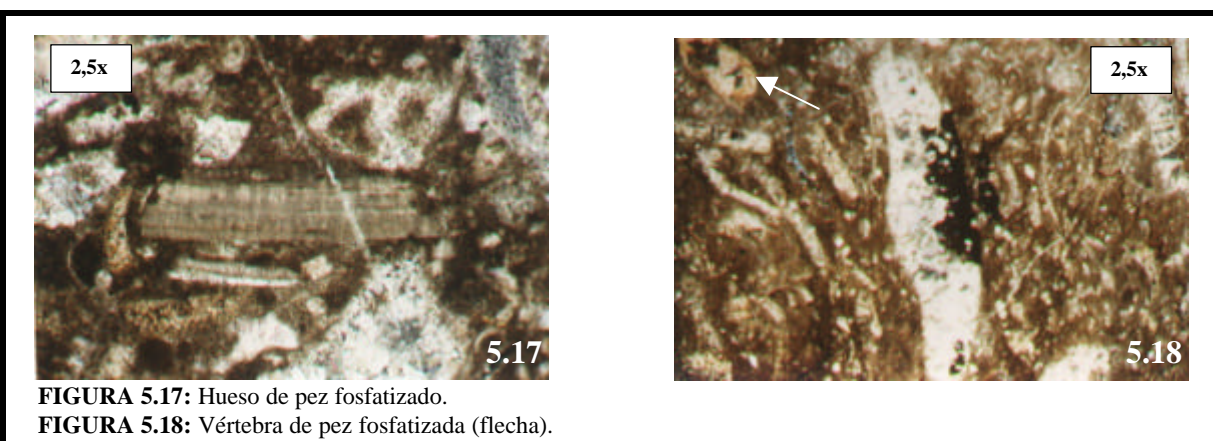
### **Radiolarios:**

Se presentan escasos tanto en la sección media de Chejendé como hacia la base de La Aguada. Se pueden observar totalmente recristalizados ( Fig. 5.13 y 5.14) o micritizados (Fig. 5.15 y 5.16). Los géneros observados corresponden a *Nassellaria* y *Spumellaria*.



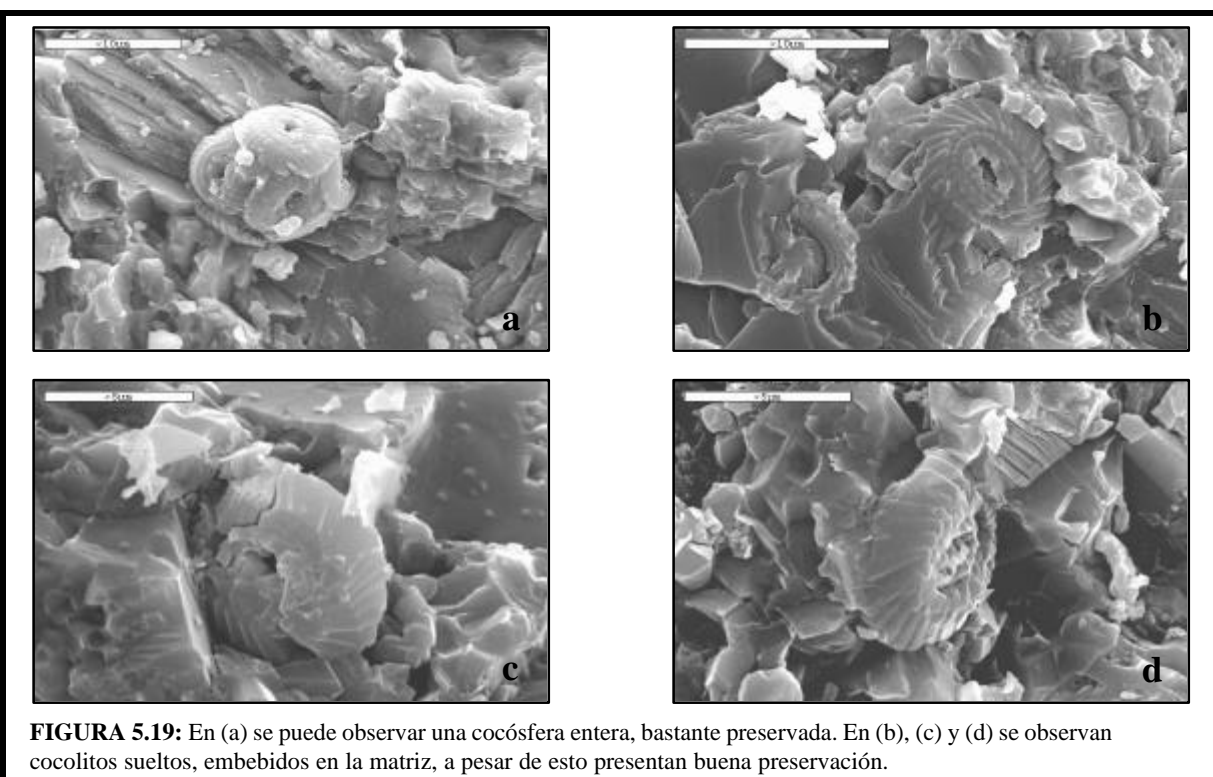
### Peces:

Los restos de peces en general se presentan mal preservados, fragmentados, mal escogidos y en su mayoría reemplazados por fosfato (Fig. 5.17), se observan en los niveles medios y hacia el tope de ambas secciones. el tamaño de estos fragmentos es de medio a grueso. Ocasionalmente se pueden observar vértebras completamente fosfatizadas, conservando su estructura original (Fig. 5.18).



### Nanoplancton calcáreo:

Hacia la base de ambas secciones, se observaron organismos pertenecientes al phylum Chrysophyta. Aunque se encontraron mayormente cocolitos sueltos y escasamente cocóferas enteras, éstos se presentan bien preservados (Fig. 5.19).



El tamaño de los coccolitofóridos presentes en las secciones de estudio es en promedio menor a 5  $\mu$ m, por lo que sólo se pudo determinar su presencia por medio de SEM.

### 5.2.2 Minerales Autigénicos

En las secciones estudiadas se reconocen en total nueve minerales autigénicos. Los minerales observados son: sílice, sulfuros (pirita y esfalerita), caolinita, siderita, fosfatos de calcio (dahlita y colofano), sulfato de bario (barita) y calcita, al igual que ésta última, algunos se presentan como cemento los cuales se describirán posteriormente.

Estos minerales se consideran autigénicos principalmente por propiedades ópticas que los distinguen de los minerales detríticos presentes y por las relaciones de éstos con el entorno o fábrica original de la roca, en algunos casos se pueden apreciar formas euhedrales que evidencian la génesis *in situ* de éstos. A continuación se presentan las descripción de los minerales:

#### **Sílice:**

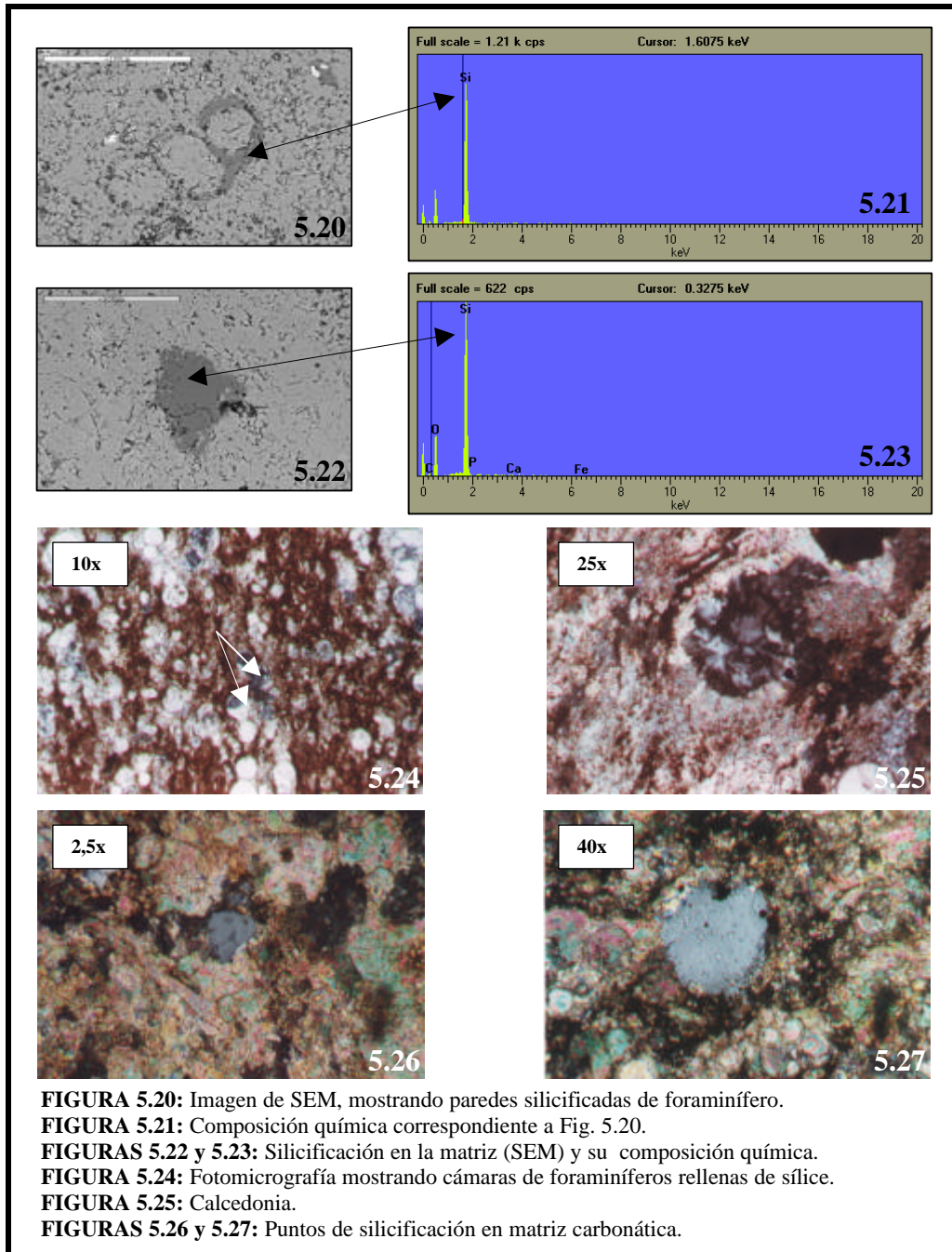
Este mineral se presenta en todos los niveles de ambas secciones, aunque se podría concluir que la sección de La Aguada es la más silíceas. Presenta una gran variedad de morfologías. El reemplazo de carbonato de calcio por sílice se observa de las siguientes formas:

1. Reemplazando paredes en cámaras de foraminíferos (Fig. 5.20).
2. Reemplazando matriz micrítica (Fig. 5.22, 5.26 y 5.27).
3. Rellenando cámaras de foraminíferos (Fig. 5.24).

Es común observar el mineral como un precipitado, de birrefringencia baja, bastante limpio y presentando extinción ondulatoria, relleno intersticios o simplemente reemplazando la matriz.

También se puede encontrar sílice de tipo calcedónico (Fig. 5.25), también reemplazando matriz micrítica, presentando birrefringencia baja y extinción ondulatoria concéntrica. Este tipo de morfología es bastante escasa.





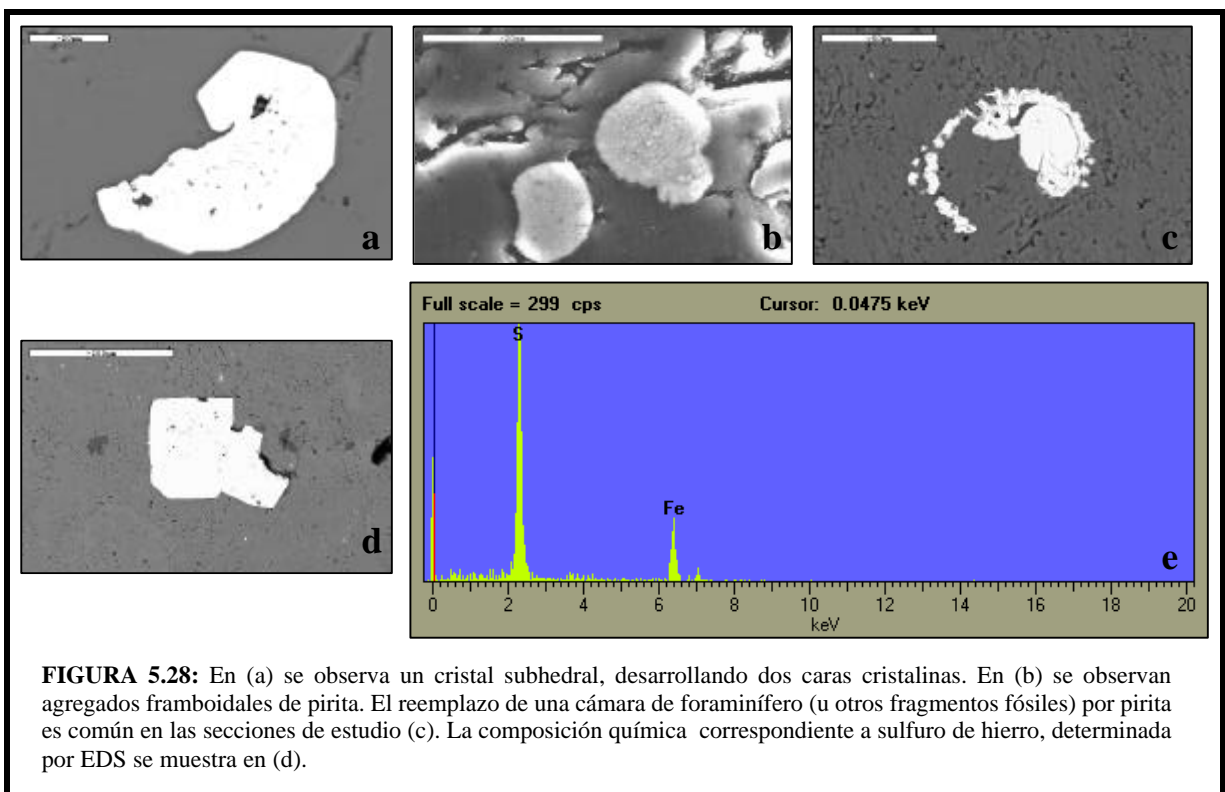
**Sulfuros:**

Se identificaron dos sulfuros en las secciones estudiadas, pirita ( $FeS_2$ ) y esfalerita o blenda ( $ZnS$ ), siendo la pirita la más común y por ende la más abundante.



La pirita se presenta en ambas secciones, en Chejendé hacia los niveles medio y basal y en La Aguada hacia los niveles medio y superior. La pirita observada en las secciones finas y en SEM presenta las siguientes morfologías:

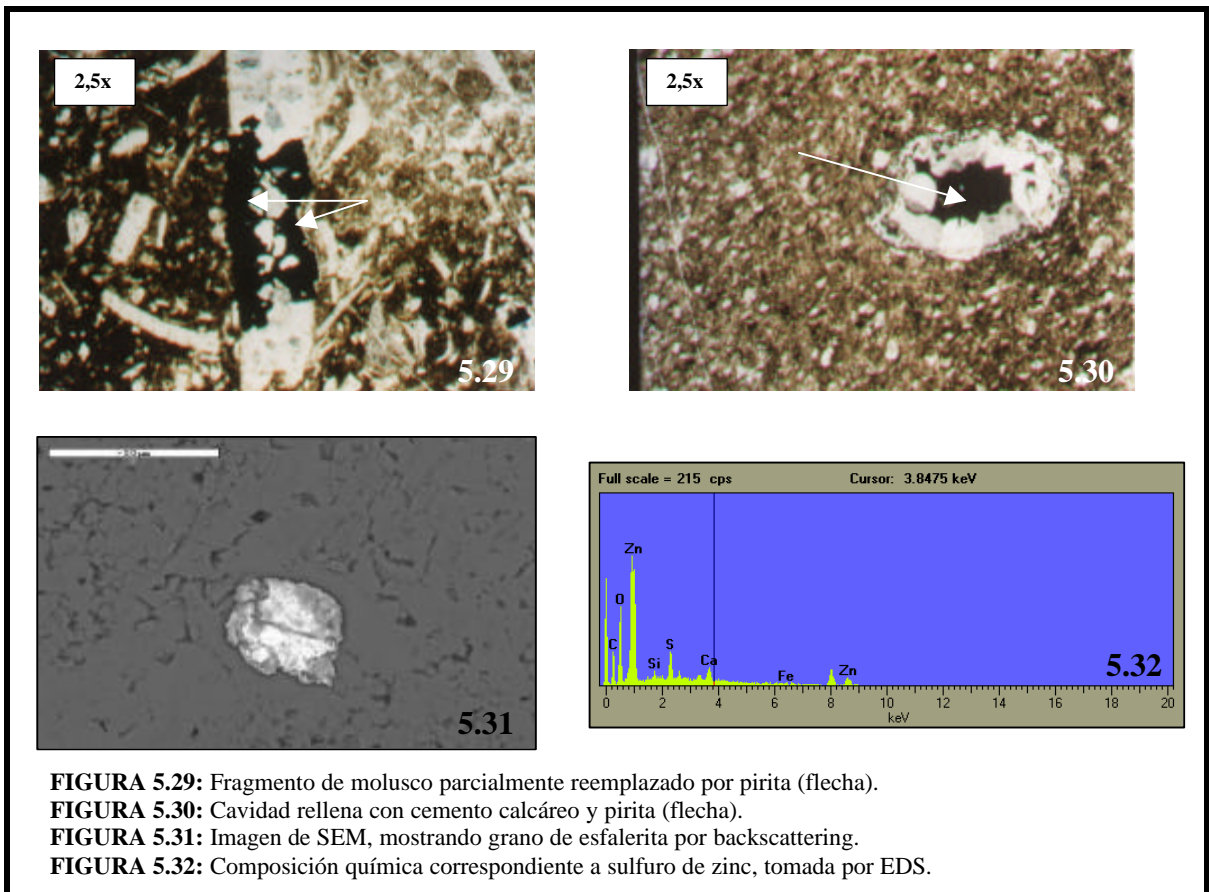
1. Cristales anhedrales a subhedrales, con fábrica granular y ocasionalmente en agregados (Fig. 5.28a).
2. Agregados framboidales, de tamaños menores a 10  $\mu\text{m}$ , bastante comunes en ambas secciones (Fig. 5.28b).
3. Reemplazando fragmentos fósiles, que conservan su estructura original (Fig. 5.28c).
4. Cristales de hábito euedral con fábrica cúbica.



**FIGURA 5.28:** En (a) se observa un cristal subhedral, desarrollando dos caras cristalinas. En (b) se observan agregados framboidales de pirita. El reemplazo de una cámara de foraminífero (u otros fragmentos fósiles) por pirita es común en las secciones de estudio (c). La composición química correspondiente a sulfuro de hierro, determinada por EDS se muestra en (d).

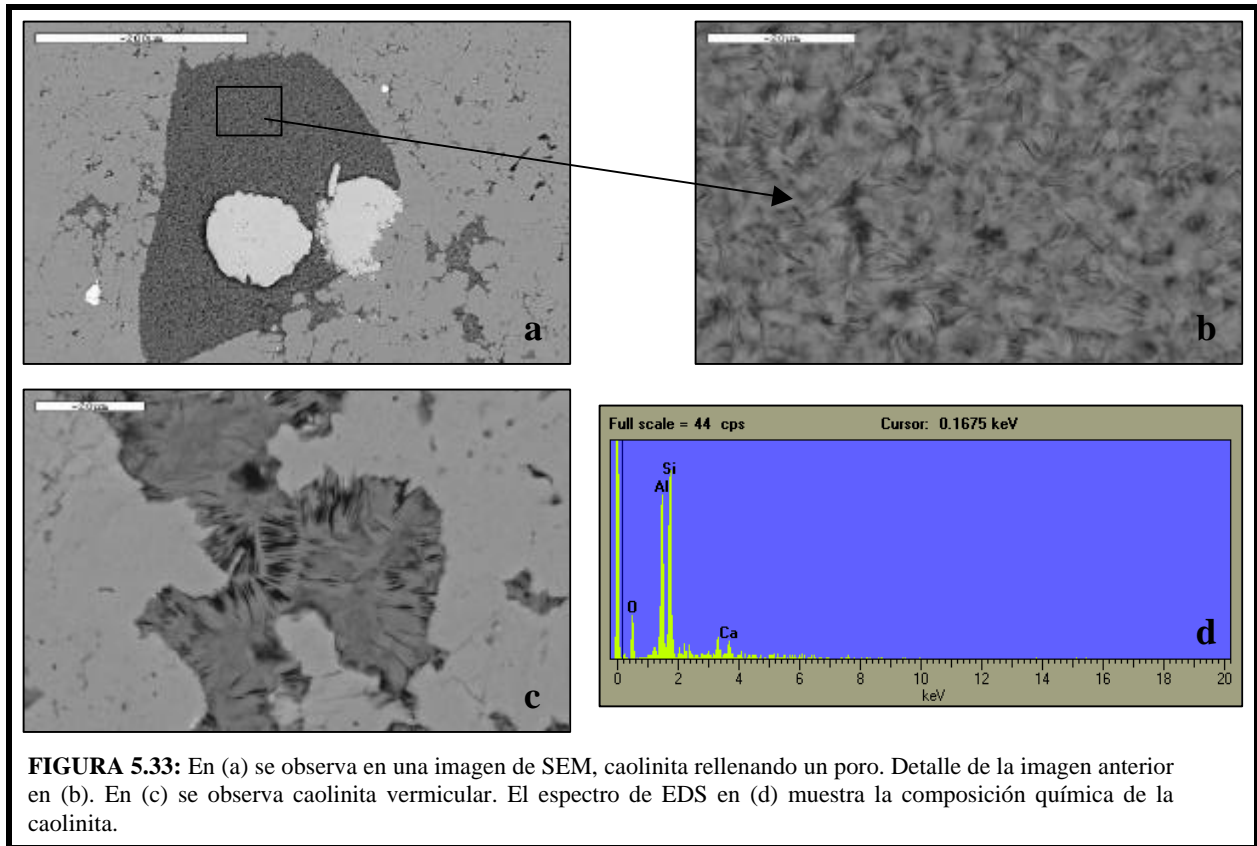
El tamaño de grano de los cristales de pirita, en general, varían desde 10  $\mu\text{m}$  en la morfología framboidal, hasta 200  $\mu\text{m}$  en los cristales euhedrales. Se encuentran mayormente disgregados en la matriz, aunque también se pueden observar reemplazando parcial o totalmente fragmentos fósiles (Fig. 5.29), rellenando cámaras de foraminíferos plánticos, diseminada con arcillas dentro de estilolitas o asociados con cemento calcáreo (Fig. 5.30).

La esfalerita, por el contrario, se presenta como un mineral escaso y restringido a la sección de La Aguada en su nivel basal y se presenta alotriomorfa con hábito masivo (Fig. 5.31).



### Caolinita:

La caolinita se observa a lo largo de toda la columna carbonática de Chejendé y en La Aguada aparece sólo hacia el tope. Se presenta comúnmente como precipitado relleno intersticios (Fig. 5.33c), poros (Fig. 5.33a y 5.33b, fracturas, cámaras de foraminíferos plánticos (Fig. 5.6) y asociada a otras arcillas relleno estilolitas. Su tamaño es menor a 1 μm y se presenta en forma de hojas de libro correspondiente a un hábito vermicular bien desarrollado.

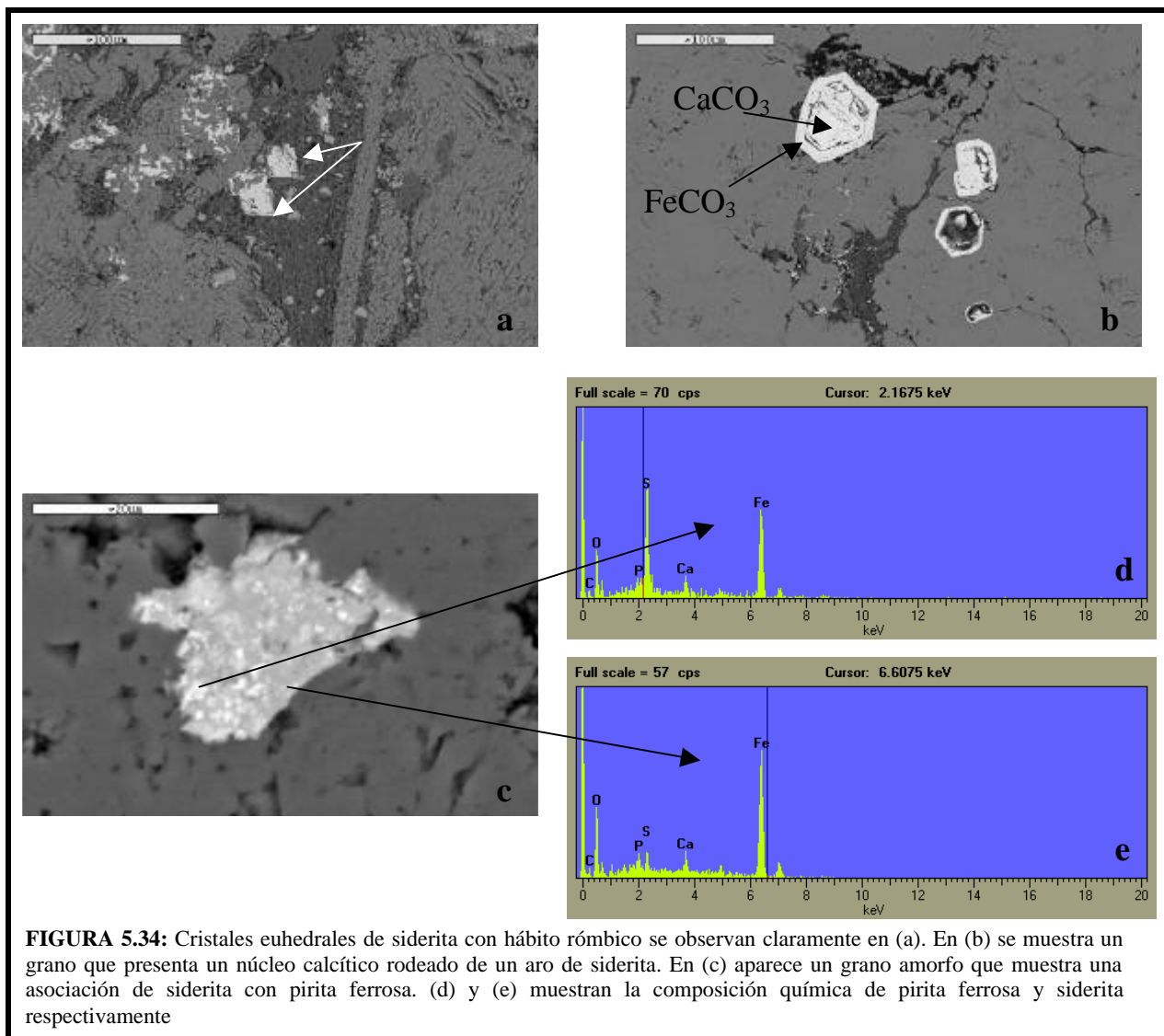


### Siderita:

La siderita se presenta comúnmente a lo largo de ambas secciones de estudio. En las muestras correspondientes a las secciones de Chejendé y La Aguada, la siderita se presenta en cuatro condiciones, enumeradas a continuación:

1. Precipitación de siderita euهدral.
2. Sistema binario generador de la pseudosolución sólida calcita-siderita.
3. Siderita asociada con pirita.
4. Reemplazando fragmentos fósiles.

La precipitación de cristales euهدrales de siderita, se observó sólo hacia la parte inferior de Chejendé, mientras que en La Aguada no se presentaron mineralizaciones de este tipo, en la Fig.5.34a se puede observar mostrando el hábito romboédrico. El sistema binario



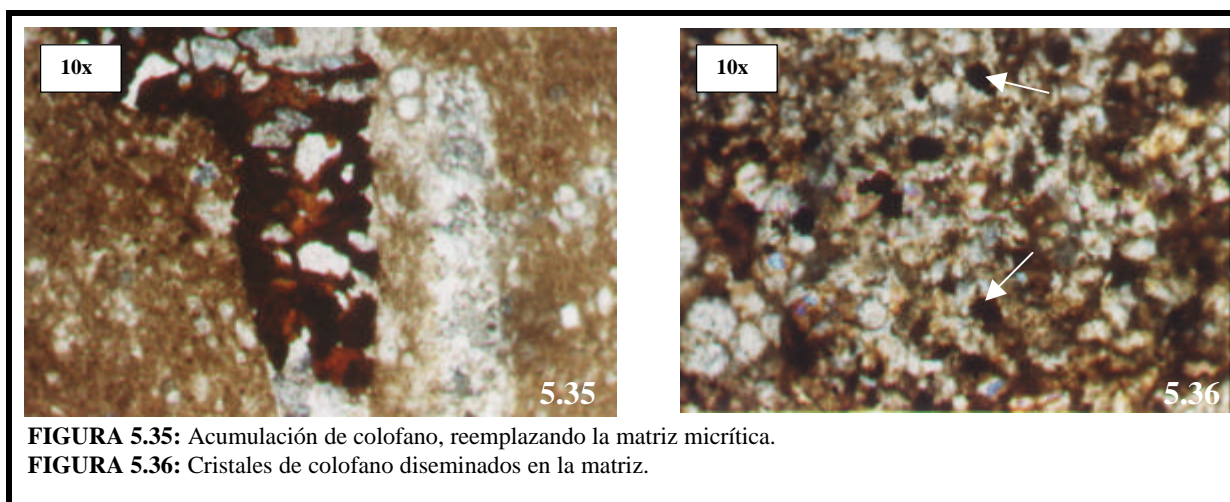
**FIGURA 5.34:** Cristales euhedrales de siderita con hábito rómbico se observan claramente en (a). En (b) se muestra un grano que presenta un núcleo calcítico rodeado de un aro de siderita. En (c) aparece un grano amorfo que muestra una asociación de siderita con pirita ferrosa. (d) y (e) muestran la composición química de pirita ferrosa y siderita respectivamente

calcita-siderita, se presenta sólo en concreciones, donde se observa un núcleo de calcita temprana rodeado por un anillo euhedral de siderita (Fig. 5.34b).

El reemplazo por siderita, se reporta como un caso aislado hacia el tope de Chejendé. En ambas secciones se encuentra asociada a pirita como se muestra en la Fig. 5.34c.

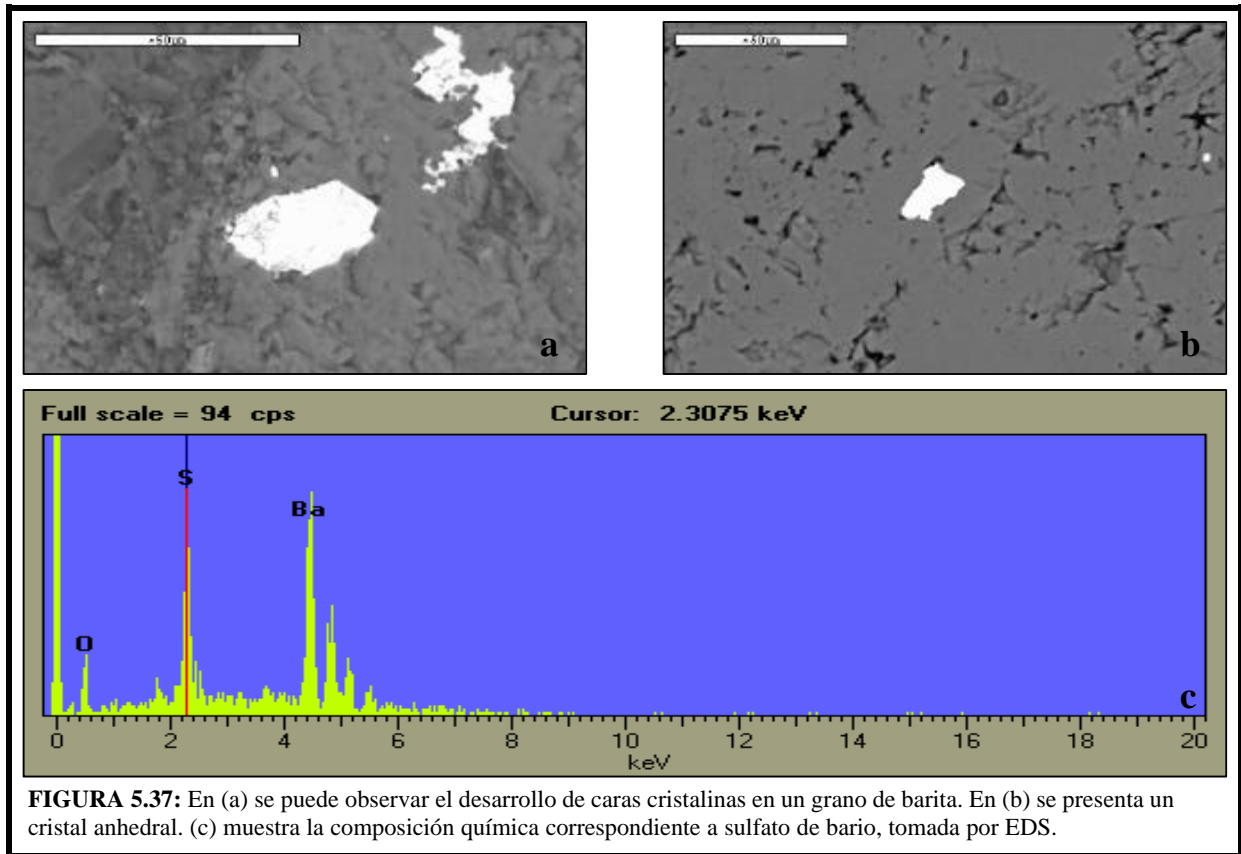
### **Fosfatos:**

El fosfato es un grupo mineral abundante en las secciones de estudio, los minerales observados pertenecientes a este grupo, en orden de abundancia son el colofano y la dahlita. El primero está asociado al reemplazo por fosfato de fragmentos de peces (Fig. 5.17) aunque también se presenta en agregados granulares (Fig. 5.35) reemplazando matriz o diseminada en la misma en pequeños cristales sueltos (Fig. 5.36), de colores anaranjado y marrón y birrefringencia casi nula. La dahlita es un mineral escaso que se presenta en pequeños agregados granulares, de color amarillo claro y birrefringencia bastante baja.



### **Sulfatos:**

La barita o sulfato de bario es el mineral perteneciente a este grupo presente en la sección de Chejendé. Se presenta en los niveles medio y basal, en tamaños muy pequeños, por lo que se reconoció sólo a través de SEM y EDS. Se pudo observar el desarrollo de caras euhedrales (Fig. 5.37a), aunque también se presenta alotriomorfo (Fig. 5.37b).



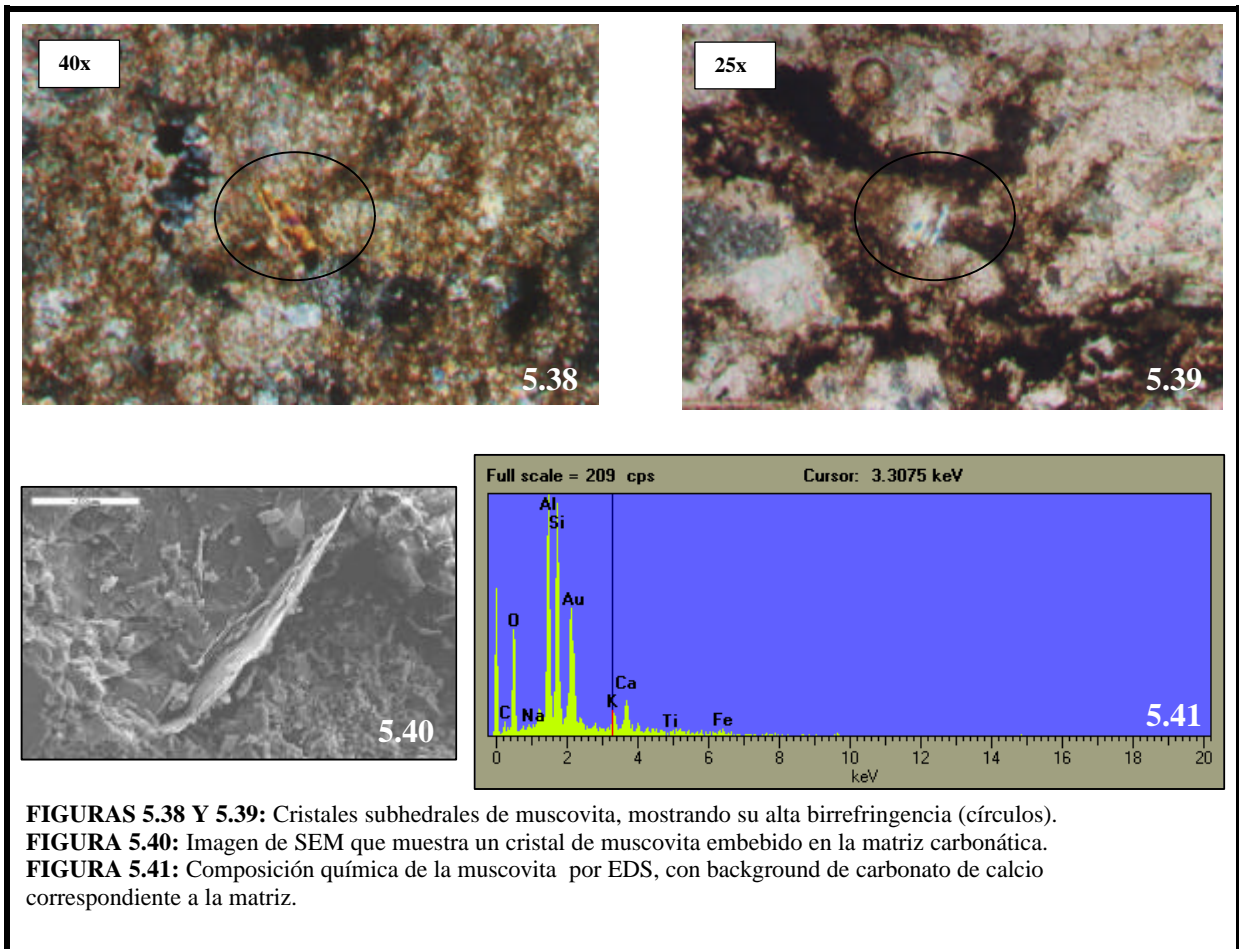
**FIGURA 5.37:** En (a) se puede observar el desarrollo de caras cristalinas en un grano de barita. En (b) se presenta un cristal anhedral. (c) muestra la composición química correspondiente a sulfato de bario, tomada por EDS.

### 5.2.3 Minerales detríticos

#### **Muscovita:**

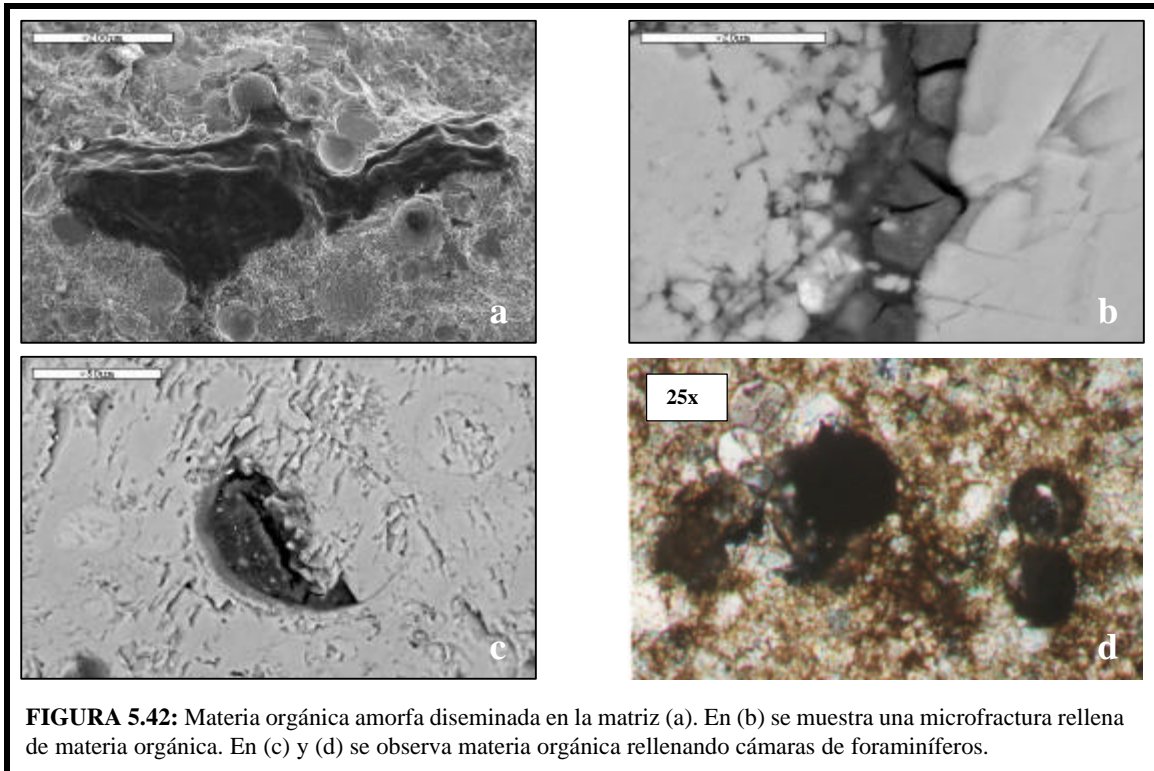
Hacia la base de Chejendé y en el nivel medio de La Aguada se logró reconocer, tanto en petrografía (Fig. 5.38 y 5.39) como en SEM (Fig. 5.40), muscovita como un mineral detrítico. Su tamaño es de grano fino a muy fino presentando hábito hojoso laminar y cristales subhedrales, además se puede observar en petrografía la textura típica de las micas “ojo de pájaro” o “ala de mariposa”, lo que indica que el mineral no ha sufrido alteraciones considerables.





#### 5.2.4 Materia Orgánica

La materia orgánica se presenta bastante escasa en un promedio de 2% a menos de 1%. Se encuentra diseminada en la matriz (Fig. 5.42a), rellenando cámaras de foraminíferos (Fig. 5.42c y 5.42d), en estilolitas, pellets y fracturas (Fig. 5.42b). De carácter amorfo, petrográficamente se observa de color negro y de brillo resinoso con luz reflejada.



### 5.2.5 Matriz

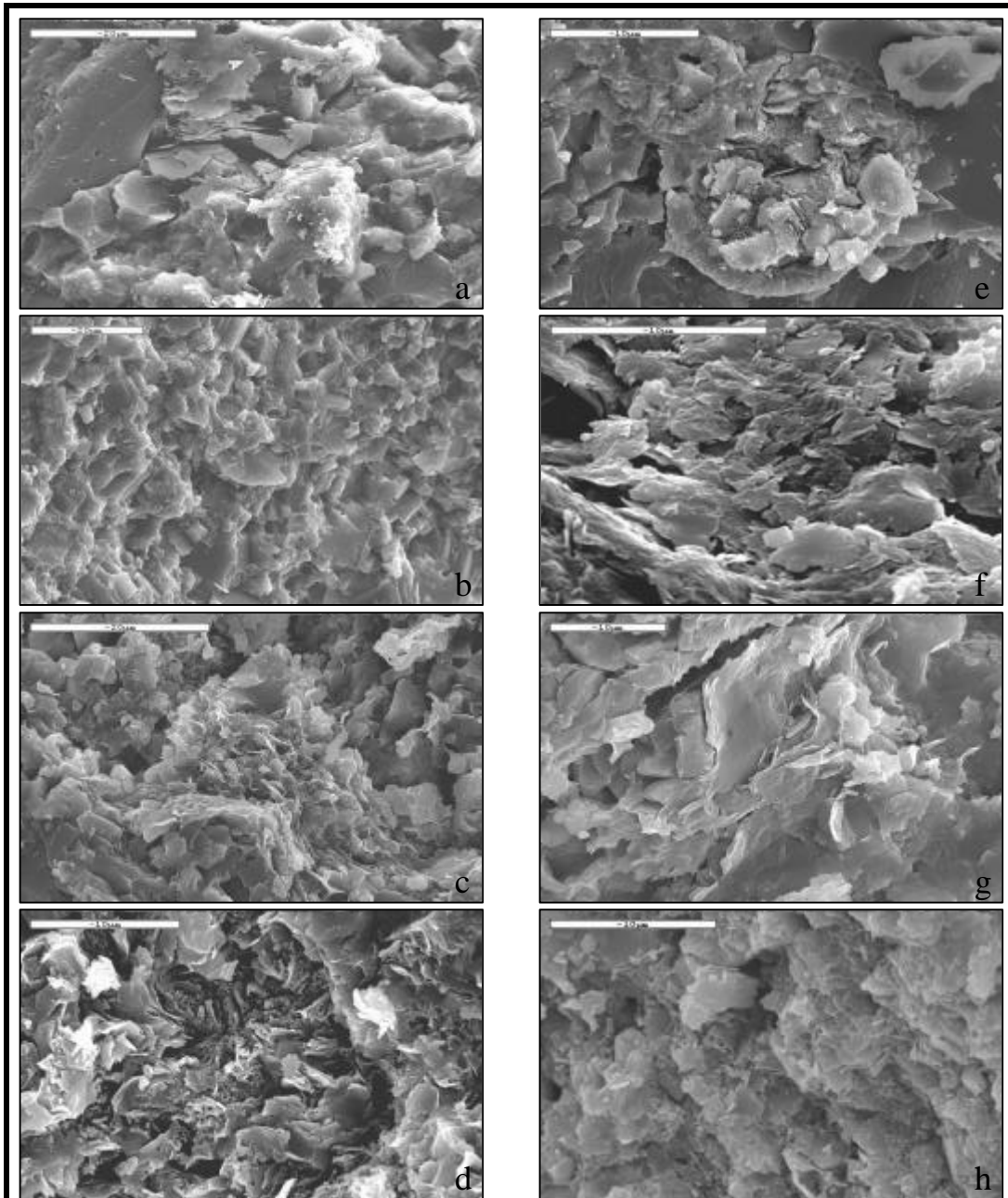
La matriz presente en las muestras analizadas está compuesta principalmente por arcillas y micrita. Se presentan dos tipos diferentes de arcillas como son montmorillonita y smectita, las mismas se pueden encontrar conformando la matriz en su totalidad o mezcladas con micrita, donde ésta última también se puede presentar como una matriz carbonática pura.

La montmorillonita presenta un aspecto textural que asemeja hojuelas sueltas (Fig. 5.43a), característico de arcillas expansivas. Debido a este carácter expansivo la montmorillonita representa uno de los tipos de arcillas más propensos a cambios ante reacciones diagenéticas rápidas. La proporción de esta arcilla en las secciones de estudio es de aproximadamente 15%.

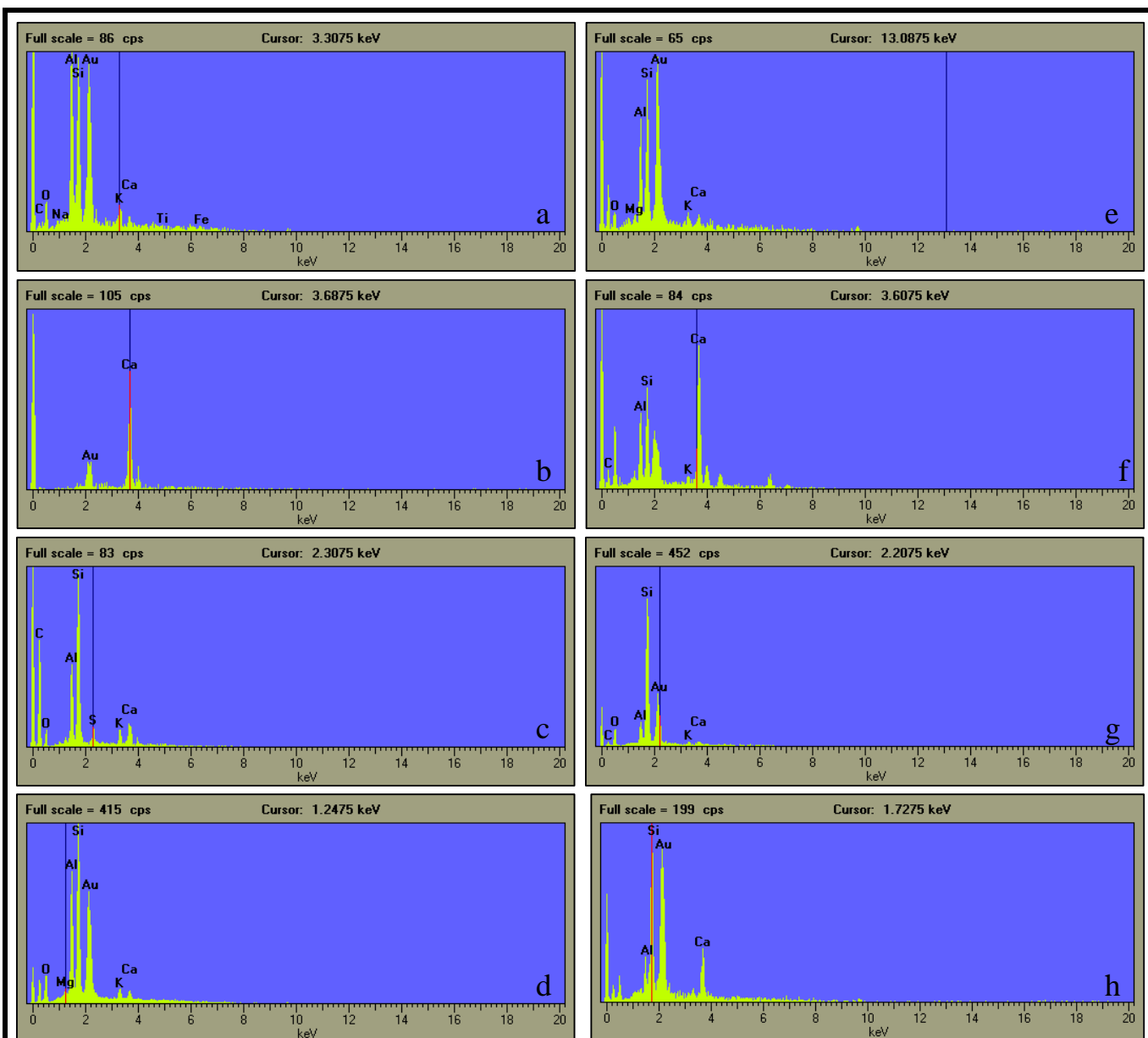
La smectita es la arcilla más común en las secciones de estudio (35%) y representa el cambio de la montmorillonita a una arcilla pobre en aluminio. En la Fig. 5.43c y 5.43d, se muestran las características texturales correspondientes a hojuelas empaquetadas en láminas. Este tipo de arcilla no sólo se puede encontrar constituyendo la matriz, sino también rellenoando intersticios (Fig. 5.43e) y estilolitas.



En menor proporción se encuentra smectita (7%), caracterizada por tener una composición baja en aluminio y carente de potasio. Presenta un aspecto textural semejante al grupo de las micas (Fig. 5.43g y 5.43h).



**FIGURA 5.43:** En (a) se puede observar hojuelas bien definidas de montmorillonita. (b) Aspecto textural correspondiente a matriz micrítica. (c) y (d) muestran la textura de arcilla tipo smectita. En (e) se observa arcilla tipo smectita relleno una cavidad fósil. En (f) se presenta una mezcla de arcillas y micrita constituyendo matriz. En (g) y (h) se muestran las texturas que caracterizan a arcillas empobrecidas en aluminio, tipo smectita.



**FIGURA 5.44:** Espectros correspondientes a la composición química de la figura 5.43, tomados por EDS. (a) Montmorillonita. (b) Matriz carbonática (micrita). (c), (d) y (e) Smectita. (f) Smectita y carbonato de calcio. (g) y (h) Smectita.

Uno de los constituyentes más importantes de la matriz, tanto en la sección de Chejendé como en La Aguada, está representado por micrita. En la mayoría de los casos se encuentra sola conformando una matriz carbonática pura (Fig. 5.43b), aunque también se presenta asociada con arcillas.

Petrográficamente, las arcillas son de color marrón muy oscuro a negro, lo que a simple vista contribuye a dar un aspecto laminado en las secciones finas.

### 5.2.6 Fracturas

NELSON en 1985, propone una clasificación donde expone dos tipos de fractura según su origen: naturales e inducidas. Para la descripción y caracterización de las fracturas en las secciones de Chejendé y La Aguada , pertenecientes a la Formación La Luna, se parte del estudio de NELSON (1985).

Las fracturas naturales son aquellas que se generan durante la exposición de las rocas a un medio natural de esfuerzos tectónicos; en cambio si los esfuerzos son producto de un mecanismo artificial o inducido se obtienen fracturas inducidas (NELSON, 1985). Las fracturas inducidas se observan como una ruptura en la roca producto de varios factores, como lo pueden ser la extracción de la muestra y el manejo de la misma en el momento de su preparación.

En esta sección se describirán en detalle sólo los diferentes tipos de fracturas naturales presentes en las secciones de estudio.

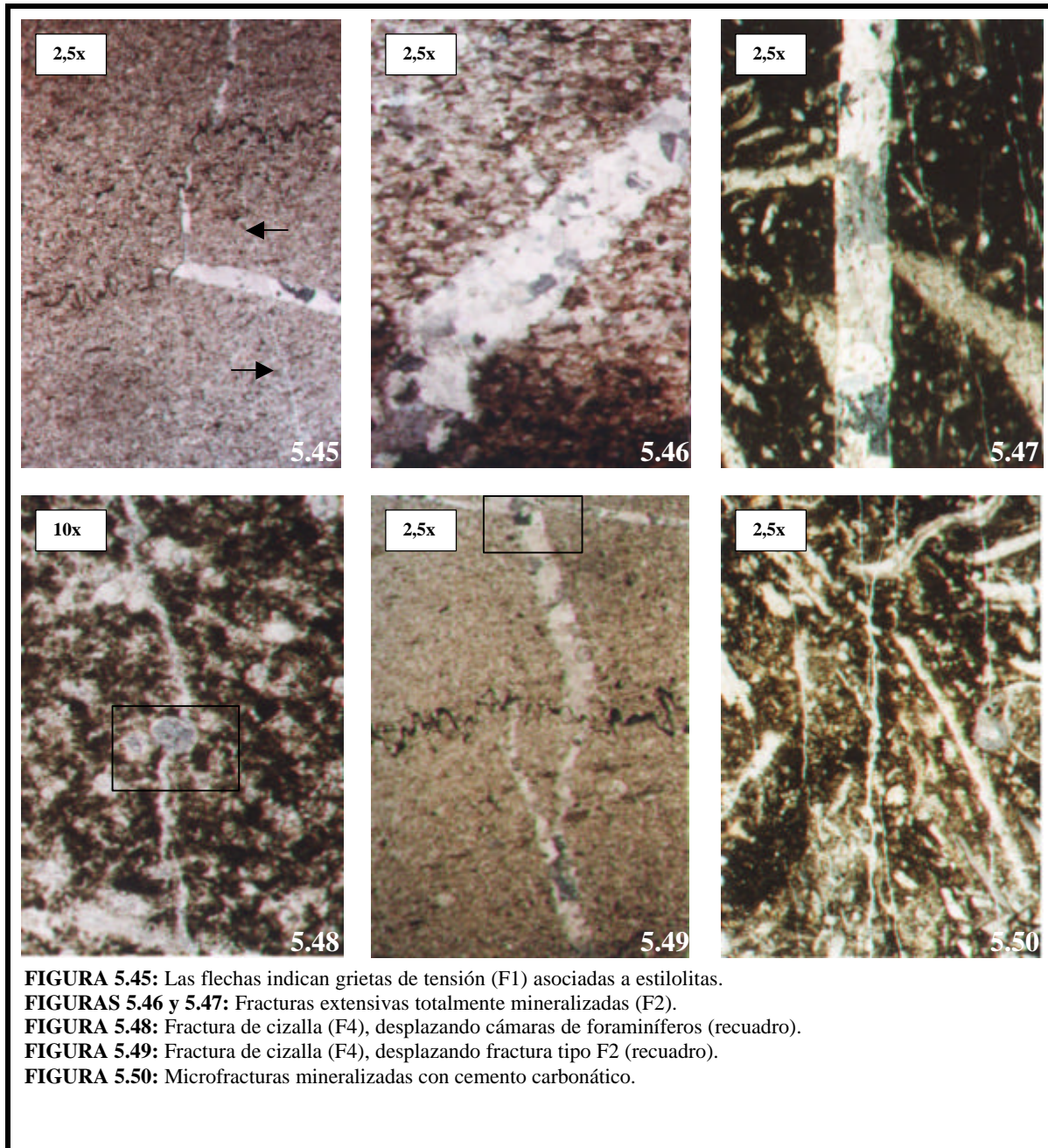
**Grietas de Tensión (F1):** Son fracturas que se generan en las zonas donde se desarrollan estilolitas y se originan conjuntamente con éstas. Presentan una dirección paralela al máximo esfuerzo asociado al estado compresivo de esfuerzos que generan la estilolita y se encuentran rellenas de cemento carbonático (Fig. 5.45).

**Fracturas Extensivas:** Se generan a partir del desplazamiento perpendicular abriendo el plano de fractura. Se pueden encontrar total o parcialmente mineralizadas por cemento carbonático.

Se pueden observar fracturas totalmente cerradas debido a mineralizaciones de cemento calcítico (F2), las cuales se presentan regularmente en ambas secciones (Fig. 5.46 y 5.47).

Se observan además fracturas parcialmente mineralizadas por cemento carbonático y rellenas de arcillas (F3) (Fig. 5.2).

**Fracturas de Cizalla (F4):** son fracturas que producen un desplazamiento paralelo al plano de la fractura y se encuentran relacionadas a las fracturas extensivas cerradas por mineralizaciones de calcita (Fig.5.49). También se presentan desplazando fragmentos fósiles (Fig. 5.48).



**FIGURA 5.45:** Las flechas indican grietas de tensión (F1) asociadas a estilolitas.

**FIGURAS 5.46 y 5.47:** Fracturas extensivas totalmente mineralizadas (F2).

**FIGURA 5.48:** Fractura de cizalla (F4), desplazando cámaras de foraminíferos (recuadro).

**FIGURA 5.49:** Fractura de cizalla (F4), desplazando fractura tipo F2 (recuadro).

**FIGURA 5.50:** Microfracturas mineralizadas con cemento carbonático.

**Microfracturas (F5):** Son pequeñas grietas rellenas de calcita (Fig. 5.50), arcillas y/o materia orgánica (Fig. 5.42b). Se encuentran asociadas a otras fracturas o en la superficie

de fragmentos de moluscos (Fig. 5.9), verticales al eje mayor del fragmento o perpendiculares u oblicuas a la laminación de la roca.

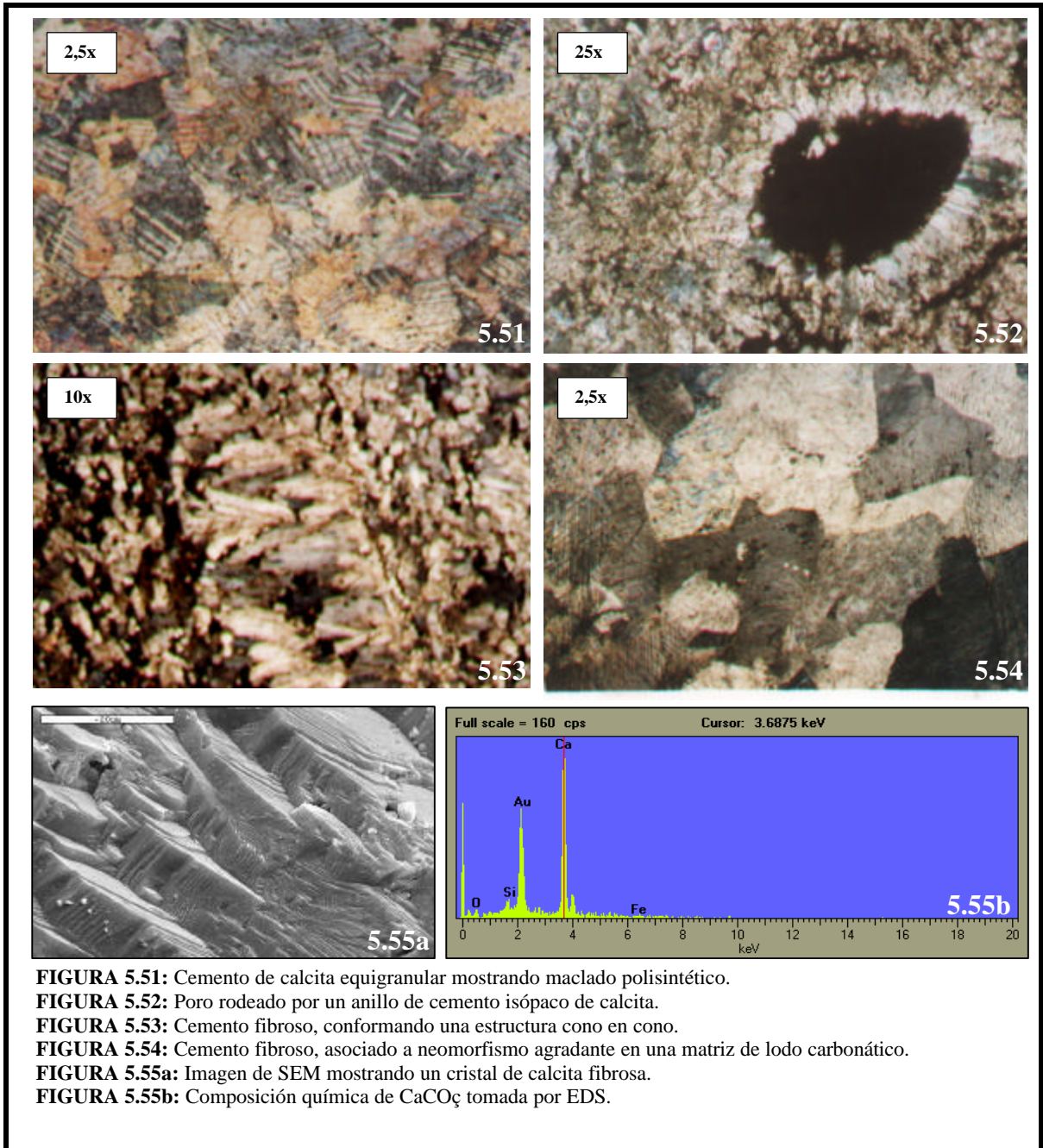
## **5.2.7 Cementos**

### **5.2.7.1 Cementos de calcita**

Los cementos de calcita se presentan comúnmente en las secciones de estudio en un amplio rango de formas y tamaños y se ubica en diferentes espacios en la roca. Se observa cemento equigranular, en bloques, drusa, isópaco, prismático alargado, diente de perro y romboédrico. A continuación se presentan las descripciones petrográficas para cada tipo de cemento calcáreo:

- **Cemento equigranular:** Se ubica principalmente en fracturas extensivas tipo F2 presentando hábito granudo y morfología anhedral, su tamaño varía entre 200 y 300 micras, los contactos entre los granos son irregulares (Fig. 5.45 y 5.47), aunque en algunos casos puede presentar contactos más rectos (Fig. 5.51). También se puede observar rellenando cámaras de foraminíferos plánticos, con una variación en el tamaño de grano entre 100 y 150 micras, de aspecto más limpio y maclado polisintético bien definido (Fig. 5.4).
- **Cemento isópaco:** Se ubica alrededor de espacios porales cubriendo granos correspondientes a matriz compuesta principalmente por lodo carbonático, formando un anillo de calcita de espesor constante (Fig. 5.52). Este tipo de cemento se presenta sólo en el nivel intermedio de la sección de Chejendé.
- **Cemento prismático alargado:** Este tipo de cemento se encuentra asociado principalmente al desarrollo de estructuras como en cono (Fig. 5.53) y presenta tamaños superiores a las 600 micras. Se presenta en los niveles intermedio y superior de la sección de Chejendé. Hacia la base de la sección de La Aguada se encuentra asociado a procesos de neomorfismo agradante en forma de calcita fibrosa ( Fig. 5.54), con tamaños de grano que superan las 300 micras.



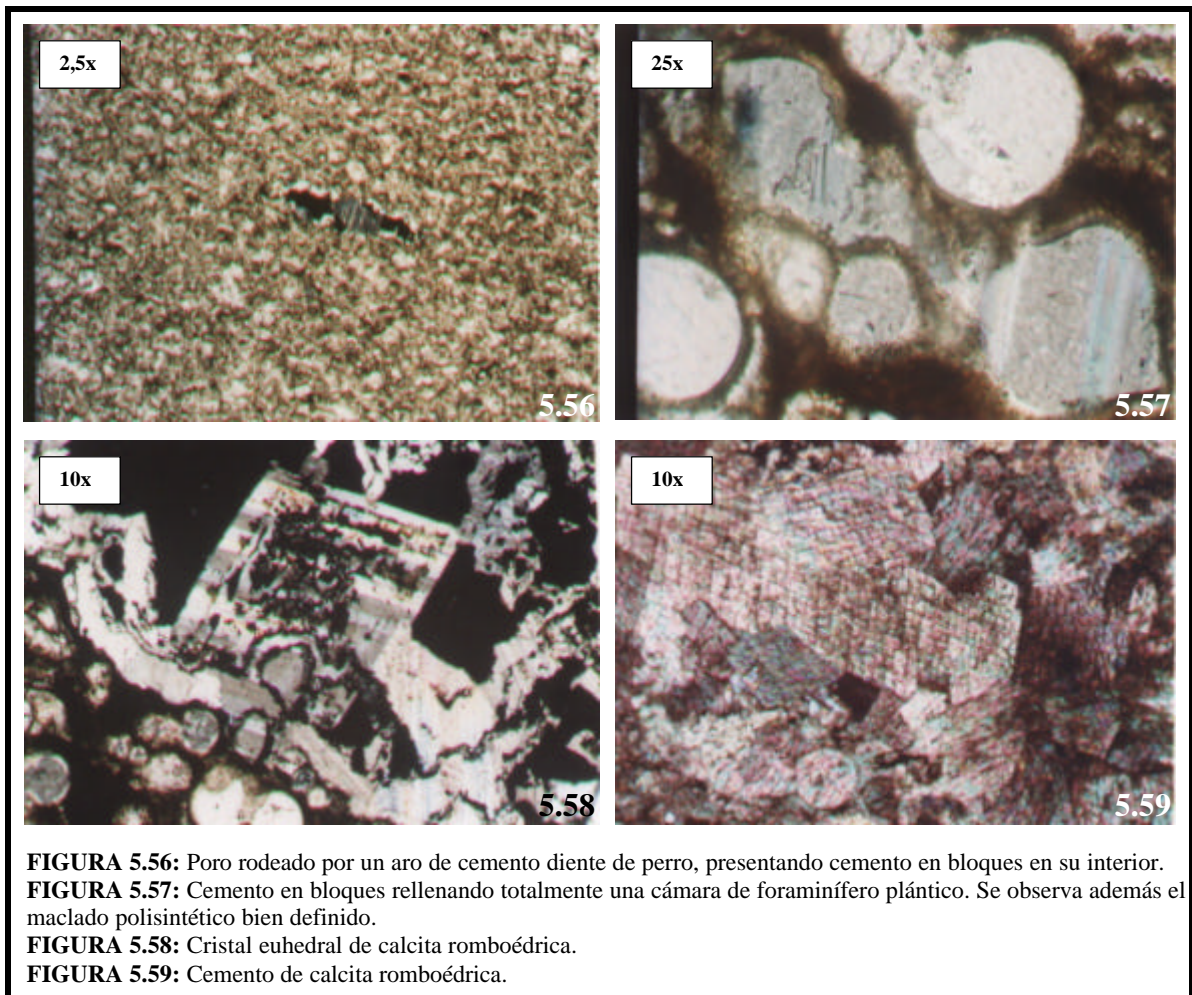


**FIGURA 5.51:** Cemento de calcita equigranular mostrando maclado polisintético.  
**FIGURA 5.52:** Poro rodeado por un anillo de cemento isópaco de calcita.  
**FIGURA 5.53:** Cemento fibroso, conformando una estructura como en cono.  
**FIGURA 5.54:** Cemento fibroso, asociado a neomorfismo agradante en una matriz de lodo carbonático.  
**FIGURA 5.55a:** Imagen de SEM mostrando un cristal de calcita fibrosa.  
**FIGURA 5.55b:** Composición química de  $\text{CaCO}_3$  tomada por EDS.

- Cemento diente de perro: Este cemento se ubica principalmente en las paredes de fracturas extensivas tipo F3, alternándose, en ocasiones, con cristales anhedrales de calcita equigranular (Fig. 5.2). También se encuentra rellenando poros asociado con otros tipos de cementos (Fig. 5.56).

- **Cemento en bloques:** Se ubica principalmente rellenando cámaras de foraminíferos y se caracteriza por ser cristales anhedrales de calcita que ocupan total o parcialmente estas cavidades, donde el tamaño de los cristales se amolda al tamaño de las cámaras, por lo que su tamaño no supera las 200 micras (Fig. 5.57) También se puede encontrar rellenando poros, asociado con otros tipos de cementos, como el cemento diente de perro o con cemento de pirita (Fig. 5.56).

Se presenta además rellenando fracturas extensivas tipo F2, F3 y grietas de tensión asociadas a estilolitas, donde el tamaño del cristal depende de la apertura de la fractura.



- **Cemento de calcita romboédrica:** Este tipo de cemento se ubica en fracturas extensivas tipo F2 y en algunos casos en cristales romboédricos individuales dentro

de cámaras de foraminíferos o intersticios (Fig. 5.58). se observa diseminado en la matriz asociado a procesos de neomorfismo agradante, en la Fig. 5.59 se puede observar este cemento presentando un clivaje bien definido en dos direcciones.

- Cemento tipo drusa: Se presenta en la sección de Chejendé y se caracteriza por el incremento del tamaño de grano desde las paredes hacia el centro de la cavidad que lo contenga. Se encuentra rellenando fracturas extensivas de tipo F2 (Fig. 5.46).

#### **5.2.7.2 Cemento de sílice**

El sílice se presenta como material cementante, rellenando cámaras de foraminíferos (Fig. 5.24) y reemplazando la matriz (Fig. 5.27). Se caracteriza por presentar baja birrefringencia, extinción ondulatoria y hábito granudo. Este tipo de cemento se presenta en ambas secciones de estudio.

#### **5.2.7.3 Cemento de pirita**

Se observa principalmente rellenando cámaras de foraminíferos y rellenando poros (Fig. 5.30), asociado a cemento calcáreo, aunque se presenta en ambas secciones de estudio es bastante escaso. Por su color oscuro tiende a confundirse con arcillas o materia orgánica.

#### **5.2.7.4 Cemento de carbonato de hierro**

El carbonato de hierro o siderita se presenta escasamente como cemento, precipitando dentro de restos fósiles que han sido previamente disueltos.

#### **5.2.8 Estilolitas**

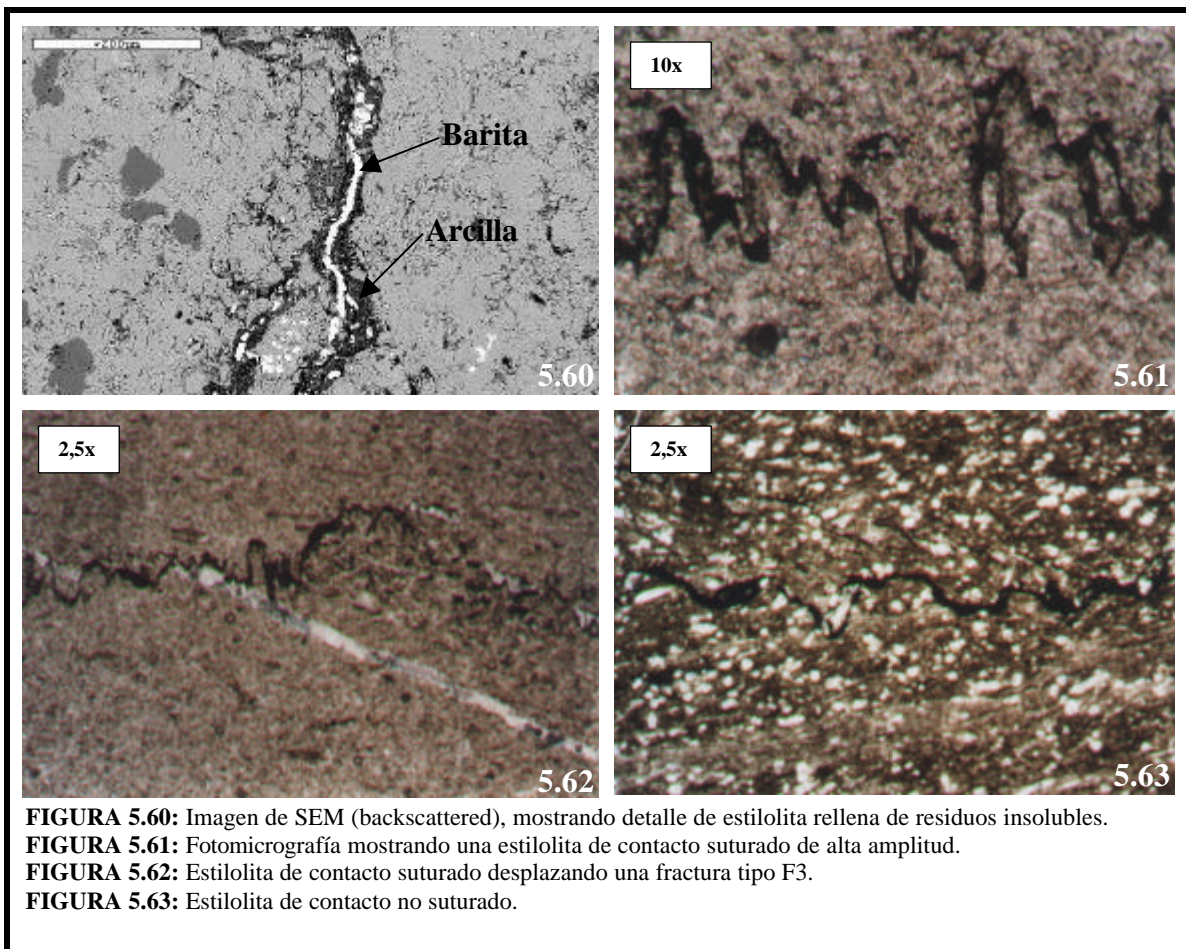
Las estilolitas representan superficies de presión-disolución, que sólo se diferencian de los contactos suturados entre granos por la escala, siendo estos de menor tamaño y más localizados (DE LA PEÑA, 1992). Éstas varían en amplitud y formas y se encuentran presentes comúnmente en la sección de Chejendé, resultando escasas en la sección de La Aguada. El material de relleno son las arcillas (smectita, caolinita) acompañadas por pequeños cristales de pirita, siderita, barita, fosfatos y en algunos casos materia orgánica (Fig. 5.60).



Para la clasificación de las estilolitas presentes en las secciones de estudio se utiliza la propuesta por CHOQUETTE Y JAMES (1990), donde se tienen dos tipos de estilolitas: estilolitas de contactos suturados y estilolitas de contactos no suturados.

### 5.2.8.1 Estilolitas de Contactos suturados

Las suturas de alta amplitud (Fig. 5.61) son las más comunes en las estilolitas presentes en las secciones de estudio, las suturas de baja amplitud son escasas. Éstas se presentan continuas en longitud y paralelas a la estratificación. Generalmente se encuentran asociadas a fracturas, ya sean generadas por ésta (grietas de tensión), o desplazando fracturas antecedentes de tipo F2 (Fig. 5.62), donde es posible observar la relación en el tiempo de generación de las estilolitas respecto a las fracturas. En algunas zonas se pueden encontrar afectando partículas de moluscos, fragmentándolas e incluso desplazándolas.



**FIGURA 5.60:** Imagen de SEM (backscattered), mostrando detalle de estilolita rellena de residuos insolubles.

**FIGURA 5.61:** Fotomicrografía mostrando una estilolita de contacto suturado de alta amplitud.

**FIGURA 5.62:** Estilolita de contacto suturado desplazando una fractura tipo F3.

**FIGURA 5.63:** Estilolita de contacto no suturado.

### **5.2.8.2 Estilolitas de Contactos no suturados**

Se observan dentro de la roca como bandas delgadas de color oscuro dispuestas paralelamente a la estratificación y se caracterizan principalmente por la ausencia de una superficie aserrada (Fig. 5.63). Se encuentran rellenas de material no soluble (arcillas, minerales pesados) al igual que las estilolitas de contacto suturado.

### **5.2.9 Porosidad**

En las secciones de estudio se observan básicamente cuatro tipos de porosidad: intrapartícula, interpartícula, vugular y por fractura. La porosidad en general es bastante escasa.

A continuación las características de cada tipo:

- Porosidad intrapartícula: Se ubica principalmente dentro de cámaras de foraminíferos que se encuentran vacías o parcialmente rellenas (Fig. 5.4) y en algunos en fragmentos de moluscos parcialmente disueltos.
- Porosidad interpartícula: Se asocia principalmente a los espacios generados entre cámaras de foraminíferos y que no han sido ocupados por ningún material cementante o correspondiente en la matriz. Se ubica principalmente en los litotipos con bajo contenido de arcillas.
- Porosidad vugular: Está representada por espacios de geometría ovalada a circular y de paredes irregulares, dispuestos aleatoriamente dentro de la roca, originadas principalmente por procesos de disolución.
- Porosidad por fractura: Asociada a fracturas extensivas de poca apertura que no han sido rellenas por ningún tipo de material.

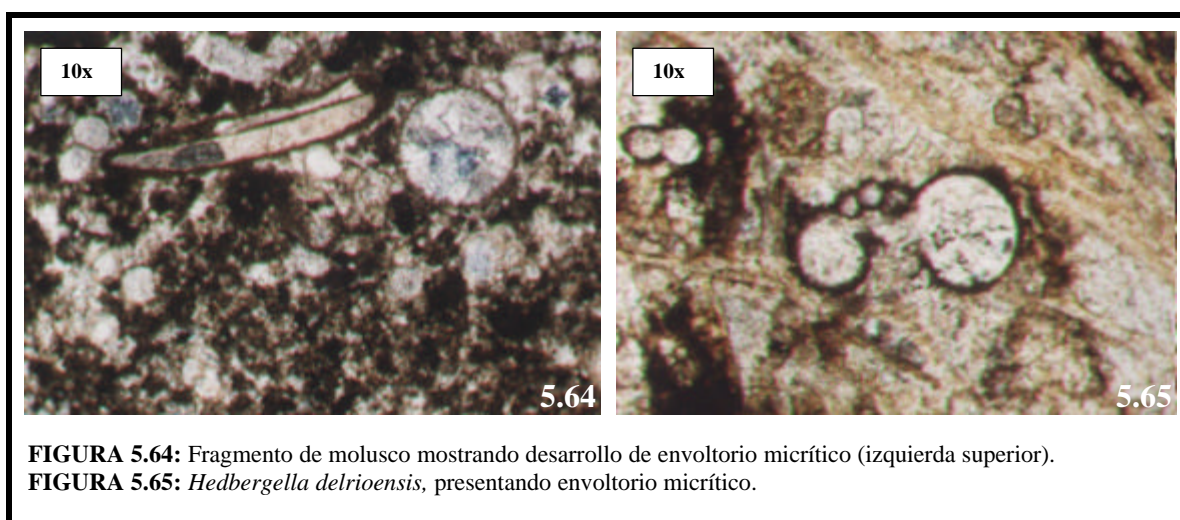
## 5.3 Procesos Diagenéticos

### 5.3.1 Procesos Orgánicos

#### 5.3.1.1 Erosión Orgánica

Este proceso se evidencia principalmente por la presencia de envoltorios micríticos en partículas esqueléticas, tanto en moluscos como en foraminíferos y cámaras sueltas de estos últimos, producto de la corrosión por hongos, bacterias, etc. En menor grado se observan perforaciones dentro de las partículas fósiles, pero también se encuentra presente formando parte de los procesos orgánicos que tienen lugar en las primeras etapas de la diagénesis.

Es bastante común la presencia de madrigueras del género *Favreina sp.*, producto de la actividad orgánica, en ambas secciones de estudio.



#### 5.3.1.2 Agregación

Este proceso se evidencia por la presencia de pellets a lo largo de las columnas carbonáticas correspondientes a las secciones de estudio (Fig. 4.9), las cuales están compuestas principalmente por una mezcla de arcillas, micrita y materia orgánica.

### 5.3.1.3 Acción Bacterial

La presencia de materia orgánica (Fig. 5.42) a lo largo de las secciones de estudio evidencia la acción bacteriana anaeróbica en las mismas, aunque también la presencia de pirita framboidal (Fig. 5.24b) puede atribuirse a este proceso.

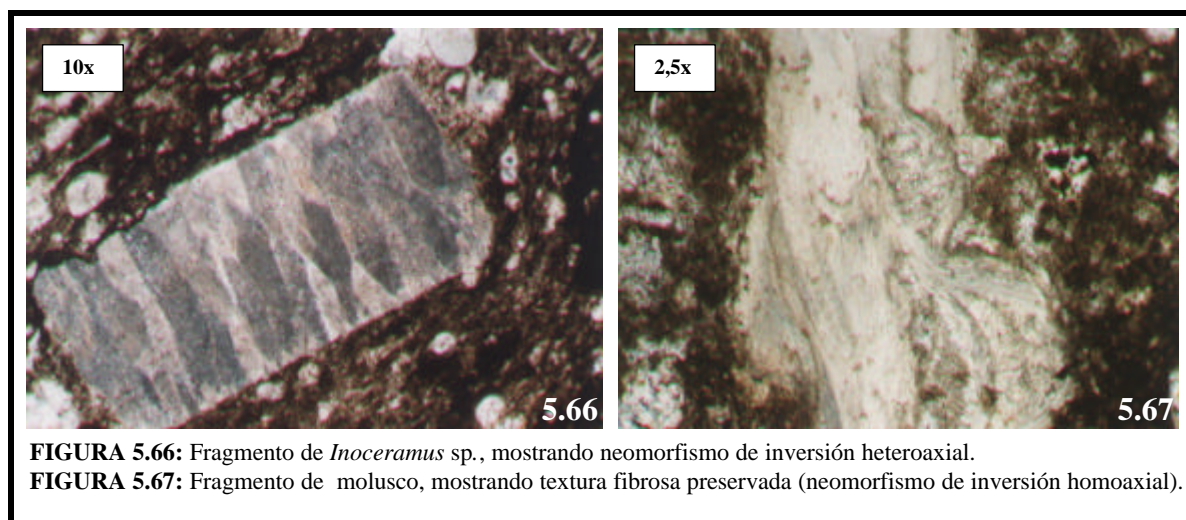
## 5.3.2 Procesos Químicos

### 5.3.2.1 Neomorfismo

Los fragmentos gruesos de moluscos, muestran un proceso de reemplazo de cristales finos por cristales gruesos, representados por crecimientos a espato neomórfico en su superficie como inversión heteroaxial (Fig. 5.66) o preservando su estructura fibrosa original como inversión homoaxial (Fig. 5.67).

En la sección de La Aguada se observan ambos procesos, siendo menos común la tendencia a la preservación de texturas fibrosas originales, mientras que en la sección de Chejendé se presentan estos procesos en igual proporción.

Escasamente se observa crecimiento de matriz micrítica a cristales más gruesos, microespato a espato, aunque se presenta en ambas secciones.



### **5.3.2.2 Cementación**

Se denomina cemento a la formación de cristales en cavidades preexistentes, produciéndose por consiguiente la reducción total o parcial de la porosidad del sedimento original. Este proceso se ve condicionado a las cantidades de carbonatos disponibles en el medio diagenético y sus relaciones con la estabilidad de los minerales carbonáticos presentes en el mismo.

La precipitación de cementos en las secciones Chejendé y La Aguada depende de varios factores, que determinan la distribución del material cementante en algunos espacios en particular. La gran abundancia de foraminíferos condiciona la precipitación de cementos dentro de sus cámaras, así como la precipitación de cemento dentro de las fracturas y en las laminaciones calcáreas.

La precipitación de carbonato de calcio es posible que se vea restringida por la cantidad de material arcilloso presente en las secciones de estudio, sin embargo este tipo de cemento es el más común y abundante, dado que se presentan otros tipos de cementos como el de pirita, siderita y sílice.

La variedad en los cementos de carbonato de calcio, permite definir distintos eventos de cementación de calcita para cada sección de estudio.

#### **Cementación en la sección de Chejendé:**

A continuación se enumeran los doce (12) tipos de cementación que se determinaron para la sección de Chejendé:

1. Precipitación de cemento de calcita en bloques dentro de cámaras de foraminíferos.
2. Precipitación de cemento de calcita en bloques y equigranular rellenando espacios porales.
3. Precipitación de cemento de pirita rellenando espacios porales.
4. Precipitación de cemento de calcita prismático alargado ubicado a nivel de estructuras como en cono.
5. Precipitación de cemento de calcita tipo isópaco rellenando espacios porales.
6. Precipitación de cemento de siderita dentro de cámaras de foraminíferos.
7. Precipitación de cemento de calcita en bloques asociado a fracturas extensivas.

8. Precipitación de cemento de calcita equigranular asociado a fracturas extensivas.
9. Precipitación de cemento de calcita equigranular o en bloques en grietas de tensión.
10. Precipitación de cemento diente de perro asociado a fracturas extensivas.
11. Precipitación de cemento de calcita romboédrica asociado a fracturas extensivas.
12. Precipitación de cemento de calcita romboédrica dentro de cámaras de foraminíferos.

### **Cementación en la sección de La Aguada:**

En la sección de La Aguada se determinaron once (11) tipos de cementación, los cuales se enumeran a continuación:

1. Precipitación de cemento de calcita en bloques dentro de cámaras de foraminíferos.
2. Precipitación de cemento de calcita en bloques y equigranular rellenando espacios porales.
3. Precipitación de cemento de piritita rellenando espacios porales.
4. Precipitación de cemento de calcita prismático alargado ubicado a nivel de estructuras como en cono.
5. Precipitación de cemento de calcita tipo isópaco rellenando espacios porales.
6. Precipitación de cemento de calcita en bloques asociado a fracturas extensivas.
7. Precipitación de cemento de calcita equigranular asociado a fracturas extensivas.
8. Precipitación de cemento de calcita equigranular o en bloques en grietas de tensión.
9. Precipitación de cemento diente de perro asociado a fracturas extensivas.
10. Precipitación de cemento de calcita romboédrica asociado a fracturas extensivas.
11. Precipitación de cemento de calcita romboédrica dentro de cámaras de foraminíferos.

### **5.3.2.3 Disolución**

Se denomina disolución a aquellos procesos por medio de los cuales los carbonatos y otros minerales son disueltos selectivamente, generalmente por la acción conjunta de presión y disolución (ZAPATA, 1983).

En las secciones de estudio sólo se observó un tipo de disolución caracterizada por generar porosidad asociada a las fracturas y porosidad vugular e intrapartícula asociada a fragmentos fósiles, sin embargo la porosidad en estas secciones resulta bastante escasa y no supera el 5%. Esta disolución se caracteriza por un espacio abierto generado por el contacto de fluidos capaces de disolver las paredes de las fracturas dando origen a superficies irregulares (Fig. 5.46).

El proceso de disolución se encuentra afectando principalmente matriz micrítica, pero también se puede observar que afecta además fracturas cerradas por cemento de calcita equigranular, fragmentos fósiles y estilolitas.

Los procesos de disolución observados en las secciones de Chejendé y La Aguada se enumeran a continuación:

#### **Proceso de disolución en la sección de Chejendé:**

1. Disolución selectiva asociada a la disolución parcial en fragmentos de moluscos.
2. Disolución asociada a matriz micrítica.
3. Disolución asociada a las paredes de fracturas extensivas F2, generando que sus contornos sean irregulares.
4. Disolución asociada a las paredes de fracturas extensivas F3, generando que sus contornos sean irregulares.
5. Disolución asociada a las paredes de fracturas extensivas F4, generando que sus contornos sean irregulares.
6. Disolución que genera contornos irregulares en las paredes de grietas de tensión (F1) asociadas a estilolitas.

#### **Proceso de disolución en la sección de La Aguada:**

1. Disolución selectiva asociada a la disolución parcial en fragmentos de moluscos.
2. Disolución asociada a matriz micrítica.



3. Disolución asociada a las paredes de fracturas extensivas F2, generando que sus contornos sean irregulares.
4. Disolución asociada a las paredes de fracturas extensivas F3, generando que sus contornos sean irregulares.
5. Disolución asociada a las paredes de fracturas extensivas F4, generando que sus contornos sean irregulares.
6. Disolución que genera contornos irregulares en las paredes de grietas de tensión (F1) asociadas a estilolitas.

#### **5.3.2.4 Reemplazos**

El reemplazo supone un cambio de mineralogía en el material preexistente y frecuentemente va acompañado de variación en la cristalinidad.

En las secciones de Chejendé y La Aguada se presentan distintos procesos de reemplazo como lo son: silicificación, piritización, sideritización, fosfatización y sulfatización.

#### **Silicificación:**

La silicificación es el proceso de reemplazo de  $\text{CaCO}_3$  por  $\text{SiO}_2$ . La solubilidad del sílice se ve favorecida en aguas con un pH no menor que 9, predominando este factor sobre otros que controlan la solubilidad del mismo en aguas de temperaturas normales (KRAUSKOPF, 1959).

Este proceso se presenta en ambas secciones, principalmente reemplazando matriz micrítica y en menor cantidad en las conchas de foraminíferos y en la superficie de moluscos, sin embargo en la sección de La Aguada se presenta en mayor porcentaje, lo que determina condiciones de pH menos alcalinas para los fluidos intersticiales que favorecieran la precipitación de sílice autigénica en esta sección.

#### **Piritización:**

El reemplazo por pirita que tiene lugar en rocas carbonáticas, indica condiciones reductoras en el medio diagenético, debido a que la formación de sulfuros requiere de condiciones altamente reductoras (Eh negativo) y ácidos (pH bajo).



La precipitación de piritita es común en ambas secciones, con porcentajes variables a lo largo de las columnas carbonáticas, lo que representa condiciones reductoras permanentes en el medio.

Es común la presencia de fósiles totalmente o parcialmente piritizados, al igual que cristales individuales euhedrales cúbicos, framboidales y anhedrales.

#### **Sideritización:**

La sideritización se presenta como un proceso diagenético de reemplazo, donde inicialmente se produce porosidad por disolución y finalmente el espacio es rellenado por la precipitación de un material primario cementante.

Este proceso se presenta escaso para ambas secciones de estudio, observándose la sideritización total de un fragmento fósil sólo hacia el tope de la sección de Chejendé.

La precipitación de siderita requiere de condiciones reductoras y de fuertes fluctuaciones en el pH y Eh (TEODOROVICH, 1949).

#### **Fosfatización:**

El fosfato se presenta, aunque abundante, sin continuidad en las secciones de estudio. Principalmente se puede observar reemplazando fragmentos de peces y matriz micrítica, y en menor cantidad en pequeños agregados.

#### **Sulfatización:**

El reemplazo por barita o sulfato de bario, se presenta sólo en la sección de Chejendé, con una distribución bastante restringida. Se presenta como un proceso limitado y sin ninguna continuidad.

### **5.3.3 Compactación. Presión-Disolución**

La compactación de sedimentos es la reducción del volumen expresado como el porcentaje de huecos presentes. La causa principal de la compactación durante la diagénesis es la fuerza generada por el incremento de sobrecarga dado por sedimentos tardíos. La magnitud del efecto es una función de la porosidad y el contenido de agua del sedimento original, del

tamaño y forma de las partículas, de la tasa de depositación y espesor de la sobrecarga y por último del factor tiempo (KRUMBEIN, 1942).

BATHURST en 1980, en relación con la diagénesis profunda, considera que la compactación de los sedimentos carbonáticos puede ser:

- a) Mecánica, por incremento de la densidad de empaquetado de las partículas.
- b) Química, por presión-disolución.

La compactación mecánica, es un proceso significativo de reducción de porosidades durante el soterramiento, parece ser restringido a sedimentos finos y sólo durante la etapa de expulsión de agua (LONGMAN, 1981).

Los efectos de la compactación mecánica en las secciones de estudio pudieron estar atenuados por la gran cantidad de arcillas presente en las mismas, ya que éstas pueden favorecer a la presión hidrostática y por ende, a la acción isotrópica (en todas las direcciones) de la fuerza sobre los componentes de la roca. Sin embargo se pueden observar como efectos físicos de este proceso, la ruptura poco frecuente de cámaras de foraminíferos y la presencia de estructuras laminares.

La compactación química se asocia a la pérdida de porosidad y reducción del espesor de las rocas carbonáticas debido a que el sedimento es deformado por sobrecarga vertical. Al mismo tiempo se produce una disolución del  $\text{CaCO}_3$ .

En las secciones de estudio los efectos de la compactación química, se ven reflejados en términos de superficies de presión-disolución como estilolitas de contactos suturados y no suturados y películas de materiales insolubles que son, en parte, superficies de estilolitización. Estas superficies son abundantes en ambas secciones y presentan generalmente acumulaciones de material no carbonático rico en arcillas.

## 5.4 Ambientes Diagenéticos

A partir de la ocurrencia de distintos eventos de disolución, precipitación de cementos y fracturamiento se lograron identificar, para la Formación La Luna en las secciones de estudio, los siguientes ambientes diagenéticos: marino, freático y de soterramiento. Los procesos diagenéticos mencionados anteriormente se encuentran asociados a un ambiente diagenético en particular, lo que permite elaborar una secuencia paragenética para cada sección estratigráfica, en las que se ordenan secuencialmente los eventos en correspondencia con cada ambiente diagenético.

### 5.4.1 Intervalo I

En las secciones de estudio se observan evidencias de soterramiento a profundidades considerables, sin embargo es posible inferir un ambiente diagenético marino, de aguas no muy profundas, reductor y de baja energía, donde los primeros cambios en el sedimento tuvieron lugar cerca o en la interfase agua-sedimento.

Los procesos asociados a este tipo de ambiente están representados principalmente por concreciones, precipitación de sílice, reemplazos menores por sílice, envoltorios micríticos, piritización, silicificación de la matriz, fosfatización de partículas esqueléticas y de la matriz y cementación (cementos tempranos de calcita y siderita).

WEEKS (1957) en un estudio acerca de las concreciones calcáreas cretácicas en el valle de Magdalena en Colombia, indica un origen singenético o diagenético temprano para las mismas. Su formación es muy rápida luego de la depositación y los sedimentos circundantes aún en estado plástico son capaces de fluir alrededor de ella. Luego de la litificación conservan una relación de paralelismo con la estratificación e inclusive con la laminación de la roca caja. Los envoltorios de las concreciones se forman lo suficientemente rápido como para impedir la descomposición completa de los organismos y los efectos de la subsecuente compactación.

Estas concreciones son características de un ambiente marino restringido de poca circulación. En este tipo de ambientes las condiciones de fondo poseen característicamente un Eh y pH bajos. Sin embargo la precipitación de  $\text{CaCO}_3$  requiere un pH mínimo de 7.8 por lo que es necesario un mecanismo que eleve el pH para que pueda precipitar el

carbonato. La descomposición de la materia orgánica con condiciones de fondo estancadas puede generar la concentración local de amoníaco incrementando el pH como para permitir la precipitación de carbonatos autigénicos tempranos, donde si además ocurre un leve aumento en la concentración molar del  $O_2$ , puede dar lugar a la precipitación de  $FeCO_3$  (siderita).

Al inicio de la diagénesis el  $CO_2$  en las aguas intersticiales aumenta debido a la acción bacterial y en consecuencia aumenta la solubilidad del carbonato. En etapas más avanzadas de la diagénesis disminuye la cantidad de  $CO_2$  y ocurre la precipitación del carbonato. Para compensar esta precipitación y el consecuente aumento del pH, los bicarbonatos migran hacia los niveles de déficit. Mientras que el  $CO_2$  escapa precipitan más carbonatos. El tiempo de formación de las concreciones dependerá de la cantidad de materia orgánica en el sedimento, del momento de la migración del  $CO_2$  y de la porosidad como vía de migración (TRIBOVILLARD, 1989).

Un factor importante es el tamaño de las concreciones. WEEKS (1957) indica que el tamaño de la concreción está regulado por el Eh; si este es muy bajo el tamaño de la concreción será mayor. Esto ayuda a inferir que la zona donde se encuentran concreciones muy abundantes y de gran tamaño corresponde a la etapa donde la cuenca habría alcanzado su máxima profundidad.

El relleno de las conchas por sílice ocurre en los primeros períodos de la diagénesis de acuerdo a los cambios en el pH controlados por la producción variable de  $CO_2$  y  $NH_3$  en la descomposición bacterial. La silicificación de la matriz se completó después de la compactación y algunos procesos de reemplazo tuvieron lugar por presión solución de la calcita; STOUFER (1993) propone que las silificaciones de la matriz carbonática se refieren a procesos determinados dentro de una diagénesis temprana marina. La silicificación en conchas de moluscos por cuarzo de tipo calcedónico es un proceso reconocido en etapas tempranas de diagénesis marina (MÁRQUEZ, 1994).

ERLICH *et al* (1997), proponen que organismos que segrean sílice como los radiolarios pudieron oportunamente utilizar los nutrientes provistos por el proceso de corrientes de surgencia (upwelling), que asociado a la disolución durante el proceso de enterramiento pueda explicar la sílice observada en las rocas.

La aparición de envoltorios micríticos se encuentra asociada a la acción erosiva de organismos comedores. Unos corroen externamente las conchas, desgastando su pared exterior transformándolas en un ropaje micrítico lodoso y otros horadan perforando a través de la concha favoreciendo la penetración de lodo y otros materiales constituyentes de la matriz (ZAPATA, 1983). Este proceso tiene lugar al inicio de la diagénesis y es común en un ambiente marino somero o marino freático.

Los reemplazos de fosfato son comunes en partículas esqueléticas de peces, la matriz micrítica generalmente se ve afectada por fosfatizaciones amarillentas a anaranjadas, correspondiente a los fosfatos dahlita y colofano.

El factor más importante en la fosfatización es la ocurrencia de corrientes de surgencia (upwelling), ricas en nutrientes, generadas a profundidades de 200 a 300 metros. En cuencas restringidas se ha sugerido que el fosfato puede precipitar no en el interior de la cuenca sino en bordes en donde las aguas de pH relativamente bajo y con alto contenido de fosfato se mezclan con aguas oxigenadas de plataforma circundante (STOUFER, 1993).

La precipitación de pirita indica condiciones reductoras del medio diagenético en ambiente marino y exige condiciones específicas de Eh (negativo) y pH (bajo).

La morfología de la pirita está condicionada según MACHEL (1995) a diversos factores termales o bacteriales. Cuando se forma producto de reducción bacteriana de sulfatos, la pirita comúnmente es granular de tipo framboidal. Si los cristales de pirita tienden a ser cúbicos se le atribuye un origen producto de reducción termal de sulfatos.

La distribución regular de pirita a lo largo de toda la columna carbonática en ambas secciones de estudio, se debe a una generación de la misma no sólo en las etapas más tempranas de la diagénesis, la presencia de cristales de pirita cúbica con caras más definidas quizás se deba a reemplazos pseudomórficos en una etapa diagenética tardía asociada a una reducción termal de sulfatos continua o intermitente.

El cemento de calcita fibroso asociado a estructuras como en cono y bastante abundante en las secciones de estudio, es uno de los más característicos de este ambiente.

### **5.4.2 Intervalo II**

Una de las evidencias más claras asociadas a un ambiente freático está conformada por los tipos de cementos de calcita presentes en la roca. Las relaciones entre el espacio ocupado por el cemento, la morfología de los cristales y la coexistencia entre diferentes tipos de minerales calcáreos con diferentes solubilidades.

Una de las características más importantes que indican un ambiente freático, reconocible a nivel microscópico, es la precipitación de cemento isópaco, éste asociado a otros tipos de cementos calcáreos ayudan a identificar este ambiente diagenético.

Entre los cementos de calcita presentes en las secciones de estudio se encuentra el cemento tipo drusa, el cual se caracteriza por no ocupar totalmente el espacio donde precipita y por el incremento en el tamaño de los cristales hacia el centro de la cavidad. Aunque este cemento se presenta en ambientes marinos tanto someros como profundos, también se presenta en ambientes meteóricos, específicamente en la zona freática.

El cemento equigranular y en bloques dispuesto principalmente en las cámaras de foraminíferos y asociado a éstos, así como también en las laminaciones de las rocas indican una precipitación temprana, además su aspecto limpio indica su origen proveniente de fluidos meteóricos.

Las evidencias anteriormente expuestas indican que la cementación es el resultado más significativo de la diagénesis meteórica, sin embargo todos los minerales calcáreos incluyendo calcita son disueltos, pero sólo calcita es precipitada. Las disoluciones generadas en este ambiente, aunque escasas, se encuentran asociadas principalmente a la disolución selectiva y parcial de restos de moluscos.

### **5.4.3 Intervalo III**

La diagénesis de soterramiento puede ser definida como cualquier cambio o conjunto de cambios que toman lugar debajo de la zona de diagénesis superficial y se aproximan al terreno que comprende el metamorfismo de bajo grado.

Las evidencias de este ambiente las componen principalmente la asociación de distintos procesos que tienen lugar en el sedimento como lo son la compactación tanto física como química, cementación y reacciones minerales.

Una de las principales evidencias para este ambiente son las estilolitas de contactos suturados y no suturados las cuales son producto de los efectos de presión-solución debido a cargas litostáticas o esfuerzos tectónicos, los mismos incrementan la solubilidad entre los puntos de contacto generando procesos de disolución que involucran un cambio de estado de sólido a líquido creando una solución microscópica, favoreciendo la acumulación de material insoluble (arcillas, materia orgánica, etc) y la precipitación de material cementante.

La compactación química probablemente comienza en sedimentos marinos dentro de los primeros cientos de metros de soterramiento. Mientras los sedimentos son firmemente cementados, la presión-solución partícula-partícula y las superficies de cementación son los estilos dominantes de presión-solución. Las superficies características de presión-solución como las estilolitas de contactos suturados y no suturados probablemente comienzan a formarse al final de este bajo rango de profundidad y ciertamente aparecen después de aproximadamente un kilómetro de profundización, sin embargo en sedimentos carbonáticos, como es el caso de la Formación La Luna, este rango de aparición de los productos de compactación química puede variar hasta resultar menor.

Otra evidencia para este ambiente lo constituye el fracturamiento. El tipo de fracturas así como el relleno mineral que poseen indica que la generación de éstas ocurre a partir de un soterramiento somero hasta profundidades mayores.

Los procesos de disolución asociados al fracturamiento constituyen lo más importante en este ambiente, debido a que todas las fracturas presentan paredes irregulares disueltas, por lo que para cada fractura se asocia un evento de disolución.

Las grietas de tensión asociadas a las estilolitas, son de generación continua con las mismas y dependen del comportamiento del mismo sistema de esfuerzos que generan las estilolitas.

Los procesos de fracturamiento en las rocas se han relacionado principalmente a un ambiente diagenético de soterramiento debido a que su generación está condicionada principalmente a factores como esfuerzos tectónicos o esfuerzos dirigidos por carga litostática.

La cementación es un elemento importante para este tipo de ambiente aunque en el caso de rocas carbonáticas la entrada de hidrocarburos puede constituir un factor inhibitor del proceso. Este proceso puede ser asociado al desarrollo de las superficies de presión-

solución o estilolitas, las cuales se encuentran asociadas a zonas donde la porosidad es bastante baja y el cemento resulta bastante grueso y abundante.

Los tipos de cementos asociados a este ambiente en las secciones de estudio los constituyen el cemento equigranular en grietas de tensión, cemento equigranular en fracturas extensivas totalmente rellenas, cemento romboédrico y el cemento diente de perro asociado a fracturas extensivas, siendo éste el último en aparecer.

## **5.5 Paragénesis**

Para el desarrollo de la paragénesis se ha correlacionado la ocurrencia de los procesos diagenéticos, ordenados secuencialmente, con el ambiente diagenético donde se generaron, para ello se ha elaborado una secuencia paragenética para cada una de las secciones de estudio.

Tanto el proceso de micritización de partículas fósiles así como la presencia de envoltorios micríticos se pueden observar en ambas secciones. Su génesis está asociada a un ambiente marino.

Durante la etapa de diagénesis temprana tienen lugar los procesos de reemplazo: piritización, siderización, silicificación y fosfatización en un ambiente marino de aguas relativamente poco profundas, de baja tasa de sedimentación y reductor. Particularmente la fosfatización tiene lugar cerca de la interfase agua-sedimento. También en esta etapa ocurre una cementación inicial que pudo tener lugar antes y después de los procesos de reemplazo mencionados anteriormente.

La presencia de pellets sugiere un ambiente de baja energía, debido a su suave consistencia, sin embargo pueden ser transportados sin destruirse a ambientes de mayor energía si son cementados tempranamente y esto puede ser posible en ambientes de baja energía y sobresaturados en  $\text{CaCO}_3$ .

Las concreciones se han catalogado como una estructura diagenética generada en contacto con aguas marinas, así que su ocurrencia se produce en etapas tempranas de la diagénesis (MURAT, 1992).

El cemento de calcita equigranular y en bloques que se ubica en y entre las partículas fósiles posiblemente comienza a precipitar en etapas tempranas (marino) debido a que su ubicación se encuentra principalmente en las laminaciones de las rocas.



La piritización se presenta después de precipitación de cemento carbonático y como en general requiere un ambiente reductor para su formación, su ocurrencia indica que el carácter reductor se ha incrementado dando paso a su precipitación. La formación de pirita ocurre durante la etapa de diagénesis temprana.

El neomorfismo de inversión puede tener lugar en una etapa de diagénesis temprana a intermedia a un nivel de enterramiento relativamente poco profundo, en sedimentos con fluidos intersticiales ricos en  $\text{CaCO}_3$  que puedan dar lugar a este tipo de transformaciones.

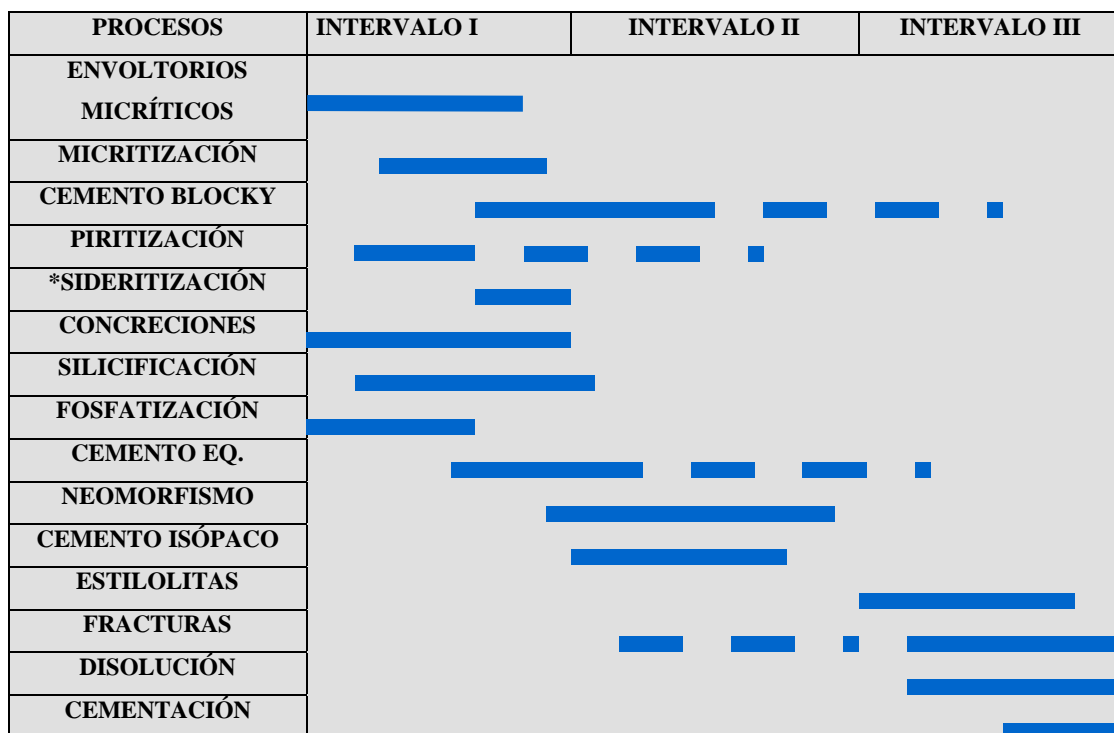
La presencia de cemento isópaco se encuentra directamente asociada con un ambiente freático, así como también las disoluciones posiblemente selectivas y parciales de fragmentos de moluscos.

El comienzo para el ambiente de soterramiento para ambas secciones de estudio lo constituye la aparición de los efectos de presión-solución, representado por la presencia de estilolitas. La aparición de grietas de tensión (F1) implica la aparición del primer proceso de disolución, el cual está seguido de una cementación de calcita equigranular.

La generación de fracturas se encuentra asociada al soterramiento, así como las disoluciones y posteriores cementaciones en las mismas.

En el ambiente de soterramiento ocurren los procesos de compactación, porosidad secundaria, cemento en fracturas y presión-solución.

A continuación en la Fig. 5.68 correspondiente a las secciones de Chejendé y La Aguada, se presentan las secuencias paragenéticas para cada columna carbonática, donde se encuentran asociados los distintos procesos diagenéticos con los ambientes diagenéticos presentes.



**FIGURA 5.68:** Secuencia paragenética de la Formación La Luna en las secciones de Chejendé y La Aguada.

(\*) La sideritización sólo se presenta como un caso aislado hacia el tope de la sección de Chejendé.

## **6. GEOQUÍMICA ORGÁNICA**

## **6.1 Introducción**

El presente análisis está basado en datos de Carbono Orgánico Total obtenidos recientemente para, finalmente, según su comportamiento a lo largo de cada una de las secciones de estudio, relacionar este con la información diagenética obtenida y a partir de esta relación establecer una clasificación de ambientes diagenéticos tempranos basada en la clasificación propuesta por BERNER en 1981.

A continuación se explica el significado de este término geoquímico como también la metodología utilizada para este análisis.

## **6.2 Metodología del análisis de Carbono Orgánico Total**

### **Material y equipo utilizados:**

- Muestras de roca pulverizadas y secas
- Beakers de 100 ml
- HCl (2N)
- NaOH (1,3N)
- Piseta con acetona
- Piseta con agua destilada
- Plancha de calentamiento
- Crisoles de cerámica para filtrado y quemado
- Balanza electrónica
- Aparato para filtrado al vacío
- Equipo de titulación, marca METROHM LTD, modelo CH-9100
- Equipo para la determinación de carbono orgánico, marca LECO, modelo C-244

### **Descripción de los equipos (Modificado de STOUFER 1993)**

- Equipo para titulación.

Consta de cuatro partes principales:

- Dispensador automático para el NaOH con bureta de 20 ml y recipiente de aprox. 1 l, regulador de velocidad, pantalla e inicializadores manuales.

- Electrodo de vidrio, agitador, manguera de dispensado y manguera de agua destilada para el lavado posterior a cada titulación.
- Sistema de rotación automática, con envases plásticos para colocar los beakers, correa deslizadora y mecanismo para elevar el envase hasta que el electrodo, el agitador y las mangueras se acomoden dentro del beaker contenido en el recipiente plástico.
- Mecanismo desde donde se dirigen las operaciones. Posee un contador para fijar el número de muestras a analizar, indicador de pH, controles para el manejo manual del aparato de rotación automática y controles adicionales para diversas funciones.

El principio de operación del equipo consiste en indicar la cantidad de volumen de base consumido en la neutralización del HCl en función de la medición del pH de la solución, lo cual es llevado a cabo por el electrodo de vidrio. Inicialmente el dispensador, vierte el NaOH en el beaker con el HCl hasta que el medidor de pH se estabilice por un tiempo predeterminado en un valor igual a 7.00 para la neutralización total. En ese momento se detiene el dispensador y se lee en la pantalla el volumen de base gastado.

- Equipo para la determinación del Carbono Orgánico

El equipo está conformado por tres partes principales:

- Consola con pantalla e impresora. Posee controles para calibración, paso de gas, codificación de las muestras, quemado de las mismas y señales de alarma del equipo entre otros.
- Mecanismo para el quemado de las muestras.
- Dispositivo donde se encuentran los componentes de chequeo tales como filtros, manómetro, etc.

El principio de operación de este equipo se basa en detectar la cantidad de carbono orgánico mediante el registro de CO<sub>2</sub> desprendido al quemar una muestra a 1400°C aproximadamente indicando el porcentaje de carbono en función del peso.

## **Procedimiento**

Se pesan aproximadamente 0,4 g de muestra pulverizada y se colocan en un beaker de 100 ml. Se le agregan 20 ml de HCl utilizando un dispensador de precisión y luego se colocan en una plancha de calentamiento a 40°C durante tres horas.

Al culminar la digestión ácida se dejan enfriar las muestras y se procede a la neutralización del ácido con el equipo de titulación, registrando los valores de NaOH consumidos. Seguidamente se dejan reposar los beakers para decantar y luego filtrar al vacío en los crisoles de cerámica. Para facilitar la decantación de las muestras se les agrega una pequeña cantidad de acetona.

Luego de la filtración al vacío las muestras se colocan en una estufa a 40°C hasta que se encuentren totalmente secas.

Para la utilización del equipo LECO se abre el paso del gas unos minutos antes de comenzar analizar las muestras. Para la calibración del equipo se pesan 100 mg de un preparado estándar más dos medidas de un catalizador y un fundente o acelerador del quemado.

Posteriormente se quema la muestra para verificar si los valores obtenidos son similares a los valores preestablecidos.

Luego de verificar los valores obtenidos se introducen los números y pesos de cada muestra y se le agrega a cada crisol dos medidas de catalizador y una de fundente.

Posteriormente se oprime el control “UpDown” del mecanismo de quemado, se coloca el crisol y se vuelve a oprimir el mismo botón para introducir el crisol dentro del aparato.

En la consola se presiona el control “analyze”, se quema la muestra y finalmente se imprime el código de la misma y el porcentaje de COT obtenido.

### **6.3 Porcentaje de Carbono Orgánico Total**

La cantidad de materia orgánica en una roca se expresa como Carbono Orgánico total (COT). Los rangos de valores del porcentaje de COT obtenido son utilizados como parámetros de comparación para definir o no la posibilidad de ser posible roca madre, lo cual depende de la cantidad y no de calidad de la materia orgánica (tipo). Para lutitas

el valor mínimo del tenor del carbono orgánico total necesario para considerarla como posible roca madre es 0.5% y para las calizas es de 0.6% (TISSOT y WELTE, 1984)  
 A continuación en la tabla 6.1 se presenta la relación entre el porcentaje de COT y el potencial como roca madre.

**TABLA 6.1.** cantidad del % de COT y su relación como posible roca madre.

<b>COT (% en peso)</b>	<b>CALIDAD</b>
POBRE	0-0.5
REGULAR	0.5-1
BUENA	1-2.0
MUY BUENA	>2

(Tomado de OLIVARES, 1997)

En la sección de La Aguada el carbono orgánico se concentra hacia el tope de la misma, con valores que varían entre <1.0 y 4.0 %, concentrado principalmente en litologías con laminaciones finas o bandeadas, las cuales se caracterizan por la alternancia de láminas finas oscuras de arcillas y láminas claras constituidas por bioclastos cementados con material carbonático. La acumulación de carbono orgánico en Chejendé presenta un comportamiento similar en cuanto asociaciones litológicas pero con valores que varían entre <1.0 y 6.0 % y concentrados principalmente hacia la parte media y superior de la sección.

Las variaciones presentadas en las secciones de estudio se pueden observar en las Fig. 6.1 y 6.2 correspondientes a las secciones La Aguada y Chejendé respectivamente. Estas variaciones están asociadas a los posibles cambios en la bioproductividad primaria y/o las condiciones de preservación (anoxicidad) durante la sedimentación.

Los valores más altos de COT se encuentran, en ambas secciones, asociados a mudstone, es decir rocas principalmente arcillosas y estos valores se incrementan en ambos casos hacia el tope de las secciones.

#### 6.4 Clasificación geoquímica de ambientes diagenéticos tempranos

BERNER (1981), en primer lugar, divide la totalidad de los ambientes sedimentarios en óxicos y anóxicos, en términos de los niveles de concentración de oxígeno disuelto y sulfuros totales. Los ambientes anóxicos se dividen en sulfurosos y no sulfurosos, y a su vez estos últimos se dividen en post-óxicos y metánicos. El esquema de clasificación, junto a los minerales autigénicos característicos de cada ambiente, se muestran en la tabla 6.2.

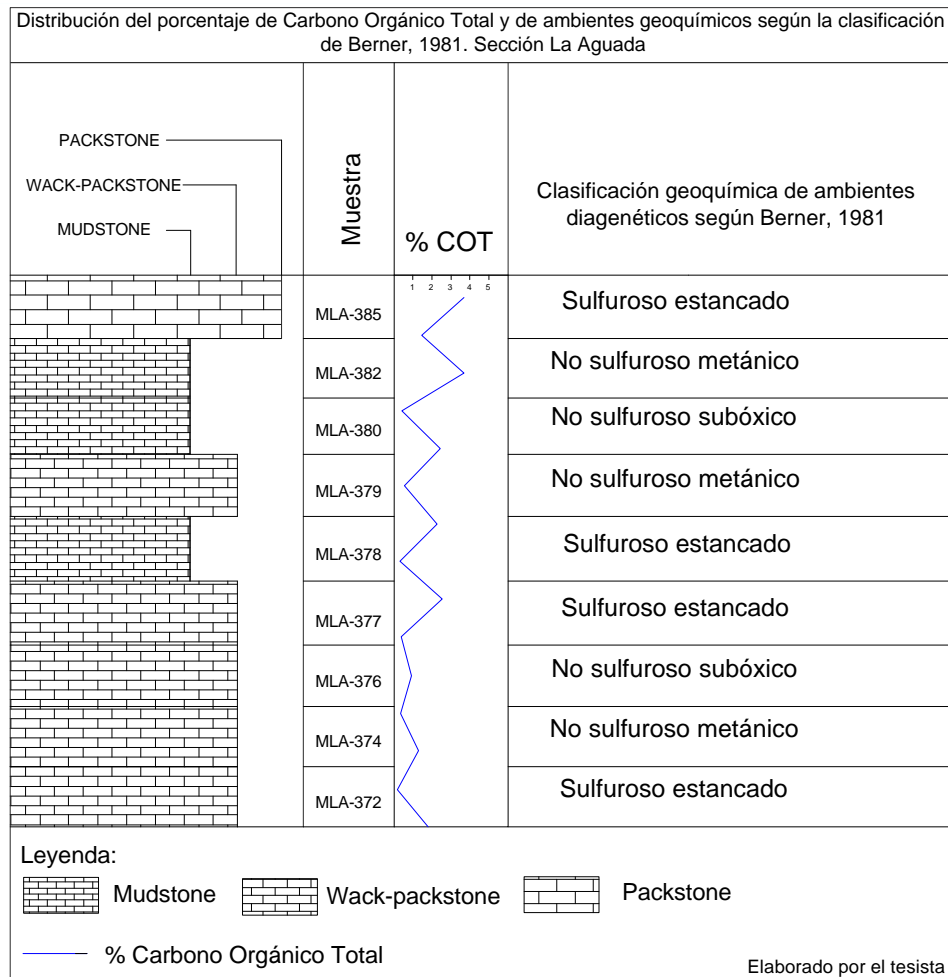
**TABLA 6.2.** Clasificación geoquímica de ambientes diagenéticos tempranos

<b>Clasificación geoquímica de ambientes diagenéticos tempranos. (modificado de BERNER, 1981)</b>			
<b>Ambiente</b>	<b>Concentración molar</b>		<b>Minerales autigénicos diagnósticos y sedimentos característicos</b>
	<b>[O<sub>2</sub>]</b>	<b>[H<sub>2</sub>S]</b>	
Oxidante	$\geq 10^{-6}$	$< 10^{-6}$	Hematita, goethita, minerales de MnO <sub>2</sub> , (no hay materia orgánica reactiva)
Anóxico	$< 10^{-6}$		
Sulfuroso		$\geq 10^{-6}$	Pirita, marcasita, rodocrosita, albandita; materia orgánica.
Estancado			$\delta^{34}\text{S}$ ligeros, no bioturbado
Aguas con fondo oxigenado			$\delta^{34}\text{S}$ se tornan pesados, bioturbados
No sulfuroso		$< 10^{-6}$	
Post-oxidante (=Suboxic)	$< 10^{-6}$	$< 10^{-6}$	Glauconita y otros minerales de Fe <sup>2+</sup> -Fe <sup>3+</sup> ; no sulfuros. (Siderita, vivianita, rodocrosita). Menor cantidad de materia orgánica.
Metánico	$< 10^{-6}$	$< 10^{-6}$	Siderita, vivianita, rodocrosita. Materia orgánica.

La presencia de minerales autigénicos tales como pirita y siderita, así como la cantidad de materia orgánica presente a lo largo de cada sección, permiten establecer una clasificación a partir de la propuesta por BERNER en 1981.

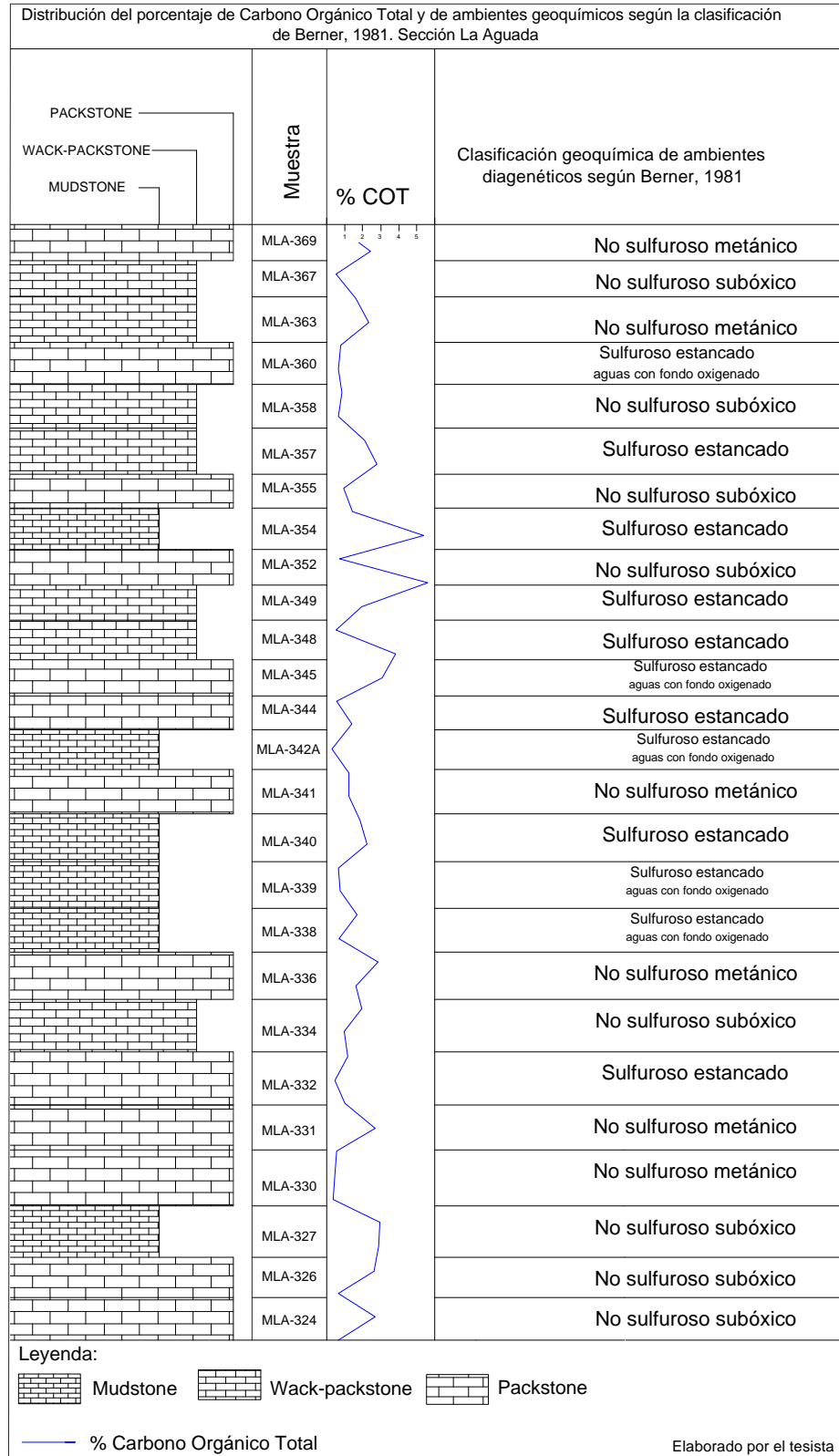
En la Fig. 6.1 correspondiente a la sección de La Aguada se muestra la distribución de estos ambientes prevaleciendo principalmente dos de los ambientes propuestos anteriormente como lo son el sulfuroso estancado y el no sulfuroso tanto metánico como subóxico, donde como característica principal se puede observar que la mayor productividad de materia orgánica se encuentra en las muestras asociadas a ambientes sulfurosos.





**FIGURA 6.1:** Distribución de ambientes diagenéticos geoquímicos y su relación con el porcentaje de COT para la sección de La Aguada.

Para la sección de Chejendé se observa una mayor variación en cuanto a la distribución de ambientes, donde además se observa la aparición de un ambiente sulfuroso, pero con poca producción de materia orgánica, lo que indica que aunque las condiciones son estancadas es posible que estemos en presencia de aguas con fondo oxigenado, lo que podría estar asociado a corrientes de surgencia o “upwelling” y como consecuencia podría observarse un aumento en la bioproductividad para el momento de la sedimentación. En la Fig. 6.2 se presenta la distribución de ambientes diagenéticos tempranos para la sección de Chejendé y su relación con la cantidad de materia orgánica presente que lo indica el porcentaje de COT.



**FIGURA 6.2:** Distribución de ambientes diagenéticos geoquímicos y su relación con el % de COT para la sección de Chejendé.

En general se observa una tendencia hacia la parte media de ambas secciones de estudio, aunque más marcada para la sección de Chejendé, en la que los litotipos lodosos (mudstone y wackestone) se encuentran asociados principalmente a un ambiente sulfuroso estancado, mientras que los litotipos más carbonáticos se encuentran asociados a ambientes no sulfurosos o a ambientes sulfurosos con aguas de fondo oxigenadas.

En cuanto al comportamiento ambiental de la fauna y sus estrategias de vida, existen variaciones ambientales que coinciden con la aparición a lo largo de la columna carbonática de géneros más especialistas y por ende menos tolerantes a éstas que a la vez implican cambios en la producción de nutrientes.

En la sección de La Aguada se observan formas eutróficas (*Globigerinelloides*) y por ende oportunistas a lo largo de toda la columna carbonática, con discretas apariciones de formas mesotróficas (*Whiteinella*) a oligotróficas hacia el nivel medio de la misma.

En la sección de Chejendé los géneros oportunistas se presentan a lo largo de toda la columna, pero hacia el nivel medio se presentan géneros especialistas (*Dicarinella asymetrica*, *Marginotruncana* sp., etc), que es donde se concentra la aparición de ambientes más restringidos, como lo son los ambientes sulfurosos de aguas estancadas.

## **8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 8.1 Conclusiones

En la sección de Chejendé se identifican seis microfacies y cuatro en la sección de La Aguada, caracterizadas principalmente por el contenido faunal y características sedimentológicas. En general se reconocen cuatro de las microfacies propuestas por GALEA (1989), una de las propuestas por MADRID (2001) y dos propuestas en este trabajo.

La diagénesis de la Formación La Luna en las secciones de Chejendé y La Aguada está principalmente representada por procesos generados en tres tiempos diagenéticos.

En comparación con estudios realizados en otras secciones estratigráficas ubicadas en el occidente de Venezuela pertenecientes a la Formación La Luna, las secciones de Chejendé y La Aguada presentan una diagénesis más intensa.

Aunque se puede considerar que la mayoría de las evidencias diagenéticas indican una diagénesis de temprana a intermedia, hay evidencias tales como la presencia procesos de compactación física y química reflejados en el bandeamiento y/o laminación en la roca y en la aparición de estilolitas así como también reacciones minerales importantes como la aparición de arcillas da capas mixtas, que indican que existieron condiciones de presión y temperatura que ayudaron a incrementar la intensidad de la diagénesis.

Los carbonatos con mayor cantidad de arcillas y materia orgánica, como es el caso de las secciones estudiadas, combinadas con el marco tectónico presente para el momento de la sedimentación son más susceptibles a los procesos de compactación; tomando en cuenta que para el momento de la sedimentación en el Cretácico tardío la cuenca sufre una rápida profundización posiblemente reflejando la migración del *forebulge* desde Colombia hacia el este y generando superficies plegadas, como es el caso del sinclinal de Chejendé ubicado en la cuenca Lara-Trujillo donde se encuentran las secciones para este estudio, se puede inferir que existieron condiciones de presión lineal (de origen tectónico) que dieron lugar a evidencias diagenéticas asociadas a una diagénesis de soterramiento.

La ocurrencia de siderita como un carbonato autigénico presente en sedimentos de la Formación La Luna, se explica utilizando como herramienta principal el modelo propuesto por Berner en 1981. A partir de esta clasificación y relacionándola con el contenido de Carbono Orgánico Total, se identifican al menos dos ambientes diagenéticos tempranos. Un

ambiente anóxico sulfuroso, donde no está presente  $O_2$  disuelto, marcado por la precipitación de pirita autigénica, ya sea por adición de sulfuros libres o por acción bacterial. Un ambiente anóxico no sulfuroso (metánico), dado por la presencia de siderita, indicando al menos un ambiente anóxico sulfuroso antecedente, debido a la presencia de siderita coexistiendo con pirita.

Adicionalmente las variaciones ambientales, dadas por la fauna y por la variación en la productividad de Carbono Orgánico Total presentes a lo largo de las secciones de estudio, indican incrementos regulares en la oxigenación hacia el tope de ambas secciones.

## **8.2 Recomendaciones**

Realizar análisis isotópicos de  $\delta^{13}C$  y  $\delta^{18}O$  con la finalidad de evaluar la incidencia de la diagénesis en los cambios isotópicos, debido a que en un ambiente de soterramiento el orden de aparición de los cementos hace variar la composición isotópica del oxígeno, tornándose más ligera de más antiguo a más joven. Asimismo sustentar éstos con análisis de elementos traza de  $Sr^{+2}$ ,  $Fe^{+2}$  y  $Mn^{+2}$ .

Realizar estudios de concentración molar de  $O_2$  y  $H_2S$ , para realizar una adecuada caracterización partiendo del modelo de clasificación geoquímica de ambientes diagenéticos tempranos propuesta por Berner en 1981.

## **8. BIBLIOGRAFÍA**

## 8. Bibliografía

- BAPTISTA, N. (1994). Estudio Geológico y Geoquímico de la Formación La Luna en sus secciones tipo en la Cuenca de Maracaibo. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología. U.C.V. Inédito. 269 p.
- BATHURST, R.G.C., 1975. Carbonate Sediments and Their Diagenesis. New York, Elsevier, p. 658.
- BERGGREN, W. (1992). Some Planktonic Foraminifera from the Maestrichtian and type Danian Stages of Southern Scandinavia: Stockholm Contributions in Geology, v.9, N° 1, 106 p.
- BERNER R.A., 1981. A new geochemical classification of sedimentary environments: Journal of Sedimentary Petrology, v, 51, p. 359-365.
- CAROZZI, A.V. (1993). Sedimentary Petrography. PTR Prentice Hall, New Jersey, p. 263.
- CHOQUETTE P. W. and PRAY L. C. (1970). Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. AAPG. 54: 207-250.
- COMISIÓN VENEZOLANA DE ESTRATIGRAFÍA Y TERMINOLOGÍA (1970). Léxico Estratigráfico de Venezuela. Bol. Geol. Caracas, Pub. Esp. N° 4. 756 pp.
- DE LA PEÑA, J. A. (1992). Diagénesis: Rocas Carbonáticas. En: Arche A., Sedimentología, Vol. II. Madrid, CSIC. 528 pp.
- ERLICH, R. (1999). Depositational Environments, Geochemistry, and Paleoceanography of Upper Cretaceous Organic Carbon-Rich Strata, Costa Rica and Western Venezuela. Amoco Exploration and Production Company. Inédito. 140 p.
- GALEA, F. (1989). Microfacies, Edad y Sedimentación de la Formación La Luna, Flanco Norandino, Venezuela. Informe Técnico Maraven, S.A. EPC-12663, 22 p.
- GARCÍA JARPA, R., et al (1980). Correlación Estratigráfica y Síntesis Paleoambiental del Cretáceo en Los Andes Venezolanos. Caracas. Bol. MEM. 14-26: 3-88.
- GAUTIER D.L., 1982. Siderite concretions: Indicators of early diagenesis in the Gammon shale (Cretaceous): Journal of Sedimentary Petrology, iii, 52, p. 0859-0871.
- GAUTIER D.L., 1985. Interpretation of early diagenesis in ancient marine sediments *in* Gautier D.L., Kharaka Y.K and Surdam R.C., Relationship of organic matter and



- mineral diagenesis: Society of Economic paleontologists and mineralogists, Short Course Lecture Notes, v, 17, p. 6-78.
- GONZÁLEZ de JUANA, C., ITURRALDE de AROZENA, J. y PICARD, X. (1980). Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas. Caracas, FONINVES, 103 pp.
- JAMES, N.P. and CHOQUETTE, P.W., 1990. Limestones: Introduction. En: Diagenesis (Ed. by Ian Mclireath and D.W. Morrow), p. 1-8. Geoscience Canada.
- JAMES, N.P. and CHOQUETTE, P.W., 1990. Limestones: The Burial Diagenetic Environment. En: Diagenesis (Ed. by Ian Mclireath and D.W. Morrow), p. 75-103. Geoscience Canada.
- JAMES, N.P. and CHOQUETTE, P.W., 1990. Limestones: The Meteoric Diagenetic Environment. En: Diagenesis (Ed. by Ian Mclireath and D.W. Morrow), p. 35-69. Geoscience Canada.
- JAMES, N.P. and CHOQUETTE, P.W., 1990. Limestones: The Sea-Floor Diagenetic Environment. En: Diagenesis (Ed. by Ian Mclireath and D.W. Morrow), p.13-29. Geoscience Canada.
- KRUMBEIN W. and GARRELS R.(1978). Origin and classification of chemical sediments in terms of pH and oxidation-reduction potentials. Jour. Geol.. 60(1): 1-33.
- LONGMAN, M. W. (1980). Carbonate diagenetic textures from nearsurface diagenetic environments. AAPG. Geol. Bull., 64, p. 461-487.
- LORENTE, M.; RULL, V.; RUÍZ M.; DURÁN, I.; TRUSKOWSKI, I.; Di GIACOMO, E. (1997). Nuevos Aportes para la datación de los principales eventos tectónicos y unidades litoestratigráficas de la Cuenca de Maracaibo, Venezuela Occidental; MEM Vol. XVIII-31: 34-47.
- MACHEL, H. G. (1995). Products and distinguishing criteria of bacterial and thermochemical reduction. Applied Geochemistry. Elsevier. Gran Bretaña. Vol. 10, p. 373-389.
- MADRID, I. (2001). Caracterización Bioestratigráfica por métodos petrográficos de la Formación La Luna en el Occidente de Venezuela, sección Flor de Patria, Estado Trujillo. Trabajo Especial de Grado. Departamento de Geología. U. C. V. Inédito.
- MARCANO, G. (1999). Estudio Diagenético detallado y relaciones geoquímicas de la Formación La Luna, en los pozos TOT-3 y ALP-6 del margen Occidental de la

- Cuenca de Maracaibo. Trabajo Especial de Grado. Departamento de Geología, U.C.V. Inédito. 195 p.
- MAYNARD J.B., 1982. Extension of Berner's "New geochemical classification of sedimentary environments" to ancient sediments: *Journal of Sedimentary Petrology*, iv, 52, p. 1325-1331.
- NELSON, R. (1985). Geologic Analysis of Naturally Fractured Reservoirs. Gulf Publishing Company. Houston. 320 pp.
- OLIVARES, C. (1997). Manual de datos geoquímicos. Informe Técnico Maraven No. EPC-13552.
- PREMOLI, I., SLITER, W. (1999). Cretaceous palaeoceanography: Evidence from planktonic foraminiferal evolution. Geological Society of America, Special Paper 332: 301-328.
- RENZ, O. (1959). Estratigrafía del Cretácico en Venezuela Occidental. Caracas. Bol.Geol. 5 (10): 3-48.
- SCHOLLE, P. A., 1978. A color Illustrated Guide to: Carbonate rock constituents texture cements and porosities. AAPG. Memoir 27, p. 241.
- SLITER, W. (1995). Cretaceous Planktic Foraminifers Examined in thin section. California, U.S. Geological Survey, "Short Course": 47 p.
- STOUFER, S. (1993). Distribución regional del carbono orgánico y fosfato de la Formación La Luna, Cuenca de Maracaibo, Estado Zulia. Trabajo Especial de Grado. Departamento de Geología. U. C. V. Inédito. 166 p.
- TEODOROVICH, G. I., 1961. Authigenic Minerals in Sedimentary Rocks. Consultants Bureau, New York. 120 pp.
- TUCKER, M. E. and WRIGHT, V. P., 1990. Carbonate Sedimentology. Londres, Blackwell. 482 p.
- VILLALOBOS, R. (1993). Evolución Sedimentológica Cretácica de una zona al suroeste del Lago de Maracaibo, Estado Zulia. Trabajo Especial de Grado. Departamento de Geología. U. C. V. Inédito. 200p.
- WILSON J. L. (1975). Carbonate Facies in Geologic History. Springer, Berlín. 471 pp.

- ZAPATA, E., et al (2000). Isotopic Characterization of La Luna Formation (late-Turonian-Campanian) in Mesa Bolívar and Las Hernández Sections, Mérida and Táchira States. Paleography and Hydrocarbon Potential of La Luna Formation and Related Cretaceous Anoxic Depositional Systems. 7<sup>th</sup>-9<sup>th</sup> September 2000. Caracas. Venezuela.
- ZAPATA, E., et al (2000). Diagenetic Evaluation of La Luna Formation, in Táchira and Mérida States, Western Venezuela. Paleography and Hydrocarbon Potential of La Luna Formation and Related Cretaceous Anoxic Depositional Systems. 7<sup>th</sup>-9<sup>th</sup> September 2000. Caracas. Venezuela.
- ZAPATA, E., et al (2000). Analysis of Foraminifera in Thin Sections of La Luna Formation, San Miguel River, Mérida State, Venezuela. Paleography and Hydrocarbon Potential of La Luna Formation and Related Cretaceous Anoxic Depositional Systems. 7<sup>th</sup>-9<sup>th</sup> September 2000. Caracas. Venezuela.

**CARACTERIZACIÓN DIAGNÓSTICA Y  
ESTRATIGRÁFICA DE LAS SECCIONES  
“CHEJENDÉ” Y “LA AGUADA” EN EL OCCIDENTE  
DE VENEZUELA, ESTADO TRUJILLO**

Ruth A. Quereguan M.

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Egleé J. Zapata O.

Caracas, Mayo 2002

**OBJETIVOS**

**UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

**METODOLOGÍA**

**GEOLOGÍA** Regional  
Local

**SEDIMENTOLOGÍA** Microfacies  
Paleontología y Edad

**DIAGÉNESIS** Evidencias Diagenéticas  
Procesos Diagenéticos  
Ambientes Diagenéticos  
Paragénesis

**GEOQUÍMICA ORGÁNICA** Porcentaje de COT  
Ambientes Geoquímicos

**CONCLUSIONES**

**RECOMENDACIONES**

## OBJETIVO GENERAL

- Consiste en evaluar el comportamiento diagenético de la Formación La Luna en las secciones Chejendé y La Aguada, para caracterizarla en todos sus aspectos: Evidencias, procesos, ambientes diagenéticos y evolución.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaboración de un estudio petrográfico detallado para identificar evidencias e interpretar los procesos y ambientes diagenéticos en las secciones de estudio, con la finalidad de entender su evolución diagenética.
- Realización de un estudio geoquímico basado en análisis de Carbono Orgánico Total (COT), para la posterior correlación de la información diagenética y la data obtenida.

**OBJETIVOS**

**UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

**METODOLOGÍA**

**GEOLOGÍA** Regional  
Local

**SEDIMENTOLOGÍA** Microfacies  
Paleontología y Edad

**DIAGÉNESIS** Evidencias Diagenéticas  
Procesos Diagenéticos  
Ambientes Diagenéticos  
Paragénesis

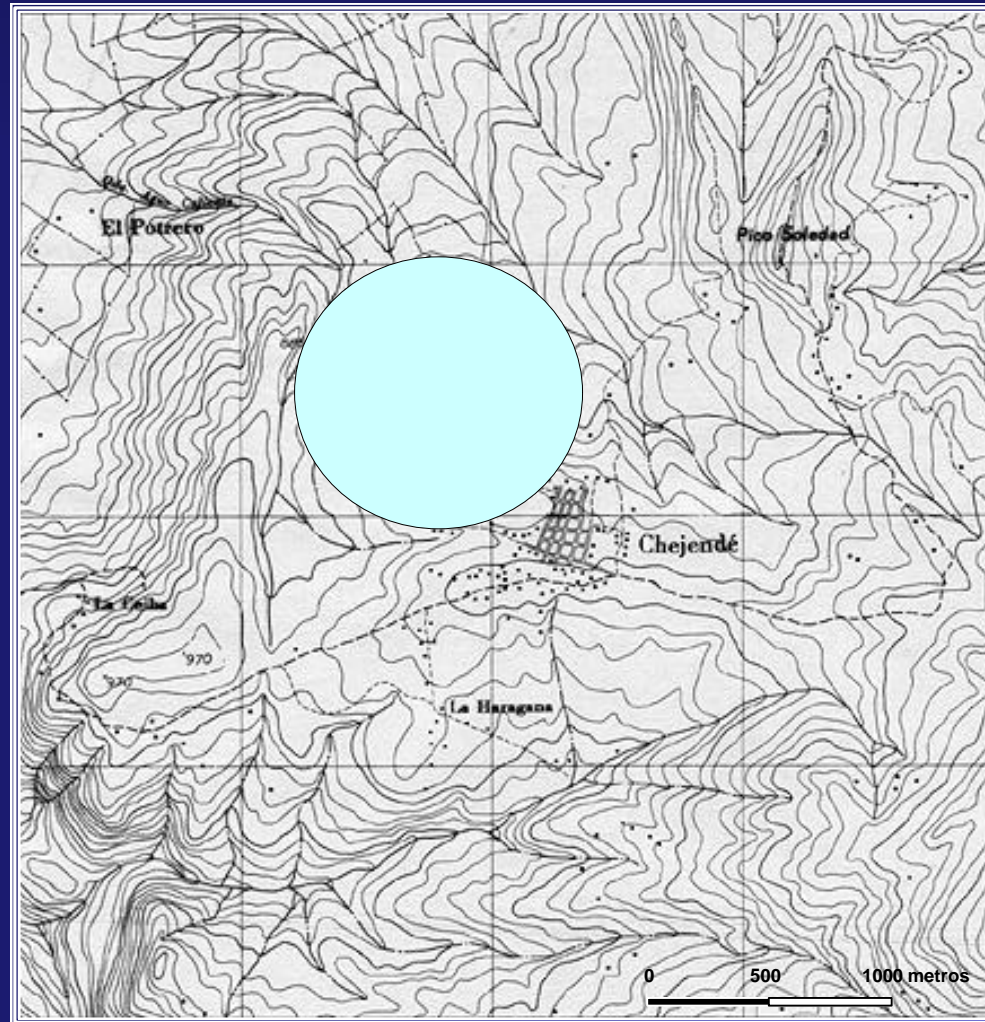
**GEOQUÍMICA ORGÁNICA** Porcentaje de COT  
Ambientes Geoquímicos

**CONCLUSIONES**

**RECOMENDACIONES**



# UBI CACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 0



Cami no Chejendé-El Potrero, estado Trujillo

OBJETIVOS

UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

METODOLOGÍA

GEOLOGÍA Regional  
Local

SEDIMENTOLOGÍA Microfacies  
Paleontología y Edad

DIAGÉNESIS Evidencias Diagenéticas  
Procesos Diagenéticos  
Ambientes Diagenéticos  
Paragénesis

GEOQUÍMICA ORGÁNICA Porcentaje de COT  
Ambientes Geoquímicos

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

# METODOLOGÍA

## ANÁLISIS PETROGRÁFICO



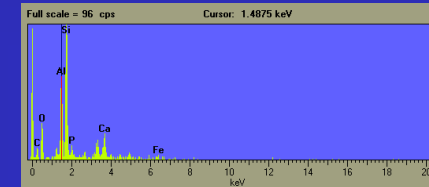
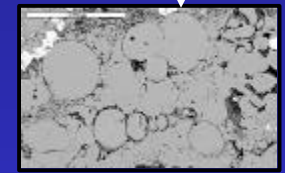
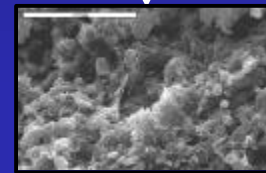
Definición de microfases



Microscopio electrónico de barrido

SEM

Back Scattered



Características texturales según Dunham (1962)

Establecer la proporción de matriz, cementos, aloquímicos y minerales autígenicos

Procesos orgánicos y procesos físico-químicos

Porosidad según Choquete y Pray (1970), tipos de fractura según Nelson (1995), identificación de estilolitas según Choquete y James (1992)

Obtener las evidencias diagenéticas

Procesamiento de las muestras en el LECO para establecer el %COT

OBJETIVOS

UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

METODOLOGÍA

GEOLOGÍA Regional  
Local

SEDIMENTOLOGÍA Microfacies  
Paleontología y Edad

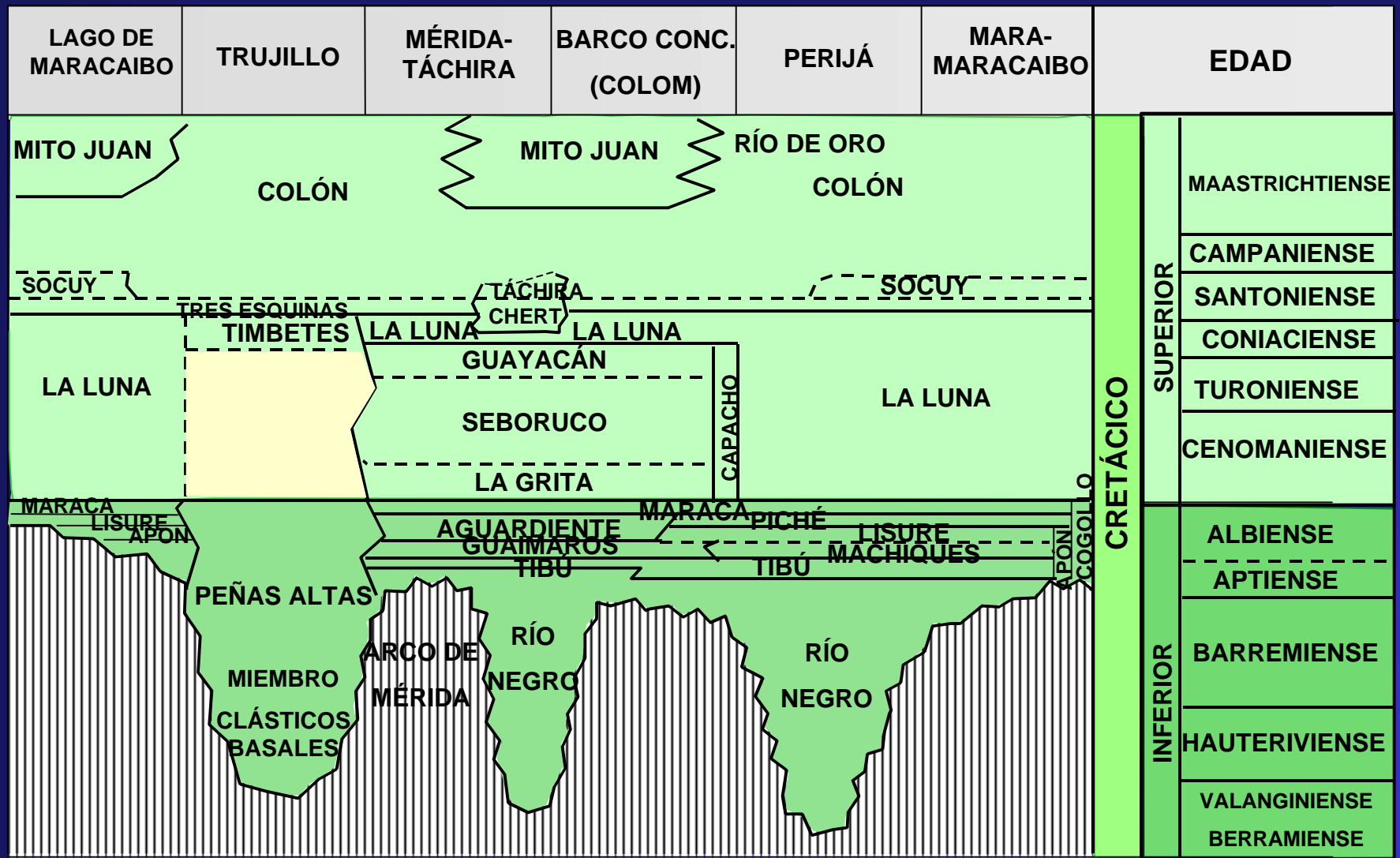
DIAGÉNESIS Evidencias Diagenéticas  
Procesos Diagenéticos  
Ambientes Diagenéticos  
Paragénesis

GEOQUÍMICA ORGÁNICA Porcentaje de COT  
Ambientes Geoquímicos

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

# GEOLOGÍA REGIONAL



# GEOLOGÍA LOCAL

El intervalo correspondiente a la sección levantada del Miembro La Aguada presenta un paquete de calizas y calizas lodosas de color gris claro, de 14 m de espesor aproximadamente, Las cuales se encuentran intercaladas con pequeños paquetes de lutitas de aproximadamente 50 cm de espesor. Las calizas son fosilíferas, gris oscuro y masivas.

En general esta sección estratigráfica se caracteriza por ser una alternancia de calizas, con frecuencia fosilíferas y lodosas y lutitas. Ocasionalmente se presentan concreciones.

El Miembro Chejendé se caracteriza hacia la base por presentar gruesos paquetes de lutitas con intercalaciones de capas delgadas de calizas. Hacia el tope de la sección se presentan intercalaciones de calizas y lutitas con concreciones de diversas formas y tamaños. Las calizas con frecuencia son finamente laminadas, lodosas y microfossilíferas. También se presentan calizas y lutitas con restos o huellas de moluscos (*Inoceramus* sp).



El área del afloramiento forma parte del flanco occidental del sinclinal de Chejendé cuyo eje posee un rumbo aproximado de N25E. El rumbo de la estratificación en general oscila entre N5E y N15E, y los buzamientos entre 15 y 30° hacia el sur.

En toda el área de Chejendé predominan fallas con altos ángulos de buzamiento. Se presenta un sistema de fallas cuyo rumbo varía entre N5E y N35E, y otro sistema de fallas de rumbo casi perpendicular al anterior que varía entre N50W y N85W.

OBJETIVOS

UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

METODOLOGÍA

GEOLOGÍA Regional  
Local

SEDIMENTOLOGÍA Microfacies  
Paleontología y Edad

DIAGÉNESIS Evidencias Diagenéticas  
Procesos Diagenéticos  
Ambientes Diagenéticos  
Paragénesis

GEOQUÍMICA ORGÁNICA Porcentaje de COT  
Ambientes Geoquímicos

CONCLUSIONES

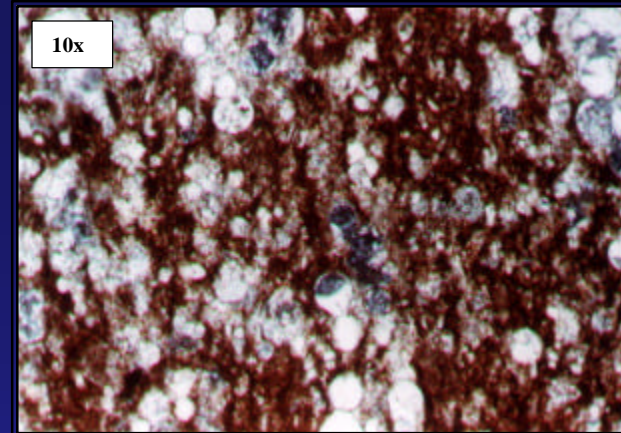
RECOMENDACIONES



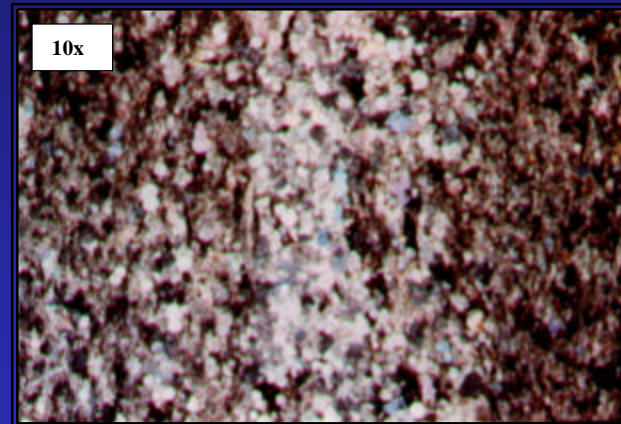
## MI CROFACI ES

En este trabajo se identifican siete microfacies, de las cuales cuatro corresponden al trabajo propuesto por GALEA (1989), una al trabajo de MADRID (2001) y dos nuevas microfacies se proponen en este estudio.

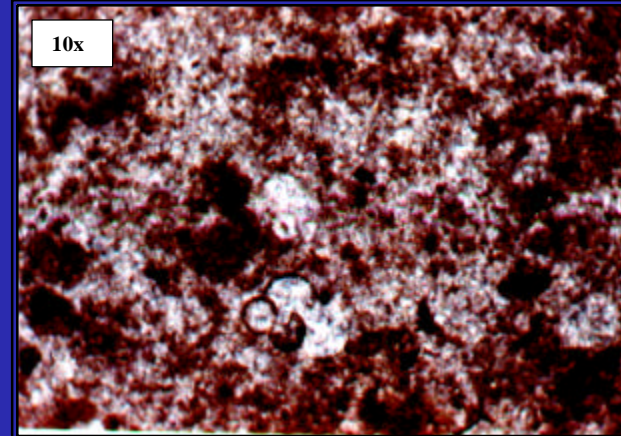
**MICROFACIES 1 (Mf1)**  
Wacke-packstone de  
foramíferos  
plácticos



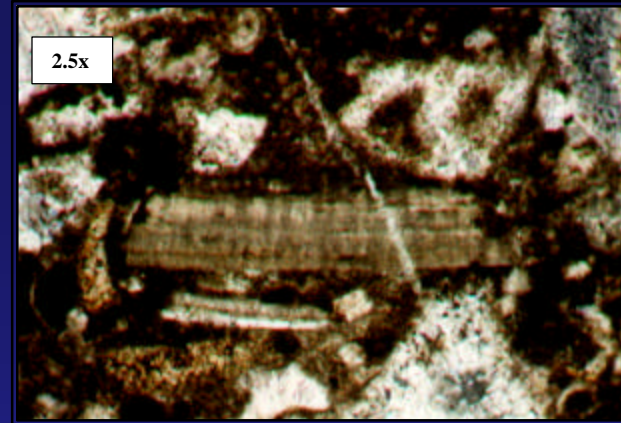
**MICROFACIES 2 (Mf2)**  
Packstone microlaminado  
de foramíferos  
plácticos



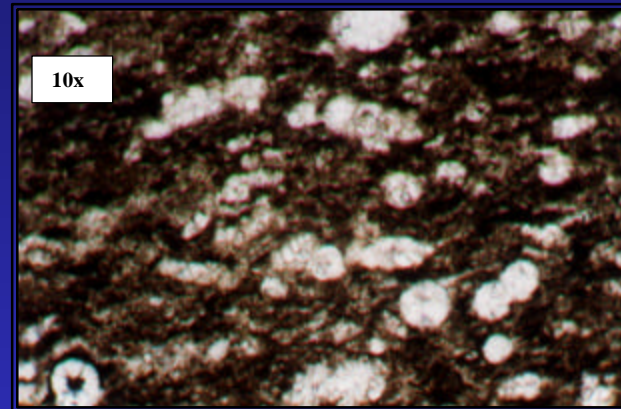
**MICROFACIES 3 (Mf3)**  
Mudstone de  
foramíferos  
plácticos



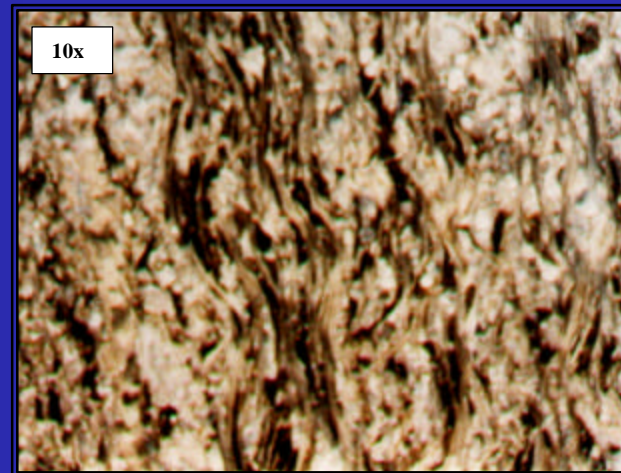
**MICROFACIES 4 (Mf4)**  
Wacke-packstone de  
foraminíferos  
plácticos y restos de  
peces



**MICROFACIES 5 (Mf5)**  
Wacke-packstone de  
foraminíferos  
plácticos y bénticos



**MICROFACIES 6 (Mf6)**  
Packstone microlaminado  
de fragmentos de  
moluscos

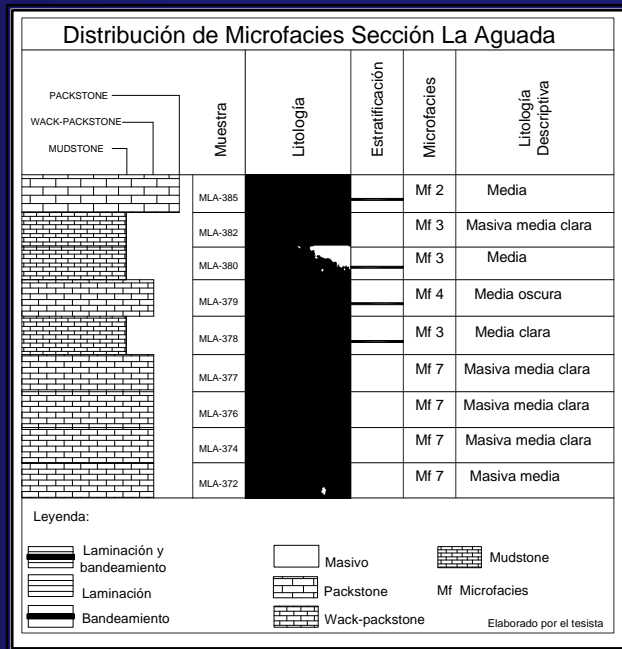


**MICROFACIES 7 (Mf7)**  
**Wacke-packstone de**  
**fragmentos de**  
**moluscos**

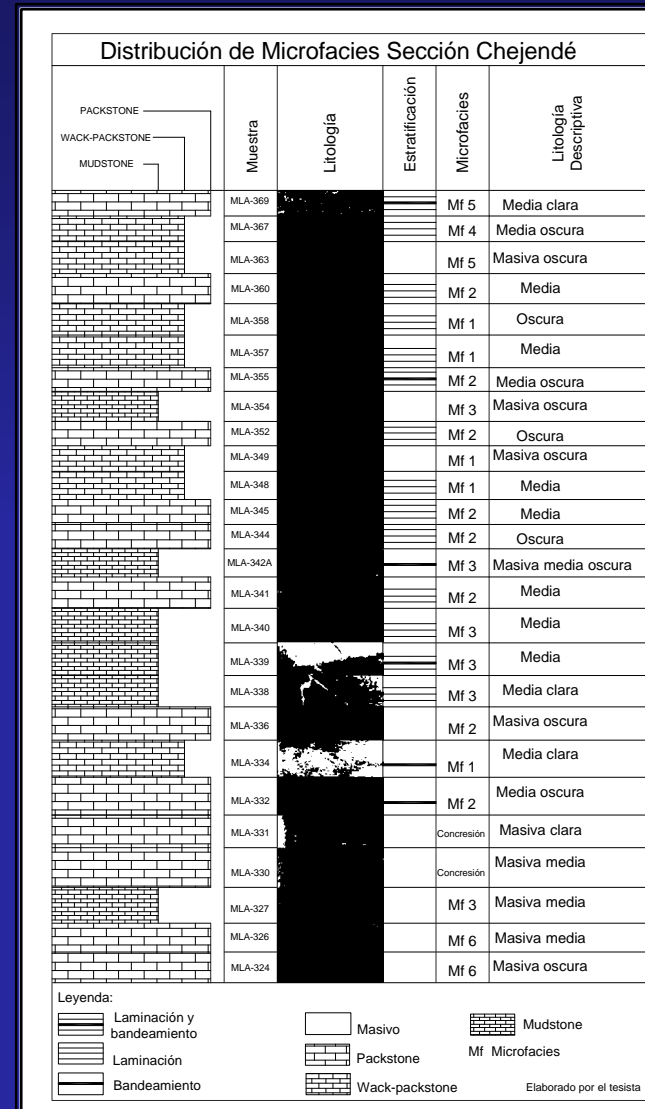




# DISTRIBUCIÓN DE MICROFACIES

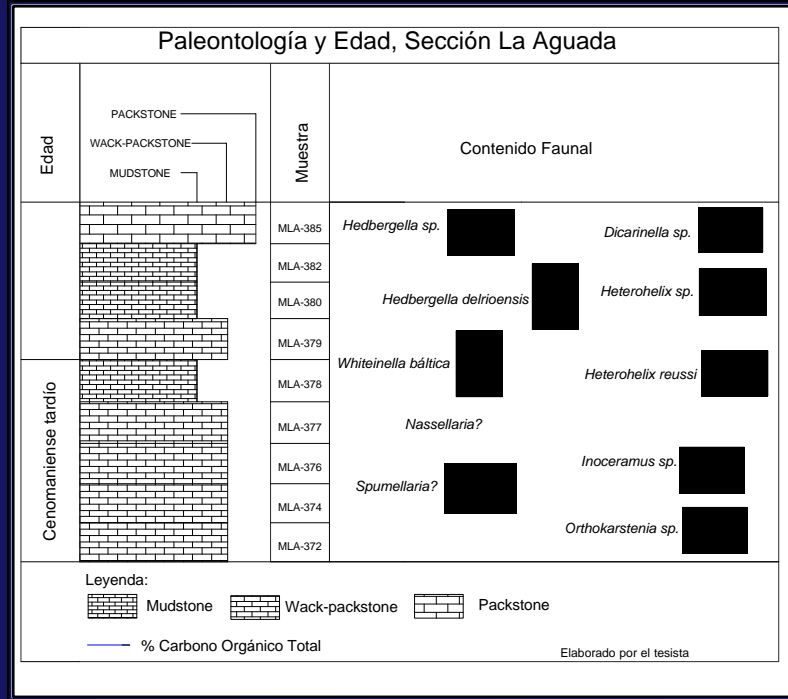


**Sección La Aguada**

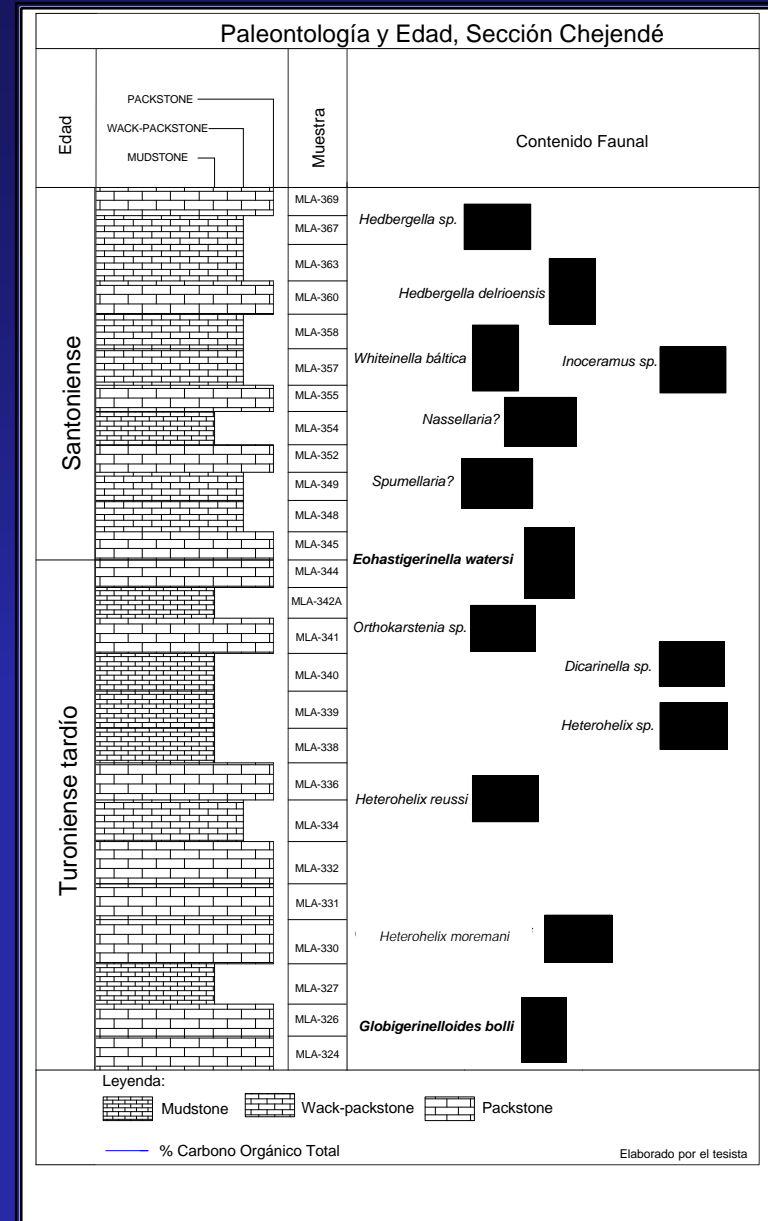


**Sección Chejendé**

# PALEONTOLOGÍA Y EDAD



## Sección La Aguada



## Sección Chejendé

OBJETIVOS

UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

METODOLOGÍA

GEOLOGÍA Regional  
Local

SEDIMENTOLOGÍA Microfacies  
Paleontología y Edad

DIAGÉNESIS Evidencias Diagenéticas  
Procesos Diagenéticos  
Ambientes Diagenéticos  
Paragénesis

GEOQUÍMICA ORGÁNICA Porcentaje de COT  
Ambientes Geoquímicos

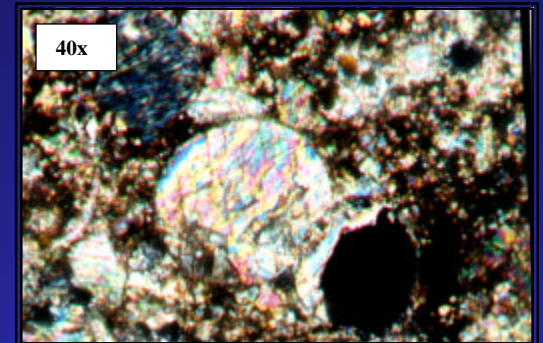
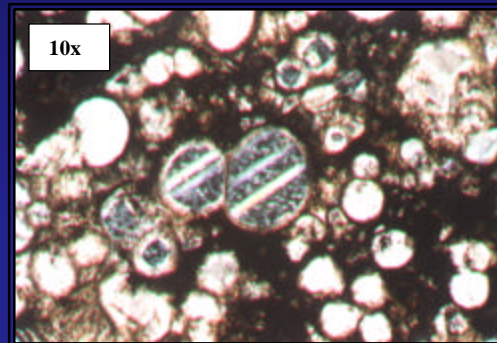
CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

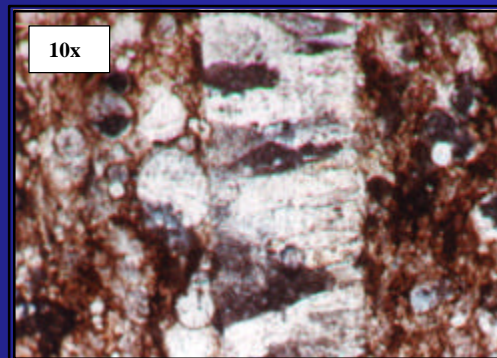
# EVIDENCIAS DIAGENÉTICAS

## Preservación de Fósiles

- Foraminíferos Plácticos y Bénticos

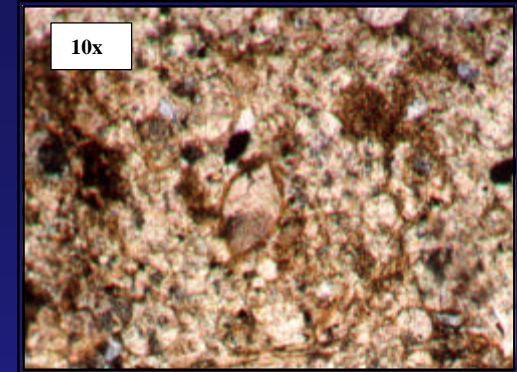
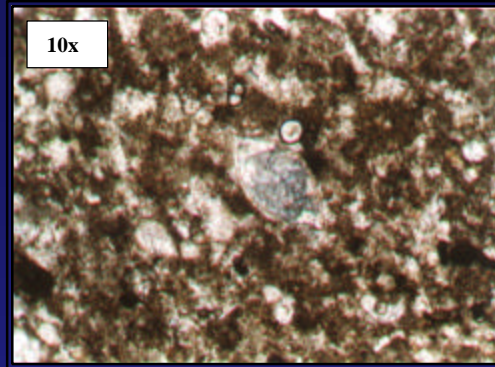


- Moluscos

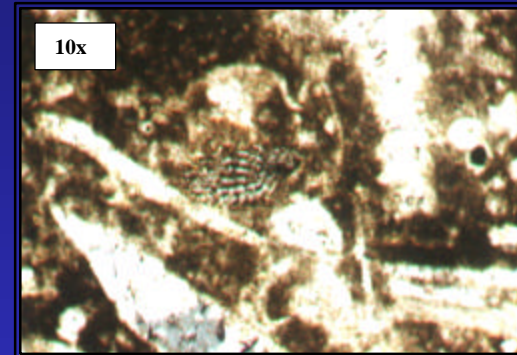
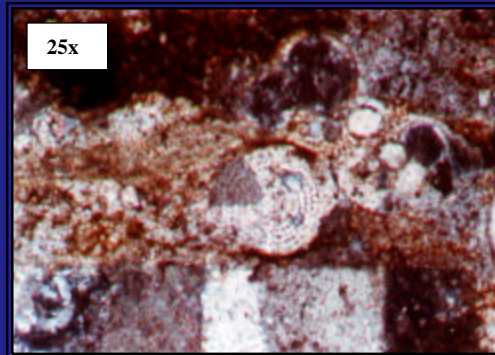




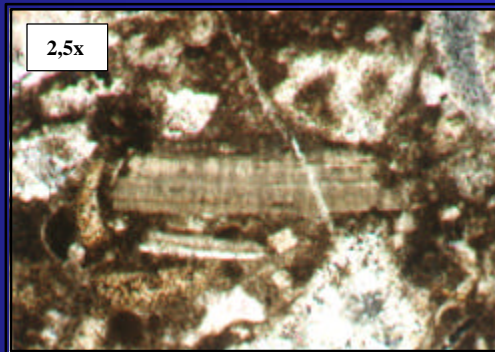
• Ostrácodos



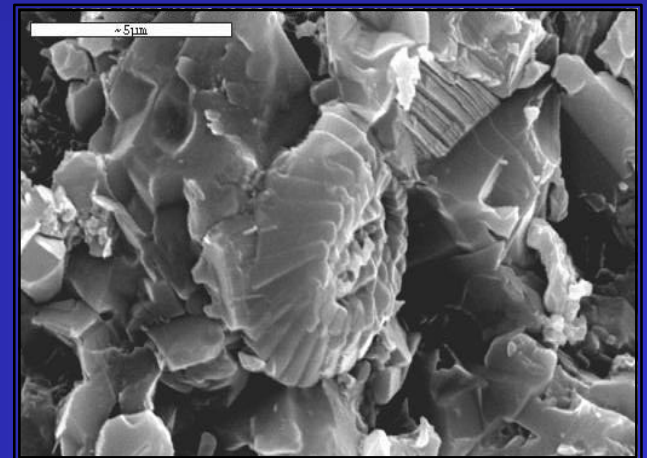
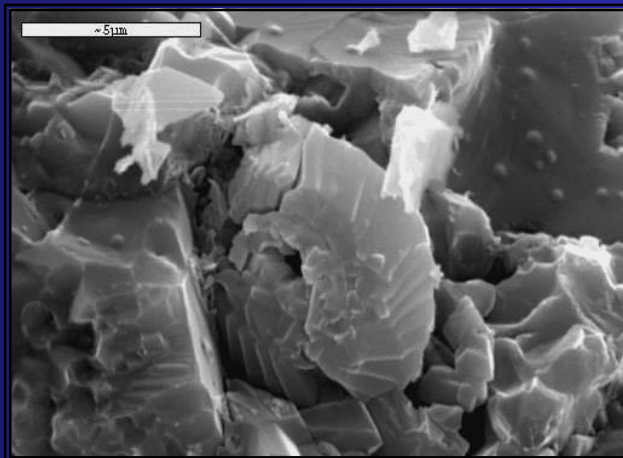
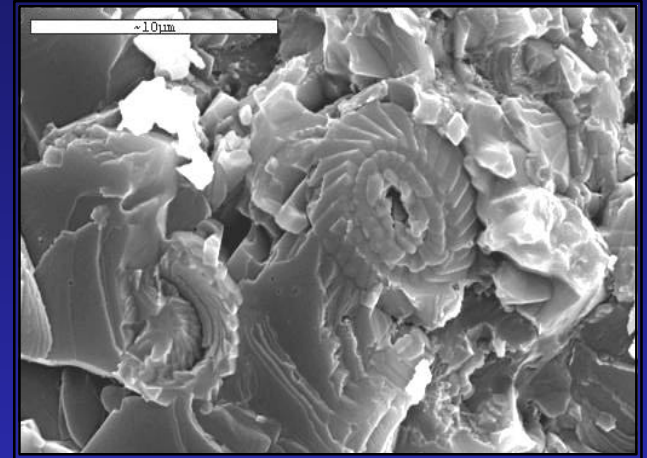
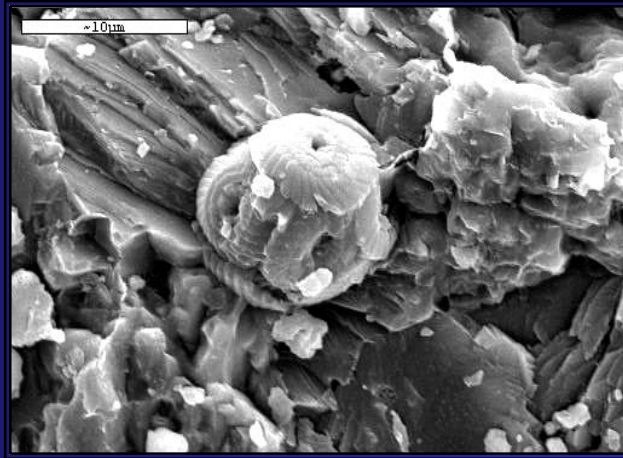
• Radiolarios



• Restos de peces

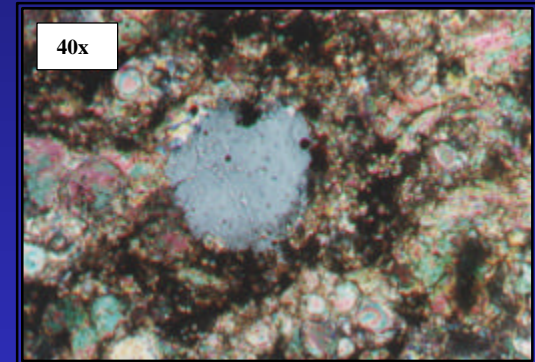
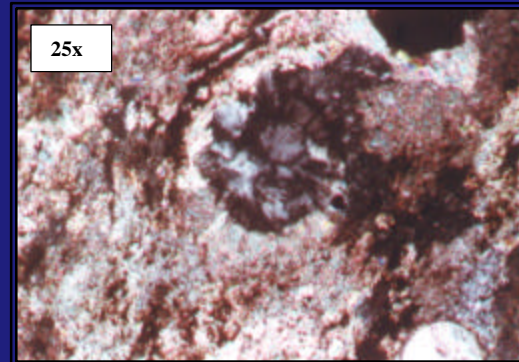
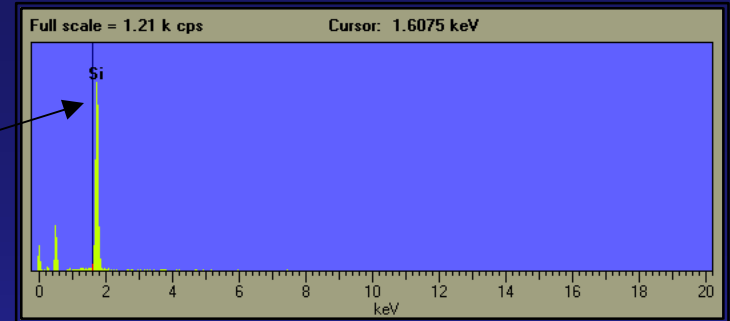
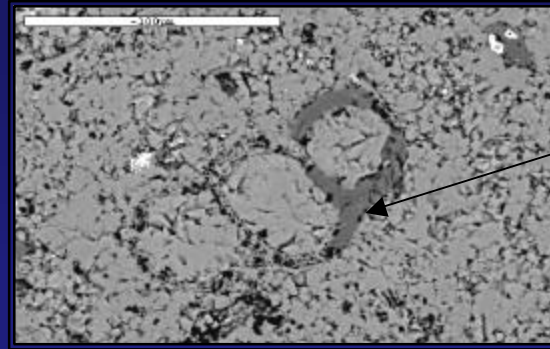


- Nanopláncton calcáreo

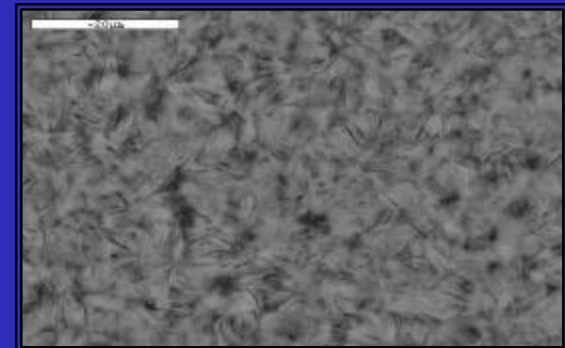
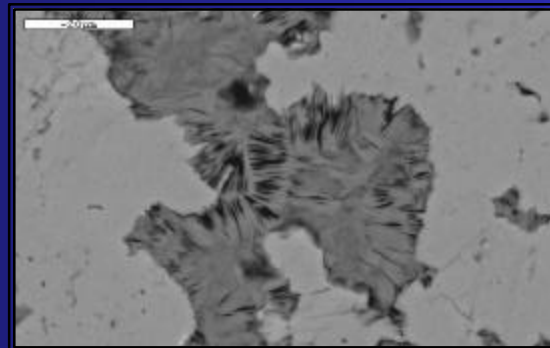


## Minerales autígenos

### • Sílice

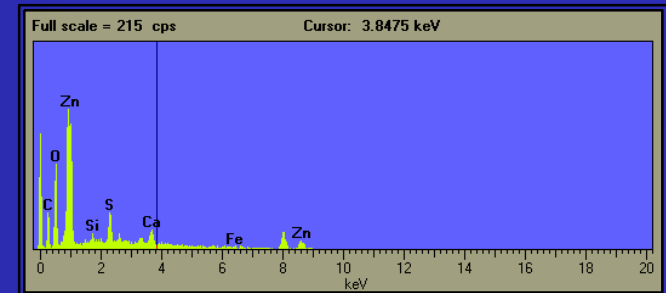
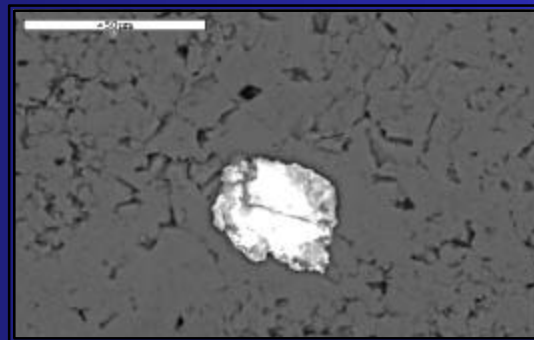
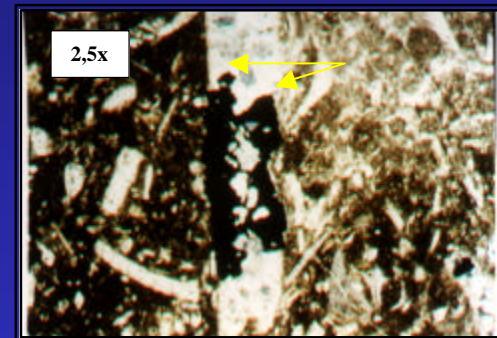
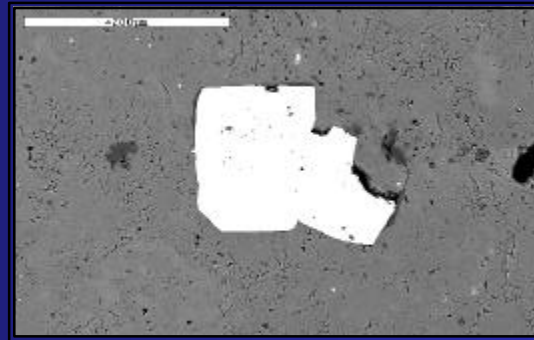
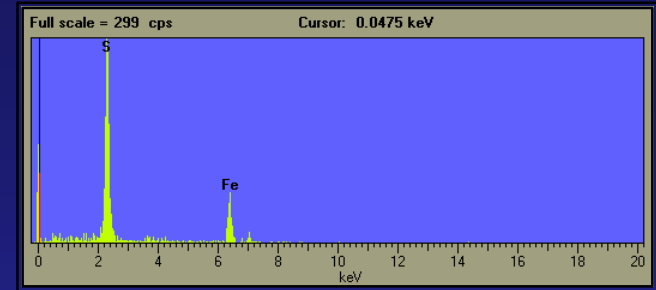
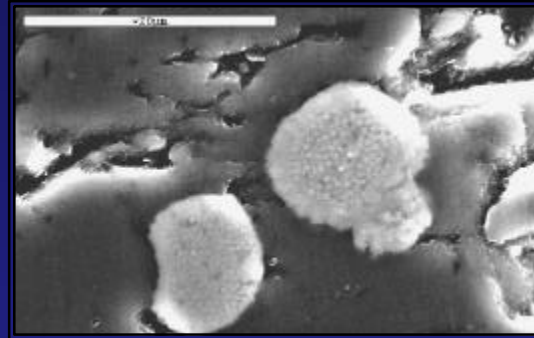


### • Caolinita

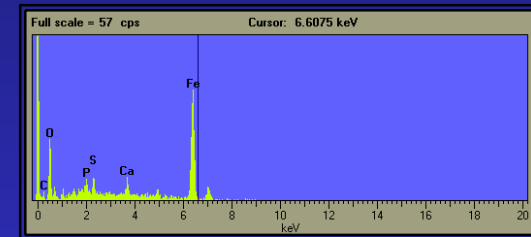
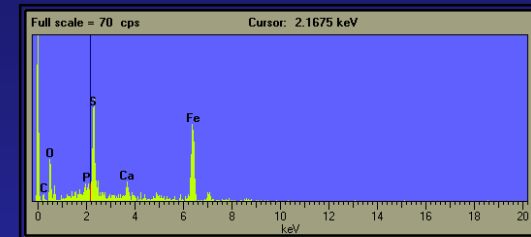
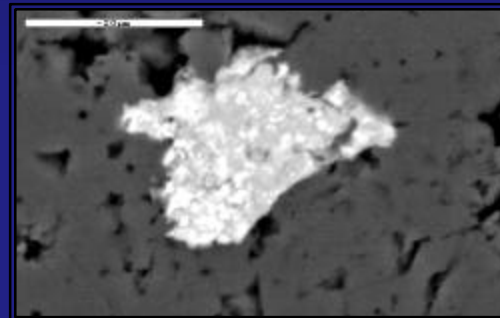
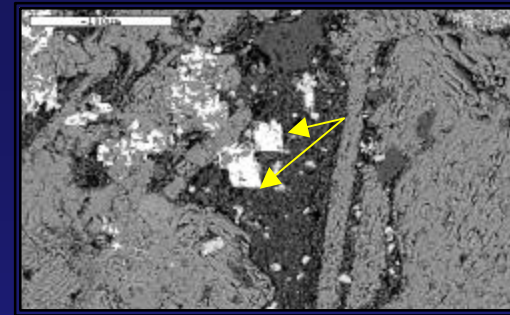
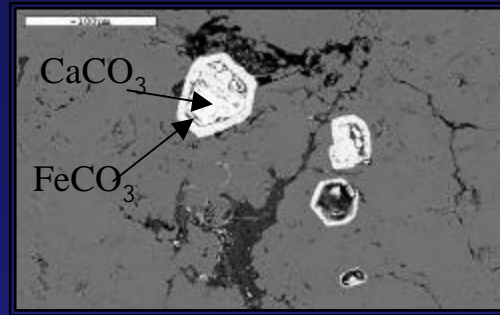




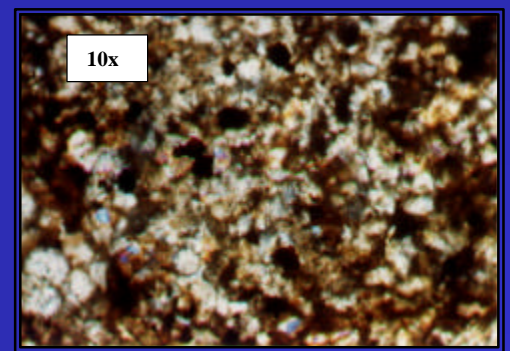
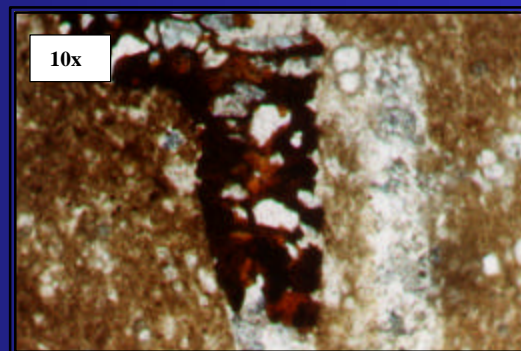
# •Sul furos



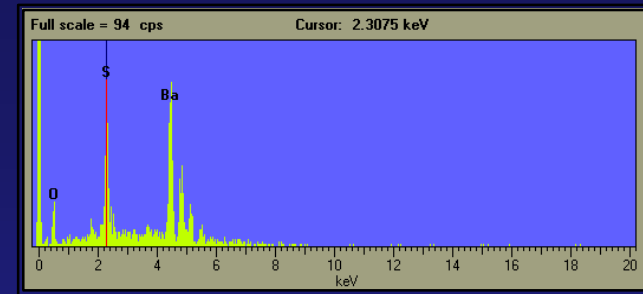
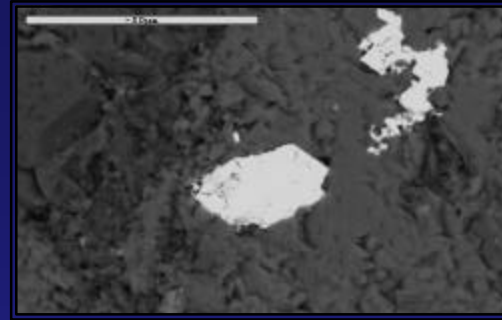
• Si deri ta



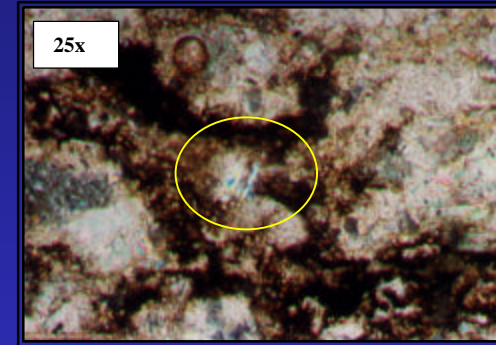
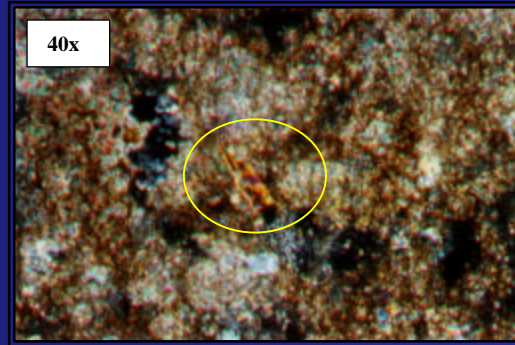
• Fosfatos



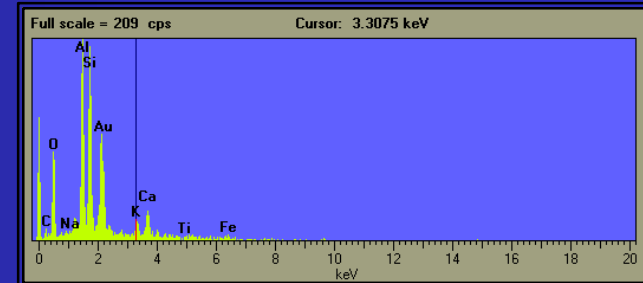
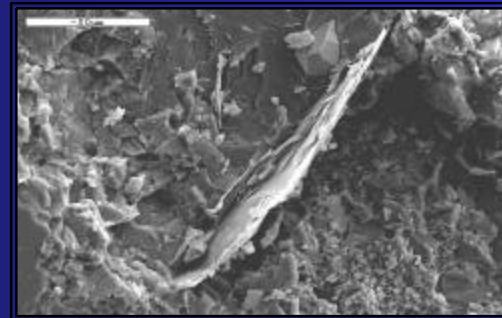
•Sul fatos



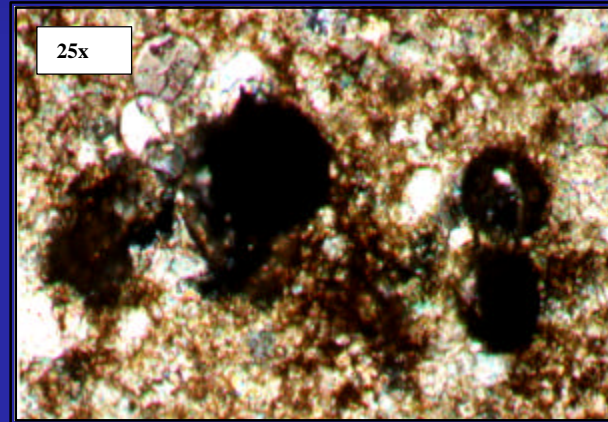
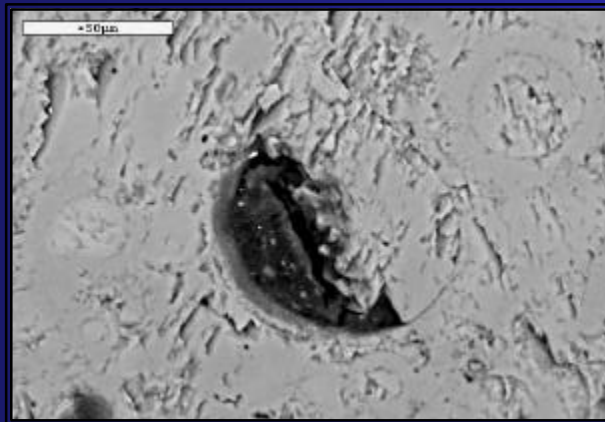
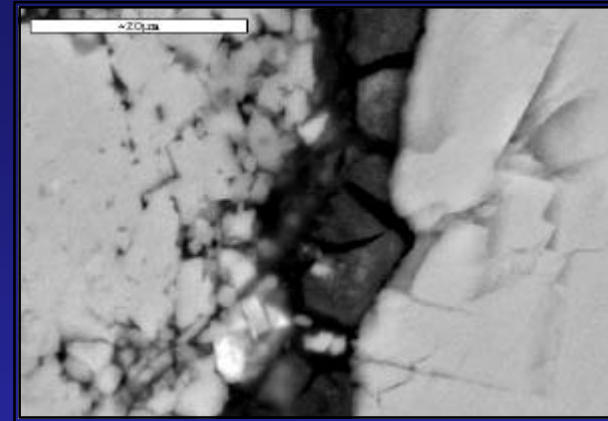
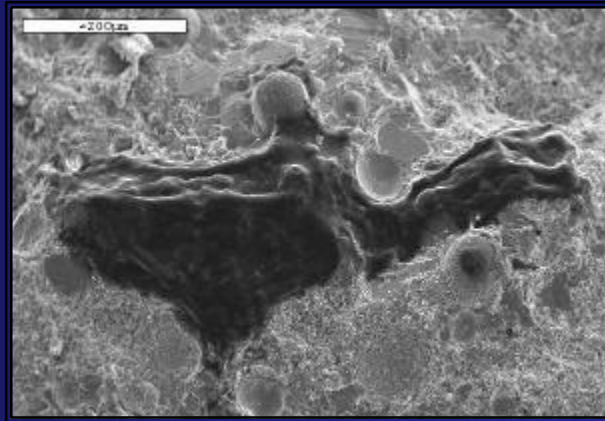
Mineral es detrí ti cos



•Muscovi ta

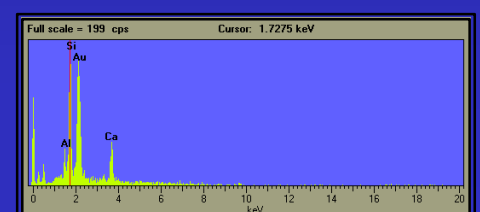
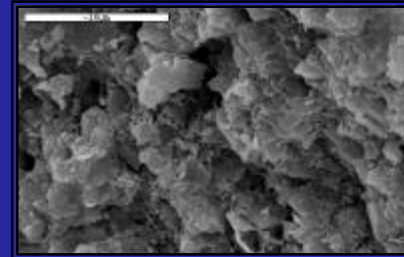
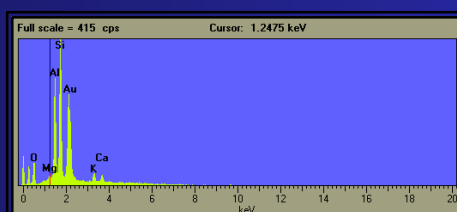
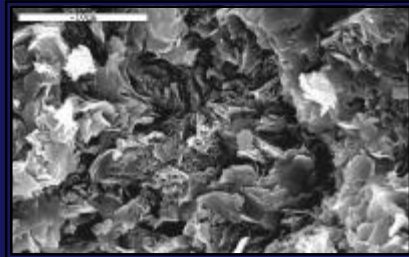
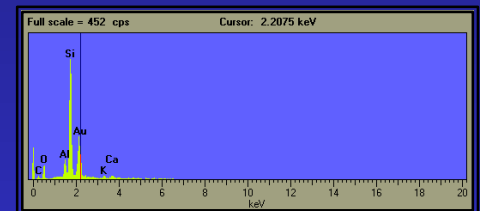
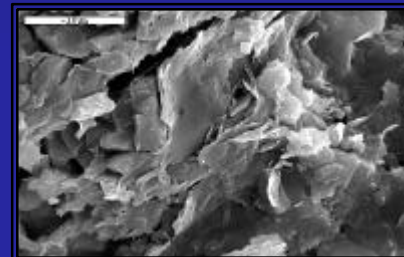
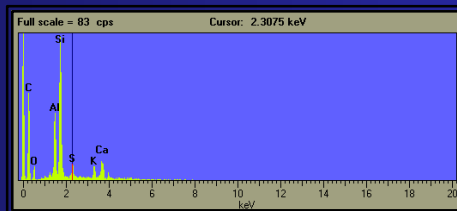
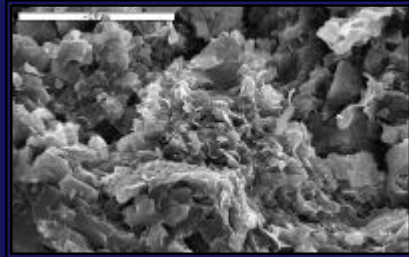
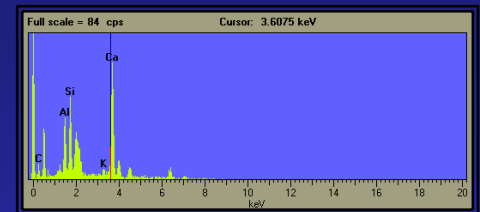
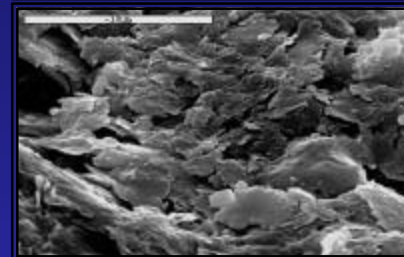
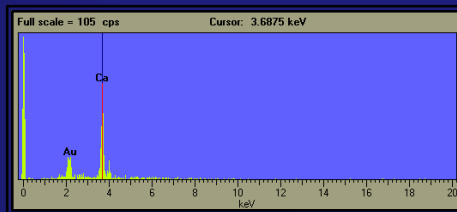
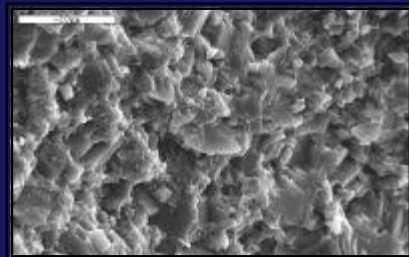
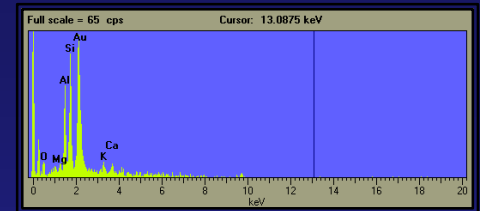
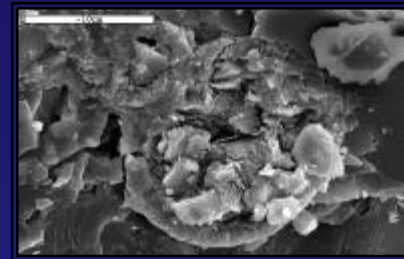
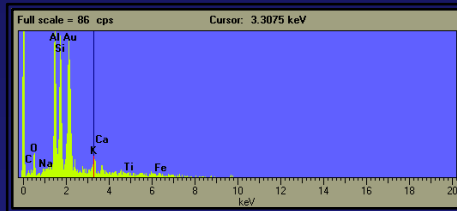
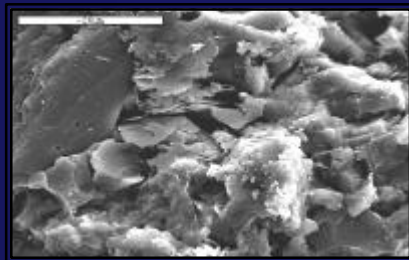


# Materia Orgánica





# Matriz



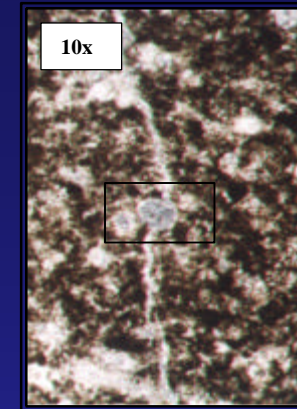


# Fracturas

• Grietas de tensión F1



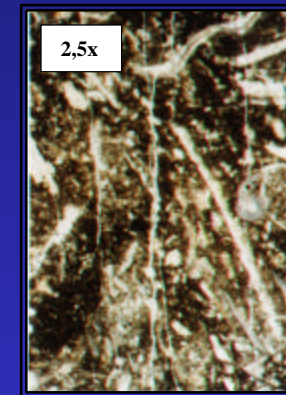
• Fracturas de cizalla F4



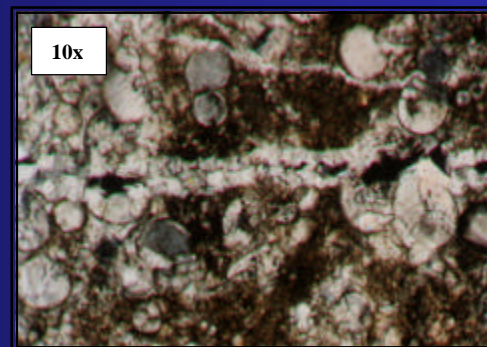
• Fracturas extensivas F2



• Microfracturas



• Fracturas extensivas F3



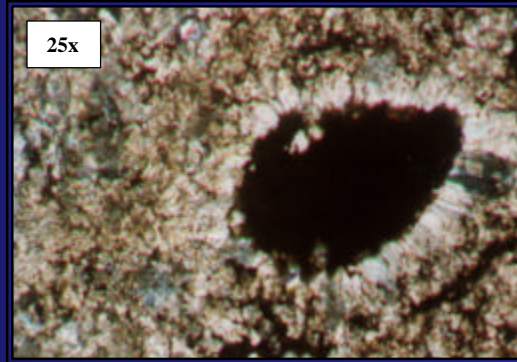
# Cementos

## • Cementos de cal ci ta

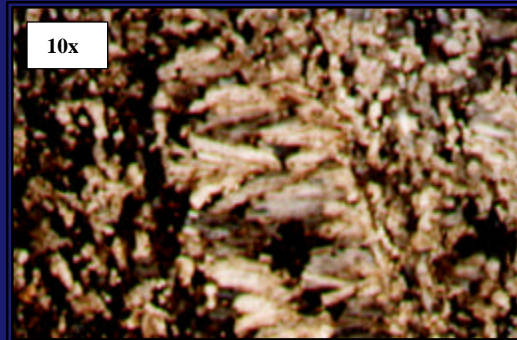
Cemento equi granul ar



Cemento isópaco



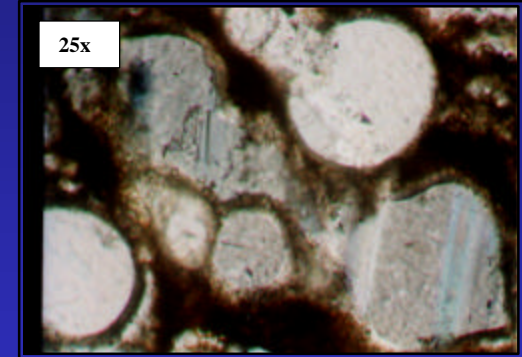
Cemento prismático alargado



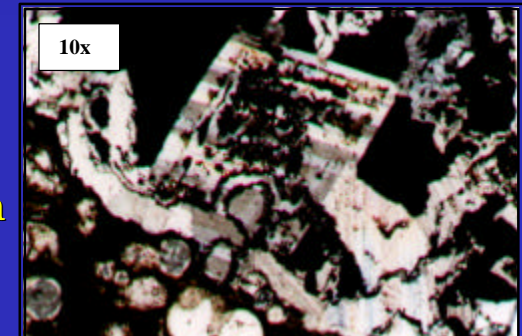
Cemento diente de perro



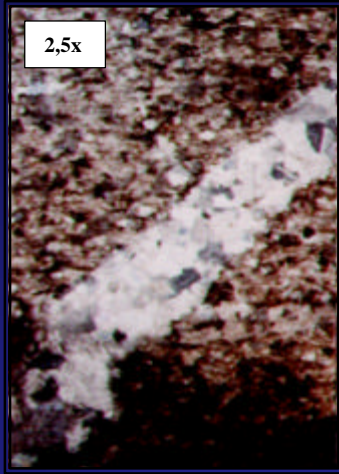
Cemento en bloques



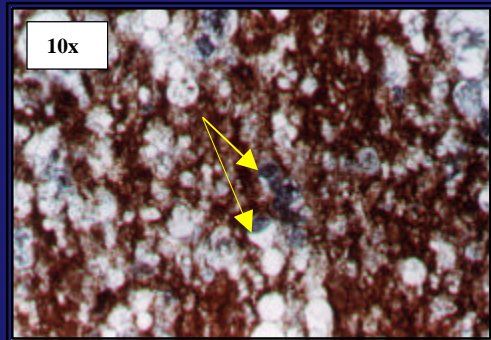
Cemento de cal ci ta romboédrica



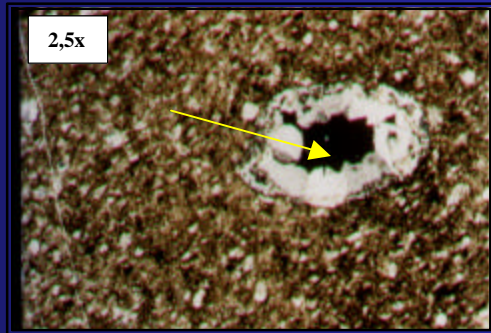
Cemento tipo drusa



•Cemento de sílice

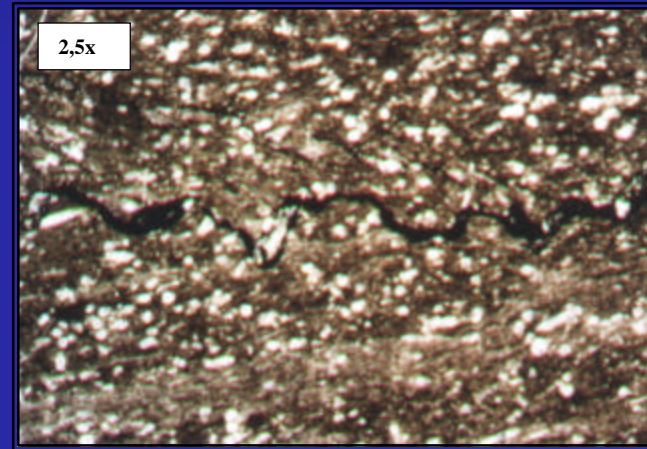
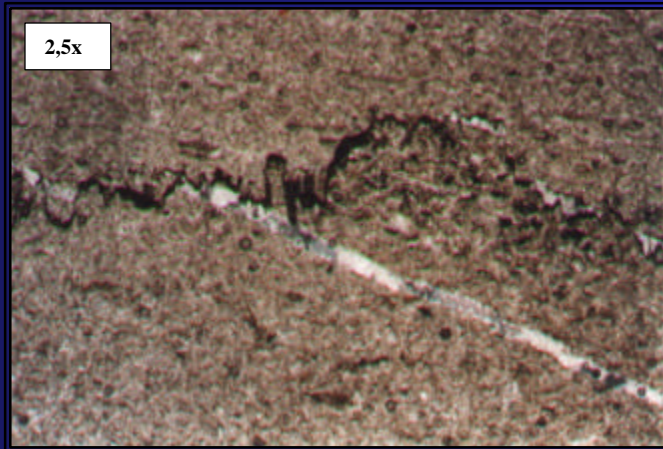
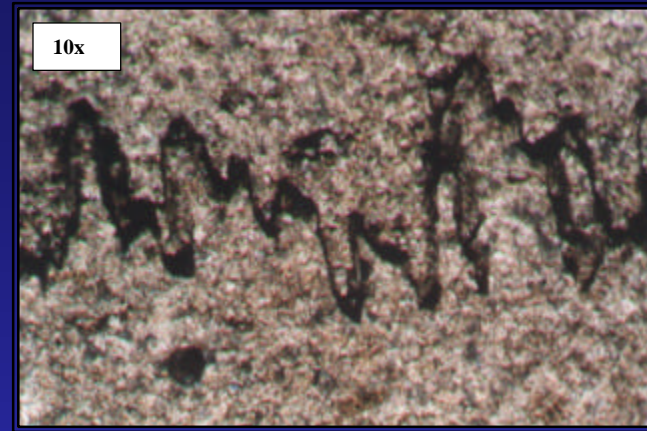
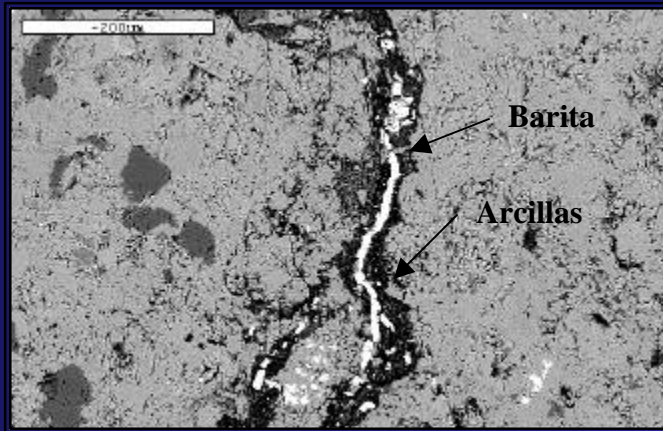


•Cemento de pirita





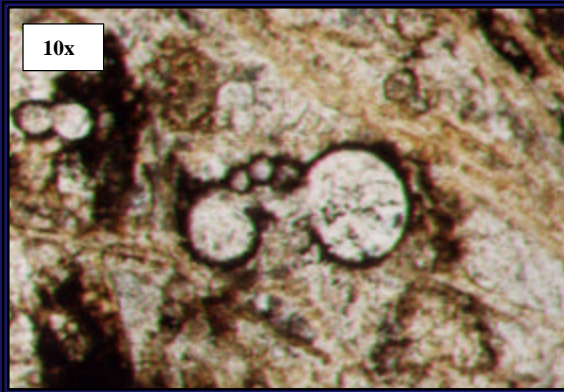
# Estilolitas



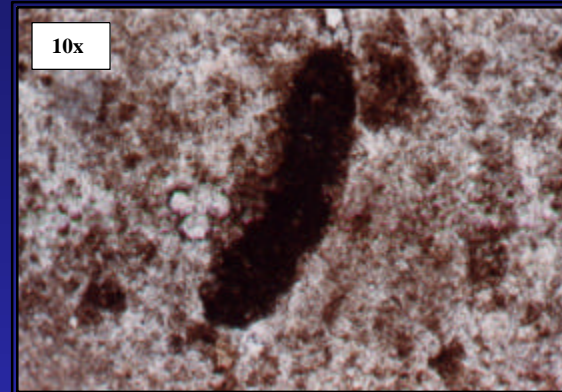
# PROCESOS DIAGENÉTICOS

## Procesos orgánicos

- Erosión orgánica

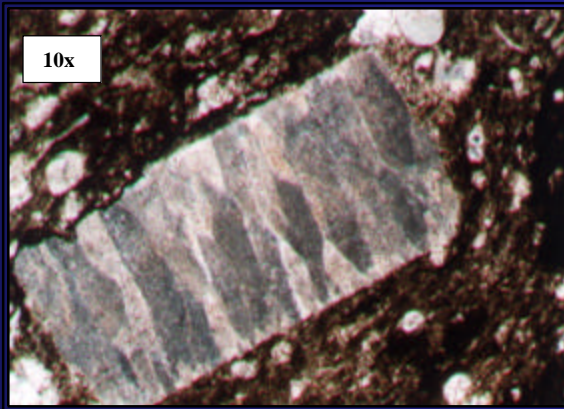


- Agregación



## Procesos químicos

- Neomorfismo de inversión heteroaxial



- Neomorfismo de inversión homoaxial



- Doce (12) eventos de cementación en Chejendé y once (11) en La Aguada

Cemento  $\text{CaCO}_3$  en bloques

- ➡ Cámaras de foraminíferos
- ➡ Espacios porales
- ➡ Asociado a fracturas extensivas
- ➡ Grietas de tensión

Cemento  $\text{CaCO}_3$  equigranular

- ➡ Grietas de tensión
- ➡ Espacios porales
- ➡ Asociado a fracturas extensivas

Cemento  $\text{CaCO}_3$  prismático

- ➡ Estructuras cono en cono

Cemento  $\text{CaCO}_3$  isópaco

- ➡ Espacios porales

Cemento  $\text{CaCO}_3$  diente de perro

- ➡ Asociado a fracturas extensivas

Cemento  $\text{CaCO}_3$  romboédrica

- ➡ Cámaras de foraminíferos
- ➡ Asociado a fracturas extensivas

Cemento pirita

- ➡ Espacios porales

\* Cemento siderita

- ➡ Cámaras de foraminíferos



- Seis (6) eventos de disolución en Chejendé y en La Aguada

Disolución selectiva ⇒ Fragmentos de moluscos

Disolución asociada ⇒ Matriz micrítica

Disolución asociada ⇒ Fracturas extensivas F2

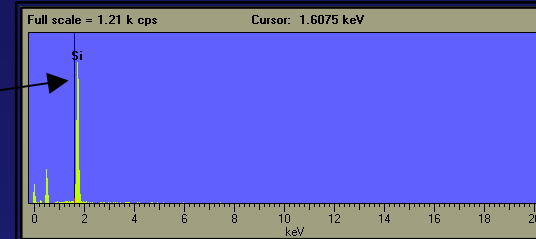
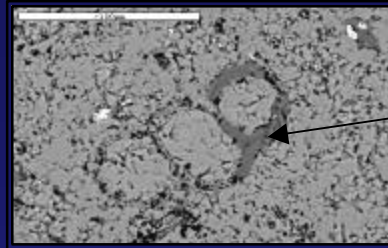
Disolución asociada ⇒ Fracturas extensivas F3

Disolución asociada ⇒ Fracturas extensivas F4

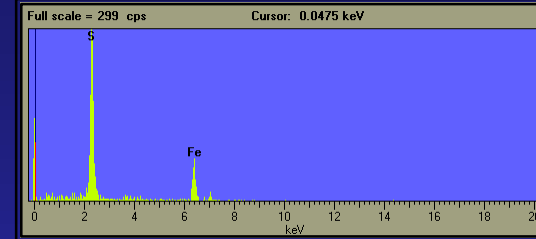
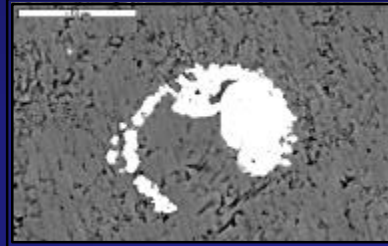
Disolución asociada ⇒ Grietas de tensión F1

- Reemplazos

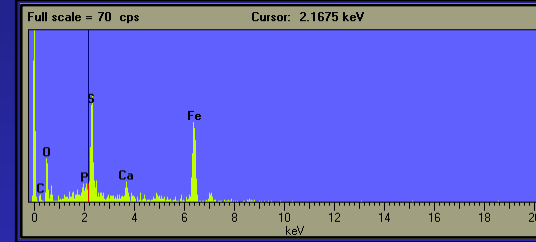
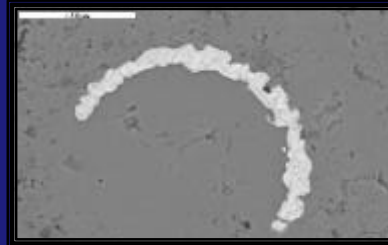
- Silicificación



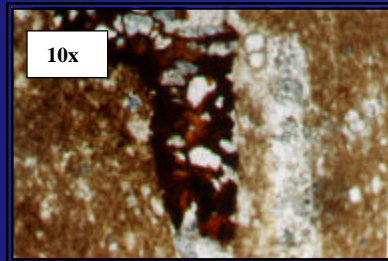
- Pirritización



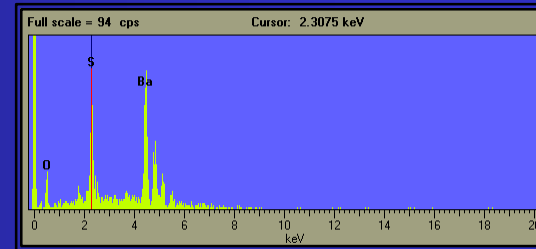
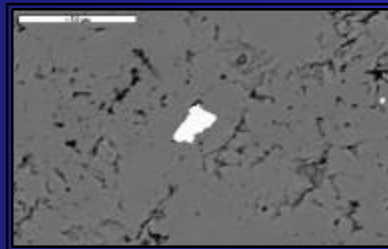
- Sideritización



- Fosfatización



- Sulfatización





# AMBIENTES DIAGENÉTICOS Y PARAGÉNESIS

PROCESOS	INTERVALO I	INTERVALO II	INTERVALO III
ENVOLTORIOS MICRÍTICOS	████████████████████		
MICRITIZACIÓN	████████████████		
CEMENTO BLOCKY	██		
PIRITIZACIÓN	██		
*SIDERITIZACIÓN	████████████████		
CONCRECIONES	██		
SILICIFICACIÓN	██		
FOSFATIZACIÓN	████████████████████		
CEMENTO EQUIGRANULAR	██	██	
NEOMORFISMO		██	
CEMENTO ISÓPACO		██	
ESTILOLITAS			██
FRACTURAS		██	██
DI SOLUCIÓN			██
CEMENTACIÓN			████████████████

OBJETIVOS

UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

METODOLOGÍA

GEOLOGÍA Regional  
Local

SEDIMENTOLOGÍA Microfacies  
Paleontología y Edad

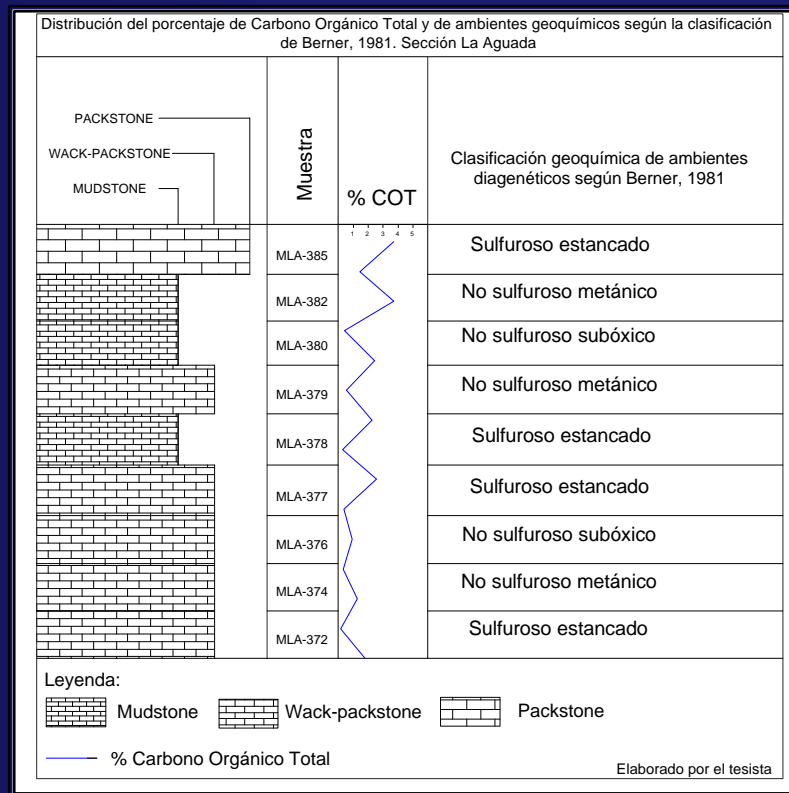
DIAGÉNESIS Evidencias Diagenéticas  
Procesos Diagenéticos  
Ambientes Diagenéticos  
Paragénesis

GEOQUÍMICA ORGÁNICA Porcentaje de COT  
Ambientes Geoquímicos

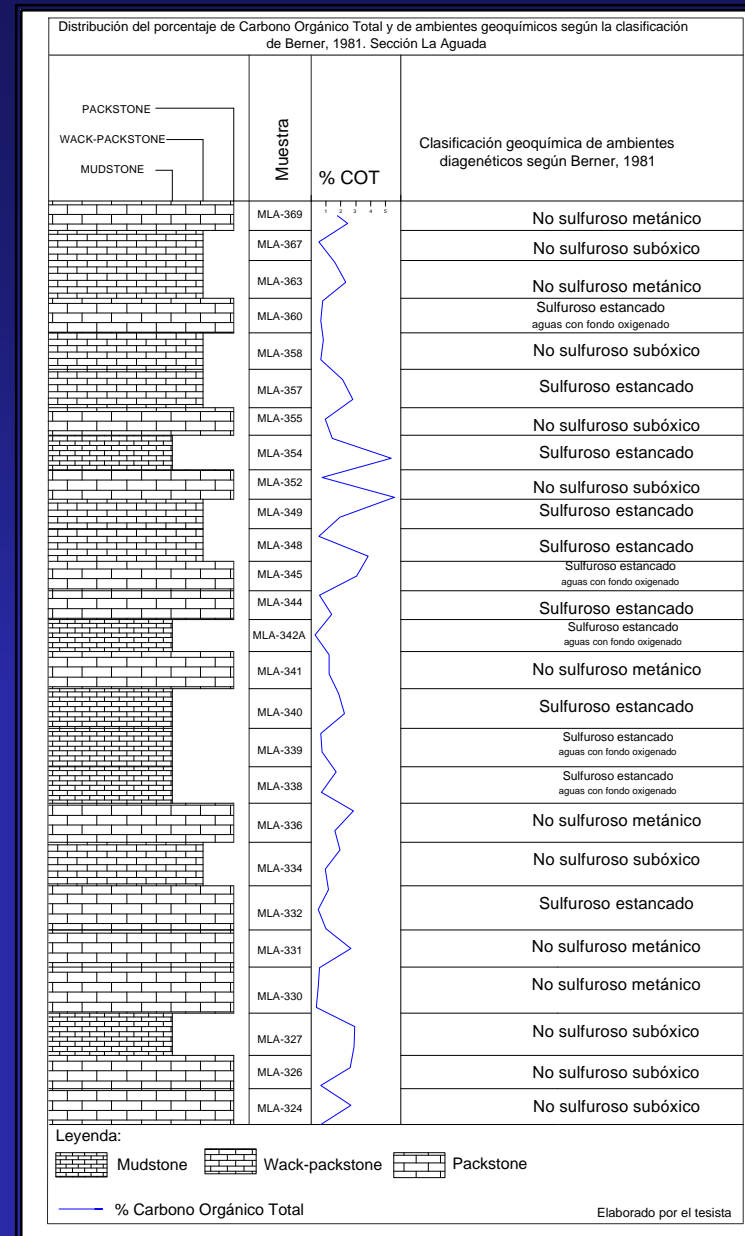
CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

# Porcentaje de carbono orgánico total y ambientes geoquímicos



## Sección La Aguada



## Sección Chejendé

**Clasificación geoquímica de ambientes diagenéticos tempranos.  
(modificado de Berner, 1981)**

Ambiente	Concentración molar		Minerales autigénicos diagnósticos y sedimentos característicos
	[O <sub>2</sub> ]	[H <sub>2</sub> S]	
Oxidante	≥ 10 <sup>-6</sup>	< 10 <sup>-6</sup>	Hematita, goethita, minerales de MnO <sub>2</sub> , (no hay materia orgánica reactiva)
Anóxico	< 10 <sup>-6</sup>		
Sulfuroso		≥ 10 <sup>-6</sup>	Pirita, marcasita, rodocrosita, albandita; materia orgánica. δ <sup>34</sup> S ligeros, no bioturbado δ <sup>34</sup> S se tornan pesados, bioturbados
Estancado Aguas con fondo oxigenado			
No sulfuroso		< 10 <sup>-6</sup>	
Post-oxidante (=Suboxic)	< 10 <sup>-6</sup>	< 10 <sup>-6</sup>	Glauconita y otros minerales de Fe <sup>2+</sup> -Fe <sup>3+</sup> ; no sulfuros. (Siderita, vivianita, rodocrosita). Menor cantidad de materia orgánica.
Metánico	< 10 <sup>-6</sup>	< 10 <sup>-6</sup>	Siderita, vivianita, rodocrosita. Materia orgánica.

OBJETIVOS

UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

METODOLOGÍA

GEOLOGÍA Regional  
Local

SEDIMENTOLOGÍA Microfacies  
Paleontología y Edad

DIAGÉNESIS Evidencias Diagenéticas  
Procesos Diagenéticos  
Ambientes Diagenéticos  
Paragénesis

GEOQUÍMICA ORGÁNICA Porcentaje de COT  
Ambientes Geoquímicos

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

# CONCLUSIONES

- En la sección de Chejendé se identifican seis microfacies y cuatro en la sección de La Aguada.
- En general se reconocen cuatro de las microfacies propuestas por GALEA (1989), una de las propuestas por MADRID (2001) y dos propuestas en este trabajo.
- La diagénesis en las secciones de Chejendé y La Aguada está principalmente representada por procesos generados en tres tiempos diagenéticos.
- Las evidencias diagenéticas indican una diagénesis de temprana a intermedia correspondientes a los intervalos I y II, y sugieren que existieron condiciones de presión y temperatura que ayudaron a incrementar la intensidad de la diagénesis en el intervalo III.

- Los carbonatos con mayor cantidad de arcillas y materia orgánica, combinadas con el marco tectónico presente para el momento de la sedimentación, son más susceptibles a los procesos de compactación; se infiere que existieron condiciones de presión lineal (de origen tectónico) que dieron lugar a evidencias diagenéticas asociadas a una diagénesis más intensa.
- Las variaciones ambientales (fauna y productividad de COT), indican incrementos regulares en la oxigenación hacia el tope de ambas secciones.
- La ocurrencia de siderita como un carbonato autigénico se explica utilizando el modelo propuesto por BERNER en 1981. A partir de éste y relacionándolo con el contenido de COT, se identifican al menos dos ambientes diagenéticos tempranos: anóxico sulfuroso donde no está presente  $O_2$  disuelto, marcado por la precipitación de piritita autigénica, ya sea por adición de sulfuros libres o por acción bacteriana, y anóxico no sulfuroso (metánico), dado por la presencia de siderita, indicando al menos un ambiente anóxico sulfuroso antecedente, debido a la presencia de siderita coexistiendo con piritita.

OBJETIVOS

UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

METODOLOGÍA

GEOLOGÍA Regional  
Local

SEDIMENTOLOGÍA Microfacies  
Paleontología y Edad

DIAGÉNESIS Evidencias Diagenéticas  
Procesos Diagenéticos  
Ambientes Diagenéticos  
Paragénesis

GEOQUÍMICA ORGÁNICA Porcentaje de COT  
Ambientes Geoquímicos

CONCLUSIONES

**RECOMENDACIONES**



## RECOMENDACIONES

- Realizar análisis isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{18}\text{O}$  con la finalidad de evaluar la incidencia de la diagénesis en los cambios isotópicos, debido a que en un ambiente de soterramiento el orden de aparición de los cementos hace variar la composición isotópica del oxígeno, tornándose más ligera de más antiguo a más joven. Asimismo sustentar éstos con análisis de elementos traza de  $\text{Sr}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$  y  $\text{Mn}^{+2}$ .
- Realizar estudios de concentración molar de  $\text{O}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$ , para realizar una adecuada caracterización partiendo del modelo de clasificación geoquímica de ambientes diagenéticos tempranos propuesta por BERNER en 1981.
- Desarrollar nuevos estudios sobre la ocurrencia de siderita autigénica en otras secciones correspondientes a la Formación La Luna ya que anteriormente no había sido reportada, tomando los criterios propuestos en este trabajo como punto de partida y aporte para su caracterización sedimentológica y diagenética.