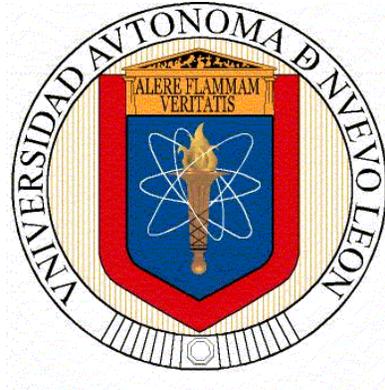


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA**



TESIS

**“GEOQUÍMICA, PETROLOGÍA, DIAGÉNESIS Y FACIES DE
ROCAS CARBONATADAS DEL JURASICO TARDÍO, EN EL
NE DE MÉXICO (ESTADOS DE NUEVO LEÓN Y TAMAULIPAS).”**

PRESENTADA POR

BETTSI NADXIEELLY GARCIA ESCOBEDO

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS GEOLÓGICAS

LINARES, NUEVO LEÓN

NOVIEMBRE, 2023



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN®



FCT

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA®

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA

La Tesis

“GEOQUÍMICA, PETROLOGÍA, DIAGÉNESIS Y FACIES DE ROCAS CARBONATADAS DEL JURASICO TARDÍO, EN EL NE DE MÉXICO (ESTADOS DE NUEVO LEÓN Y TAMAULIPAS).”

Que presenta

BETTSI NADXIEELLY GARCIA ESCOBEDO

ha sido aceptada como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS GEOLÓGICAS

Vo. Bo.

Director de Tesis

DR. UWE JENCHEN

LINARES, NUEVO LEÓN

NOVIEMBRE, 2023



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN®



FCT

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA®

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA

La Tesis

“GEOQUÍMICA, PETROLOGÍA, DIAGÉNESIS Y FACIES DE ROCAS CARBONATADAS DEL JURASICO TARDÍO, EN EL NE DE MÉXICO (ESTADOS DE NUEVO LEÓN Y TAMAULIPAS).”

Que presenta

BETTSI NADXIEELLY GARCIA ESCOBEDO

ha sido aceptada como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS GEOLÓGICAS

Vo. Bo.

Comité de Titulación

Dr. Uwe Jenchen
Director de Titulación

Dra. Yolanda Pichardo Barrón
Co-Directora de Titulación

Dr. Juan Alonso Ramírez Fernández
Co-Director de Titulación

LINARES, NUEVO LEÓN

NOVIEMBRE, 2023

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darme sabiduría, paciencia para poder culminar esta etapa.

A la Facultad de Ciencias de la Tierra y a la Universidad Autónoma de Nuevo León por formarme como profesionista y por el apoyo brindado durante mi preparación y culminación de mis estudios.

Al CONAHCYT (Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología) por brindarme apoyo económico para seguir estudiando.

La tesis fue apoyada por los proyectos **PAICyT** (Programa de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica) **CN1252-20** y **CT1627-21**. Además, la tesis forma parte del Proyecto ProACTI 2023 **107-FMYCT-2023**.

De manera especial le agradezco a mi director de Tesis el **Dr. Uwe Jenchen**, por haberme aceptado como su estudiante de maestría y ser parte de este gran proyecto; por motivarme día con día, aportando sus ideas, aconsejándome todo el tiempo y sobre todo la fe y confianza que tiene sobre mí.

Al **Dr. Juan Alonso Ramírez Fernández** por ser parte de este proyecto, por otorgarme sus consejos, conocimientos y recomendaciones, los cuales enriquecieron este trabajo.

Agradezco a la **Dra. Yolanda Pichardo Barrón** por brindarme su sincera amistad, por sus consejos otorgados durante esta investigación, su enseñanza y siempre estar para mí en cualquier momento.

Agradezco al Laboratorio de Geopreparación en especial a M.P. Víctor Beraza Cardona, Ing. Olegario y Jorge por permitirme el uso del laboratorio, apoyarme en la elaboración de láminas delgadas pero sobre todo por su amistad.

A mis compañeros y amigos que me motivaron, escucharon y apoyaron en cada momento de mi vida y sobre todo por su sincera amistad: **Roberto Pedraza, Katty Cano, Roberto Gómez, Gabriela Arizpe, Ana Finol y Carmen Gómez**.

Dedicatoria

Especialmente a mis padres **Carlos Armando García Ramos** y **Blanca Francisca Escobedo Romo** por siempre estar a mi lado apoyándome en cada decisión, por el amor que me han brindado y por siempre alentarme a seguir a delante con mi vida profesional y personal. Solo me queda agradecerles por todo, los amo infinitamente.

A mi hermana **Samanta Saramay García Escobedo** por siempre estar junto a mí en cada momento, por alentarme a seguir adelante y sobre todo por sacarme una sonrisa en los mejores momentos.

A mis abuelitos: **Hermelinda Ramos (Melita)**, **Ester Romo**, **Leon Escobedo** y **Armando García**, solo me queda decirles que muchas gracias por siempre estar a mi lado apoyándome y amándome.

A mis padrinos y segundos padres, **Elisa** y **Uwe Jenchen** por siempre estar para mí apoyándome en los mejores y malos momentos, por alentarme todos los días a seguir adelante y sobre todo por el gran cariño que me han otorgado durante muchos años, de todo corazón se los agradezco infinitamente.

A mi gran pilar mi esposo **Edgar Medina Pérez**, gracias por todo lo que has hecho por mí durante todos estos años, por alentarme a seguir a delante en todos los proyectos y metas, por la fe, paciencia y confianza que tienes sobre mí, me motivaste día a día para poder culminar este gran proyecto y solo me queda decirte muchas gracias por todo, mi amor.

Contenido

1	Generalidades	1
1.1	Introducción	1
1.2	Localización y vías de acceso	1
1.3	Trabajos previos.....	2
1.4	Justificación	4
1.5	Objetivos	5
1.6	Hipótesis	5
1.7	Metodología	6
1.7.1	Recopilación bibliográfica.....	6
1.7.2	Gabinete.....	6
1.7.3	Laboratorio	6
2	Geología Regional.....	7
2.1	Introducción	7
2.2	Desarrollo paleogeográfico en el Mesozoico.....	7
2.2.1	Triásico Tardío – Jurásico Tardío.....	7
2.2.1.1	Triásico Tardío a Jurásico Medio (Pre-Calloviano).....	7
2.2.1.2	Calloviano – Oxfordiano Temprano	9
2.2.1.3	Oxfordiano Medio a Kimmeridgiano.....	11
2.2.1.4	Titoniano a Portlandiano.....	14
2.2.2	Cretácico Inferior.....	16
2.2.2.1	Necomiano	16
2.2.2.2	Barremiano a Aptiano Temprano.....	17
2.2.2.3	Aptiano Medio a Tardío.....	18
2.2.2.4	Albiano.....	19
2.2.3	Cretácico Superior	20
2.2.3.1	Cenomaniano	20
2.2.3.2	Maastrichtiano.....	20
3	Metodología.....	21
3.1	Introducción	21
3.2	Análisis geoquímicos	21
3.2.1	Preparación de las muestras.....	21
3.3	Análisis petrográficos	23
3.3.1	Preparación de las muestras.....	23
4	Geología local.....	25
4.1	Introducción	25
4.2	Estratigrafía de las áreas de estudio	25
4.2.1	Cañón La Huasteca, Santa Catarina, Nuevo León.....	25
4.2.2	Rayones, Nuevo León.....	26
4.2.3	La Poza, Galeana, Nuevo León	27
4.2.4	Aramberri, Nuevo León.....	28
4.2.5	Cañón Peregrina, Cd. Victoria, Tamaulipas	31
4.3	Descripción de los perfiles estratigráficos	32

4.3.1	Perfil Cañón La Huasteca, Santa Catarina, Nuevo León.....	32
4.3.2	Perfil Rayones, Nuevo León.....	33
4.3.3	Perfil La Poza, Galeana, Nuevo León	35
4.3.4	Perfil Aramberri, Nuevo León.....	36
4.3.4.1	Formación Novillo	36
4.3.5	Formación Zuloaga.....	37
4.3.6	Perfil Cañón Peregrina, Cd. Victoria, Tamaulipas	38
5	Análisis microfacial.....	39
5.1	Generalidades.....	39
5.1.1	Facies.....	39
5.1.2	Microfacies	39
5.2	Componentes texturales.....	39
5.2.1	Ortoquímicos	39
5.2.1.1	Matriz (Micrita)	40
5.2.1.2	Cemento (Esparita)	40
5.2.2	Aloquímicos.....	40
5.2.2.1	Granos esquelatales.....	40
5.2.2.1.1	Granos esquelatales o bioclastos.....	40
5.2.2.1.2	Moluscos (Pelecípodos).....	40
5.2.2.1.3	Gasterópodos.....	41
5.2.2.1.4	Algas verdes (dasicladaceas)	43
5.2.2.1.5	Carpetas algales (Cianofitas)	45
5.2.2.1.6	Foraminíferos.....	45
5.2.3	Granos no esquelatales	46
5.2.3.1	Ooides	46
5.2.3.2	Pellets.....	48
5.2.3.3	Microcoprolito (icnogénero <i>Favreina</i>)	49
5.2.3.4	Peloides.....	50
5.2.3.5	Cortoides.....	50
5.2.3.6	Litoclastos.....	50
5.3	Clasificación de las rocas carbonatadas	51
5.3.1	Clasificación según Folk (1959).....	51
5.3.2	Clasificación de Dunham (1962).....	52
5.4	Modelo de zona de facies de rampa.....	52
5.4.1	Rampa.....	52
5.4.1.1	Rampa exterior.....	53
5.4.1.2	Rampa media	54
5.4.1.3	Rampa interior	54
5.4.1.4	Entornos de rampa interior restringidos y de baja energía.....	55
5.4.1.5	Ambientes lagunares.....	55
5.4.1.6	Zonas peritidales	55
5.4.1.7	Bancos de arena carbonatados (<i>sand shoals</i>).....	55
5.5	Análisis de microfacies.....	56
5.5.1	Perfil Cañón La Huasteca, Santa Catarina, Nuevo León.....	56
5.5.2	Perfil Rayones, Nuevo León.....	60
5.5.3	Perfil La Poza, Galeana, Nuevo León	66
5.5.4	Perfil Aramberri, Nuevo León.....	71

5.5.4.1	Formación Novillo	71
5.5.4.2	Formación Zuloaga	76
5.5.5	Perfil: Cañón Peregrina, Cd. Victoria, Tamaulipas	80
5.6	Análisis de facies	83
5.6.1	Introducción.....	83
5.6.2	Interpretación de facies.....	84
5.6.2.1	Cañón La Huasteca, Santa Catarina, Nuevo León	84
5.6.2.1.1	Asociación 1.....	84
5.6.2.2	Rayones, Nuevo León.....	85
5.6.2.3	La Poza, Galeana, Nuevo León.....	86
5.6.2.3.1	Asociación de <i>Favreina</i> sp.....	86
5.6.2.4	Aramberri, Nuevo León	87
5.6.2.4.1	Formación Novillo	87
5.6.2.4.2	Formación Zuloaga	88
5.6.2.5	Cañón Peregrina, Cd. Victoria, Tamaulipas	89
5.6.2.5.1	Asociación 3.....	89
6	Análisis geoquímicos	91
6.1	Introducción	91
6.2	Elementos mayores	91
6.3	Elementos traza.....	93
6.4	Elementos de Tierras Raras	94
6.5	Interpretación de la geoquímica de los REE.....	98
6.5.1	Anomalías de Ce y Eu	99
6.6	Análogos geoquímicos y petrológicos	101
6.6.1	Comparación lámina delgada/ análisis geoquímicos.....	101
6.6.1.1	Cañón La Huasteca, Santa Catarina, Nuevo León	101
6.6.1.2	Rayones, Nuevo León.....	104
6.6.1.3	La Poza, Galeana, Nuevo León.....	107
6.6.1.4	Aramberri, Nuevo León	109
6.6.1.4.1	Formación Novillo	109
6.6.1.4.2	Formación Zuloaga	112
6.6.1.5	Cañón Peregrina, Victoria, Tamaulipas	115
7	Conclusiones y recomendaciones	118
8	Bibliografía	120

Figuras

Fig. 1: Localización del área de estudio y vías de acceso. Imagen satelital tomada de Bing®.2

Fig. 2 Distribución del ambiente de deposición durante el Calloviano – Oxfordiano Temprano según Jenchen & Ramírez-Fernández (en prensa). Claves: I= Bloque (Isla) de Coahuila, II= Isla de Monclova, III= Isla de Picachos, IV= Isla de Terán, V= Isla de Victoria, VI= Plataforma Valles-San Luis Potosí, VII= Mar Mexicano, VIII= Fosa de Monterrey, IX= Cuenca de Sabinas. 10

Fig. 3: Distribución del ambiente de deposición durante el Oxfordiano – Kimmeridgiano según Jenchen & Ramírez-Fernández (en prensa). Claves: I= Bloque (Isla) de Coahuila, II= Isla de

Monclova, III= Isla de Picachos, IV= Isla de Terán, V= Isla de Victoria, VI= Plataforma Valles-San Luis Potosí, VII= Mar Mexicano, VIII= Fosa de Monterrey, IX= Cuenca de Sabinas..... 13

Fig. 4: Distribución del ambiente de deposición durante el Kimmeridgiano Medio según [Jenchen & Ramírez-Fernández \(en prensa.\)](#). Claves: I= Bloque (Isla) de Coahuila, II= Isla de Monclova, III= Isla de Picachos, IV= Isla de Terán, V= Isla de Victoria, VI= Plataforma Valles-San Luis Potosí, VII= Mar Mexicano, VIII= Fosa de Monterrey, IX= Cuenca de Sabinas..... 15

Fig. 5: Técnicas utilizadas para la selección de muestras; a) Cortadora con disco diamantado, b) disco giratorio con la aplicación del abrasivo para pulir una cara de la muestra y eliminar las impurezas, c) escaner de la impresora EPSON L360, utilizada para el escaneo de todas las muestras recolectadas y d) muestra GEBN-H2 escaneada y editada con photoshop, donde se muestra la presencia de fracturas y estilolitas, el rectángulo amarillo indica el lugar donde fue extraído un bloque para ser enviado a los análisis geoquímicos. 23

Fig. 6: Cañón La Huasteca, Santa Catarina, Nuevo León: (a) Calizas de la Formación Zuloaga, donde se observa las capas de calizas gruesas a masivas con nódulos de pedernal y estilolitas; b) Lutitas de la Formación La Casita..... 26

Fig. 7: Rayones, Nuevo León: a) Afloramiento de calizas masivas de la Formación Zuloaga con múltiples fracturas y un intemperismo alto; b) Calizas color gris claro con fracturas rellenas de calcita..... 27

Fig. 8: La Poza, Galeana, Nuevo León: a) Facies de yesos y calizas lacustres de la Formación Minas Viejas; b) Contacto entre las calizas masiva de la Formación Zuloaga y las lutitas de la Formación La Casita; c) Intercalación de lutitas y calizas arcillosas de la Formación La Casita; d) Ejemplo del contenido fósil encontrado en La Casita, donde se observa una concreción calcárea con amonites de diferentes tamaños. 28

Fig. 9: Aramberri, Nuevo León: a) Contacto litológico entre El Esquisto Aramberri (Esquisto Granjeno), Formación La Joya y Novillo; b) Afloramiento del Esquisto Aramberri; c) Contacto de las calizas Novillo y el conglomerado de la Joya. 30

Fig. 10: Aramberri, Nuevo León: a) Afloramiento de calizas masivas de la Formación Zuloaga; b) Carpetas de algas en la Formación Zuloaga; c) Contacto tectónico por falla entre la Formación Zuloaga y Formación Méndez. 31

Fig. 11: a) Aspecto general de Formación Olvido; b) Calizas color ocre en capas con estratificación ondulosa; c) Escáner de una caliza de tipo *grainstone* con gasterópodos (G). 32

Fig. 12: Columna estratigráfica de la Formación Zuloaga, en la localidad Cañón La Huasteca, Santa Catarina, Nuevo León. Se observan las litologías que presenta la Formación, así como las texturas y contenido microfacial..... 33

Fig. 13: Columna estratigráfica de la Formación Zuloaga, ubicada en la localidad Rayones, Nuevo León. Se puede observar la litología que la conforman además de la textura y su contenido microfacial. 34

Fig. 14: Columna estratigráfica de la Formación Zuloaga en La Poza, Galeana Nuevo León. Se contemplan las litologías y el análisis microfacial. 35

Fig. 15: Columna estratigráfica de la Formación Novillo, Aramberri, Nuevo León. Se contempla la litología y el análisis microfacial. 36

Fig. 16: Columna estratigráfica de la localidad Aramberri, Nuevo León, en la Formación Zuloaga en la cual se expone las litologías que presenta así como su análisis microfacial. 37

Fig. 17: Columna estratigráfica de la Formación Olvido en Cañón Peregrina, Cd. Victoria, Tamaulipas. Se observa las litologías presentes además de las microfacies. 38

Fig. 18: Representación esquemática de las diferentes composiciones y estructuras de los pelecípodos (según [Scholle & Ulmer-Scholle, 2003](#); modificado). 41

Fig. 19: Representación esquemática con secciones longitudinales (A) y trasversales (B) de un gasterópodo. Además, se muestran tejidos aragonítico (según Scholle & Ulmer-Scholle, 2003; modificado).....	42
Fig. 20: Escaneo de la muestra GEBN-CP-M2, con gasterópodos (G) reconocibles a nivel macroscópico. Presentes el perfil Cañón Peregrina, en las calizas de la Formación Olvido, con tamaños que varían entre 2 a 3 cm.	43
Fig. 21: Estructura típica de las algas verdes dasicladaceas. Este diagrama muestra las características comunes de las dasicladaceas y secciones a través de <i>Cymopolia</i> sp. (según Scholle & Ulmer-Scholle, 2003; modificado).....	44
Fig. 22: (A) Microfotografía de la muestra GEBN-P6 con la presencia del alga <i>Acicularia</i> sp.; (B) Representación gráfica de <i>Acicularia</i> (tomada de Marshall, 1901); (C) Dibujo esquemático de <i>Acicularia</i> sp. donde se observan nueve cavidades de los esporangios. Clave: AV= Alga verde.	45
Fig. 23: Representación esquemática de las estructuras de los ooides y los cuatro tipos comunes de estructuras de ooides, primarias o secundarias (según Scholle & Ulmer-Scholle, 2003, modificado).....	47
Fig. 24: Bosquejo esquemático de algunos tipos más comunes de ooides (según Scholle & Ulmer-Scholle, 2003; modificado).....	48
Fig. 25: Representación gráfica de los diferentes icnogéneros de <i>Favreina</i> en secciones trasversales (Knaust, 2020).....	50
Fig. 26: Clasificación para rocas carbonatadas (adaptado de Folk, 1959).....	51
Fig. 27: Clasificaciones de rocas carbonatadas basada en su textura deposicional (Dunham, 1962) y en las características de los diferentes tipos de calizas bioconstruidas (Embry & Klovan, 1971; adaptado).	52
Fig. 28: Modelo de Rampa Carbonatada (Burchette & Wright, 1992; Flügel, 2010).....	53
Fig. 29: Lámina GEBN-H2: Aspecto de la matriz sin contenido alquímico.....	56
Fig. 30: Lámina GEBN-H3: <i>Grainstone</i> de peloides. Clave: PELL = Peloides.	57
Fig. 31: Lámina GEBN-H4: <i>Grainstone</i> con abundantes ooides y en menor proporción de fragmentos de pelecípodos, litoclastos y cortoides. Claves: OO= ooides, BVF= Fragmentos de pelecípodos, CO= Cortoides, INT= Intraclastos.	58
Fig. 32: Lámina GEBN-H5: Textura de <i>grainstone</i> con peloides. Clave: PELL= Peloides.....	59
Fig. 33: Lámina GEBN-RZ-M1: <i>Grainstone</i> oolítico. Clave: OO= Ooides.	60
Fig. 34: Lámina GEBN-RZ-M2: <i>Grainstone</i> de <i>Favreina</i> sp. y pellets. Clave: FAV= <i>Favreina</i> , PELL= Pellets.....	61
Fig. 35: Lámina GEBN-RZ-M3: <i>Grainstone</i> de <i>Favreina</i> sp. y ooides. Claves: FAV= <i>Favreina</i> , OO= Ooides.....	62
Fig. 36: Lámina GEBN-RZ-M4: <i>Grainstone</i> oolítico; Clave: OO= Ooides.....	63
Fig. 37: Lámina GEBN-RZ-M5: <i>Grainstone</i> de peloides, ooides y foraminíferos bentónicos. Claves: PELL= Pellets/Peloides, OO=Ooides, FB= Foraminíferos bentónicos.....	64
Fig. 38: Lámina GEBN-RZ-M6: <i>Grainstone</i> de ooides, foraminíferos bentónicos y pellets. Claves: OO= Ooides, FB= Foraminíferos bentónicos, PELL= Pellets.	65
Fig. 39: Lámina GEBN-P1: <i>Grainstone</i> de ooides y <i>Favreina</i> . Claves: OO= Ooides, FAV= <i>Favreina</i>	66
Fig. 40: Lámina GEBN-P2: <i>Mudstone</i> sin contenido de aloquímicos.	67
Fig. 41: Lámina GEBN-P3: <i>Grainstone</i> de ooides y pellets. Claves: OO= Ooides, PELL= Pellets.	68

Fig. 42: Lámina GEBN-P5: <i>Grainstone</i> con amplio contenido de litoclastos, fragmentos de pelecípodos y cortoides. Claves: INT= Intraclastos, CO= Cortoides, BVF= Fragmentos de pelecípodos.	69
Fig. 43: Lámina GEBN-P6: <i>Grainstone</i> de ooides, pellets y algas verdes particularmente <i>Acicularia sp.</i> la cual muestra nueve cavidades de esporangios. Claves: OO= Ooides, PELL= Pellets, AV= Alga verde.	70
Fig. 44: Lámina GEBN-AN-M2: <i>Mudstone</i> sin bioclastos.	71
Fig. 45: Lámina GEBN-AN-M3: <i>Mudstone</i> de <i>Favreina sp.</i> Claves: FAV? = <i>Favreina</i>	72
Fig. 46: Lámina GEBN-AN-M4: <i>Mudstone</i> sin contenido.	73
Fig. 47: Lámina GEBN-AN-M5: <i>Wackestone</i> de pellets. Clave: PELL= Pellets.	74
Fig. 48: Lámina GEBN-AN-M6: <i>Wackestone</i> de granos no esqueléticos de pellets. Clave: PELL= Pellets.	75
Fig. 49: Lámina GEBN-AZ-M7: <i>Grainstone</i> de ooides, pelecípodos, cortoides y pellets. Claves: OO= Ooides, BVF= Fragmentos de pelecípodos, CO= Cortoides, PELL= Pellets.	76
Fig. 50: Lámina GEBN-AZ-M8: <i>Bindstone</i> de carpetas algales.	77
Fig. 51: Lámina GEBN-AZ-M9: <i>Bindstone</i> de estructuras formadas por carpetas de algas.	78
Fig. 52: Lámina GEBN-AZ-M10: <i>Grainstone</i> de aloquímicos no esqueléticos. Clave: PELL= Pellets.	79
Fig. 53: Lámina GEBN-CP-M1: <i>Dolostone</i>	80
Fig. 54: Lámina GEBN-CP-M2: <i>Grainstone</i> de gasterópodos, pellets y peloides. Claves: G= Gasterópodo, PELL= Pellets/Peloides.	81
Fig. 55: Lámina GEBN-CP-M3: <i>Grainstone</i> de pellets, peloides y fragmentos de pelecípodos. Claves: PELL= Pellets/Peloides, BVF= Fragmentos de pelecípodos.	82
Fig. 56: Lámina GEBN-CP-M4: <i>Grainstone</i> con fragmentos de pelecípodos relleno de pellets. Claves: BVF= Fragmentos de pelecípodos, PELL= Pellets.	83
Fig. 57: Modelo de Rampa Carbonatada, en la localidad del Cañón La Huasteca (adaptado de Burchette & Wright, 1992 ; Flügel, 2010).	85
Fig. 58: Modelo de Rampa Carbonatada, en el área de estudio de Rayones, Nuevo León (adaptado de Burchette & Wright, 1992 ; Flügel, 2010).	86
Fig. 59: Modelo de Rampa Carbonatada, en la localidad de La Poza (adaptado de Burchette & Wright, 1992 ; Flügel, 2010).	87
Fig. 60: Modelo de Rampa Carbonatada para la Formación Novillo en Aramberri (adaptado de Burchette & Wright, 1992 ; Flügel, 2010).	88
Fig. 61: Modelo de Rampa Carbonatada de la Formación Zuloaga en Aramberri (adaptado de Burchette & Wright, 1992 ; Flügel, 2010).	89
Fig. 62: Modelo de Rampa Carbonatada, en el área Cañón Peregrina (adaptado de Burchette & Wright, 1992 ; Flügel, 2010).	90
Fig. 63: Patrones REE de las calizas de las formaciones estudiadas, normalizadas con el PAAS, donde se observa: a) Diagrama REE para Cañón La Huasteca; b) Diagrama REE Rayones; c) Diagrama REE La Poza; d) Diagrama REE Novillo; e) Diagrama REE Zuloaga en Aramberri; f) Diagrama REE Cañón Peregrina.	98

Tablas

Tabla 1: Lámina GEBN-H2, Cañón La Huasteca, Formación Zuloaga.	56
Tabla 2: Lámina GEBN-H3, Cañón La Huasteca, Formación Zuloaga.	57

Tabla 3: Lámina GEBN-H4, Cañón La Huasteca, Formación Zuloaga.....	58
Tabla 4: Lámina GEBN-H5, Cañón La Huasteca, Formación Zuloaga.....	59
Tabla 5: Lámina GEBN-RZ-M1, Rayones, Formación Zuloaga.....	60
Tabla 6: Lámina GEBN-RZ-M2, Rayones, Formación Zuloaga.....	61
Tabla 7: Lámina GEBN-RZ-M3, Rayones, Formación Zuloaga.....	62
Tabla 8: Lámina GEBN-RZ-M4, Rayones, Formación Zuloaga.....	63
Tabla 9: Lámina GEBN-RZ-M5, Rayones, Formación Zuloaga.....	64
Tabla 10: Lámina GEBN-RZ-M6, Rayones, Formación Zuloaga.....	65
Tabla 11: Lámina GEBN-P1, La Poza, Formación Zuloaga.....	66
Tabla 12: Lámina GEBN-P2, La Poza, Formación Zuloaga.....	67
Tabla 13: Lámina GEBN-P3, La Poza, Formación Zuloaga.....	68
Tabla 14: Lámina GEBN-P5, La Poza, Formación Zuloaga.....	69
Tabla 15: Lámina GEBN-P6, La Poza, Formación Zuloaga.....	70
Tabla 16: Lámina GEBN-AN-M2, Aramberri, Formación Novillo.....	71
Tabla 17: Lámina GEBN-AN-M3, Aramberri, Formación Novillo.....	72
Tabla 18: Lámina GEBN-AN-M4, Aramberri, Formación Novillo.....	73
Tabla 19: Lámina GEBN-AN-M5, Aramberri, Formación Novillo.....	74
Tabla 20: Lámina GEBN-AN-M6, Aramberri, Formación Novillo.....	75
Tabla 21: Lámina GEBN-AZ-M7, Aramberri, Formación Zuloaga.....	76
Tabla 22: Lámina GEBN-AZ-M8, Aramberri, Formación Zuloaga.....	77
Tabla 23: Lámina GEBN-AZ-M9, Aramberri, Formación Zuloaga.....	78
Tabla 24: Lámina GEBN-AZ-M10, Aramberri, Formación Zuloaga.....	79
Tabla 25: Lámina GEBN-CP-M1, Aramberri, Formación Novillo.....	80
Tabla 26: Lámina GEBN-CP-M2, Aramberri, Formación Novillo.....	81
Tabla 27: Lámina GEBN-CP-M3, Aramberri, Formación Novillo.....	82
Tabla 28: Lámina GEBN-CP-M4, Aramberri, Formación Novillo.....	83
Tabla 29: Valores promedio de PAAS (Taylor & McLennan, 1985) utilizados para la normalización de REE.....	91
Tabla 30: Relación de los Elementos Mayores en las muestras analizadas (en %).	92
Tabla 31: Relación de Elementos Trazas selectos en las muestras analizadas (en ppm).	94
Tabla 32: Relación de los Elementos de Tierras Raras (REE) en las muestras analizadas (en ppm).	95
Tabla 33: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-H2, Cañón La Huasteca.....	102
Tabla 34: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-H3, Cañón La Huasteca.....	102
Tabla 35: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-H4, Cañón La Huasteca.....	103
Tabla 36: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-H5, Cañón La Huasteca.....	103
Tabla 37: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-RZ-M1, Rayones.....	104
Tabla 38: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-RZ-M2, Rayones.....	105
Tabla 39: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-RZ-M3, Rayones.....	105

Tabla 40: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-RZ-M4, Rayones.	106
Tabla 41: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-RZ-M5, Rayones.	106
Tabla 42: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-RZ-M6, Rayones.	107
Tabla 43: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-P3, La Poza.	108
Tabla 44: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-P5, La Poza.	108
Tabla 45: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-P6, La Poza.	109
Tabla 46: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-AN-M2, Aramberri en la Formación Novillo.	110
Tabla 47: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-AN-M3, Aramberri en la Formación Novillo.	110
Tabla 48: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-AN-M4, Aramberri en la Formación Novillo.	111
Tabla 49: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-AN-M5, Aramberri en la Formación Novillo.	111
Tabla 50: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-AN-M6, Aramberri en la Formación Novillo.	112
Tabla 51: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-AN-M7, Aramberri en la Formación Zuloaga.	113
Tabla 52: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-AN-M8, Aramberri en la Formación Zuloaga.	113
Tabla 53: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-AN-M9, Aramberri en la Formación Zuloaga.	114
Tabla 54: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-AN-M10, Aramberri en la Formación Zuloaga.	114
Tabla 55: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo en Cañón Peregrina de la Muestra GEBN-CP-M1, la Formación Olvido.	115
Tabla 56: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-CP-M2, Cañón Peregrina en la Formación Olvido.	116
Tabla 57: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-CP-M3, Cañón Peregrina en la Formación Olvido.	116
Tabla 58: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-CP-M4, Cañón Peregrina en la Formación Olvido.	117

Resumen

Esta investigación se centra en el análisis de rocas carbonatadas en las formaciones Novillo, Olvido y Zuloaga depositadas en cuencas sedimentarias marinas durante el Jurásico Tardío en el Noreste de México, y que ahora forman parte de la Sierra Madre Oriental (SMO). La investigación consistió en realizar un estudio sedimentológico, microfacies, ambiente de depositación y geoquímico en las rocas carbonatadas para obtener información importante sobre la composición y diagénesis de las rocas.

Los análisis de microfacies se basaron en las clasificaciones de [Dunham \(1962\)](#), [Folk \(1959\)](#) y [Embry & Klovan \(1971\)](#). Para la clasificación de facies y modelos sedimentarios se utilizaron las clasificaciones de [Burchette & Wrigth \(1992\)](#), y [Flügel \(2010\)](#). Las calizas de la Formación Zuloaga se clasifican como *mudstone* a *grainstone* con mayor dominio de ooides (algunos con núcleos de foraminíferos bentónicos), *Favreina sp.*, pellets y en menor dominio se encuentran los fragmentos de pelecípodos, peloides, algas verdes (*Acicularia sp.*) y carpetas algales. Las rocas de la Formación Novillo consisten en calizas *mudstone* a *wackestone* de pellets y aparentes restos de *Favreina sp.* Por otro lado, las calizas de la Formación Olvido están compuestas por *dolostone* a *grainstone* de fragmentos de pelecípodos, pellets, peloides y gasterópodos.

De acuerdo con el análisis de elementos mayores, las calizas analizadas en el área de estudio, el elemento dominante es el CaO, con un rango que varía de 45.87 – 55.91% en peso. (Fm. Novillo: 45.87 – 52.2, Fm. Olvido: 30.54 – 53.32% y Fm. Zuloaga: 50.01 – 55.91%), seguido por MgO (0.2 – 19.59%), SiO₂ (0.32 – 11.52%), Al₂O₃ (0.02 – 2.6%), y un contenido bajo en peso Fe₂O₃, K₂O, TiO₂ y P₂O₅ que oscila de 0 – 0.01%. La relación entre CaO y SiO₂ es consistente con calizas marinas con un bajo aporte de materiales terrígenos. La concentración más alta de los elementos traza en las calizas de las formaciones Novillo, Olvido y Zuloaga está representada por el Ba (5 – 9558 ppm), Sr (55 – 876.9 ppm), Zr (0.9 – 49.3 ppm), V (0 – 78 ppm), Y (0.2 – 22.2 ppm), y contenidos menores de Cr, Sc, Ga, Ta, Nb, Hf y Th. Los contenidos de REE se encuentran en el intervalo de 0.23 a 12.97 ppm y un promedio de 18 ppm. Las calizas de las formaciones Novillo, Olvido y Zuloaga muestran un patrón característico de carbonatos marinos: empobrecimiento de LREE, enriquecimiento de MREE y valores relativamente bajos de HREE, así como anomalías positivas de La, anomalías negativas de Ce y Eu, y valores alto de Y – Ho.

Aunque las secuencias carbonatadas sean litológicamente las mismas o muy parecidas, presentan variaciones locales importantes en cuanto su composición petrológica, microfacial y geoquímica. Se pudo mostrar que tanto el ambiente como una posible influencia de material terrígeno como también efectos diagenéticos como dolomitización y compactación juegan un papel importante para la composición de los sedimentos carbonatados.

Abstract

This research focuses on analyzing carbonated rocks in the Novillo, Olvido, and Zuloaga formations deposited in marine sedimentary basins during the Late Jurassic in northeastern Mexico, now part of the Sierra Madre Oriental (SMO). The research consisted of performing a sedimentological study, microfacies, deposition environment, and geochemical in carbonated rocks to obtain important information on the composition and diagenesis of rocks.

Microfacies analyses were based on the classifications of [Dunham \(1962\)](#), [Folk \(1959\)](#), and [Embry & Klovan \(1971\)](#). For the type of facies and sedimentary models, the classifications of [Burchette & Wright \(1992\)](#); [Flügel \(2010\)](#) were used. The limestones of the Zuloaga Formation are classified as mudstone to grainstone with major dominance of ooids (some with benthic foraminiferal cores), *Favreina* sp. pellets, and in minor dominance are found fragments of pelecypods, peloids, green algae (*Acicularia* sp.) and algal folds. At the same time, the rocks of the Novillo Formation consist of mudstone to wackestone limestones of pellets and apparent remains of *Favreina* sp. On the other hand, the limestones of the Olvido Formation are composed of dolostone to grainstone fragments of pelecypod, pellets, peloids, and gastropods.

According to the major element analysis, the limestones analyzed in the study area, the dominant element is CaO, with a range varying from 45.87 - 55.91% (Fm. Novillo.: 45.87 - 52.2, Fm. Olvido: 30.54 - 53.32% and Fm. Zuloaga.: 50.01 - 55.91%), followed by MgO (0.2 - 19.59%), SiO₂ (0.32 - 11.52%), Al₂O₃ (0.02 - 2.6%), and a low content in Fe₂O₃, K₂O, TiO₂ and P₂O₅ ranging from 0 - 0.01%. The ratio of CaO to SiO₂ is consistent with marine limestones with a low contribution of terrigenous materials. The highest concentration of trace elements in the limestone of the Novillo, Olvido and Zuloaga formations is represented by the Ba (5 - 9558 ppm), Sr (55 - 876.9 ppm), Zr (0.9 - 49.3 ppm), V (0 - 78 ppm), Y (0.2 - 22.2 ppm), and lower contents of Cr, Sc, Ga, Ta, Nb, Hf and Th. REE contents range from 0.23 to 12.97 ppm and an average of 18 ppm. The limestones of the Novillo, Olvido, and Zuloaga formations show a characteristic pattern of marine carbonates: depletion of LREE, enrichment of MREE and relatively low HREE values, as well as positive anomalies of La, negative anomalies of Ce and Eu, and high values of Y - Ho.

Although the carbonate sequences are lithologically the same or very similar, they present essential local variations in their petrological, microfacial, and geochemical composition. It was

possible to show that both the environment and the potential influence of terrigenous material and diagenetic effects such as dolomitization and compaction play an essential role in the composition of carbonate sediments.

1 Generalidades

1.1 Introducción

Los análisis estratigráficos y bioestratigráficos, junto con el análisis geoquímico de elementos mayores, traza y tierras raras, son una fuente confiable de información de la composición, digénesis y procedencia de sedimentos carbonatados. El estudio detallado de la geometría, edad y origen, así como la distribución de las plataformas carbonatadas son fundamentales para entender el desarrollo de cuencas análogas, lo cual es crucial para comprender la migración/entrapamiento de hidrocarburos en cuencas del Golfo de México.

Esta investigación se concentra en el análisis de rocas carbonatadas de las formaciones Novillo, Olvido y Zuloaga depositadas en cuencas sedimentarias marinas durante el Jurásico Tardío en el Noreste de México, que forman parte de la secuencia mesozoica de la Sierra Madre Oriental (SMO). La investigación consistirá en un estudio preliminar del carácter geoquímico de rocas carbonatadas del Jurásico Tardío con la finalidad de determinar las diferentes facies de rocas carbonatadas, establecer la influencia de la digénesis y la dolomitización, así como los procesos de transporte y selección de rocas, además de ligar sus microfacies con los análisis geoquímicos.

1.2 Localización y vías de acceso

El área de estudio está localizada en la Sierra Madre Oriental, la que se sitúa geográficamente en la región noreste de México, específicamente entre los estados de Nuevo León y Tamaulipas. La investigación se desarrolló en seis localidades diferentes (Fig. 1): El Cañón La Huasteca en Santa Catarina, Nuevo León en la coordenada: latitud 25°38'21.20" N y longitud 100°28'11.22" W; Rayones, Nuevo León en la coordenada: latitud 25°1'3.97" N y longitud 100°1'3.97" W; La Poza en Galeana, Nuevo León, en la coordenada: latitud 24°40'44.58" N y en longitud 99°58'1.80" W; Aramberri, Nuevo León, en la coordenada: latitud 24°7'10.37" N y en longitud 99°51'14.17" W; El Mezquital en Aramberri, Nuevo León, en la coordenada: latitud 24°9'33.49" N y en longitud 99°44'49.95" W, y El Cañón Peregrina en Ciudad Victoria, Tamaulipas, en la coordenada: latitud 23°46'34.34 N y longitud 99°13'36.36" W.

Las principales vías de acceso a la zona de estudio son las carreteras federales No. 85 y 58, de las cuales se desprenden varias carreteras secundarias (estatales) y caminos de terracería, fueron utilizadas para llegar a las distintas localidades de interés para el presente trabajo de investigación (Fig. 1).

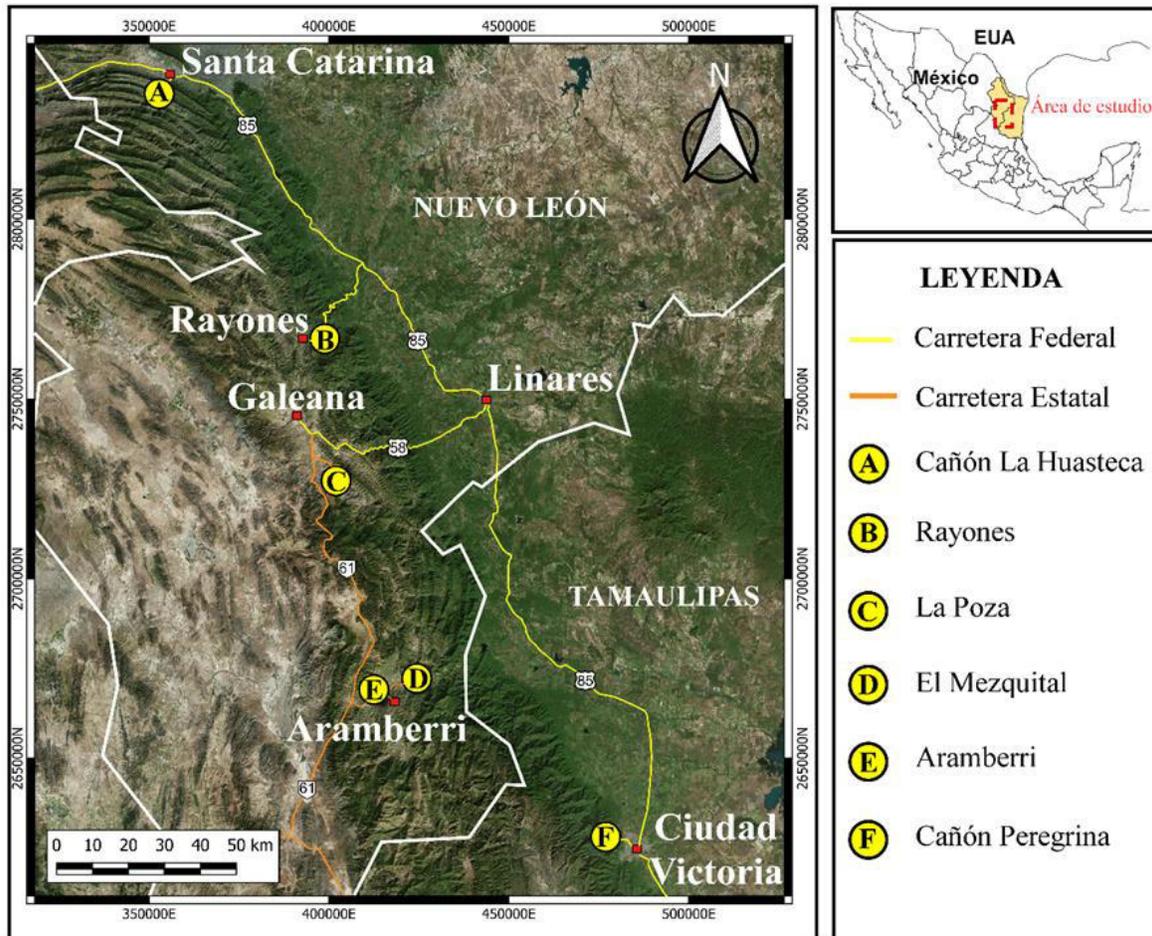


Fig. 1: Localización del área de estudio y vías de acceso. Imagen satelital tomada de Bing®.

1.3 Trabajos previos

En la región noreste de la Sierra Madre Oriental las formaciones Novillo, Olvido y Zuloaga se distribuyen ampliamente entre los estados de Nuevo León, Zacatecas, San Luis Potosí y Tamaulipas, las que al nivel regional como local, han sido objeto de diversos estudios enfocados principalmente en la estratigrafía y paleontología del Jurásico Medio a Tardío, en los que destacan:

[Heim \(1926, 1940\)](#) se encargó de describir por primera vez la sucesión de calizas del Jurásico Medio-Tardío (Calloviano – Oxfordiano) de la Formación Novillo, en su localidad tipo el Cañón

Novillo al oeste de ciudad Victoria, Tamaulipas. Esta unidad consiste en calizas grises que intemperizan a gris claro en estratos delgados a medianos intercalados por horizontes arcillosos, calizas parcialmente dolomitizadas de color a gris claro al intemperismo en capas de 5 a 30 cm con intercalaciones de lutitas de 1 cm de espesor (Armas-Zagoya, 2004). Casas-Peña (2016), describe calizas color gris claro a café claro en intemperismo, con alternancias de horizontes calcoareníticos y lutíticos, de espesores delgados (~20 cm) a capas gruesas (4 m), las que en lámina delgada se clasifican como caliza *wackestone* con granos de intraclastos indeterminados. El ambiente de depósito en base a estudios de microorganismos, ubica a esta unidad en áreas restringidas con baja biodiversidad cercanos a nichos ecológicos de microfósiles (Fisher et al., 2007).

La Formación Olvido (Jurásico Tardío) inicialmente fue estudiada por Burckhard (1930) y Muir (1936) en la región suroeste y este del Rancho Huizachal, Sin embargo, fue Heim (1940) quien comenzó a utilizar el término Formación Olvido para la secuencia de calizas, dolomita, lutita, areniscas y yesos en la región de Huizachal. Estudios posteriores asignaron informalmente al rancho El Olvido, Valle de Huizachal, Tamaulipas como la localidad tipo (Carrillo-Bravo, 1961; López-Ramos, 1985; Humprey & Díaz, 2003). Esta unidad comúnmente es correlacionada con la Caliza Zuloaga (p.ej., Goldhammer, 1999).

El ambiente de depósito para la parte inferior (evaporítica) de la Fm. Olvido sugiere condiciones marginal-marinas muy restringido, con fases de regresión en el Oxfordiano-Kimmerdigiano con tendencia transgresiva (González-García, 1976; Padilla-Sánchez, 1986; Goldhammer, 1999), mientras que la parte superior (calcárea), se ha interpretado bajo un régimen de rampa carbonatada (Goldhammer, 1999; Eguiluz de Antuñano, 2001).

La mayoría de los trabajos en el pasado se enfocaban en tratar de definir la edad para esta unidad, tales como Jiménez et al. (1982), Buitrón (1984), Pemex (1988), Humphrey & Díaz (1956/2003), Pessagno & Martin (2003) y Barboza-Gudiño et al. (2004), a partir de la comparación del contenido fósil encontrado en esta unidad: bivalvos, pelecípodos, gasterópodos, corales, algas espículas de esponja, *Favreina* sp., etc., a partir de los cuales se estableció un rango de edad Oxfordiano-Kimmeridgiano. En cuanto a trabajos más recientes reportados en esta unidad se encuentra Rivera-Estrada (2007), quien realizó un análisis bioestratigráfico y microfacial de la Formación Zuloaga, en donde reconstruyeron y modelaron las condiciones paleobatimétricas y paleoecológicas así como la depositación de los sedimentos, mientras que Medina-Pedraza (2011), a partir del análisis microfacial, señala como componentes principales a los ooides concéntricos,

radiales, simples y compuestos con núcleos que varían entre bioclastos y micrita. Por otro lado, [Rodríguez-López \(2016\)](#), estimo la porosidad y permeabilidad en base a muestras de carbonatos en alto contenido de ooides de la Formación Zuloaga.

[Imlay \(1953\)](#), menciona que, la Formación Zuloaga se formó como un depósito batial y como un depósito cercano a la costa, bajo un clima uniforme, y escaso aporte de terrígenos. Además, señala que el adelgazamiento de la formación de la parte septentrional de Zacatecas hacia el sureste de Tamaulipas muestra que la principal fuente de sedimentos estaba en el norte. [Buitrón \(1984\)](#), le asigna un ambiente tropical de aguas someras, por la presencia del género *Nerinea* en la caliza Zuloaga. Posteriormente, [Ovianki \(1974\)](#), interpreta para esta unidad un paleoambiente de mar epicontinental muy somero, subsidencia lenta; y que fue depositada durante una gran transgresión con numerosas fluctuaciones menores del nivel del mar. Finalmente, [Pessagno & Martin \(2003\)](#), sugieren un ambiente marino somero para esta unidad, a profundidades no mayores a los 100 metros, en un banco carbonatado, en un ambiente tranquilo y libre de oleaje. [Medina-Pedraza \(2011\)](#), Sugiere un ambiente de aguas agitadas dentro de la plataforma interna en la zona de las facies 6, 7 y 8 de [Wilson \(1975\)](#), con una profundidad de no más de 15 m por la presencia de algas verdes y *Favreina* sp. que lo corroboran.

1.4 Justificación

El estudio de rocas carbonatados depositados en cuencas sedimentarias marinas mesozoicas, como es el caso de las formaciones Novillo, Olvido y Zuloaga expuestas en la SMO, son fundamentales para comprender la evolución las plataformas y cuencas, lo que contribuye en la interpretación de modelos análogos de cuencas sedimentarias que puedan albergar yacimientos de hidrocarburos. El empleo de técnicas modernas para el análisis de microfacies y análisis geoquímicos de sedimentos carbonatados, así como la aplicación de métodos “clásicos” de petrografía sedimentaria, estratigrafía y bioestratigrafía, permite establecer conexiones entre los mecanismos que propiciaron la erosión y depósito de las áreas fuente, así como la relación que existe entre la composición, diagénesis y microfacies de las rocas carbonatadas con la composición química de los mismos.

Existe información importante respecto al análisis estratigráfico y bioestratigráfico de esta época en el Noreste de México, sin embargo, no se han realizado estudios de análisis de facies combinado con análisis de geoquímica inorgánica en los sedimentos carbonatados en ninguna de

las zonas estudiadas. Los resultados pueden dar información importante sobre la composición y diagénesis de las rocas.

1.5 Objetivos

El objetivo principal de la investigación consiste en realizar un estudio sedimentológico, de microfacies, ambientes de depositación y geoquímico de las rocas carbonatadas del Jurásico Tardío con la finalidad de determinar las fuentes de las rocas carbonatadas, establecer la influencia de la digénesis y la dolomitización, así como los procesos de transporte y selección de rocas, además de ligar sus microfacies con los análisis geoquímicos. Esto se logra mediante los siguientes objetivos específicos:

- ❖ Generar columnas estratigráficas de los afloramientos para cada una de las áreas de estudio.
- ❖ Describir a detalle las microfacies con el uso de láminas delgadas para cada una de las áreas de estudio.
- ❖ Establecer las diferentes zonas de depositación de las facies a través de un modelo de rampa.
- ❖ Proponer un modelo sedimentario para el Jurásico Tardío para las formaciones Zuloaga, Novillo y Olvido.
- ❖ Determinar la composición geoquímica de sedimentos carbonatados por análisis de elementos mayores, trazas y tierras raras.
- ❖ Definir la importancia de la influencia de las facies, diagénesis (dolomitización, estilolitas etc.).

1.6 Hipótesis

Los procesos de deposición, paleoambiente y diagénesis son procesos que se reflejan directamente en la composición química de las rocas carbonatadas. Por lo que el análisis de elementos indicadores como los elementos mayores, elementos trazas y tierras raras en combinación con el análisis de microfacies es fundamentales para comprender dichos procesos.

1.7 Metodología

Para cumplir con los objetivos de la presente investigación, se propone la siguiente metodología dividida en cuatro etapas:

1.7.1 Recopilación bibliográfica

Se realizó un análisis detallado de los trabajos previos documentados para la región noreste durante el Jurásico Tardío, con un enfoque en el análisis de plataformas carbonatadas, además se revisó la información geográfica y de imágenes satelitales disponible para elaborar mapas fotogeológicos preliminares, para así visualizar la distribución espacial de las áreas de estudio.

La etapa de campo consistió en el levantamiento de columnas estratigráficas y documentación de datos estratigráficos, además se recolectaron muestras para petrografía y geoquímica.

1.7.2 Gabinete

Se elaborarán mapas, columnas estratigráficas y modelos sedimentarios a partir de la información obtenida en el trabajo de campo y la interpretación de imágenes satelitales.

1.7.3 Laboratorio

Elaboración de láminas delgadas y análisis de microfacies en el Laboratorio de la Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL, empleando un microscopio petrográfico Leica DM2700P.

Se seleccionaron muestras para realizar análisis geoquímicos, se enviaron a los Laboratorios ACME de Vancouver Canadá; los elementos mayores se analizaron por medio de Espectrometría de Emisión Óptica con plasma acoplado por inducción (ICP-OES), mientras que los 46 elementos trazas, incluyendo el grupo de elementos de Tierras Raras (REE), se analizan por Espectrometría de Masas con Plasma acoplado por inducción (ICP-MS) y el valor de CO₂ por medio de LECO.

2 Geología Regional

2.1 Introducción

Geológicamente el área de estudio se ubica en la Sierra Madre Oriental (SMO), en la región Noreste de México. Específicamente, las unidades de interés en esta investigación (Formaciones Novillo, Olvido y Zuloaga), forman parte de las secuencias sedimentarias carbonatadas mesozoicas de la SMO. Su evolución estratigráfica y tectónica refleja una historia geológica compleja la que, inició con la unión de Laurasia (Norteamérica) y Gondwana (Sudamérica) en el supercontinente Pangea durante el Paleozoico Superior. La unión de los dos continentes se registró con el evento orogénico Ouachita – Marathon-Sonora durante el Pérmico – Triásico. En el Triásico Tardío – Jurásico Medio se inició la fragmentación de Pangea, lo que dio lugar al desarrollo de un margen pasivo, donde se depositó la secuencia mesozoica de México, culminando hasta el Cretácico Superior. Posteriormente, durante el Campaniano-Maastrichtiano, la cubierta sedimentaria mesozoica fue deformada generando la morfotectónica del Cinturón Plegado y Cabalgado de la Sierra Madre Oriental.

A continuación, se describe con mayor detalle la evolución paleogeográfica del Mesozoico de México y las unidades asociadas, haciendo especialmente énfasis en la actividad tectónica dominante durante el Jurásico y los rasgos geológicos-sedimentarios que caracterizan el área de estudio (Fig. 2-Fig. 4).

2.2 Desarrollo paleogeográfico en el Mesozoico

2.2.1 Triásico Tardío – Jurásico Tardío

2.2.1.1 Triásico Tardío a Jurásico Medio (Pre-Calloviano)

Durante el período del Triásico Tardío al Jurásico Medio, las provincias del Pacífico Occidental de México y el Golfo de México se determinaron por un patrón del altos y bajos del basamento. Los altos del basamento acontecieron en forma de bloques levantados limitados por fallas formados por un basamento Pérmico-Triásico (el bloque de Coahuila); el anticlinorio en el basamento del Precámbrico (Anticlinorio Huizachal-Peregrina; [Woods et al., 1991](#)); los arcos anticlinales regionales de tendencia norte-noroeste-sur-sureste, con núcleo de rocas Paleozoicas

metamorfizadas complejas (Burro-Salado-Picachos); arcos anticlinales regionales con rumbo norte-noroeste-sur-sureste, con núcleos intrusivos Pérmico-Triásicos (Arco de Tamaulipas; [López-Ramos, 1972](#)); áreas positivas amplias y generadas, como el levantamiento del Llano en los Estados Unidos ([Goldhammer, 1999](#)). Por otro lado, los bajos del basamento ocurrieron como grabens de *rift* que están limitados por fallas de sin-*rift* (facies de capas rojas en el anticlinorio de Huayacocotla; [Salvador, 1991b](#)); depresiones de forma irregular limitadas por los altos del basamento (la cuenca de sal del este de Texas) ([Goldhammer, 1999](#)).

A lo largo de este período, los lechos rojos y los volcanes asociados se acumularon dentro de un sistema de graben delimitadas por fallas alrededor del Golfo de México ([Stone, 1975](#); [Todd & Mitchum, 1977](#); [Salvador, 1987, 1991a, 1991b](#)). Para el Noreste de México, estos depósitos conforman el Grupo Huizachal, de edad Triásico Tardío - Jurásico Inferior cuya edad fue asignada por [Mixon et al. \(1959\)](#) además de subdividir el Grupo Huizachal en las formaciones El Alamar, La Boca y La Joya.

La Formación El Alamar sobreyace a las rocas del basamento Paleozoico Precámbrico, y está sobreyacida por lechos rojos y rocas volcanogénicas de la Formación La Boca y/o rocas del Jurásico Medio que forman la Formación La Joya (en la parte superior del Grupo Huizachal) ([Mixon et al., 1959](#)).

La Formación La Boca consiste en lechos rojos no marinos, flujos volcánicos, diques y *sills* ígneos de composición riolítica a andesítica o diabasa y/o basalto ([Corpstein, 1974](#); [Padilla y Sánchez, 1982](#)). Los lechos rojos representan abanicos aluviales, ambientes de depósito fluviales y lacustres ([Corpstein, 1974](#); [Padilla y Sánchez, 1982](#); [Salvador, 1987, 1991a, 1991b](#); [Michalzik, 1988](#)). Estos depósitos se superponen discordialmente sobre el basamento precámbrico y paleozoico ([Ramírez Fernández & Jenchen, 2016](#)). Esta unidad presenta espesores que varían entre los 300 a 2000 m, la preservación está limitada a cuencas de rift ([Stone, 1975](#); [Wilson, 1990](#)).

La Formación La Joya presenta espesores de 55 a 120 m, se superpone discordialmente a la Formación La Boca y está constituida de rocas siliciclásticas lacustres, planicies costeras, no marinas a marinas marginales ([Corpstein, 1974](#); [Padilla y Sánchez, 1982](#); [Michalzik, 1988](#)). Los lechos rojos incluyen lutitas, limolitas, areniscas y conglomerados (litarenitas volcánicas y feldespáticas; [Bracken, 1984](#)). La Joya se extiende hacia los altos del basamento y es parte contemporánea con las evaporitas del Calloviano ([Goldhammer, 1999](#)).

2.2.1.2 Calloviano – Oxfordiano Temprano

En el Calloviano al Oxfordiano Temprano, la provincia del Pacífico Occidental de México estaba limitada al oeste por el complejo del arco magmático de San Andrés- Sinaloa (Tardy, 1977; Servais et al., 1982, 1986; Araujo-Mendieta & Arenas-Partida, 1986; Sedlock et al., 1993).

La provincia del Golfo de México, se originó una amplia deposición de evaporitas a partir de la cuenca de sal del este hasta el sur de Texas, a medida que continuaba la trasgresión, las porciones más restringidas de la cuenca de Sabinas y en la depresión de Monterrey (González García, 1976; Madrid, 1976; Zwanziger, 1979; Padilla y Sánchez, 1986; Salvador, 1987, 1991a, 1991b; Moran-Zenteno, 1994). Las evaporitas de la Formación Minas Viejas afloran como masas de yesos deformados en el área de Monterrey-Saltillo (Fig. 2; Weidie & Martínez, 1970; Laudon, 1984) que subyace discordantemente a los lechos rojos del Huizachal y/o al basamento Paleozoico.

La Formación Minas Viejas es un depósito marino marginal que marca la incursión marina en cuencas de rift restringidas, se le asigna una edad calloviana, es la secuencia más joven de evaporitas (Oxfordiano a Kimmeridgiano) y se denomina evaporita de la Formación Olvido.

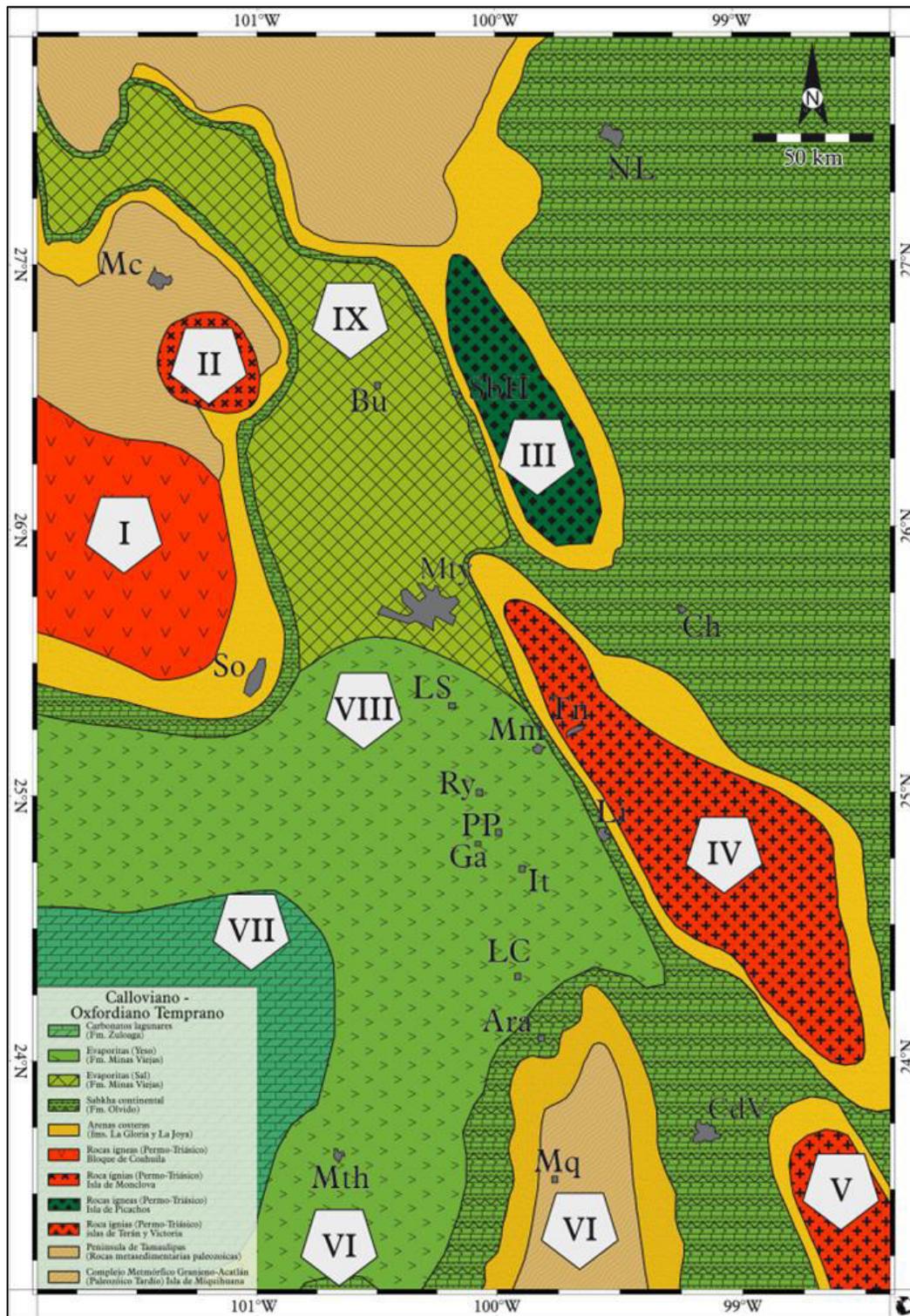


Fig. 2 Distribución del ambiente de deposición durante el Calloviano – Oxfordiano Temprano según [Jenchen & Ramírez-Fernández \(en prensa.\)](#). Claves: I= Bloque (Isla) de Coahuila, II= Isla de Monclova, III= Isla de Picachos, IV= Isla de Terán, V= Isla de Victoria, VI= Plataforma Valles-San Luis Potosí, VII= Mar Mexicano, VIII= Fosa de Monterrey, IX= Cuenca de Sabinas.

2.2.1.3 Oxfordiano Medio a Kimmeridgiano

Durante este tiempo en el Pacífico Occidental de la provincia de México, el terreno tectónico de Sinaloa se levantó de manera que se produjo una deformación contraccional hacia el este, cerrando al Cuenca Mesozoica de México al oeste de la península de Aldama al sur y oeste del bloque de Coahuila (Tardy, 1977; De Cserna, 1979, 1989; Cordoba et al., 1980; Dickinson, 1981; Servais et al., 1982, 1986; Araujo-Mendieta & Arenas-Partida, 1986).

En la provincia del Golfo de México, las rampas carbonatadas marinas poco profundas con facies de *grainstone* de alta energía en la cresta de la rampa, estaban bordeadas por sedimentos clásticos marinos marginales cercanos a la costa y gradaban hacia abajo en lutitas marinas más profundas fuera de la rampa (González García, 1976; Zwanzinger, 1979; Padilla y Sánchez, 1986; Salvador, 1987, 1991a, 1991b). En el Noreste de México y adyacente al sur, se desplegaron sistemas de rampas carbonatadas análogas, generando núcleos en masas de tierra expuestas preexistentes.

En el Noreste de México, la Formación La Gloria de edad Oxfordiana temprana (Imlay, 1936) representa esencialmente el intervalo clástico transgresivo arriba de la superficie de buzamiento en la Formación Zuloaga (Imlay, 1936; Stone, 1975; Oivanki, 1974). Los espesores oscilan entre los 50 a 100 m, pero superan los 600 y 700 m. el basal de La Gloria subyace discordialmente al basamento de Minas Viejas, lechos rojos del Huizachal o al basamento del Paleozoico. En cuanto a los ambientes deposicionales varían desde marino marginal hasta marino somero, en el que las litologías detríticas se intercalan con carbonatos marinos normales (Oivanki, 1974). Hacia abajo la Formación La Gloria se convierte en los carbonatos de la rampa de Zuloaga.

La Formación Zuloaga en el noreste de México marca el establecimiento de las condiciones marinas abiertas (González-García, 1976; Zwanziger, 1979; Padilla y Sánchez, 1986), con la transición del rift a la etapa del drift en el desarrollo del margen pasivo. La Formación Zuloaga de edad Oxfordiana (Imlay, 1943), se correlaciona con la Formación Smackover, además que los tipos de facies de depósito son muy similares (Stone, 1975; Budd & Lucks, 1981; Johnson, 1991). Sobreyace discordantemente a los lechos rojos o a las evaporitas de la Formación Minas Viejas.

La paleotopografía trascendió en marcadas variaciones laterales en espesor y facies depositacionales (Johnson, 1991). Las texturas depositacionales varían a lo largo del perfil de la rampa, desde lodo, *wackestone* a *packstone* peloidal en la zona peritidal a laguna restringida,

packstone y *grainstone* de ooides y pellets en el borde de la rampa, *mudstone* a *wackestone* en la superficie el buzamiento. Los espesores de la unidad van desde los 150 a 500 m hacia arriba y hasta 450 m hacia abajo.

La Formación Olvido consta de evaporitas tales como anhidrita, yeso, lutitas rojas y una unidad de carbonato proveniente del Kimmeridgiano, pero con una mezcla de rocas siliciclásticas dependiendo de la proximidad de los paleoaltos expuestos y en las áreas de origen clástico. En la sección inferior de la Formación Olvido se designa a la evaporita Olvido y en la parte superior se denomina lutita calcárea Olvido.

La evaporita Olvido en el área de Monterrey-Saltillo (Fig. 3), presenta espesores de 20 a 50 m, mientras que la lutita calcárea Olvido varía de 100 a 200 m de espesor, pero en la cuenca norte de Sabinas, el intervalo evaporítico alcanza un espesor de 100 a 300 m, y el carbonato del Kimmeridgiano con espesores de ~ 100 a 200 m (Stone, 1975; González-García, 1976; Padilla y Sánchez, 1986). Estas variaciones en los espesores indican las diferencias en las tasas de hundimiento entre las dos áreas. La evaporita de Olvido inferior registra la deposición en un entorno marino marginal restringido, lo que implica una breve fase de regresión en la tendencia trasgresiva del Oxfordiano al Kimmeridgiano (González-García, 1976; Padilla y Sánchez, 1986).

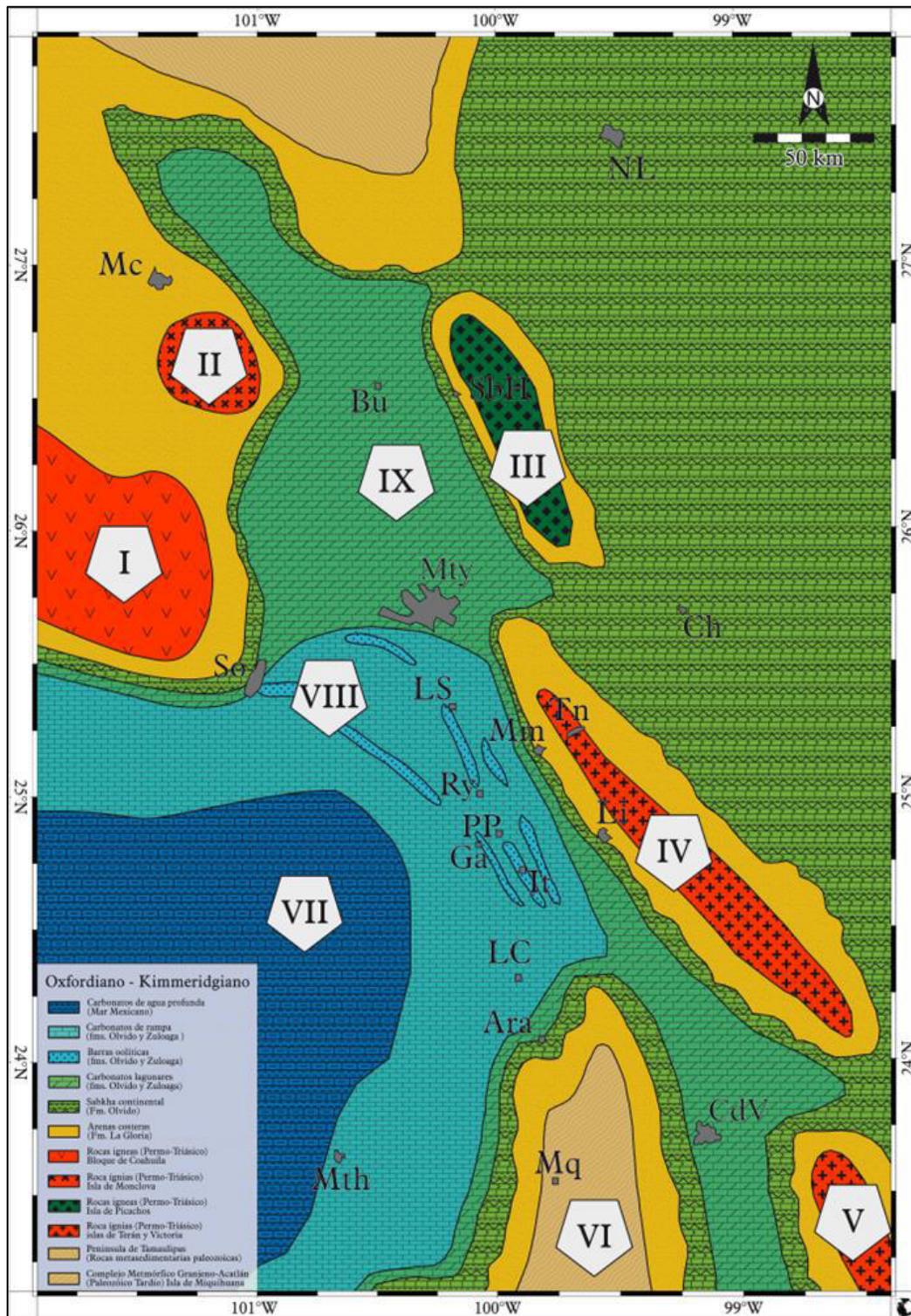


Fig. 3: Distribución del ambiente de deposición durante el Oxfordiano – Kimmeridgiano según [Jenchen & Ramírez-Fernández \(en prensa\)](#). Claves: I= Bloque (Isla) de Coahuila, II= Isla de Monclova, III= Isla de Picachos, IV= Isla de Terán, V= Isla de Victoria, VI= Plataforma Valles-San Luis Potosí, VII= Mar Mexicano, VIII= Fosa de Monterrey, IX= Cuenca de Sabinas.

2.2.1.4 Títoniano a Portlandiano

En este periodo, el arco de Sinaloa fue activo en la provincia del Pacífico Occidental de México influyendo en la deformación contraccional que se propaga hacia el este que produjo cabalgamientos (Tarday, 1977; De Cserna, 1979, 1989; Córdoba et al., 1980; Dickinson, 1981; Servais et al., 1982, 1986; Araujo-Mendieta & Arenas-Partida, 1986). El cabalgamiento de las rocas del Jurásico Tardío produjo el cierre total de la Cuenca Mesozoica de México al oeste y suroeste del bloque de Coahuila, mientras que hacía el norte, la Cuenca Mesozoica de México, así como la depresión de Chihuahua fueron sitios de depositación clástica marinar en gran parte volcanioclástica (Córdoba, 1969; Córdoba et al., 1970, 1980; De Cserna, 1979; González, 1976; Tardy, 1977; Araujo-Mendieta & Arenas-Partida, 1986; Moran-Zenteno, 1994).

Las relaciones de facies regionales en la provincia del Golfo de México están dominadas por una importante trasgresión de segundo orden que ocasionó que los sistemas de rampas carbonatadas precedentes se ahogaran e inundaran con materiales clásticos marinos de grano fino (Salvador, 1987, 1991a, 1991b). Gran parte del Noreste de México se inundó con lutitas marinas de grano fino y limolitas de la Formación La Caja y lutitas de La Formación Pimienta a medida que las facies marinas más profundas se superponían en los altos de los basamentos preexistentes (González-García, 1976; Padilla y Sánchez, 1986; Echánove-Echánove, 1986).

En el Noreste de México, la Formación La Caja es del Kimmeridgiano al Barriasiano Medio, está compuesta por lutitas calcáreas delgadas estratificadas, limolitas, areniscas finas y calizas hacia la base (Fortunato, 1982; Salvador, 1987, 1991a) (Fig. 4). Presenta espesores variables, que oscilan entre los 25 a 150 m (Padilla y Sánchez, 1982). La Formación La Caja se superpone al Arco de Burro-Salado, y en el área de Tampico-Misantla se superpone al Arco de Tamaulipas (Cantú-Chapa, 1992; Todd, 1972; Stone, 1975; González, 1977). El segmento Kimmeridgiano de la Formación La Caja es equivalente a la Formación Olvido, mientras que la parte del Títoniano al Barriasiano Medio es equivalente a la Formación La Casita de edad del Títoniano a Portlandiano.

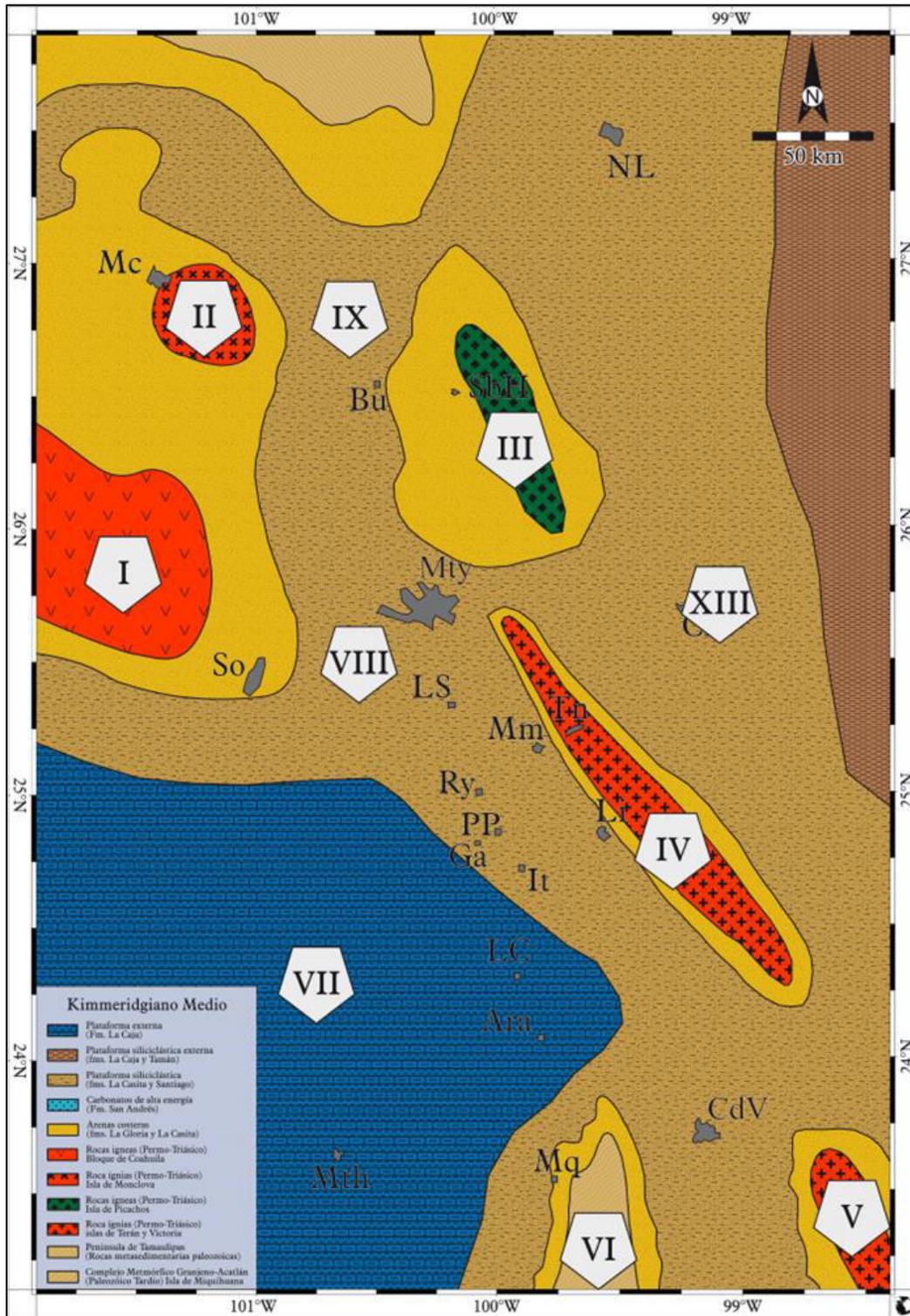


Fig. 4: Distribución del ambiente de deposición durante el Kimmeridgiano Medio según **Jenchen & Ramírez-Fernández (en prensa.)**. Claves: I= Bloque (Isla) de Coahuila, II= Isla de Monclova, III= Isla de Picachos, IV= Isla de Terán, V= Isla de Victoria, VI= Plataforma Valles-San Luis Potosí, VII= Mar Mexicano, VIII= Fosa de Monterrey, IX= Cuenca de Sabinas.

2.2.2 Cretácico Inferior

2.2.2.1 Necomiano

En la provincia del Pacífico Occidental de México en el Cretácico Temprano, el tectonismo relacionado al arco produjo la extensión del tras-arco de la Cuenca Mesozoica de México (Córdoba, 1969; Córdoba et al., 1970). Los sedimentos volcanoclásticos marginales marinos proximales a no marinos, la cubierta superior de la Cuenca Mesozoica de México que flanqueaban la masa de tierra expuesta de Aldama, mientras que la rampa exterior, las lutitas en la parte central de la Cuenca Mesozoica de México.

Localmente, en el Noreste de México la Formación La Casita (Kimmeridgiano Tardío al Hauteriviano) representa la gran afluencia clástica (Stone, 1975; Fortunato, 1982; Fortunato & Ward, 1982; Smith, 1987; Salvador, 1987, 1991a, 1991b; Michalzik & Schumann, 1994). La edad y los espesores de estas rocas varían geográficamente, debido a la función de la proximidad del bloque de Coahuila, de la cual se derivó la mayor parte del material detrítico (Fortunato, 1982).

En el área de Monterrey-Saltillo, La Formación La Casita se subdivide en tres unidades estratigráficas regionalmente que parecen correlacionarse con la sección Norte del Golfo de México, tanto litológicamente como bioestratigráficamente. Estas tres unidades representan etapas principales de progradación y el retroceso de un complejo de abanico-delta. La unidad 1 con espesores de 137 a 148 m, consta de lutitas y limolitas con capas dispersas de pelecípodos. Esta unidad, se interpreta como un depósito pro-delta de una plataforma submareal profunda. La unidad 2 con espesor de 350 m, predominan areniscas de grano fino a grueso con intervalos de conglomerados en la parte inferior y superior. La unidad 3 con espesores de 115 a 310 m, consiste en limolitas y areniscas intercaladas con carbonatos (Fortunato & Ward, 1982).

La Formación Taraises del Cretácico Inferior (Barriasiano Medio a Hauteriviano), se superpone conformemente a la Formación La Caja, donde la distinción entre las dos unidades se basa en la bioestratigrafía (Blausler, 1981). La Formación Taraises presenta espesores que varían de 135 a 500 m lejos del depocentro principal de la Formación La Casita, está constituida por calizas *mudstone* estratificadas, pelágicas, negras, intercaladas con lutitas (Blausler, 1981). Además de fósiles como cocolitos, nanocónidos, calpionélidos y radiolarios.

2.2.2.2 Barremiano a Aptiano Temprano

A mediados del Cretácico Inferior, la Cuenca Mesozoica de México y la depresión de Chihuahua se asociaron en un depocentro al Noreste del bloque de Coahuila debido a la península de Aldama que se hundió y fue cubierta por un alto nivel regional del nivel del mar. Cercano al sistema de arco activo, los sedimentos volcanoclásticos no marinos progradaron hacia el este en lo que anteriormente era la Cuenca Mesozoica de México. Al este de la plataforma los sedimentos volcanoclásticos y al oeste del bloque de Coahuila, las facies se acumularon como carbonatos marinos que formaron un sistema de rampa carbonatada de bajo ángulo (Córdoba, 1969; Córdoba et al., 1970, 1980; De Cserna, 1979; González, 1976; Tardy, 1977; Araujo-Mendieta & Arenas-Partida, 1986; Moran-Zenteno, 1994). En el norte de Chihuahua, los sedimentos clásticos no marinos a marinos marginales se acumularon hacia arriba las zonas menos profundas de la depresión de Chihuahua y se gradaron hacia el sureste en facies carbonatadas marinas someras, que se extendieron hacia la cuenca de Sabinas (González-García, 1973, 1976, 1979, 1984; Padilla y Sánchez, 1978, 1986; Zwanziger, 1978; Márquez, 1979; Aranda-García & Eguiluz de Antuñano, 1983; Eguiluz de Antuñano & Aranda-García, 1983, 1984; Echánove-Echánove, 1986).

En el Noreste de México, la Sierra Madre Oriental está dominada por estratos carbonatados de la Formación Cupido con espesores de 1200 m, de edad Huateriviano al Aptiano Temprano (McFarlan & Stone, 1977; Conklin & Moore, 1977; Wilson & Piali, 1977; Goldhammer et al., 1991). La Formación Cupido se compone de bancos de carbonatos de bajo relieve progresivo que asciende sobre la Formación Taraises y al equivalente de la cuenca de la Formación Cupido y la Formación Tamaulipas inferior. La parte superior de la Formación Cupido está marcada por lutitas superpuestas de la Formación La Peña y de carbonatos arcillosos, que cubren el banco de Cupido (Tinker, 1982).

Autores como Conklin & Moore (1977), Wilson & Piali (1977); Wilson (1981); Selvius (1982), Wilson & Selvius (1984) realizaron un modelo generalizado de las facies de la plataforma a cuenca que indica que la Formación Cupido presenta 6 litofacies. Estos son: 1)

- 1) Capas delgadas, pelágicas arcillosas y calizas en ambiente de cuenca, hasta 400 m de espesor;
- 2) Capas gruesas, *wackestone* a *packstone* de intraclastos-bioclastos;

- 3) *Packstone* masivo dominados por rudistas y corales, *grainstone* y *boundstone* con estromatopóridos, con hasta 250 m de espesor;
- 4) Esqueletal cruzado a peloidal, *packstone* a *grainstone* con ooides y oncolitos;
- 5) Capas delgadas, *mudstone* y *packstone* con láminas de criptoalgas y evidencia de evaporitas
- 6) Capas medianas, negras, foraminíferos peloidales, *wackestone* y *packstone* con pelecípodos y algas verdes. Las unidades del 1 al 5 indica la sucesión de reducción y progradación a gran escala, y la unidad 6 representa la relativa profundización e inicio de la retrogradación sobre el banco de Cupido.

Tamaulipas Inferior (Huateriviano Tardío a Aptiano Temprano) es el equivalente de la cuenca de la Formación Cupido y esta aflora principalmente al sur y este del área de Monterrey-Salttillo (Smith, 1981; Wilson & Selvius, 1984). Consiste alrededor de 600 m de capas delgadas a medianas de color gris oscuro a negro. Presenta fauna pelágica de radiolarios, nanocónidos, cocolitos y escasos moluscos y equinodermos (Ross, 1981). Se interpreta como un depósito pelágico en un entorno de cuenca disaeróbico tranquilo a profundidades de 50 a 150 m (Wilson, 1969; Byers, 1977; Ross, 1981).

2.2.2.3 Aptiano Medio a Tardío

En la provincia del Pacífico Occidental de México en este intervalo de tiempo, las tendencias principales de facies delimitadas para el Barremiano al Aptiano Temprano son similares a las rocas del Aptiano Medio al Tardío. Proximal al arco de Sinaloa, los sedimentos volcanoclásticos flanquearon el depocentro del borde occidental del Pacífico Occidental de México, lo que provocó un cambio de las facies hacia el sur en calizas (*mudstone*) y lutitas, y hacia el norte en carbonatos de aguas someras (Córdoba et al., 1980; Tóvar-Rodríguez, 1981; Cuévas-Pérez, 1983; Cuévas-Pérez et al., 1985; Limon, 1989; Servais et al., 1986).

El bloque de Coahuila hacia el sureste, se producen acumulaciones de carbonatos dentro de la parte basal de la Formación La Peña. El bloque de Coahuila estuvo inundado y algunas partes poco profundas del bloque se convirtieron en sitios de depositación de carbonatos restringidos. En la parte sur de Tampico-Misantla, la extensión del área de las plataformas Tuxpan, El Doctor y San Luis Potosí disminuyó a medida que retrogradaban (McFarlan & Menes, 1991).

En el área de Monterrey-Salttillo, La Formación La Peña se correlaciona con el Norte del Golfo que en conjunto forman parte el Grupo Pearsall (McFarlan & Stone, 1977; Tinker, 1982). La Formación La Peña cubre a la Formación Cupido, preservando el relieve topográfico que es subyacente al final del tiempo de depósito. Tinker (1982) muestra que el control bioestratigráfico indica un “onlap” progresivo en los sedimentos de la Formación La Peña sobre la unidad Cupido de la Formación Cupido. La Unidad presenta espesores que varían desde pocos metros hasta 200 m, dependiendo del relieve depositacional de la Formación Cupido.

2.2.2.4 Albiano

En el Albiano, la provincia del Pacífico Occidental de México fue el sitio de una plataforma carbonatada marina abierta que se extendió hacia el noreste a través de la cuenca de Salina del este de Texas (Cordoba, 1969; Tóvar-Rodríguez, 1981; Enos, 1983; McFarlan & Menes, 1991; Cantú-Chapa et al., 1985; Winker & Buffler, 1988). Hacia el oeste, el arco de Alisitos y los sedimentos volcánoclasticos se desprendieron de este cinturón hacia el este, cubriendo la cuenca de tras-arco del Albiano (Dickinson, 1981).

La Formación Aurora marca la segunda fase principal del desarrollo de la plataforma carbonatada del Cretácico en el Noreste de México (Wilson, 1975; Smith, 1981). Los carbonatos de la Formación Aurora se depositaron en una rampa carbonatada de bajo ángulo con buzamiento suave que bordeaba al bloque de Coahuila en la cuenca sur de Sabinas (Smith, 1981). La Formación Aurora se superpone a la Formación La Peña y es discordante de la Formación Cuesta del Cura.

La Formación Tamaulipas Superior del Albiano con espesores de 100 a 200 m, es equivalente de la cuenca de la Formación Aurora y se correlaciona con la Formación Atascosa en el sur de Texas (McFarlan & Stone, 1977; Smith, 1981; Ross, 1981). Consiste en capas delgadas y gruesas, *mudstone* a *wackestone* pelágicos, interpretadas como depósitos fuera de la rampa de aguas profundas. La parte superior de la Formación está marcada por un conglomerado que contiene clastos cementados derivados de las litologías de la Formación Aurora (Ross, 1981).

2.2.3 Cretácico Superior

2.2.3.1 Cenomaniano

Al comienzo del Cretácico Superior, se inundaron las provincias del Pacífico Occidental y el Golfo de México mediante un evento de elevación eustático de primer y segundo orden que conectó el Golfo de México con el Mar Cretácico del interior Oeste (*Wester interior Cretaceous Seaway*) de los Estados Unidos (McFarlan & Menes, 1991).

En el Noreste de México y el Sur de Texas a nivel local se establecieron acumulaciones de “*pinnacles*” de esas Albiano Tardío- Cenomaniano Temprano debido a la trasgresión marina general en la región.

En el área de Monterrey-Saltillo, las facies de cuenca están representadas por afloramientos de la Formación Cuesta del Cura, con edad el Albiano Tardío al Cenomaniano y consiste en carbonatos pelágicos, calizas y lutitas que se acumularon frente a plataformas del Cretácico Medio y bordeadas de arrecifes. En los afloramientos del Noreste de México, se conforma alrededor de 60 m de capas delgadas y gruesas, *wackestone* a *packstone* de calizas intercaladas con lutitas y pocos litoclastos y conglomerados.

La Formación Indidura de edad del Cenomaniano a Santoniano contiene dos miembros: Agua Nueva y San Felipe. Este paquete de depósitos pelágicos tiene espesores que varían de 300 a 400 m, y consiste en *mudstone* a *wackestone* de calizas pelágicas, intercaladas con lutitas que cubren toda el área suroeste del Golfo de México (Goldhammer, 1999).

2.2.3.2 Maastrichtiano

Al final del Cenomaniano y a lo largo del Maastrichtiano, las relaciones paleogeográficas y facies en las provincias del Pacífico Occidental de México y del Golfo de México ocurrió un cambio drástico producto de la fase diacrónica de la deformación Laramide (De Cserna, 1989; Sedlock et al., 1993; Moran-Zenteno, 1994), que es responsable de las relaciones estructurales actuales dentro del área de Monterrey-Saltillo. En el Noreste de México, las cuencas de antepaís del Maastrichtiano se desarrollaron frente a la Sierra Madre, tales como: El área de Sabinas-Olmos y las cuencas de La Popa y Parras (Weidie & Murray, 1967; González-García, 1976; Padilla y Sánchez, 1986; Soegaard et al., 1997).

3 Metodología

3.1 Introducción

Durante el trabajo de campo se realizó un muestreo en las rocas carbonatadas en el cual se seleccionó el sitio de muestreo a cada cambio de textura debido a que algunos de los afloramientos se encontraban deformados. Además, se levantaron columnas estratigráficas en base a los datos estratigráficos y recolectando un total de 28 muestras destinadas para los análisis geoquímicos y petrográficos.

En este capítulo se describe las metodologías empleadas para la preparación de las muestras de las rocas carbonatadas de las formaciones Novillo, Olvido y Zuloaga. Estas técnicas incluyen: preparación de las muestras para los análisis geoquímicos y petrográficos. En los análisis geoquímicos se buscó que las muestras no tuvieran fracturas y estilolitas por lo que se empleó la técnica del escaneo. En cambio en los análisis petrográficos se utilizó de igual manera el escaneo con la intención de observar la textura de las rocas y de la presencia de microfósiles.

3.2 Análisis geoquímicos

3.2.1 Preparación de las muestras

Las muestras se analizaron en los laboratorios de ACME de Vancouver Canadá. Los elementos mayores se analizaron por medio de Espectrometría de Emisión Óptica con plasma acoplado por inducción (ICP-OES). Además, los 46 elementos trazan y el grupo de elementos de Tierras Raras (REE), se analizaron por Espectrometría de Masas con plasma acoplado por inducción (ICP-MS), y el valor del CO₂ se analizó por LECO.

La preparación de muestras para geoquímica se realizó en el laboratorio de Preparación de la Facultad de Ciencias de la Tierra de la Universidad Autónoma de Nuevo León. El procedimiento se describe a continuación:

- 1) Las muestras fueron cortadas a la mitad por una cortadora de disco de diamante con el fin de obtener un lado de la muestra para después ser pulido.

- 2) Se selecciona una de las caras para ser pulidos en un disco giratorio con agua y utilizando un abrasivo de carburo de silicio de malla 240, con la finalidad de eliminar las impurezas ocasionadas por el disco diamantado.
- 3) Se cubrió una de las superficies pulidas con aceite llamado glicerina con la finalidad de humectar a la muestra para después ser colocada en un acetato y ser escaneadas en una impresora EPSON L360.
- 4) Se utilizó el programa de Photoshop para editar las imágenes que resultaron del escaneo para encontrar la zona más propicia libre de estilolitas y fracturas.
- 5) Se seleccionó el sitio libre de estilolitas y fracturas para obtener un prisma rectangular para después ser etiquetadas con la clave de las muestras.

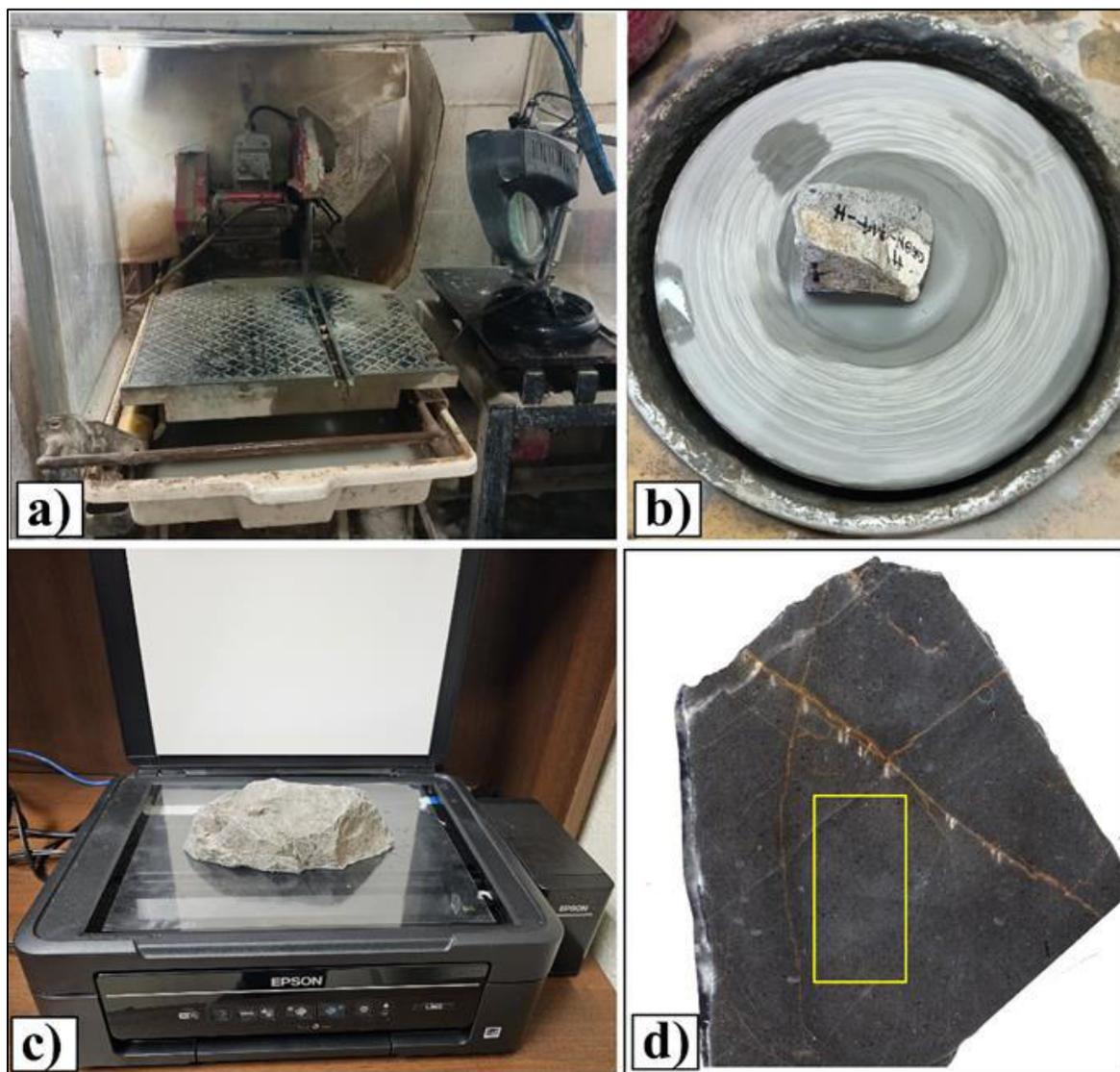


Fig. 5: Técnicas utilizadas para la selección de muestras; a) Cortadora con disco diamantado, b) disco giratorio con la aplicación del abrasivo para pulir una cara de la muestra y eliminar las impurezas, c) escaner de la impresora EPSON L360, utilizada para el escaneo de todas las muestras recolectadas y d) muestra GEBN-H2 escaneada y editada con photoshop, donde se muestra la presencia de fracturas y estilolitas, el rectángulo amarillo indica el lugar donde fue extraído un bloque para ser enviado a los análisis geoquímicos.

3.3 Análisis petrográficos

3.3.1 Preparación de las muestras

Para el análisis petrográfico se reunió un total de 28 muestras representativas con la finalidad de clasificarlas en base a sus características texturales. La preparación de las láminas delgadas se

realizó en el Laboratorio de Preparación de la Facultad de Ciencias de la Tierra de la Universidad Autónoma de Nuevo León. La preparación de láminas delgadas consiste en los siguientes pasos:

- 1) Cortar un fragmento de roca para formar un prisma rectangular con dimensiones aproximadas de 3 x 2 x 2 cm, con una cortadora de disco diamantado.
- 2) Se selecciona una de las superficies para ser pulidas con abrasivo humedecido en agua; para eliminar las impurezas ocasionadas por el disco diamantado.
- 3) Después se pega la superficie pulida a un portaobjetos de vidrio con una resina epóxica, el siguiente paso consiste en desgastar y pulir la superficie, hasta que resulte casi transparente y dejando un espesor de 30 μm , se cubre la superficie desgastada con un cubreobjetos de vidrio pegándolo con la misma resina.
- 4) El análisis petrográfico se realizó utilizando un microscopio de luz polarizada Leica DM2700P, en el cual se adaptó una cámara fotográfica Leica MC170 HD para la toma de las fotomicrografías.

4 Geología local

4.1 Introducción

A partir de un reconocimiento estratigráfico realizado en las diversas áreas de estudio se identificaron tres unidades sedimentarias carbonatadas, de la secuencia marina mesozoica de la Sierra Madre Oriental, cuyas edades son del Jurásico Tardío. Las rocas sedimentarias jurásicas se dividen en: Formación Novillo, Olvido y Zuloaga. Además, se identificó subyaciendo y sobreyaciendo a las formaciones Minas Viejas y La Casita en la localidad el Cañón La Huasteca, Rayones y La Poza, el Complejo Granjeno, La Joya y La Casita en Aramberri, N.L. Las unidades carbonatadas se distribuyen entre los estados de Nuevo León y Tamaulipas; la Formación Novillo se localiza en Aramberri, Nuevo León, la Formación Olvido aflora en El Cañón Peregrina, Tamaulipas y la Formación Zuloaga en el Cañón La Huasteca, Rayones y La Poza, Nuevo León.

A continuación, se describen a detalle las unidades litológicas que afloran en las áreas de estudio.

4.2 Estratigrafía de las áreas de estudio

4.2.1 Cañón La Huasteca, Santa Catarina, Nuevo León

En el Cañón La Huasteca las rocas de la Formación Zuloaga afloran en forma de lomeríos en el núcleo del anticlinal los Muertos. La litología consiste en calizas gruesas a masivas que van de *mudstone* a *grainstone* de color gris claro en una serie de estratos que varían entre 80 a 120 cm, las cuales presentan estructuras de nódulos de pedernal con coloraciones grises y negros, además con estilolitas. La unidad exhibe un rumbo de 110° y buzamiento de 90° (Fig. 6a).

El contacto entre las formaciones Zuloaga y Minas Viejas está totalmente cubierto por depósitos aluviales jóvenes, por lo que fue imposible de reconocer este contacto en esta localidad, mientras que el contacto con la Formación La Casita se encontraba parcialmente cubierto por depósitos aluviales cuaternarios.

La Formación la Casita se compone principalmente de lutitas laminares con estratos delgados a medianos que varían entre 5 a 20 cm de color crema en muestra fresca y color café oscuro al encontrarse intemperizada, con fracturas rellenas de calcita y óxidos que le otorgan una coloración

rojiza a amarillenta en algunos sectores. Además, se intercala con pequeños horizontes de lutitas color gris claro, areniscas de grano fino y esporádicas calizas de color gris oscuro (Fig. 6b). Esta unidad no mostró contenido fósil evidente como sucede en otras localidades (*p.ej.*, La Poza).

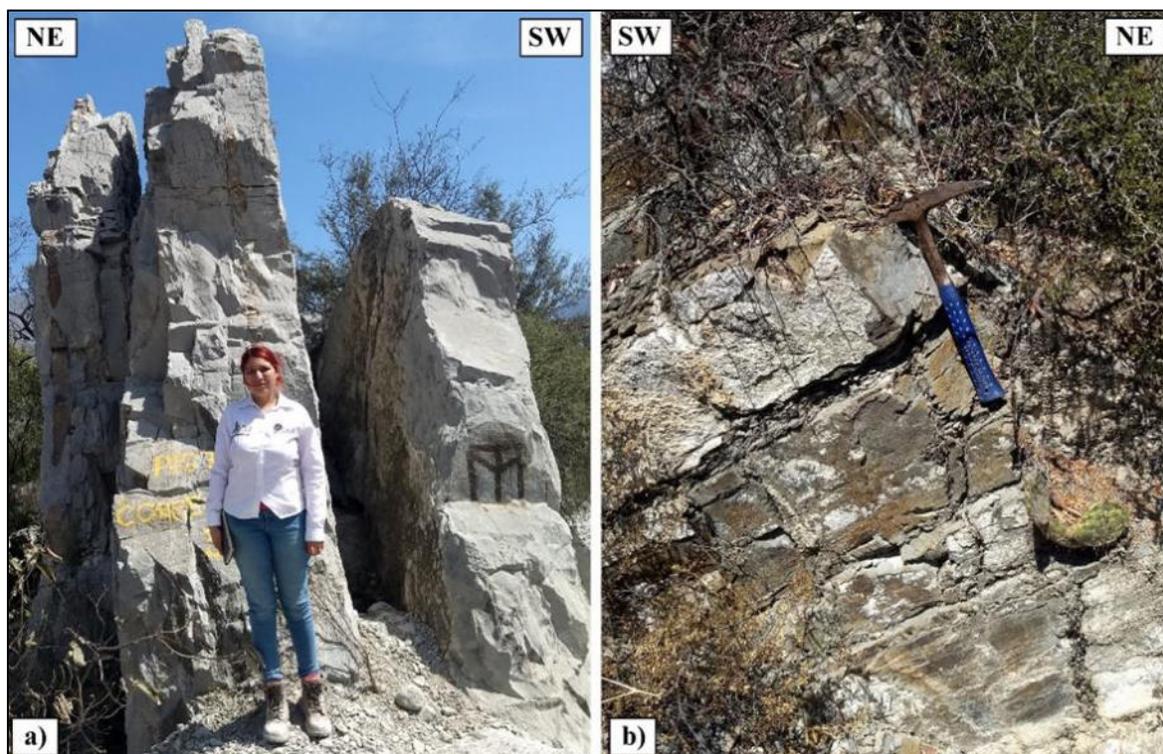


Fig. 6: Cañón La Huasteca, Santa Catarina, Nuevo León: (a) Calizas de la Formación Zuloaga, donde se observa las capas de calizas gruesas a masivas con nódulos de pedernal y estilolitas; b) Lutitas de la Formación La Casita.

4.2.2 Rayones, Nuevo León

En la región de Rayones, N.L, se realizó un reconocimiento geológico en el núcleo del anticlinal Ciprián en el que, la estratigrafía reconocida se restringe a las calizas de la Formación Zuloaga. Esta unidad aflora de forma masiva sobre un corte de carretera, ubicado cinco kilómetros antes de llegar a la comunidad de Rayones.

En general, las calizas consisten en un *grainstone* de capas gruesas a masivas con estratos de hasta 1.5 metros de espesor, de color gris claro a gris oscuro cuando esta intemperizada, es una unidad dominada por fracturas y vetas rellenas de calcita asociadas probablemente a su actitud estructural en el pliegue, tal como sucede en otras localidades (*p.ej.*, La Poza) (Fig. 7a). Las calizas no presentaron contenido fósil macroscópico además a esto, el estado de las calizas dificultaba la selección de las muestras para petrografía y geoquímica (Fig. 7b).

El contacto con otras unidades no se documentó debido a la actitud estructural de las calizas Zuloaga y por la cubierta aluvial que cubría a la unidad tanto en la base como en la cima. Sin embargo, en imágenes satelitales se pudo identificar su contacto con la Formación La Casita, lo que se corroboró con la información geológica disponible para esta región (p.ej., SGM, 2008).



Fig. 7: Rayones, Nuevo León: a) Afloramiento de calizas masivas de la Formación Zuloaga con múltiples fracturas y un intemperismo alto; b) Calizas color gris claro con fracturas rellenas de calcita.

4.2.3 La Poza, Galeana, Nuevo León

En la región de La Poza, en el núcleo de un anticlinal Paso Blanco, se pudo identificar a las formaciones Minas Viejas, Zuloaga y Casita en un contacto normal-transicional. Las evaporitas de la Formación Minas Viejas consisten en un depósito de yeso masivo de forma irregular y frecuentes bancos de caliza lacustre color gris claro (Fig. 8a). Superficialmente los yesos presentan un color gris oscuro a blanco grisáceo y con textura terrosa. La Formación Minas Viejas presenta cambios litológicos a medida que se acerca a la base de la Formación Zuloaga, por lo que el material se hace más arcilloso con horizontes de margas a calizas.

La Formación Zuloaga presenta calizas que van de *mudstone* a *grainstone* en capas masivas de color gris oscuro con la presencia de pedernal, estilolitas y fracturas rellenas de calcita (Fig. 8b).

En este punto se observó una falla que produjo una zona de brecha, con clastos angulosos a subangulosos, por lo que las calizas se encuentran fuertemente fracturadas. La falla en la Formación Zuloaga exhibe un rumbo de 160° y un buzamiento de 85° hacia el SE.

Sobreyaciendo a las Formación Zuloaga se encuentra el miembro inferior de la Formación La Casita y está conformada por lutitas de color gris claro que se intemperiza a color amarillo a ocre, que se encuentra laminada, foliada con horizontes calcáreos y concreciones de calizas con contenido fósil de amonites (Fig. 8c). Los espesores de las calizas varían de 9 a 12 cm mientras que los espesores medidos en las concreciones son entre 10 a 30 cm (Fig. 8d).

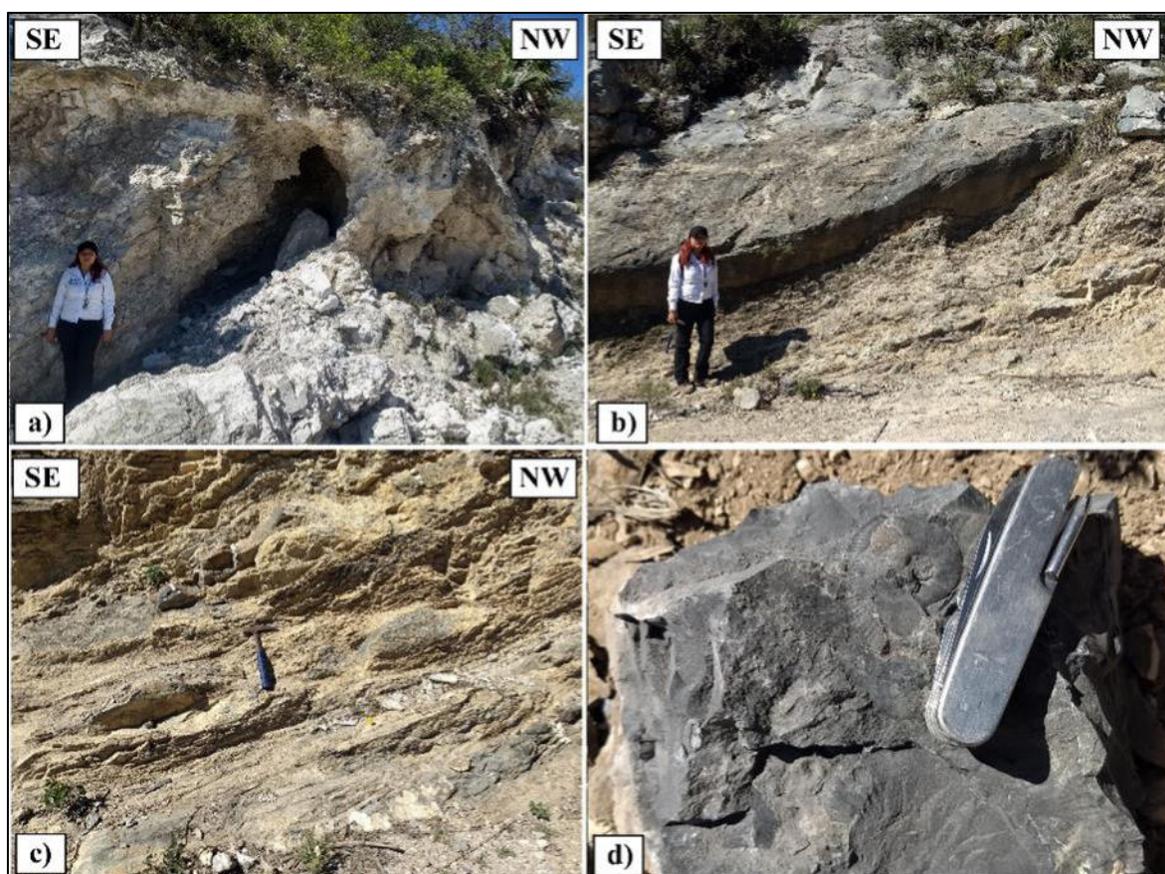


Fig. 8: La Poza, Galeana, Nuevo León: a) Facies de yesos y calizas lacustres de la Formación Minas Viejas; b) Contacto entre las calizas masiva de la Formación Zuloaga y las lutitas de la Formación La Casita; c) Intercalación de lutitas y calizas arcillosas de la Formación La Casita; d) Ejemplo del contenido fósil encontrado en La Casita, donde se observa una concreción calcárea con amonites de diferentes tamaños.

4.2.4 Aramberri, Nuevo León

En la región de Aramberri, N.L., se levantaron dos columnas estratigráficas: la primera, cerca de la localidad La Escondida en el Valle del Contadero. Se reconocieron tres unidades en contacto

normal: Complejo Granjeno (Esquisto Granjeno; Carbonífero), La Joya (Jurásico Medio) y Novillo (Jurásico Tardío) (Fig. 9a), la segunda, cerca del Mezquital y el Cerro de la Cruz. Se reconocieron dos unidades: La Formación Zuloaga y Méndez en contacto tectónico por una falla inversa.

La estratigrafía del Valle del Contadero comienza con la unidad más antigua, el Complejo Granjeno (Pensilvánico), el cual forma parte de las rocas metamórficas pertenecientes al Complejo Granjeno (Fig. 9b). La litología que puede presentar esta unidad es muy variada, se pueden encontrar: metapelitas, metapsamitas, cuarcitas, metaconglomerados, rocas metavolcánicas y esquistos de talco (Rivera-García, 2017).

El esquisto se encuentra en contacto por discordancia angular con la Formación La Joya, la que, consiste en sucesiones siliciclásticas como los conglomerados en la base, con clastos de rocas ígneas, los cuales cambian gradualmente a calizas arcillosas y areniscas de grano fino color ocre, lutitas y margas que subyacen a calizas de la Formación Novillo (Fig. 9c). Las calizas Novillo se clasifican como calizas *mudstone* a *wackestone*, de color gris claro al intemperismo y gris oscuro a gris azulado en muestra fresca, con espesores medianos a gruesos hasta masivos en algunos casos.

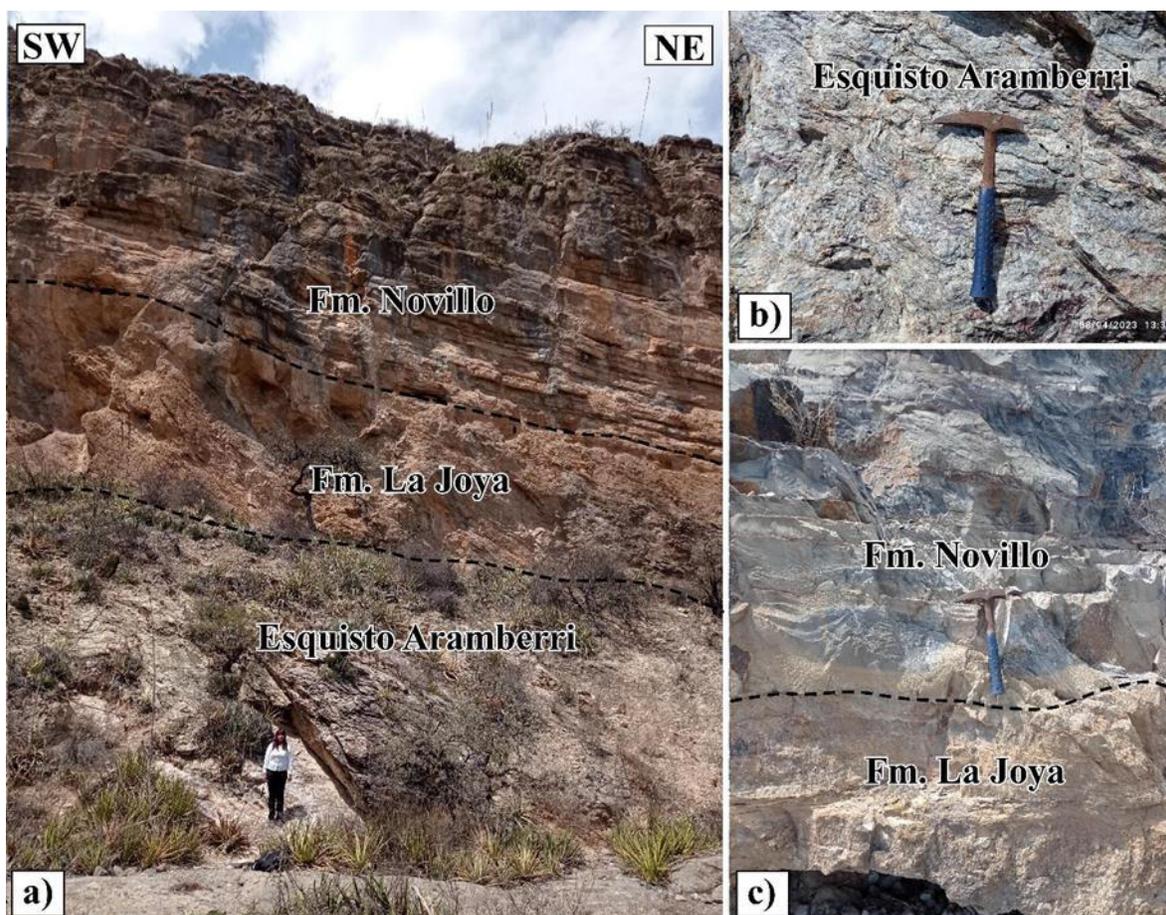


Fig. 9: Aramberri, Nuevo León: a) Contacto litológico entre El Esquisto Aramberri (Esquisto Granjeno), Formación La Joya y Novillo; b) Afloramiento del Esquisto Aramberri; c) Contacto de las calizas Novillo y el conglomerado de la Joya.

La unidad más antigua para la segunda columna son los paquetes calcáreos de la Formación Zuloaga (Fig. 10a). En general, las calizas de esta unidad se clasifican como *grainstone* a *boundstone*, de estratificación gruesa a masiva con capas de hasta 2 m de espesor, de coloración gris claro a gris oscuro con estilolitas, fracturas rellenas de calcita y esporádicas carpetas de algas (Fig. 10b).

El contacto superior de la Formación Zuloaga es normal, cambia a las sucesiones siliciclásticas de la Formación La Casita, mientras que el contacto inferior es a través de una falla inversa, donde el bloque levantado son las calizas Zuloaga que cabalga a las lutitas calcáreas de la Formación Méndez (Fig. 10c). Esta relación de falla no se estudió a detalle, sin embargo, este tipo de estructuras es típica del cinturón de pliegues y cabalgaduras de la Sierra Madre Oriental.

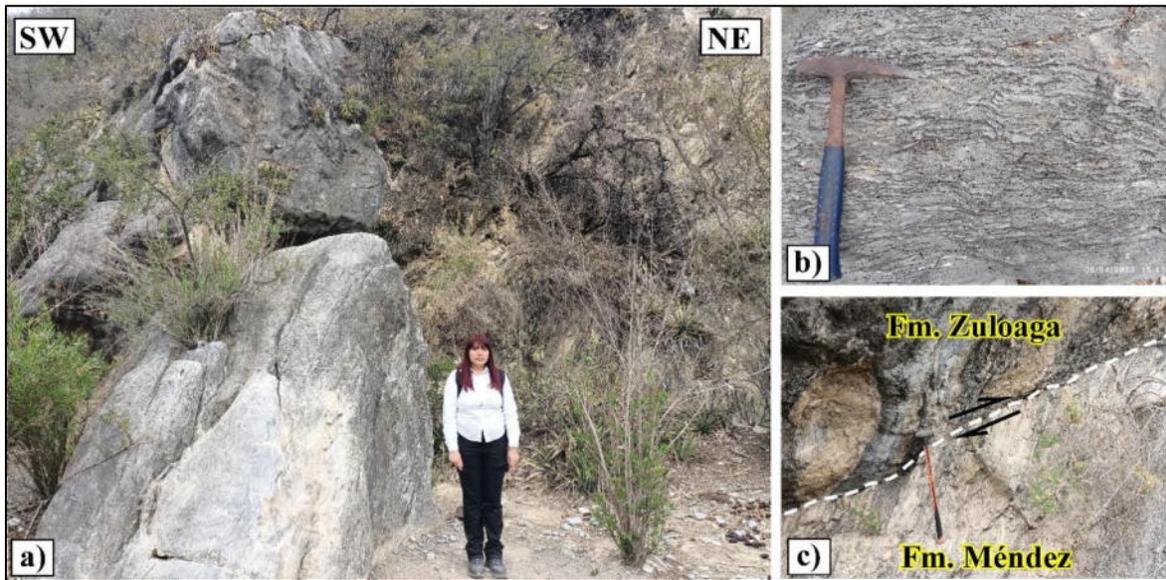


Fig. 10: Aramberri, Nuevo León: a) Afloramiento de calizas masivas de la Formación Zuloaga; b) Carpetas de algas en la Formación Zuloaga; c) Contacto tectónico por falla entre la Formación Zuloaga y Formación Méndez.

4.2.5 Cañón Peregrina, Cd. Victoria, Tamaulipas

El perfil estratigráfico se realizó en el Cañón Peregrina, sobre el Arroyo San Felipe. La litología reportada representa la parte superior de la Formación Olvido, específicamente el miembro calcáreo (Fig. 11a), el cual consiste principalmente en calizas puras de color gris claro a gris oscuro en muestra fresca que al intemperismo presenta colores ocres a gris verdoso con presencia de microfósiles de gasterópodos, de estratos medianos a gruesos de estratificación ondulosa de ~ 40 cm de ancho y frecuentes estilolitas paralelas a los planos de estratificación (Fig. 11b). En la base del perfil las calizas se van convirtiendo a calizas dolomíticas. Esta unidad se clasifica como *grainstone* a *dolostone* de gasterópodos y fragmentos de pelecípodos (Fig. 11c).

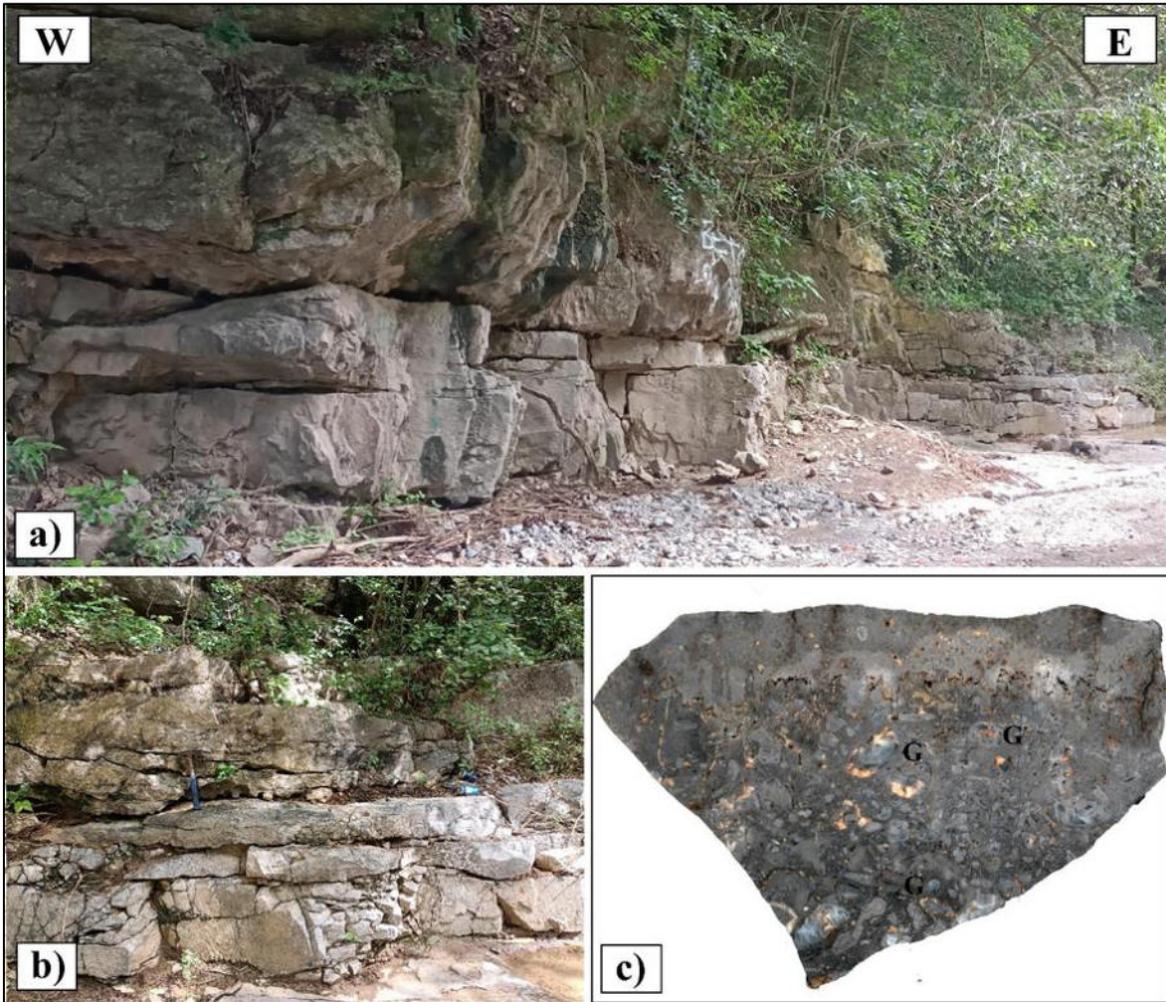


Fig. 11: a) Aspecto general de Formación Olvido; b) Calizas color ocre en capas con estratificación ondulosa; c) Escáner de una caliza de tipo *grainstone* con gasterópodos (G).

4.3 Descripción de los perfiles estratigráficos

4.3.1 Perfil Cañón La Huasteca, Santa Catarina, Nuevo León

El perfil estratigráfico se levantó desde la base hacia el techo de acuerdo con sus características litológicas y a cada cambio de textura de las rocas (Fig. 12).

La sección de la base de la Formación Zuloaga entre los primeros 20 m, está conformada por calizas masivas que varían desde *mudstone* a *grainstone* de peloides de color gris claro con abundantes nódulos de pedernal de color negro.

En cuanto a la sección del techo entre los 20 m a 40 m presenta calizas masivas con nódulos de pedernal de *grainstone* de ooides, fragmentos de pelecípodos, peloides e intraclastos.

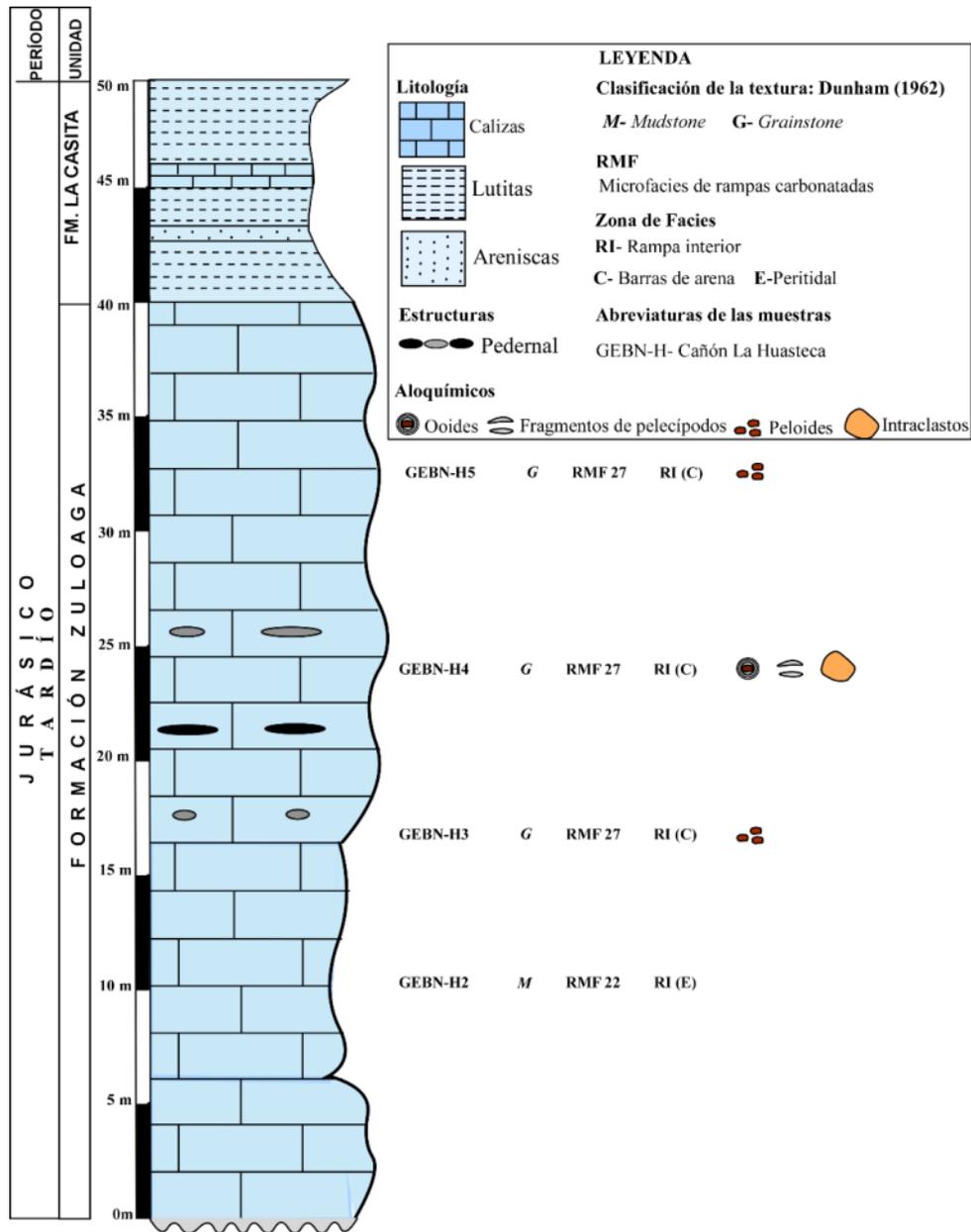


Fig. 12: Columna estratigráfica de la Formación Zuloaga, en la localidad Cañón La Huasteca, Santa Catarina, Nuevo León. Se observan las litologías que presenta la Formación, así como las texturas y contenido microfacial.

4.3.2 Perfil Rayones, Nuevo León

La sección basal de la Formación Zuloaga (0 a 50 m) está conformada por estratos de carbonatos gruesas a masivas que presentan un alto contenido micropaleontológico (0 a 150 m) de color gris claro a gris oscuro. Estas rocas contienen bioclastos (*grainstone* de ooides, *Favreina* sp. y pellets).

Por otro lado, la sección media del perfil estratigráfico (50 a 100 m) está constituida por carbonatos de *grainstone* de ooides, *Favreina sp.* y pellets, compartiendo los mismos bioclastos que la parte basal.

Por último, la sección del techo (100 a 150 m) está compuesta por calizas masivas de color gris claro con mayor abundancia en bioclastos. En comparación con la parte basal y media aparece por primera vez los foraminíferos bentónicos (Fig. 13).

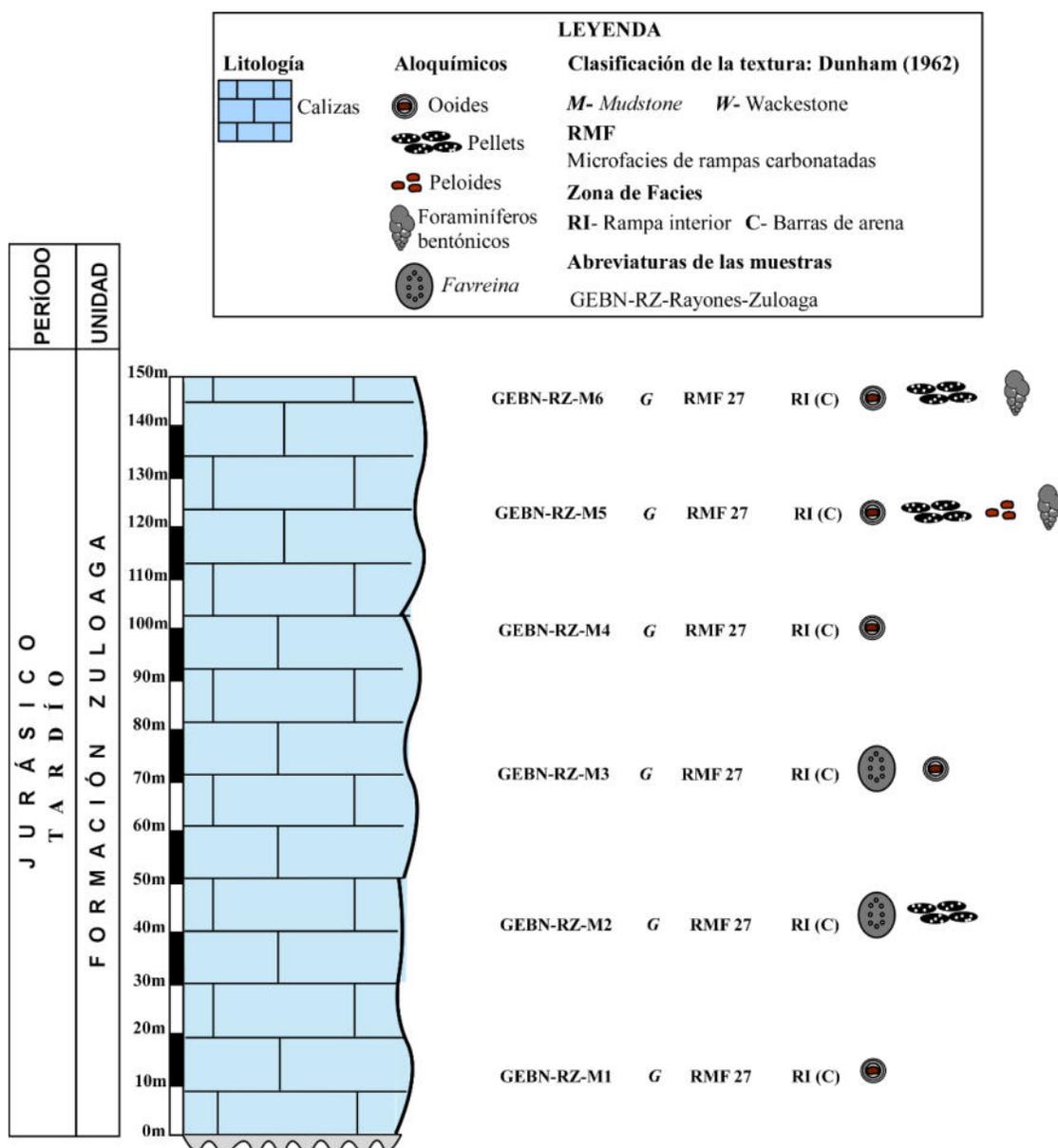


Fig. 13: Columna estratigráfica de la Formación Zuloaga , ubicada en la localidad Rayones, Nuevo León. Se puede observar la litología que la conforman además de la textura y su contenido microfacial.

4.3.3 Perfil La Poza, Galeana, Nuevo León

La sección de la Formación Zuloaga está formada por calizas masivas de color gris oscuro. A partir de los 10 a 25 m aparece por primera vez algas verdes, particularmente de *Acicularia* sp. con la presencia de bioclastos de ooides, pellets, fragmentos de pelecípodos, *Favreina* sp. e intraclastos que se encuentran grano-soportados.

En la sección que se acerca al techo de la formación entre los 25 a 40 m la textura varía de *mudstone* a *grainstone* de ooides, pellets y *Favreina* sp. en comparación con la sección de la base ya que esta presenta solo *grainstone*.

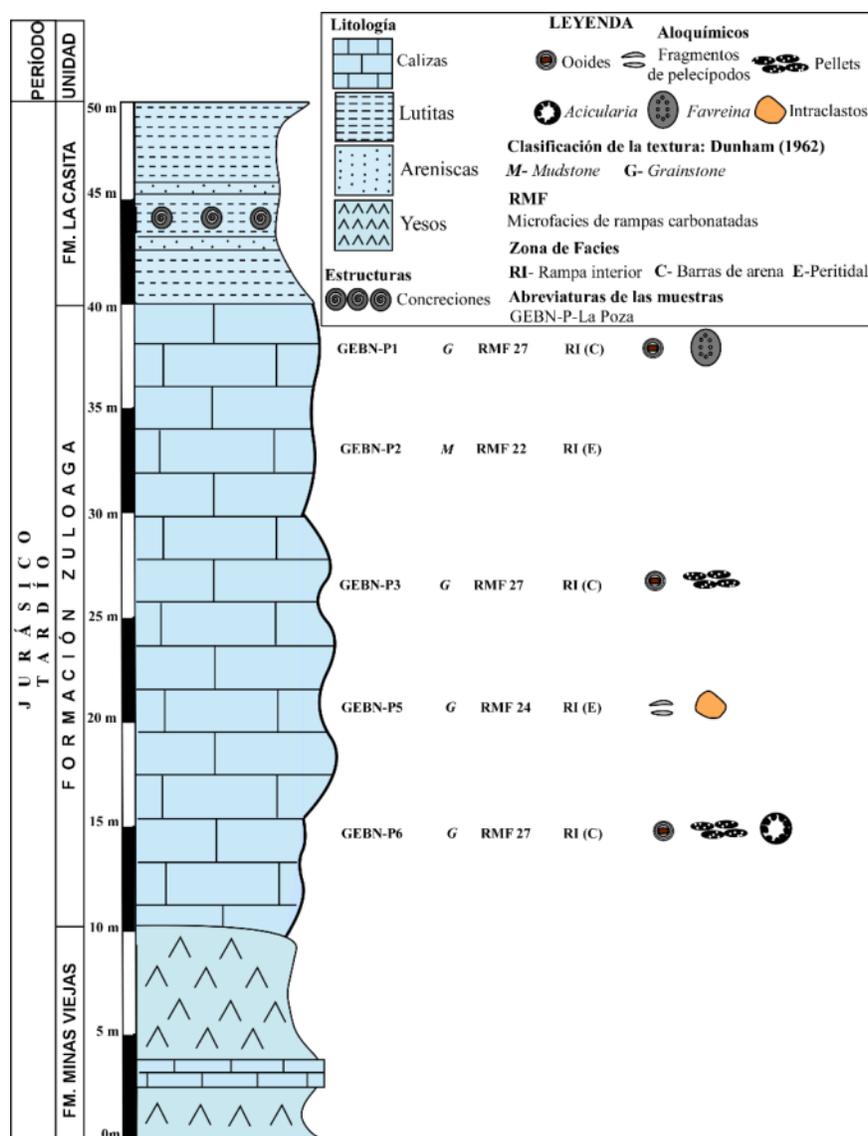


Fig. 14: Columna estratigráfica de la Formación Zuloaga en La Poza, Galeana Nuevo León. Se contemplan las litologías y el análisis microfacial.

4.3.4 Perfil Aramberri, Nuevo León

4.3.4.1 Formación Novillo

La sección de la base y media de la Formación Novillo (0 a 25 m) se compone de calizas de *mudstone*. A partir de los 10 a 15 m se mantiene la misma textura pero aparecen granos no esqueléticos de *Favreina* sp. En cambio, en la sección del techo (25 a 45 m) las texturas cambian de *mudstone* a *wackestone* de pellets.

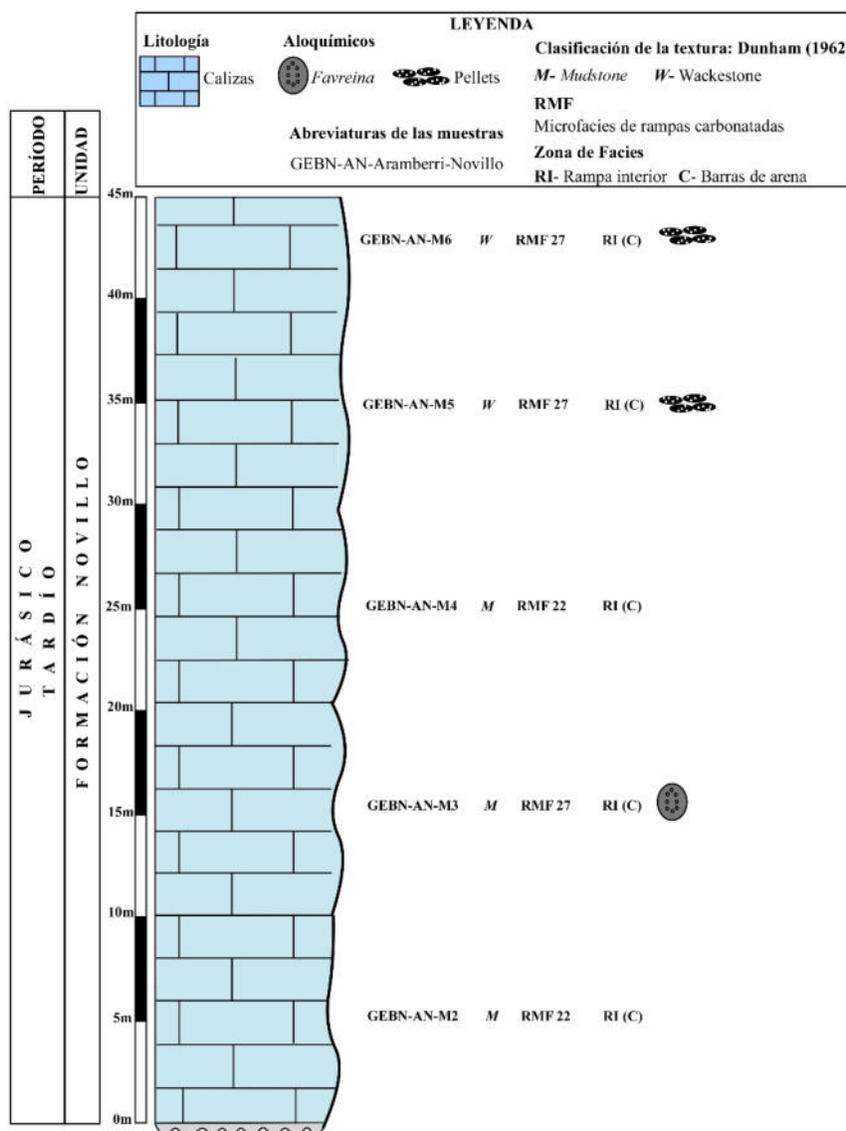


Fig. 15: Columna estratigráfica de la Formación Novillo, Aramberri, Nuevo León. Se contempla la litología y el análisis microfacial.

4.3.5 Formación Zuloaga

La Formación Zuloaga está formada por calizas de estratificación gruesas a masivas con capas de 2 m de espesor de color gris claro a oscuro. En la sección de la base (0 a 20 m) se compone de *grainstone* de ooides, fragmentos de pelecípodos y pellets.

En la parte media de la sección (20 a 35 m) se encontró biota compuesta por carpetas algales. Por último la sección del techo (35 a 50 m) está conformada por *grainstone* de pellets.

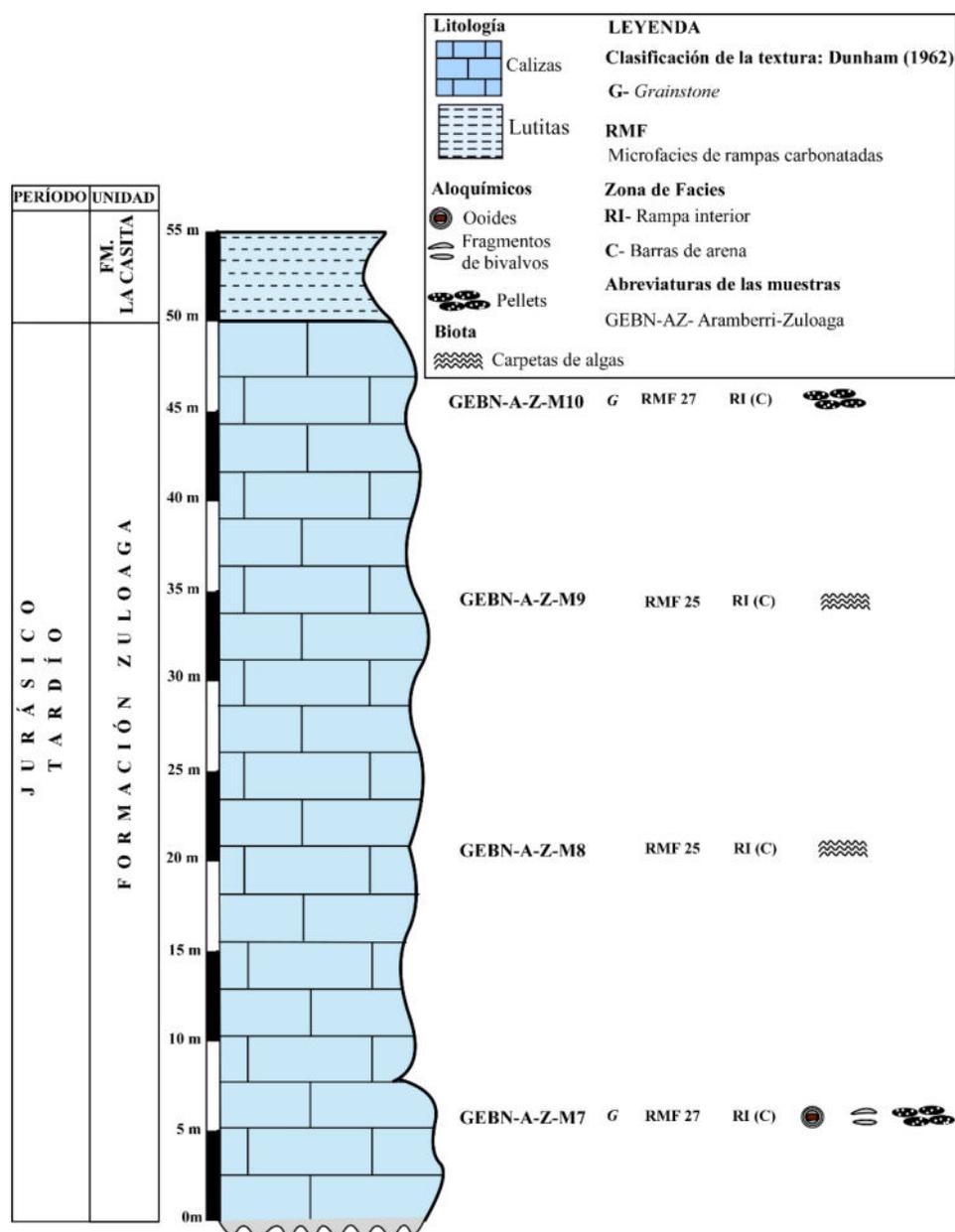


Fig. 16: Columna estratigráfica de la localidad Aramberri, Nuevo León, en la Formación Zuloaga en la cual se expone las litologías que presenta así como su análisis microfásico.

4.3.6 Perfil Cañón Peregrina, Cd. Victoria, Tamaulipas

La Formación Olvido en la sección basal (0 a 10 m) se presentan calizas dolomíticas. Por otro lado, en la sección media (10 a 20 m) se compone calizas puras de color gris claro a oscuro de *grainstone* con bioclastos de gasterópodos, pellets y peloides.

En la sección del techo (20 a 30 m) está compuesta por calizas de *grainstone* de fragmentos de pelecípodos, pellets y peloides.

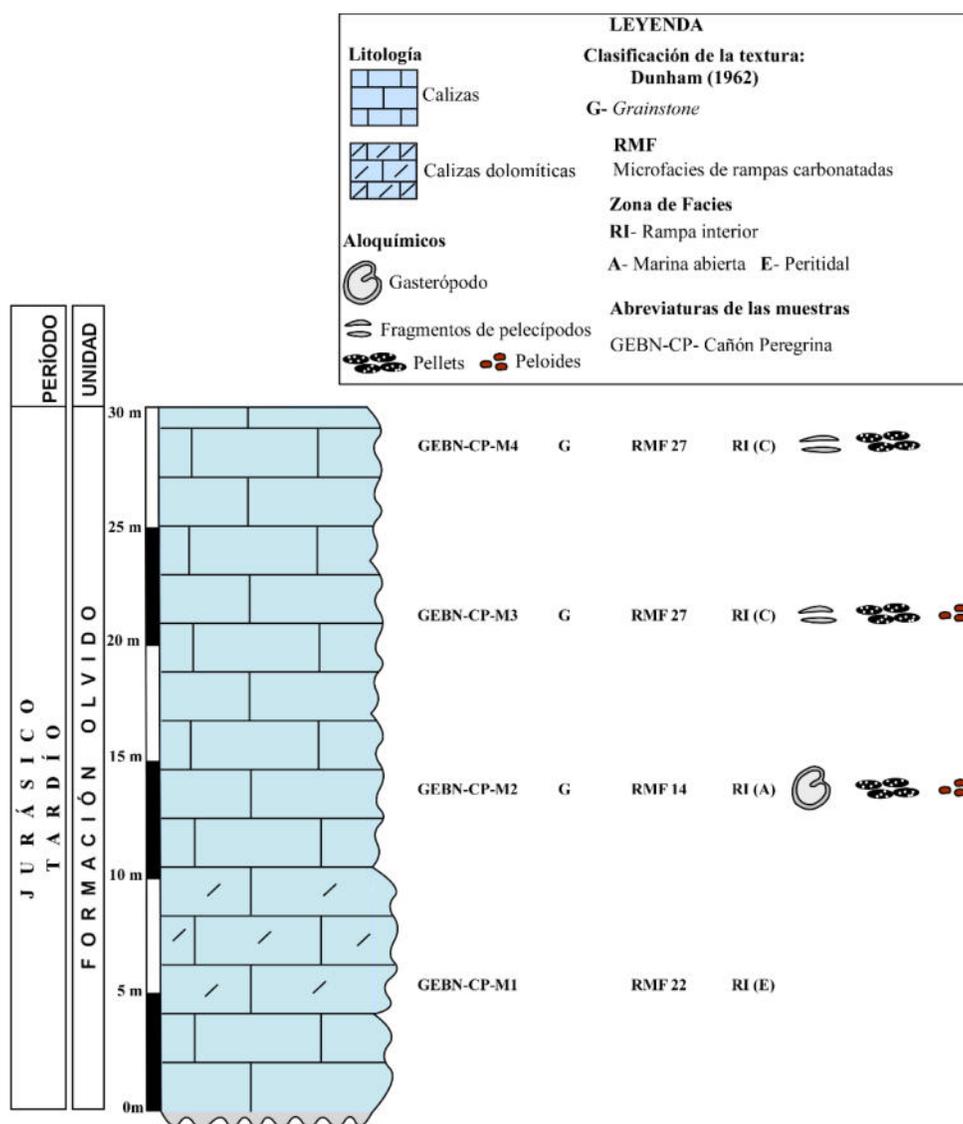


Fig. 17: Columna estratigráfica de la Formación Olvido en Cañón Peregrina, Cd. Victoria, Tamaulipas. Se observa las litologías presentes además de las microfacies.

5 Análisis microfacial

5.1 Generalidades

5.1.1 Facies

El concepto de facies es fundamental en la Sedimentología, ya que los primeros estudios de las rocas sedimentarias demostraban características tales como la composición, la geometría y contenido fósil. [Gressly \(1838\)](#) (en [Arche, 2010](#)) lo definió como “El conjunto de características litológicas y faunísticas de una unidad estratigráfica que permite distinguirla de las adyacentes”.

Este concepto ha sido uno de los más debatidos generando confusión por lo que ha sido adaptado en numerosas ocasiones, por lo tanto, de acuerdo con [Selley \(1970\)](#) (en [Arche, 2010](#)), define una facies como “Un conjunto de rocas sedimentarias que puede ser definido y separado de otros por su geometría, litología, estructuras sedimentarias, distribución de paleocorrientes y fósiles”.

5.1.2 Microfacies

El término de microfacies originalmente lo definió [Brown \(1943\)](#) y fue introducido por [Cuvillier \(1952\)](#), se refería únicamente a los criterios petrográficos y paleontológicos estudiados en láminas delgadas (en [Flügel, 2010](#)). Actualmente, las microfacies se consideran como el total de los datos sedimentológicos y paleontológicos que pueden describirse y clasificarse a partir de secciones delgadas.

5.2 Componentes texturales

5.2.1 Ortoquímicos

Los ortoquímicos son precipitados químicos que se forman dentro de la cuenca y muestra poco o ninguna evidencia de transporte donde se reconoce la matriz (micrita) o el cemento (esparita) y se dividen en dos tipos:

5.2.1.1 Matriz (Micrita)

Componente textural de grano fino, formado por cristales microcristalinos de carbonato de calcio, de tamaño menor de 4 μm , que se denomina micrita (Arche, 2010).

5.2.1.2 Cemento (Esparita)

Conformado por granos de calcita de tamaño de grano superior de 5 μm (Folk, 1959). El término de esparita debe de usarse solamente para el crecimiento de cristales de carbonato en un espacio poroso intergranular o cavidades (Arche, 2010).

5.2.2 Aloquímicos

Los aloquímicos son cualquier tipo de partícula carbonatada de origen biogénico, bioquímico o químico con un alto grado de organización que ha sufrido algún grado de transporte. Se dividen en granos esqueléticos y no esqueléticos.

5.2.2.1 Granos esqueléticos

En las muestras recolectadas y analizadas de los diferentes perfiles, se identificaron granos esqueléticos compuestos por: pelecípodos, gasterópodos y algas verdes, los cuales se detallan más adelante:

5.2.2.1.1 Granos esqueléticos o bioclastos

Son partículas bioclásticas que provienen de las partes duras de una comunidad biótica existente, la cual, al morir en determinado lugar, experimentan una serie de transformaciones, como la destrucción y la redistribución física, química y biológica (Arche, 2010).

5.2.2.1.2 Moluscos (Pelecípodos)

Los pelecípodos o bivalvos presentan una concha calcárea en capas que está compuesta por dos valvas las cuales pueden ser similares tanto en forma y tamaño. Las composiciones de sus conchas son de aragonito, al ser de aragonito un mineral metaestable se transforma fácilmente en calcita, lo que provoca que se borre la estructura original de la concha. Al contrario, las conchas que

inicialmente son formadas por calcita suelen conservar su estructura original (Fig. 18). Los pelecípodos aparecen en fragmentos rectangulares, alargados y curvos (Arche, 2010).

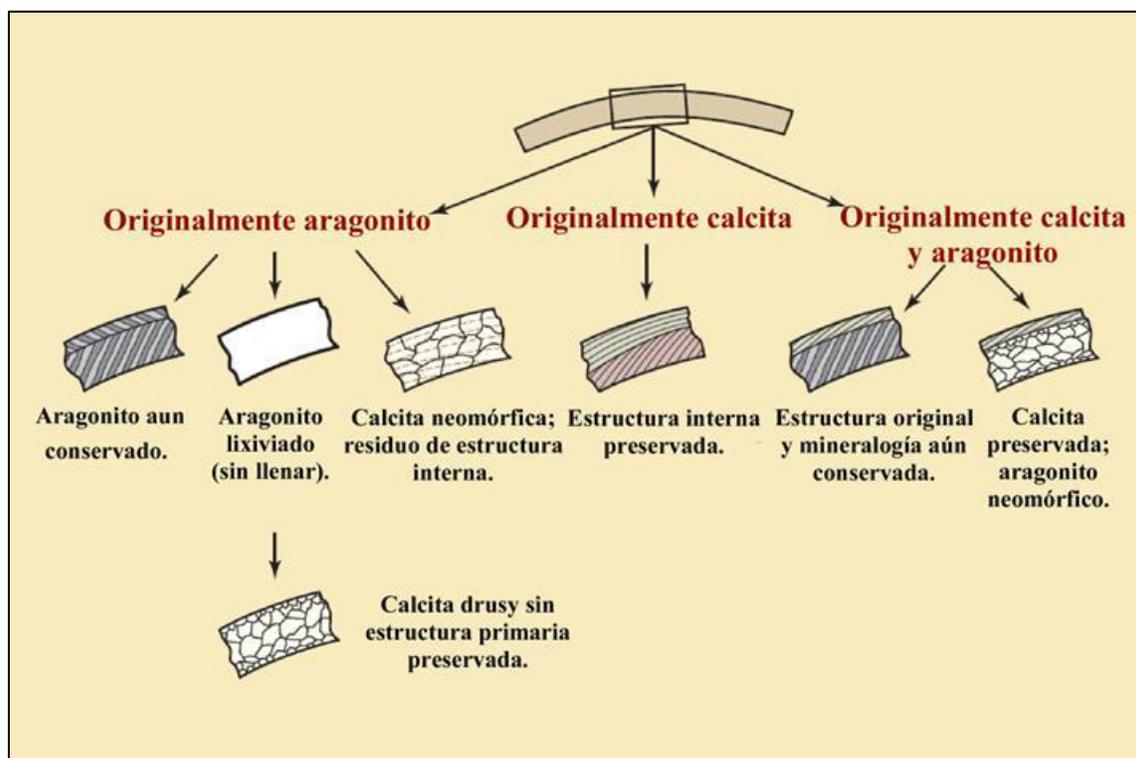


Fig. 18: Representación esquemática de las diferentes composiciones y estructuras de los pelecípodos (según Scholle & Ulmer-Scholle, 2003; modificado).

5.2.2.1.3 Gasterópodos

La mayoría de los gasterópodos tienen una concha de aragonito, con estructura interna similar a la de los pelecípodos o bivalvos debido a la inestabilidad del aragonito, algunas veces se encuentra disuelto o reemplazado por la calcita, lo que produce que la estructura original no sea reconocible (Fig. 19). La morfología de la concha de los gasterópodos es un cono enrollado helicoidalmente, la cual crece en forma de espiral, es perpendicularmente al eje del cuerpo, lo que incrementa el diámetro de las vueltas. Cada giro es una vuelta y se presentan generalmente seis vueltas. Las vueltas suelen ser convexas o planas y la fusión de la pared interna de ellas generan la estructura central llamada columela, que sigue la dirección del eje de la concha. En algunos gasterópodos la columela, se desarrolla hacia adelante formando un canal sifonal (García-Cubas & Reguero, 2004).

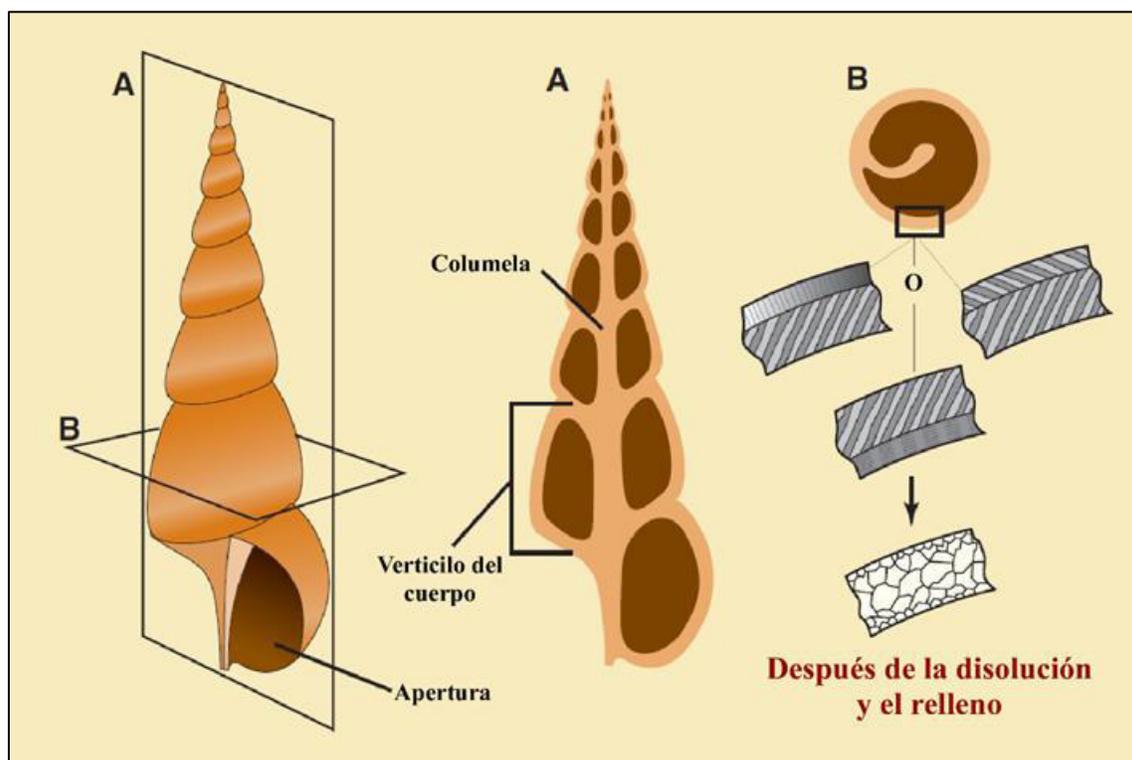


Fig. 19: Representación esquemática con secciones longitudinales (A) y transversales (B) de un gasterópodo. Además, se muestran tejidos aragonítico (según Scholle & Ulmer-Scholle, 2003; modificado).

En el perfil de la localidad Cañón Peregrina, Cd. Victoria, Tamaulipas se presentan gasterópodos en la muestra GEBN-CP-M2, localizadas en las calizas de la Formación Olvido, los gasterópodos aparecen por primera vez a partir de los 13 m hasta los 23 m en la columna estratigráfica de esta región. Además, los gasterópodos miden entre 2 a 3 cm y se observan a nivel macroscópico (Fig. 19).



Fig. 20: Escaneo de la muestra GEBN-CP-M2, con gasterópodos (G) reconocibles a nivel macroscópico. Presentes el perfil Cañón Peregrina, en las calizas de la Formación Olvido, con tamaños que varían entre 2 a 3 cm.

5.2.2.1.4 Algas verdes (dasicladaceas)

Son algas calcáreas fosilizadas, que se utilizan en los análisis de microfacies. Aparecieron en el Cámbrico y son de gran importancia por ser grandes formadores de rocas del Paleozoico Tardío, Mesozoico y Cenozoico Temprano. Las dasicladaceas sirven en la interpretación de carbonatos antiguos en las plataformas marinas someras y comúnmente en secciones delgadas se presentan en fragmentos.

Para determinar el tipo de género se debe de reconstruir la morfología a partir de cortes y secciones con diferentes orientaciones (Fig. 21).

Las dasicladaceas varían de tamaño que crecen desde milímetros hasta centímetros, se encuentran unidos al sustrato. Particularmente, el talo consta de un tallo central que tiene verticilos de ramas laterales. Los órganos reproductores (esporangios) se localizan entre las ramas, o dentro del tallo central (Flügel, 2010).

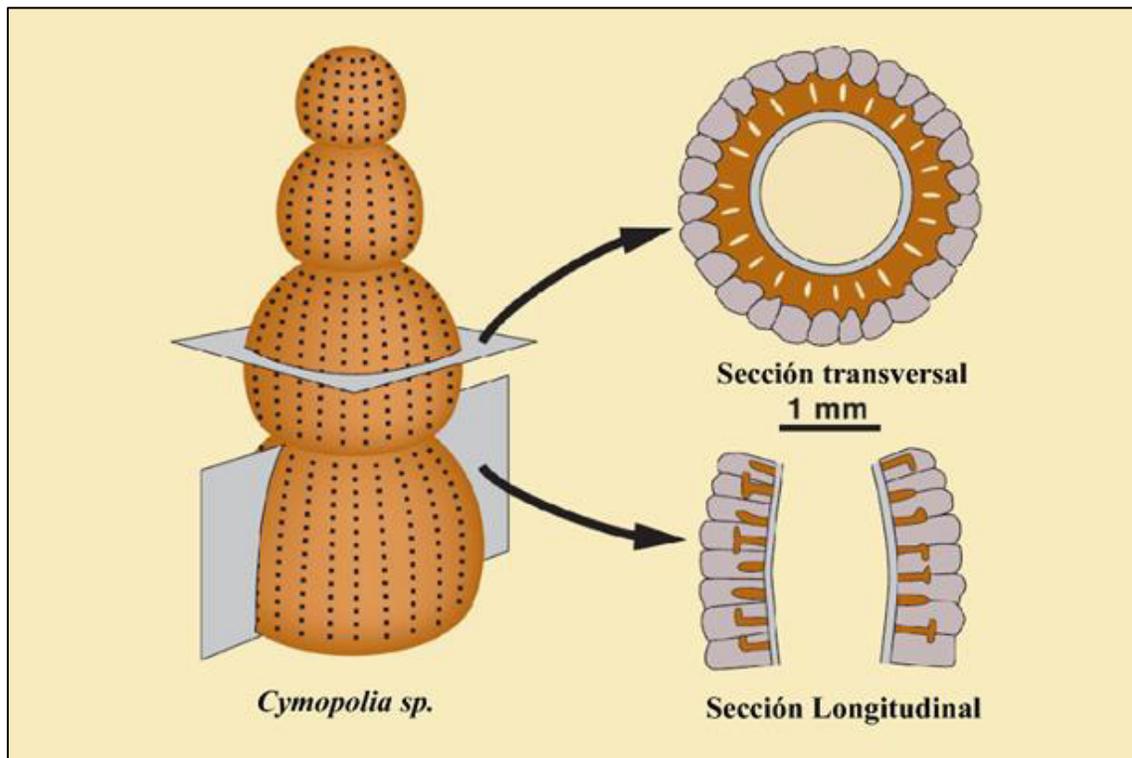


Fig. 21: Estructura típica de las algas verdes dasicladaceas. Este diagrama muestra las características comunes de las dasicladaceas y secciones a través de *Cymopolia sp.* (según Scholle & Ulmer-Scholle, 2003; modificado).

En la interpretación de láminas delgadas en la muestra GEBN-P6, se encontró un fragmento de alga verde del género *Acicularia sp.*, con nueve cavidades de esporangios (Fig. 22).

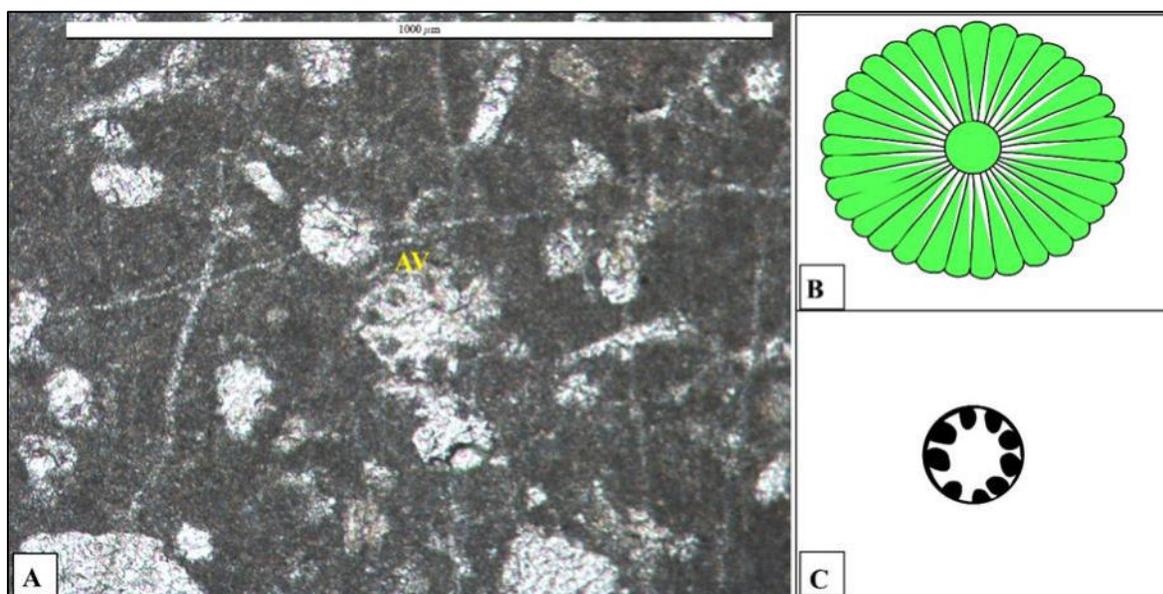


Fig. 22: (A) Microfotografía de la muestra GEBN-P6 con la presencia del alga *Acicularia* sp.; (B) Representación gráfica de *Acicularia* (tomada de [Marshall, 1901](#)); (C) Dibujo esquemático de *Acicularia* sp. donde se observan nueve cavidades de los esporangios. Clave: AV= Alga verde.

5.2.2.1.5 Carpetas algales (Cianofitas)

Tradicionalmente las cianofitas han sido consideradas como algas, por lo que en realidad pertenecen al dominio de bacteria por lo que deben denominarse cianobacterias. Tienen una gran importancia en la historia geológica, aunque pocas calcifican, por un lado, producen tapices microbianos que atrapan y entierran sedimentos ([Arche, 2010](#)).

5.2.2.1.6 Foraminíferos

Son protistas unicelulares provistos de pseudópodos del tipo reticulópodo o rizópodo, es decir de forma delgada y filamentosa, por lo general ramificada. El cuerpo protoplasmático está protegido por una concha orgánica para después estar enriquecida con sustancia de minerales, ya sean secretadas por el protoplasma, son de naturaleza calcárea (calcítica o aragonítica), o partículas recogidas del medio y aglutinadas.

La concha está formada por una o más cámaras y se encuentra abierta al exterior con una o varias aberturas que permite el paso de los pseudópodos. Las cámaras se conectan entre sí a través de orificios que atraviesan la pared. Los foraminíferos se dividen en dos grupos, según sea el modo de vida ya sean bentónicos o plantónicos ([Arenillas, 2004](#)).

5.2.3 Granos no esquelatales

En las distintas áreas de estudio, según las diversas muestras recolectadas y analizadas de los distintos perfiles, se identificaron granos no esquelatales que se presentan a continuación.

5.2.3.1 Ooides

Son partículas esféricas o elípticas con tamaños menores a los 2 mm, que consisten en capas delgadas concéntricas alrededor de un núcleo. El núcleo está constituido por cualquier partícula, ya sea de origen carbonático o no, además de una corteza de cristales de aragonita o calcita con alto contenido de magnesio, puede disponer de forma de estructura concéntrica (tangencial) o estructura radial (Wilkinson & Given, 1986; Scholle & Ulmer-Scholle, 2003; Arche, 2010; Fig. 23).

En cuanto a su forma y tamaño se presentan como ooides simples o compuestos. Los simples exhiben un núcleo con capas concéntricas alrededor. Sin embargo, los compuestos consisten en dos o más ooides que se encuentran unidos para formar nuevos núcleos de mayor tamaño. El tamaño está determinado por el suministro de los núcleos (Bathurst, 1975), la tasa de crecimiento (Swett & Knoll, 1989), la movilización y agitación (Carozzi, 1989; Flügel, 2010).

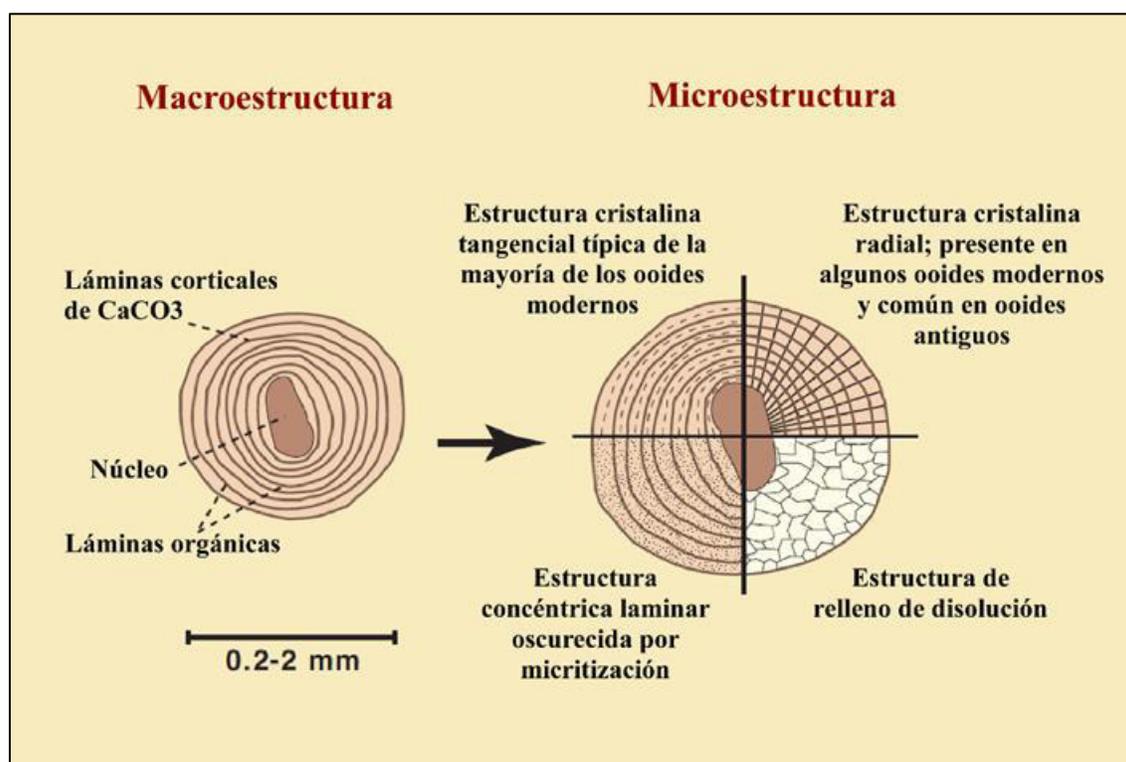


Fig. 23: Representación esquemática de las estructuras de los ooides y los cuatro tipos comunes de estructuras de ooides, primarias o secundarias (según Scholle & Ulmer-Scholle, 2003, modificado).

Los núcleos y cortezas contienen litoclastos, peloides, granos esqueléticos y minerales. Los granos fecales son los más comunes en los núcleos, especialmente de ooides que se forman en ambientes de baja energía (Jones & Goodbody, 1984; Flügel, 2010). Existen diferentes tipos según la relación del espesor de la corteza y el radio de los ooides los cuales se muestran a continuación.

- ❖ **Normales:** Presentan una corteza en la cual el grosor es igual o mayor a la mitad del diámetro de los ooides. Los núcleos son pequeños con capas gruesas, debido a que se forman rápidamente, ya que los granos de menor tamaño se ponen en movimiento más fácilmente (Flügel, 2010).
- ❖ **Superficiales:** Son ooides, en que el espesor de la corteza es inferior a la mitad del diámetro de los ooides completos (Carozzi, 1989). Los núcleos de mayor tamaño rara vez se mueven por lo que tienen solo recubrimientos superficiales o no, presentan ningún recubrimiento (Flügel, 2010).

Los ooides se forman en diferentes condiciones de ambientes de alta y baja energía. En los entornos de alta energía se ubican ooides concéntricos (tangenciales) o micríticos y ooides distorsionados o rotos (Fig. 24), por otro lado, en los entornos de baja energía se caracterizan por

ooides radiales o asimétricos. Además, el tamaño, promedio y espesor de los recubrimientos de los ooides se utilizan como una medida aproximada de la energía del agua.

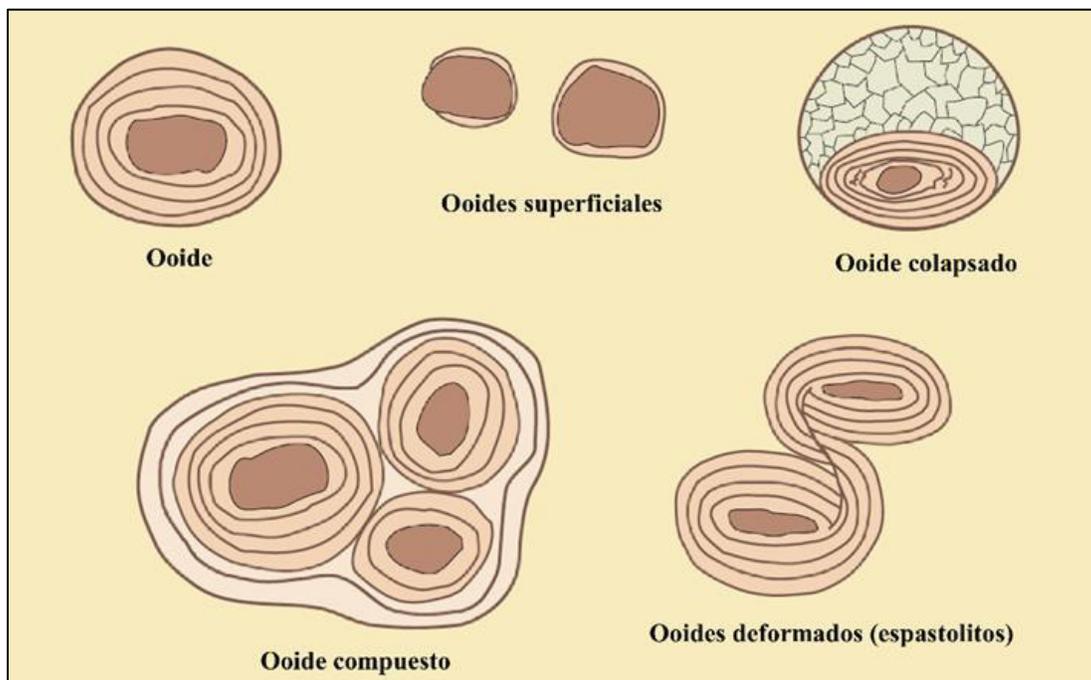


Fig. 24: Bosquejo esquemático de algunos tipos más comunes de ooides (según Scholle & Ulmer-Scholle, 2003; modificado).

Las acumulaciones de los ooides surgen en tres facies diferentes en las rampas carbonatadas: en rampa interna (cerca de las costas); rampa media y rampa interna (se forman bajíos y capas gruesas de *grainstone*) y rampa media a externa (se depositan como granos que han sido transportados en capas delgadas de tempesita intercaladas con calizas *mudstone* y *wackestone* de margas y lutitas).

Las relaciones entre la energía del agua, el tamaño, las clasificaciones de los ooides, el grosor de las cortezas son indicadores de mecanismos de transporte (Flügel, 2010).

5.2.3.2 Pellets

Los pellets son granos no esqueléticos compuestos por micrita, de forma redondeada, subredondeada, esféricas y presentan una estructura interna característica relacionada con su origen fecal.

5.2.3.3 Microcoprolito (icnogénero *Favreina*)

El término coprolito fue introducido por primera vez por [Buckland \(1829\)](#) ([Knaust, 2020](#)) para referirse a las heces fecales fósiles, como las que producen los vertebrados. No obstante, también se aplica para las heces de los invertebrados, pero suelen ser pequeñas y se diferencian en cuanto a su composición y forma de los coprolitos vertebrados.

Los coprolitos presentan extensas morfologías y de composición, que indica el comportamiento de sus creadores. Para clasificar grupos individuales se requiere del establecimiento de un conjunto de características (icnotaxobases), debido a la forma, tamaño, estructura interna y la composición son significativas. Sin embargo, no son aplicables para todos los coprolitos ([Brönnimann & Norton, 1960](#); [Häntzschel et al. 1968](#); [Hunt & Lucas, 2012](#); [Vallon, 2012](#); [Knaust, 2020](#)).

Las icnotaxobases pueden aplicarse en diferentes icnofamilias, icnogéneros e icnoespecies. Los coprolitos de invertebrados son bien clasificados en icnofamilias, que pueden definirse por medio del tamaño, y la forma general. En cuanto a los icnogéneros están separados entre la forma, composición, estructura interna y escultura externa, en cambio las icnoespecies se refinan entre más o menos las mismas icnotaxobases ([Knaust, 2020](#)).

El icnogénero *Favreina* son fragmentos de color oscuro subrectangulares y redondeados con una textura homogénea, con tamaños que van de 0.5 mm de largo y 0.2 a 0.4 mm de ancho. En secciones longitudinales se muestran como subrectángulos, con conductos paralelos largos, delgados y rectos dispuestos en un patrón rectangular. En las secciones trasversales se exhiben de forma subcircular a ovalado; con canales de diminutos poros subcirculares, distribuidos irregularmente, con poros con tamaños entre 12 μm a 40 μm ([Brönnimann, 1955](#); [Knaust, 2020](#)). De acuerdo con el arreglo interno, la forma y el número de canales, observados en secciones trasversales, se utilizan como método para su clasificación ([Schweigert et al., 1997](#); [Kietzmann & Palma, 2010](#); Fig. 25).

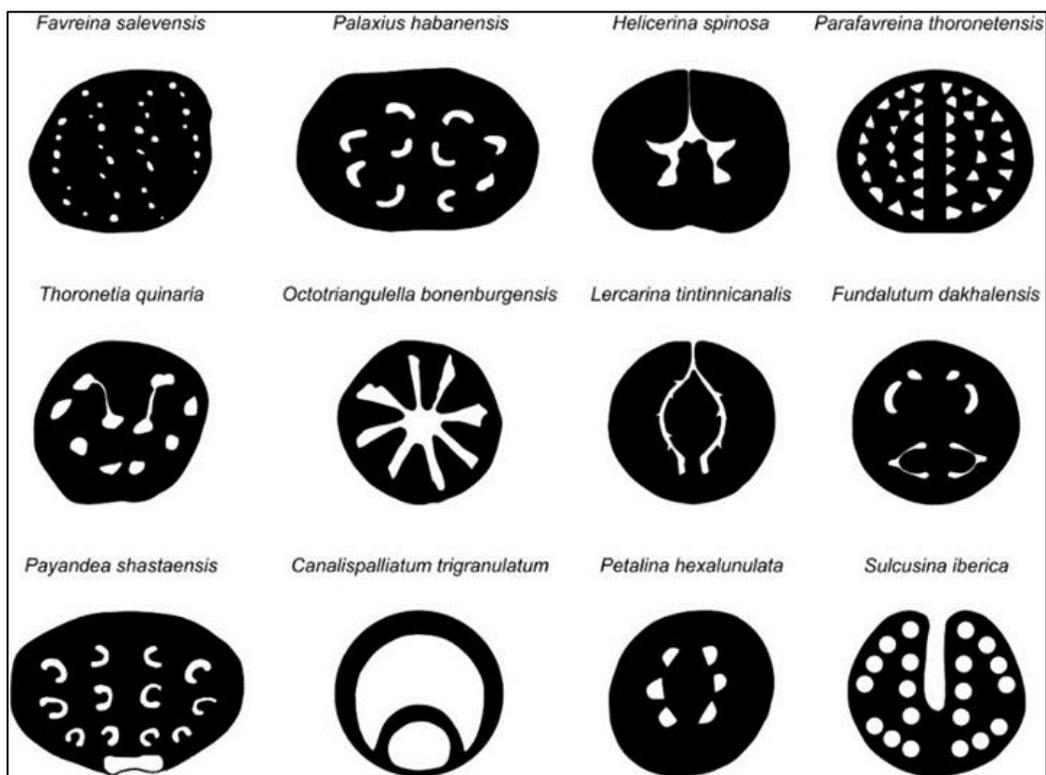


Fig. 25: Representación gráfica de los diferentes icnogéneros de *Favreina* en secciones transversales (Knaust, 2020).

5.2.3.4 Peloides

Se denominan así aquellos granos que parecen pellets aun cuando no se puede determinar su origen. Algunos son pellets fecales, pero no son reconocibles ya que su estructura ha sido borrada, o fragmentos esqueléticos u ooides que han sido micritizados.

5.2.3.5 Cortoides

Granos esqueléticos carbonatados de fragmentos de pelecípodos o de cualquier otro organismo los cuales están envueltos por una capa de micrita.

5.2.3.6 Litoclastos

Son fragmentos carbonatados de origen tanto intercuenal (intraclastos) como extracuenal (extraclastos).

5.3 Clasificación de las rocas carbonatadas

5.3.1 Clasificación según Folk (1959)

Las clasificaciones de Folk (1959), se basa principalmente en la composición y se distingue por tres componentes los cuales son: los aloquímicos (granos esqueléticos y no esqueléticos); la matriz, primordialmente de micrita y el cemento fundamentalmente esparita (Fig. 26).

Dependiendo de cuál sea el aloquímico que predomine se utiliza como prefijo la abreviatura (bio- granos esqueléticos, oo- ooides, pel- pellets/peloides e intra- intraclastos) continuo de los términos micrita o esparita. Asimismo, si dominan dos tipos de aloquímicos, estos términos se pueden combinar.

Otras categorías en Folk es el término de biolitita, que se refiere a una caliza que se forma *in situ* por organismos (rocas arrecifales). La dismicrita, se utiliza para una micrita con cavidades, generalmente rellenas de esparita.

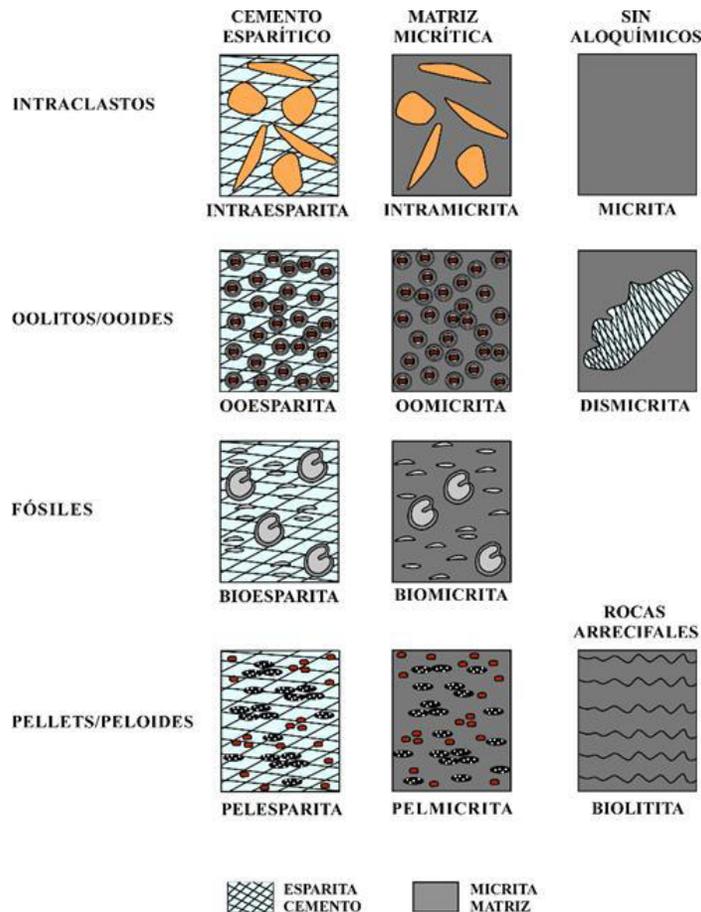


Fig. 26: Clasificación para rocas carbonatadas (adaptado de Folk, 1959).

5.3.2 Clasificación de Dunham (1962)

En la clasificación de Dunham (1962), las calizas las divide en base a su textura, en cada una de ellas se distingue diferentes características: *mudstone* se refiere a micrita con menos del 10% de granos; *wackestone*, más del 10% de granos flotando en una matriz; *packstone*, granos en contacto en matriz grano soportada y *grainstone*, a los granos sin matriz (Fig. 27).

Clasificación según Embry & Klovan (1971)

Embry & Klovan (1971) propusieron términos adicionales, tanto para indicar el tamaño de grano utilizando los términos *floatstone* y *rudstone* como el tipo de sujeción orgánica, para el caso de los *Boundstones* se dividen en tres categorías: *bafflestone* (organismos que actúan como deflectores durante el depósito de la caliza), *bindstone* (organismos incrustados y unidos durante el depósito de la caliza) y *framestone* (organismos unidos durante el depósito que construyen una estructura rígida) (Fig. 27).

Clasificación de Dunham (1962)					Clasificación de Embry & Klovan (1971)				
Componentes originales no unidos en la sedimentación				Los componentes originales estaban unidos en la sedimentación	>10% de grano > 2 mm		Tipo de enlace orgánico		
Contiene lodo carbonatado		Sin lodo			Sostenida por la matriz	Grano-soportada	Organismos que actúan como pantallas	Organismos que incrustan y enlazan	Organismos que construyen una estructura rígida
Lodo-soportada		Grano-soportada							
<10% de granos	>10% de granos								
<i>Mudstone</i>	<i>Wackestone</i>	<i>Packstone</i>	<i>Grainstone</i>	<i>Boundstone</i>	<i>Floatstone</i>	<i>Rudstone</i>	<i>Bafflestone</i>	<i>Bindstone</i>	<i>Framestone</i>
				MATRIZ MICRITA			ESPARITA CEMENTO		

Fig. 27: Clasificaciones de rocas carbonatadas basada en su textura deposicional (Dunham, 1962) y en las características de los diferentes tipos de calizas bioconstruidas (Embry & Klovan, 1971; adaptado).

5.4 Modelo de zona de facies de rampa

5.4.1 Rampa

El término de rampa fue introducido por Ahr (1973) con la finalidad de diferenciar este tipo de rampas de las plataformas clásicas, posteriormente fueron denominadas por Ginsburg & James (1974) como plataformas-*lagoon* (rimmed shelf; Arche, 2010).

Las rampas carbonatadas se dividen en función de la pendiente, de las cuales hay dos tipos (Read, 1982; Arche, 2010): rampas homoclinales y rampas con ruptura de pendiente distal. En las rampas homoclinales muestran relieves uniformes de aproximadamente 1 m/km hacia la cuenca. En cuanto a las rampas con ruptura de pendiente distal, la ruptura de la pendiente no se presenta en el límite de la acción del oleaje, sino a kilómetros más adentro de este límite.

Burchette & Wright (1992) distinguen dentro de una rampa carbonatada tres sectores los cuales son: rampa interna, media y externa, utiliza como referencia el nivel de base de oleaje de buen tiempo, y el nivel de base de oleaje de tormenta (Fig. 28).

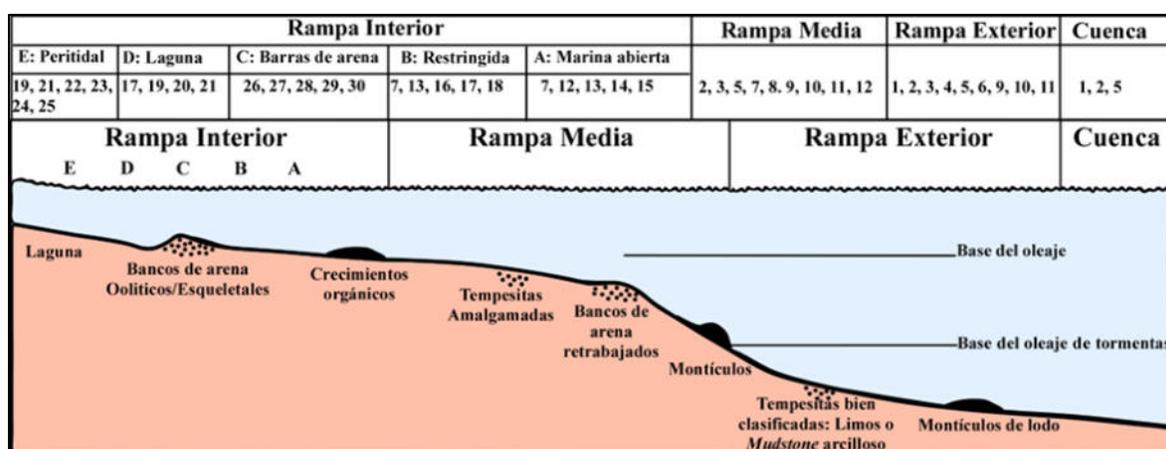


Fig. 28: Modelo de Rampa Carbonatada (Burchette & Wright, 1992; Flügel, 2010).

Las microfacies asociados a un modelo de una rampa (RMF) según Flügel (2010) se exponen a continuación.

5.4.1.1 Rampa exterior

Calizas y margas de capa fina a mediana, de grano fino, a menudo excavadas. Las margas laminadas se alternan con lutitas. Los granos esqueléticos o bioclastos comúnmente están bien conservados.

- ❖ **RMF-01:** Calsilita peloidal con espículas. Calcisilta y lutita con peloides, restos esqueléticos muy finos, espículas de esponja, a veces finamente laminadas.
- ❖ **RMF-02:** Mudstone y wackestone arcillosos excavados con foraminíferos aglutinados, ostrácodos y equinodermos.

- ❖ **RMF-03:** *Wackestone* y *packstone* bioclástico excavado, con diversos fósiles comunes a abundantes de pelecípodos, braquiópodos, equinodermos y peloides. Granos esqueléticos sin desgaste; común de preservación de fósiles enteros.
- ❖ **RMF-04:** *Wackestone* y *packstone* peloidal.
- ❖ **RMF-05:** *Mudstone* pelágico con microfósiles plantónicos y fósiles nectónicos marinos abiertos.
- ❖ **RMF-06:** Bioclastos calificados, laminados y finamente cruzados y *grainstone* peloidal.

5.4.1.2 Rampa media

Calizas y margas bioclásticas de grano fino y capas medianas, frecuentemente excavadas. Los granos esqueléticos se desgastan con frecuencia. Los equinodermos son comunes.

- ❖ **RMF-07:** *Packstone* bioclástico con abundantes equinodermos, pelecípodos, foraminíferos y granos esqueléticos desgastados.
- ❖ **RMF-08:** *Packstone* y *grainstone* excavados con granos esqueléticos, intraclastos, oncoides y peloides.
- ❖ **RMF-09:** *Wackestone*, *packstone*, *floatstone* con intraclastos micríticos y bioclastos derivados de rampas; a veces microbrechas (rampas inclinadas distalmente).
- ❖ **RMF-10:** Conglomerados de calizas.
- ❖ **RMF-11:** Calizas y margas con intraclastos.
- ❖ **RMF-12:** *Boundstones* compuesto de coral y *framestone* de corteza de coral y algas rojas.

5.4.1.3 Rampa interior

Calizas y dolomitas estratificadas microfacialmente diferenciadas que forman secuencias delgadas y en menor importancia las margas. La rampa interior está comprendida por ambiente marinos abiertos, restringidos, barras de arena, lagunares y peritidales.

- ❖ **RMF-13:** *Wackestone* y *packstone* bioclásticos con abundantes foraminíferos (Orbitolínidos).
- ❖ **RMF-14:** *Packstone* y *wackestone* bioclásticos, intraclastos y algunos ooides.
- ❖ **RMF-15:** *Floatstone* bioclástico con diversos materiales derivados de los arrecifes.

5.4.1.4 Entornos de rampa interior restringidos y de baja energía

Un tipo de microfacies común en estos entornos es el RMF 07 que se caracteriza por fragmentos de equinodermos.

- ❖ **RMF-16:** *Mudstone, wackestone o packstone* con abundantes foraminíferos.
- ❖ **RMF-17:** *Wackestone* bioclástico con dasycladáceas de algas verdes.
- ❖ **RMF-18:** *Wackestone* bioclástico con ostrácodos.

5.4.1.5 Ambientes lagunares

Se presenta una microfacies en estos entornos la cual es el RMF 17 que presenta flora poco diversa.

- ❖ **RMF-19:** *Mudstone* sin bioturbación.
- ❖ **RMF-20:** *Wackestone y packstone* bioclásticos con algas calcáreas y foraminíferos bentónicos.
- ❖ **RMF-21:** *Packstone y floatstone* de oncoides.

5.4.1.6 Zonas peritidales

Se presentan las microfacies RMF 19 y RMF 21.

- ❖ **RMF-22:** Dolomita finamente laminada/calizas *mudstone*.
- ❖ **RMF-23:** *Bindstone* fenestral.
- ❖ **RMF-24:** *Mudstone y packstone* de intraclastos.
- ❖ **RMF-25:** *Bindstone* de evaporitas carbonatadas laminadas.

5.4.1.7 Bancos de arena carbonatados (*sand shoals*)

Se caracterizan por acumulaciones de ooides, granos esqueléticos y peloides.

- ❖ **RMF-26:** *Grainstone y packstone* bioclástico de grano medio, grueso con granos esqueléticos bentónicos.
- ❖ **RMF-27:** *Grainstone y packstone* bioclástico compuesto por granos esqueléticos dominantes (equinodermos o foraminíferos).

- ❖ **RMF-28:** *Floatstone* y *rudstone* bioclástico que exhibe una fábrica fuertemente desorganizada.
- ❖ **RMF-29:** *Grainstone* de ooides concéntricos densamente empaquetados.
- ❖ **RMF-30:** *Grainstone* y *packstone* de ooides y conchas.

5.5 Análisis de microfacies

5.5.1 Perfil Cañón La Huasteca, Santa Catarina, Nuevo León

Tabla 1: Lámina GEBN-H2, Cañón La Huasteca, Formación Zuloaga.

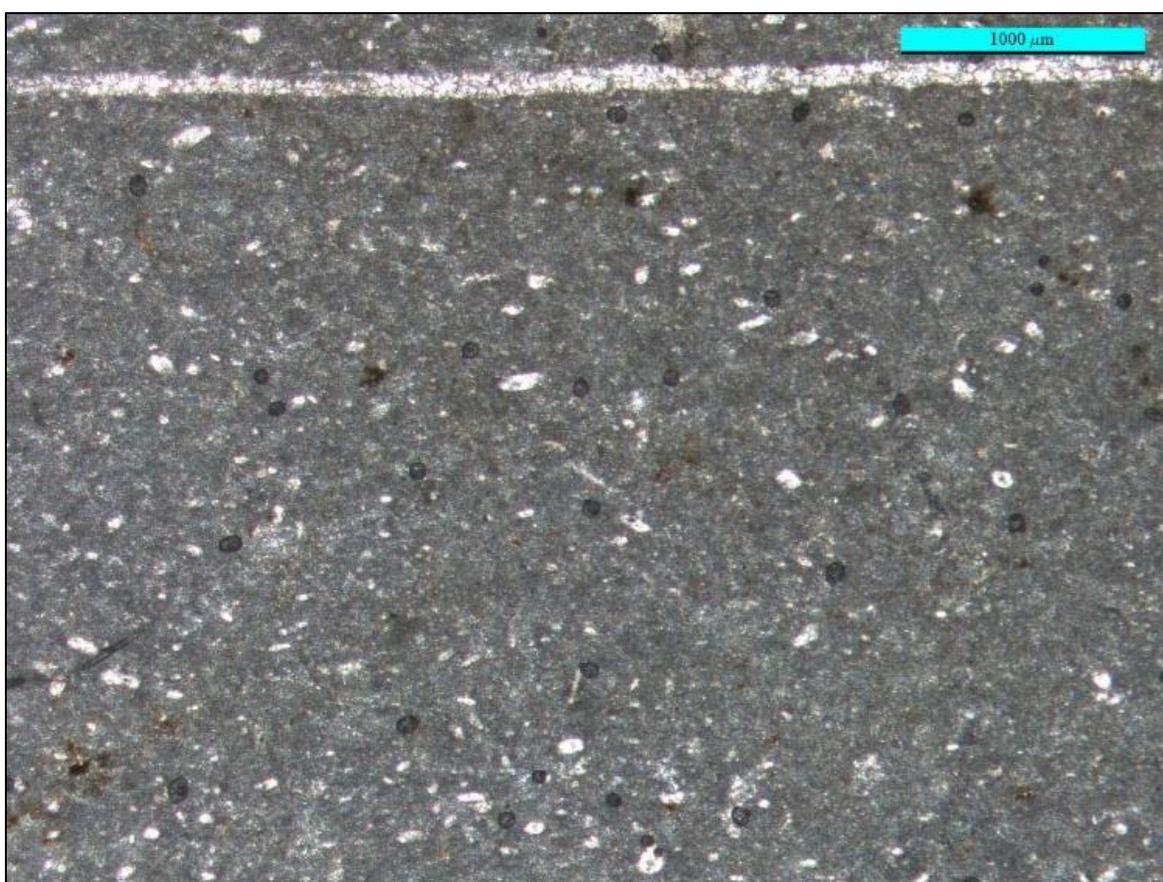


Fig. 29: Lámina GEBN-H2: Aspecto de la matriz sin contenido alquímico.

Muestra	GEBN-H2
Clasificación de Folk	Micrita
Clasificación de Dunham	Mudstone
Análisis	Ausencia de aloquímicos, que consiste en lodo carbonatado puro que esta litificado donde la matriz es el único constituyente de la roca. Se asocia a una zona peritidal.
Zona de Facies de Rampa	Rampa interior
Microfacies	RMF 22

Tabla 2: Lámina GEBN-H3, Cañón La Huasteca, Formación Zuloaga.

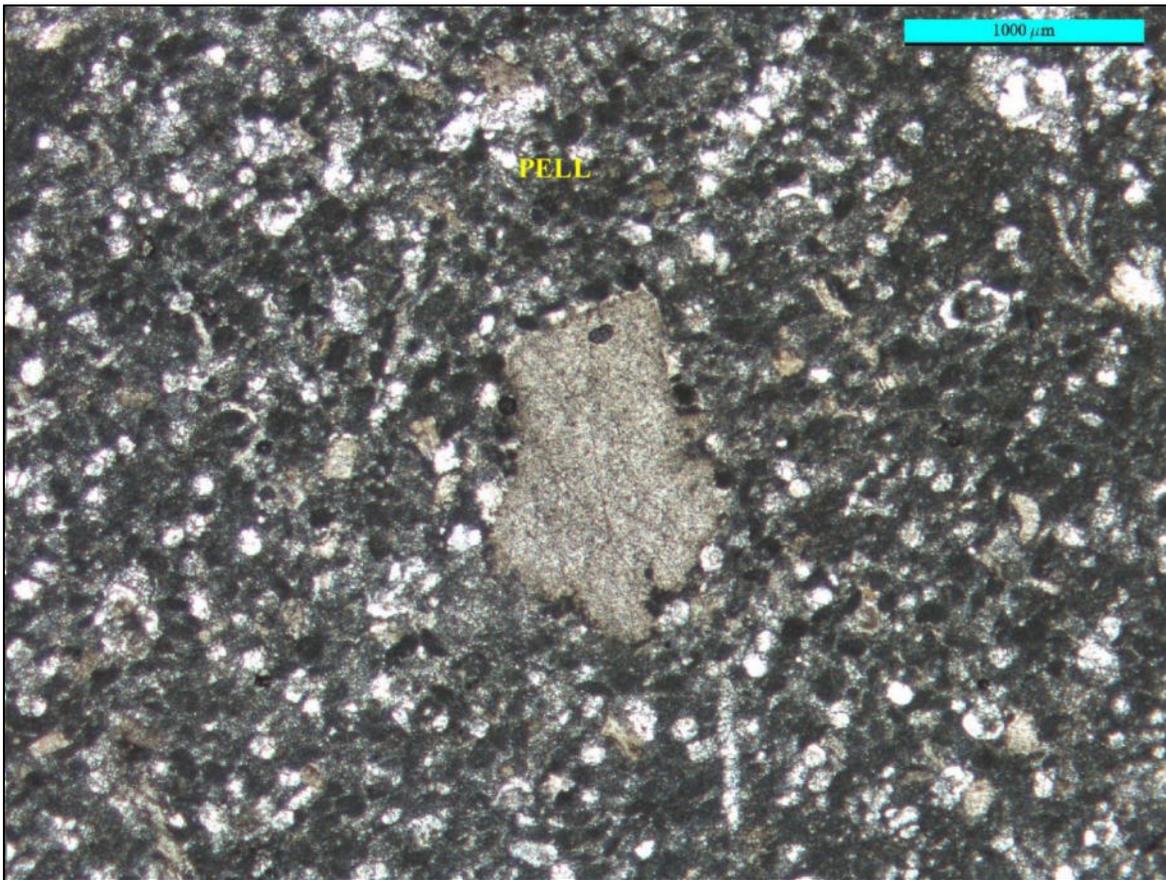


Fig. 30: Lámina GEBN-H3: *Grainstone* de peloides. Clave: PELL = Peloides.

Muestra	GEBN-H3
Clasificación de Folk	Pelesparita
Clasificación de Dunham	<i>Grainstone</i>
Análisis	Muestra de una caliza conformada por aloquímicos que son fundamentalmente peloides, los cuales carecen de una estructura interna reconocible, con formas circulares a elípticas de diferentes tamaños. Se asocian en barras de arena.
Zona de Facies de Rampa	Rampa interior
Microfacies	RMF 27

Tabla 3: Lámina GEBN-H4, Cañón La Huasteca, Formación Zuloaga.

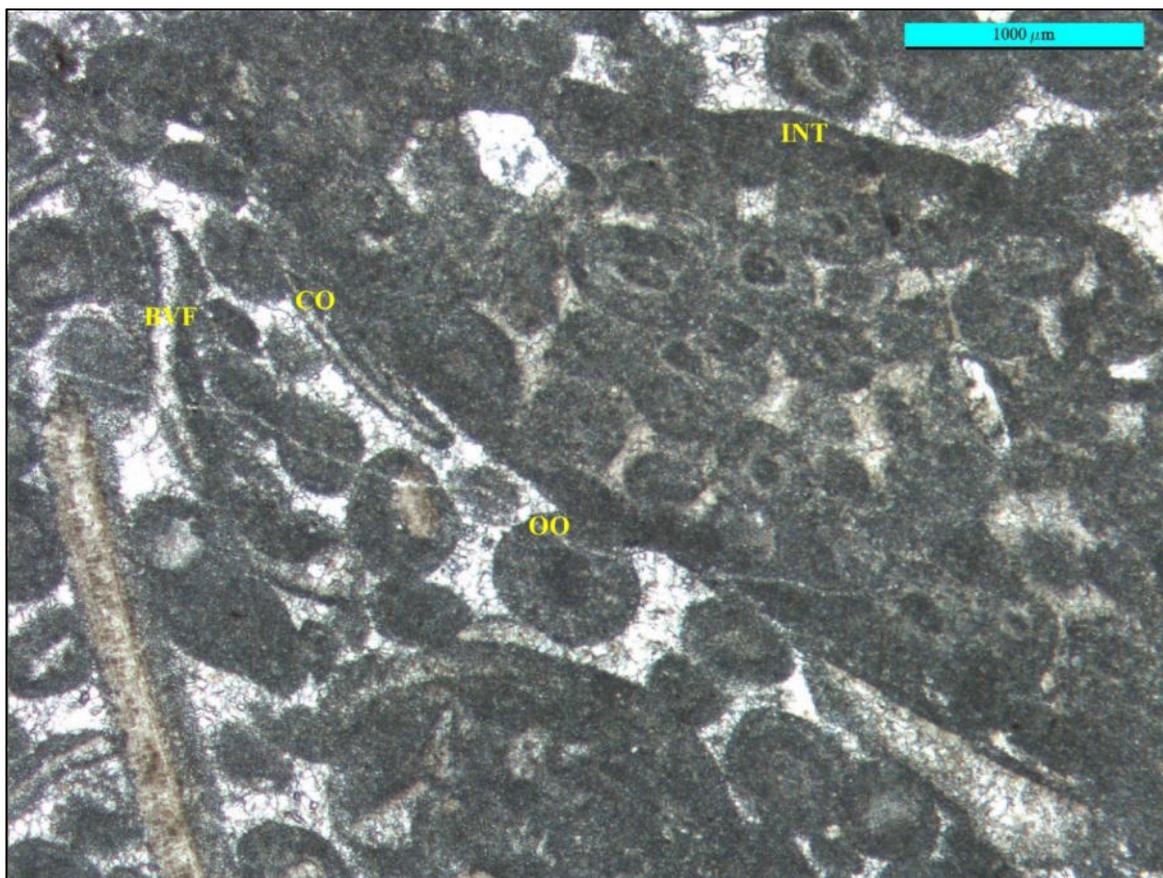


Fig. 31: Lámina GEBN-H4: *Grainstone* con abundantes ooides y en menor proporción de fragmentos de pelecípodos, litoclastos y cortoides. Claves: OO= ooides, BVF= Fragmentos de pelecípodos, CO= Cortoides, INT= Intraclastos.

Muestra	GEBN-H4
Clasificación de Folk	Oobiointraesparita
Clasificación de Dunham	<i>Grainstone</i>
Análisis	Compuesta por ooides menores a los 2 mm que presentan núcleos conformados por peloides y una sola capa alrededor del núcleo característica típica de los ooides superficiales. Con menor presencia se encuentran fragmentos de pelecípodos con cortoides, litoclastos constituido por ooides. Se asocian en barras de arena oolíticos/esqueletales.
Zona de Facies de Rampa	Rampa interior
Microfacies	RMF 27

Tabla 4: Lámina GEBN-H5, Cañón La Huasteca, Formación Zuloaga.

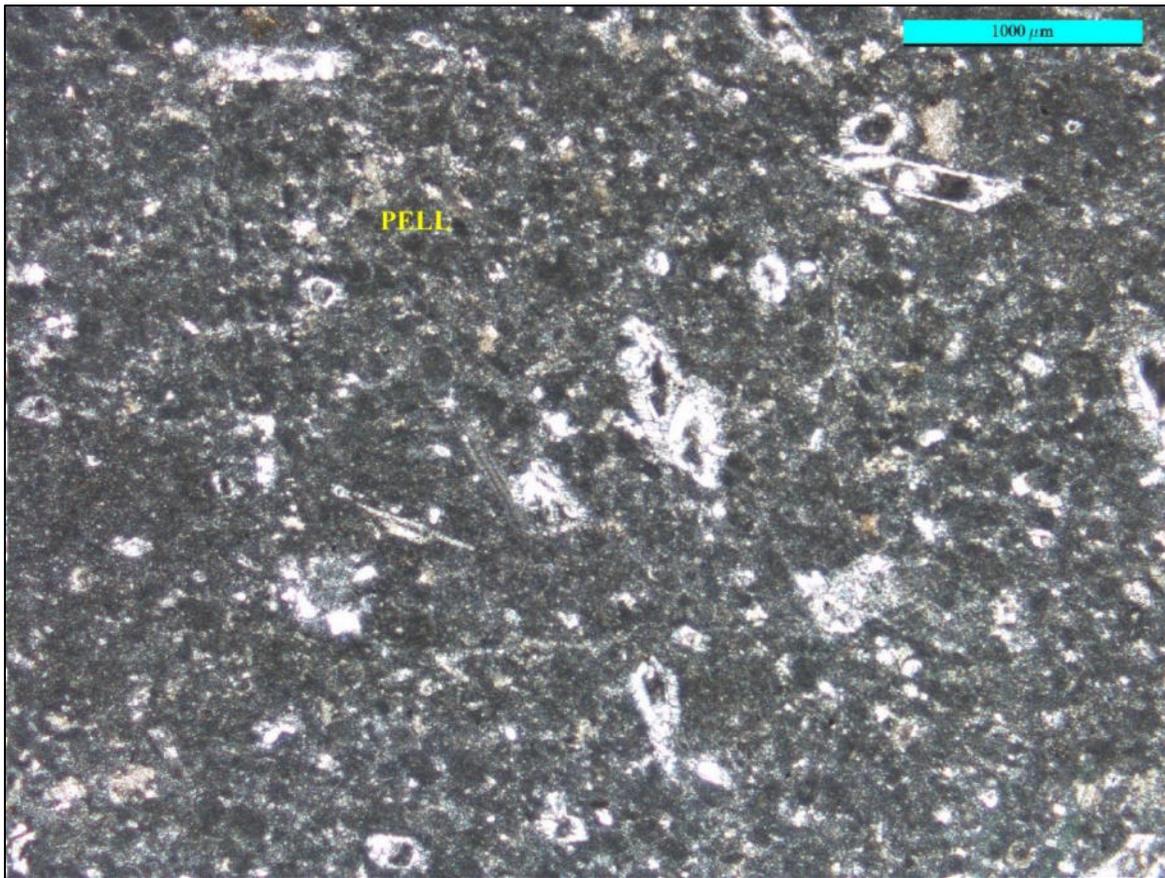


Fig. 32: Lámina GEBN-H5: Textura de *grainstone* con peloides. Clave: PELL= Peloides

Muestra	GEBN-H5
Clasificación de Folk	Pelesparita
Clasificación de Dunham	<i>Grainstone</i>
Análisis	Vista general de pequeñas partículas de peloides con formas circulares y tamaños variables, la estructura de estos granos no es reconocible, por lo cual no se puede determinar el origen de estos. Se asocian a barras de arena.
Zona de Facies de Rampa	Rampa interior
Microfacies	RMF 27

5.5.2 Perfil Rayones, Nuevo León

Tabla 5: Lámina GEBN-RZ-M1, Rayones, Formación Zuloaga.

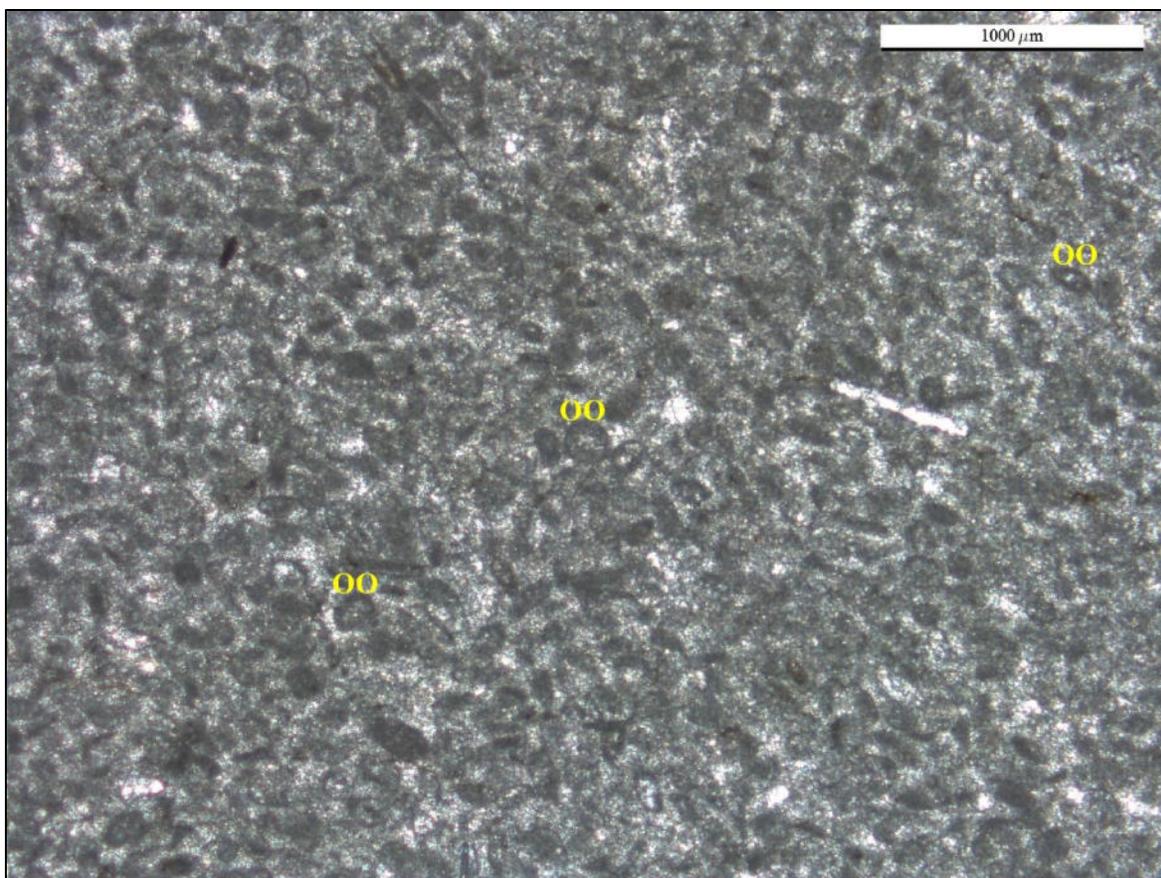


Fig. 33: Lámina GEBN-RZ-M1: *Grainstone* oolítico. Clave: OO= Ooides.

Muestra	GEBN-RZ-M1
Clasificación de Folk	Ooesparita
Clasificación de Dunham	<i>Grainstone</i>
Análisis	Ooides superficiales menores a los 2 mm con núcleos recristalizados. Algunos de los ooides se encuentran recristalizados al igual que la matriz, debido a un evento de diagénesis que ocasiona que los aloquímicos no sean reconocidos por el grado de recristalización. Se asocian a zonas de barras de arena.
Zona de Facies de Rampa	Rampa interior
Microfacies	RMF 27

Tabla 6: Lámina GEBN-RZ-M2, Rayones, Formación Zuloaga.

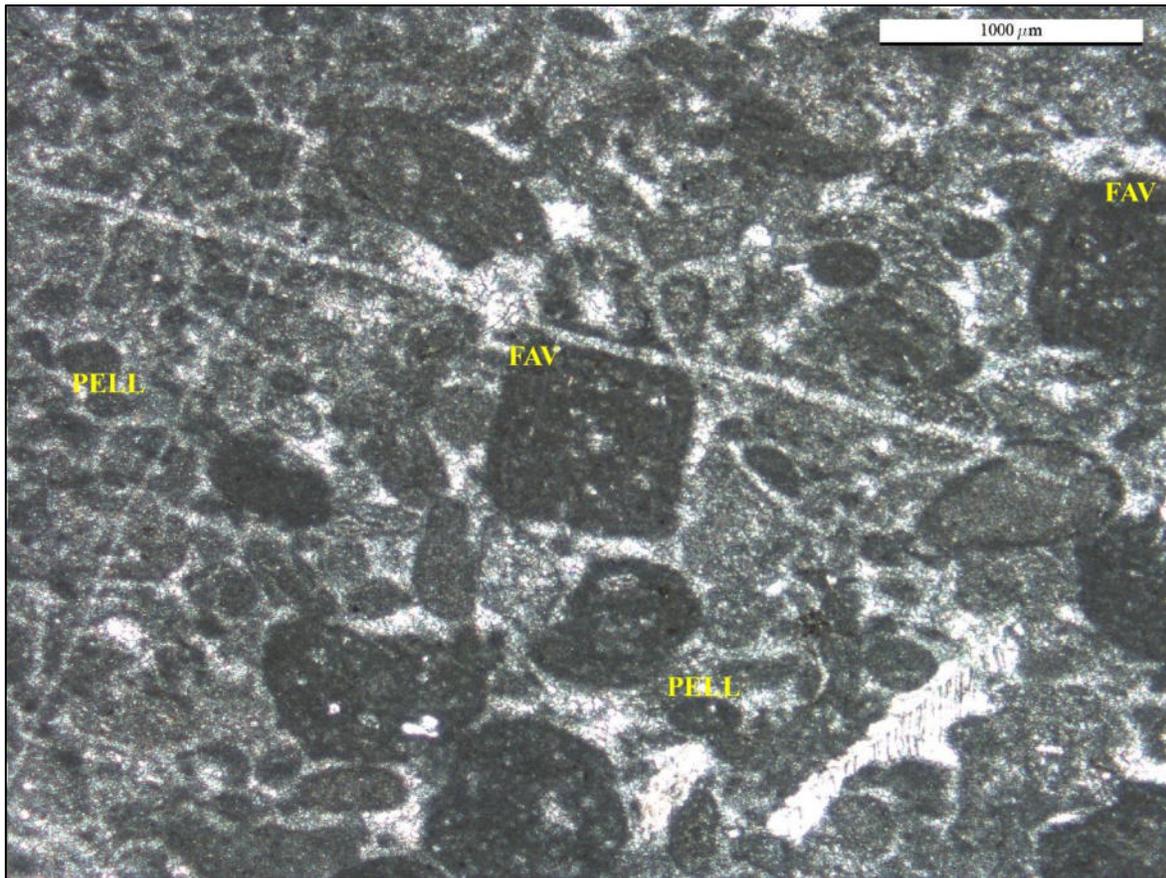


Fig. 34: Lámina GEBN-RZ-M2: *Grainstone* de *Favreina sp.* y pellets. Clave: FAV= *Favreina*, PELL= Pellets.

Muestra
 Clasificación de Folk
 Clasificación de Dunham
 Análisis

GEBN-RZ-M2
 Pelesparita
Grainstone

Heces fecales de *Favreina sp.* en cortes transversales y longitudinales. En la sección trasversal se exhiben de forma subcircular, con canales de diminutos poros subcirculares, distribuidos irregularmente. En cambio, en secciones longitudinales se muestran como subrectángulos, con conductos paralelos largos y rectos a largo de la sección. En menor dominio se observan pellets. Se asocian a barras de arena.

Zona de Facies de Rampa
 Microfacies

Rampa interior
 RMF 27

Tabla 7: Lámina GEBN-RZ-M3, Rayones, Formación Zuloaga.

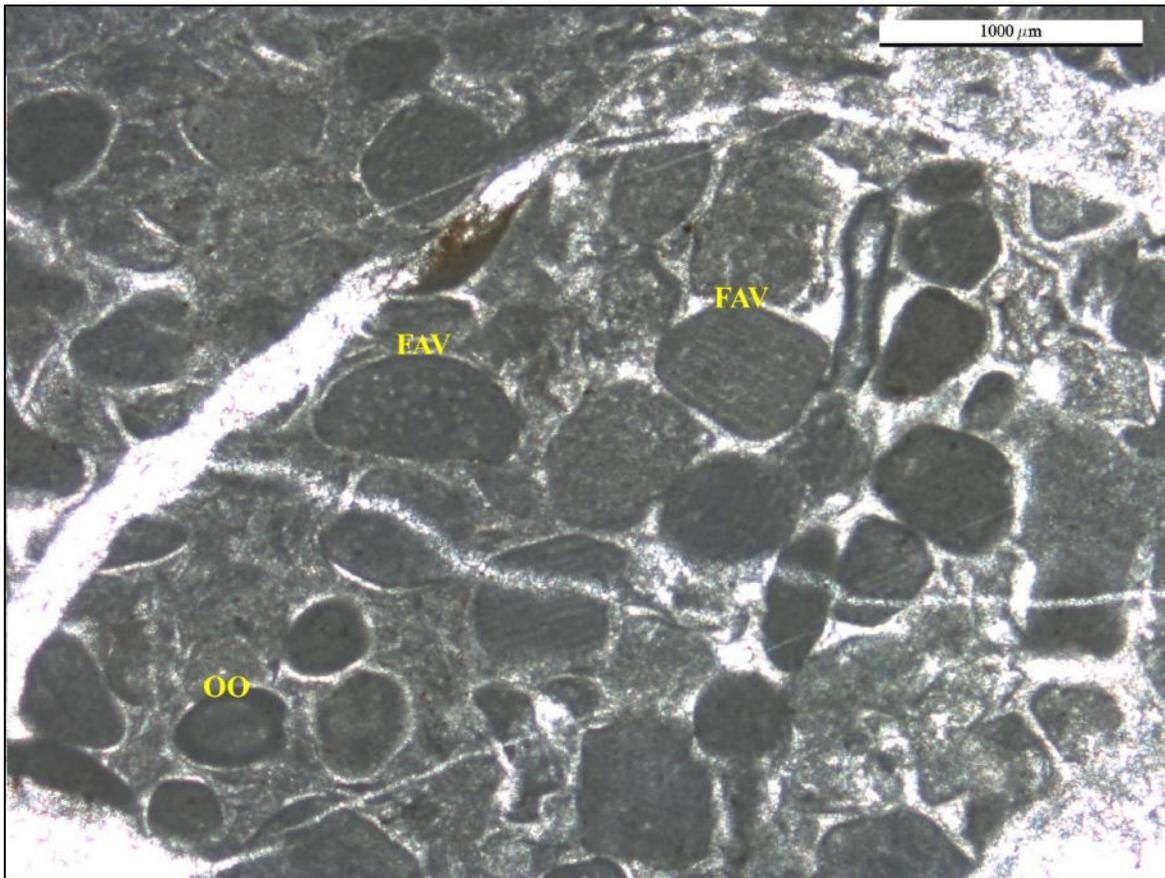


Fig. 35: Lámina GEBN-RZ-M3: Grainstone de *Favreina* sp. y ooides. Claves: FAV= *Favreina*, OO= Ooides.

Muestra
 Clasificación de Folk
 Clasificación de Dunham
 Análisis

GEBN-RZ-M3
 Peloesparita
 Grainstone

Favreina sp. en cortes transversales y longitudinales. En la sección transversal se muestra de forma ovalada, con canales diminutos poros de forma subcirculares, que se encuentran distribuidos irregularmente. Las secciones longitudinales se observan de forma de subrectángulos, con conductos paralelos largos y rectos dispuestos en un patrón rectangular. Adicionalmente en esta lámina se identificó ooides superficiales menores a los 2 mm, con núcleos de peloides. Se asocian a zonas de barras.

Zona de Facies de Rampa
 Microfacies

Rampa interior
 RMF 27

Tabla 8: Lámina GEBN-RZ-M4, Rayones, Formación Zuloaga.

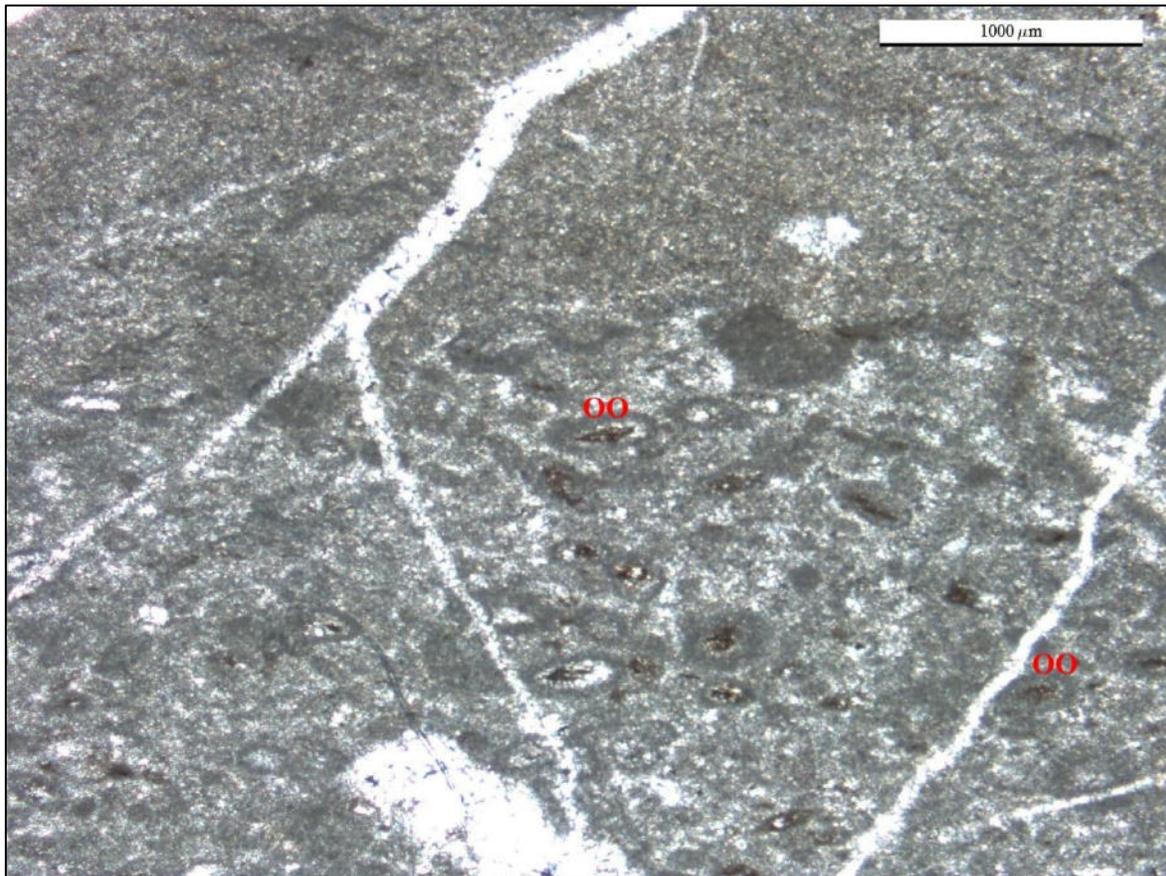


Fig. 36: Lámina GEBN-RZ-M4: *Grainstone* oolítico; Clave: OO= Ooides.

Muestra	GEBN-RZ-M4
Clasificación de Folk	Ooesparita
Clasificación de Dunham	<i>Grainstone</i>
Análisis	Ooides superficiales de forma elipsoidal con un diámetro menor a los 2 mm, que presenta núcleos de óxido algunos se encuentran recristalizados. La muestra presenta variedad de ooides, desde aquellos con un núcleo pequeño a uno de mayor tamaño. Se asocian a zonas de barra de arena.
Zona de Facies de Rampa	Rampa interior
Microfacies	RMF 27

Tabla 9: Lámina GEBN-RZ-M5, Rayones, Formación Zuloaga.

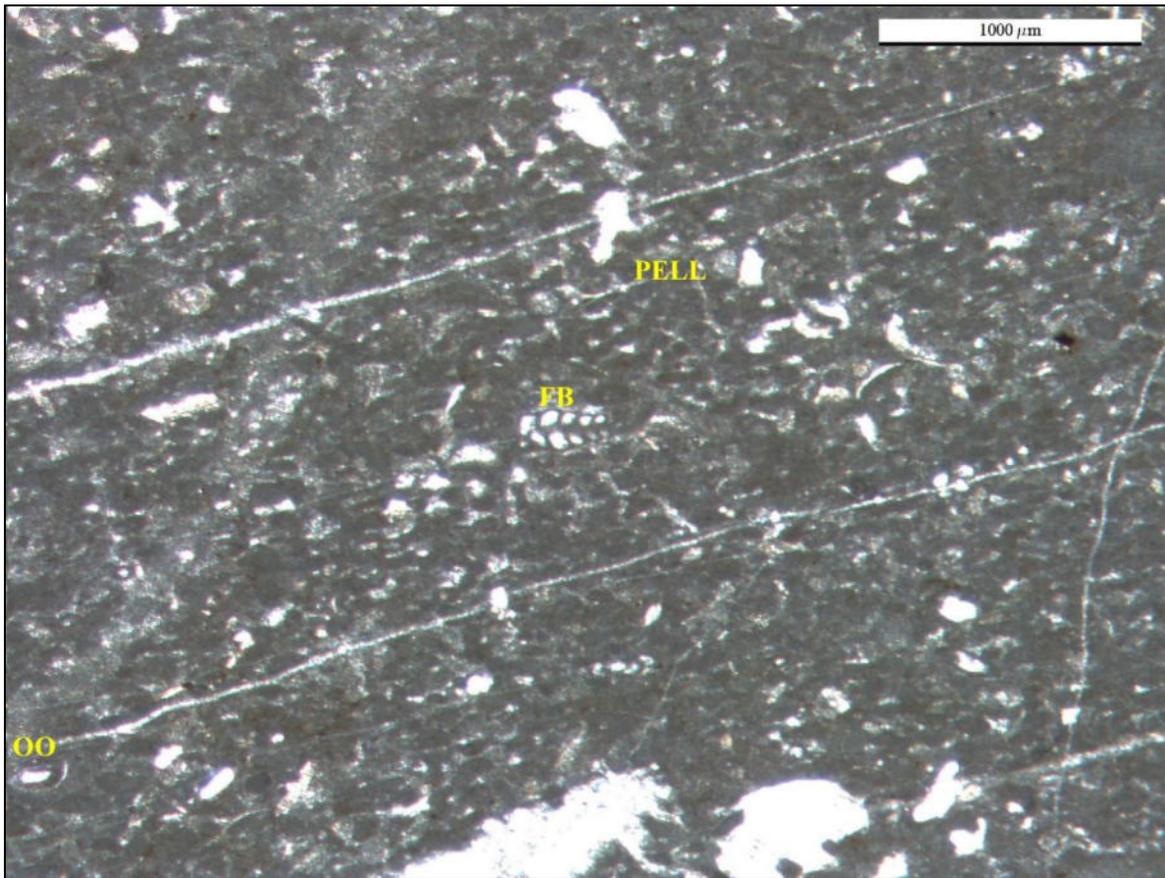


Fig. 37: Lámina GEBN-RZ-M5: *Grainstone* de peloides, ooides y foraminíferos bentónicos. Claves: PELL= Pellets/Peloides, OO=Ooides, FB= Foraminíferos bentónicos.

Muestra	GEBN-RZ-M5
Clasificación de Folk	Peloobioesparita
Clasificación de Dunham	<i>Grainstone</i>
Análisis	Formada en mayor dominio de peloides y pellets de diferentes tamaños, en cambio en menor dominio se encuentran los ooides y los foraminíferos bentónicos. En este caso se observa un foraminífero bentónico en una disposición biserial con diez cámaras. Se asocian a barras de arena.
Zona de Facies de Rampa	Rampa interior
Microfacies	RMF 27

Tabla 10: Lámina GEBN-RZ-M6, Rayones, Formación Zuloaga.

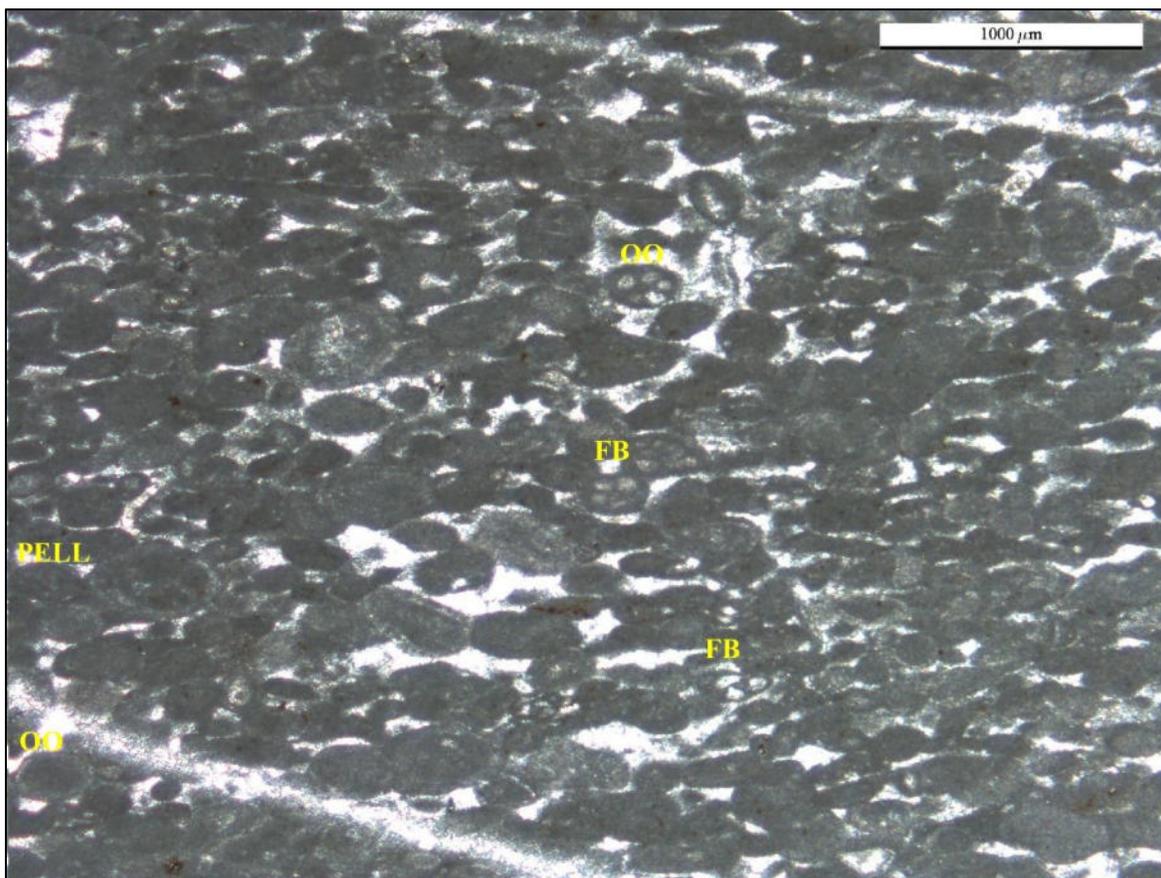


Fig. 38: Lámina GEBN-RZ-M6: *Grainstone* de ooides, foraminíferos bentónicos y pellets. Claves: OO= Ooides, FB= Foraminíferos bentónicos, PELL= Pellets.

Muestra	GEBN-RZ-M6
Clasificación de Folk	Oobiopelaparita
Clasificación de Dunham	<i>Grainstone</i>
Análisis	Sección de ooides menores a los 2 mm con núcleos de foraminíferos y peloides, algunos núcleos son pequeños debido a factores que influyen en el crecimiento, como el suministro de núcleos, la tasa de crecimiento y la agitación. Con presencia de foraminíferos bentónicos y peloides. Se asocian a zonas de barra de arena.
Zona de Facies de Rampa	Rampa interior
Microfacies	RMF 27

5.5.3 Perfil La Poza, Galeana, Nuevo León

Tabla 11: Lámina GEBN-P1, La Poza, Formación Zuloaga.

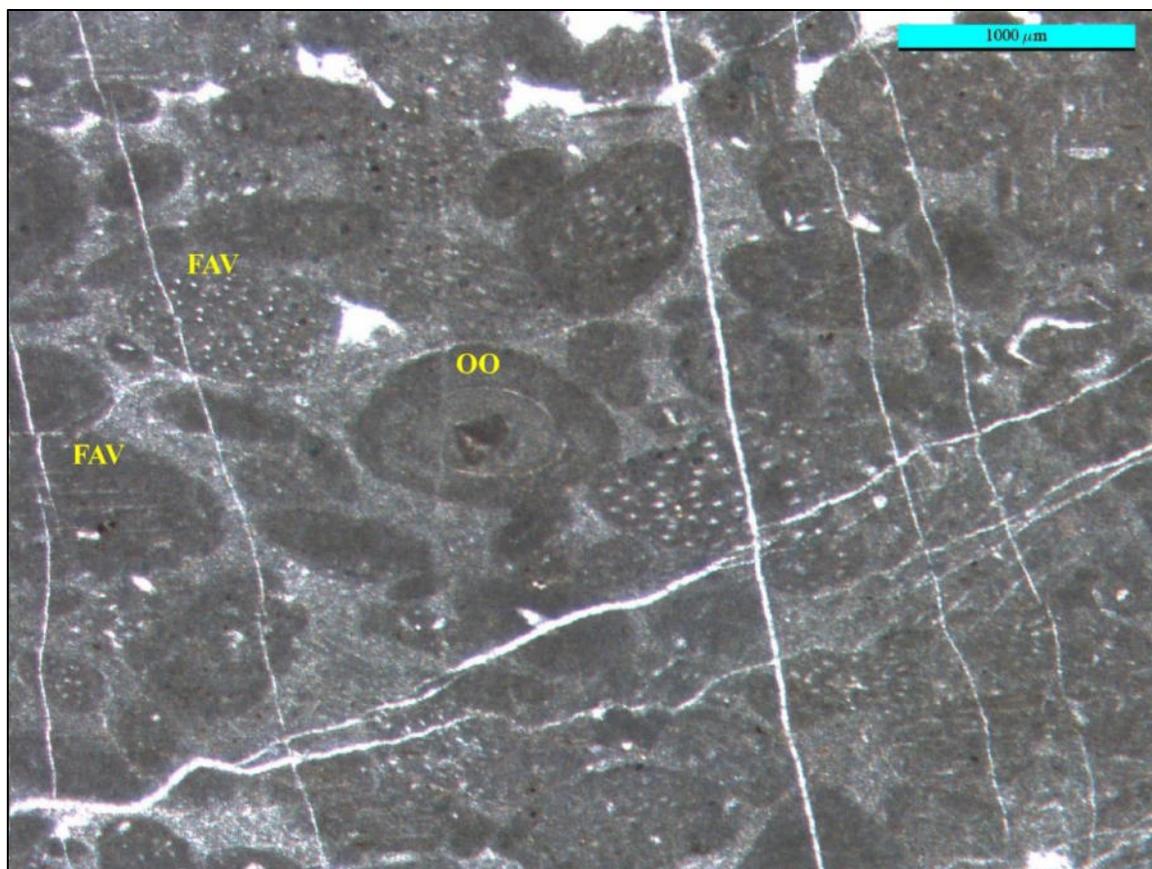


Fig. 39: Lámina GEBN-P1: *Grainstone* de ooides y *Favreina*. Claves: OO= Ooides, FAV= *Favreina*.

Muestra	GEBN-P1
Clasificación de Folk	Oopelesparita
Clasificación de Dunham	<i>Grainstone</i> con ooides y <i>Favreina</i> sp.
Análisis	Sección de ooides superficiales menores a los 2 mm con núcleos de micrita, con presencia de pellets fecales de <i>Favreina</i> sp. en cortes longitudinales y transversales. En los cortes longitudinales se observan los conductos paralelos y rectos dispuestos en un patrón rectangular. En cambio, en cortes transversales muestran canales de diminutos poros distribuidos irregularmente. Se asocian a zonas de barra de arena.
Zona de Facies de Rampa	Rampa interior
Microfacies	RMF 27

Tabla 12: Lámina GEBN-P2, La Poza, Formación Zuloaga.

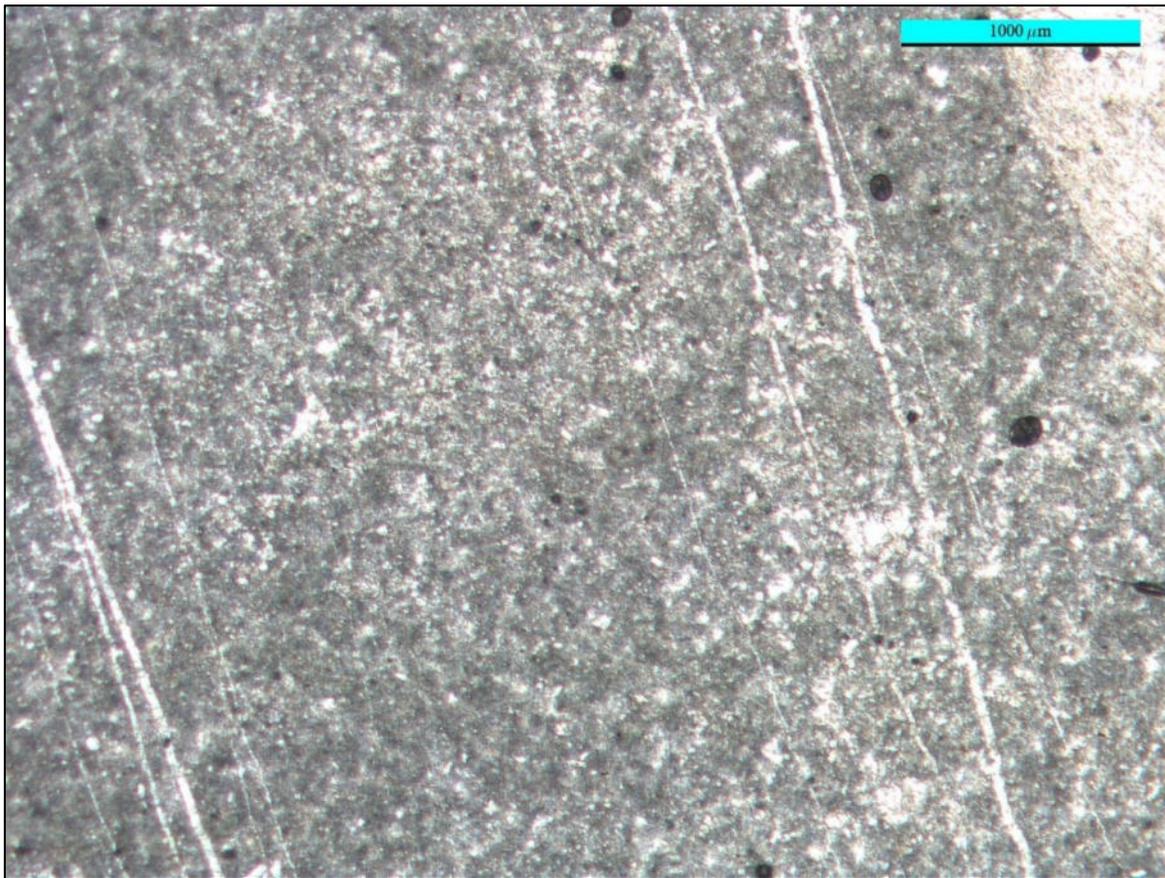


Fig. 40: Lámina GEBN-P2: *Mudstone* sin contenido de aloquímicos.

Muestra	GEBN-P2
Clasificación de Folk	Micrita
Clasificación de Dunham	<i>Mudstone</i>
Análisis	Consiste en lodo carbonatado con ausencia de granos por lo que la matriz es el único constituyente de la roca. Se asocia a zonas peritidales.
Zona de Facies de Rampa	Rampa interior
Microfacies	RMF 22

Tabla 13: Lámina GEBN-P3, La Poza, Formación Zuloaga.

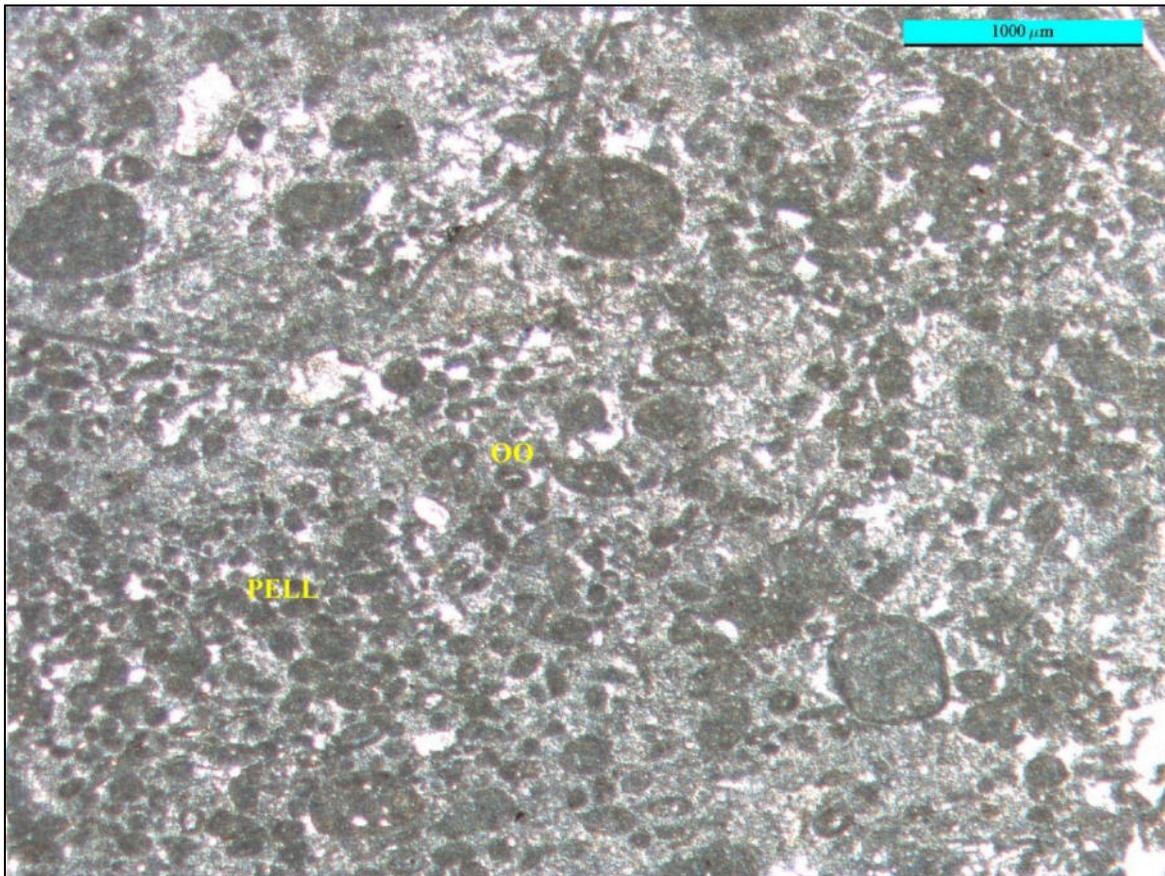


Fig. 41: Lámina GEBN-P3: *Grainstone* de ooides y pellets. Claves: OO= Ooides, PELL= Pellets.

Muestra	GEBN-P3
Clasificación de Folk	Oopelesparita
Clasificación de Dunham	<i>Grainstone</i>
Análisis	Ooides superficiales menores a los 2 mm, con núcleos pequeños y pellets de tamaños variables con formas circulares a elípticas en una matriz de esparita. Se asocian a zonas de barras de arena.
Zona de Facies de Rampa	Rampa interior
Microfacies	RMF 27

Tabla 14: Lámina GEBN-P5, La Poza, Formación Zuloaga.

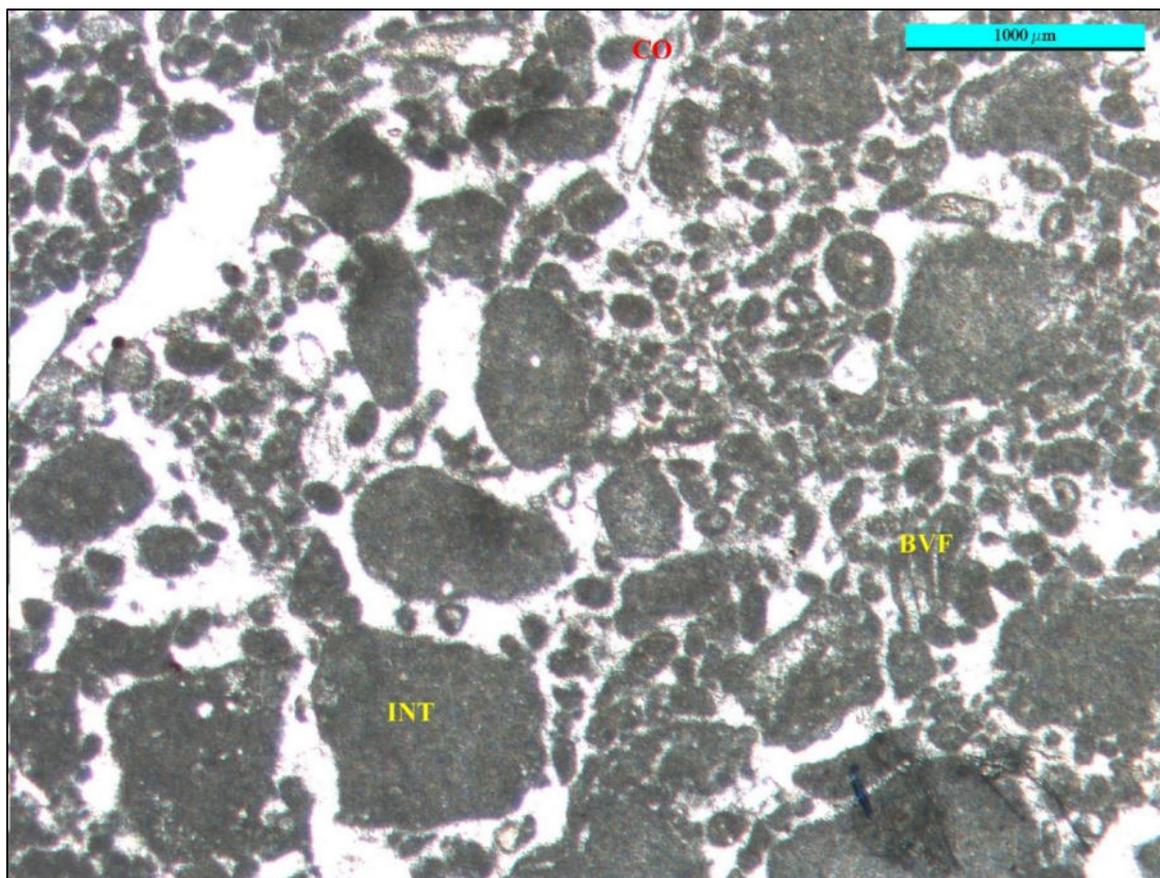


Fig. 42: Lámina GEBN-P5: *Grainstone* con amplio contenido de litoclastos, fragmentos de pelecípodos y cortoides. Claves: INT= Intraclastos, CO= Cortoides, BVF= Fragmentos de pelecípodos.

Muestra
 Clasificación de Folk
 Clasificación de Dunham
 Análisis

GEBN-P5
 Intrabioesparita
Grainstone

Constituida por litoclastos con formas angulosas y subredondeadas de tamaños variables que indican fragmentos erosionados de sedimentos que han sido transportados y redepositados. Menor dominio de fragmentos de pelecípodos, y cortoides. Los cortoides envuelven con una delgada capa de micrita a los fragmentos de pelecípodos. Se asocian zonas peritidales.

Zona de Facies de Rampa
 Microfacies

Rampa interior
 RMF 24

Tabla 15: Lámina GEBN-P6, La Poza, Formación Zuloaga.

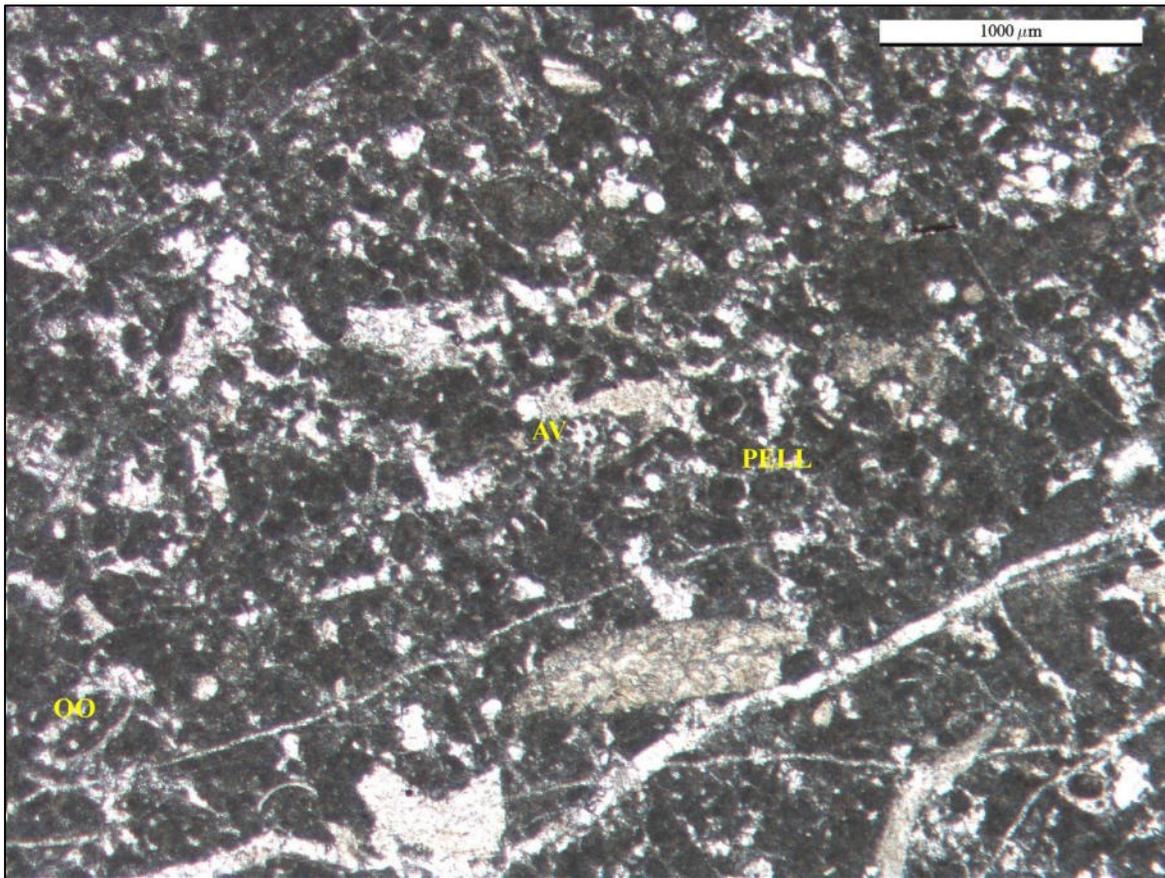


Fig. 43: Lámina GEBN-P6: *Grainstone* de ooides, pellets y algas verdes particularmente *Acicularia sp.* la cual muestra nueve cavidades de esporangios. Claves: OO= Ooides, PELL= Pellets, AV= Alga verde.

Muestra	GEBN-P6
Clasificación de Folk	Oopelbioesparita
Clasificación de Dunham	<i>Grainstone</i>
Análisis	Sección de ooides superficiales menores a los 2 mm los cuales presentan núcleos pequeños. Además de granos fecales y algas verdes (<i>Acicularia sp.</i>) que presenta nueve cavidades de esporangios. Esta sección se asocian en barras de arena.
Zona de Facies de Rampa	Rampa interior
Microfacies	RMF 27

5.5.4 Perfil Aramberri, Nuevo León

5.5.4.1 Formación Novillo

Tabla 16: Lámina GEBN-AN-M2, Aramberri, Formación Novillo.

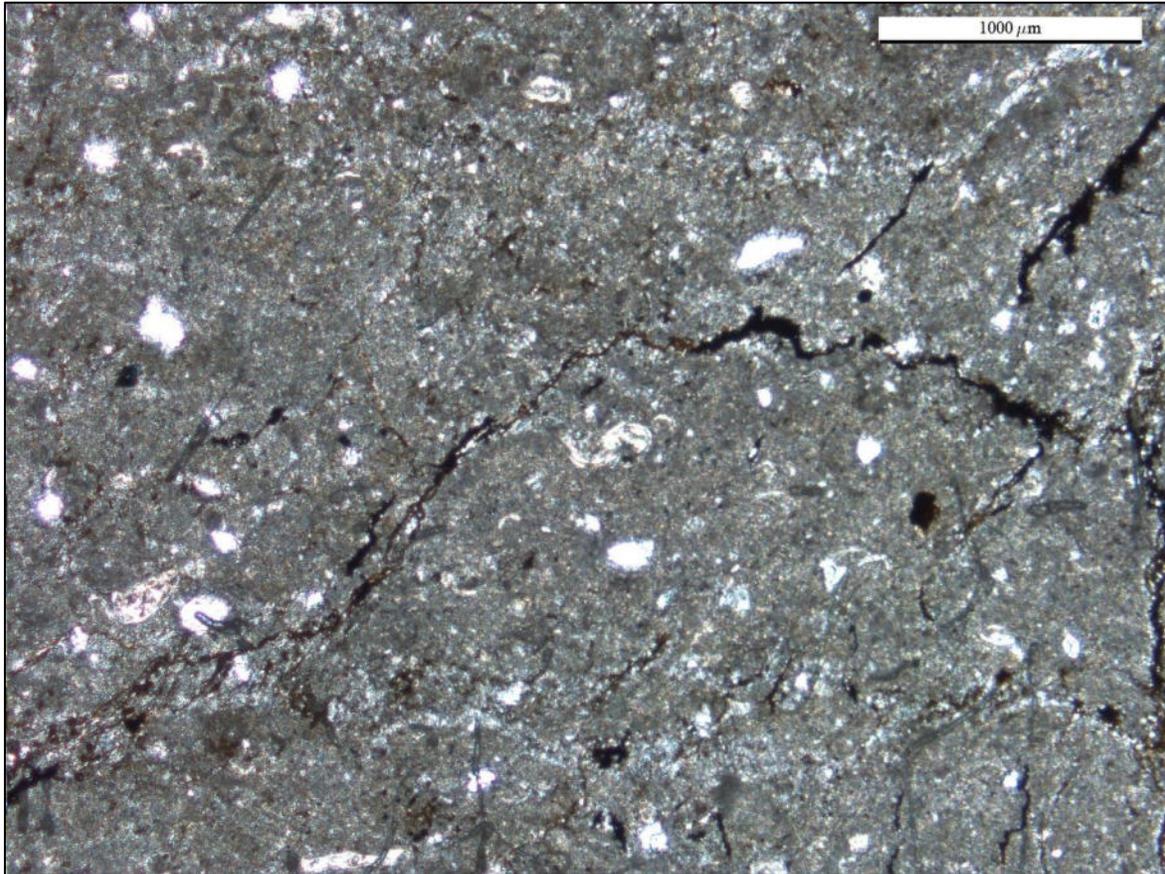


Fig. 44: Lámina GEBN-AN-M2: *Mudstone* sin bioclastos.

Muestra	GEBN-AN-M2
Clasificación de Folk	Micrita
Clasificación de Dunham	<i>Mudstone</i>
Análisis	Sin aloquímicos por lo que el único componente de la roca es la matriz. Se asocia a zonas peritidales.
Zona de Facies de Rampa	Rampa interior
Microfacies	RMF 22

Tabla 17: Lámina GEBN-AN-M3, Aramberri, Formación Novillo.

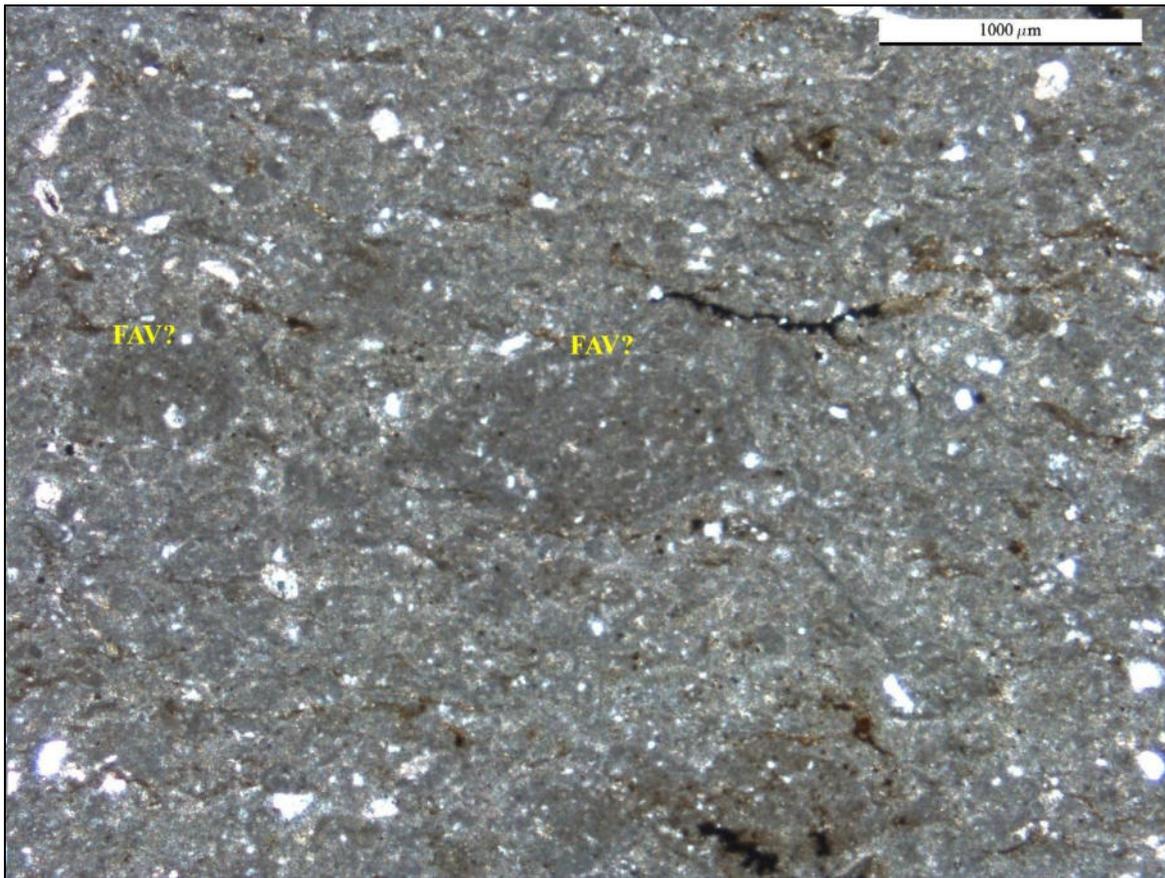


Fig. 45: Lámina GEBN-AN-M3: *Mudstone* de *Favreina* sp. Claves: FAV? = *Favreina*.

Muestra	GEBN-AN-M3
Clasificación de Folk	Pelmicrita
Clasificación de Dunham	<i>Mudstone</i>
Análisis	<p>Aparentes restos de <i>Favreina</i> sp. en cortes transversales con canales distribuidos irregularmente a lo largo de la sección, estos restos fecales no presentan un buen grado de preservación por lo que la estructura no está bien definida. Se asocian a barras de arena.</p>
Zona de Facies de Rampa	Rampa interior
Microfacies	RMF 27

Tabla 18: Lámina GEBN-AN-M4, Aramberri, Formación Novillo.

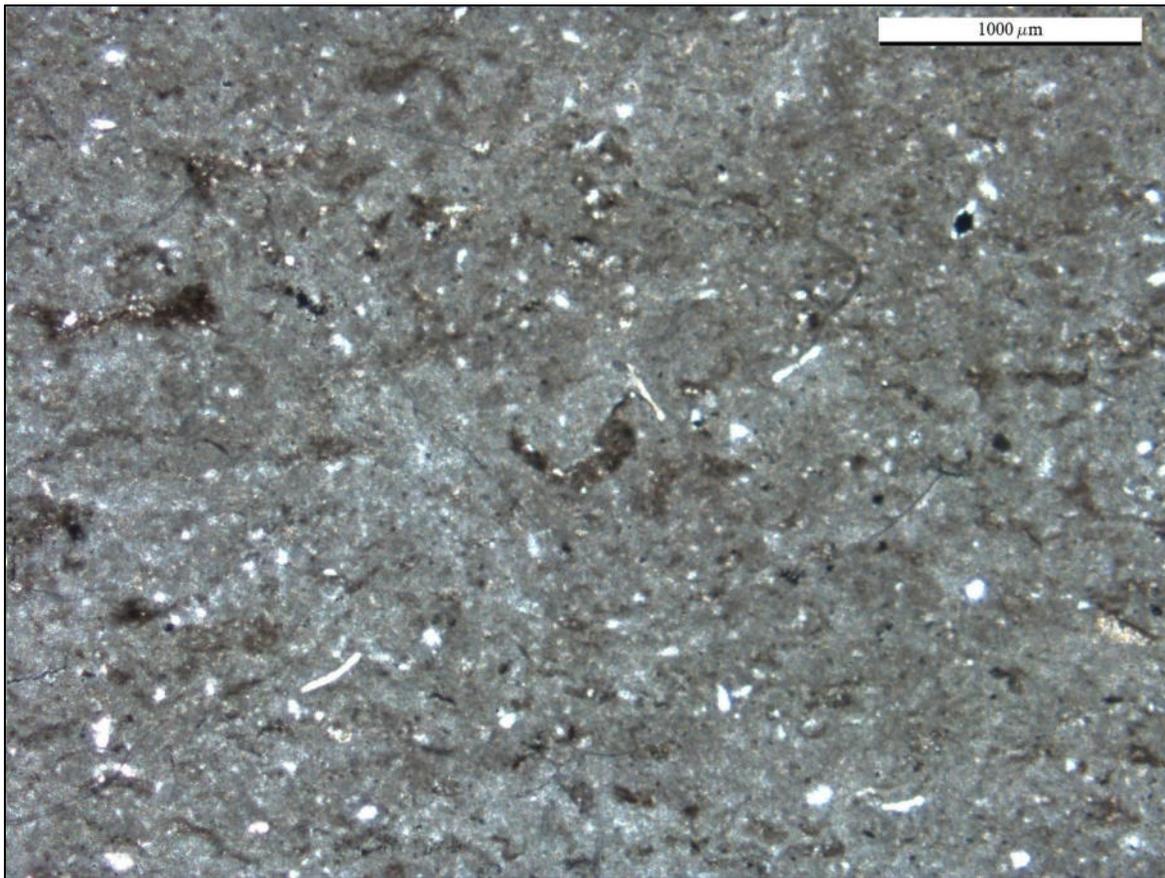


Fig. 46: Lámina GEBN-AN-M4: *Mudstone* sin contenido.

Muestra	GEBN-AN-M4
Clasificación de Folk	Micrita
Clasificación de Dunham	<i>Mudstone</i>
Análisis	Caliza compuesta por lodo carbonatado con la ausencia de bioclastos y granos, en único componente de la roca es la matriz. Se asocian a la zona peritidal.
Zona de Facies de Rampa	Rampa interior
Microfacies	RMF 22

Tabla 19: Lámina GEBN-AN-M5, Aramberri, Formación Novillo.

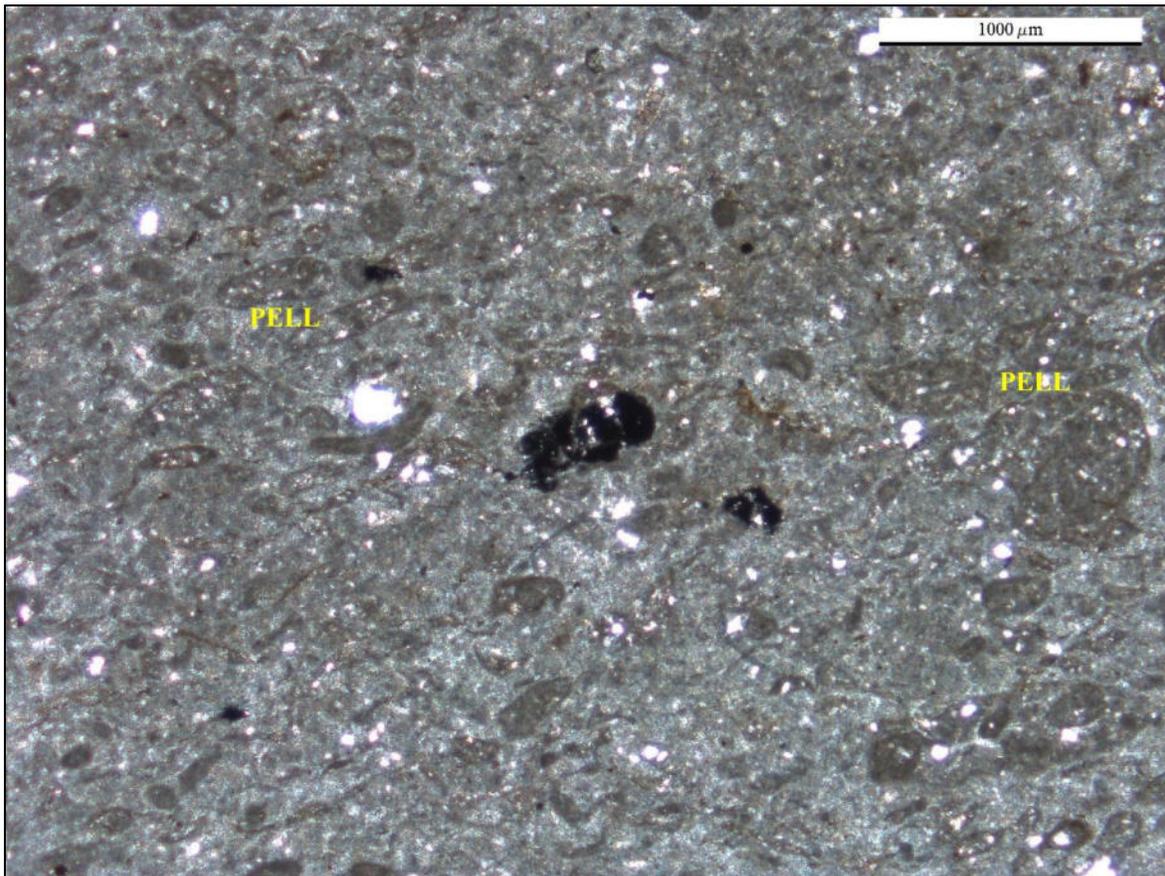


Fig. 47: Lámina GEBN-AN-M5: *Wackestone* de pellets. Clave: PELL= Pellets.

Muestra	GEBN-AN-M5
Clasificación de Folk	Pelmicrita
Clasificación de Dunham	<i>Wackestone</i>
Análisis	Granos no esqueléticos de pellets, de forma ovoide y subredondeados de tamaños variables. Su origen se debe a la actividad fecal de los organismos en gran manera por gasterópodos y crustáceos. Se asocian a barras de arena.
Zona de Facies de Rampa	Rampa interior
Microfacies	RMF 27

Tabla 20: Lámina GEBN-AN-M6, Aramberri, Formación Novillo.

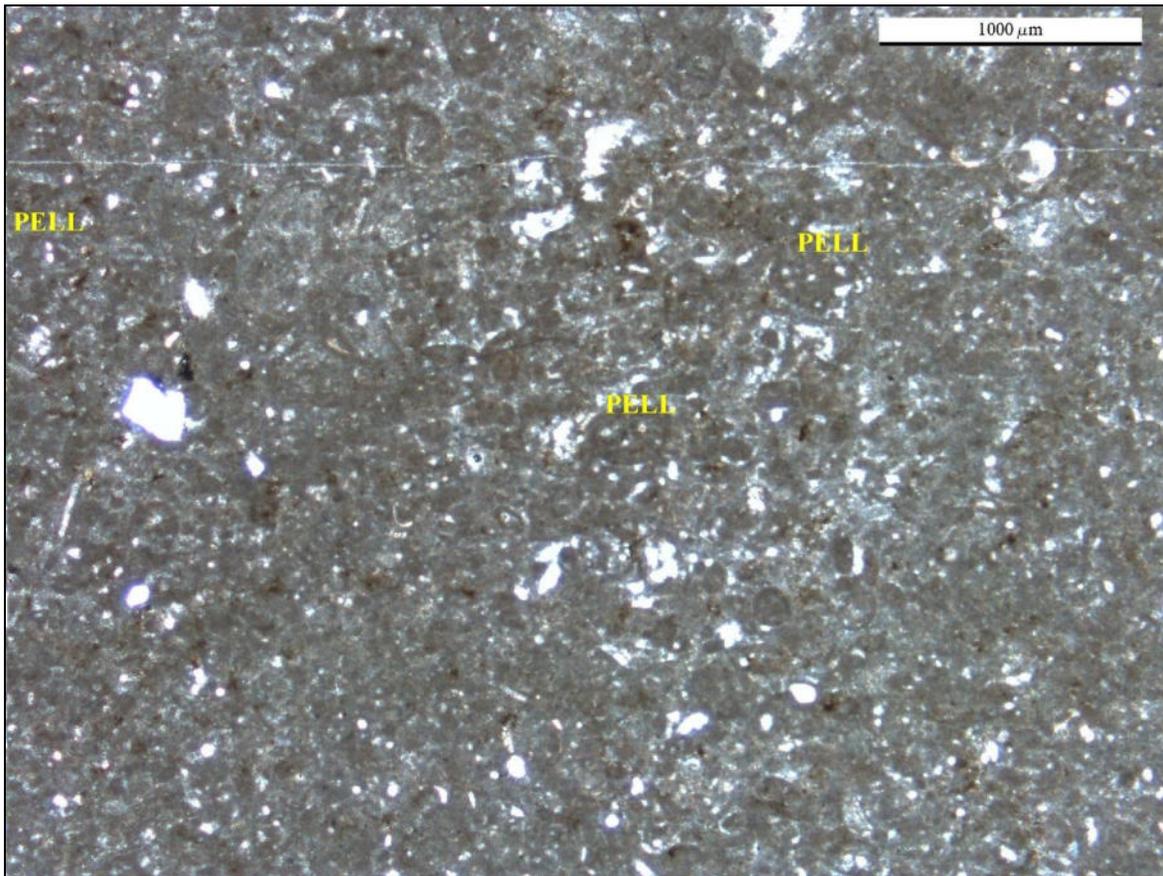


Fig. 48: Lámina GEBN-AN-M6: *Wackestone* de granos no esqueléticos de pellets. Clave: PELL= Pellets.

Muestra	GEBN-AN-M6
Clasificación de Folk	Pelmicrita
Clasificación de Dunham	<i>Wackestone</i>
Análisis	Formada por granos no esqueléticos de formas subredondeadas y circulares. Con una estructura interna característica de los pellets y se relaciona con el origen fecal. Se asocian a barras de arena.
Zona de Facies de Rampa	Rampa interior
Microfacies	RMF 27

5.5.4.2 Formación Zuloaga

Tabla 21: Lámina GEBN-AZ-M7, Aramberri, Formación Zuloaga.

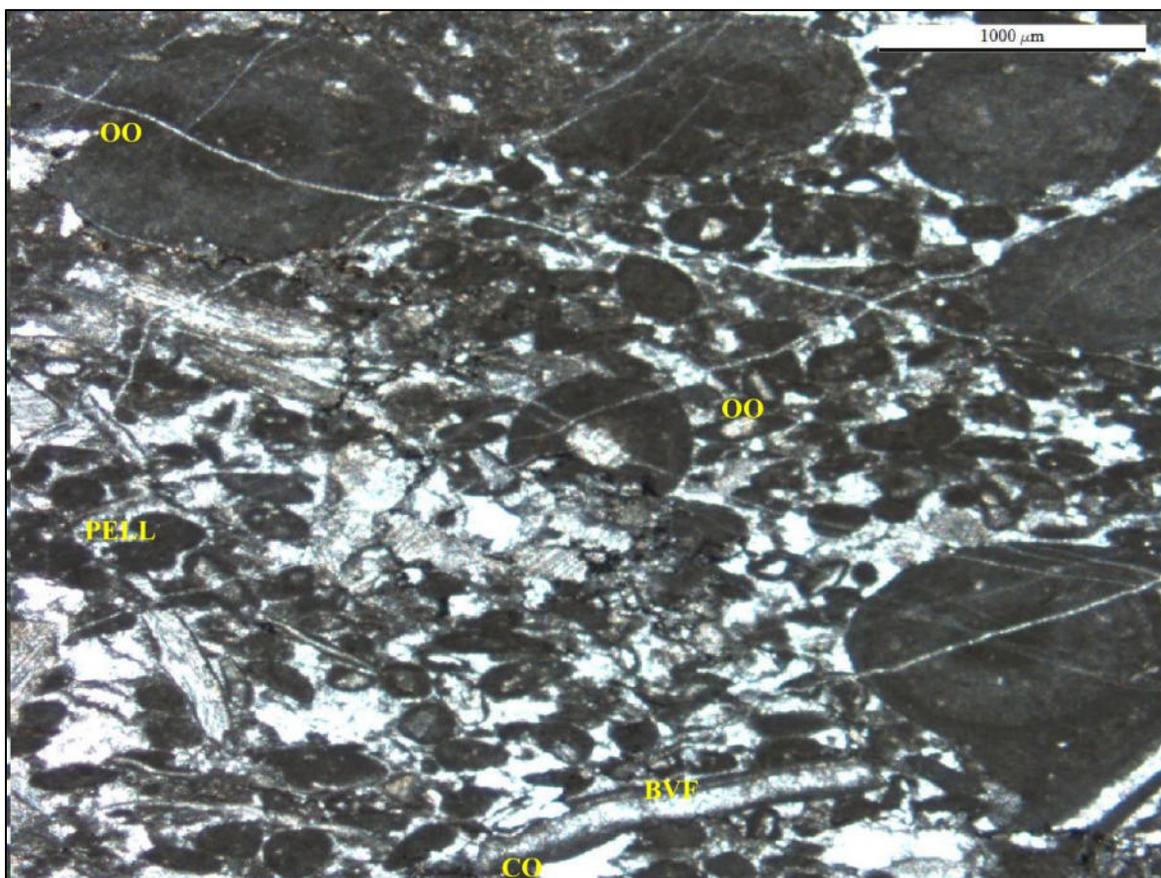


Fig. 49: Lámina GEBN-AZ-M7: *Grainstone* de ooides, pelecípodos, cortoides y pellets. Claves: OO= Ooides, BVF= Fragmentos de pelecípodos, CO= Cortoides, PELL= Pellets.

<p>Muestra</p> <p>Clasificación de Folk</p> <p>Clasificación de Dunham</p> <p>Análisis</p> <p>Zona de Facies de Rampa</p> <p>Microfacies</p>	<p>GEBN-AZ-M7</p> <p>Oobiopelasparita</p> <p><i>Grainstone</i></p> <p>Sección conformada por ooides simples y compuestos con diámetros menores a los 2 mm, algunos núcleos están bien definidos, y están formados por peloides y/o minerales en su interior. Además de granos esqueléticos carbonatados de fragmentos de pelecípodos los cuales están envueltos en una capa delgada de micrita (cortoides) y granos no esqueléticos de pellets. Se asocian en barras de arena.</p> <p>Rampa interior</p> <p>RMF 27</p>
---	---

Tabla 22: Lámina GEBN-AZ-M8, Aramberri, Formación Zuloaga.

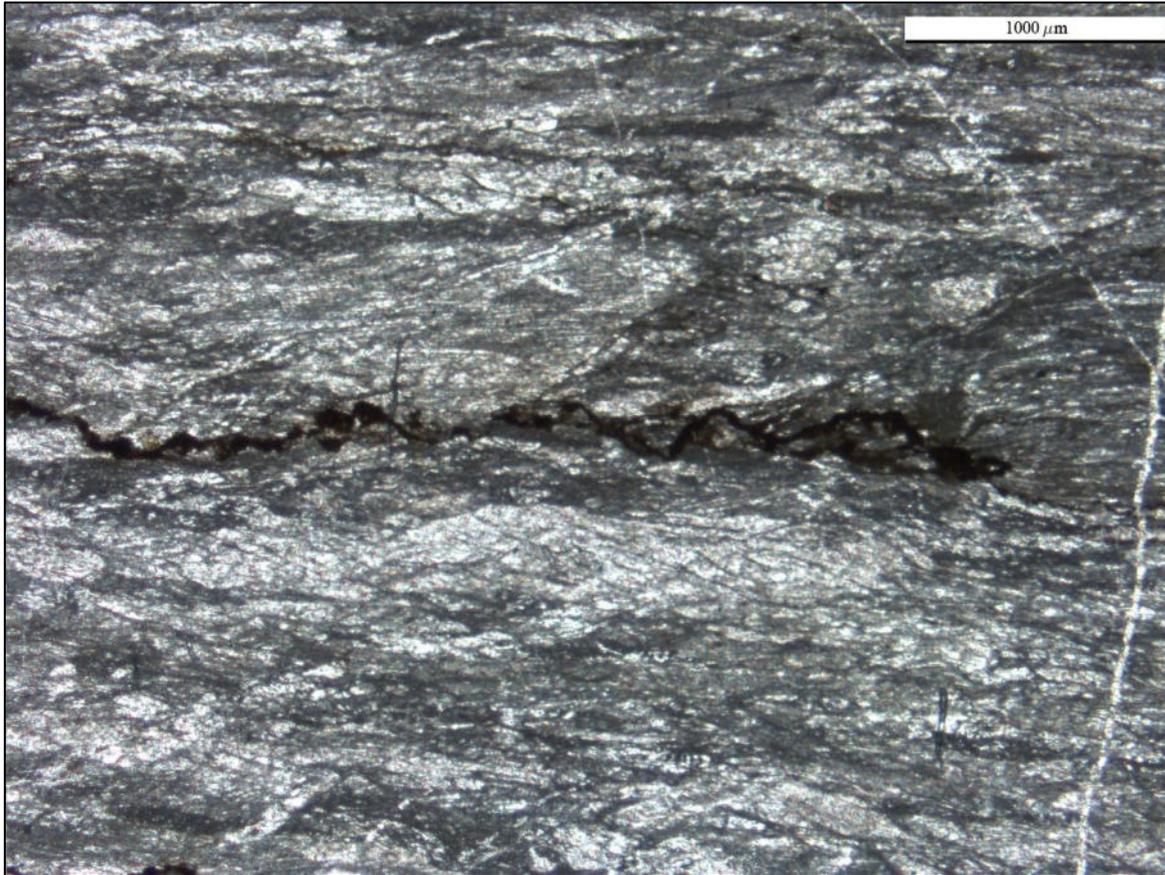


Fig. 50: Lámina GEBN-AZ-M8: *Bindstone* de carpetas algales.

Muestra
Clasificación de Folk
Clasificación de Dunham
Clasificación de Embry & Klovan
Análisis

GEBN-AZ-M8
Biolitita
Boundstone
Bindstone

Carpetas algales con intercalación de capas paralelas a subparalelas de bandas de micrita y esparita. Además de la presencia de microestilolitas. Se asocian ambientes de laguna en la zona peritidal.

Zona de Facies de Rampa
Microfacies

Rampa interior
RMF 25

Tabla 23: Lámina GEBN-AZ-M9, Aramberri, Formación Zuloaga.

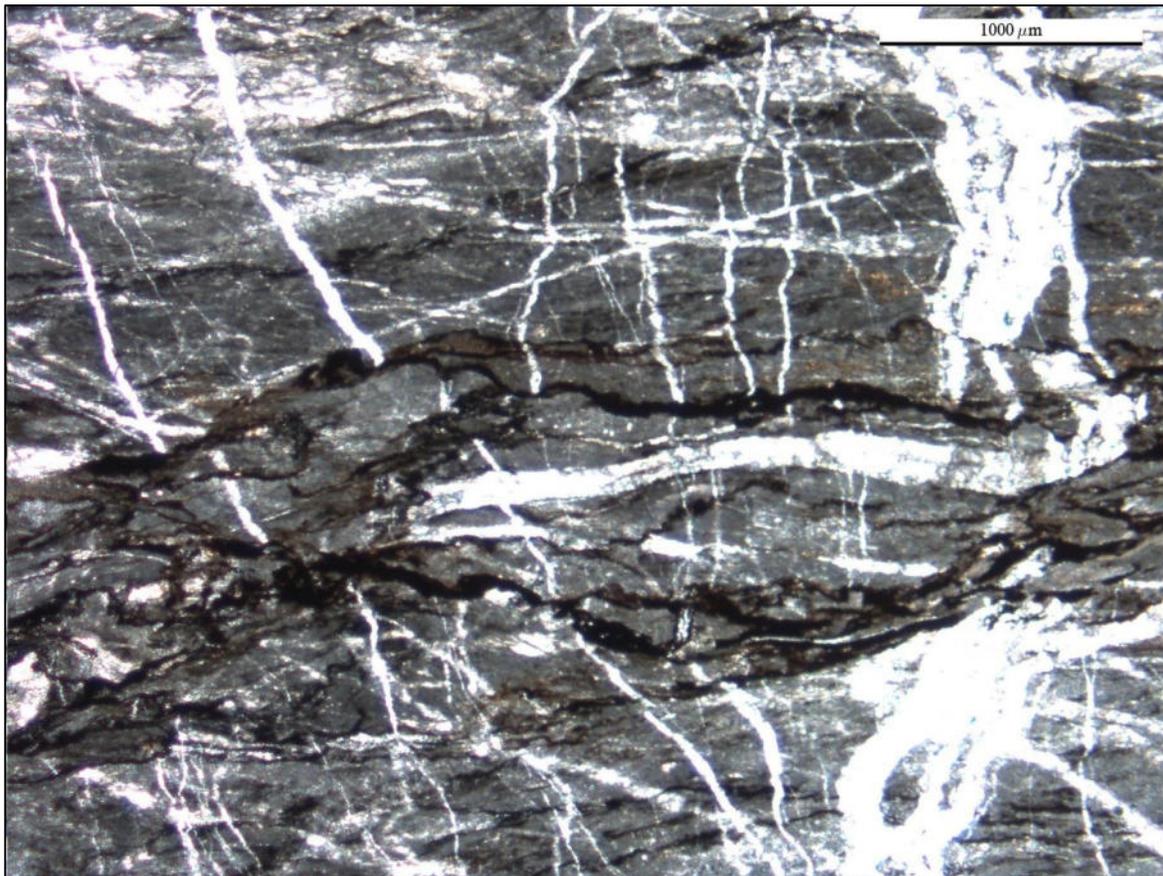


Fig. 51: Lámina GEBN-AZ-M9: *Bindstone* de estructuras formadas por carpetas de algas.

Muestra
Clasificación de Folk
Clasificación de Dunham
Clasificación de Embry & Klovan
Análisis

GEBN-AZ-M9
Biolitita
Boundstone
Bindstone

La sección presenta laminación milimétrica alternada de bandas micríticas y esparítica con presencia de múltiples fracturas rellenas de calcita. Se asocian a zonas de laguna dentro de la zona peritidal.

Zona de Facies de Rampa
Microfacies

Rampa interior
RMF 25

Tabla 24: Lámina GEBN-AZ-M10, Aramberri, Formación Zuloaga.

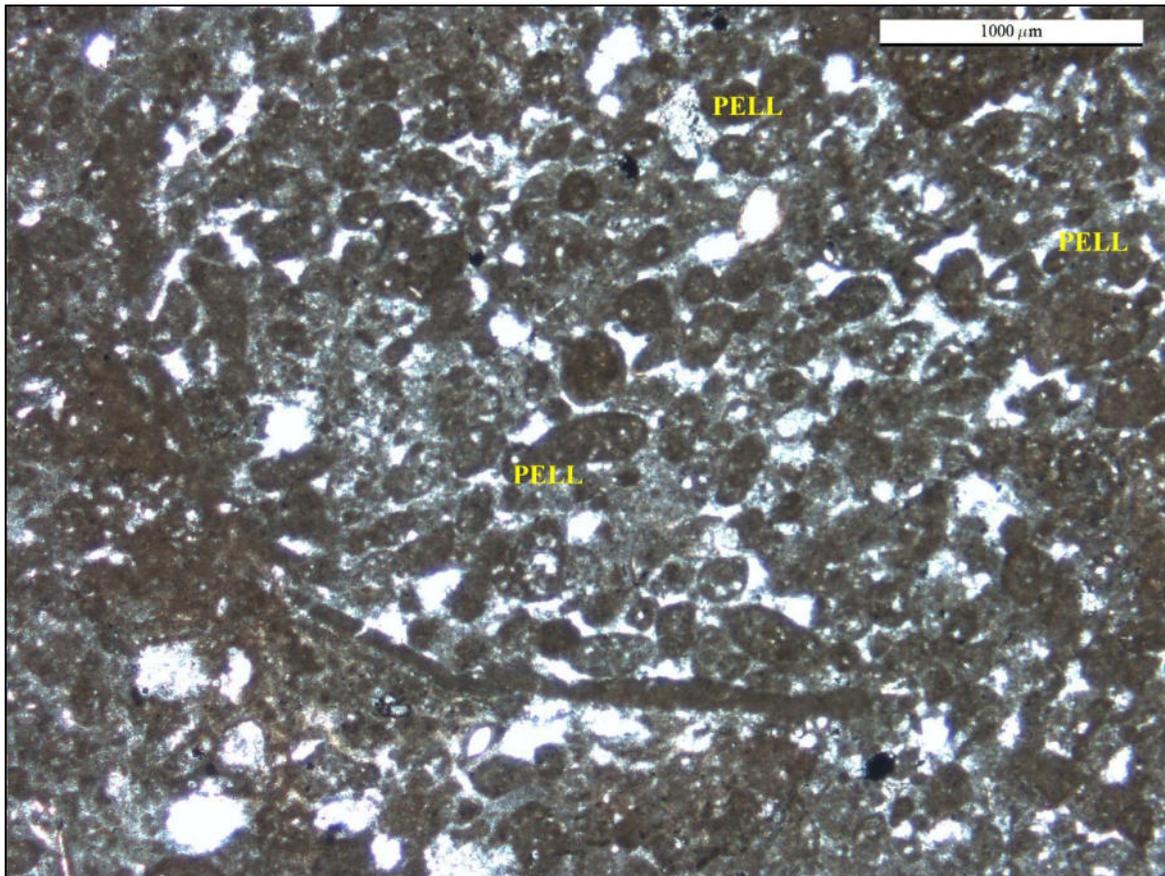


Fig. 52: Lámina GEBN-AZ-M10: Grainstone de aloquímicos no esqueléticos. Clave: PELL= Pellets.

Muestra	GEBN-AZ-M10
Clasificación de Folk	Pelesparita
Clasificación de Dunham	Grainstone
Análisis	Constituida por pellets con formas circulares y subredondeados que se encuentran en una matriz grano-soportada. Se asocian a barras de arena.
Zona de Facies de Rampa	Rampa interior
Microfacies	RMF 27

5.5.5 Perfil: Cañón Peregrina, Cd. Victoria, Tamaulipas

Tabla 25: Lámina GEBN-CP-M1, Aramberri, Formación Novillo.

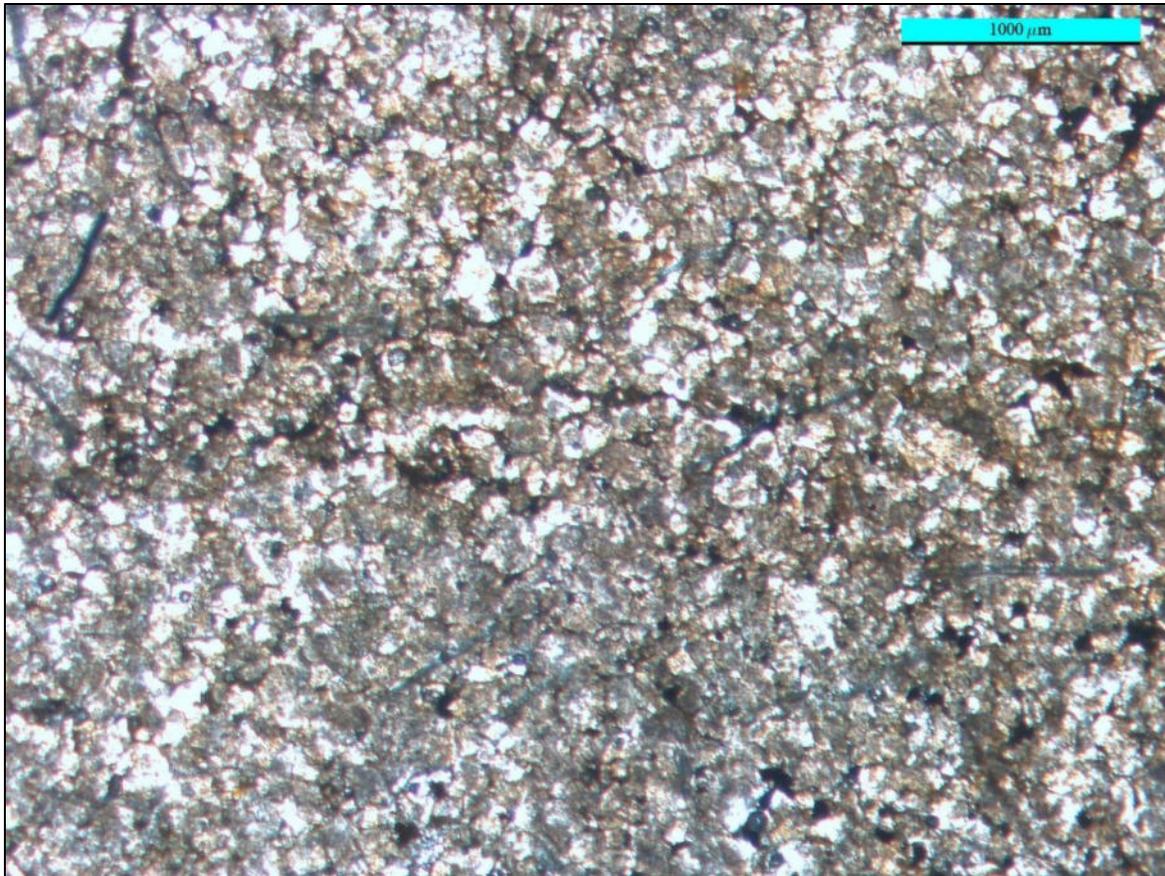


Fig. 53: Lámina GEBN-CP-M1: *Dolostone*.

Muestra	GEBN-CP-M1
Clasificación de Folk	-----
Clasificación de Dunham	<i>Dolostone</i>
Análisis	Caliza que ha sido remplazada por dolomita, en la muestra se observa los cristales de este mineral. Se asocia a zonas peritidales.
Zona de Facies de Rampa	Rampa interior
Microfacies	RMF 22

Tabla 26: Lámina GEBN-CP-M2, Aramberri, Formación Novillo.



Fig. 54: Lámina GEBN-CP-M2: *Grainstone* de gasterópodos, pellets y peloides. Claves: G= Gasterópodo, PELL= Pellets/Peloides.

Muestra	GEBN-CP-M2
Clasificación de Folk	Biopelosparita
Clasificación de Dunham	<i>Grainstone</i>
Análisis	Se muestra una sección longitudinal de un gasterópodo con ornamentación que se encuentra relleno por diferentes aloquímicos de origen no esqueléticos que consisten en pellets. El sedimento alrededor del gasterópodo contiene abundantes pellets y peloides de diferentes tamaños. Se asocian a marina abierta.
Zona de Facies de Rampa	Rampa interior
Microfacies	RMF 14

Tabla 27: Lámina GEBN-CP-M3, Aramberri, Formación Novillo.

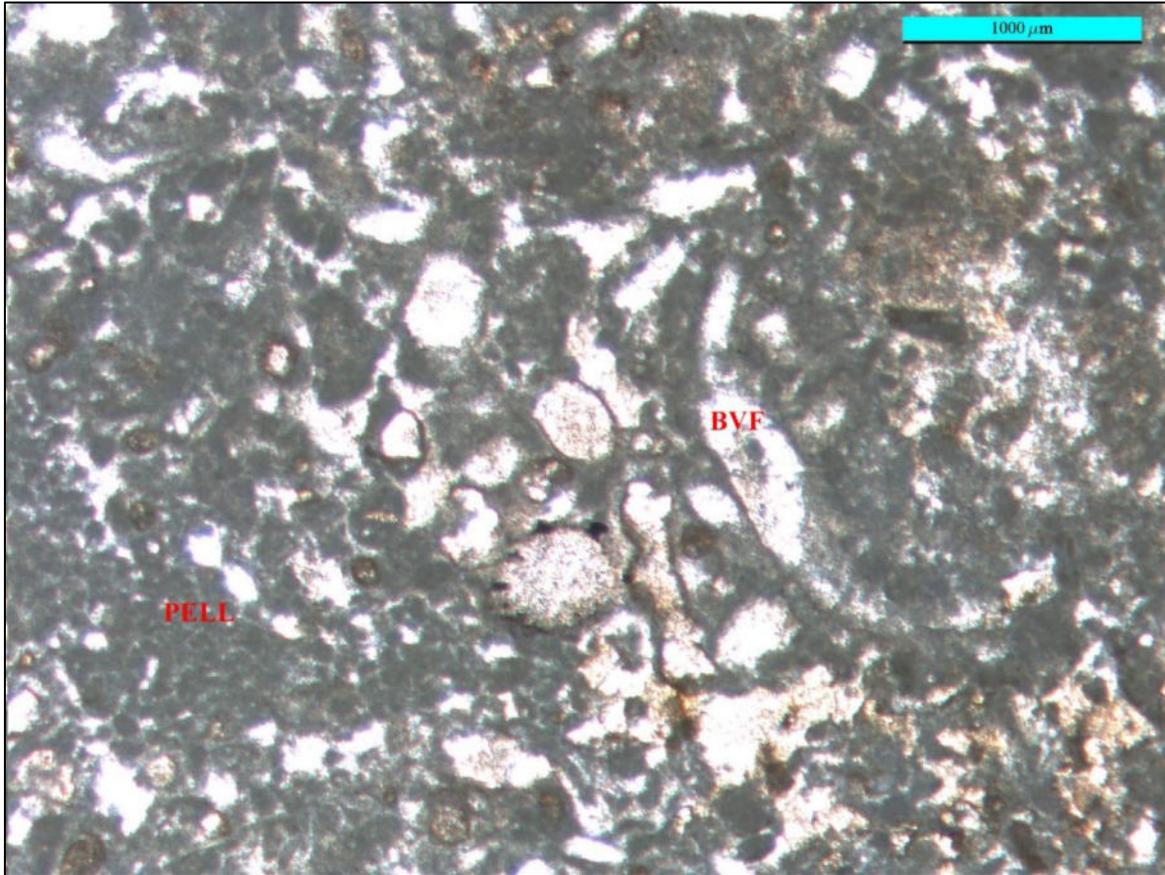


Fig. 55: Lámina GEBN-CP-M3: *Grainstone* de pellets, peloides y fragmentos de pelecípodos. Claves: PELL= Pellets/Peloides, BVF= Fragmentos de pelecípodos.

Muestra	GEBN-CP-M3
Clasificación de Folk	Pelbioesparita
Clasificación de Dunham	<i>Grainstone</i>
Análisis	La sección está compuesta por diferentes aloquímicos tanto de origen no esquelético como esquelético los cuales predominan los pellets, peloides con formas circulares y elípticas de diferentes tamaños y menor dominio los fragmentos de pelecípodos. Se asocian a barras de arena.
Zona de Facies de Rampa	Rampa interior
Microfacies	RMF 27

Tabla 28: Lámina GEBN-CP-M4, Aramberri, Formación Novillo.

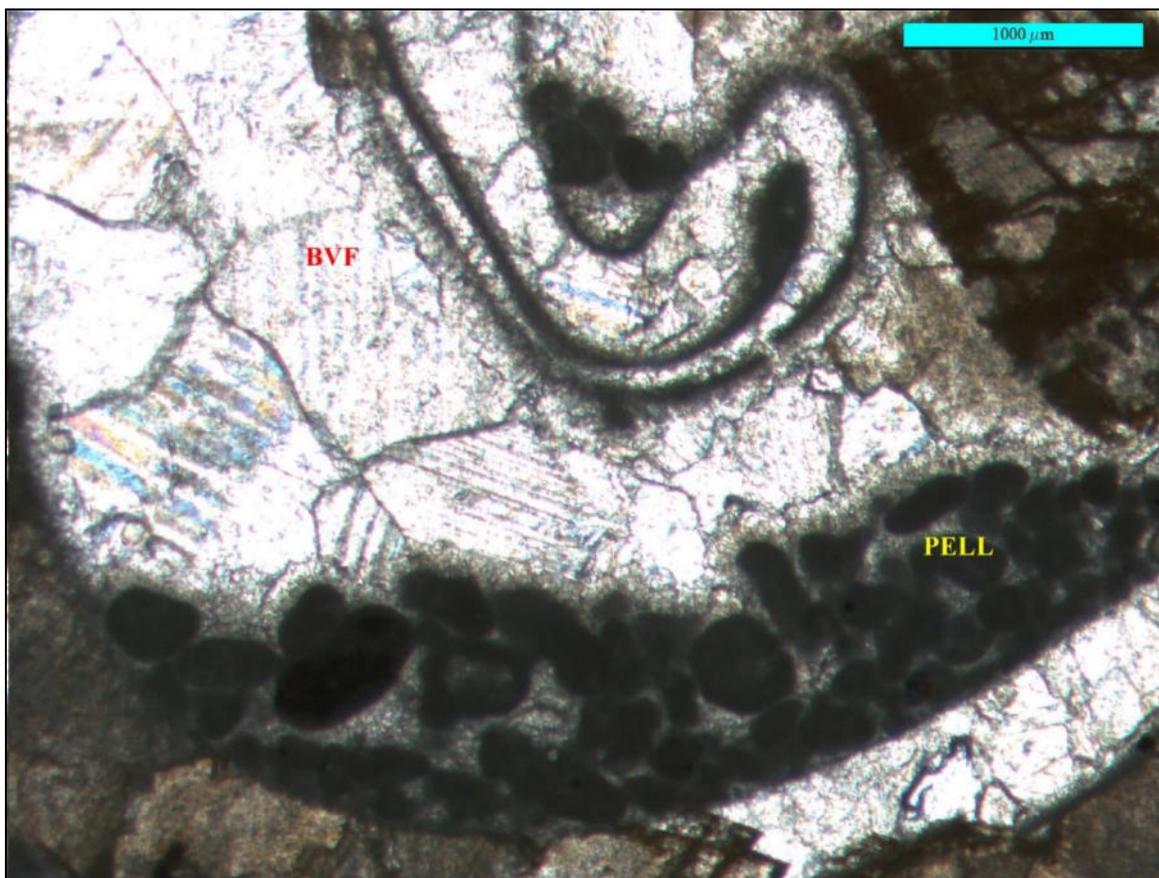


Fig. 56: Lámina GEBN-CP-M4: *Grainstone* con fragmentos de pelecípodos relleno de pellets. Claves: BVF= Fragmentos de pelecípodos, PELL= Pellets.

Muestra	GEBN-CP-M4
Clasificación de Folk	Bioesparita
Clasificación de Dunham	<i>Grainstone</i>
Análisis	Sección en la que se observa un fragmento de bivalvo que se encuentra relleno de granos no esqueléticos como pellets, en una matriz esparítica. Se asocia a zonas de barras de arena.
Zona de Facies de Rampa	Rampa interior
Microfacies	RMF 27

5.6 Análisis de facies

5.6.1 Introducción

El modelo sedimentario propuesto para el Jurásico Tardío en los diferentes perfiles realizados en la Sierra Madre Oriental corresponde al modelo de rampa de [Burchette & Wright \(1992\)](#) y [Flügel \(2010\)](#).

A continuación, se muestran las interpretaciones de las facies que se obtuvieron a partir del análisis de microfacies, para los perfiles: Cañón La Huasteca, Santa Catarina; La Poza, Galeana; Rayones, Aramberri y el Cañón Peregrina, Tamaulipas. Las microfacies se implementaron en el modelo de rampa para establecer las diferentes zonas de depositación de las facies para tener una idea más clara de los ambientes y las secuencias sedimentarias que nos permita identificar los cambios relativos del nivel del mar en las formaciones Zuloaga, Olvido y Novillo.

5.6.2 Interpretación de facies

5.6.2.1 Cañón La Huasteca, Santa Catarina, Nuevo León

5.6.2.1.1 Asociación 1

La facies A está formada por calizas de *mudstone*, sin aloquímicos, en la muestra GEBN-H2. La microfacies indica el depósito de lodo carbonatado en dominios de laguna de baja energía, por debajo del nivel de la base del oleaje en la zona peritidal de la rampa interior.

La facies B está conformada por calizas *grainstone* donde dominan los ooides y peloides en las muestras GEBN-H3, GEBN-H4 y GEBN-H5. Se reconocen en menor proporción *Favreina* sp, fragmentos de pelecípodos y cortoides.

El modelo sedimentario propuesto (Fig. 57) muestra que las microfacies se ubican principalmente en la rampa interior. En los dominios de la rampa interior de alta energía, se reconocen tres zonas de facies, que se extiende desde la zona peritidal (E), laguna (D) hasta las barras de arena (C).

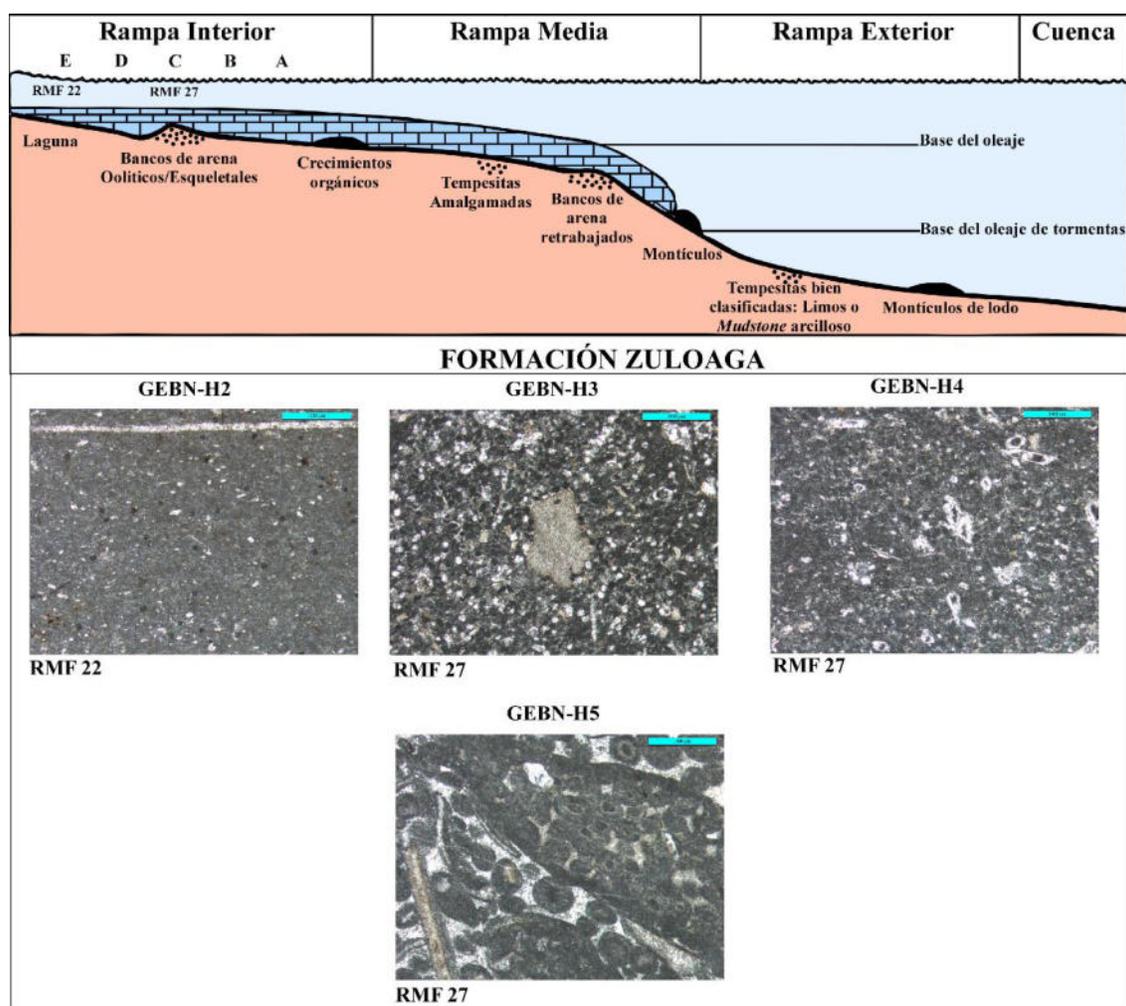


Fig. 57: Modelo de Rampa Carbonatada, en la localidad del Cañón La Huasteca (adaptado de Burchette & Wright, 1992; Flügel, 2010).

5.6.2.2 Rayones, Nuevo León

5.6.2.2.1.1 Asociación de *Favreina* sp.

La facies G se compone de *grainstone* (GEBN-RZ-M1 - GEBN-RZ-M6) con gran dominio de los granos no esqueléticos de ooides, pellets, peloides y puntualmente aparecen microcoprolitos de crustáceos, se observa una mayor presencia de icnogéneros de *Favreina* en distintas muestras para esta localidad (GEBN-RZ-M2 y GEBN-RZ-M3). Se reconocen en menor proporción foraminíferos bentónicos.

En el modelo sedimentario se reconoce una zona de facies que corresponde a bancos de arena oolíticos/esqueléticos (C) en dominios de la rampa interior (Fig. 58).

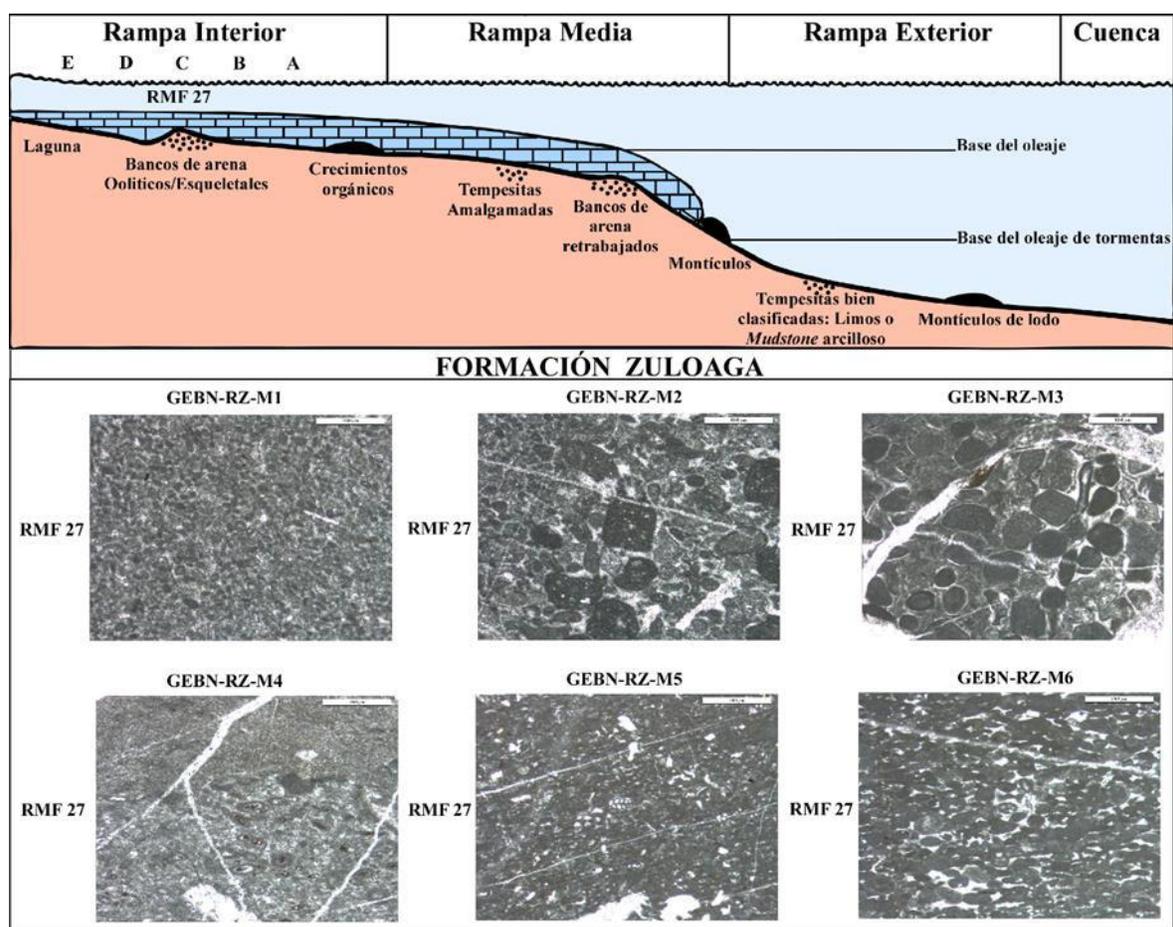


Fig. 58: Modelo de Rampa Carbonatada, en el área de estudio de Rayones, Nuevo León (adaptado de Burchette & Wright, 1992; Flügel, 2010).

5.6.2.3 La Poza, Galeana, Nuevo León

5.6.2.3.1 Asociación de *Favreina* sp.

La facies C está constituida por *grainstone* que destacan principalmente los ooides, *Favreina* sp., intraclastos, fragmentos de pelecípodos, peloides y cortoides. En menor dominio algas verdes particularmente *Acicularia* sp. que se encuentran en las muestras GEBN-P1, GEBN-P3, GEBN-P5 y GEBN-P6. La presencia de microcoprolitos indican condiciones marinas someras fértiles y una sedimentación rápida lo que permite su conservación (Navarro et al., 2009). Por otro lado, las algas verdes indican condiciones relativamente someras que se dan en la zona de laguna.

La facies D en la muestra GEBN-P2 está formada por calizas (*mudstone*), sin la presencia de aloquímicos. La microfacies indica el depósito de lodo carbonatado que se da en zonas de laguna.

El modelo sedimentario indica que las microfácies se ubican en la rampa interna dentro de las zonas de facies de barras de arena (C) y laguna (D) (Fig. 59).

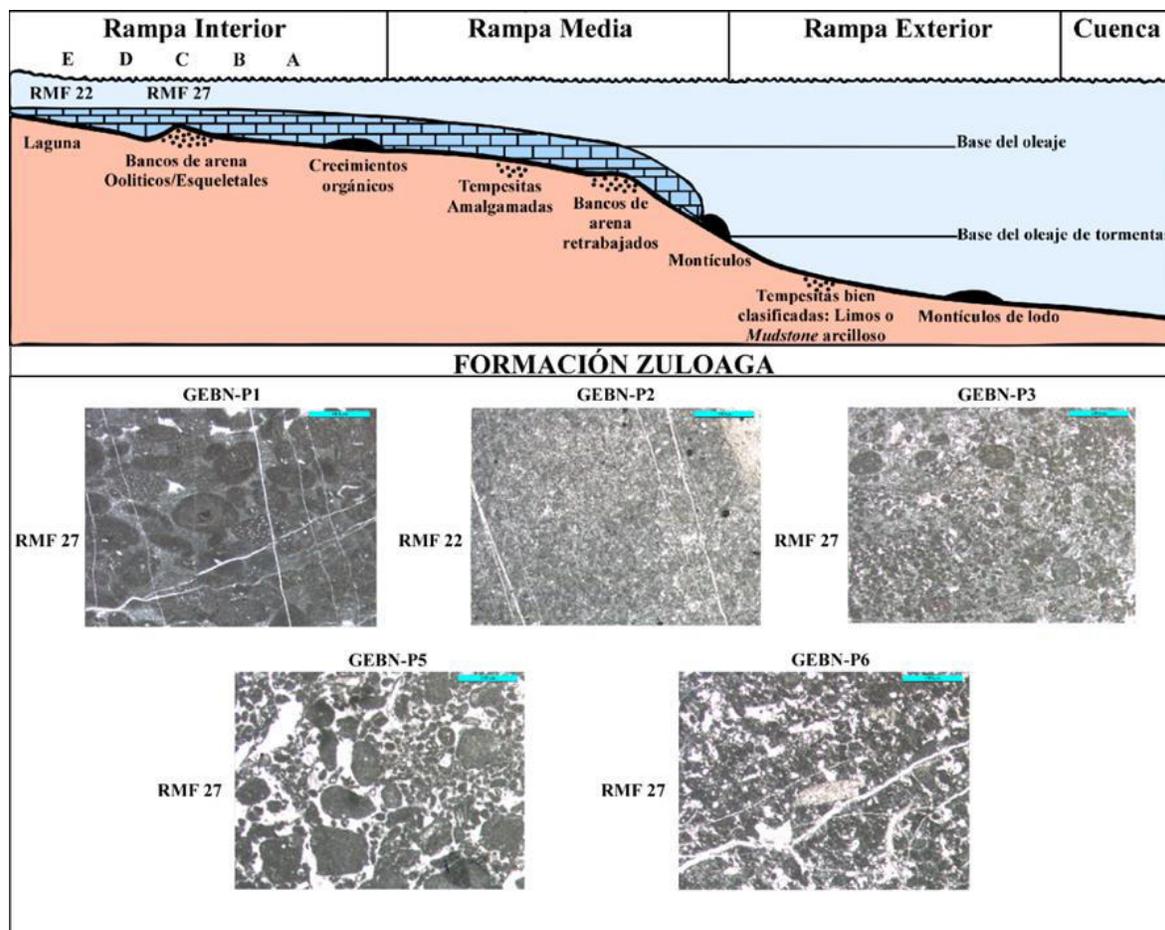


Fig. 59: Modelo de Rampa Carbonatada, en la localidad de La Poza (adaptado de Burchette & Wright, 1992; Flügel, 2010).

5.6.2.4 Aramberri, Nuevo León

5.6.2.4.1 Formación Novillo

5.6.2.4.1.1 Asociación de *Favreina* sp.

La facies H se compone de calizas de *mudstone* que no presentan contenido de granos esqueléticos y no esqueléticos, en donde el único componente de las calizas es la matriz, se presenta en las muestras GEBN-AN-M2, GEBN-AN-M3 y GEBN-AN-M4.

En la facies I se presentan calizas de tipo *wackestone*, las microfácies se distinguen por su contenido de pellets y aparentes restos de *Favreina* sp. (GEBN-AN-M5 y GEBN-AN-M6).

El modelo sedimentario indica dos zonas de facies de las cuales se reconocen la zona peritidal dentro de la laguna y barras de arena ubicados dentro de la rampa interior (Fig. 60).

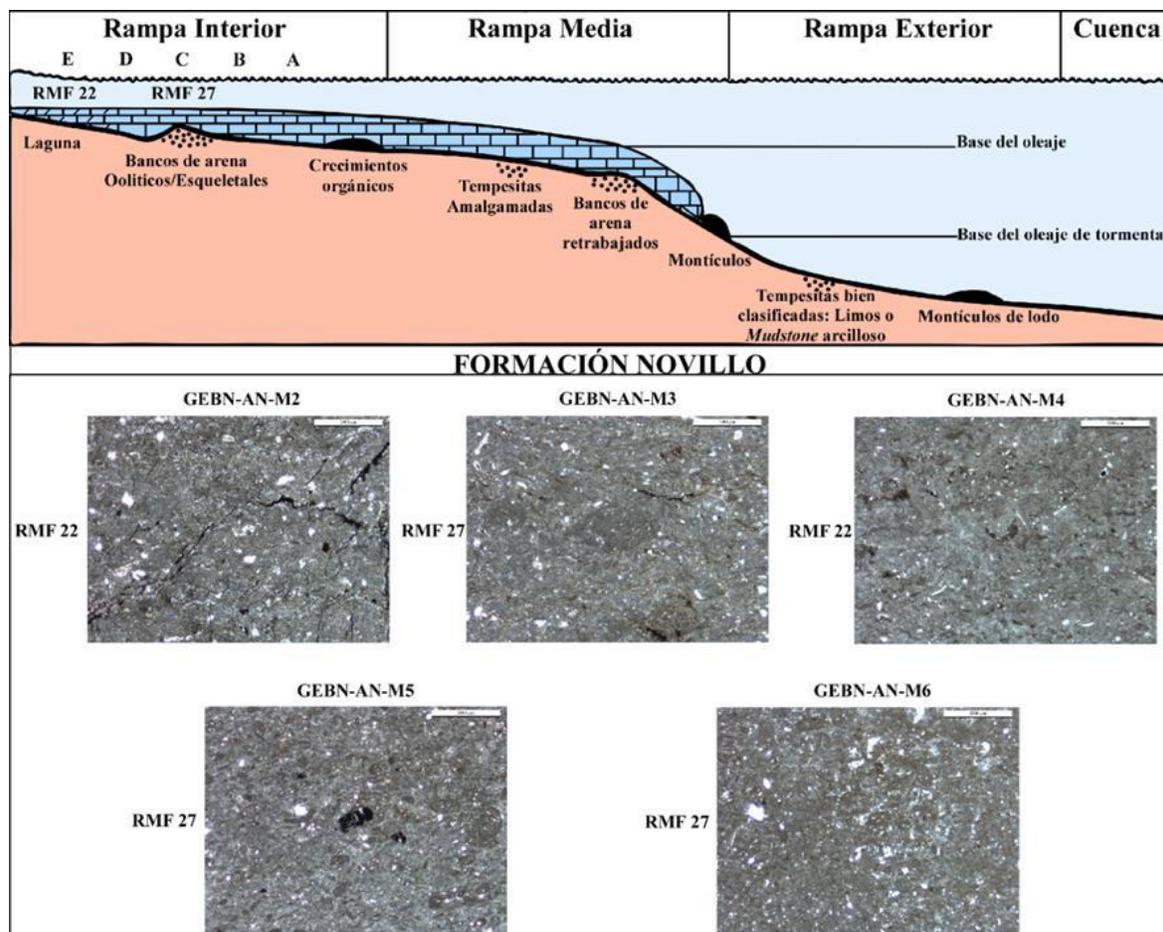


Fig. 60: Modelo de Rampa Carbonatada para la Formación Novillo en Aramberri (adaptado de Burchette & Wright, 1992; Flügel, 2010).

5.6.2.4.2 Formación Zuloaga

5.6.2.4.2.1 Asociación 4

Dentro de la Facies J se presentan calizas de *grainstone* conformadas por granos no esqueléticos de ooides, pellets y cortoides. En menor presencia de granos esqueléticos conformados por fragmentos de pelecípodos que se encuentran envueltos por una capa delgada de micrita (GEBN-AZ-M7 y GEBN-AN-M10) y carpetas algales en las muestras GEBN-AN-M8 y GEBN-AN-M9.

El modelo sedimentario consta de dos zonas de facies que pertenece a los bancos de arena (C) y de laguna (D) ubicados en la rampa interior (Fig. 61).

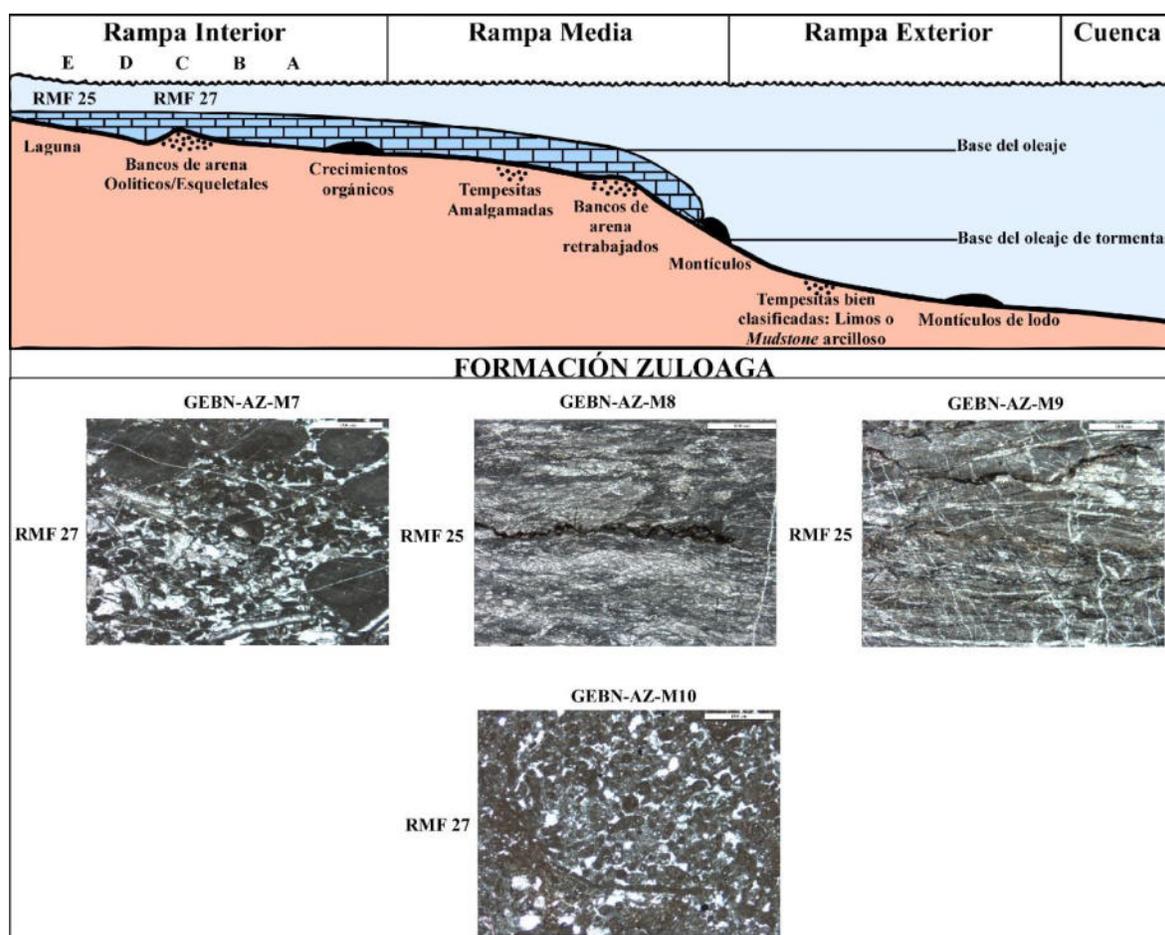


Fig. 61: Modelo de Rampa Carbonatada de la Formación Zuloaga en Aramberri (adaptado de Burchette & Wright, 1992; Flügel, 2010).

5.6.2.5 Cañón Peregrina, Cd. Victoria, Tamaulipas

5.6.2.5.1 Asociación 3

La facies E de la Formación Olvido está conformada por calizas dolomíticas, sin bioclastos o granos ubicados en la muestra GEBN-CP-M1. La microfacies se presentan en los dominios de la zona peritidal en la rampa interior.

La facies F está formada por calizas de *grainstone* donde los constituyentes principales son peloides y pellets que se encuentran en la mayoría de las muestras con clave GEBN-CP-M2, GEBN-CP-M3 Y GEBN-CP-M4. En menor proporción se encuentran los fragmentos de pelecípodos y gasterópodos. La presencia de gasterópodos indica condiciones de mar abierto.

El modelo sedimentario muestra las microfácies que se ubican principalmente en la rampa interior. En los dominios de la rampa interior de alta energía, se reconocen tres zonas de facies, que se extiende desde la zona peritidal (E), barras de arena (C) hasta marina abierta (A) (Fig. 62).

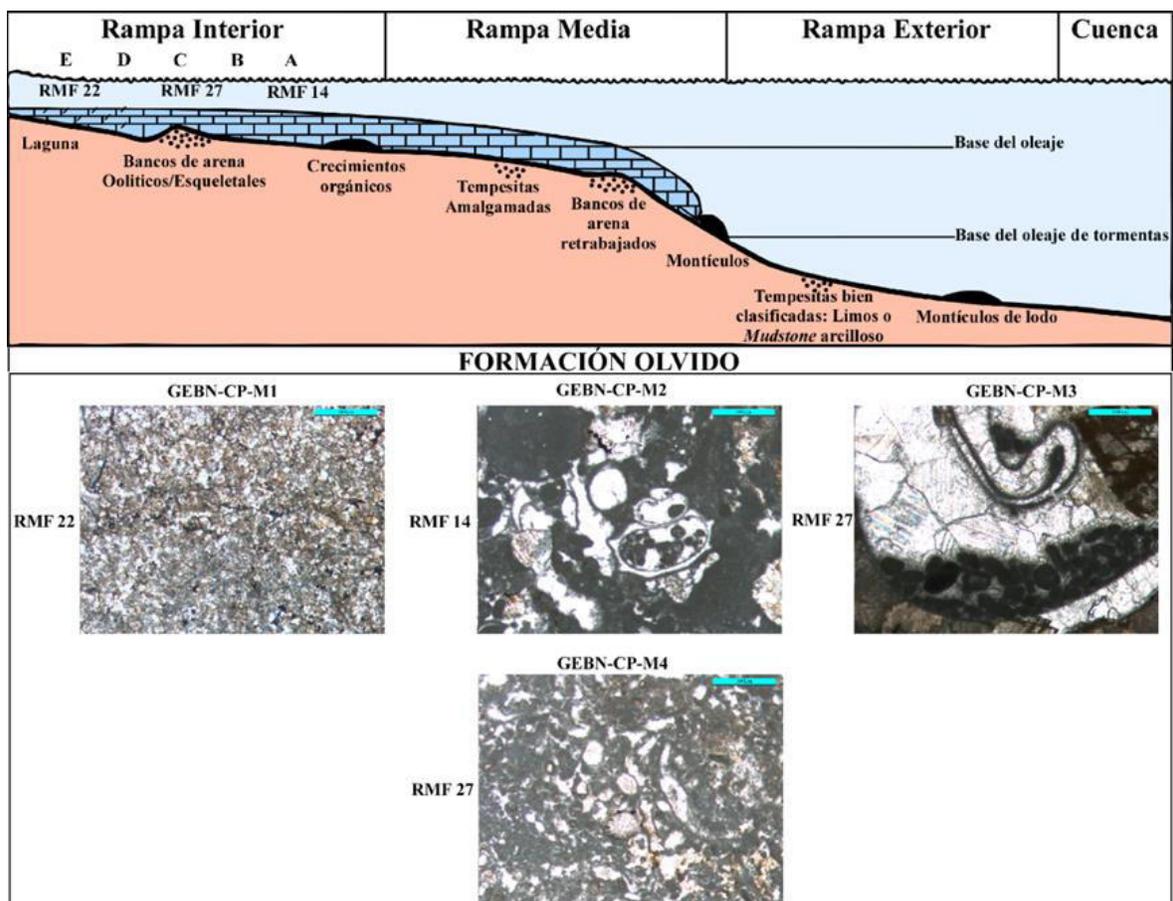


Fig. 62: Modelo de Rampa Carbonatada, en el área Cañón Peregrina (adaptado de Burchette & Wright, 1992; Flügel, 2010).

6 Análisis geoquímicos

6.1 Introducción

La geoquímica en rocas sedimentarias tiene consecuencias que son considerables para la comprensión de la Tierra y de los procesos que la moldean. Dentro de su composición, los sedimentos conservan un registro de sus fuentes de procedencia, lo que nos permite examinar las relaciones entre la composición de las fuentes de la corteza superior, la naturaleza y distribución de los sedimentos. Los procesos de sedimentación como la meteorización, la erosión y la diagénesis, indican la interacción de agua/roca que dan lugar a cambios químicos fundamentales (McLennan, 1989).

Las rocas carbonatadas registran los efectos de la diagénesis, mediante su mineralogía y sus reacciones diagenéticas. Además, es probable identificar la movilidad de los elementos REE en los sedimentos carbonatados ya que tienen abundancias totales de REE más bajas que los sedimentos siliciclásticos (McLennan, 1989).

Los valores del Post-Archean Australian Shale (PAAS) (Taylor & McLennan, 1985; McLennan, 1989), fueron utilizados para normalizar los elementos REE que se usaron para la realización de los diagramas (Tabla 29).

Tabla 29: Valores promedio de PAAS (Taylor & McLennan, 1985) utilizados para la normalización de REE.

PAAS	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE
	38.2	79.6	8.83	33.9	5.55	1.08	4.66	0.774	4.68	0.991	2.85	0.405	2.82	0.433	184.8

6.2 Elementos mayores

Las concentraciones de los elementos mayores analizados en las calizas de las formaciones Novillo, Olvido y Zuloaga en las regiones de la Huasteca, N.L (Fm. Zuloaga: GEBN-H2 a GEBN-H5), Rayones, N.L (Fm. Zuloaga: GEBN-RZ-M1 a GEBN-RZ-M6), La Poza, N.L (Fm. Zuloaga: GEBN-P3 a GEBN-P6), Aramberri, N.L (Fm. Novillo: GEBN-AN -M2 a GEBN-AN-M6; Fm. Zuloaga: GEBN-AZ-M7 a GEBN-AZ-M10), y Cañón Peregrina, Tamaulipas (Fm. olvido: GEBN-CP-M1 a GEBN-CP-M4), son dadas en la Tabla 30

En general, el elemento dominante en las calizas analizadas en el presente estudio es el CaO, el cual muestra un intervalo amplio que varía de 45.87 – 55.91 % (Fm. Novillo: 45.87 – 52.2 %; Fm.

Olvido: 30.54 - 53.32 %; Fm. Zuloaga: 50.01 – 55.91 %), donde la Formación con valores más altos están en la Formación Zuloaga en Rayones, mientras que los más bajos se encuentran en la Formación Novillo en Aramberri. Esto refleja claramente que existe cierta influencia en la unidad que subyace a la secuencia calcárea, es decir que en Aramberri hay calizas con mayor aporte de terrígenos, esto seguramente por el contacto con La Joya. El segundo elemento con valores más altos es MgO, con un rango que oscila de entre 0.2 – 19.59 %, donde la Formación Olvido en el Cañón Peregrina presenta los valores más altos, esto asociado seguramente a las dolomías identificadas en campo y en el análisis de láminas delgadas.

La concentración de SiO₂ es relativamente alta con un intervalo que varía de 0.32 – 11.52 % (Fm. Novillo: 3.64 – 11.52 %; Fm. Olvido: 1.2 – 2.13 %; Fm. Zuloaga: 0.32 – 8.71 %), donde la unidad con los valores más altos es la Formación Novillo en Aramberri. Esto podría estar asociado con que en esta localidad las calizas, a diferencia de las otras, están en contacto con una sucesión siliciclástica lo que refleja probablemente un mayor contenido en cuarzo y hay que tomar en cuenta que el muestreo se realizó cerca de la base de la unidad. Las concentraciones de Al₂O₃ presenta valores en un rango que varía de 0.02 – 2.6 %. Los contenidos de Fe₂O₃, K₂O, TiO₂ y P₂O₅ son lo más bajos tanto en las calizas de las formaciones Novillo y Olvido como Zuloaga en un rango que oscila de 0 – 0.1 %.

Tabla 30: Relación de los Elementos Mayores en las muestras analizadas (en %).

Muestra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ *	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	LOI	Suma	P ₂ O ₅	MnO	CO ₂
GEBN-H2	3.77	0.03	0.25	0.12	0.34	53.43	-	0.05	42.04	100.03	0.01	0.02	41.04
GEBN-H3	8.71	0.01	0.18	0.08	0.38	50.45	0.01	0.04	40	99.86	0.02	0.01	38.90
GEBN-H4	0.89	-	0.09	0.07	0.38	54.96	0.01	-	43.50	99.9	-	0.01	41.40
GEBN-H5	4.70	0.02	0.09	0.08	0.35	52.35	-	0.02	41.63	99.24	0.02	0.01	40.63
GEBN-RZ-M1	0.32	-	0.02	0.04	0.14	55.73	-	0.02	43.72	99.99	-	0.02	44.18
GEBN-RZ-M2	0.76	-	0.04	0.03	0.20	55.64	-	0.02	43.65	100.34	-	0.02	46.79
GEBN-RZ-M3	0.52	-	0.04	0.05	0.22	55.88	-	0.01	43.67	100.39	-	0.01	44.51
GEBN-RZ-M4	0.41	0.01	0.09	0.08	0.12	55.91	-	0.02	43.73	100.37	-	-	43.60
GEBN-RZ-M5	1.57	0.01	0.15	0.10	0.28	55.07	-	0.05	43.24	100.47	-	-	43.27
GEBN-RZ-M6	0.36	-	0.05	0.06	0.30	55.86	-	0.02	43.74	100.39	-	-	43.78
GEBN-P3	1.14	0.01	0.25	0.15	0.27	54.73	0.02	0.07	43.30	99.94	-	0.02	41.03
GEBN-P5	1.51	0.02	0.43	0.11	0.33	54.09	-	0.20	42.95	99.64	-	0.01	41.95

Análisis geoquímicos

GEBN-P6	1.95	0.03	0.51	0.13	0.33	53.91	-	0.18	42.69	99.73	0.03	0.01	41.69
GEBN-AN-M2	11.41	0.14	2.60	1.60	0.21	45.87	0.09	0.62	36.65	99.19	0.02	0.50	36.51
GEBN-AN-M3	11.52	0.11	2.18	0.99	0.40	46.49	0.04	0.53	37.42	99.64	0.02	0.39	31.26
GEBN-AN-M4	6.76	0.08	1.41	0.64	0.56	49.94	0.04	0.35	39.50	99.28	0.02	0.31	40.55
GEBN-AN-M5	7.14	0.09	1.60	0.55	0.45	49.56	0.01	0.39	39.70	99.49	0.01	0.33	38.24
GEBN-AN-M6	3.64	0.04	0.76	0.51	0.47	52.20	0.01	0.20	41.72	99.55	-	0.25	42.50
GEBN-AZ-M7	2.74	0.03	0.50	0.25	0.31	53.77	-	0.16	42.40	100.16	0.02	0.02	42.53
GEBN-AZ-M8	2.03	0.02	0.33	0.03	0.25	54.50	-	0.10	42.73	99.99	-	0.05	42.20
GEBN-AZ-M9	4.79	0.02	0.42	0.32	0.35	52.11	-	0.16	41.63	99.8	0.06	0.02	41.91
GEBN-AZ-M10	5.81	0.05	0.89	0.86	0.47	50.01	0.04	0.22	41.60	99.95	-	0.33	40.41
GEBN-CP-M1	1.63	-	0.07	0.23	1.27	53.32	0.01	0.02	42.90	99.45	-	0.25	41.65
GEBN-CP-M2	1.20	0.01	0.08	0.26	1.26	52.87	-	0.03	43.12	98.83	-	0.22	42.12
GEBN-CP-M3	2.13	-	0.06	0.61	7	46.10	0.01	0.02	42.60	98.53	-	0.25	41.29
GEBN-CP-M4	1.20	0.02	0.26	0.92	19.59	30.54	0.03	0.08	46.60	99.24	-	0.34	43.71

6.3 Elementos traza

Las concentraciones de los elementos trazan se muestran en la Tabla 31. En las calizas de las formaciones Novillo, Olvido y Zuloaga el elemento con la concentración más alta es el Ba, con un rango que varía de 5 a 9558, donde el valor más alto lo presenta la muestra GEBN-CP-M3 de la Formación Olvido en el Cañón Peregrina. El segundo elemento con el rango más amplio es el Sr, que oscila de entre 55 a 876.9 ppm, con el valor más alto en la caliza con la clave GEBN-AZ-M9, la que corresponde a una caliza de la Formación Zuloaga en Aramberri. Las concentraciones de Zr que varían de 0.9 a 49.3 ppm, donde el valor más alto le corresponde a las calizas Novillo. Se muestran variaciones considerables de V con valores que oscilan de 0 a 78 ppm. Las concentraciones de Y varían de 0.2 a 22.2 ppm. . Las calizas muestran contenidos bajos de Cr, Sc, Ga, Ta, Nb, Hf y Th.

Análisis geoquímicos

Tabla 31: Relación de Elementos Trazas selectos en las muestras analizadas (en ppm).

Muestra	Cr	Ni	Co	Sc	V	Pb	Zn	Rb	Ba	Sr	Ga	Ta	Nb	Hf	Zr	Y	Th	U
GEBN-H2	-	0.90	0.20	-	-	0.70	15	1.80	52	243.30	-	-	-	0.10	5.20	1.10	-	0.70
GEBN-H3	-	0.20	0.60	-	-	1	18	1.70	33	295.40	-	-	-	0.10	5.60	2.20	-	0.40
GEBN-H4	-	0.30	0.30	-	-	0.30	10	0.20	7	215.20	-	-	-	-	2.20	2.90	-	0.60
GEBN-H5	-	1.10	0.40	-	-	0.80	17	1.60	11	275.20	-	-	-	-	2.70	1.90	-	0.80
GEBN-RZ-M1	-	-	-	-	-	2.10	4	0.40	8	322.40	-	-	0.10	-	0.90	0.20	-	0.70
GEBN-RZ-M2	-	0.30	-	-	-	1	5	0.40	9	345.50	-	-	-	-	1.40	0.40	-	1
GEBN-RZ-M3	-	0.60	0.20	-	-	0.40	5	0.20	5	261.20	-	-	-	-	1.70	0.90	-	1.50
GEBN-RZ-M4	-	0.70	0.60	-	-	0.70	1	-	192	449.30	-	-	0.20	-	1.50	0.30	-	0.90
GEBN-RZ-M5	-	4	-	-	-	0.80	8	1.10	17	319.80	-	-	-	-	2	0.50	-	1.10
GEBN-RZ-M6	-	0.60	-	-	8	0.80	4	0.40	11	324.90	-	-	-	-	1.10	0.70	-	0.80
GEBN-P3	-	6.80	0.80	1	15	1.20	3	2	39	236.40	-	-	0.20	0.10	6.30	1	0.20	1.60
GEBN-P5	-	1.40	0.30	-	31	0.80	5	3	7	170.10	-	-	-	0.20	6.70	1,30	0.30	3.70
GEBN-P6	-	1.50	0.40	-	22	1	6	4.60	10	169.60	-	-	0.20	0.20	9.60	1,20	0.30	3.40
GEBN-AN-M2	-	22.90	13.80	-	25	7.40	25	21	241	202	3.10	0.20	2.50	1.20	49.30	12.60	1.90	1.9
GEBN-AN-M3	-	9.10	6.30	-	-	64.40	44	18.20	118	255.10	2.60	-	1.90	1.20	42.50	9	1.70	1.20
GEBN-AN-M4	-	6	4.60	-	15	47	201	12.70	51	253.50	1.30	-	1.30	0.60	24.90	4.50	0.80	0.90
GEBN-AN-M5	-	4.90	6.90	-	31	17.10	396	14.10	184	269.40	1.80	-	1.30	0.70	27.20	5	1.20	1
GEBN-AN-M6	-	3.20	1.70	-	-	73.50	66	6.60	98	352.90	-	-	0.70	0.40	14	2.90	0.60	0.50
GEBN-AZ-M7	-	7.10	0.40	-	16	5.70	53	4.40	51	455.10	-	-	0.40	0.20	6.60	3.50	0.30	1.80
GEBN-AZ-M8	-	3	0.40	-	10	5.90	4	3.30	63	563.10	-	-	0.40	-	4.3	0.90	-	0.60
GEBN-AZ-M9	-	9.80	1.70	-	78	4.20	3	5.80	34	876.90	-	-	0.30	0.20	6	4.40	0.20	2
GEBN-AZ-M10	-	8.30	7	-	11	122.90	209	8	26	308.40	-	-	0.90	0.60	17.60	4.60	0.50	0.50
GEBN-CP-M1	-	-	0.70	-	-	2.70	4	0.70	1317	375.10	-	-	-	0.10	3.90	22.20	-	0.40
GEBN-CP-M2	-	-	0.50	-	-	2.90	4	0.80	503	282.10	-	-	-	-	2.10	16	-	0.30
GEBN-CP-M3	-	-	1	-	-	3	4	0.70	9558	533.40	-	0.10	-	0.20	4	8.10	-	0.40
GEBN-CP-M4	-	0.40	1.40	-	-	1.20	4	2.40	1170	55	-	-	0.10	0.20	8	5.10	0.20	0.40

6.4 Elementos de Tierras Raras

Las concentraciones de Elementos de Tierras Raras (REE) se muestran en la Tabla 32. Las concentraciones de REE para las calizas de las formaciones Novillo, Olvido y Zuloaga se

encuentran en un intervalo de 0.23 a 128.97 ppm con un promedio de 18.066 ppm. Las concentraciones más altas se encuentran en las muestras del Cañón Peregrina (17.01 – 128.97 ppm) y Aramberri (11.64 – 38.94 ppm), mientras que las más bajas se presentan en Rayones (0.23 – 4.31 ppm). Las concentraciones bajas de Σ REE son consistentes con carbonatos marinos, los cuales presentan una significativa disminución en el contenido de REE en comparación con los materiales terrígenos (Piper, 1974; Sandoval-Castillo, 2013).

Tabla 32: Relación de los Elementos de Tierras Raras (REE) en las muestras analizadas (en ppm).

Muestra	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Er	Yb	Lu	Σ REE
GEBN-H2	1	0.80	0.14	0.70	0.14	0.02	0.15	0.02	0.14	0.08	0.09	0.01	3.29
GEBN-H3	1.60	1.80	0.24	0.90	0.12	0.05	0.22	0.03	0.18	0.15	0.13	0.02	5.44
GEBN-H4	0.90	0.80	0.10	0.60	0.13	-	0.15	0.02	0.17	0.18	0.1	0.01	3.16
GEBN-H5	1.10	1.30	0.19	0.60	0.14	-	0.16	0.02	0.14	0.12	0.07	0.01	3.85
GEBN-RZ-M1	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	-	-	0.23
GEBN-RZ-M2	0.40	0.50	0.05	-	-	-	-	0.01	0.07	0.03	-	-	1.06
GEBN-RZ-M3	1.10	1.70	0.20	0.70	0.11	0.03	0.17	0.03	0.10	0.08	0.08	0.01	4.31
GEBN-RZ-M4	0.20	0.50	0.04	-	-	-	0.05	-	-	0.06	-	-	0.85
GEBN-RZ-M5	0.40	0.90	0.09	0.40	0.08	-	0.09	-	-	0.04	-	-	2
GEBN-RZ-M6	0.40	1.10	0.10	0.40	0.11	-	0.08	-	0.06	0.06	-	-	2.31
GEBN-P3	1	1.90	0.21	1	0.13	0.03	0.20	0.04	0.16	0.08	0.10	0.02	2.76
GEBN-P5	1.30	2.20	0.35	1.20	0.26	0.05	0.23	0.04	0.22	0.10	0.08	0.03	6.06
GEBN-P6	1.30	1.60	0.22	0.70	0.22	0.03	0.17	0.03	0.14	0.11	0.13	0.02	4.67
GEBN-AN-M2	5.80	14.20	1.87	7.60	2.14	0.61	2.51	0.39	2.17	1.14	0.96	0.16	38.94
GEBN-AN-M3	5.70	11.90	1.46	6.40	1.42	0.34	1.43	0.23	1.44	0.75	0.67	0.09	31.83
GEBN-AN-M4	3.70	7.30	1.06	3.80	0.77	0.19	0.77	0.13	0.77	0.42	0.38	0.06	19.35
GEBN-AN-M5	4.50	9.10	1.17	4.90	0.94	0.23	0.91	0.14	0.77	0.52	0.40	0.07	23.65
GEBN-AN-M6	2.20	4.10	0.66	2.40	0.51	0.13	0.48	0.08	0.47	0.28	0.29	0.04	11.64
GEBN-AZ-M7	1.80	2.50	0.41	1.60	0.32	0.07	0.34	0.05	0.34	0.26	0.23	0.03	7.95
GEBN-AZ-M8	1.40	2.70	0.32	0.80	0.12	0.05	0.12	0.03	0.13	0.05	0.09	-	5.81
GEBN-AZ-M9	3.60	4	0.61	2.40	0.43	0.1	0.55	0.07	0.47	0.33	0.35	0.04	12.95
GEBN-AZ-M10	2.70	5.90	0.83	3.20	0.70	0.18	0.81	0.11	0.64	0.41	0.33	0.05	15.86
GEBN-CP-M1	25	49.80	6.03	27.30	5.41	1.55	7.57	0.77	3.42	1.21	0.81	0.1	128.97
GEBN-CP-M2	13.20	28.90	3.57	16.80	3.94	1.17	5.28	0.56	2.50	0.95	0.54	0.07	77.48

GEBN-CP-M3	7.80	13.80	1.72	8	1.88	0.39	2.46	0.27	1.19	0.45	0.3	0.03	38.29
GEBN-CP-M4	3.20	5.80	0.73	3.50	0.93	0.26	1.20	0.15	0.67	0.32	0.22	0.03	17.01

Los patrones de los REE en rocas marinas normalizadas muestran un patrón característico, como el empobrecimiento en Tierras Raras Livianas (TRL o LREE, del inglés: Light Rare Elements, LREE), anomalías negativas de Ce y anomalías positivas de La, así como concentraciones altas de Y/Ho (Chávez-Meraz, 2020).

Los patrones de REE de las calizas de las formaciones Novillo, Olvido y Zuloaga, normalizados con el PAAS, se muestran en la Fig. 63. En general, la mayoría de las muestras de la Formación Zuloaga en la localidad Cañón La Huasteca (Fig. 63a), exhiben patrones REE con tendencia planares e irregulares dentro de un rango que oscila de 0.01 a 0.1, con anomalías positivas de La y anomalías negativas de Ce, y valores altos de Y y Ho. Además, se observan anomalías positivas y negativas de Eu, anomalías positivas importantes de Y, así como anomalías positivas de Eu, Tb, Ho y Er que superaron el rango de 0.1 (Muestra GABNH2). Todas las muestras exhiben un patrón de REE relacionados con agua marina.

En esta misma unidad, pero en la localidad de Rayones, las calizas muestran un patrón de tendencia muy irregular con un rango de valores que van desde 0.001 a 0.01 (Fig. 63b). La mayoría de las muestras no presentan un patrón característico de rocas de agua marina, por el contrario, se observan anomalías negativas de La, positivas de Ce, valores bajos de Y y Ho, y anomalías positivas de Eu, lo que sugiere que la muestra es más terrígena o que se encuentra fuertemente alterada por algún proceso tectónico posterior a su depósito. Las muestras de la Poza de la Formación Zuloaga exhiben un patrón REE con tendencias planares típico de aguas marinas, donde se observa anomalía positiva de La, anomalía negativa de Ce y Eu, valores alto de Y y Ho (Fig. 63c).

Las calizas de la Formación Novillo en Aramberri muestran un patrón ligeramente planar con empobrecimiento en LREE característico distribuidas en un rango amplio de 0.05 a 0.8 (Fig. 63d), con anomalías positivas de La y Eu, anomalías negativas de Ce, y valores alto de Y. Solamente una de las muestras de la base de la unidad (GEBN-AN-M2), presenta un comportamiento anómalo con anomalías negativas de La y positivas de Ce, esto probablemente este asociado con el aporte terrígeno de la unidad que la subyace o algún tipo de alteración. En general las muestras reflejan

un ambiente de depósito de aguas marinas. En esta misma localidad, pero en calizas de la Formación Zuloaga (Fig. 63e), dos de las muestras exhiben un patrón característico de depósitos de aguas marinas (GEBN-AZ-M7 y GEBN-AZ-M9), el cual consiste en un empobrecimiento de LREE, con anomalía positiva de La, negativa de Ce y valores relativamente altos de Y, el resto de las muestras presentan un patrón muy irregular que refleja una alteración por los procesos tectónicos de la región.

En el Cañón Peregrina, Tamaulipas, se observa un empobrecimiento en LREE, enriquecimiento en MREE y valores bajos de HREE en un rango de 0.8 a 2. En general reflejan anomalías ligeramente positivas de La, anomalías negativas de Ce, anomalías altas de Eu y valores alto de Y (Fig. 63f), lo que sugiere principalmente una fuente de aguas marinas para esta unidad.

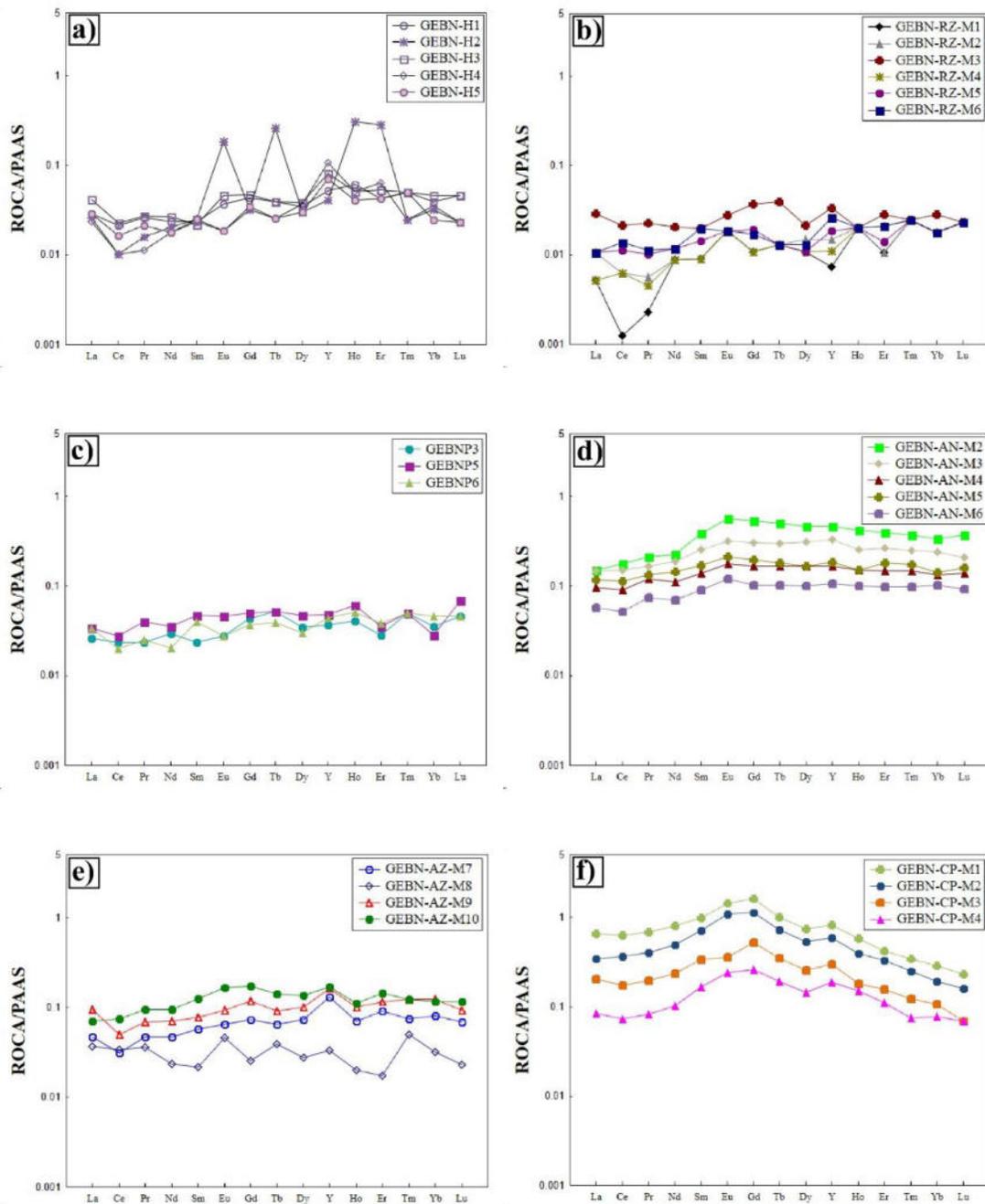


Fig. 63: Patrones REE de las calizas de las formaciones estudiadas, normalizadas con el PAAS, donde se observa: a) Diagrama REE para Cañón La Huasteca; b) Diagrama REE Rayones; c) Diagrama REE La Poza; d) Diagrama REE Novillo; e) Diagrama REE Zuloaga en Aramberri; f) Diagrama REE Cañón Peregrina.

6.5 Interpretación de la geoquímica de los REE

La composición química original de las rocas carbonatadas puede ser modificada por la pérdida o adición de elementos, mediante diversos procesos químicos, mineralógicos y biológicos

posteriores a su depósito. La geoquímica de los elementos traza y REE es una herramienta ampliamente utilizada para determinar la composición inicial de las rocas fuentes (Theiling et al., 2007). Actualmente algunos de los elementos trazas y de tierras raras más utilizados son el Ce y Eu, debido a que son importantes indicadores de los cambios en las condiciones ambientales (*p.ej.*, eventos anóxicos). Las concentraciones de los elementos mayores en calizas se ven fuertemente afectada por los eventos tectónicos, mientras que las concentraciones de REE (generalmente bajas) esta principalmente influenciada por las diferentes fuentes de entrada de agua (*p.ej.*, aguas hidrotermales y sedimentos terrígenos por erosión continental) y procesos degradativos relacionados a la profundidad, niveles de oxígeno y salinidad (Sandoval-Castillo, 2013).

6.5.1 Anomalías de Ce y Eu

Una característica típica de las rocas carbonatadas son las anomalías negativas de Ce y Eu en los diagramas de REE, estas anomalías son sensibles a condiciones de oxigenación, por lo que, se utilizan para determinar las condiciones ambientales paleo-redox del agua de mar en el tiempo en que los REE se incorporación dentro de los sedimentos marinos (Sandoval-Castillo, 2013). De acuerdo con algunos autores *p.ej.*: Liu et al. (1998), Kasper et al. (2010), Bea (2015), el Ce^{3+} se oxida Ce^{4+} en condiciones de oxigenación, dando lugar a un empobrecimiento en el agua de mar en Ce en relación con otros REE. Las muestras con valores de Ce/Ce^* y $Eu/Eu^* < 1$ se consideran como anomalías negativas. Las anomalías de Ce se pueden calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$\frac{Ce}{Ce^*} = \frac{CeN}{\sqrt{(LaN * PrN)}}$$

Las anomalías de Ce/Ce^* en las rocas de la Formación Zuloaga para la región de la Huasteca, Rayones y La Poza muestran valores dentro de un intervalo que varía de 0.3648 – 1.2898 ($n = 17$) (Fig. 63). Todas las muestras presentan anomalías negativas de Ce con excepción de tres muestras en la localidad de Rayones (GEBN-RZ-M4 a GEBN-RZ-M6), es decir que la mayoría de las rocas con anomalías negativas reflejan un ambiente con condiciones oxigenadas mientras que las tres anomalías positivas indican un ambiente anóxico o muy probablemente esté relacionado con una muestra alterada con la presencia de estilolitas o vetas tectónicas. Los valores de Ce/Ce^* en las calizas de la Formación Novillo en la región de Aramberri están en un intervalo de 0.7850 a 0.9948 ($n = 5$) (Fig. 63). Lo que sugiere que todas las muestras presentan anomalías negativas de Ce, y por

consiguiente indican también condiciones ambientales óxicos para esta unidad. De igual manera, esto sucede con las rocas de la Formación Olvido, la que, presenta anomalías negativas con valores de 0.8692 a 0.9713 ($n = 4$) para la región del Cañón Peregrina indicando un ambiente de depósito oxigenado.

En la mayoría de las muestras se calcularon anomalías negativas de Ce, como ya se mencionó anteriormente, la deficiencia de Ce en el agua de mar y en los carbonatos marinos se produce como resultado de la oxidación de Ce^{+3} a Ce^{+4} , esto debido a la captación de los óxidos de Fe-Mn en los ambientes marinos profundos (Chávez-Meraz, 2020). Este comportamiento es un proceso natural frecuente en agua de mar.

Las anomalías negativas de Eu son características distintivas del agua de mar (p.ej.: Piper, 1974; Elderfield & Greaves, 1982), mientras que las anomalías positivas de Eu se asocian a soluciones hidrotermales, intensa diagénesis o variaciones en el contenido de feldespatos cálcicos (plagioclasas de Ca) (Chávez-Meraz, 2020). Algunos autores han encontrado anomalías positivas de Eu en sedimentos aluviales con valores de Eu^{2+} precipitados en aguas turbias durante la diagénesis (p.ej., McRae et al., 1992).

La fórmula para calcular las anomalías de Eu es la siguiente:

$$\frac{Eu}{Eu^*} = \frac{EuN}{\sqrt{(SmN * GdN)}}$$

En general, las rocas de la Formación Zuloaga muestran anomalías negativas y positivas de Eu/Eu^* con valores que están en un intervalo de 0.6229 a 6.4988 ($n = 17$) (Fig. 63). La mayoría de las muestras de La Huasteca muestran anomalías negativas típicas de agua de mar (0.6744-0.6292), sin embargo, la muestra GEBN-H2 y GEBN-H3 presentan anomalías positivas (1.4490 – 6.4988). Esto indica la presencia de materiales terrígenos o la presencia de estilolitas frecuentes en esta región, cabe mencionar que en esta localidad las rocas estaban fuertemente deformadas.

En la localidad de Rayones todas las muestras exhiben anomalías positivas (1.0039 – 1.8835), mientras que las muestras de la poza presente ligeras anomalías negativas en las tres muestras (0.7304 – 0.9627) típicas de agua de mar oxigenadas. Las anomalías positivas del área de rayones probablemente estén asociadas a una alteración por tectónica, ya que esta unidad se encontraba fuertemente fracturada y deformada.

Las rocas de la Formación Novillo en el área de Aramberri presentan anomalías positivas de Eu/Eu^* con valores que oscilan en un intervalo de 1.1235 a 1.2393 ($n = 5$) (Fig. 63). Las anomalías positivas en esta localidad pueden estar asociados a un aporte terrígeno de los sedimentos aluviales de la Formación La Joya que subyace a dichas rocas. Esto sucede también con las rocas de la Formación Olvido las que, presentan mayoritariamente anomalías positivas de Eu/Eu^* en un rango de 0.8539 a 1.2079 ($n = 4$), con excepción de la muestra GEBN-CP-M3 ($Eu/Eu^* = 0.8539$).

6.6 Análogos geoquímicos y petrológicos

6.6.1 Comparación lámina delgada/ análisis geoquímicos

Las siguientes tablas son resultado de la aplicación de un prototipo de un componente del Proyecto “Sistema Experto de Geoquímica Inorgánica (SEdGI) como interfaz entre petrología y petrofísica para la toma de decisiones operativas en el diseño de pozos petroleros”: Programa de Apoyo a la Ciencia, Tecnología e Innovación (ProACTI) de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

6.6.1.1 Cañón La Huasteca, Santa Catarina, Nuevo León

En la localidad Cañón la Huasteca el contenido Mineralógico Normativo indica que las muestras presenta un bajo contenido de Feldespatos alcalinos (GEBN-H2: 0.29%, GEBN-H3: 0.23%, GEBN-H4: 0.% y GEBN-H5: 0.11%), Plagioclasas (GEBN-H2: 0.53%, GEBN-H3: 0.41, GEBN-H4: 0.28% y GEBN-H5: 0.18%) y Filosilicatos (GEBN-H2: 0%, GEBN-H3: 0.01%, GEBN-H4: 0% y GEBN-H5: 0%). Sin embargo presentan un alto contenido de carbonatos (GEBN-H2: 93.20 %, GEBN-H3: 88.32%, GEBN-H4: 94% y GEBN-H5: 92.26%) (Tabla 33-Tabla 36).

Tabla 33: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-H2, Cañón La Huasteca.

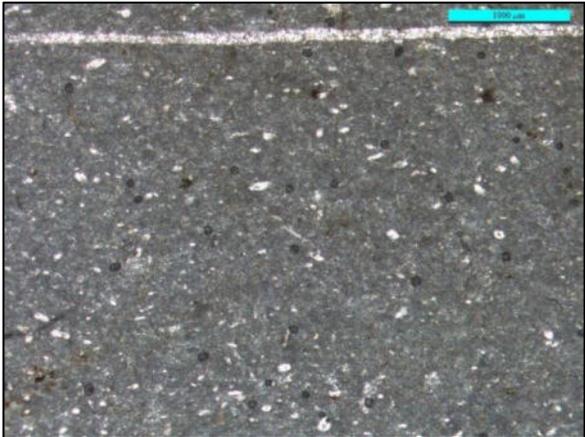
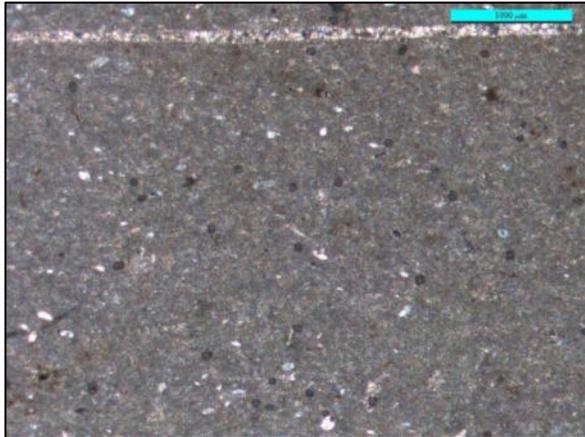
Clave: GEBN-H2		Asociación de Facies: Rampa interior		RMF: 22	
Contenido Mineralógico Normativo:					
Cuarzo: 3.34% Fsp. Alcalino: 0.29% Plagioclasas: 0.53% Filosilicatos: 0.00%	Plagioclasas: -Anortita: 0.53% -Albita: 0.00% -Tipo: 100% An	Carbonato total: 93.21% -Calcita: 91.65% -Dolomita: 1.56% -Ankerita: 0.01%	Yeso: 0.00% Filosilicatos: -Micas: 0.00% -Arcillas: 0.00%		
					
Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nicales paralelos			Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nicales cruzados		

Tabla 34: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-H3, Cañón La Huasteca.

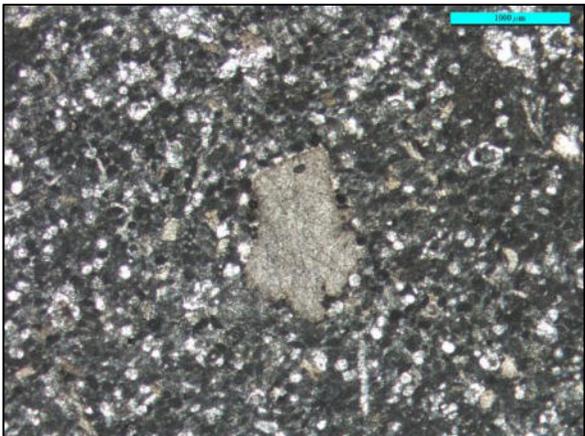
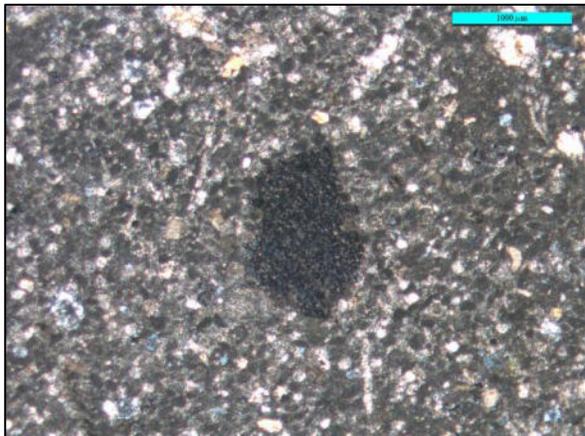
Clave: GEBN-H3		Asociación de Facies: Rampa interior		RMF: 27	
Contenido Mineralógico Normativo:					
Cuarzo: 8.36% Fsp. Alcalino: 0.23% Plagioclasas: 0.41% Filosilicatos: 0.00%	Plagioclasas: -Anortita: 0.33% -Albita: 0.08% -Tipo: 79 % An	Carbonato total: 88.32% -Calcita: 86.58% -Dolomita: 1.74% -Ankerita: 0.01%	Yeso: 0.00% Filosilicatos: -Micas: 0.00% -Arcillas: 0.00%		
					
Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nicales paralelos			Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nicales cruzados		

Tabla 35: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-H4, Cañón La Huasteca.

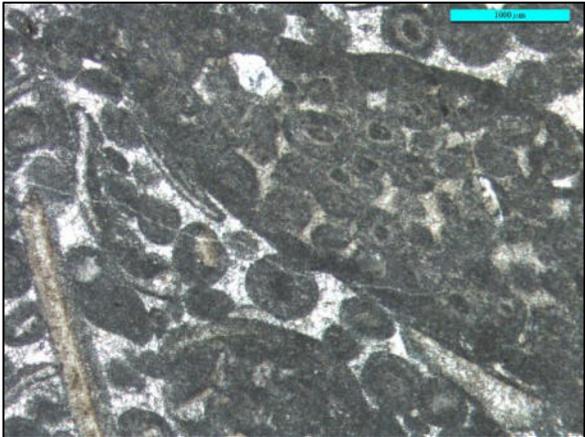
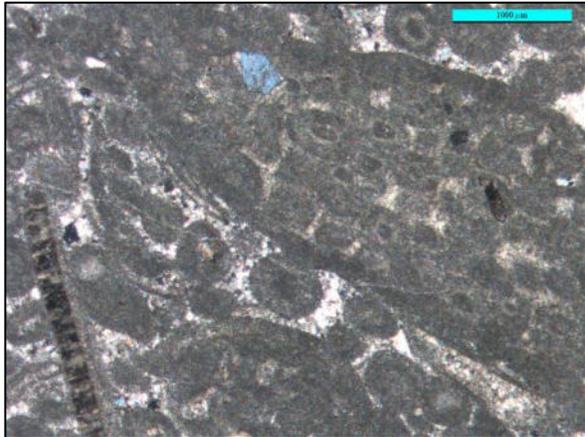
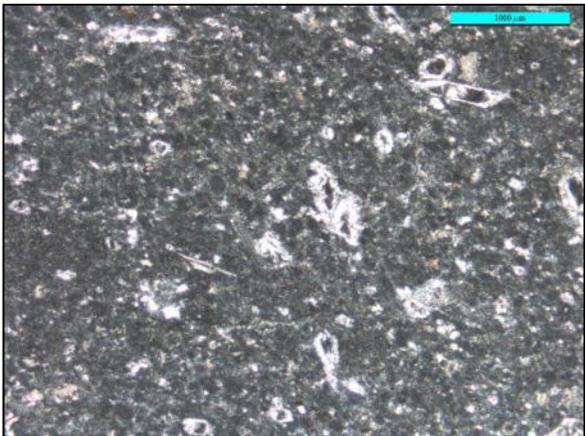
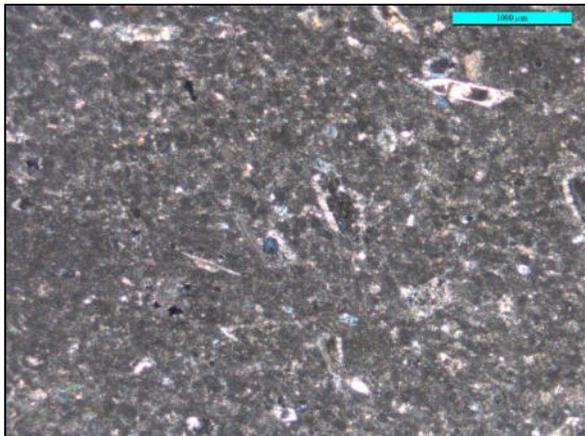
Clave: GEBN-H4		Asociación de Facies: Rampa interior		RMF: 27	
Contenido Mineralógico Normativo:					
Cuarzo: 0.75% Fsp. Alcalino: 0.00% Plagioclasas: 0.28% Filosilicatos: 0.00%		Plagioclasas: -Anortita: 0.20% -Albita: 0.08% -Tipo: 70 % An		Carbonato total: 94.01% -Calcita: 92.27% -Dolomita: 1.74% -Ankerita: 0.01%	
				Yeso: 0.00% Filosilicatos: -Micas: 0.00% -Arcillas: 0.00%	
					
Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles paralelos			Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles cruzados		

Tabla 36: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-H5, Cañón La Huasteca.

Clave: GEBN-H5		Asociación de Facies: Rampa interior		RMF: 27	
Contenido Mineralógico Normativo:					
Cuarzo: 4.54% Fsp. Alcalino: 0.11% Plagioclasas: 0.18% Filosilicatos: 0.00%		Plagioclasas: -Anortita: 0.18% -Albita: 0.00% -Tipo: 100% An		Carbonato total: 92.27% -Calcita: 90.67% -Dolomita: 1.60% -Ankerita: 0.01%	
				Yeso: Filosilicatos: -Micas: 0.00% -Arcillas: 0.00%	
					
Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles paralelos			Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles cruzados		

6.6.1.2 Rayones, Nuevo León

En Rayones el contenido Mineralógico Normativo muestra bajo contenido en Feldespatos alcalinos (GEBN-RZ-M1: 0.10%, GEBN-RZ-M2: 0.11%, GEBN-RZ-M3: 0.05%, GEBN-RZ-M4: 0.11%, GEBN-RZ-M5: 0.29% y GEBN-RZ-M6: 0.11%), Plagioclasas (GEBN-RZ-M1: 0%, GEBN-RZ-M2: 0%, GEBN-RZ-M3: 0%, GEBN-RZ-M4: 0%, GEBN-RZ-M5: 0% y GEBN-RZ-M6: 0%) y Filosilicatos (GEBN-RZ-M1: 0%, GEBN-RZ-M2: 0%, GEBN-RZ-M3: 0%, GEBN-RZ-M4: 0%, GEBN-RZ-M5: 0% y GEBN-RZ-M6: 0%).

Por otro lado presenta alto contenido en carbonatos (GEBN-RZ-M1: 99.74%, GEBN-RZ-M2: 99%, GEBN-RZ-M3: 100%, GEBN-RZ-M4: 99%, GEBN-RZ-M5: 98% y GEBN-RZ-M6: 99%) (Tabla 37-Tabla 42).

Tabla 37: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-RZ-M1, Rayones.

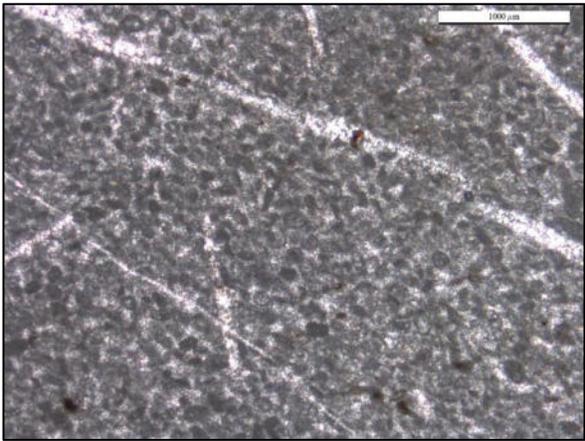
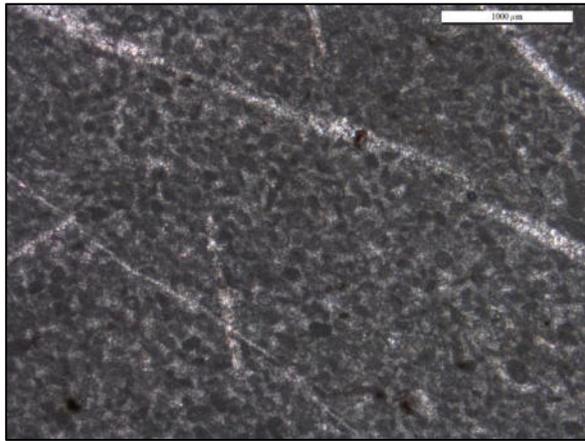
Clave: GEBN-RZ-M1	Asociación de Facies: Rampa interior	RMF: 27	
Contenido Mineralógico Normativo:			
Cuarzo: 0.25% Fsp. Alcalino: 0.11% Plagioclasas: 0.00% Filosilicatos: 0.00%	Plagioclasas: -Anortita: 0.00% -Albita: 0.00% -Tipo:	Carbonato total: 99.74% -Calcita: 99.07% -Dolomita: 0.64% -Ankerita: 0.11%	Yeso: 0.00% Filosilicatos: -Micas: 0.00% -Arcillas: 0.00%
			
Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles paralelos	Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles cruzados		

Tabla 38: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-RZ-M2, Rayones.

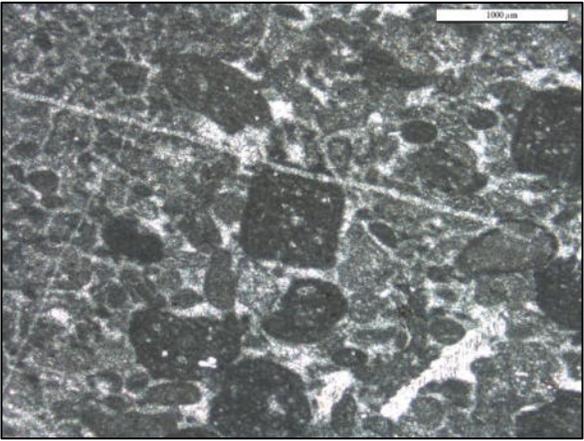
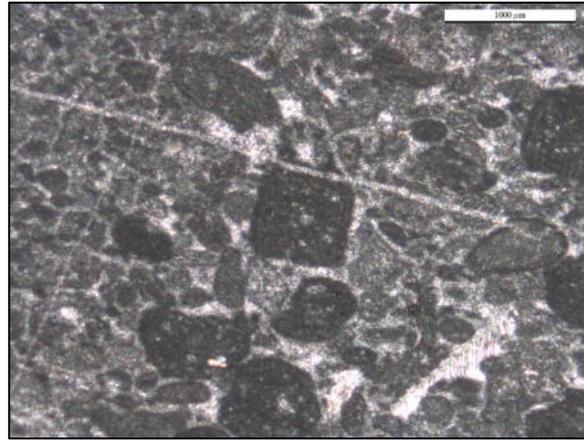
Clave: GEBN-RZ-M2		Asociación de Facies: Rampa interior		RMF: 27	
Contenido Mineralógico Normativo:					
Cuarzo: 0.68% Fsp. Alcalino: 0.11% Plagioclasas: 0.00% Filosilicatos: 0.00%		Plagioclasas: -Anortita: 0.00% -Albita: 0.00% -Tipo:		Carbonato total: 99.72% -Calcita: 98.77% -Dolomita: 0.92% -Ankerita: 0.08%	
				Yeso: 0.00% Filosilicatos: -Micas: 0.00% -Arcillas: 0.00%	
					
Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles paralelos			Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles cruzados		

Tabla 39: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-RZ-M3, Rayones.

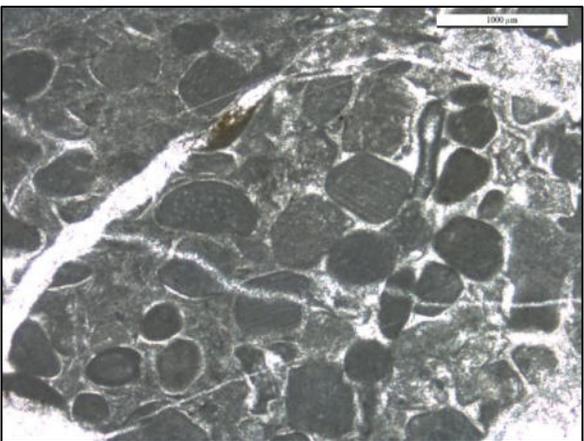
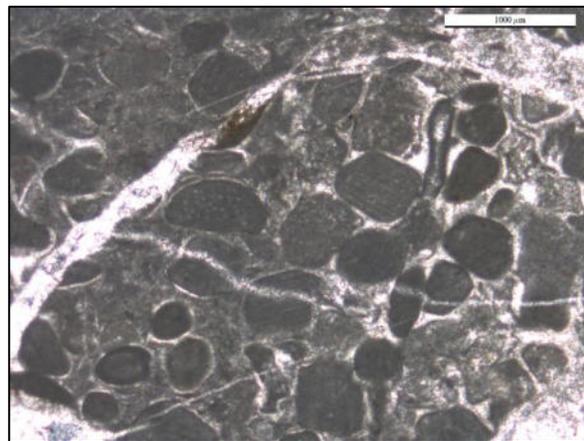
Clave: GEBN-RZ-M3		Asociación de Facies: Rampa interior		RMF: 27	
Contenido Mineralógico Normativo:					
Cuarzo: 0.48% Fsp. Alcalino: 0.05% Plagioclasas: 0.00% Filosilicatos: 0.00%		Plagioclasas: -Anortita: 0.00% -Albita: 0.00% -Tipo:		Carbonato total: 99.48% -Calcita: 98.47% -Dolomita: 1.01% -Ankerita: 0.14%	
				Yeso: 0.00% Filosilicatos: -Micas: 0.00% -Arcillas: 0.00%	
					
Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles paralelos			Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles cruzados		

Tabla 40: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-RZ-M4, Rayones.

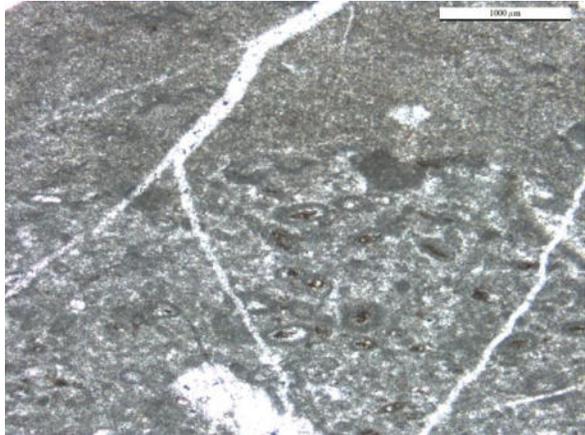
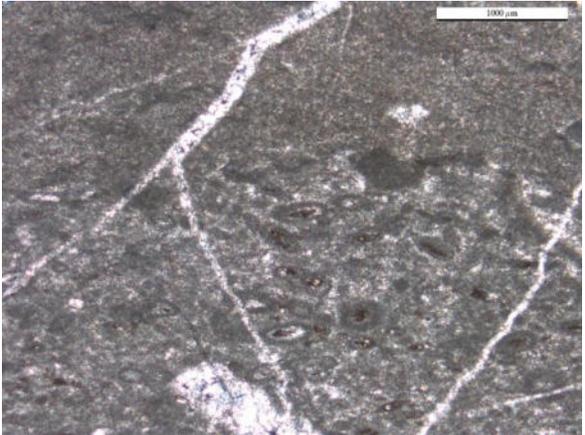
Clave: GEBN-RZ-M4		Asociación de Facies: Rampa interior		RMF: 27	
Contenido Mineralógico Normativo:					
Cuarzo: 0.25% Fsp. Alcalino: 0.12% Plagioclasas: 0.19% Filosilicatos: 0.00%	Plagioclasas: -Anortita: 0.19% -Albita: 0.00% -Tipo: 100% An	Carbonato total: 99.11% -Calcita: 98.56% -Dolomita: 0.55% -Ankerita: 0.01%	Yeso: 0.50% Filosilicatos: -Micas: 0.00% -Arcillas: 0.00%		
					
Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nicoles paralelos			Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nicoles cruzados		

Tabla 41: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-RZ-M5, Rayones.

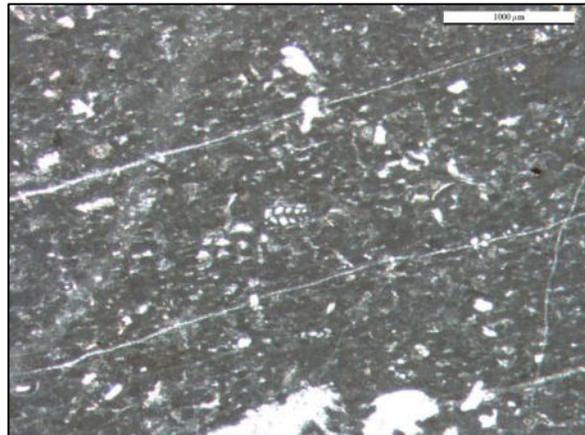
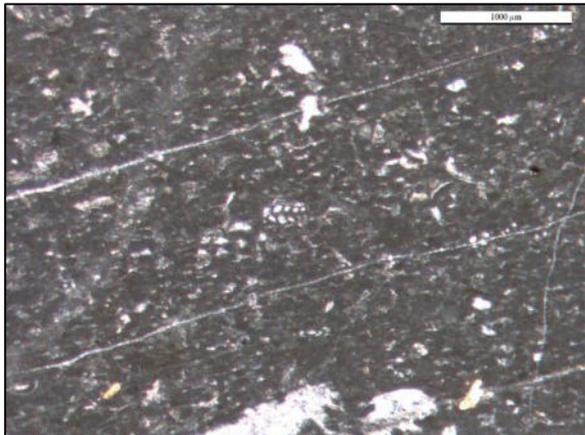
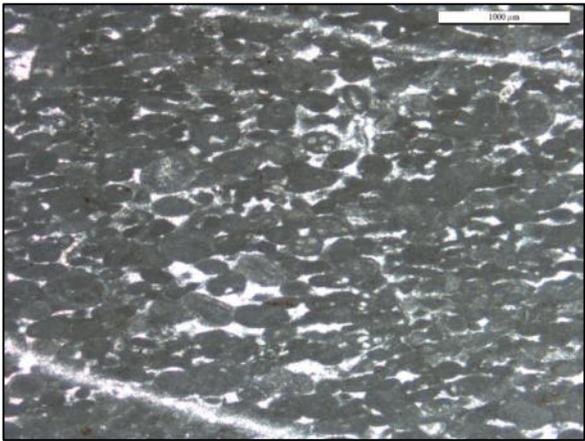
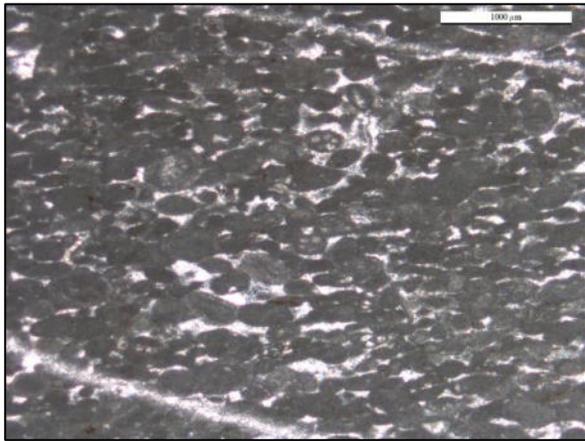
Clave: GEBN-RZ-M5		Asociación de Facies: Rampa interior		RMF: 27	
Contenido Mineralógico Normativo:					
Cuarzo: 1.27% Fsp. Alcalino: 0.30% Plagioclasas: 0.26% Filosilicatos: 0.00%	Plagioclasas: -Anortita: 0.26% -Albita: 0.00% -Tipo: 100% An	Carbonato total: 98.30% -Calcita: 97.02% -Dolomita: 1.28% -Ankerita: 0.01%	Yeso: 0.00% Filosilicatos: -Micas: 0.00% -Arcillas: 0.00%		
					
Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nicoles paralelos			Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nicoles cruzados		

Tabla 42: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-RZ-M6, Rayones.

Clave: GEBN-RZ-M6	Asociación de Facies: Rampa interior	RMF: 27	
Contenido Mineralógico Normativo:			
Cuarzo: 0.25% Fsp. Alcalino: 0.12% Plagioclasas: 0.08% Filosilicatos: 0.00%	Plagioclasas: -Anortita: 0.08% -Albita: 0.00% -Tipo: 100% An	Carbonato total: 99.45% -Calcita: 98.08% -Dolomita: 1.37% -Ankerita: 0.01%	Yeso: 0.00% Filosilicatos: -Micas: 0.00% -Arcillas: 0.00%
			
Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles paralelos	Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles cruzados		

6.6.1.3 La Poza, Galeana, Nuevo León

La Poza contiene bajo contenido de Feldespatos alcalinos con valores (GEBN-P3: 0.41%, GEBN-P5: 1.18% y GEBN-P6: 1.06%), plagioclasas (GEBN-P3: 0.55%, GEBN-P5: 0.58% y GEBN-P6: 0.85%), y Filosilicatos (GEBN-P3: 0%, GEBN-P5: 0% y GEBN-P6: 0%). En cuanto al contenido de carbonatos contiene en las muestras: GEBN-P3: 93.20%, GEBN-P5: 95.27% y GEBN-P6: 94.68% (Tabla 44 – Tabla 46).

Tabla 43: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-P3, La Poza.

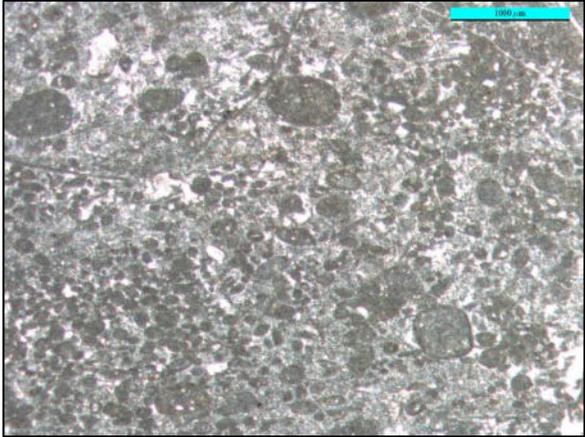
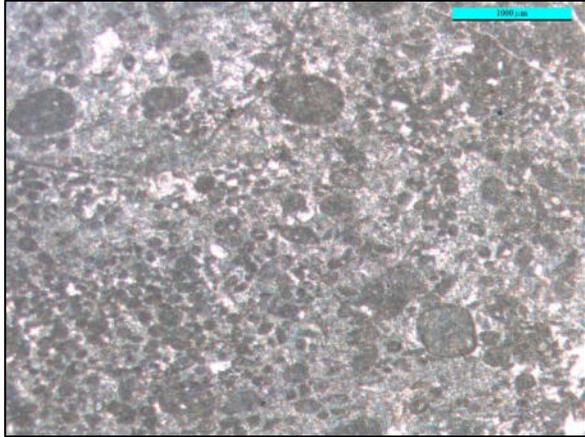
Clave: GEBN-P3		Asociación de Facies: Rampa interior		RMF: 27	
Contenido Mineralógico Normativo:					
Cuarzo: 0.59% Fsp. Alcalino: 0.41% Plagioclasas: 0.55% Filosilicatos: 0.00%	Plagioclasas: -Anortita: 0.39% -Albita: 0.17% -Tipo: 70% An	Carbonato total: 93.21% -Calcita: 91.97% -Dolomita: 1.24% -Ankerita: 0.01%	Yeso: 0.00% Filosilicatos: -Micas: 0.00% -Arcillas: 0.00%		
					
Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles paralelos			Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles cruzados		

Tabla 44: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-P5, La Poza.

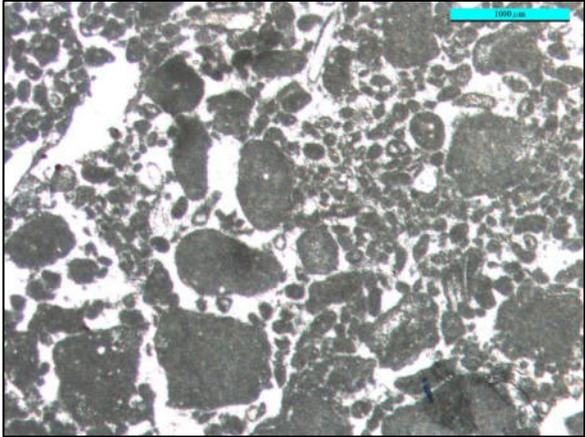
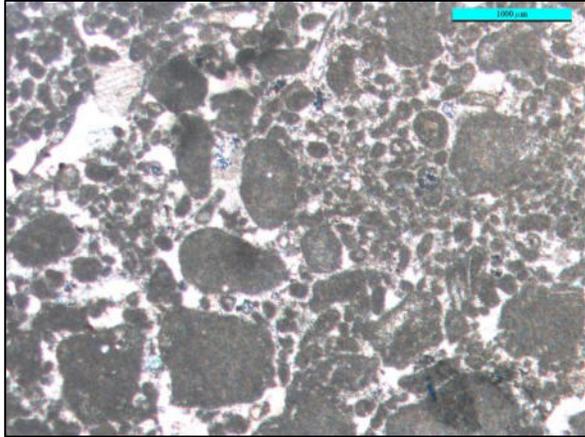
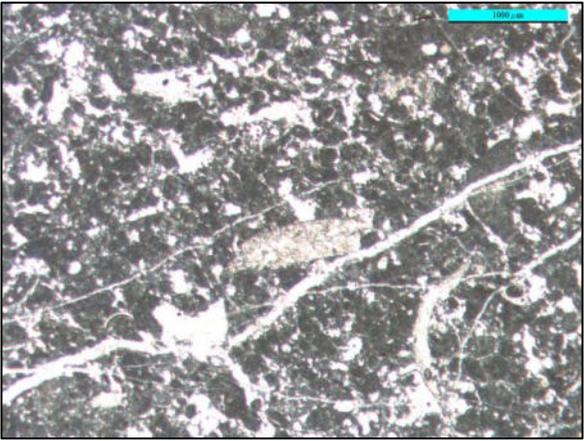
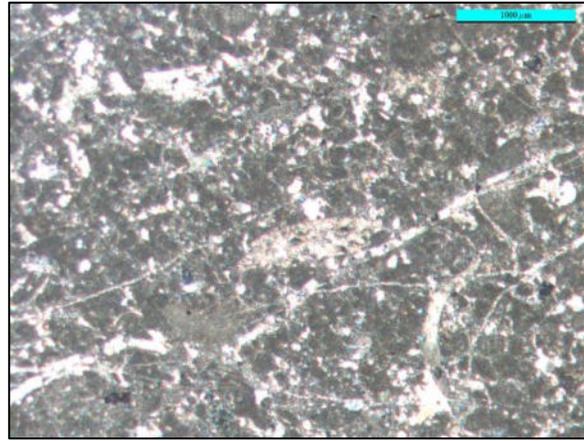
Clave: GEBN-P5		Asociación de Facies: Rampa interior		RMF: 24	
Contenido Mineralógico Normativo:					
Cuarzo: 0.49% Fsp. Alcalino: 1.18% Plagioclasas: 0.58% Filosilicatos: 0.00%	Plagioclasas: -Anortita: 0.58% -Albita: 0.00% -Tipo: 100% An	Carbonato total: 95.28% -Calcita: 93.77% -Dolomita: 1.51% -Ankerita: 0.01%	Yeso: 0.00% Filosilicatos: -Micas: 0.00% -Arcillas: 0.00%		
					
Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles paralelos			Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles cruzados		

Tabla 45: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-P6, La Poza.

Clave: GEBN-P6	Asociación de Facies: Rampa interior	RMF: 27	
Contenido Mineralógico Normativo:			
Cuarzo: 0.89% Fsp. Alcalino: 1.06% Plagioclasas: 0.86% Filosilicatos: 0.00%	Plagioclasas: -Anortita: 0.86% -Albita: 0.00% -Tipo: 100% An	Carbonato total: 94.69% -Calcita: 93.18% -Dolomita: 1.51% -Ankerita: 0.01%	Yeso: 0.00% Filosilicatos: -Micas: 0.00% -Arcillas: 0.00%
			
Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles paralelos		Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles cruzados	

6.6.1.4 Aramberri, Nuevo León

6.6.1.4.1 Formación Novillo

La Formación Novillo presenta un bajo contenido en Feldespatos alcalinos (GEBN-AN- M2: 3.66%, GEBN-AN- M3: 3.13%, GEBN-AN- M4: 2.06%, GEBN-AN- M5: 2.30% y GEBN-AN- M6: 1.18%), plagioclasas (GEBN-AN- M2: 0.76%, GEBN-AN- M3: 4.54%, GEBN-AN- M4: 0.33%, GEBN-AN- M5: 3.25% y GEBN-AN- M6: 0.08%) y Filosilicatos (GEBN-AN- M2: 1.16%, GEBN-AN- M3: 0%, GEBN-AN- M4: 0%, GEBN-AN- M5: 0% y GEBN-AN- M6: 0%). Además contiene un alto contenido en carbonatos (GEBN-AN- M2: 81.57%, GEBN-AN- M3: 70.93%, GEBN-AN- M4: %, GEBN-AN- M5: 86.79% y GEBN-AN- M6: 93.91%) (Tabla 47 – Tabla 50).

Tabla 46: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-AN-M2, Aramberri en la Formación Novillo.

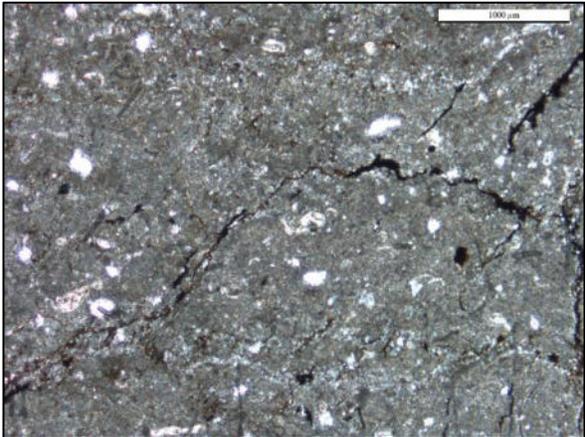
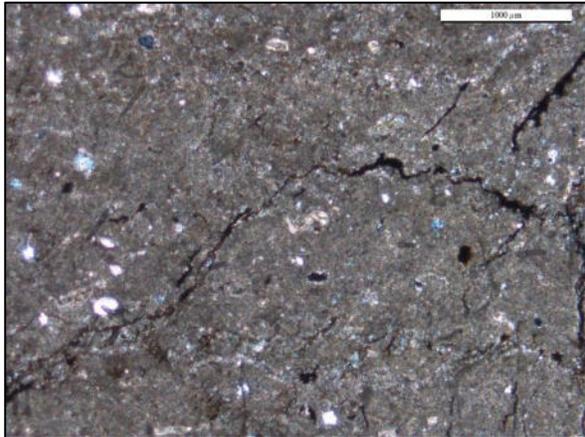
Clave: GEBN-AN-M2		Asociación de Facies: Rampa interior		RMF: 22	
Contenido Mineralógico Normativo:					
Cuarzo: 7.96% Fsp. Alcalino: 3.66% Plagioclasas: 0.76% Filosilicatos: 1.16%	Plagioclasas: -Anortita: 0.00% -Albita: 0.76% -Tipo: 0% An	Carbonato total: 81.58% -Calcita: 80.61% -Dolomita: 0.96% -Ankerita: 1.48%	Yeso: 0.00% Filosilicatos: -Micas: 0.00% -Arcillas: 1.16%		
					
Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nicales paralelos		Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nicales cruzados			

Tabla 47: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-AN-M3, Aramberri en la Formación Novillo.

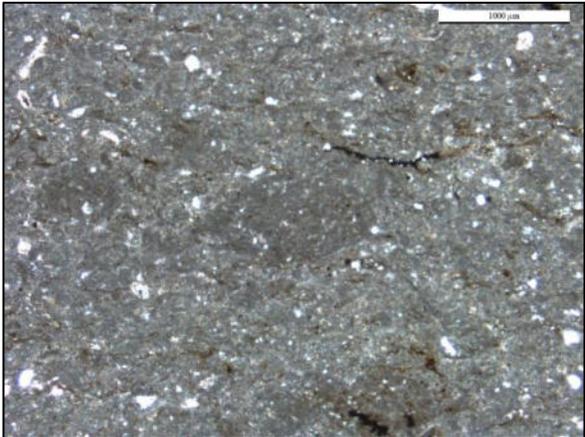
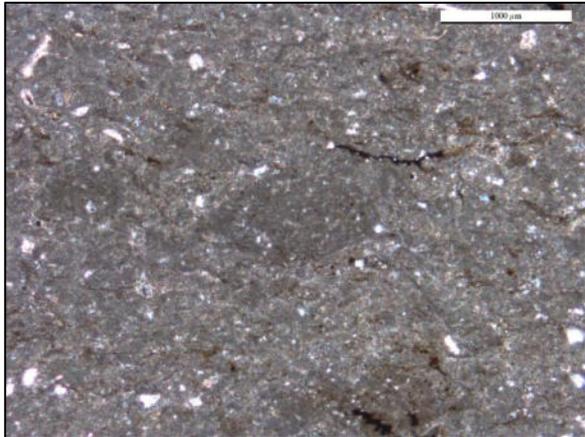
Clave: GEBN-AN-M3		Asociación de Facies: Rampa interior		RMF: 27	
Contenido Mineralógico Normativo:					
Cuarzo: 7.45% Fsp. Alcalino: 3.13% Plagioclasas: 4.54% Filosilicatos: 0.00%	Plagioclasas: -Anortita: 4.20% -Albita: 0.34% -Tipo: 93% An	Carbonato total: 70.94% -Calcita: 69.11% -Dolomita: 1.83% -Ankerita: 0.14%	Yeso: 0.00% Filosilicatos: -Micas: 0.00% -Arcillas: 0.00%		
					
Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nicales paralelos		Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nicales cruzados			

Tabla 48: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-AN-M4, Aramberri en la Formación Novillo.

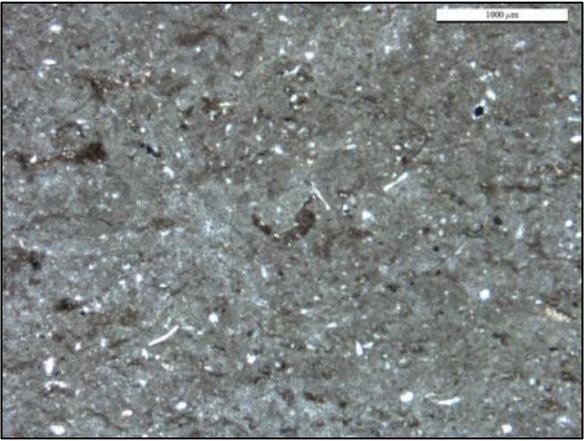
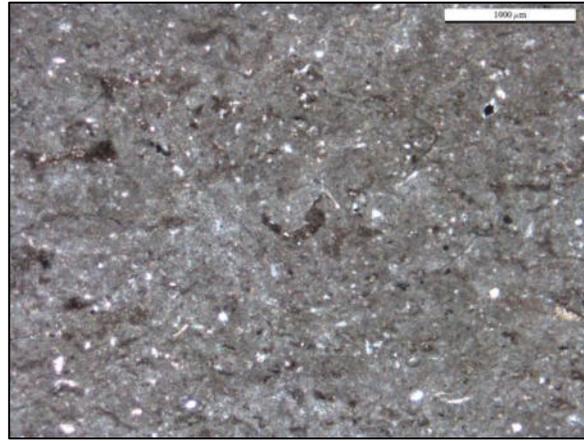
Clave: GEBN-AN-M4		Asociación de Facies: Rampa interior		RMF: 22	
Contenido Mineralógico Normativo:					
Cuarzo: 5.19% Fsp. Alcalino: 2.07% Plagioclasas: 0.34% Filosilicatos: 0.00%	Plagioclasas: -Anortita: 0.00% -Albita: 0.34% -Tipo: 0% An	Carbonato total: 90.00% -Calcita: 86.94% -Dolomita: 2.56% -Ankerita: 1.73%	Yeso: 0.00% Filosilicatos: -Micas: 0.00% -Arcillas: 0.00%		
					
Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles paralelos		Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles cruzados			

Tabla 49: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-AN-M5, Aramberri en la Formación Novillo.

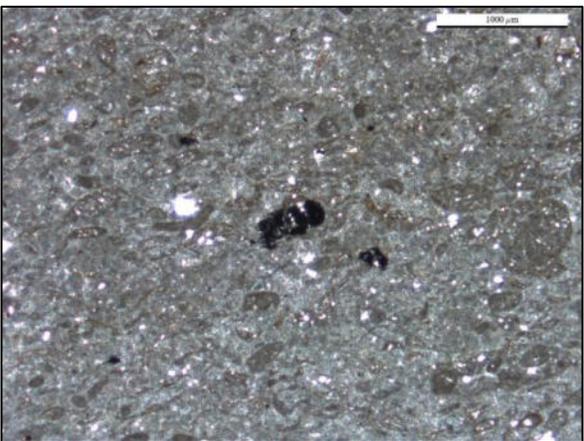
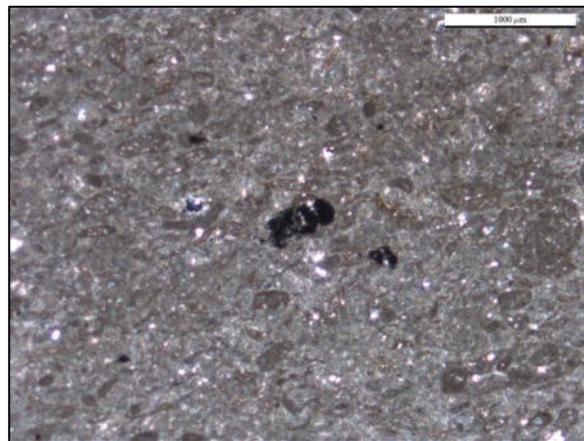
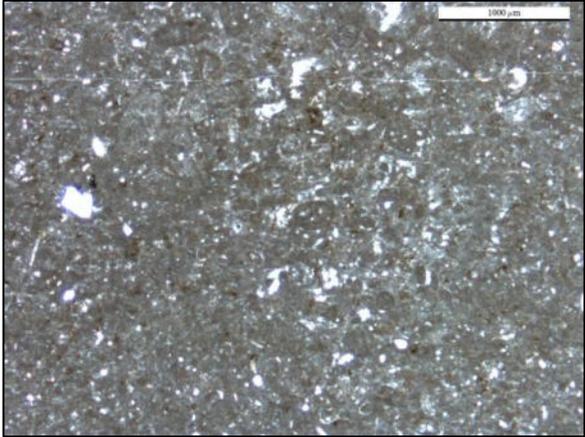
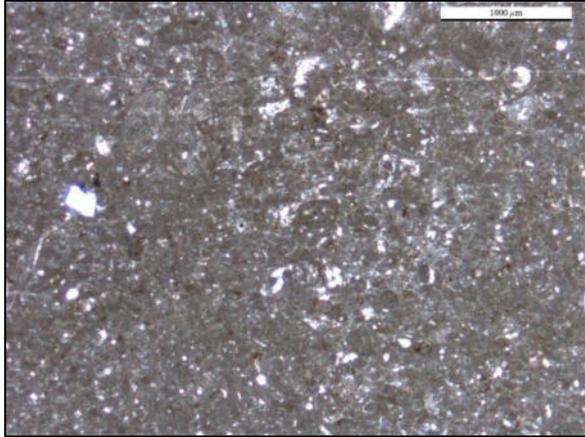
Clave: GEBN-AN-M5		Asociación de Facies: Rampa interior		RMF: 27	
Contenido Mineralógico Normativo:					
Cuarzo: 4.22% Fsp. Alcalino: 2.30% Plagioclasas: 3.25% Filosilicatos: 0.00%	Plagioclasas: -Anortita: 3.17% -Albita: 0.08% -Tipo: 97% An	Carbonato total: 86.79% -Calcita: 84.73% -Dolomita: 2.06% -Ankerita: 0.01%	Yeso: 0.00% Filosilicatos: -Micas: 0.00% -Arcillas: 0.00%		
					
Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles paralelos		Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles cruzados			

Tabla 50: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-AN-M6, Aramberri en la Formación Novillo.

Clave: GEBN-AN-M6		Asociación de Facies: Rampa interior		RMF: 27	
Contenido Mineralógico Normativo:					
Cuarzo: 2.82%	Plagioclasas:	Carbonato total: 93.92%	Yeso: 0.00%	Filosilicatos:	
Fsp. Alcalino: 1.18%	-Anortita: 0.00%	-Calcita: 91.36%	-Micas: 0.00%	-Arcillas: 0.00%	
Plagioclasas: 0.09%	-Albita: 0.09	-Dolomita: 2.15%			
Filosilicatos: 0.00%	-Tipo: 0% An	-Ankerita: 1.38%			
					
Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles paralelos			Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles cruzados		

6.6.1.4.2 Formación Zuloaga

Las concentraciones de la Formación Zuloaga contiene un bajo contenido en cuanto en Feldespatos alcalinos (GEBN-AZ-M7: 0.94%, GEBN-AZ-M8: 0.59%, GEBN-AZ-M9: 0.94%, y GEBN-AZ-M10: 1.03%), Plagioclasas (GEBN-AZ-M7: 0.04%, GEBN-AZ-M8: 0.60%, GEBN-AZ-M9: 0%, y GEBN-AZ-M10: 0.33%) y Filosilicatos (GEBN-AZ-M7: 0%, GEBN-AZ-M8: 0%, GEBN-AZ-M9: 0%, y GEBN-AZ-M10: 1.44%). Además de un alto contenido en carbonatos (GEBN-AZ-M7: 96.60%, GEBN-AZ-M8: 95.87%, GEBN-AZ-M9: 93.36%, y GEBN-AZ-M10: 89.61%) (Tabla 51 – Tabla 54).

Tabla 51: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-AN-M7, Aramberri en la Formación Zuloaga.

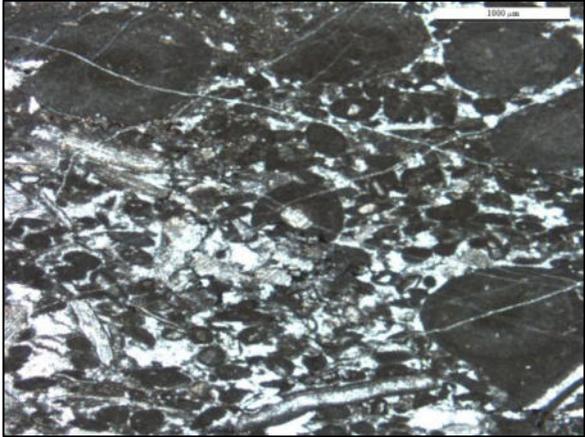
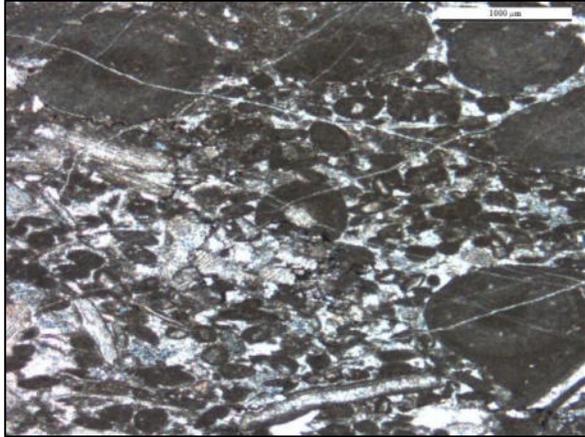
Clave: GEBN-AZ-M7		Asociación de Facies: Rampa interior		RMF: 27	
Contenido Mineralógico Normativo:					
Cuarzo: 2.11% Fsp. Alcalino: 0.95% Plagioclasas: 0.04% Filosilicatos: 0.00%	Plagioclasas: -Anortita: 0.043% -Albita: 0.00% -Tipo: 100% An	Carbonato total: 96.61% -Calcita: 95.19% -Dolomita: 1.42% -Ankerita: 0.01%	Yeso: 0.00% Filosilicatos: -Micas: 0.00% -Arcillas: 0.00%		
					
Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles paralelos		Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles cruzados			

Tabla 52: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-AN-M8, Aramberri en la Formación Zuloaga.

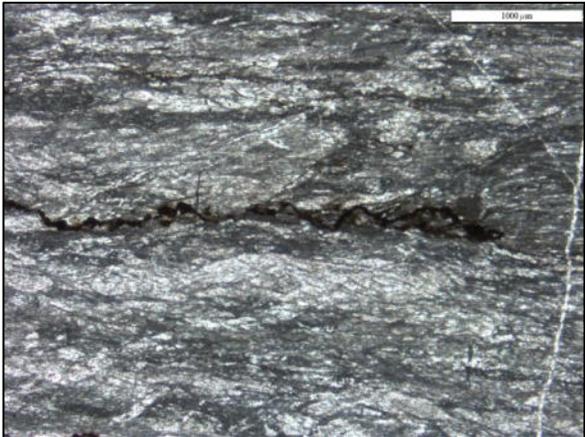
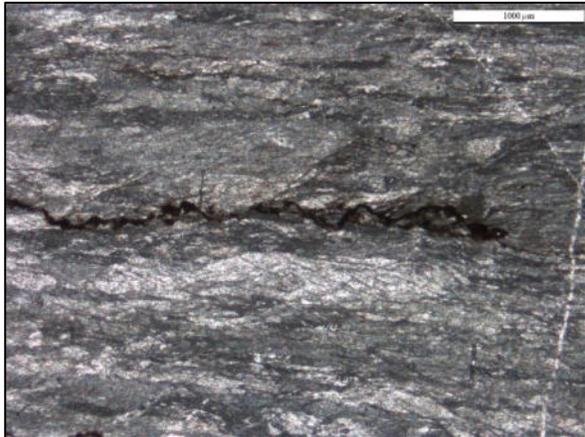
Clave: GEBN-AZ-M8		Asociación de Facies: Rampa interior		RMF: 25	
Contenido Mineralógico Normativo:					
Cuarzo: 1.39% Fsp. Alcalino: 0.59% Plagioclasas: 0.61% Filosilicatos: 0.00%	Plagioclasas: -Anortita: 0.61% -Albita: 0.00% -Tipo: 100% An	Carbonato total: 95.88% -Calcita: 94.73% -Dolomita: 1.14% -Ankerita: 0.01%	Yeso: 0.00% Filosilicatos: -Micas: 0.00% -Arcillas: 0.00%		
					
Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles paralelos		Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles cruzados			

Tabla 53: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-AN-M9, Aramberri en la Formación Zuloaga.

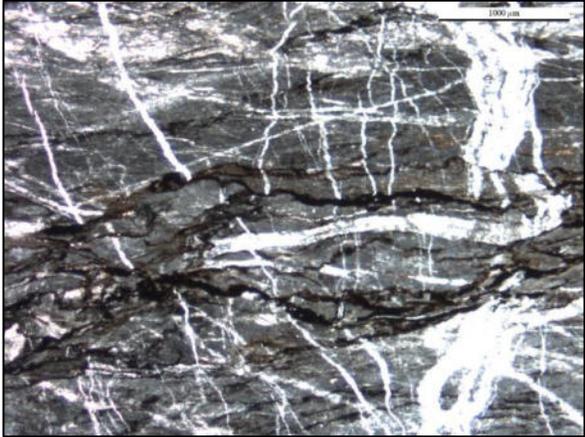
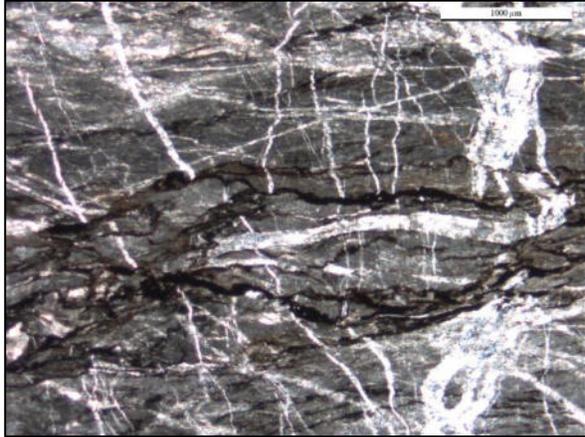
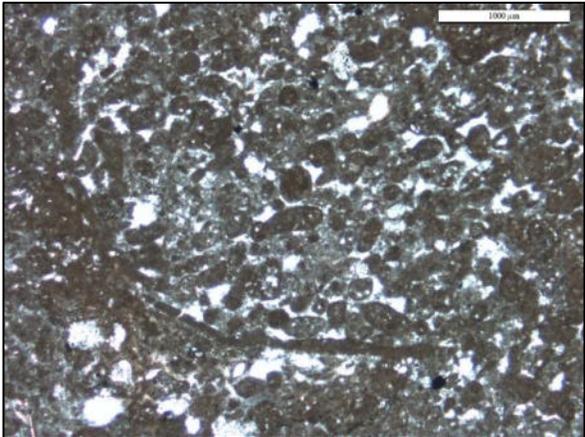
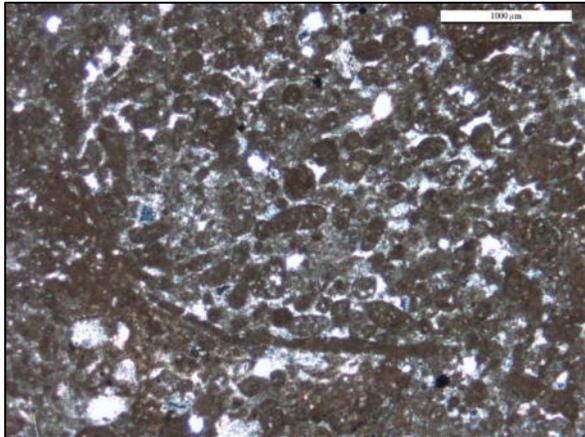
Clave: GEBN-AZ-M9		Asociación de Facies: Rampa interior		RMF: 25	
Contenido Mineralógico Normativo:					
Cuarzo: 4.18% Fsp. Alcalino: 0.95% Plagioclasas: 0.00% Filosilicatos: 0.00%	Plagioclasas: -Anortita: 0.00% -Albita: 0.00% -Tipo:	Carbonato total: 93.37% -Calcita: 91.74% -Dolomita: 1.60% -Ankerita: 0.87%	Yeso: 0.00% Filosilicatos: -Micas: 0.00% -Arcillas: 0.00%		
					
Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nicales paralelos			Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nicales cruzados		

Tabla 54: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-AN-M10, Aramberri en la Formación Zuloaga.

Clave: GEBN-AZ-M10		Asociación de Facies: Rampa interior		RMF: 27	
Contenido Mineralógico Normativo:					
Cuarzo: 4.04% Fsp. Alcalino: 1.3% Plagioclasas: 0.39% Filosilicatos: 1.44%	Plagioclasas: -Anortita: 0.00% -Albita: 0.39% -Tipo: 0% An	Carbonato total: 89.62% -Calcita: 87.01% -Dolomita: 2.15% -Ankerita: 2.33%	Yeso: 0.00% Filosilicatos: -Micas: 0.00% -Arcillas: 1.44%		
					
Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nicales paralelos			Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nicales cruzados		

6.6.1.5 Cañón Peregrina, Victoria, Tamaulipas

En el Cañón Peregrina en la Formación Olvido exhibe concentraciones bajas en Feldespatos alcalinos (GEBN-CP-M1: 0.11%, GEBN-CP-M2: 0.17%, GEBN-CP-M3: 0.11% y GEBN-CP-M4: 0.47%), plagioclasas (GEBN-CP-M1: 0.17%, GEBN-CP-M2: 0.12%, GEBN-CP-M3: 0.14% y GEBN-CP-M4: 0.59%) y Filosilicatos (GEBN-CP-M1: 0%, GEBN-CP-M2: 0%, GEBN-CP-M3: 0% y GEBN-CP-M4: 0%). Sin embargo presenta concentraciones altas en carbonato en las muestras GEBN-CP-M1: 91.22%, GEBN-CP-M2: 95.30%, GEBN-CP-M3: 91.16% y GEBN-CP-M4: 91.74% (Tabla 55 – Tabla 58).

Tabla 55: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo en Cañón Peregrina de la Muestra GEBN-CP-M1, la Formación Olvido.

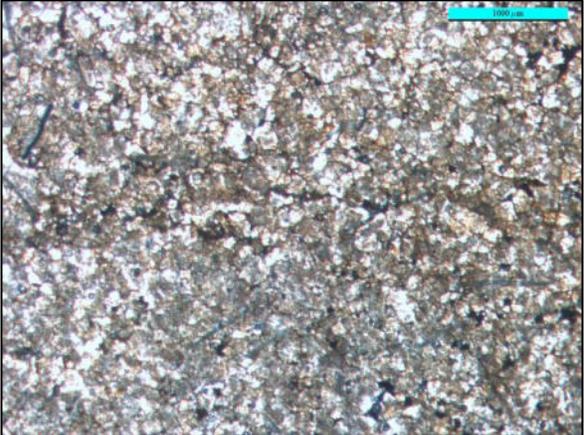
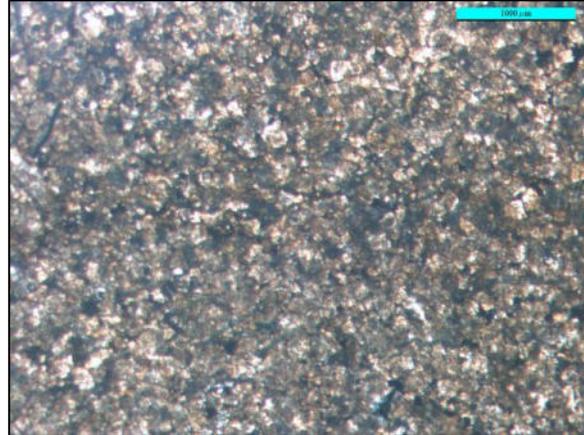
Clave: GEBN-CP-M1	Asociación de Facies: Rampa interior	RMF: 22	
Contenido Mineralógico Normativo:			
Cuarzo: 1.46% Fsp. Alcalino: 0.12% Plagioclasas: 0.17% Filosilicatos: 0.00%	Plagioclasas: -Anortita: 0.09% -Albita: 0.08% -Tipo: 51% An	Carbonato total: 94.23% -Calcita: 88.42% -Dolomita: 5.81 -Ankerita: 0.01%	Yeso: 0.00% Filosilicatos: -Micas: 0.00% -Arcillas: 0.00%
			
Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nicales paralelos		Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nicales cruzados	

Tabla 56: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-CP-M2, Cañón Peregrina en la Formación Olvido.

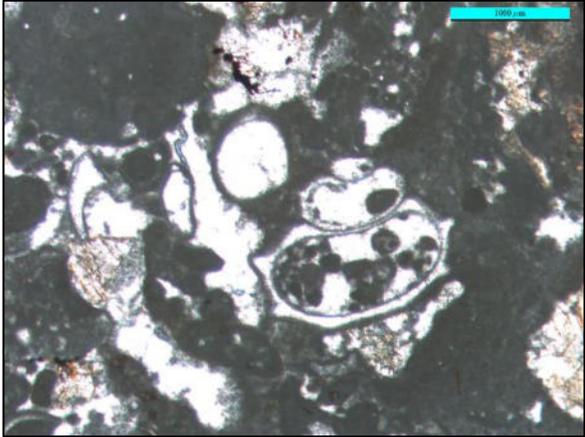
Clave: GEBN-CP-M2		Asociación de Facies: Rampa interior		RMF: 14	
Contenido Mineralógico Normativo:					
Cuarzo: 1.03% Fsp. Alcalino: 0.18% Plagioclasas: 0.13% Filosilicatos: 0.00%	Plagioclasas: -Anortita: 0.13% -Albita: 0.00% -Tipo: 100% An	Carbonato total: 95.30% -Calcita: 89.54% -Dolomita: 5.76% -Ankerita: 0.01%	Yeso: 0.00% Filosilicatos: -Micas: 0.00% -Arcillas: 0.00%		
					
Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles paralelos			Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles cruzados		

Tabla 57: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-CP-M3, Cañón Peregrina en la Formación Olvido.

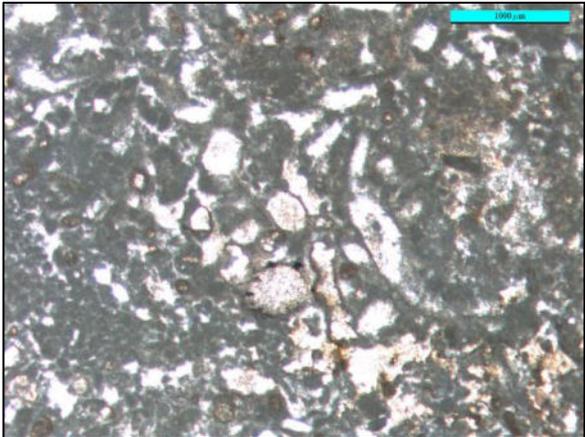
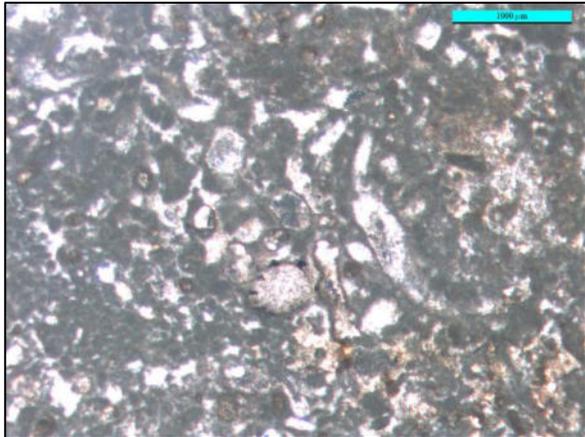
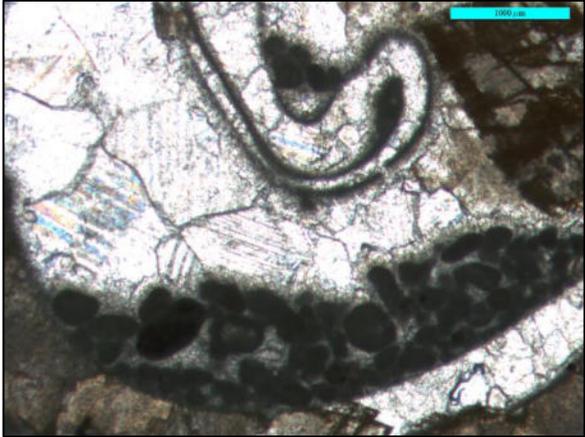
Clave: GEBN-CP-M3		Asociación de Facies: Rampa interior		RMF: 27	
Contenido Mineralógico Normativo:					
Cuarzo: 1.97% Fsp. Alcalino: 0.12% Plagioclasas: 0.14% Filosilicatos: 0.00%	Plagioclasas: -Anortita: 0.06% -Albita: 0.08% -Tipo: 41% An	Carbonato total: 91.17% -Calcita: 59.14% -Dolomita: 32.03% -Ankerita: 0.00%	Yeso: 0.00% Filosilicatos: -Micas: 0.00% -Arcillas: 0.00%		
					
Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles paralelos			Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles cruzados		

Tabla 58: Comparación de fotomicrografía con el Contenido Mineralógico Normativo de la Muestra GEBN-CP-M4, Cañón Peregrina en la Formación Olvido.

Clave: GEBN-CP-M4		Asociación de Facies: Rampa interior		RMF: 27	
Contenido Mineralógico Normativo:					
Cuarzo: 0.57%	Plagioclasas:	Carbonato total: 91.74%	Yeso: 0.00%	Filosilicatos:	
Fsp. Alcalino: 0.47%	-Anortita: 0.34%	-Calcita: 2.11%		-Micas: 0.00%	
Plagioclasas: 0.59%	-Albita: 0.25%	-Dolomita: 89.63%		-Arcillas: 0.00%	
Filosilicatos: 0.00%	-Tipo: 57% An	-Ankerita: 0.00%			
					
Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles paralelos			Fotomicrografía: Aumento 2.5x, Nícoles cruzados		

7 Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo con los análisis petrográficos de microfacies y facies en las rocas carbonatadas de las formaciones Zuloaga, Novillo y Olvido en el área de trabajo se concluyó que, las calizas muestran variaciones texturales de *mudstone*, *wackestone*, *grainstone*, *bindstone* y *dolostone*, con aloquímicos que pertenecen a las microfacies de rampas carbonatadas (RMF): 14, 22, 24, 25 y 27, que indican un ambiente marino somero dentro de la rampa interior.

A través del análisis litológico del levantamiento de columnas y de microfacies se concluye también que, aunque las secuencias carbonatadas sean litológicamente las mismas o muy parecidas, estas presentan variaciones locales importantes en cuanto su contenido en aloquímicos, tales como:

La presencia de carpetas de algas, algas verdes (*Acicularia sp.*) y foraminíferos bentónicos en calizas de la Formación Zuloaga para las regiones de Aramberri y Rayones en Nuevo León, en donde la mayoría de las muestras presentan ooides, pellets, peloides, *Favreina sp.*, intraclastos y fragmentos de pelecípodos.

- 1) Aparentes restos de *Favreina sp.* y pellets en la Formación Novillo.
- 2) La presencia de pellets, peloides, fragmentos de pelecípodos y gasterópodos en las calizas de la Formación Olvido.

Los análisis petrográficos y geoquímicos muestran cierta relación entre sí, ambos señalan un ambiente marino somero con aguas muy bien oxigenadas con pequeñas variaciones locales de una misma microfacies o ambiente de depósito que puede ser explicado por las diferentes fuentes de entrada (*p.ej.*, sedimentos por erosión continental) que cambian las condiciones químicas del agua y los procesos de sedimentación.

La presencia de dolomía en la Formación Olvido indica una sobreimpresión diagenética, en la que, por lo general, la mayoría del contenido fósil está mal preservado y/o ha sido borrado durante la dolomitización.

Las bajas concentraciones de SiO₂ en relación con CaO reflejan la dominancia del carbonato de calcio, sin embargo, las rocas de las Formación Novillo en Aramberri se formaron bajo una mayor influencia terrígena en comparación con la Formación Olvido en el Cañón Peregrina. La Formación Zuloaga en el área de Cañón La Huasteca, Rayones y La Poza muestran una

composición más calcárea como es típico para rocas de un ambiente de una rampa carbonatada de mar abierto. La influencia dolomitización que se refleja también en los altos contenidos de MgO en muestras de la Formación Olvido coincide con los resultados del análisis de microfacies.

La mayoría de las muestras exhiben patrones de elementos REE relacionados a las concentraciones en aguas marinas.

- a) Los contenidos de elementos REE se encuentran en el intervalo de 0.23 a 12.97 ppm, con un promedio de 18 ppm. Es decir, bajas concentraciones de Σ REE, consistentes con carbonatos marinos los que, en general muestran una significativa disminución en el contenido de REE en comparación con los materiales terrígenos.
- b) La mayoría de las muestras exhiben patrones REE planares e irregulares con empobrecimiento de LREE, enriquecimiento de MREE y valores relativamente bajos de HREE, relacionados al agua de mar.
- c) Anomalías positivas de La, anomalías negativas de Ce y Eu, y valores alto de Y – Ho, consistentes con los carbonatos marinos.
- d) Las anomalías negativas de Ce y Eu indican que las formaciones se depositaron en un ambiente marino con buena oxigenación.
- e) Variaciones en los patrones de los REE se pueden relacionar directamente con el *input* de material terrígeno y en algunos casos con las existencias de estilolitas como resultado de efectos de la diagénesis , en este caso de la compresión de las rocas. La disolución relacionada a la formación de estas estructuras genera la concentración relativa de minerales residuales que se reflejan en “anomalías” en patrón de los REE.

Concluyendo se puede decir, que tanto el ambiente como una posible influencia de material terrígeno como también efectos diagenéticos como dolomitización y compactación juegan un papel importante para la composición de los sedimentos carbonatados. Estos efectos se reflejan directamente en la composición química de forma individual o acumulativa. Es necesario de aumentar los estudios detallados combinados también con otros métodos analíticos para finalmente cuantificar la influencia de los procesos arriba mencionados la composición de las rocas.

8 Bibliografía

- Ahr (1973) → Ahr, W.M. (1973): The carbonate ramp: an alternative to the shelf model. – Gulf Coast Association of Geological Societies, Transactions, **23**: 221-225.
- Aranda-García & Eguiluz de Antuñano (1983) → Aranda-García, M. & Eguiluz de Antuñano, S. (1983). Posibilidades Económico-Petroleras en Rocas Clásticas del Neocomiano en la Magen Sur de la Paleoisla de Coahuila: Congreso Nacional de la Asociación de Ingenieros Petroleros de México, **81-74**: 37-42.
- Araujo-Mendieta & Arenas-Partida (1986) → Araujo-Mendieta, J. & Arenas-Partida, R. (1986): Estudio tectónico-sedimentario en el mar mexicano estados de Chihuahua y Durango. – Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, **47 (2)**: 43-87. – [doi: 10.18268/BSGM1986v47n2a2]
- Arche (2010) → Arche, A. (2010): Sedimentología: Del proceso físico a la cuenca sedimentaria. – Textos Universitarios, **46**: 1289 p.; Madrid (Consejo Superior de Investigaciones Científicas).
- Arenillas (2004) → Arenillas, I. (2004): Foraminíferos, biología, organización de la concha y clasificación, en Molina, E. Ed., Micropaleontología, Universidad de Zaragoza, 95-126.
- Armas-Zagoya (2004) → Armas Zagoya, J.M. (2004): Cartografía geológica estructural del Valle de Huizachal, como base para el análisis de estabilidad de taludes de la carretera Rumbo Nuevo, Tamps., México – Tesis para obtener el título de Maestro en Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL: 134 p.; Linares, N.L.
- Barboza-Gudiño et al. (2004) → Barboza-Gudiño, J.R., Hoppe, M., Gómez-Anguiano, M. & Martínez-Macías, P.R (2004): Aportaciones para la interpretación estratigráfica y estructural de la porción noroccidental de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México. – Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, **21 (3)**: 299-319.
- Bathurst (1975) → Bathurst, R.G.C. (1975): Carbonate sediments and their diagenesis. – Developments in sedimentology, **12**: 658 p.; Amsterdam (Elsevier).
- Bea (2015) → Bea, F. (2015): Geochemistry of the Lanthanide Elements. – XXXV Reunión de la Sociedad Española de Mineralogía, Huelva: 12 p.

- Blauser (1981) → Blauser, W.H. (1981): The stratigraphy of the Taraises Formation, Lower Cretaceous, Mexico. – en: Smith, C.I. (Ed.): Lower Cretaceous stratigraphy and structure, northern Mexico. – West Texas Geological Society Publication: 37-42.
- Bracken (1984) → Bracken, B., 1984, Environments of deposition and early diagenesis, La Joya Formation, Huizachal Group red beds, northeastern Mexico. – en: Ventress, W.P.S., Bebout, D.G., Perkins, B.F. & Moores, C.H. (eds.): The Jurassic of the Gulf rim: Gulf Coast Section, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Third Annual Research Conference, Proceedings: 19-26.
- Brönnimann & Norton (1960) → Brönnimann & Norton, P. (1960): On the classification of fossil fecal pellets and description of new forms from Cuba, Guatemala and Libya. – *Eclogae Geologicae Helveticae*, **53**: 832- 842.
- Brönnimann (1955) → Brönnimann, P. (1955): Microfossils incertae sedis from the Upper Jurassic and Lower Cretaceous of Cuba. *Micropaleontology*, **1**: 28-51.
- Buckland (1829) → Buckland, W. (1829): On the discovery of coprolites, or fossil faeces, in the Lias at Lyme Regis, and in other formations. *Transactions of the Geological Society*, **2-3**: 223–236.
- Budd & Lucks (1981) → Budd, D.A. & Loucks, R.G. (1981): Smackover and lower Buckner Formations, south Texas: Depositional systems on a Jurassic carbonate ramp. – University of Texas Bureau of Economic Geology Report of Investigations, **112**: 38 p.
- Buitron (1984) → Buitron, B.E. (1984): Late Jurassic bivalves and gastropods from northern Zacatecas, Mexico, and their paleogeographic significance. – en: Westermann, G.E.G. (ed.): Jurassic-Cretaceous biochronology and paleogeography of North America. – Geological Association of Canada, Special Paper, **27**: 89-98.
- Burchette & Wright (1992) → Burchette, T.P. & Wright, V.P. (1992): Carbonate ramp depositional systems. – *Sedimentary Geology*, **79**: 3-57.
- Burckhard (1930) → Burckhard, C. (1930): Etude synthétique sur le Mésozoïque mexicain – *Mémoires de la Société Paléontologique Suisse*, **49**: 280 p.

- Byers (1977) → Byers, C.W. (1977): Biofacies patterns in euxinic basins: A general model. – en: Cook, H.E. & Enos, P.E. (eds.): Deep-water carbonate environments. – Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication, **25**: 5-18.
- Cantú-Chapa (1992) → Cantú-Chapa, A. (1992): The Jurassic Huasteca series in the sub-surface of Poza Rica, eastern Mexico: *Journal of Petroleum Geology*, **15**: 259-282.
- Cantú-Chapa et al. (1985) → Cantú-Chapa, C., Sandoval-Silva, R. & Arenas-Partida, R. (1985): Evolución Sedimentaria del Cretácico inferior en el Norte de México. – *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo*, **17 (2)**: 14-37.
- Carozzi (1989) → Carozzi, A.V. (1989): Carbonate rock depositional models. A microfacies approach. – 604 p.; Englewood Cliffs (Prentice Hall).
- Carrillo-Bravo (1961) → Carrillo-Bravo, J. (1961): Geología del Anticlinorio Huizachal-Peregrina al NW de Ciudad Victoria, Tamps. – *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, **13 (1/2)**: 1-98.
- Casas-Peña (2016) → Casas-Peña, J.M. (2016): Revisión estratigráfica del Jurásico en el Cerro de La Cruz, Aramberri, Nuevo León. – Tesis para obtener el título de Maestro en Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL: 150 p.; Linares, N.L.
- Chávez-Meraz (2020) → Chavez-Meraz, D., (2020): Microfacies, geoquímica e isotopos para determinar ambientes de depósito de la Caliza Mural en la sección Cerro de Oro, Sonora Central, México, Tesis de Mestria, Universidad de Sonora, 98 p.
- Conklin & Moore (1977) → Conklin, J., & Moore, C. M., (1977): Environmental analysis of the Lower Cretaceous Cupido Formation, northeast Mexico. – en: Bebout, D.G. & Loucks, R.G. (eds.): Cretaceous carbonates of Texas and Mexico: University of Texas Bureau of Economic Geology Report of Investigations, **89**: 302-323.
- Cordoba (1969) → Cordoba, D.A. (1969): Mesozoic stratigraphy of northeastern Chihuahua, Mexico in the border region. – New Mexico Geological Society, 20th Field Conference, Guidebook: 91-96.
- Córdoba et al. (1970) → Cordoba, D. A., Rodríguez-Torrés, R. & Guerrero-García, J. (1970): Mesozoic stratigraphy of the northern portion of the Chihuahua Trough. – en: Seewald, K. &

- Sundeen, D. (eds.): The geologic framework of the Chihuahua tectonic belt. – Midland, West Texas Geological Society: 83-98.
- Cordoba et al. (1980) → Cordoba, D.A., Tardy, M., Carfantan, J.C., Campa, M.F. & Rangin, C. (1980): Le Mexique mesogéen et le passage au système cordillerain de type Californie. – en: Aubouin, J., Debelmas, J. & Latreille, M. (eds.): Geologie des chaînes alpines issues de la Tethys. – Bureau de Recherches Géologiques et Minières, *Memoir*, **115**: 18-29.
- Corpstein (1974) → Corpstein, P. (1974): The La Joya and La Boca Formations. – en: Conklin, J. (Ed.): Geology of Huizachal-Peregrina anticlinorium. – Pan American Geological Society, *Field Trip Guidebook*: 81-90.
- Cuévas-Pérez (1983) → Cuévas-Pérez, E. (1983): Evolución geológica mesozoica del estado de Zacatecas, Mexico. – *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, Teil I*, **1983**: 190-201.
- Cuévas-Pérez et al. (1985) → Cuévas-Pérez, E., Servais, M., Vortisch, W. & Monad, O. (1985): Una interpretación tectónica de Sinaloa a San Luis Potosí, México. – *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, **37**: 31-57.
- Cuvillier (1952) → Cuvillier, J. (1952): Le notion de ‘microfacies’ et ses applications., VIII Congreso Nazionale di Metano e Petroleo, sect. I (1952): 1-7.
- De Cserna (1969) → De Cserna, Z. (1969): Tectonic framework of Southern Mexico and its bearing on the problem of continental drift. – *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, **XXX (11.2)**: 159-168.
- De Cserna (1979) → De Cserna, Z. (1979): Cuadro tectónico de la sedimentación y magmatismo en algunas regiones de México durante el Mesozoico. – *Programas y resúmenes del V Simposio sobre la Evolución Tectónica de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Revista del Instituto de Geología*: 11-14 p.
- De Cserna (1989) → De Cserna, Z. (1989): An outline of the geology of Mexico. – en: Bally, A.W. & Palmer, A.R. (eds.): *The geology of North America B an overview*. – Boulder, Colorado, Geological Society of America, *Geology of North America*, **A**: 233-264.
- Dickinson (1981) → Dickinson, W. R. (1981): Plate tectonic evolution of the Southern Cordillera. – en: Dickinson, W.R. & Payne, W.D. (eds.): *Relations of tectonics to ore deposits in the southern Cordillera*. – *Arizona Geological Society Digest*, **14**: 113-135.

- Dunham (1962) → Dunham, R.J. (1962): Classification of carbonate rocks according to depositional texture. – en: Ham (Ed.): Classification of Carbonate Rocks. – AAPG Memoir, **1**: 108-121.
- Echánove-Echánove (1986) → Echánove-Echánove, O. (1986): Geología petrolera de la Cuenca de Burgos (Parte I): Consideraciones geológico-petroleras. – Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, **XXXVIII (1)**: 3-39.
- Eguiluz de Antuñano & Aranda-García (1984) → Eguiluz-de Antuñano, S. & Aranda-García, M. (1984): Economic oil possibilities in clastic rocks of the Neocomian along the southern margin of the Coahuila Island. – en: Wilson, J.L., Ward, W.C. & Finneran, J. (eds.): A Field Guide to Upper Jurassic and Lower Cretaceous Carbonate Platform and Basin Systems, Monterrey–Saltillo area, Northeast Mexico. – Houston, Texas, Gulf Coast Section, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Foundation: 43-51.
- Eguiluz de Antuñano (2001) → Eguiluz de Antuñano, S. (2001): Geologic evolution and gas resources of the Sabinas Basin in northeastern Mexico. – en: Bartolini, C., Buffler, R.T. & Cantú-Chapa, A. (eds.): The western Gulf of Mexico Basin: Tectonics, sedimentary basins, and petroleum systems. – AAPG Memoir, **75**: 241-270. – [doi: 10.1306/M75768C10]
- Elderfield & Greaves (1982) → Elderfield, H. & Greaves, M. J. (1982): The rare earth elements in seawater. – Nature, **296**: 214-219.
- Embry & Klovan (1971) → Embry, A.F. & Klovan, J.E. (1971): A late Devonian reef tract on Northeastern Banks Island, Northwest Territories. - Bulletin of Canadian Petroleum Geology, **19**: 730-781.
- Enos (1983) → Enos, P., (1983): Late Mesozoic paleogeography of Mexico. – en: Reynolds, M.W. & Dolly, E.D. (eds.): Mesozoic paleogeography of west-central United States: Rocky Mountain Section. – Society of Economic Paleontologists and Mineralogists: 133-157.
- Fisher et al. (2007) → Fisher, R., Michalzik, D. & Helm, C. (2007): Microhermal nodules of Renalcis-like calcimicrobes from Oxfordian limestones of the Sierra Madre Oriental (Novillo Formation, Mexico). – Facies, **53**: 239–248. – [doi: 10.1007/s10347-006-0099-4]
- Flügel (2010) → Flügel, E. (2010): Microfacies of Carbonate Rocks (2. Ed.). – 984 p.; Springer.

- Folk (1959) → Folk, R.L. (1959): Practical Petrographic classification of limestones. – AAPG Bulletin, **43 (1)**:1-38.
- Fortunato & Ward (1982) → Fortunato, K.S. & Ward, W.C. (1982): Upper Jurassic-Lower Cretaceous fan-delta complex; La Casita Formation of the Saltillo area, Coahuila, Mexico. – Transactions of the Gulf Coast Association of Geological Societies, **32**: 473-482.
- Fortunato (1982) → Fortunato, K.S. (1982): Depositional framework of the La Casita Formation (Upper Jurassic–lowermost Cretaceous) near Saltillo, Coahuila, Mexico. – Master's thesis, University of New Orleans: 198 p.
- García-Cubas & Reguero (2004) → García-Cubas, A. & Reguero, M. (2004): Catálogo ilustrado de moluscos gasterópodos del Golfo de México y Mar Caribe. México. – 168 p.; Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ginsburg & James (1974) → Ginsburg, R.N. & James, N.P. (1974): Holocene carbonate sediments of continental shelves. – en: Burke, C.A. & Drake, C.L. (eds.): The Geology of Continental Margins: 137-155; Springer-Verlag. New York.
- Goldhammer (1999) → Goldhammer, R.K. (1999): Mesozoic sequence stratigraphy and paleogeographic evolution of northeast Mexico. – in: Bartolini, C., Wilson, J.L. & Lawton, T.F. (eds.): Mesozoic Sedimentary and Tectonic History of North-Central Mexico. – GSA Special Paper, **340**: 1-58. – [doi: 10.1130/0-8137-2340-X.1]
- Goldhammer et al. (1991) → Goldhammer, R.K., Lehmann, P.J., Todd, R.G., Wilson, J.L., Ward, W.C. & Johnson, C.R. (1991): Sequence stratigraphy and cyclostratigraphy of the Mesozoic of the Sierra Madre Oriental, northeast Mexico, a field guidebook. – Gulf Coast Section, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists: 85 p.
- González (1976) → González, J.A. (1976): Resultados obtenidos en la exploración de la Platform de Cordoba y principales campos productores. – Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, **37 (2)**: 37-52.
- González (1977) → González, J.A. (1977): Estudio Geológico Económico del Distrito Papaloapan: Congreso Nacional de la Asociación de Ingenieros Petroleros de Mexico-Tampico, Tamaulipas, Memoria **15**: 67.

- González-García (1973) → González-García, R. (1973): Modelo sedimentario del Albiano Cenomaniano en la porción sureste de la plataforma de Coahuila (Prospecto Parra, Edo. De Coahuila). – Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, **25**: 309-339.
- González-García (1976) → González-García, R. (1976): Bosquejo Geológico de la Zona Noreste. – Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, **28**: 1-50.
- González-García (1979) → González-García, R., (1979): Exploración petrolera en el “Golfo de Sabinas” nueva provincia productora de gas. – Ingeniería Petrolera, **19 (2)**: 28-36.
- González-García (1984) → González-García, R. (1984): Petroleum exploration in the “Gulf of Sabinas”— a new gas province in northern Mexico. – en: Wilson, J.L., Ward, W.C. & Finneran, J. (eds.): A field guide to Upper Jurassic and Lower Cretaceous carbonate platform and basin systems, Monterrey- Saltillo area, northeast Mexico. – Gulf Coast Section, Society for Sedimentary Geology (SEPM) Foundation: 64-76.
- Gressly (1838) → Gressly, A. (1838): Observations géologiques sur le Jura Soleurois. – Neue Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, **2**: 1-112.
- Häntzschel et al. (1968) → Häntzschel, W., El-Baz, F. & Amstutz, G.C. (1968): Coprolites. An annotated bibliography. – GSA Memoir, **108**, 132 p.
- Heim (1926) → Heim, A. (1926): Notes on the Jurassic of Tamazunchale (Sierra Madre Oriental, Mexico) – *Eclogae Geologicae Helvetiae*, **20**: 84-87.
- Heim (1940) → Heim, A. (1940): The front ranges of the Sierra Madre Oriental, Mexico, from Ciudad Victoria to Tamazunchale. – *Eclogae Geologicae Helvetiae*, **33**: 313-362.
- Humphrey & Díaz (1956/2003) → Humphrey, E.W. & Díaz, T. (1956/2003): Jurassic and Lower Cretaceous stratigraphic and tectonics of Northeast Mexico. – Bureau of Economic Geology, Report of Investigations, **267**: 152 p.; Austin, TX.
- Hunt & Lucas (2012) → Hunt, A.P. & Lucas, S.G. (2012): Classification of vertebrate coprolites and related trace fossils. – en: Hunt, A. P., Milan, J., Lucas, S.G. & Spielmann, J.A. (eds): Vertebrate coprolites. – New Mexico Museum of Natural History & Science Bulletin, **57**: 137-146.
- Imlay (1936) → Imlay, R.W. (1936): Evolution of the Coahuila Peninsula, Mexico, part IV, geology of the western part of the Sierra de Parras. – GSA Bulletin, **47**: 1091–1152.

- Imlay (1943) → Imlay, R.W. (1943): Jurassic formations of Gulf region. – AAPG Bulletin, **27 (11)**: 1407-1533.
- Imlay (1953) → Imlay, R.W. (1953): Las formaciones jurásicas de México. – Boletín de la Sociedad Geológica de México, **16**: 1-65.
- Jenchen (2020) → Jenchen, U. (2020): Geoquímica, petrología y facies de la Formación Zuloaga, Jurásico Tardío, Oxfordiano, en el NE de México (estados de Nuevo León y Tamaulipas). – Informe Técnico Final del Proyecto PAICyT UANL, **CN1252-20**: 42 p.; Linares, N.L.
- Jenchen (2021) → Jenchen, U. (2021): Geoquímica, petrología, diagénesis y facies de la Formación Zuloaga, Jurásico Tardío, Oxfordiano, en el NE de México (estados de Nuevo León y Tamaulipas) . – Informe Técnico Final del Proyecto PAICyT UANL, **CT1627-21**: 72 p.; Linares, N.L.
- Jenchen (en proc.) → Jenchen, U. (en porc.): Sistema Experto de Geoquímica Inorgánica (SEdGI) como interfaz entre petrología y petrofísica para la toma de decisiones operativas en el diseño de pozos petroleros. – Programa de Apoyo a La Ciencia, Tecnología e Innovación, ProACTI 23023, UANL: Proyecto **107-FMYCT-2023**.
- Jenchen Ramírez-Fernández (en press.): Reinterpretación del desarrollo estratigráfico de Nuevo León. – en: Ramírez-Fernández et al. (eds.): Síntesis Geológica del Estado de Nuevo León. – Editorial Universitaria UANL: 33-102.
- Jiménez et al. (1982) → Jiménez, D.I., Porres-Luna, R.P. & Rivera-Carranco, E. (1982): Geología de la región de Charcas-Venada, San Luis Potosí. – Tesis profesional, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 144 p.; México, D.F.
- Johnson (1991) → Johnson, C. R., 1991, Depositional cycles of the Zuloaga (Oxfordian Kimmeridgian?) Formation, Sierra de Bunuelos, Coahuila, Mexico. – Tesis de Maestría: New Orleans, Louisiana, University of New Orleans, 242 p.
- Jones & Goodbody (1984) → Jones, B. & Goodbody, Q.H. (1984): Biological factors in the formation of quiet-water ooids. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, **32 (2)**: 190-200.
- Kasper et al. (2010) → Kasper-Zubillaga, J. J., Rosales-Hoz, L. & Bernal, J. P., (2010): Rare earth elements in corals from the Isla de Sacrificios Reef, Veracruz, México. – Chemie der Erde, Geochemistry, **70**, 55-60.

- Kietzmann & Palma (2010) → Kietzmann, D.A. & Palma R.M. (2010): New crustacean microcoprolites from the Lower Cretaceous (middle Berriasian–lower Valanginian) of the Neuquén Basin, Southern Mendoza, Argentina. – *Journal of South American Earth Sciences*, **30**, 58-64.
- Knaust (2020) → Knaust, D. (2020): Invertebrate coprolites and cololites revised. – *Papers in Palaeontology*, **6 (3)**: 385-423 p.
- Laudon (1984) → Laudon, R.C. (1984): Evaporite diapirs in the La Popa Basin, Nuevo León, Mexico. – *Geological Society of America Bulletin*, **95**: 1219-1225.
- Limón (1989) → Limón, M. (1989): Evaluación geológico-geoquímica de la provincia de Chihuahua. – *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, **38**: 3-58.
- Liu et al. (1998) → Liu, Y.G., Miah, M.R.U. & Schmitt, R.A., (1988): Cerium: A chemical trace for paleoceanic redox conditions. – *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **52**: 1361-1371.
- López-Ramos (1972) → López-Ramos, E. (1972): Bosquejo geológico del Estado de Nuevo León. – *Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, **XXIV (4-6)**: 202-236.
- López-Ramos (1985) → Lopez-Ramos, E. (1985): Geología de México, v. 2. – Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología: 454 p.; México, D.F.
- Madrid (1976) → Madrid, A. (1976): Consideraciones geologico-economixas del Jurásico Superior, NE de México: III Simposium de Geología de Subsuelo, Zona Noreste. - *Petroleos Mexicanos*, 193-216.
- Márquez (1979) → Márquez, B. (1979): Evaluación petrolera de sedimentos carbonatados del Cretácico en el Golfo de Sabinas, NE de México. – *Ingeniería Petrolera*, **19 (8)**: 28-36.
- McFarlan & Menes (1991) → McFarlan, E.Jr. & Menes, L.S. (1991): Lower Cretaceous. – in: Salvador, A. (Ed.): *The Gulf of Mexico Basin*. – GSA, *The Geology of North America*, **J**: 181-204.
- McFarlan & Menes (1991) → McFarlan, E.Jr. & Menes, L.S. (1991): Lower Cretaceous. – in: Salvador, A. (Ed.): *The Gulf of Mexico Basin*. – Geological Society of America, *The Geology of North America*, **J**: 181-204.

- McFarlan & Stone (1977) → McFarlan, E.Jr., & Stone, S.W. (1977): Petroleum exploration potential of Lower Cretaceous sediments. – U.S. Gulf Coast: Houston Texas, Exxon Production Research Company Report (unpublished): 56 p.
- McLennan (1989) → McLennan, S.M. (1989): Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. – en: Lipin, B.R. & McKay, G.A. (eds.): Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements. – Reviews in Mineralogy, 21 (1): 169-200.
- McRae et al. (1992) → MacRae, N., Nesbitt, H. & Kronberg, B. (1992): Development of a positive Eu anomaly during diagenesis. – Earth and Planetary Science Letters, **109**: 585-591.
- Medina-Pedraza (2011) → Medina Pedraza, R.G. (2011): Análisis Bioestratigráfico y Microfacial de la Formación Zuloaga (Oxfordiano-Kimmeridgiano), Laguna de Santa Rosa, Iturbide, N.L., México. – Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias de la Tierra, 108 p.; Linares, N.L.
- Michalzik & Schumann (1994) → Michalzik, D. & Schumann, D. (1994): Lithofacies relationships and paleoecology of a Late Jurassic–Early Cretaceous fan delta to shelf depositional system in the Sierra Madre Oriental of northeast Mexico. – Sedimentology, **41**: 463-477. – [doi: 10.1111/j.1365-3091.1994.tb02006.x]
- Michalzik (1988) → Michalzik, D. (1988): Trias bis tiefste Unter-Kreide der nordöstlichen Sierra Madre Oriental, Mexiko – Fazielle Entwicklung eines passiven Kontinentalrandes. – Ph.D. Thesis, Technische Hochschule Darmstadt, BRD: 247 p.; Darmstadt.
- Mixon et al. (1959) → Mixon, R.B., Murray, G.E. & Díaz-González, T.E. (1959): Age and correlation of Huizachal group (Mesozoic), State of Tamaulipas, Mexico. – AAPG Bulletin, **43** (4): 757-771.
- Molina (2004) → Molina, E. (2004): Foraminíferos planctónicos: Globigerinina. – en: Molina E. (Ed.): Micropaleontología. – Universidad de Zaragoza: 127-178.
- Moran-Zenteno (1994) → Moran-Zenteno, D. (1994): The geology of the Mexican republic. – AAPG Studies in Geology, **39**: 160 p.
- Muir (1936) → Muir, J.M. (1936): Geology of the Tampico Region Mexico. – The American Association of Petroleum Geologist: 280 p.; Tulsa, Oklahoma, U.S.A.

- Navarro et al. (2009) → Navarro, V., Molina, J.M. & Ruiz-Ortiz, P.A. (2009): Filament lumachelle on top of Middle Jurassic oolite limestones: event deposits marking the drowning of a Tethysian carbonate platform (Subbetic, southern Spain). – *Facies*, **55 (1)**: 89-102.
- Oivanki (1974) → Oivanki, S.M. (1974): Paleodepositional environments in the Upper Jurassic Zuloaga Formation (Smackover), northeast Mexico. – *Gulf Coast Association of Geologists, Society Transactions*, **24**: 258-278.
- Padilla y Sánchez (1978) → Padilla y Sánchez, R.J. (1978): Geología y Estratigrafía (Cretácico Superior) del límite suroeste del estado de Nuevo León. – *Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México*, **2 (1)**: 37-44.
- Padilla y Sánchez (1982) → Padilla y Sánchez, R.J. (1982): Geologic evolution of the Sierra Madre Oriental between Linares, Concepción del Oro, Saltillo, and Monterrey, Mexico. – Ph.D. dissertation, University of Texas at Austin: 217 p.
- Padilla y Sánchez (1986) → Padilla y Sánchez, R. J. (1986): Post-Paleozoic tectonics of northeast Mexico and its role in the evolution of the Gulf of Mexico. – *Geofísica Internacional*, **25**: 157-206.
- PEMEX (1988) → Petróleos Mexicanos (PEMEX) (1988): Estratigrafía de la República Mexicana, Mesozoico. – Subdirección de Producción Primaria, Coordinación Ejecutiva de Exploración, informe inédito: 216 p.; México, D.F.
- Pessagno & Martin (2003) → Pessagno, E.A.Jr. & Martin, C. (2003): Tectonostratigraphic evidence for the origin of the Gulf of Mexico. – en: Bartolini, C., Buffler, R.T. & Blickwede, J. (eds.): *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics*. – *AAPG Memoir*, **79**: 46-74.
- Piper (1974) → Piper, D.Z., (1974): Rare earth elements in sedimentary cycles: A summary. – *Chemical Geology*, **14**: 285-304.
- Ramírez-Fernández & Jenchen (2016) → Ramírez-Fernández, J.A. & Jenchen, U. (2016): Cinturones orogénicos sepultados bajo la Sierra Madre Oriental: basamento precámbrico y paleozoico. – *Ciencia UANL*, **80**: 56-62.
- Read (1982) → Read, J.F. (1982): Carbonate Platforms of passive (extensional) continental margins: types, characteristics and evolution. – *Tectonophysics*, **81**, 195-212.

- Rivera-Estrada (2007) → Rivera-Estrada, C.A. (2007): Análisis Bio-Estratigráfico y Microfacial de la Formación Zuloaga en la Cañada Alardín, General Zaragoza, Nuevo León, México. – Tesis de Maestría en Ciencias Geológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias de la Tierra, 108 p.; Linares N.L.
- Rivera-García (2017) → Rivera-García, J.J. (2017): Origen y evolución del esquisto de talco del Paleozoico en el Alto de Aramberri, N.L. – Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León: 81 p.; Linares, N.L.
- Rodríguez-López (2016) → Rodríguez-Lopez, W.R. (2016): Estimación numérica de la permeabilidad y porosidad de rocas carbonatadas de la Formación Zuloaga. – Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias de la Tierra, 62 p.
- Ross (1981) → Ross, M.A. (1981): Stratigraphy of the Tamaulipas Limestone, Lower Cretaceous, Mexico. – en: Smith, C.I. (Ed.): Lower Cretaceous stratigraphy and structure, northern Mexico. – West Texas Geological Society Publication, **81-74**: 43-54.
- Salvador (1987) → Salvador, A. (1987): Late Triassic-Jurassic paleogeography and origin of Gulf of Mexico Basin. – AAPG Bulletin, **71**: 419-451.
- Salvador (1991a) → Salvador, A. (1991a): Introduction. – en: Salvador, A. (Ed.): The Gulf of Mexico Basin. – Geological Society of America, The Geology of North America, **J**: 1-12.
- Salvador (1991b) → Salvador, A. (1991b): Origin and development of the Gulf of Mexico Basin. – en: Salvador, A. (Ed.): The Gulf of Mexico Basin – Geological Society of America, The Geology of North America, **J**: 389-444.
- Sandoval-Castillo (2013) → Sandoval Castillo, A. (2013): Geoquímica de las rocas carbonatadas de la Formación El Abra (Actopan), México: implicaciones de condiciones paleo-redox y procedencia. México. - Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México. 77 p.; Ciudad de México.
- Scholle & Ulmer-Scholle (2003) → Scholle, P.A. & Ulmer-Scholle, D.S. (2003): A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: Grains, Textures, Porosity, Diagenesis. – AAPG, Memoir, **77**: 228 p.
- Schweigert et al. (1997) → Schweigert, G., Seegis, D.B., Feels, A. & Leinfelder, R.R. (1997): New internally structured decapod microcoprolites from Germany (Late Triassic/Early Miocene),

- Southern Spain (Early/Middle Jurassic) and Portugal (Late Jurassic): taxonomy, palaeoecology and evolutionary implications. – *Paläontologische Zeitschrift*, **71**: 51-69.
- Sedlock et al. (1993) → Sedlock R.L., Ortega-Gutierrez, F. & Speed, R.C. (1993): Tectonostratigraphic Terranes and Tectonic Evolution of Mexico. – GSA Special Paper, **278**: 153 p.; Boulder, CO.
- Selley (1970) → Selley, R.C. (1970): Ancient Sedimentary Environments. – 287.; Chapman Hall, London.
- Selvius (1982) → Selvius, D.B. (1982): Lithostratigraphy and algal-foraminiferal biostratigraphy of the Cupido Formation, Lower Cretaceous, in Bustamante Canyon and Potrero García, northeast Mexico. - Tesis de Maestría, University of Michigan: 68 p.; Ann Arbor.
- Servais et al. (1982) → Servais, M., Rojo, R. & Colorado-Lievano, D. (1982): Estudio de las rocas básicas y ultrabásicas de Sinaloa y Guanajuato: postulación de un paleo-golfo de Baja California y de una digitación tethysian en México central, México. – *Geomimet Revista*, **115**: 53-71.
- Servais et al. (1986) → Servais, M., Cuévas-Pérez, E. & Monod, O. (1986): Une section de Sinaloa a San Luis Potosí: nouvelle approche de l'evolution du Mexique nord-occidental. – *Bulletin de la Société Géologique de France*, **8**: 1033-1047.
- SGM (2008) → Santiago-Carrasco, B, Martínez-Ramos, C.J., Sánchez-Bermeo, G., Chiapa-García, R. & Palacios-García, R. (2008): Carta Geológico-Minera Escala 1:250,000: **G14-7** Monterrey, Estados de Coahuila y Nuevo León. – Consejo de Recursos Minerales; Pachuca, Hidalgo.
- Smith (1981) → Smith, C.I. (1981): Review of the geologic setting, stratigraphy, and facies distribution of the Lower Cretaceous in northern Mexico. – en: Charleston, S., Smith, C.I. & Brown, J.B. (eds.): Lower Cretaceous stratigraphy and structure, northern Mexico. – West Texas Geological Society Publication, **81-74**, 1–27.
- Smith (1987) → Smith, C. R., (1987), Provenance and depositional environments of the La Casita Formation, Sierra Madre Oriental southwest of Monterrey, northeastern Mexico. – Tesis de Mestría: New Orleans, Louisiana, University of New Orleans, 143 p.

- Soegaard et al. (1997) → Soegaard, K., Giles, K., Vega, F. & Lawton, T. (1997): Structure, stratigraphy and paleontology of Late Cretaceous–early Tertiary Parras–La Popa foreland basin near Monterrey, Mexico. - Guidebook, Field Trip no. 10, AAPG: 133 p.; Dallas, Texas.
- Stone (1975) → Stone, S.W. (1975): The Jurassic of the Gulf Coast. –Exxon Production Research Company report (unpublished): 112 p.; Houston, Texas.
- Swett & Knoll (1989) → Swett, K. & Knoll, A.H. (1989): Marine pisolites from upper Proterozoic carbonates of East Greenland and Spitsbergen. – *Sedimentology*, **36 (1)**: 75-93.
- Tarday (1977) → Tardy, M. (1977): Essai sur la constitution de l'évolution paleogeographique et structurale de la partie septentrionale du Mexique au cours du Mésozoïque et du Cénozoïque. – *Bulletin de la Société Géologique de France*, **19**: 1297-1308.
- Taylor & McLennan (1985) → Taylor, S.R. & McLennan, S.M. (1985): The Continental Crust: its composition and evolution. – 190 p.; Oxford (Blackwell).
- Theiling et al. (2007) → Theiling, B., Railsback, L., Holland, S. & Crowe, D. (2007): Heterogeneity in geochemical expression of subaerial exposure in limestones, and its implications for sampling to detect exposure surfaces. – *Journal of Sedimentary Research*, **77**: 159-169.
- Tinker (1982) → Tinker, S.W. (1982): Lithostratigraphy and biostratigraphy of the Aptian La Peña Formation, northeast Mexico and south Texas, and the depositional setting of the Aptian Pearsall-La Peña Formations, Texas subsurface and northeast Mexico. Why is there not another Fairway Field? – Tesis de Maestría, University of Michigan: 80 p.
- Todd & Mitchum (1977) → Todd, R.G. & Mitchum, R.M.Jr. (1977): Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 8: Identification of Upper Triassic, Jurassic, and Lower Cretaceous seismic sequences in Gulf of Mexico and offshore west Africa. – en: Payton, C. E. (Ed.): *Seismic stratigraphy: Applications to hydrocarbon exploration*. – AAPG Memoir, **26**: 145-163 p.
- Todd (1972) → Todd, R.G., (1972): Depositional environment of Arenque Field, Tampico, Mexico. –Exxon Production Research Company report (unpublished): 21 p.; Houston, Texas.

- Tóvar-Rodríguez (1981) → Tóvar Rodríguez, J.C. (1981): Provincias con posibilidades petroleras en el distrito Chihuahua. – Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, **38**: 25-52 p.
- Vallon (2012) → Vallon, L.H. (2012): *Digestichnis* (Vialov, 1972): an almost forgotten ethological class for trace fossils. – en: Hunt, A.P., Milan, J., Lucas, S.G. & Spielmann, J.A. (eds): Vertebrate coprolites. – New Mexico Museum of Natural History & Science Bulletin, **57**: 131–135.
- Weidie & Martínez (1970) → Weidie, A.E. & Martinez, J.D. (1970): Evidence for evaporite diapirism in northeastern Mexico. – AAPG Bulletin, **54**: 655-661.
- Weidie & Murray (1967) → Weidie, A.E. & Murray, G.E. (1967): Geology of Parras Basin and adjacent areas of northeastern Mexico. – AAPG Bulletin, **51**: 678-695.
- Wilkinson & Given (1986) → Wilkinson, B.H. & Given, R.K. (1986): Secular variation in abiotic marine carbonates: constraints on Paleozoic atmospheric carbon dioxide contents and oceanic Mg/Ca ratios. – Journal of Geology, **94**: 321-333.
- Wilson & Piali (1977) → Wilson, J.L. & Piali, G. (1977): A Lower Cretaceous shelf margin in northern Mexico. – en: Bebout, D. G. & Loucks, R.G. (eds.): Cretaceous carbonates of Texas and Mexico. – University of Texas Bureau of Economic Geology Report of Investigations, **89**: 286-294.
- Wilson & Selvius (1984) → Wilson, J.L. & Selvius, D.B. (1984): Early Cretaceous in the Monterrey-Salttillo area of northern Mexico. – en: Wilson, J.L., Ward, W.C. & Finneran, J. (eds.): A field guide to Upper Jurassic and Lower Cretaceous carbonate platform and basin systems, Monterrey-Salttillo area, northeast Mexico. - Gulf Coast Section, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists: 76 p.
- Wilson (1969) → Wilson, J.L. (1969), Microfacies and sedimentary structures in “deeper water” lime mudstones. – en: Friedman, G.M. (Ed.): Depositional environments in carbonate rocks. – Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication, **14**: 4-17.
- Wilson (1975) → Wilson, J.L. (1975): Carbonate facies in geologic history. – 471 p.; Springer-Verlag, New York.

- Wilson (1981) → Wilson, J.L., (1981): Lower Cretaceous stratigraphy in the Monterrey-Salttillo area. – en: Smith, C.I. (Ed.): Lower Cretaceous stratigraphy and structure, northern Mexico: West Texas Geological Society Publication, **81-74**: 78–84.
- Wilson (1990) → Wilson, J.L. (1990): Basement structural controls on Mesozoic carbonate facies in Northeastern Mexico: A review. – en: Tucker, M.E., Wilson, J.L., Crevello, P.D., Sarg, J.R. & Reads, J.F. (eds.): Carbonate platforms, facies, sequences and evolution. – International Association of Sedimentologists Special Publication, **9**: 235-255.
- Winker & Buffler (1988) → Winker, C.D. & Buffler, R.T. (1988): Paleogeographic evolution of early deepwater Gulf of Mexico and margins, Jurassic to Middle Cretaceous (Comanchean). – AAPG, **72**: 318-346.
- Woods et al. (1991) → Woods, R.D., Amos Salvador, A. & Miles, A.E. (1991): Pre-Triassic. – in: Salvador, A. (Ed.): The Gulf of Mexico Basin – GSA, The Geology of North America, **J**: 109-129. – [doi: 10.1130/DNAG-GNA-J.109]
- Zwanziger (1978) → Zwanziger, J.A. (1978): Geología regional del sistema sedimentario Cupido. – Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, **30 (1-2)**: 1-56.
- Zwanziger (1979) → Zwanzinger, J.A. (1979): Provincias Mesozoicas Productoras en el Noroeste de Mexico. – Ingeniería Petrolera, **19**, 35-40.