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



### TESIS

### "CARACTERIZACIÓN MICROFACIAL DE LOS SEDIMENTOS CARBONATADOS DEL ALBIANO-CENOMANIANO EN LA PARTE CENTRAL DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN"

### PRESENTA

## JESÚS ENRIQUE SALAZAR SÁNCHEZ

#### COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN CIENCIAS GEOLÓGICAS

SEPTIEMBRE, 2017



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



LA TESIS

# "CARACTERIZACIÓN MICROFACIAL DE LOS SEDIMENTOS CARBONATADOS DEL ALBIANO-CENOMANIANO EN LA PARTE CENTRAL DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN"

# PRESENTA

# JESÚS ENRIQUE SALAZAR SÁNCHEZ

Ha sido aceptada como requisito parcial para el grado de

# MAESTRÍA EN CIENCIAS GEOLÓGICAS

Vo. Bo. Director de Tesis Dra. Yolanda Pichardo Barrón

Linares, Nuevo León, México

Septiembre 2017



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



TESIS

# "CARACTERIZACIÓN MICROFACIAL DE LOS SEDIMENTOS CARBONATADOS DEL ALBIANO-CENOMANIANO EN LA PARTE CENTRAL DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN"

ELABORADA POR

# JESÚS ENRIQUE SALAZAR SÁNCHEZ

HA SIDO ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE

# MAESTRÍA EN CIENCIAS GEOLÓGICAS

Vo. Bo. Comité de Evaluación

Dra. Yolanda Pichardo Barrón Directora de tesis

Dr. Javier Aguilar Pérez Co-asesor de tesis Dr. Francisco Medina Barrera Co-asesor de tesis

LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO

SEPTIEMBRE, 2017

Por este conducto declaro bajo protesta, que este trabajo lo he desarrollado personalmente, con el apoyo del Comité de Titulación. Toda la información utilizada de la literatura ha sido citada debidamente.

Ing. Jesús Enrique Salazar Sánchez

Linares, Nuevo León, México

Septiembre, 2017

Sólo llegarás más rápido, acompañado llegarás más lejos.

The clues are out there, just keep your eyes open.

Un fracaso no define tu futuro.

El PASADO es historia, el FUTURO es incierto, el HOY es un regalo por eso se llama <u>PRESENTE</u>, disfrútalo.

# DEDICATORIA

ESTE TRABAJO ESTÁ DEDICADO PARA TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE ESTUVIERON, HAN ESTADO Y ESTARÁN DETRÁS DE MÍ APOYÁNDOME Y MOTIVÁNDOME EN EL CUMPLIMIENTO DE CUALQUIER META QUE ME PROPONGA EN LA VIDA: A MIS PADRES, MIS HERMANOS, MI ABUELA MATERNA MARÍA DE JESÚS SOSA BARBA "MAQUE", TÍAS Y TÍOS, Y POR SUPUESTO, A LA MUJER QUE AMO CON TODO MI CORAZÓN Y QUE HA ESTADO A MI LADO DURANTE ESTA TRAVESÍA; KAREN RODRÍGUEZ, MUCHAS GRACIAS POR ESTAR SIEMPRE AHÍ PARA MÍ SIENDO MI INSPIRACIÓN A DIARIO PARA SALIR SIEMPRE ADELANTE, TE AMO.

A MIS SOBRINOS QUE ADORO CON TODO MI CORAZÓN: EIRA Y DARY, ESTE TRIUNFO TAMBIÉN VA PARA USTEDES, MIS CHIQUITINES!!

<sup>†</sup> UNA MENCIÓN ESPECIAL PARA AQUELLAS PERSONAS QUE NO ESTÁN HOY CON NOSOTROS PERO SEGURAMENTE SE SENTIRÁN ORGULLOSOS DE ESTE LOGRO: MI ABUELO MATERNO ENRIQUE SÁNCHEZ, MIS TÍOS LUIS SÁNCHEZ Y JESÚS "CHUY" HÉCTOR SÁNCHEZ, Y MIS ABUELOS PATERNOS: FRANCISCA "PANCHITA" GARZA Y JOSÉ ÁNGEL SALAZAR. <sup>†</sup>

MUCHAS GRACIAS A TODOS POR SU APOYO!!!

# AGRADECIMIENTOS

En primera instancia, quiero mostrar mi gratitud a quien aceptó y, que durante dos años, sustentó económicamente este proyecto, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT). Muchas gracias por hacerme parte de su comunidad científica.

A la Facultad de Ciencias de la Tierra, mi *Alma Mater*, por haberme abierto nuevamente sus puertas aceptándome en sus instalaciones para poder llevar a cabo mi trabajo de investigación.

Mis padres: María de Jesús Sánchez Sosa y Pablo Salazar Garza, muchas gracias por haberme guiado por el buen camino, gracias a ustedes soy lo que soy en día. Mis hermanos, Juan y Ángel, gracias por ser mis ejemplos a seguir y por darme dos sobrinos que quiero con toda mi alma, Eiry y Daryl, tan pequeños pero con un gran y puro corazón. Familias Salazar y Sánchez, con todos y cada uno de ustedes estoy totalmente agradecido por siempre estar conmigo y apoyarme en cualquier decisión que tome.

Ale Santana, también agradecido contigo por formar parte de mi familia, por tu amistad y apoyo, comentarios siempre positivos para mejorar profesionalmente. Gracias por esas invitaciones a campo.

Familia Rodríguez-Cano, muchas gracias por hacerme sentir uno más de su familia, han sido también un pilar importante en mi desarrollo tanto personal como profesional.

Grupo de Farafareños!! Cómo los quiero, muchas gracias por todo!!

Agradecido profundamente también con los respetables miembros del comité de evaluación con quienes logré formar un gran equipo de trabajo y así cumplir en tiempo y forma con este proyecto. Yolanda: enormemente agradecido por que me hayas aceptado para ser tu alumno de Maestría, tu apoyo en campo y todo lo demás; Javier, Sensei: muchos muy buenos recuerdos de una gran amistad que formamos, puro #PaleoTeam; Dr. Medina: muchas gracias por sus palabras de apoyo, la contribución hacia el trabajo tanto para el trabajo de campo como el de gabinete, siempre teniendo comentarios muy oportunos para el mejoramiento del mismo.

Dr. Fernando Velasco, muchas gracias por haberme orientado de la mejor manera para la inscripción al Posgrado, por sus comentarios tan atinados hacia mi trabajo para fortalecerlo y claro, por su desinteresada amistad. Un fuerte abrazo.

Dr. Carlos Aguilar, gracias por el apoyo que me dio durante el tiempo que coincidimos en el Posgrado.

A la secretaría Karla Casas, gracias por siempre tener tiempo para la aclaración de dudas y por agilizar siempre cualquier trámite.

Al personal encargado del Laboratorio de Preparación de la FCT, Víctor Beraza, Julio y Olegario, muchas gracias por las facilidades prestadas para la elaboración de láminas delgadas, un proceso importante para mi trabajo.

Compañeros de generación, sería difícil encontrar palabras de agradecimiento después de tener tantos buenos recuerdos y de una gran amistad que formamos entre todos nosotros. Chicas del MAL, Cubo 2 de los Delincuentes, "Kouch", Merlo, Christian, Carlitos, Jovany-San, Inge Raúl. En verdad siempre estaré agradecido con todos ustedes por darme su valiosa amistad y compañerismo. Manuel "Manny", Lalo "Fly", Moisés "Moy", Daniel "Panny", Sahid "Chosto", Sergio "Maquina", Adrián "Güero" y Jorge "Jorch" Salinas-Jasso, César Peña, y a todos aquellos compañeros de Posgrado y amigos que hice dentro de este y que involuntariamente omito, en verdad muchas gracias por su amistad.

A todos aquellos profesores de la FCT con los cuales tuve el privilegio de compartir el salón de clases tanto en licenciatura como ahora en Maestría, muchas gracias porque cada uno de ustedes me deja una enseñanza para mi crecimiento personal y profesional.

Chavos de licenciatura con quienes durante estos últimos dos años tuve la oportunidad de convivir en clases, salidas a campo, congresos, etc., les agradezco mucho por su amistad.

Al personal de intendencia de nuestra querida FCT, a todos y cada uno de estos con los que tuve la oportunidad de convivir, gracias por ser parte de mi formación y por hacerme sentir como en casa.

Por último pero no menos importante, mi amada novia que ha estado conmigo por casi 8 años, Karen Rodríguez. Qué puede decirte??!! Eres simplemente mi luz. De corazón estoy muy agradecido contigo por estar siempre ahí, con la motivación y las palabras justas para salir adelante. Te amo con todo mi corazón,

# MUCHÍSIMAS GRACIAS A TODOS!!!

CONTENIDO	Página
LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE MICROFOTOGRAFÍAS	vi
LISTA DE TABLAS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO 1 GENERALIDADES	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO	3
1.3 JUSTIFICACIÓN	5
1.4 HIPÓTESIS	6
1.5 OBJETIVOS	6
1.6 METODOLOGÍA	6
1.6.1 Campo	6
1.6.2 Laboratorio	7
1.6.3 Gabinete	7
1.7 TRABAJOS PREVIOS	7
CAPÍTULO 2 GEOLOGÍA REGIONAL	10
2.1 INTRODUCCIÓN	10
2.2 EL NORESTE DE MÉXICO DURANTE EL CRETÁCICO INFERIOR	12
2.2.1 Aptiano medio – tardío (118-112 Ma)	12
2.3 EL NORESTE DE MÉXICO DURANTE EL CRETÁCICO MEDIO	13
2.3.1 Albiano (112-99 Ma)	13
2.3.2 Cenomaniano (99-93 Ma)	14
CAPÍTULO 3 ESTRATIGRAFÍA LOCAL	16
3.1 FORMACIÓN CUPIDO (HAUTERIVIANO MEDIO-APTIANO MEDIO)	17
3.2 FORMACIÓN TAMAULIPAS INFERIOR (HAUTERIVIANO	MEDIO-
APTIANO MEDIO)	18
3.3 FORMACIÓN LA PEÑA (APTIANO MEDIO-TARDÍO)	19
3.4 FORMACIÓN AURORA (ALBIANO)	20

<b>CONTENIDO</b>
------------------

3.5 CENC	FORMACIÓN MANIANO INFERIOI	TAMAULIPAS R)	SUPERIOR	(ALBIANO- 21
3.6 FC	DRMACIÓN CUESTA	DEL CURA (CENOM	ANIANO)	23
CAPÍTU	JLO 4 DESCRIPCIÓN	DEL CONTENIDO FÓ	SIL	24
4.1 RI	UDISTAS			24
4.2 FC	DRAMINÍFEROS			25
4.3 R	ADIOLARIOS			28
4.4 OS	STRÁCODOS			30
CAPÍTU	JLO 5 GENERALIDAD	DES DE MICROFACIE	ËS	32
5.1 CO	ONCEPTO DE MICRO	FACIES		32
5.2 CI	LASIFICACIÓN DE DU	JNHAM (1962)		32
5.3 CI	LASIFICACIÓN DE EN	/BRY & KLOVAN (19	971)	33
5.4 M	ODELO DE DEPOSITA	ACIÓN DE FACIES D	E WILSON (1975)	34
CAPÍTU	JLO 6 ANÁLISIS DE N	<b>IICROFACIES</b>		39
6.1 Al	FLORAMIENTO MON	TEMORELOS		39
6.1.	1 Interpretación			59
6.2 Al	FLORAMIENTO CAÑ	ÓN DE MIRELES, RA	YONES	60
6.2.	1 Interpretación			78
CAPÍTU	JLO 7 CONCLUSIONE	S		79
BIBLIO	GRAFÍA			81
ANEXC	01			87
ANEXC	2			89
ANEXC	3			91

# LISTA DE FIGURAS

### FIGURA

Página

1.1	A) Mapa paleogeográfico global para el Albiano (~105 Ma) mostrando la ubicación actual de México en línea roja (http://jan.ucc.nau.edu/~rcb7/namK100.jpg). B) Mapa paleogeográfico para el Albiano-Cenomaniano resaltando las principales estructuras (Padilla y Sánchez, 2007). BC: Bloque de Coahuila. PA: Plataforma Aurora. PVSLP: Plataforma Valles-San Luis Potosí. PT: Plataforma Tuxpan	2
1.2	Ubicación geográfica de las áreas de estudio (USGS, 2017). Recuadro rojo: Ubicación regional de las áreas de estudio. Rombo amarillo: Afloramiento Montemorelos. Rombo rojo: Afloramiento Cañón de Mireles.	4
2.1	Modelo tectónico para la evolución de la Provincia Pacífica de México al oeste y de la provincia del Golfo de México al este. Esta serie de secciones está orientada oeste-este (derecha a izquierda) a través del norte de México (Goldhammer, 1999; Goldhammer & Johnson, 2001).	11
2.2	Leyenda empleada por diferenciar las distintas litologías presentes en los mapas de reconstrucciones paleogeográficas a mostrar (Goldhammer, 1999; Goldhammer & Johnson, 2001).	12
2.3	Mapa paleogeográfico del Aptiano medio-tardío (~118-112 Ma). LA: Laredo. M: Monterrey. S: Saltillo. Círculo rojo: Área de estudio (Goldhammer, 1999; Goldhammer & Johnson, 2001).	13
2.4	Mapa paleogeográfico del Albiano (112-99 Ma). LA: Laredo. M: Monterrey. S: Saltillo. Círculo rojo: Área de estudio (Goldhammer, 1999; Goldhammer & Johnson, 2001).	14
2.5	Mapa paleogeográfico del Cenomaniano (99-93 Ma). LA: Laredo. M: Monterrey. S: Saltillo. Círculo rojo: Área de estudio (Goldhammer, 1999; Goldhammer & Johnson, 2001).	15
3.1	Parte de la columna estratigráfica generalizada para el noreste de México (Ocampo-Díaz, 2012). El área en verde indica las unidades litológicas que afloran en las zonas de estudio.	16
3.2	Caliza masiva de la Formación Cupido. A) Estratos de aproximadamente 1 m en espesor de color gris claro. B) Fotografía de campo donde se aprecian los rudistas <i>in situ</i> , principal elemento paleontológico.	17

#### LISTA DE FIGURAS

3.3	Caliza estratificada de la Formación Tamaulipas Superior. A) Estratos marcados con espesores de aproximadamente 40-90 cm. B) Abundantes nódulos negros de pedernal.	18
3.4	Aspecto de la litología de la Formación La Peña. A) Caliza arcillosa intercalada con pequeños horizontes de lutitas.	19
3.5	Fotografías de campo de la Formación Aurora en el área de estudio. A) Vista de la superficie exterior de la caliza masiva con un espesor superior a los 2 m. Nótese los nódulos de pedernal de color negro bien definidos dispuestos de manera paralela al plano de estratificación. B) Presencia macrofósil de rudistas, particularmente de requiénidos, como principal contenido faunístico de la Formación Aurora.	21
3.6	Caliza oscura de la Formación Tamaulipas Superior. A) Estratos delimitados con superficies netas de aproximadamente 30-90 cm de espesor. B) Bandas de pedernal en color blanco en la base de la unidad. C) Bandas de pedernal en color negro en la parte media-superior de la columna.	22
3.7	Aspecto de la caliza de la Formación Cuesta del Cura en el área de estudio. A) Pliegue intraformacional de esta unidad. B) Estratos delgados de caliza intercalados con pequeños horizontes de lutita.	23
4.1	Morfología general de la concha completa de los rudistas. 1 - Valva superior, 2 - Valva inferior (Martínez-Chacón & Rivas, 2009).	24
4.2	Distribución de bancos y arrecifes de rudistas (áreas punteadas) durante el Cretácico en el Dominio del Mar de Tethys. Las áreas rodeadas por la línea punteada gruesa corresponden a tierras nunca cubiertas por mares cretácicos (Alencáster-Ybarra, 2003).	25
4.3	Composición microcristalina de las conchas de los foraminíferos. A) Aglutinada. B) Microgranular. C) Aporcelanada. D) Hialina (Jones, 2006).	26
4.4	Crecimiento miliólido de foraminíferos bentónicos. A) Con cinco ejes preferenciales. B) Con tres ejes principales (Molina, 2004).	27
4.5	Cortes de foraminíferos planctónicos trocoespiralados vistos en secciones delgadas. 1) Axial. 2) Dorsal transversal. 3) Transversal, pasando a través de la cámara inicial. 4) Corte transversal (Flügel, 2004).	27
4.6	Formas y secciones de conchas seriadas. 1) Uniseriada y corte axial (a), longitudinal (b), transversal (c). 2-4) Biseriada y corte axial (3) y transversal (4). 5-6) Triseriada y corte transversal (6) (Molina, 2004).	28
4.7	Morfología general de los radiolarios. <b>ERS</b> : Espina Radial Secundaria; <b>P</b> : Poro; <b>CC</b> : Concha Cortical; <b>N</b> : Núcleo; <b>BI</b> : Barra interna; <b>MC</b> :	29

Membrana Capsular; **ERP**: Espina Radial Primaria (http://www.blackwellpublishing.com/paleobiology/figure.asp?chap=09 &fig=Fig9-9&img=c09f009).

- **4.8** Morfotipos de radiolarios. A) Morfología básica de espumeláridos. B) 29 Morfología básica de neseláridos (Scholle & Ulmer-Scholle, 2003).
- **4.9** Concentración de radiolarios en sedimentos marinos superficiales 30 actuales (Kruglikova, 1989).
- **4.10** Morfología general de la concha de un ostrácodo mostrando las 31 características principales (Armstrong & Brasier, 2005).
- **5.1** Secuencia idealizada del modelo de Cinturón de Facies Estándar 35 propuesta por Wilson (1975).

# LISTA DE MICROFOTOGRAFÍAS

#### MICROFOTOGRAFÍA

Página

- Lámina MM-1, *mudstone* pelágico. A) Matriz micrítica de grano fino con menos del 10% en contenido de aloquímicos. B) Obsérvese al centro de la imagen un foraminífero plantónico *Hedbergella* sp. (Brönnimann & Brown, 1958) como único componente bioclástico.
- Lámina MM-2, *mudstone*. A) Lodo de grano fino con menos del 10% en 40 abundancia de organismos. Presencia de microestilolitas como rasgo particular. B) Al centro de esta se aprecia un corte longitudinal de un foraminífero hedbergéllido *Hedbergella planispira* (Tappan, 1940) como componente bioclástico principal.
- 3 Lámina MM-3, *mudstone* pelágico. A) Matriz micrítica de grano fino donde 41 se observan pequeñas conchas de bivalvos en la parte centro-inferior de la imagen. B) Corte transversal de *Hedbergella planispira* (Tappan, 1940), nótese la disposición espiralada con cuatro cámaras globosas. C) Corte longitudinal de *H. planispira* (Tappan, 1940), distinguiéndose dos cámaras pequeñas al centro del organismo en comparación con las dos externas que se presentan de manera involuta a estas.
- 4 Lámina MM-4, *mudstone* de grano fino. A) Corte longitudinal mostrando 42 una disposición trocoespiralada de cinco cámaras globosas típicas del género *Hedbergella* sp. (Brönnimann & Brown, 1958) de las cuales, dos de estas presentan un reemplazamiento parcial por óxido de hierro. B) Corte transversal de *Heterohelix* sp. (Ehrenberg, 1843) que permite observar una disposición biseral de ocho cámaras semi-globosas.
- 5 Lámina MM-5, *mudstone* pelágico. A) Matriz lodosa de grano fino. B-C) 43
  Al centro de las imágenes *Hedbergella* sp.? (Brönnimann & Brown, 1958) con cuatro cámaras globosas.
- 6 Lámina MM-6, *mudstone*. A) Corte longitudinal de la concha asimétrica de
   44 *Hedbergella* sp.? (Brönnimann & Brown, 1958) con aproximadamente

vi

cuatro cámaras visibles. B) Corte longitudinal de *Hedbergella* sp.? (Brönnimann & Brown, 1958) mostrando una sección casi simétrica donde se distinguen cuatro cámaras globosas (dos al centro de menor tamaño y dos ubicadas a los extremos de la misma).

- 7 Lámina MM-7, *mudstone* pelágico. A) *Hedbergella* sp.? (Brönnimann & 44 Brown, 1958) y restos de otros bioclastos de menor tamaño. Nótese dos vetillas de calcita (microestilolitas) una paralela a la otra que cortan al organismo. B) Forma biseriada y sección axial de *Heterohelix* sp. (Ehrenberg, 1843) con 11 cámaras semiglobosas.
- 8 Lámina MM-8, *mudstone*. A-B) Caliza con restos de foraminíferos 45 planctónicos donde se aprecian cámaras globosas típicas de estos organismos.
- 9 Lámina MM-9, *mudstone*. A) Matriz lodosa de grano fino con menos del 46 10% en contenido bioclástico. B) Nótese en la parte centro-superior derecha de la imagen la presencia de pequeños radiolarios característicos para facies profundas.
- 10 Lámina MM-10, *mudstone-wackestone*. A) Muestra con contenido 47 faunístico típico de ambiente profundo (radiolarios, filamentos y ostrácodos). B) Valvas articuladas de un ostrácodo en corte transversal. C-D) Concha trocoespiralada de *Hedbergella* sp. (Brönnimann & Brown, 1958), C) con cinco cámaras y D) con tres cámaras.
- Lámina MM-11, *mudstone*. A) Matriz micrítica de grano fino con escasos
  restos de conchas delgadas de bivalvos. B) Conchas de foraminíferos
  planctónicos. Es frecuente notar el reemplazamiento parcial o total de las
  cámaras por óxido de hierro.
- 12 Lámina MM-12, *mudstone*. A) Matriz de grano fino dominada por escasos
   48 filamentos de bivalvos, siendo estos el único componente aloquímico presente.
- 13 Lámina MM-13, *mudstone*. A) Matriz lodosa de grano fino con escaso 49 contenido aloquímico.

vii

- 14 Lámina MM-14, *mudstone-wackestone*. A) Obsérvese en la parte central de 50 la imagen el corte longitudinal de la concha trocoespiralada de *Hedbergella* sp. (Brönnimann & Brown, 1958) con cámaras globosas. B) Corte transversal de *Hedbergella* sp. (Brönnimann & Brown, 1958) caracterizada por una concha de cinco cámaras globosas, siendo la última de mayor tamaño en comparación con el resto. Alrededor de esta, se aprecian radiolarios como fauna asociada. C) Corte transversal de la concha trocoespiralada de *Hedbergella* sp. (Brönnimann & Brown, 1958) compuesta por seis cámaras globosas.
- 15 Lámina MM-15, *wackestone*. A) Radiolarios espumeláridos incluidos en 51 una matriz micrítica de grano fino. B-C) En el centro de ambas imágenes se observan cortes longitudinales de la concha casi simétrica de *Hedbergella planispira* (Tappan, 1940) caracterizadas por presentar dos cámaras pequeñas en el centro de ambos organismos en comparación con las ubicadas en los extremos de estos. En ambas imágenes, se presentan radiolarios alrededor de dichas especies de foraminíferos.
- Lámina MM-16, *wackestone*. A) Matriz micrítica de grano fino. Nótese en 52 la mayor parte de la imagen la abundancia de pequeños radiolarios. B)
   Concha de *Hedbergella* sp.? (Brönnimann & Brown, 1958) con un claro reemplazamiento parcial de dos de las cámaras por óxido de hierro. El resto de los componentes microfósiles son radiolarios.
- 17 Lámina MM-17, *mudstone-wackestone*. A) Abundantes radiolarios 52 espumeláridos incluidos en una matriz lodosa de grano fino. B) Al centro de la imagen el corte longitudinal de la concha de un ostrácodo con las dos valvas unidas.
- 18 Lámina MM-18, *wackestone*. A-C) Foraminíferos planctónicos 53 hedbergéllidos y como bioclastos asociados con abundantes radiolarios espumeláridos incluidos en una matriz micrítica de grano fino. Se aprecia en las tres imágenes claramente un reemplazamiento por óxido de hierro casi en la totalidad de las cámaras.

viii

- 19 Lámina MM-19, *mudstone-wa*ckestone. A) Obsérvese en la parte centroinferior de la imagen la presencia de radiolarios espumeláridos en una matriz lodosa de grano fino. B) Al centro de la imagen el corte transversal de la concha de *Hedbergella* sp. (Brönnimann & Brown, 1958) caracterizada por cuatro cámaras globosas dispuestas de manera trocoespiralada.
- 20 Lámina MM-20, *wackestone*. A) Imagen que muestra casi en su totalidad 55 la abundancia de pequeños radiolarios sobre una matriz de grano fino. B)
  Corte transversal de la concha de un ostrácodo con las valvas articuladas. Es de distinguir un claro reemplazamiento de su estructura original por óxido de hierro. C-D) Foraminíferos y radiolarios: C) Vista umbilical de *Hedbergella* planispira (Tappan, 1940) donde se aprecian claramente cuatro cámaras globosas. D) Vista umbilical de *Hedbergella* sp. (Brönnimann & Brown, 1958) con cuatro de las cámaras de la última espira. Nótese el gran tamaño de la última cámara en comparación con las anteriores.
- 21 Lámina MM-21, *mudstone-wackestone*. A) Radiolarios dispersos en la 56 totalidad de la imagen en una matriz de grano fino. B) Concha de foraminífero planctónico hedbergéllido con tres cámaras visibles de aspecto globoso.
- 22 Lámina MM-22, *wackestone*. A) Abundantes radiolarios sobre micrita de 56 grano fino. B) Concha de un foraminífero planctónico.
- Lámina MM-23, *wackestone* bioclástico. A) Obsérvese en la totalidad de la imagen una considerable abundancia de radiolarios en una matriz lodosa de grano fino. B) Sección umbilical de *Hedbergella planispira* (Tappa, 1940) compuesta por cinco cámaras globosas. C) Corte longitudinal de *Hedbergella planispira* (Tappan, 1940) distinguiéndose la ornamentación.
- Lámina MM-24, *wackestone*. A) Abundantes radiolarios espumeláridos en 58 micrita de grano fino. B-C) Conchas de foraminíferos planctónicos y radiolarios.

- Lámina CMR-1, *floatstone* bioclástico. A-B) En la mayor parte de las 60 imágenes se observa un fragmento de pelecípodo > a los 2 mm en una matriz lodosa.
- 26 Lámina CMR-2, *mudstone*. A) Matriz lodosa con escaso contenido
   61 bioclástico
- 27 Lámina CMR-3, *mudstone* bioclástico. A) Resto del fragmento de un 61 pelecípodo en una matriz micrítica. Nótese la típica microestrutura de mosaico de un bivalvo.
- 28 Lámina CMR-4, *mudstone*. A) Micrita con pequeños fragmentos de 62 bioclastos. B) Al centro de esta se observa un foraminífero bentónico con crecimiento miliólido. C) Obsérvese en centro de la imagen un foraminífero bentónico textulárido con crecimiento biserial. Se distingue el aspecto aglutinado en cada septo.
- 29 Lámina CMR-5, *mudstone*. A-C) Al centro de las imágenes se distinguen 63 los cortes de conchas de foraminíferos bentónicos con crecimiento miliólido. Nótese una pared porcelanada en los tres casos. D) Corte de un foraminífero textulárido biserial distinguiéndose los septos aglutinados.
- Lámina CMR-6, *mudstone*. A) Micrita de grano fino con menos al 10% de
   64 contenido micropaleontológico.
- 31 Lámina CMR-7, *mudstone-wackestone* bioclástico. A-B) Conchas de 65 foraminíferos bentónicos con un crecimiento miliólido simple. Alrededor de estos se observa material fecal con morfología redonda, elongada de tamaños variables. C-D) Conchas discoidales de foraminíferos bentónicos miliólidos. Nótese la presencia de materia orgánica. En los cuatro casos se distinguen la pared porcelanada de la concha.
- 32 Lámina CMR-8, *mudstone-wackestone*. A-B) En ambas imágenes se 66 presentan cortes de conchas elongadas de foraminíferos bentónicos con crecimiento miliólido de pared porcelanada. A) Presentan fragmentos de bivalvos indeterminados con microcristales en forma de mosaico.
- 33 Lámina CMR-9, *mudstone*. A) En la parte centro-superior de esta se66 observa el fragmento de la concha de un foraminífero bentónico textulárido.

х

B) Obsérvese la presencia de la concha discoidal de un foraminífero bentónico con disposición miliólida. A-B) Se aprecian fragmentos de bivalvos indeterminados < a 2 mm.</p>

- 34 Lámina CMR-10, *mudstone*. A) Concha discoidal porcelanada de un 67 foraminífero bentónico. B) Corte transversal de la concha de un foraminífero bentónico textulárido en el cual se distinguen nueve cámaras con septos aglutinados.
- **35** Lámina CMR-11, *mudstone* pelágico. A) Ocurrencia de microescleras 68 monáxonas alineadas de aproximadamente 5μm de longitud.
- 36 Lámina CMR-12, *mudstone*. A) Matriz micrítica de grano grueso con 68 escaso contenido bioclástico.
- 37 Lámina CMR-13, *wackestone* pelágico. A-B) Abundancia de microescleras
   69 silíceas monáxonas de 5-10 µm de longitud aproximadamente con una orientación preferencial
- 38 Lámina CMR-14, *mudstone*. A) Matriz micrítica de grano grueso con 70 escasa presencia de biogénicos.
- 39 Lámina CMR-15, *wackestone* bioclástico. A) Concentración de conchas de 71 foraminíferos bentónicos con disposición miliólida con pared porcelanada.
  B) Nótese la presencia del fragmento de una concha de un foraminífero bentónico textulárido de la familia Nezzazatidae con septos aglutinados bien marcados. C) Acumulación de conchas de foraminíferos bentónicos textuláridos. D) Presencia de un corte transversal de un foraminífero bentónico textulárido con crecimiento trocoespiralado y septos aglutinados
- 40 Lámina CMR-16, *mudstone*. A) Corte transversal de la concha de un 72 foraminífero bentónico con crecimiento miliólido.
- 41 Lámina CMR-17, *mudstone* bioclástico. A-B) Presencia de conchas 43 discoidales de foraminíferos bentónicos miliólidos. C) Corte transversal de un foraminífero bentónico miliólido simple. A-C) Pared de las conchas porcelanadas. D) Corte longitudinal de la concha de aspecto aglutinado de un foraminífero bentónico textulárido.

- 42 Lámina CMR-18, *floatstone*. A) Fragmento laminar de un molusco 74 pelecípodo superior a los 2 mm. B) Presencia de la concha de un foraminífero bentónico miliólido con fragmentos de bivalvos indeterminados.
- 43 Lámina CMR-19, *floatstone* bioclástico. A-B) Fragmentos de moluscos 74 pelecípodos > 2 mm asociados a rudistas.
- Lámina CMR-20, *floatstone*. A-B) Fragmentos laminares de moluscos 75 pelecípodos > 2 mm asociados a rudistas. A) Se distingue procesos de bioturbación en el fragmento bioclástico.
- 45 Lámina CMR-21, *rudstone* bioclástico. A) Abundancia de fragmentos de 76 pelecípodos que presentan un grado de micritización. B) Corte de una concha semidiscoidal de un foraminífero bentónico miliólido. C) Fragmento laminar de un molusco pelecípodo el cual supera los 2 mm en longitud.
- 46 Lámina CMR-22, *rudstone*. A-B) Presencia de fragmentos de moluscos 77 pelecípodos con un ligero grado de micritización al borde de estos, con un abundancia de material fecal.
- 47 Lámina CMR-23, *rudstone* bioclástico. A) Fragmento laminar de un 77 molusco pelecípodo mayor a 2 mm asociado a rudistas. B) Cortoide sobre un fragmento de bivalvo indeterminado.

# LISTA DE TABLAS

TA	ABLA	Página
1	Clasificación para rocas carbonatadas de Dunham, (1962).	33
2	Clasificación para rocas carbonatadas con granos > 2 mm de Embry & Klovan (1971). Versión extendida a partir de la propuesta por Dunham (1962).	34

#### RESUMEN

#### RESUMEN

Durante el Cretácico el noreste de la República Mexicana estuvo caracterizado por gruesos depósitos carbonatados marinos tanto de facies someras como de facies profundas con abundante contenido paleontológico. Particularmente, los sedimentos registrados en el intervalo Albiano-Cenomaniano en la porción central del estado de Nuevo León están referidos a dos unidades litológicas; la Formación Aurora (facies de plataforma) y la Formación Tamaulipas Superior (facies de cuenca), ambas unidades litológicas están escasamente documentadas en estudios de microfacies sedimentarios. El presente trabajo consistió en caracterizar ambas unidades estratigráficas mediante el estudio petrográfico, microfacial, paleontológico y de ambiente de depósito mediante el análisis de láminas delgadas realizadas a muestras anteriormente recolectadas en campo a cada cambio litológico, lo que permitió una identificación tanto de las características petrográficas como del contenido microfósil. Para esto, se tomaron en consideración dos afloramientos, uno de ellos ubicado sobre la carretera que conduce del municipio de Montemorelos-Rayones, y uno más en el Cañón de Mireles. Los resultados generados en este trabajo van desde caliza mudstone-wackestone pelágica con abundantes foraminíferos planctónicos y radiolarios, hasta *floatstone-rudstone* bioclásticos dominados por rudistas como macrofósil así como por fragmentos de bivalvos y foraminíferos bentónicos a nivel microscópico. Estos resultados serán de gran utilidad para complementar la escasa información que existe sobre los sedimentos correspondientes al Albiano-Cenomaniano en la región del noreste de México, así como para asignar el nombre correcto correspondiente a cada una de las unidades, determinar la edad relativa en base al contenido microfósil y elaborar un paleoambiente sedimentario correspondiente para ambas zonas.

# ABSTRACT

During the Cretaceous the northeast of the Republica Mexicana was characterized by thick marine carbonates deposits of shallow-water facies as well deep-water facies with a rich paleontological abudance. Particularly, the sediments recored in the Albian-Cenomanian interval in the central part of the state of Nuevo Leon are referred to two lithological units: the Aurora Formation (platform facies) and the Tamaulipas Superior Formation (basin facies), both units are barely documented about sedimentary microfacies studies. This work consisted in characterizing this two stratigraphic untis by using petrographic, microfacial, paleontological and deposit environment study with the analysis of thin sections elaborated from samples previously collected in the field at each lithological change, allowing the identification of the petrographic characteristics and the microfossil content. To do this, two outcrops were considered, one of them located over the road leading from Montemorelos to Rayones, and the other one in the Cañon de Mireles in Rayones. The results generated in this work range from *mudstone-wackestone* pelagic limestone with abundance of plancktonic foraminfera and radiolarians to bioclastic mudstone-grainstonelfloatstone-rudstone dominated by rudists as macrofossil as well as fragments of bivalves and benthic foraminifera at microscopic level. These results will be of great help to complement the scarce information that exist about the sediments corresponding to the Albian-Cenomanian in the northeast region of Mexico, as well as to assign the correct formational name to each one of the units, determinate the relative age based on the fossil content and elaborate a sedimentary paleoenvironment for both zones.

# **CAPÍTULO 1 GENERALIDADES**

### 1.1 INTRODUCCIÓN

Regionalmente en el noreste de México se presenta una notable exposición de la serie carbonatada marina del Mesozoico la cual comprende paquetes cuyos espesores varían desde algunas decenas hasta cientos de metros. Particularmente, el intervalo Albiano-Cenomaniano (Cretácico Superior), tiempo en el cual dicha región del país estuvo dominada por extensas plataformas carbonatadas y profundas cuencas marinas (Fig. 1.1), está representado por rocas carbonatadas las cuales afloran en una extensión geográfica muy amplia cubriendo en su mayoría a los estados que se localizan en esta región de la República Mexicana tales como Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas.

Estas rocas se caracterizan por presentar facies que van desde zonas neríticas hasta cuenca con variaciones tanto litológicas como texturales y faunísticas. La zona nerítica está dominada por evaporitas y carbonatos *mudstone* a *grainstone*, con moluscos, braquiópodos, artrópodos, algas, foraminíferos entre otros, la zona de transición se caracteriza por la presencia de carbonatos *wackestone* a *packstone* con organismos que construyen colonias y/o detritos de estos, finalmente en la zona de cuenca, hay carbonatos y arcillas *mudstone* a *wackestone* dominadas por organismos pelágicos y planctónicos.

En la actualidad estos sedimentos se encuentran representados por las calizas típicas de dos unidades estratigráficas: la Formación Aurora de ambiente somero caracterizada a nivel macroscópico por grupos de fósiles invertebrados como los rudistas caprínidos y ostréidos mientras que, a nivel microscópico se presentan foraminíferos bentónicos, todo esto con un espesor promedio de 120 m, y la Formación Tamaulipas Superior de ambiente profundo representada a nivel microscópico por foraminíferos planctónicos, radiolarios y ostrácodos con un espesor aproximado a los 140 m.

El análisis de microfacies, el cual engloba todos los componentes paleontológicos y sedimentológicos que pueden ser descritos y clasificados a partir de secciones delgadas y que conforman las facies carbonatadas (Flügel, 2010), representa una de las herramientas más útiles en la interpretación y reconstrucción de los paleoambientes sedimentarios que predominaron en el pasado geológico y en los cuales las rocas fueron depositadas. De esta

manera, el estudio detallado de las facies carbonatadas en láminas delgadas y con la ayuda de un microscopio petrográfico, produce las bases para realizar interpretaciones de los paleoambientes en cualquier evaluación estratigráfica (Barragán-Manzo *et. al.*, 2004).



**Figura 1.1** - A) Mapa paleogeográfico global para el Albiano (~105 Ma) mostrando la ubicación actual de México en línea roja (http://jan.ucc.nau.edu/~rcb7/namK100.jpg). B) Mapa paleogeográfico para el Albiano-Cenomaniano resaltando las principales estructuras (Padilla y Sánchez, 2007). BC: Bloque de Coahuila. PA: Plataforma Aurora. **PVSLP**: Plataforma Valles-San Luis Potosí. **PT**: Plataforma Tuxpan.

En el presente trabajo determinaron las condiciones ambientales que permitieron el depósito de los sedimentos tanto de la Formación Aurora como la Formación Tamaulipas en base a un análisis microfacial, así como identificar la fauna presente en ambas unidades litológicas.

# 1.2 LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

Las áreas de estudio propuestas para el presente trabajo se ubican regionalmente en el noreste de México, dentro de la unidad fisiográfica de la Sierra Madre Oriental (SMOr) en la parte central del estado de Nuevo León. Una de ellas se localiza en la carretera que conduce del municipio de Montemorelos hacia el de Rayones, aproximadamente en el km 24, mientras que la segunda de ellas se encuentra al noreste de la cabecera municipal de Rayones, particularmente en el Cañón de Mireles (Fig. 1.2).

Para acceder a las zonas de estudio se toma la carretera Federal No. 58 Linares-Monterrey hasta llegar al entronque que conduce hacia el municipio de Rayones, Nuevo León. Se avanza aproximadamente 24 km para llegar a la primera localidad, mientras que, para adentrarse a la segunda de ellas se sigue por la misma carretera hacia Rayones hasta llegar a la cabecera municipal de dicha localidad. Se dirige alrededor de dos kilómetros en dirección hacia el noreste cruzando el río Casillas



**Figura 1.2** - Ubicación geográfica de las áreas de estudio (USGS, 2017). Recuadro rojo: Ubicación regional de las áreas de estudio. Rombo amarillo: Afloramiento Montemorelos. Rombo rojo: Afloramiento Cañón de Mireles.

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

Para la serie de rocas carbonatadas que abarcan el intervalo Albiano-Cenomaniano en el noreste de México, se han definido dos unidades litológicas con el nombre de Formación Aurora y Formación Tamaulipas Superior, las cuales presentan una gran incertidumbre en cuanto a distribución geográfica se refiere.

A pesar de estar bien documentadas las características litológicas de ambas Formaciones y que son similares, existen diferencias paleontológicas muy marcadas para ambas unidades estratigráficas. Mientras que para las rocas de la Formación Aurora se presentan asociaciones paleontológicas típicas de ambiente somero tales como rudistas, foraminíferos bentónicos y fragmentos de algas principalmente, estas asociaciones cambian a ambiente profundo siendo más abundantes los foraminíferos planctónicos, radiolarios filamentos de moluscos, calciesferas y ostrácodos las cuales caracterizan a las rocas de la Formación Tamaulipas Superior.

A pesar de que se tiene conocimiento acerca de las diferentes asociaciones faunísticas presentes en estas dos Formaciones, los trabajos que se han desarrollado en dicha región de México, y que están presentes en la literatura, se han centralizado principalmente en aspectos estratigráficos, sedimentológicos, estructurales e hidrológicos, generando de esta manera una errada asignación formal del nombre correspondiente a las unidades, lo que genera que dicha información deba ser revisada y actualizada empleando la herramienta del análisis de microfacies.

El motivo principal para llevar a cabo este trabajo es la falta de información paleontológica y microfacial tanto en las áreas de estudio como en zonas circundantes a estas, lo que provoca incertidumbre al momento de asignar un nombre formacional.

Las diversas asociaciones paleontológicas antes mencionadas ayudarían a establecer uno de los primeros modelos paleoambientales de depósito de las rocas correspondientes al Albiano-Cenomaniano para la parte central del estado de Nuevo León.

#### 1.4 HIPÓTESIS

Las unidades estratigráficas del Albiano-Cenomaniano que están representadas por caliza y nódulos de pedernal en ambas zonas de estudio, son atribuidas a la Formación Aurora (facies "arrecifales") y a la Formación Tamaulipas Superior (facies "profundas") las cuales afloran en gran parte del noreste de México. La información que proporcionen los estudios microfaciales y paleontológicos permitirán inferir el ambiente de depósito, la paleobatimetría y los organismos que proporcionen la edad relativa y por ende, la correcta asignación de las facies.

#### **1.5 OBJETIVOS**

Para poder llegar al objetivo general que se ha planteado para este trabajo el cual es caracterizar las unidades de rocas carbonatadas correspondientes al Albiano-Cenomaniano de la parte central de Nuevo León, se han establecido los siguientes objetivos particulares:

- a) Determinar las características litológicas de las unidades en discusión.
- b) Precisar las propiedades microfaciales que presentan las rocas.
- c) Identificar las asociaciones paleontológicas.
- d) Determinar la edad de las Formaciones basada en los microfósiles presentes.
- e) Interpretar el paleoambiente de depósito.

### 1.6 METODOLOGÍA

Para el cumplimiento de los objetivos establecidos en este trabajo, la metodología fue dividida en tres diferentes etapas:

- 1.6.1 Campo
  - a) Primeramente, reconocimiento de manera general de las áreas en interés
  - b) Se obtuvieron la mayor cantidad de datos de campo posibles que sirvan para realizar una caracterización de las unidades (litología, espesor de los estratos, texturas de las rocas, contenido fósil, etc.).
  - c) Se recolectaron muestras a cada cambio litológico.

 d) Estas se marcaron con clave para una fácil identificación y orientarlas con respecto al techo formacional.

#### 1.6.2 Laboratorio

- a) Se elaboraron láminas delgadas en el Laboratorio de Preparación de la FCT, UANL de las muestras recolectadas en campo.
- b) Se realizó el análisis microfacial de las láminas basado apoyado en las clasificaciones de rocas carbonatadas de Dunham (1962) y Embry & Klovan (1971).
- c) Se estudió el contenido paleontológico, en el que se reconocieron los principales grupos.
- d) Se identificaron fósiles guía que permitieron datar los sedimentos de las unidades.

#### 1.6.3 Gabinete

- a) Elaboración de las columnas estratigráficas de las áreas de estudio.
- b) Generación del modelo paleoambiental de las rocas carbonatadas del Albiano-Cenomaniano.
- c) Redacción de tesis.

#### **1.7 TRABAJOS PREVIOS**

En cuanto a la elaboración de trabajos sobre microfacies y paleontología para las Formaciones Aurora y Tamaulipas Superior tanto en las áreas de estudio como en áreas para el noreste de México, son sumamente escasos o nulos.

Los trabajos que se han realizado en estas unidades están enfocados principalmente a aspectos estratigráficos, sedimentológicos, hidrológicos, etc., y solo de manera indirecta, es decir, que las engloban junto con otras.

Entre los trabajos que sobresalen están los siguientes:

Smith (1970) realiza un estudio estratigráfico de las formaciones presentes en la Serranía del Burro y la parte sur de la Sierra del Carmen, al norte del estado de Coahuila donde menciona la presencia de la Formación Aurora como calizas de estratificación gruesa con presencia de globigerineloides (?).

Tardy (1972) estudia la estratigrafía de la SMor en el sector de Parras, Coahuila para hacer distinción de las series Coahuilense y Parrense donde reporta que las calizas de la Formación Aurora son subarrecifales con presencia de fragmentos de rudistas.

Longoria (1975) revisa la serie Comancheana del noreste de México dividiendo a la Caliza Tamaulipas en tres miembros: *Miembro Caliza La Borrega* para el miembro inferior (Tamaulipas Inferior), *Miembro Caliza Otates* para la parte media (Horizonte Otates), y *Miembro Caliza Nacimiento* para la parte superior (Tamaulipas Superior), representada esta última como calizas con estratificación de mediana a masiva con nódulos de pedernal en color gris claro a crema, destacando la presencia de foraminíferos planctónicos, fragmentos de ostrácodos, radiolarios y calciesferúlidos principalmente.

Arenas-Partida *et al.* (1986) llevan a cabo un estudio tectónico-sedimentario en Chihuahua y Durango, donde hacen mención de que las calizas del Albiano pertenecen a un desarrollo de bancos arrecifales de rudistas en asociación con braquiópodos, corales, chondrodontas y equinodermos, depositados en una plataforma somera.

López-Doncel (1991) en su tesis de licenciatura realiza el mapeo geológico al norte del municipio de Galeana e incluye un estudio facial involucrando a las Formaciones Aurora, Cuesta del Cura y Agua Nueva para comparar dos perfiles estratigráficos realizados entre Galeana e Iturbide, señalando que las calizas de capas medias a gruesas de micrítas y biomicrítas de color gris claro a medio con pequeños nódulos de pedernal de la Formación Aurora con foraminíferos planctónicos (*Hedbergella*) como componente bioclástico principal son de ambiente de aguas tranquilas con alta profundidad.

De León-Gómez *et al.* (1998) elaboran un estudio hidrogeológico en el Cañón de la Huasteca para el abastecimiento de agua potable para Monterrey determinando que el acuífero presente en las calizas de la Formación Aurora se genera debido a procesos de karstificación y de grietas, pero su relevancia no es tan importante debido a su espesor.

Longoria *et al.* (1999) generan nueva información estratigráfica y estructural del Cañón La Casita de la Sierra de Parras, donde dividen a las calizas de la Formación Aurora en parte superior (*mudstone-wackestone*) y parte inferior (*mudstone-wackestone-packstone-* *floatstone-rudstone*) las cuales contienen abundantes fragmentos de rudistas, miliólidos y equinodermos correspondientes a un ambiente lagunar sobre una rampa intermedia baja.

Barboza-Gudiño *et al.* (2004) realizan aportaciones para interpretar estratigráfica y estructuralmente la porción noroccidental de la Sierra de Catorce en San Luis Potosí donde mencionan que las calizas de la Formación Tamaulipas Superior se presentan en tonalidad gris intermedio con nódulos y bandas de pedernal y una estratificación de mediana a gruesa de tipo *muudstone* a *wackestone* con abundantes calciesferas, foraminíferos planctónicos y pequeños amonites.

Ángeles-Villeda *et al.* (2005) trabajan en aspectos de estratigrafía y microfacies en la parte sur del Cañón La Boca en Santiago, Nuevo León indicando la presencia de calizas de la unidad Tamaulipas Superior en estratos de 10 cm a más de 1 m, con texturas de tipo *wackestone* con foraminíferos planctónicos, radiolarios, fragmentos de moluscos y de equinodermos, y calciesferúlidos como principales componentes biógenos.

Núñez-Useche & Barragán (2012) llevan a cabo un análisis microfacial del intervalo Barremiano-Albiano en la Sierra del Rosario al este de Durango teniendo como resultado que las calizas la Formación Tamaulipas Superior, las cuales se presenten en color gris de estratificación de mediana a masiva y con nódulos y lentes de pedernal, son de tipo *mudstonewackestone-packstone* con contenido micropaleontológico dominado por foraminíferos planctónicos, radiolarios, calciesferas y crinoides pelágicos.

# CAPÍTULO 2 GEOLOGÍA REGIONAL

## 2.1 INTRODUCCIÓN

La evolución tectónica-sedimentaria en la región del NE de México ha estado muy estrechamente ligada a la apertura del Golfo de México (GdM), iniciando en el Triásico tardío cuando la placa de Norteamérica se separó de las placas Sudamericana y Africana, dando origen a altos y bajos estructurales (Fig. 2.1). Los cambios eustáticos que se han desarrollado a partir de la formación del GdM en dicha región de México se han manifestado como etapas periódicas de eventos tanto de transgresiones como de regresiones. Estos procesos han dado paso a la depositación de secuencias sedimentarias compuestas principalmente por rocas siliciclásticas de ambientes costeros, depósitos de tipo evaporíticos (sabkha), y depósitos de carbonatos de ambientes de plataforma somera, de ambientes donde se desarrollan complejos arrecifales y de ambientes con profundidades considerables. Tales secuencias fueron depositadas de manera progresiva desde el Jurásico medio hasta el Cretácico superior, tiempo en el cual se genera la detonación de la Orogenia Laramide, evento que dio origen al cinturón plegado y cabalgado de la SMOr y que cambió totalmente el régimen de depósitos para esta zona incrementando el aporte de sedimentos clásticos siendo depositados en las cuencas de tipo antepaís originadas debido a dicho evento deformacional (Padilla y Sánchez, 1986; Goldhammer, 1999; Goldhammer & Johnson, 2001; González-Sánchez et al., 2007; Padilla y Sánchez, 2007).



**Figura 2.1** - Modelo tectónico para la evolución de la Provincia Pacífica de México al oeste y de la provincia del Golfo de México al este. Esta serie de secciones está orientada oeste-este (derecha a izquierda) a través del norte de México (Goldhammer, 1999; Goldhammer & Johnson, 2001).

### 2.2 EL NORESTE DE MÉXICO DURANTE EL CRETÁCICO INFERIOR

#### 2.2.1 Aptiano medio – tardío (118-112 Ma)

En este periodo de tiempo, ocurre un cambio en la velocidad de subsidencia de la cuenca provocando que la mayor parte de la provincia del GdM desde Texas hasta Tampico experimentara una fase de ahogamiento producto de una transgresión marina de segundo orden. Este evento ahoga al antiguo sistema carbonatado Sligo-Cupido-Guaxcama, depositando por encima de este un paquete de rocas arcillosas de ambiente profundo y de rocas siliciclásticas terrígenas de grano fino derivadas de altos estructurales distales al norte y occidente de dicha provincia (Fig. 2.3). El Bloque de Coahuila fue inundado casi en su totalidad y las porciones más someras y otras levemente sumergidas sirvieron como sitios para la depositación de carbonatos restringidos. Los sedimentos característicos de este tiempo para la región del NE de México están representados por aquellos pertenecientes a la Formación La Peña, la cual consiste en su mayoría por estratos de rocas arcillosas intercalados con capas delgadas de carbonatos (Padilla y Sánchez, 1981; Goldhammer, 1999, Goldhammer & Johnson, 2001, Padilla y Sánchez, 2007).



**Figura 2.2** - Leyenda empleada para diferenciar las distintas litologías presentes en los mapas de reconstrucciones paleogeográficas a mostrar (Goldhammer, 1999; Goldhammer & Johnson, 2001).



**Figura 2.3** - Mapa paleogeográfico del Aptiano medio-tardío (~118-112 Ma). LA: Laredo. M: Monterrey. S: Saltillo. Círculo rojo: Área de estudio (Goldhammer, 1999; Goldhammer & Johnson, 2001).

### 2.3 EL NORESTE DE MÉXICO DURANTE EL CRETÁCICO MEDIO

#### 2.3.1 Albiano (112-99 Ma)

Para este intervalo de tiempo, la Formación Aurora demarca la segunda fase principal de desarrollo de una plataforma carbonatada durante el Cretácico la cual permite el origen de bancos arrecifales dominados por moluscos (rudistas principalmente) y, a diferencia de la plataforma Valles-San Luis Potosí (PVSLP) la cual se origina en los márgenes de relieves altos, los sedimentos característicos de esta unidad se depositan sobre una rampa carbonatada de bajo ángulo con un buzamiento suave bordeando al Bloque de Coahuila al sur de la Cuenca de Sabinas (Fig. 2.4). Dichas estructuras que estuvieron controladas por la presencia de rudistas, marcan el límite de la rampa carbonatada, habiéndose depositado con anterioridad alrededor de 500-700 m de carbonatos marinos normales. En contraste a esta unidad, las
## CAPÍTULO 2

rocas de la Formación Tamaulipas Superior correspondientes a facies profundas, están representadas por *mudstone-wackestone* pelágicos de estratificación delgada a gruesa con pedernal depositados en ambientes anaeróbicos fuera de la rampa. En el NE de México, ambas unidades litológicas se encuentran sobreyaciendo de manera concordante a la Formación La Peña, y subyacen de igual manera (al menos Tamaulipas Superior) a la Formación Cuesta del Cura (Goldhammer, 1999; Goldhammer & Johnson, 2001).



**Figura 2.4** - Mapa paleogeográfico del Albiano (112-99 Ma). LA: Laredo. M: Monterrey. S: Saltillo. Círculo rojo: Área de estudio (Goldhammer, 1999; Goldhammer & Johnson, 2001).

#### 2.3.2 Cenomaniano (99-93 Ma)

Durante este tiempo, la región del GdM experimentó una inundación debido a un evento eustático de primero y segundo orden, el cual logró conectar a dicha región del México con el Canal Cretácico del Interior Oeste (Western Interior Cretaceous Seaway) de los Estados

# CAPÍTULO 2

Unidos. Calizas de tipo *mudstone* de ambientes marinos profundos y rocas arcillosas empiezan a cubrir gran parte del territorio mexicano, estando representadas por la Formación Indidura en el centro de México y la Formación Cuesta del Cura al norte, sur, este y parte del oeste, ambas del Albiano más tardío al Cenomaniano (Fig. 2.5). Esta última aprovecha los frentes de las plataformas elevadas de aguas someras dominadas por arrecifes del Cretácico medio para su acumulación. En los extremos del norte de la fosa de Chihuahua persisten escasos vestigios de los carbonatos de ambientes marinos someros de la plataforma subyaciente de Aurora (Goldhammer, 1999; Goldhammer & Johnson, 2001).



**Figura 2.5** - Mapa paleogeográfico del Cenomaniano (99-93 Ma). **LA**: Laredo. **M**: Monterrey. **S**: Saltillo. Círculo rojo: Área de estudio (Goldhammer, 1999; Goldhammer & Johnson, 2001).

# CAPÍTULO 3 ESTRATIGRAFÍA LOCAL

Las litologías que se presentan en las zonas de estudio están dominadas principalmente por sedimentos calcáreos tanto pelágicos como de ambiente somero y, en menor proporción, por sedimentos arcillosos de ambiente marino profundo. Los sedimentos del Cretácico Inferior se encuentran representados por las Formaciones Cupido/Tamaulipas Inferior de facies someras y profundas respectivamente, así como la Formación La Peña. En tanto que, las unidades litológicas que se incluyen para el Cretácico Superior son las Formaciones Aurora/Tamaulipas Superior que de igual manera son de facies someras y profundas, junto con la Formación Cuesta del Cura (Fig. 3.1). A continuación, se hará una breve descripción de las unidades litológicas antes mencionadas.



**Figura 3.1** - Parte de la columna estratigráfica generalizada para el noreste de México (Ocampo-Díaz, 2012). El área en verde indica las unidades litológicas que afloran en las zonas de estudio.

# 3.1 FORMACIÓN CUPIDO (HAUTERIVIANO MEDIO-APTIANO MEDIO)

Descrita inicialmente por Imlay (1937), esta unidad está representada en su totalidad por caliza de color gris claro con estratificación de capas medias a gruesas (Fig. 3.2A) con abundante contenido paleontológico dominado por rudistas, gasterópodos, algas calcáreas, pequeños corales, foraminíferos bentónicos y fragmentos de bivalvos indeterminados (Fig. 3.2B). En algunas zonas esta unidad se caracteriza por abundantes nódulos de pedernal los cuales van en aumento hacia las capas superiores de la misma. En estas rocas es posible determinar tres diferentes facies de depositación: 1) facie lagunar, 2) facie arrecifal y 3) facie pre-arrecifal. Su localidad tipo se ubica en la pared norte del Cañón del Mimbre en la parte media de la Sierra de Parras, en el estado de Coahuila. Esta unidad estratigráfica se registra con una amplia distribución geográfica en la parte noreste de México abarcando los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas (en SGM, 2006).



**Figura 3.2** – Caliza masiva de la Formación Cupido. A) Estratos de aproximadamente 1 m en espesor de color gris claro. B) Fotografía de campo donde se aprecian los rudistas *in situ*, principal elemento paleontológico.

# 3.2 FORMACIÓN TAMAULIPAS INFERIOR (HAUTERIVIANO MEDIO-APTIANO MEDIO)

Esta unidad litológica, la cual fue primeramente definida por Stephenson (1922), presenta calizas pelágicas de color gris compactas de grano fino de estratificación media a gruesa con un número considerable de lentes y nódulos de pedernal de formas y tamaños irregulares variando en color desde negro hasta blanco (Fig. 3.3A-B). Su contenido paleontológico está definido principalmente por foraminíferos planctónicos, calpionélidos y pelecípodos. Su localidad tipo no está totalmente establecida, siendo Belt (1925) quien reporta a esta Formación en zonas dentro de la Sierra de Tamaulipas al E-SE de Ciudad Victoria, Tamaulipas. Dicha unidad se presenta con una amplia distribución geográfica, abarcando los estados de Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila, Veracruz y parte de San Luis Potosí (en SGM, 2006).



**Figura 3.3** – Caliza estratificada de la Formación Tamaulipas Superior. A) Estratos marcados con espesores de aproximadamente 40-90 cm. B) Abundantes nódulos negros de pedernal.

# 3.3 FORMACIÓN LA PEÑA (APTIANO MEDIO-TARDÍO)

Indicada por vez primera por Imlay (1936), esta Formación está caracterizada por la presencia de calizas arcillosas de color gris claro-oscuro de estratificación mediana intercaladas con horizontes delgados de lutitas (Fig. 3.4A). En cuanto a contenido paleontológico se refiere, esta unidad es fosilíferamente rica tanto en macro como en microfauna, representada por amonites, foraminíferos planctónicos, además de calciesferas y ostrácodos. Presenta un alto grado de intemperismo, lo que le permite un puerto erosivo entre las formaciones litológicas que le subyace y sobreyace. Su localidad tipo está señalada en el flanco occidental de la Sierra de Parras, Coahuila en la parte norte del Cañón del Mimbre en la Sierra de Taraises cerca de la Hacienda de La Peña. La Formación La Peña se encuentra ampliamente distribuida en gran parte de la porción norte-noreste de México, cubriendo tanto la provincia de la SMOr y la Cuenca de Tamaulipas y extendiéndose hacia la por porción centro-noroccidental de la Mesa Central de México (en SGM, 2008).



**Figura 3.4** – Aspecto de la litología de la Formación La Peña. A) Caliza arcillosa intercalada con pequeños horizontes de lutitas.

# 3.4 FORMACIÓN AURORA (ALBIANO)

Esta Formación que fue definida en principio por Burrows (1910), se caracteriza por su ser una secuencia dominada en su totalidad por rocas carbonatadas de color gris claro y de estratificación gruesa a masiva con abundantes nódulos y bandas de pedernal (Fig 3.5A). Su abundancia paleontológica es considerable, siendo los rudistas el elemento principal en conjunto con miliólidos y fragmentos de bivalvos como microfauna (Fig. 3.5B). Para esta unidad no se cuenta con una localidad tipo definida sin embargo, su nombre es derivado a las cercanías de la Mina Aurora en la Sierra del Cuchillo parado en el estado de Chihuahua. Se presentan con una distribución geográfica amplia en la región norte y noreste de México, abarcando los estados de Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila y partes de Chihuahua y Zacatecas (en SGM, 2004).

Para el área de Rayones en el Cañón de Mireles, la Formación Aurora comparte las características antes mencionadas definidas en literatura de tal manera se presenta como caliza *mudstone-grainstonelfloatstone-rudstone* de grano medio-grueso en coloración grisácea y estratos masivos de aproximadamente 2 m en espesor con nódulos negros de pedernal.

El contenido paleontológico que se distingue a nivel macroscópico está representado por rudistas requiénidos que, en la base de la secuencia, se presentan de manera esporádica, siendo más abudantes en la parte media-superior de la unidad, así como ostréidos y escasas algas calcáreas, mientras que a nivel microscópico se tiene la presencia de foraminíferos bentónicos textuláridos y miliólidos. El espesor de esta secuencia es de aproximadamente 160 m.



**Figura 3.5** – Fotografías de campo de la Formación Aurora en el área de estudio. A) Vista de la superficie exterior de la caliza masiva con un espesor superior a los 2 m. Nótese los nódulos de pedernal de color negro bien definidos dispuestos de manera paralela al plano de estratificación. B) Presencia macrofósil de rudistas, particularmente de requiénidos, como principal contenido faunístico de la Formación Aurora.

# 3.5 FORMACIÓN TAMAULIPAS SUPERIOR (ALBIANO-CENOMANIANO INFERIOR)

La Formación Tamaulipas Superior, trabajada inicialmente por Stephenson (1922), se presenta en caliza compacta de color gris de grano fino con una estratificación bien marcada de mediana a gruesa (Fig. 3.6A) y con un alto contenido de nódulos y lentes de pedernal, variando en su tonalidad desde negro a blanco y de forma y tamaño irregular (Fig. 3.6B-C). El contenido paleontológico presente en esta unidad está definido por la presencia de organismos característicos de ambientes pelágicos, principalmente por foraminíferos planctónicos, radiolarios, ostrácodos, calciesferas y filamentos de bivalvos. En principio su localidad tipo no fue definida hasta 1936 con trabajos llevados a cabo por Muir el cual menciona al Cañón de la Borrega al sureste de Ciudad Victoria, Tamaulipas como la localidad tipo correspondiente. La distribución geográfica que presenta la Formación Tamaulipas Superior dentro del territorio mexicano es muy amplia, abarcando los estados San Luis Potosí, Hidalgo, Tamaulipas, Puebla, Veracruz y Nuevo León (en SGM. 2013).

# CAPÍTULO 3

La Formación Tamaulipas Superior, en el área de estudio en Montemorelos, corresponde a caliza *mudstone-wackestone* de grano fino en color gris oscuro con estratos bien marcados los cuales presentan un espesor de aproximadamente 30-90 cm y con nódulos y bandas de pedernal en coloración negro y blanco.

A nivel macroscópico, existe una ausencia en cuanto al contenido paleontológico. Por otra parte, a nivel microscópico la comunidad faunística presente en esta unidad está dominada principalmente por foraminíferos planctónicos hedbergéllidos así como radiolarios, filamentos de moluscos y ostrácodos.



**Figura 3.6** – Caliza oscura de la Formación Tamaulipas Superior. A) Estratos delimitados con superficies netas de aproximadamente 30-90 cm de espesor. B) Bandas de pedernal en color blanco en la base de la unidad. C) Bandas de pedernal en color negro en la parte media-superior de la columna.

# 3.6 FORMACIÓN CUESTA DEL CURA (CENOMANIANO)

En las áreas de estudio la Formación Cuesta del Cura, la cual fue descrita por Imlay (1936) se compone principalmente por capas de caliza compacta de color gris oscuro intercaladas con horizontes delgados de lutita gris y con numerosos lentes y bandas de pedernal (Fig 3.7B). Ocasionalmente la caliza se encuentra finamente laminada con bandas grises y negras de material arcilloso. El contenido paleontológico está caracterizado por la presencia de fauna pelágica tal como foraminíferos planctónicos y calciesferas principalmente y, en ocasiones amonites.

De acuerdo al SGM (2006) esta Formación tiene una distribución geográfica que abarca el sector transverso de la SMOr y en la cuenca de la Mesa Central. La característica principal de esta unidad es su estratificación de tipo *boudinage* u ondular la cual se presenta en todo el espesor de la misma (Fig. 3.7A).



**Figura 3.7** – Aspecto de la caliza de la Formación Cuesta del Cura en el área de estudio. A) Pliegue intraformacional de esta unidad. B) Estratos delgados de caliza intercalados con pequeños horizontes de lutita.

# CAPÍTULO 4 DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO FÓSIL

## 4.1 RUDISTAS

Los rudistas (moluscos) constituyen un grupo de organismos marinos sésiles extintos los cuales tuvieron una existencia relativamente corta de aproximadamente 80 Ma en el Mesozoico, iniciando su aparición a partir del Jurásico Tardío y desapareciendo en el Cretácico Tardío (Cestari & Sartorio, 1995; Martínez-Chacón & Rivas, 2009). Dichos organismos estaban compuestos por dos valvas desiguales en formas y tamaños: una valva inferior de una forma más o menos cónica y de mayor tamaño en comparación con la valva superior de aspecto plano (Fig. 4.1).



**Figura 4.1** - Morfología general de la concha completa de los rudistas. 1 - Valva superior, 2 - Valva inferior (Martínez-Chacón & Rivas, 2009).

Los rudistas caracterizaron de manera importante las aguas someras no mayores a los 200 m de profundidad y cálidas de aproximadamente 20-25°C dentro de las plataformas carbonatadas del Mesozoico, cubriendo zonas muy extensas en los dominios del Mar de Tehys en lo que actualmente se presentan las regiones tropicales-subtropicales (Fig. 4.2).



**Figura 4.2** - Distribución de bancos y arrecifes de rudistas (áreas punteadas) durante el Cretácico en el Dominio del Mar de Tethys. Las áreas rodeadas por la línea punteada gruesa corresponden a tierras nunca cubiertas por mares cretácicos (Alencáster-Ybarra, 2003).

La fauna asociada a este grupo de fósiles está definida principalmente por algas, foraminíferos bentónicos, corales, gasterópodos, pelecípodos, briozoarios y esponjas.

# 4.2 FORAMINÍFEROS

Los foraminíferos son pequeños protistas heterotróficos predominantemente marinos los cuales son capaces de construir una concha con cámaras de diferentes composiciones químicas, tamaños, aspectos y disposiciones. La mayoría de estos organismos llegan a desarrollar una estructura que alcanza un espesor que varía desde 0.1-1 mm. (Flügel, 2004). Los dos grupos principales de foraminíferos están definidos por su forma de vida, mientras que los bentónicos se caracterizan por vivir principalmente sobre o dentro del sedimento en el fondo marino, siendo más comunes en zonas con profundidades no mayores a los 100 m en zonas de una plataforma interna, los planctónicos viven en la columna de agua a profundidades entre los 100-200 m en zonas fóticas los cuales aprovechan el movimiento del oleaje para su desplazamiento. (Flügel, 2004).

Según Molina (2004) las principales composiciones y texturas de las conchas de los foraminíferos son los siguientes:

-Aglutinada: Constituidas por un conjunto de partículas exógenas que se adhiere al organismo por un cemento secretado por el mismo (Fig 4.3A).

-Microgranular: Concha compuesta por una yuxtaposición de granos subesféricos de dimensiones bastantes homogéneas, menores a los 5  $\mu$ m (Fig. 4.3B).

-Aporcelanada: Dominadas por cristales pequeños muy pequeños de calcita  $(0.1-2 \ \mu m)$  los cuales no presentan una dirección preferente de crecimiento. Normalmente estas conchas se aprecian imperforadas (Fig. 4.3C).

-Hialina: De aspecto transparente y vítreo si la pared es fina, o blanca traslúcida cuando el espesor de la concha es mayor (Fig. 4.3D).



**Figura 4.3** - Composición microcristalina de las conchas de los foraminíferos. A) Aglutinada. B) Microgranular. C) Aporcelanada. D) Hialina (Jones, 2006).

Para las formas de vida bentónicas, el crecimiento y la disposición de las cámaras más frecuentes son las miliólidas en donde estas se enrolla en forma de espiral situándose en posiciones establecidas por un determinado número de ejes (Molina, 2004) (Fig. 4.4).



**Figura 4.4** - Crecimiento miliólido de foraminíferos bentónicos. A) Con cinco ejes preferenciales. B) Con tres ejes principales (Molina, 2004).

Por otra parte, estos patrones de crecimiento y disposición de cámaras para las vidas planctónicas son diferentes, siendo más comunes las formas trocoespiraladas de cúspide baja, media o alta en las cuales las cámaras se enrollan oblicuamente al eje principal crecimiento y en las que pueden ser distinguidas tres lados diferentes: lado dorsal (todas las cámaras son visibles), lado umbilical (solo se aprecia la última vuelta) y lado axial (Fig. 4.5).



**Figura 4.5** - Cortes de foraminíferos planctónicos trocoespiralados vistos en secciones delgadas. 1) Axial. 2) Dorsal transversal. 3) Transversal, pasando a través de la cámara inicial. 4) Corte transversal (Flügel, 2004).

Otra forma de crecimiento que ocurre con menor frecuencia, tanto en los bentónicos como en los planctónicos, es la forma seriada en donde las cámaras del organismo se sitúan en una, dos o tres serie, ya sea en línea recta o curva (Fig. 4.6).



**Figura 4.6** - Formas y secciones de conchas seriadas. 1) Uniseriada y corte axial (a), longitudinal (b), transversal (c). 2-4) Biseriada y corte axial (3) y transversal (4). 5-6) Triseriada y corte transversal (6) (Molina, 2004).

El estudio a detalle de los foraminíferos, cuando se emplea el análisis de microfacies, es de vital importancia ya que estos son excelentes marcadores de biozonas tanto en carbonatos de ambiente profundo como para los de ambiente somero, siendo organismos que indican ambientes de depósito para de esta manera recrear sistemas deposicionales antiguos (Flügel, 2004).

#### **4.3 RADIOLARIOS**

Los radiolarios son protozoos planctónicos marinos caracterizados por un esqueleto silícico radial con perforaciones el cual presenta varios elementos arquitectónicos (espículas radiales, barras internas, espinas externas, etc.) que ayudan a la formación de pequeñas celdas regulares y simétricas (Fig. 4.7). La concha tiene un tamaño que usualmente se presenta en menos de 2 mm y más comúnmente entre 100-250 µm (Flügel, 2004; Molina, 2004)

De acuerdo a la simetría de la morfología en la que estos organismos se pueden presentar, se distinguen dos grupos principales de radiolarios: espumerláridos los cuales presentan conchas esféricas básicas (Fig. 4.8A), y neseláridos de forma cónica (Fig. 4.8B).

Los radiolarios modernos se encuentran ampliamente distribuidos en los océanos los cuales forman parte importante del zooplancton de estos. La mayor concentración de estos organismos ocurre en la zona de superficie fótica entre los 25-50 m de profundidad y entorno a los 200-300 m, particularmente en ambientes tropicales y subtropicales (Flügel, 2004, Molina, 2004) (Fig. 4.9). Aunque el número de especies empieza a decrecer drásticamente por debajo de los 300 m, se ha reportado la presencia de algunos neseláridos a profundidades aproximadas a los 4000 m. La homogeneidad y heterogeneidad en el conjunto de radiolarios

tanto de manera paralela como perpendicular a las latitudes respectivamente, indican que la temperatura así como las diferencias físicas, químicas y biológicas del agua juegan un papel importante en la concentración de estos organismos (Flügel, 2004).



**Figura 4.7** - Morfología general de los radiolarios. **ERS**: Espina Radial Secundaria; **P**: Poro; **CC**: Concha Cortical; **N**: Núcleo; **BI**: Barra interna; **MC**: Membrana Capsular; **ERP**: Espina Radial Primaria (http://www.blackwellpublishing.com/paleobiology/figure.asp?chap=09&fig=Fig9-9&img=c09f009).



**Figura 4.8** - Morfotipos de radiolarios. A) Morfología básica de espumeláridos. B) Morfología básica de neseláridos (Scholle & Ulmer-Scholle, 2003).



Figura 4.9 - Concentración de radiolarios en sedimentos marinos superficiales actuales (Kruglikova, 1989).

La importancia en el estudio de los radiolarios es debido a que son una herramienta importante para trabajos enfocados en bioestratigrafía, paleoecológicos y paleoambientales ya que este grupo de fósiles contribuye enormemente en la formación de sedimentos marinos. De igual manera son de gran ayuda para realizar interpretaciones paleoclimáticas y paleooceanográficas en los océanos del Mesozoico y Cenozoico (Flügel, 2004).

# 4.4 OSTRÁCODOS

Los ostrácodos (atrópodos) son un grupo de pequeños crustáceos invertebrados caracterizados por estar formados por una concha de dos valvas que suelen no ser totalmente simétricas las cuales se encuentran articuladas mediante charnela situada en el margen dorsal y conectadas por un músculo abductor que atraviesa las partes blandas en la zona dorsal (Fig. 4.10). La forma básica general de la concha de los ostrácodos es usualmente ovalada o en forma de riñón en tamaños que varían de mm a cm en la que suelen distinguirse cuatro vistas: dorsal, ventral, anterior y posterior (Molina, 2004).



**Figura 4.10** - Morfología general de la concha de un ostrácodo mostrando las características principales (Armstrong & Brasier, 2005).

La mayoría de estos organismos pueden ser encontrados en ambientes continentales o en ambientes marinos, particularmente en océanos o lagos, los cuales se arrastran y/o entierran en los sedimentos al fondo de estos. Algunos de ellos desarrollan un estilo de vida pelágico. Debido que se son excelentes para reconocer paleosalinidades en el registro geológico, se pueden dividir en tres grande grupos: continentales, marinos y salobres (Molina, 2004).

Este grupo fósil constituye una herramienta de especial valor en la interpretación de condiciones paleoambientales incluyendo parámetros de salinidad, oxigenación, sustrato y profundidad. Aunado a esto, en ocasiones también son empleados en trabajos bioestratigráficos tanto en ambientes continentales con en marinos, específicamente en medios de agua fresca donde otros grupos de fósiles pueden estar ausentes (Flügel, 2004).

# CAPÍTULO 5 GENERALIDADES DE MICROFACIES

#### **5.1 CONCEPTO DE MICROFACIES**

A mediados del siglo XX el concepto de microfacies, inicialmente empleado por Brown (1943) y posteriormente por Cuvillier (1953), hacía referencia únicamente al criterio petrográfico y paleontológico estudiado en secciones delgadas. En la actualidad, dicho concepto hace alusión a todos aquellos datos tanto sedimentológicos como paleontológicos los cuales pueden ser observados, descritos y clasificados a partir de secciones delgadas con la ayuda de un microscopio petrográfico (Flügel, 2004).

El análisis y la posterior interpretación de las microfacies representa una de las herramientas más útiles en la obtención de información importante en cuanto a los paleoambientes de sedimentación, la paleobatimetría, el porcentaje de organismos que prevalecieron en el pasado geológico, para de esta manera realizar interpretaciones paleoecológicas en el sitio de interés (Barragán-Manzo *et al.*, 2004). Aunado a esto, las microfacies permiten desarrollar modelos de depósito con los cuales es posible conocer cómo varían las facies local, regional y globalmente.

Para la interpretación y clasificación en particular de rocas carbonatadas en este trabajo, se tomaron en consideración las propuestas por Dunham (1962) y Embry & Klovan (1971), el Modelo de Depositación de Facies de Wilson (1975). De los aspectos más importantes a considerar dentro de dichas clasificaciones están: el tipo ortoquímico presente, el contenido orgánico e inorgánico, el tamaño del mismo, la textura deposicional, entre otros. A continuación se hace una breve descripción de cada una de las clasificaciones empleadas.

# 5.2 CLASIFICACIÓN DE DUNHAM (1962)

Esta propuesta incluye cinco clases de texturas distinguidas en dos grupos principales: 1) carbonatos con los componentes originales orgánicamente unidos durante la depositación (*boundstone*), y 2) carbonatos en los cuales los componentes no estuvieron orgánicamente durante la depositación. A su vez, este segundo grupo es subdividido señalando si la muestra se encuentra soportada por la matriz (*mudstone* y *wackestone*) o bien, si está soportada por los granos presentes (*packstone* y *grainstone*) (Embry & Klovan, 1971).

La diferencia dentro de la primera subdivisión radica en la abundancia de granos, ya sea menor o mayor al 10% de estos (Flügel, 2004). En la segunda de estas subdivisiones, la diferencia se enfoca en el tipo de ortoquímico presente en la muestra analizada, siendo micrita o esparita. La textura cristalina hace referencia a dolomitas o a rocas que en su mineralogía presentan un reemplazamiento parcial de calcita por magnesio (Embry & Klovan, 1971) (Tabla 1).

Textura Original Reconocible			Textura		
Componentes Originales No Unidos en la Depositación Originales				Original No Reconocible	
Con Matriz (carbonate detamaño de ardila o timo fino) Sin Matriz			Unidos en la Depositación		
Soportado	por la Matriz	Grano-So	oportado		
Menos del 10% de granos	Más del 10% de granos				
Mudstone	Wackestone	Packstone	Packstone	Boundstone	Boundstone
•		16.1			

Tabla 1 - Clasificación para rocas carbonatadas de Dunham, (1962).

# 5.3 CLASIFICACIÓN DE EMBRY & KLOVAN (1971)

En esta clasificación se esquematiza una versión extendida de la interpretación de Dunham de 1962 en donde las calizas se divide en dos grupos principales: alóctonos, haciendo referencia a que los componentes originales que conforman a la roca no estaban unidos durante la depositación de la roca, y autóctonos, en donde los componentes originales presentes en la muestra estuvieron unidos orgánicamente durante la depositación.

La característica principal en el primer grupo es la abundancia >10% de componentes mayores a 2 mm, subdividiéndose en dos tipos de texturas que se diferencian entre sí en cómo se encuentren dichos componentes, soportados por la matriz (*floatstone*) o bien, soportados por componentes (*rudstone*) (Embry & Klovan, 1971).

El segundo grupo, al igual que el primero, puede ser subdividido en tres tipos de texturas deposicionales: 1) *bafflestone*, constituida por fósiles *in situ* en forma de tallo durante la depositación; 2) *bindstone* la cual contiene fósiles *in situ* de forma tabular o lamelar que se incrustaron y enlazaron durante el proceso de depositación; y 3) *framestone*, caracterizado por fósiles masivos *in situ* que construyeron un marco rígido tridimensional durante el depósito (Embry & Klovan, 1971) (Tabla 2).

**Tabla 2** - Clasificación para rocas carbonatadas con granos > 2 mm de Embry & Klovan (1971). Versión extendida a partir de la propuesta por Dunham (1962).

ALÓCTONO		AUTÓCTONO		
Componentes Originales No Unidos Orgánicamente en la Depositación		Componentes Originales Unidos Orgánicamente en la Depositación		
Más del 10% de	e granos >2mm			
Soportado por Matriz	Soportado por Componentes >2mm	Organismos que actúan como cortina	Organismos que incrustan y enlazan	Organismos que construyen un marco rígido
Floatstone	Rudstone	Bafflestone	Bindstone	Framestone

# 5.4 MODELO DE DEPOSITACIÓN DE FACIES DE WILSON (1975)

El modelo de Wilson representa un sistema idealizado de diferentes zonas de facies que difieren entre sí en función a la posición dentro de una hipotética plataforma o rampa carbonatada, en los sedimentos y biota dominantes, y litofacies en común (Flügel, 2004). El

modelo muestra 10 zonas de facies (ZF) que dividen un transecto abstracto que va desde profundas cuencas marinas de mar abierto, cruzando por un talud, un pronunciado borde en el margen de la plataforma (caracterizado por organismos constructores de arrecifes y/o una zona con bancos de arena), y una plataforma interna hacia la costa (Fig. 4.3).



Figura 5.1 - Secuencia idealizada del modelo de Cinturón de Facies Estándar propuesta por Wilson (1975).

#### Cuenca marina o ZF-1

Esta zona se encuentra por debajo del nivel de oxigenación en donde la sedimentación está dominada principalmente por arcilla pelágica y/o lodo silíceo-calcáreo. En la fauna abundan los organismos planctónicos (foraminíferos planctónicos, radiolarios, calpionélidos, bivalvos de concha delgada) y ocasionalmente bentónicos (espículas de esponjas).

#### Plataforma externa o ZF-2

Se ubica a profundidades que van desde decenas hasta varios cientos de metros justo en la base de las olas donde las aguas se encuentran con una buena circulación lo que permite una tener igualmente una buena oxigenación, pero al estar al alcance de fuertes tormentas estas condiciones pueden verse afectadas periódicamente. Los sedimentos se caracterizan por ser carbonatos altamente fosilíferos dominados por organismos infaunales y epifaunales de concha lo que indica condiciones marinas normales.

#### Margen profundo de la plataforma o ZF-3

Wilson menciona que esta acumulación de facies es similar en cuanto a la profundidad en relación a la ZF-2 lo que permite tener similitud en las condiciones del oleaje y niveles de oxigenación. Al ser el pie de la pendiente, la sedimentación se ve afectada por material alóctono proveniente de las partes superiores por lo que es común encontrar una mezcla de carbonatos formados en la plataforma con material pelágico de grano fino, y en ocasiones se presenta pedernal. Así mismo, existe una combinación en la biota predominada por organismos bentónicos retrabajados de aguas someras y algunos otros planctónicos.

#### Talud de la plataforma o ZF-4

Esta zona de acumulación de facies se caracteriza por presentarse con una inclinación que va desde los 5° hasta casi vertical a partir del margen de la plataforma hacia el mar. En cuanto a la sedimentación, comúnmente en esta división se encuentra una mezcla de material retrabajado proveniente de la plataforma y sedimentos pelágicos. La biota presente en esta zona está caracterizada por organismos bentónicos de aguas someras redepositadados, incrustaciones de bentos de talud y algunos organismos planctónicos de aguas profundas. Esta alta diversidad en fauna provoca que esta acumulación de facies sea altamente fosilífera.

#### Zona arrecifal o ZF-5

En esta zona se compone casi en su totalidad de carbonatos puros con variaciones en el tamaño de grano gracias a los organismos que se presentan para esta división, los cuales generalmente forman barreras orgánicas que bordean a la plataforma y que ayudan a bloquear en gran medida la energía del oleaje. Normalmente las profundidades de esta acumulación de facies son de algunos de metros hasta cientos de ellos. La fauna típica en esta zona está compuesta casi en su mayoría por organismos que llegan a formar colonias junto con escombros de esqueletos perdidos y arena que contienen microfósiles bentónicos (foraminíferos, algas).

#### Bancos de arena o ZF-6

Se caracteriza por presentarse como bancos elongados ubicados por encima de la base normal del oleaje por lo que se ven afectados solamente por la corriente del mismo, y dentro de la zona eufótica. Es común encontrar arenas calcáreas redondeadas, gruesas y bien sorteadas, ocasionalmente con cuarzo en los cuales se hacen presentes tanto granos esqueletales como no esqueletales (ooides y pellets). En ocasiones estas arenas se presentan bioturbadas. La biota común a encontrarse en esta división está dominada por gusanos, organismos desgastados provenientes de los arrecifes, bivalvos, gasterópodos y algunas especies de foraminíferos y algas verdes.

#### Laguna costera o ZF-7

Esta zona se encuentra lo suficientemente conectada con el mar abierto por medio de una circulación moderada para mantener tanto la salinidad como la temperatura con valores similares a las presentes en las aguas adyacentes. Las profundidades en esta acumulación varían desde unos cuantos pocos de metros hasta decenas de estos. Los sedimentos están dominados por material micrítico no consolidado, arena lodosa y arena limpia. La fauna característica que se presenta en esta zona dominada principalmente por organismos bentónicos de agua somera tales como algas, foraminíferos bivalvos; localmente se pueden encontrar "parches" del arrecife o bancos orgánicos.

#### Plataforma restringida o ZF-8

Se presentan condiciones similares a la ZF-7 solo que el área es menos conectada con el mar abierto, causando grandes variaciones en cuanto a la salinidad y la temperatura lo que afecta a la fauna reduciéndola en diversidad pero manteniendo un alto número de individuos capaces de adaptarse a estas condiciones, teniendo típicamente la presencia de foraminíferos (miliólidos) ostrácodos, gasterópodos y algas. La profundidad de esta zona de acumulación de facies se encuentra por debajo de 1 m hasta unas pocas decenas de metros. Al igual que en la ZF-7, la sedimentación está caracterizada por lodo micrítico, arena lodosa y, en algunos casos, arena limpia donde la influencia de material terrígeno es común. Caliza y dolomita son las rocas que comúnmente se forman.

#### Plataforma evaporítica o ZF-9

La influencia episódica de aguas normales marinas y el clima árido son factores comunes en esta zona lo que provoca que se depositen minerales evaportícos tales como el yeso, anhidrita y/o halita junto con carbonatos. Los sedimentos depositados en esta se caracteriza por presentar lodo calcáreo o dolomítico con yeso y/o anhidrita de manera nodular u ondulado. Los organismos presentes en esta zona son aquellos adaptados a la alta salinidad como ostrácodos, moluscos.

#### Zona continental o ZF-10

Esta zona de acumulación de facies se ve periódicamente afectada por condiciones subaéreas y/o subacuáticas en la cual existe una abundancia de meteorización química (karstificación). Los ambientes supramareales e intermareales son comunes en esta zona. Los sedimentos principales presentes son calizas afectadas por disolución. La fauna se caracteriza por la carencia de organismos autóctonos a excepción de las cianobacterias y microbios.

# CAPÍTULO 6 ANÁLISIS DE MICROFACIES

La alta heterogeneidad que se presenta para ambas unidades litológicas en cuanto a características petrográficas y contenido paleontológico en las zonas de estudio permite identificar diferentes texturales deposicionales, lo que origina distintos ambientes de depósito para los sedimentos tanto de la Formación Aurora como de la Formación Tamaulipas Superior.

En este apartado se mostrarán los resultados obtenidos en base al análisis microfacial de las muestras correspondientes para ambas unidades en estudio señaladas en las columnas con microfacies.

# 6.1 AFLORAMIENTO MONTEMORELOS

#### Lámina MM-1

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone.
Biota	Foraminíferos planctónicos (Hedbergella sp?).
Zona de Facie	1: cuenca marina.



**Microfotografía 1** - Lámina MM-1, *mudstone* pelágico. A) Matriz micrítica de grano fino con menos del 10% en contenido de aloquímicos. B) Obsérvese al centro de la imagen el foraminífero planctónico *Hedbergella* sp. (Brönnimann & Brown, 1958) como único componente bioclástico.

## Lámina MM-2

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone.
Biota	Foraminíferos planctónicos (Hedbergella planispira) y filamentos
	de bivalvos.
Zona de Facie	1: cuenca marina.



**Microfotografía 2** - Lámina MM-2, *mudstone*. A) Lodo de grano fino con menos del 10% en abundancia de organismos. Presencia de microestilolitas como un rasgo particular. B) En centro de la imagen se aprecia el corte longitudinal de un hedbergéllido (*Hedbergella planispira*) (Tappan, 1940) como componente bioclástico principal.

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone.
Biota	Foraminíferos planctónicos ( <i>Hedbergella planispira</i> ) y filamentos de bivalvos indeterminados.
Zona de Facie	1: cuenca marina.



**Microfotografía 3** - Lámina MM-3, *mudstone* pelágico. A) Matriz micrítica de grano fino donde se observa pequeñas conchas de bivalvos en la parte centro-inferior de la imagen. B) Corte transversal *Hedbergella planispira* (Tappan, 1940), nótese la disposición de la concha en forma espiralada con cuatro cámaras globosas. C) Corte longitudinal de *H. planispira* (Tappan, 1940), distinguiéndose dos cámaras pequeñas al centro del organismo en comparación con las dos externas que se presentan de manera involuta a estas.

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone pelágico.
Biota	Foraminíferos planctónicos (Hedbergella sp. y Heterohelix sp.).
Zona de Facie	1: cuenca marina.



**Microfotografía 4** - Lámina MM-4, *mudstone* de grano fino. A) Corte longitudinal mostrando una disposición trocoespiralada de cinco cámaras globosas típicas del género *Hedbergella* sp. (Brönnimann & Brown, 1958) de las cuales, 2 de estas presentan reemplazamiento parcial por óxido de hierro. B) Corte transversal de *Heterohelix* sp. (Ehrenberg, 1843) que permite observar una disposición biserial de ocho cámaras semiglobosas.

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone.
Biota	Foraminíferos planctónicos ( <i>Hedbergella</i> sp.) y filamentos de bivalvos.
Zona de Facie	1: cuenca marina.



**Microfotografía 5** – Lámina MM-5, *mudstone* pelágico. A) Matriz lodosa de grano fino. B-C) Al centro de las imágenes *Hedbergella* sp.? (Brönnimann & Brown, 1958) con cuatro cámaras globosas.

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone.
Biota	Foraminíferos planctónicos (Hedbergella sp?).
Zona de Facie	1: cuenca marina.



**Microfotografía 6** - Lámina MM-6, *mudstone*. A) Corte longitudinal de la concha asimétrica de *Hedbergella* sp.? (Brönnimann & Brown, 1958) con aproximadamente cuatro cámaras visibles. B) Corte longitudinal de *Hedbergella* sp.? (Brönnimann & Brown, 1958) mostrando una sección casi simétrica donde se distinguen cuatro cámaras globosas (dos al centro de menor tamaño y dos ubicadas a los extremos de la misma).

#### Lámina MM-7

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone.
Biota	Foraminíferos planctónicos ( <i>Hedbergella sp?</i> y <i>Heterohelix sp.</i> ) y filamentos de bivalvos.
Zona de Facie	1: cuenca marina.



**Microfotografía 7** - Lámina MM-7, *mudstone* pelágico. A) *Hedbergella* sp.? (Brönnimann & Brown, 1958) y restos de otros bioclastos de menor tamaño. Nótese dos vetillas de calcita (microestilolitas) una paralela a la otra que cortan al organismo. B) Forma biseriada y sección axial de *Heterohelix* sp. (Ehrenberg, 1843) con 11 cámaras semiglobosas.

## Lámina MM-8

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone.
Biota	Foraminíferos planctónicos.
Zona de Facie	1: cuenca marina.



**Microfotografía 8** - Lámina MM-8, *mudstone*. A-B) Caliza con restos de foraminíferos planctónicos donde se aprecian cámaras globosas típicas de estos organismos.

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone.
Biota	Radiolarios.
Zona de Facie	1: cuenca marina.



**Microfotografía 9** - Lámina MM-9, *mudstone*. A) Matriz lodosa de grano fino con menos del 10% en contenido bioclástico. B) Nótese en la parte centro-superior derecha de la imagen la presencia de pequeños radiolarios característicos para facies profundas.

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone-wackestone.
Biota	Foraminíferos planctónicos ( <i>Hedbergella sp?</i> ) filamentos de bivalvos y ostrácodos.
Zona de Facie	2: plataforma externa.

# CAPÍUTLO 6



**Microfotografía 10** - Lámina MM-10, *mudstone-wackestone*. A) Muestra con contenido faunístico típico de ambiente profundo (radiolarios, filamentos y ostrácodos). B) Valvas articuladas de un ostrácodo en corte transversal. C-D) Concha trocoespiralada de *Hedbergella* sp. (Brönnimann & Brown, 1958), C) con cinco cámaras y D) con tres cámaras.

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone.
Biota	Filamentos de bivalvos y foraminíferos planctónicos.
Zona de Facie	1: cuenca marina.



**Microfotografía 11** - Lámina MM-11, *mudstone*. A) Matriz micrítica de grano fino con escasos restos de conchas delgadas de bivalvos. B) Conchas de foraminíferos planctónicos. Es frecuente notar el reemplazamiento parcial o total de las cámaras por óxido de hierro.

#### Lámina MM-12

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone.
Biota	Escasos filamentos de bivalvos
Zona de Facie	1: cuenca marina.



**Microfotografía 12** - Lámina MM-12, *mudstone*. A) Matriz de grano fino con escasos bioclastos planctónicos. En la imagen se aprecia la ocurrencia de microestilolitas dispuestas de manera paralela entre sí

## Lámina MM-13

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone.
Biota	Pequeños fragmentos de bioclastos
Zona de Facie	1: cuenca marina.



Microfotografía 13 - Lámina MM-13, *mudstone*. A) Matriz lodosa de grano fino con escaso contenido aloquímico.

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone-Wackestone.
Biota	Foraminíferos planctónicos ( <i>Hedbergella sp.</i> ), radiolarios y filamentos de bivalvos indeterminados.
Zona de Facie	1: cuenca marina.


**Microfotografía 14** - Lámina MM-14, *mudstone-wackestone*. A) Obsérvese en la parte central de la imagen el corte longitudinal de la concha trocoespiralada de *Hedbergella* sp. (Brönnimann & Brown, 1958) con cámaras globosas. B) Corte transversal de *Hedbergella* sp. (Brönnimann & Brown, 1958) caracterizada por una concha de cinco cámaras globosas, siendo la última de mayor tamaño en comparación con el resto. Alrededor de esta, se aprecian radiolarios como fauna asociada. C) Corte transversal de la concha trocoespiralada de *Hedbergella* sp. (Brönnimann & Brown, 1958) compuesta por seis cámaras globosas.

#### Lámina MM-15

Ortoquímico	Micrita.			
Textura	Wackestone.			
Biota	Radiolarios, <i>planispira</i> ?).	foraminíferos	planctónicos	(Hedbergella
Zona de Facie	1: cuenca mari	na.		



**Microfotografía 15** - Lámina MM-15, *wackestone*. A) Radiolarios espumeláridos incluidos en una matriz micrítica de grano fino. B-C) En el centro de ambas imágenes se observan cortes longitudinales de la concha casi simétrica de *Hedbergella planispira* (Tappan, 1940) caracterizadas por presentar dos cámaras pequeñas en el centro de ambos organismos en comparación con las ubicadas en los extremos de estos. En ambas imágenes, se presentan radiolarios alrededor de dichas especies de foraminíferos.

### Lámina MM-16

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Wackestone.
Biota	Radiolarios, foraminíferos planctónicos ( <i>Hedbergella</i> sp.?) y filamentos de bivalvos.
Zona de Facie	1: cuenca marina.



**Microfotografía 16** -Lámina MM-16, *wackestone*. A) Matriz micrítica de grano fino. Nótese en la mayor parte de la imagen la abundancia de pequeños radiolarios. B) Concha de *Hedbergella* sp.? (Brönnimann & Brown, 1958) con un claro reemplazamiento parcial de dos de las cámaras por óxido de hierro. El resto de los componentes microfósiles son radiolarios.

#### Lámina MM-17

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone-Wackestone.
Biota	Radiolarios, ostrácodos con valvas completas y unidas y filamentos de bivalvos.
Zona de Facie	2: plataforma externa.



**Microfotografía 17** - Lámina MM-17, *mudstone-wackestone*. A) Abundantes radiolarios espumeláridos incluidos en una matriz lodosa de grano fino. B) Al centro de la imagen el corte longitudinal de la concha de un ostrácodo con las dos valvas unidas.

## Lámina MM-18

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Wackestone.
Biota	Foraminíferos planctónicos (Hedbergella sp.?) y radiolarios.
Zona de Facie	1: cuenca marina.



**Microfotografía 18** - Lámina MM-18, *wackestone*. A-C) Foraminíferos planctónicos hedbergéllidos y como bioclastos asociados con abundantes radiolarios espumeláridos incluidos en una matriz micrítica de grano fino. Se aprecia en las tres imágenes claramente un reemplazamiento por óxido de hierro casi en la totalidad de las cámaras.

### Lamina MM-19

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone-Wackestone.
Biota	Foraminíferos planctónicos (Hedbergella sp.?) y radiolarios.
Zona de Facie	1: cuenca marina.



**Microfotografía 19** - Lámina MM-19, *mudstone-wackestone*. A) Obsérvese en la parte centro-inferior de la imagen la presencia de radiolarios espumeláridos en una matriz lodosa de grano fino. B) Al centro de la imagen el corte transversal de la concha de *Hedbergella* sp. (Brönnimann & Brown, 1958) caracterizada por cuatro cámaras globosas dispuestas de manera trocoespiralada.

#### Lámina MM-20

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Wackestone.
Biota	Radiolarios, foraminíferos planctónicos ( <i>Hedbergella planispira</i> ), filamentos de bivalvos y ostrácodos.
Zona de Facie	2: Plataforma externa.

# CAPÍUTLO 6



**Microfotografía 20** - Lámina MM-20, *wackestone*. A) Imagen que muestra casi en su totalidad la abundancia de pequeños radiolarios sobre una matriz de grano fino. B) Corte transversal de la concha de un ostrácodo con las valvas articuladas. Es de distinguir un claro reemplazamiento de su estructura original por óxido de hierro. C-D) Foraminíferos y radiolarios: C) Vista umbilical de *Hedbergella planispira* (Tappan, 1940) donde se aprecian claramente cuatro cámaras globosas. D) Vista umbilical de *Hedbergella* sp. (Brönnimann & Brown, 1958) con cuatro de las cámaras de la última espira. Nótese el gran tamaño de la última cámara en comparación con las anteriores.

#### Lámina MM-21

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone-Wackestone.
Biota	Radiolarios y foraminíferos planctónicos (Hedbergella sp.?)
Zona de Facie	1: cuenca marina.



**Microfotografía 21** - Lámina MM-21, *mudstone-wackestone*. A) Radiolarios dispersos en la totalidad de la imagen en una matriz de grano fino. B) Concha de foraminífero planctónico hedbergéllido con tres cámaras visibles de aspecto globoso.

#### Lámina MM-22

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Wackestone.
Biota	Radiolarios y foraminíferos planctónicos (Hedbergella sp.?)
Zona de Facie	1: cuenca marina.



**Microfotografía 22** - Lámina MM-22, *wackestone*. A) Abundantes radiolarios sobre micrita de grano fino. B) Concha de un foraminífero planctónico.

## Lámina MM-23

Ortoquímico	Micrita.				
Textura	Wackestone.				
Biota	Radiolarios <i>planispira</i> ).	У	foraminíferos	planctónicos	(Hedbergella
Zona de Facie	1: cuenca marin	na.			



**Microfotografía 23** - Lámina MM-23, *wackestone* bioclástico. A) Obsérvese en la totalidad de la imagen una considerable abundancia de radiolarios en una matriz lodosa de grano fino. B) Sección umbilical de *Hedbergella planispira* (Tappa, 1940) compuesta por cinco cámaras globosas. C) Corte longitudinal de *Hedbergella planispira* (Tappan, 1940) distinguiéndose la ornamentación.

# Lámina MM-24

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Wackestone.
Biota	Radiolarios y foraminíferos planctónicos ( <i>Hedbergella planispira?</i> ).
Zona de Facie	1: cuenca marina.



**Microfotografía 24** - Lámina MM-24, *wackestone*. A) Abundantes radiolarios espumeláridos en micrita de grano fino. B-C) Conchas de foraminíferos planctónicos y radiolarios.

#### 6.1.1 Interpretación

El conjunto de muestras que corresponden al perfil de Montemorelos está caracterizado por ser una secuencia que, en su totalidad, se encuentra dominada por variaciones texturales de *mudstone-wackestone* con micrita de grano fino a muy fino y presencia de microestilolitas en algunas de estas. El contenido micropaleontológico está representado principalmente por foraminíferos planctónicos hedbergéllidos (Hedbergella planispira; Tappan, 1940, microfotografía 23c, Lámina MM-23) y heterohelícidos (Heterohelix sp.; Ehrenberg, 1843, microfotografía 7b, Lámina MM-7). El primero de estos claramente reconocible por la concha formada por 5 cámaras de aspecto globoso y dispuestas de manera trocoespiralada mientras que, el segundo se reconoce por una concha compuesta por al menos 10 cámaras semi-globosas ordenadas de manera biserial. Como fauna asociada a estos foraminíferos planctónicos se tiene la ocurrencia de abundantes radiolarios (microfotografía 20c y d, Lámina MM-20), filamentos de bivalvos pelágicos (microfotografía 11a y b, Lámina MM-11), y ostrácodos (microfotografía 20b, Lámina MM-20) los cuales han experimentado poco transporte debido a que sus valvas aún se encuentran unidas. Dicha comunidad faunística brinda información específica que permite establecer las condiciones en las que estos sedimentos fueron depositados, siendo dentro de un dominio de aguas de ambiente tropicalsubtropical y con profundidades no mayores a los 300 m, específicamente en un área de transición entre la cuenca (ZF-1) y la plataforma externa (ZF-2) en base al Cinturón de Facies propuesto por Wilson (1975).

# 6.2 AFLORAMIENTO CAÑÓN DE MIRELES, RAYONES

# Lámina CMR-1

Ortoquímico	Micrita.	
Textura	Floatstone.	
Biota	Fragmentos de moluscos pelecípodos (rudistas) superiores a los 2	
	mm.	
Zona de Facie	6: bancos de arenas (atrás del arrecife).	



**Microfotografía 25** - Lámina CMR-1, *floatstone* bioclástico. A-B) En la mayor parte de las imágenes se observa un fragmento de pelecípodo > a los 2 mm en una matriz lodosa.

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone.
Biota	Pequeños fragmentos de bioclastos.
Zona de Facie	6: bancos de arenas (atrás del arrecife).



Microfotografía 26 - Lámina CMR-2, mudstone. A) Matriz lodosa con escaso contenido bioclástico.

### Lámina CMR-3

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone.
Biota	Fragmentos de moluscos pelecípodos (rudistas) inferiores a los 2
	mm.
Zona de Facie	6: bancos de arenas (atrás del arrecife).



**Microfotografía 27** - Lámina CMR-3, *mudstone* bioclástico. A) Resto del fragmento de un pelecípodo en una matriz micrítica. Nótese la típica microestrutura de mosaico de un bivalvo.

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone.
Biota	Foraminíferos bentónicos miliólidos y textuláridos.
Zona de Facie	7: Lagoon.



**Microfotografía 28** - Lámina CMR-4, *mudstone*. A) Micrita con pequeños fragmentos de bioclastos. B) Al centro de esta se observa un foraminífero bentónico con crecimiento miliólido. C) Obsérvese en centro de la imagen un foraminífero bentónico textulárido con crecimiento biserial. Se distingue el aspecto aglutinado en cada septo.

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone.
Biota	Foraminíferos bentónicos miliólidos y textulárido biserial

Zona de Facie	7: Lagoon.



**Microfotografía 29** - Lámina CMR-5, *mudstone*. A-C) Al centro de las imágenes se distinguen los cortes de conchas de foraminíferos bentónicos con crecimiento miliólido. Nótese una pared porcelanada en los tres casos. D) Corte de un foraminífero textulárido biserial distinguiéndose los septos aglutinados.

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone.
Biota	Pequeños fragmentos de bioclastos.
Zona de Facie	7: Lagoon.



Microfotografía 30 - Lámina CMR-6, *mudstone*. A) Micrita de grano fino con menos al 10% de contenido micropaleontológico.

Ortoquímico		Micrita.
Textura		Mudstone-wackestone.
Biota		Foraminíferos bentónicos de tipo miliólido.
Granos	no	Pellets/peloides.
esqueletales		
Zona de Facie		8: plataforma restringida.



**Microfotografía 31** - Lámina CMR-7, *mudstone-wackestone* bioclástico. A-B) Conchas de foraminíferos bentónicos con un crecimiento miliólido simple. Alrededor de estos se observa material fecal con morfología redonda, elongada de tamaños variables. C-D) Conchas discoidales de foraminíferos bentónicos miliólidos. Nótese la presencia de materia orgánica. En los cuatro casos se distinguen la pared porcelanada de la concha.

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone-wackestone.
Biota	Foraminíferos bentónicos de tipo miliólido y fragmentos de bivalvos indeterminados.
Granos no esqueletales	Pellets/peloides.
Zona de Facie	8: plataforma restringida.



**Microfotografía 32** - Lámina CMR-8, *mudstone-wackestone*. A-B) En ambas imágenes se presentan cortes de conchas elongadas de foraminíferos bentónicos con crecimiento miliólido de pared porcelanada. A) Presentan fragmentos de bivalvos indeterminados con microcristales en forma de mosaico.

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone.
Biota	Foraminíferos bentónicos miliólidos y textuláridos.
Zona de Facie	7: Lagoon.



**Microfotografía 33** - Lámina CMR-9, *mudstone*. A) En la parte centro-superior de esta se observa el fragmento de la concha de un foraminífero bentónico textulárido. B) Obsérvese la presencia de la concha discoidal de un foraminífero bentónico con disposición miliólida. A-B) Se aprecian fragmentos de bivalvos indeterminados < a 2 mm.

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone.
Biota	Foraminíferos bentónicos miliólidos y textuláridos biseriales.
Zona de Facie	7: Lagoon.



**Microfotografía 34** - Lámina CMR-10, *mudstone*. A) Concha discoidal porcelanada de un foraminífero bentónico. B) Corte transversal de la concha de un foraminífero bentónico textulárido en el cual se distinguen nueve cámaras con septos aglutinados.

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone.
Biota	Espículas de esponja.
Zona de Facie	1: cuenca marina.



**Microfotografía 35** - Lámina CMR-11, *mudstone* pelágico. A) Ocurrencia de microescleras monáxonas alineadas de aproximadamente 5µm de longitud.

### Lámina CMR-12

Ortoquímico	Micrita
Textura	Mudstone.
Biota	Pequeños fragmentos de bioclastos
Zona de Facie	Cuenca.



Microfotografía 36 - Lámina CMR-12, *mudstone*. A) Matriz micrítica de grano grueso con escaso contenido bioclástico.

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Wackestone.
Biota	Espículas de esponjas.
Zona de Facie	1: cuenca marina.



**Microfotografía 37** - Lámina CMR-13, *wackestone* pelágico. A-B) Abundancia de microescleras silíceas monáxonas de 5-10 µm de longitud aproximadamente con una orientación preferencial.

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone.
Biota	Pequeños fragmentos de bioclastos
Zona de Facie	1: cuenca marina.



Microfotografía 38 - Lámina CMR-14, *mudstone*. A) Matriz micrítica de grano grueso con escasa presencia de biogénicos.

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Wackestone.
Biota	Foraminíferos bentónicos miliólidos y textuláridos trocoespirales.
Zona de Facie	7: Lagoon.

# CAPÍUTLO 6



**Microfotografía 39** - Lámina CMR-15, *wackestone* bioclástico. A) Concentración de conchas de foraminíferos bentónicos con disposición miliólida con pared porcelanada. B) Nótese la presencia del fragmento de una concha de un foraminífero bentónico textulárido de la familia Nezzazatidae con septos aglutinados bien marcados. C) Acumulación de conchas de foraminíferos bentónicos textuláridos. D) Presencia de un corte transversal de un foraminífero bentónico textulárido con crecimiento trocoespiralado y septos aglutinados.

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone.
Biota	Foraminíferos bentónicos miliólidos.
Zona de Facie	7: Lagoon.



Microfotografía 40 - Lámina CMR-16, *mudstone*. A) Corte transversal de la concha de un foraminífero bentónico con crecimiento miliólido.

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Mudstone
Biota	Foraminíferos bentónicos miliólidos y textuláridos
Zona de Facie	7: Lagoon.

# CAPÍUTLO 6



**Microfotografía 41** - Lámina CMR-17, *mudstone* bioclástico. A-B) Presencia de conchas discoidales de foraminíferos bentónicos miliólidos. C) Corte transversal de un foraminífero bentónico miliólido simple. A-C) Pared de las conchas porcelanadas. D) Corte longitudinal de la concha de aspecto aglutinado de un foraminífero bentónico textulárido.

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Floatstone.
Biota	Fragmentos de moluscos pelecípodos superiores a los 2 mm y esporádicos foraminíferos bentónicos miliólidos.
Zona de Facie	6: bancos de arenas (atrás del arrecife).



**Microfotografía 42** - Lámina CMR-18, *floatstone*. A) Fragmento laminar de un molusco pelecípodo superior a los 2 mm. B) Presencia de la concha de un foraminífero bentónico miliólido con fragmentos de bivalvos indeterminados.

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Floatstone.
Biota	Fragmentos de moluscos pelecípodos (rudistas) superiores a los 2
	mm.
Zona de Facie	6: bancos de arenas (atrás del arrecife).



**Microfotografía 43** - Lámina CMR-19, *floatstone* bioclástico. A-B) Fragmentos de moluscos pelecípodos > 2 mm asociados a rudistas.

Ortoquímico	Micrita.
Textura	Floatstone.
Biota	Fragmentos de moluscos pelecípodos (rudistas) superiores a los 2
	mm.
Zona de Facie	6: bancos de arenas (atrás del arrecife).



**Microfotografía 44** - Lámina CMR-20, *floatstone*. A-B) Fragmentos laminares de moluscos pelecípodos > 2 mm asociados a rudistas. A) Se distingue procesos de bioturbación en el fragmento bioclástico.

Ortoquímico		Esparita.
Textura		Rudstone.
Biota		Foraminíferos bentónicos miliólidos y fragmentos de pelecípodos
		(rudistas).
Granos	no	Cortoides.
esqueletales		
Zona de Facie		6: bancos de arenas (atrás del arrecife).

# CAPÍUTLO 6



**Microfotografía 45** - Lámina CMR-21, *rudstone* bioclástico. A) Abundancia de fragmentos de pelecípodos que presentan un grado de micritización. B) Corte de una concha semidiscoidal de un foraminífero bentónico miliólido. C) Fragmento laminar de un molusco pelecípodo el cual supera los 2 mm en longitud.

Ortoquímico	Esparita.
Textura	Rudstone.
Biota	Fragmentos de pelecípodos (rudistas) >2 mm.
Granos no	Pellets/peloides, cortoides.
esqueletales	
Zona de Facie	6: bancos de arenas (atrás del arrecife).



**Microfotografía 46** - Lámina CMR-22, *rudstone*. A-B) Presencia de fragmentos de moluscos pelecípodos con un ligero grado de micritización al borde de estos, con un abundancia de material fecal.

#### Lámina CMR-23

Ortoquímico	Esparita.
Textura	Rudstone.
Biota	Fragmentos de moluscos pelecípodos (rudistas) superiores a los 2
	mm.
Granos no	Cortoides.
esqueletales	
Zona de Facie	6: bancos de arenas (atrás del arrecife).



**Microfotografía 47** - Lámina CMR-23, *rudstone* bioclástico. A) Fragmento laminar de un molusco pelecípodo mayor a 2 mm asociado a rudistas. B) Cortoide sobre un fragmento de bivalvo indeterminado.

#### 6.2.1 Interpretación

Este conjunto de muestras, el cual corresponde al perfil del Cañón de Mireles, está dominado por una secuencia que varía en texturas mudstone-grainstone/floatstone-rudstone con micrita-esparita de grano medio-grueso. El contenido paleontológico que se presenta en campo está representado principalmente por moluscos rudistas requiénidos Toucasia texana (Römer, 1852) (Ver figura 3.5A) y ostreidos Chondrodonta sp (Stanton, 1901) a nivel macroscópico mientras que, a nivel microscópico y como fauna asociada a estos tenemos la presencia de foraminíferos bentónicos miliólidos (microfotografías 31a-d, Lámina CMR-7) y textuláridos (microfotografías 28c, Lámina CMR-4 y 39d, Lámina CMR-15), reconocibles por una concha discoidal porcelanada de crecimiento miliólido simple o bien, con tres o cinco ejes preferenciales de desarrollo, y una concha de aspecto aglutinado de 7-8 cámaras semiglobosas dispuestas de manera biserial y/o trocoespiral respectivamente. Cabe mencionar que a nivel microscópico se tiene la ocurrencia de granos no esqueletales los cuales están representados por fragmentos de moluscos asociados a rudistas que han experimentado un proceso de micritización (cortoides) el cual conlleva a un reemplazamiento parcial a total de los granos carbonatados por cristales cripto o microcristalinos (ver microfotografía 45a, Lámina CMR-21) y de material fecal (microfotografía 46a, Lámina CMR-22). Todo este conjunto tanto de grano esqueletales como no esqueletales nos permite establecer los condiciones en las que estos sedimentos se depositaron, siendo en un ambiente de aguas someras con profundidades no superiores a los 200 m, particularmente en una plataforma interna caracterizada por presentar una zona de arrecife en el margen de la misma, lo que corresponde a las ZF-5, 6 y 7 en base al Cinturón de Facies propuesto por Wilson (1975).

# **CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES**

Las características litológicas de las unidades estudiadas presentan variaciones tanto a nivel de afloramiento como a nivel microscópico:

#### DESPRICIÓN LITOLÓGICA.

**Perfil de Montemorelos**. Secuencia caracterizada por exhibir caliza de color gris oscuro en estratos bien marcados de 30-90 cm en espesor, con bandas y nódulos de pedernal en color negro y blanco dispuestos paralelamente a los planos de estratificación de 15-20 cm en longitud, siendo notable este último en los primeros 10-15 m de la secuencia. La caliza se ve afectada por estructuras de carga y por procesos de disolución en la mayor parte de la secuencia. El espesor medido en esta secuencia oscila los 100 m.

**Perfil del Cañón de Mireles**. Esta zona consiste en caliza con una coloración gris claro en estratos masivos en el rango de 2-15 m en espesor, con una abundantes nódulos de pedernal en color negro en la parte basal-media de la secuencia orientados de manera paralela a la estratificación. El espesor total de esta sección medido en la zona de estudio es de aproximadamente 160 m.

#### ✤ DESCRIPCIÓN MICROFACIAL

**Perfil de Montemorelos**. Las microfacies se componen de *mudstone-wackestone* de grano fino a muy fino con abundantes foraminíferos planctónicos hedbergéllidos y radiolarios espumeláridos, y en menor proporción filamentos de bivalvos y ostrácodos. Particularmente este último grupo tiene la particularidad de preservarse con ambas valvas articuladas lo que indica sufrió poco transporte.

**Perfil del Cañón de Mireles**. Para esta secuencia las microfacies se constituyen por *mudstone-grainstonelfloatstone-rudstone* de grano medio a grueso dominadas principalmente por foraminíferos bentónicos miliólidos y textuláridos, fragmentos de moluscos rudistas mayores a 2 mm y granos no esqueletales tales como los pellets. En esta sección es posible observar en esos fragmentos asociados a rudistas procesos de micritización. Una peculiaridad es la presencia de espículas de esponjas.

#### ✤ ASOCIACIONES PALEONTOLÓGICAS

**Perfil de Montemorelos**. Esta secuencia es rica en foraminíferos planctónicos hedbergéllidos con cámaras dispuestas de manera trocoespiral y heterohelícidos de cámaras biseriales, y radiolarios espumelaridos de conchas esféricas, y ostrácodos y restos de bivalvos pelágicos.

**Perfil del Cañón de Mireles**. En esta parte sobresale a nivel macroscópico la presencia de moluscos rudistas requiénidos y ostreidos mientras que, a nivel microscópico se tiene la aparición de foraminíferos bentónicos miliólidos y textuláridos de pared porcelanada y aglutinada respectivamente.

#### EDAD DE LAS SECUENCIAS

En base a la peculiar comunidad paleontológica presente en las unidades trabajadas, utilizando particularmente especímenes de foraminíferos planctónicos y rudistas, es posible determinar la edad relativa de los sedimentos en los que estos fueron depositados. Una de las especies claves marcadoras de edad de foraminíferos planctónicos, la cual se presenta de manera notable, es la *Hedbergella planispira* (Tappan, 1940) que, de acuerdo con Neagu (2005), "indica una edad del Albiano inferior-Vrconiano parte más inferior del Cenomaniano (parte basal de la zona con *R. brotzeni*)". Por otro lado, el espécimen clave de rudista utilizado para fechar los depósitos estudiados corresponde a *Toucasia texana* (Römer, 1852) el cual, de acuerdo con Mullerried (1944), marca una edad del Albiano inferior-medio.

#### ✤ PALEOAMBIENTE SEDIMENTARIO

De acuerdo al análisis microfacial a detalle de cada muestra así como el estudio de las asociaciones faunísticas dominante en cada una de estas, nos es posible determinar diferentes Zonas de Facies (ZF) basados con el perfil idealizado para la depositación de facies en una plataforma carbonatada propuesto por Wilson (1975) y, de esta manera, establecer los ambientes en las que estas fueron depositadas. Por un lado, las muestras que pertenecen al Perfil de Montemorelos indican zonas en dominios de aguas profundas y tranquilas las cuales se dan dentro de las ZF-1 y 2 mientras que, para las muestras que corresponden al Perfil del Cañón de Mireles se tienen ambientes de aguas más someras dentro de una plataforma interna dominada por las ZF-5, 6 y 7.

# BIBLIOGRAFÍA

- Adams, A.E., MacKenzie, W.S., 1998. A Colour Atlas of Cabonate Sediments and Rocks Under the Microscope: Manson Publishing Ltd., Ingletarra, 180 p.
- Aguayo-Camargo, J.E., 1978. Diagénesis en nódulos de pedernal de la Formación Tamaulipas Superior: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo XXXIX, Núm. 2, 5-13.
- Aguilar-Pérez, J., 2002. Rudistas Caprínidos en el Cerro de Labradores, Galeana, Nuevo León, México: Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL, México, 87 p.
- Alencáster-Ybarra, G., 2003. Forjadores de la Ciencia en la UNAM «Mi vida en la ciencia»: Coordinación de la Investigación Científica, UNAM, México, 40 p.
- Ángeles-Villeda, M.E., Hinojosa-Espinosa-J.J., López-Oliva, J.G., Valdés-González, A., Livas-Vera, M., 2005. Estratigrafía y microfacies de la parte sur del Cañón La Boca, Santiago, Nuevo León, México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 22, Núm. 2, 272-281.
- 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, Vol. 27, Núm. 2, 43-87.
- Armstrong, H., Brasier, M., 2005. Microfossils. 2nd Ed., Blackwell Publishing Ltd., Reino Unido, 296 p.
- 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, Vol. 21, Núm. 3, 299-319.
- Barragán-Manzo R., Díaz-Otero, C., 2004. Análisis de microfacies y datos micropaleontológicos de la transición Barremiano-Aptiano en la Sierra del Rosario,

Durango, México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. Vol. 21, Núm. 2, 247-259.

- Bolli, H.M., Saunders, J.B., Perch-Nielsen, K., 1985. Plankton Stratigraphy, Vol. 1: Planktic Foraminfera, Calcareous Nannofossils and Calpionellids: Cambridge University Press, Inglaterra, 605 p
- Cestari, R., Sartorio, D., 1995. Rudists and Facies of the Periadriatic Domain: AGIP. S.p.A., Italia, 207p.
- Damas-Mollás, L., Aranburu-Artano, A., García-Garmilla, F., 2008. Microestructuras en conchas de rudistas y *Chondrodonta* sp. del Complejo Urgoniano de Ereño (Bizkaia): GEOGACETA, 107-110.
- De León-Gómez, H., Masuch-Oesterreich, D., Medina-Barrera, F., Hellweg, F., 1998. Investigaciones hidrogeológicas en el Cañón de la Huasteca como contribución al abastecimiento de agua potable de Monterrey, Nuevo León, NE-México: GEOGACETA, 23, 87-90.
- Dunham, R.J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture *in* Ham, W.E ed., Classification of carbonate rocks. A symposium. American Association of Petroleum Geologist Mem. 1, 108-171.
- Embry, A.F., Klovan J.E., 1971. A late Devonian reef tract on Northeastern Banks Island, N.W.T.: Bulletin of Canadian Petroleum Geology, Vol. 19, Núm. 4, 730-781.
- Filkorn, H.F., Scott, R.W., 2011. Microfossils, paleoenvironments and biostratigraphy of the Mal Paso Formation (Cretaceous, upper Albian), State of Guerrero, Mexico: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 28, Núm. 1, 175-191.
- Flügel, E., 2010. Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application. 2nd Ed., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Alemania, 984 p.
- Georgescu, M.D., 1997. Upper Jurassic-Cretaceous plantonik biofacies succession and the evolution of the Western Black Sea Basin, *in* A.G. Robinson ed., Regional and

petroleum geology of the Black Sea and surrounding region: AAPG Memoir 68, 169-182.

- **Goldhammer, R.K., 1999**. Mesozoic sequence stratigraphy and paleogeographic evolution of northeast Mexico *in* Bartolini, C., Wilson, J. and Lawton T.F., eds., Mesozoic Sedimentary and Tectonic Evolution History of North-Central Mexico: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 340, 1-58.
- Goldhammer, R.K., Johnson, C.A., Middle Jurassic-Upper Cretaceous paleogeographic evolution and sequence-stratigraphic framework of the northwest Gulf of Mexico rim, *in* C. Bartolini, R.T. Buffler, and A. Cantú-Chapa, eds., The western Gulf of Mexico Basin: Tectonics, sedimentary basins, and petroleum systems: AAPG Memoir 75, Estados Unidos de América, 45-81.
- González-Sánchez, F., Puente-Solís, R., González-Partida, E., Camprubí, A., 2007. Estratigrafía del Noreste de México y su relación con los yacimientos estratoligados de fluorita, barita celestina y Zn-Pb: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo LIX, Núm. 1, 43-62.
- Haig, D.W., Watkins, D.K., Ellis, G., 1996. Mid-Cretaceous calcareous and siliceous microfossils from the basal Gearle Siltstone, Giralia Anticline, Southern Carnarvon Basin: alcheringa: Australasian Journal of Paleontology, Vol. 20, Núm. 1, 41-68.
- Jones, R.W., 2006. Applied Paleontology: Cambridge University Press, Inglaterra, 434 p.
- Kalanat, B., Vahidinia, M., Vaziri-Moghaddam, H., Mahmudy-Gharaie, M.H., 2016.
  Planktonic Foraminiferal turnover across the Cenomanian-Turonian boundary (OAE2) in the northeast of the Tethys realm, Kopet-Dagh Basin: Geologica Carpathica, Vol. 67, Núm. 5, 451-462.
- **Kruglikova, S.B., 1989**. Certain aspects of Radiolarian data as evidence of the paleoenvironment: *Paleogoegraphy, Paleoclimatology, Paleoecology*, 69, 303-320.
- Lehmann, Ch., Osleger, D.A., Montañez, I.P., Sliter, W., Arnaud-Vanneau, A., Banner, J., 1999. Evolution of Cupido and Coahuila carbonate platforms, Early Cretaceous,

northeastern Mexico: Geological Society of America Bulletin, Vol. 111, Núm. 7, 1010-1029

- Longoria, F.J., 1975. Estratigrafía de la Seria Comancheana del Noreste de México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo XXXVI, 31-59.
- Longoria, F.J., Malcom-Clowes, D., Monreal, R., 1999. Type Mesozoic succession of northern Mexico: Cañon La Casita: Geological Society of America Special Paper 340, 287-318.
- López-Doncel, R., 1991. Mapeo geológico en el área Puente de Dios al norte del estado de Nuevo León y desarrollo facial de las Formaciones Aurora, Cuesta del Cura y Agua Nueva (Albiano-Turoniano) en las regiones de Galeana e Iturbide, Nuevo León: Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL, México, 113 p.
- López-Doncel, R., 2003. La Formación Tamabra del Cretácico medio en la porción central del margen occidental de la Plataforma Valles-San Luis Potosí, centro-noreste de México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. Vol. 20, Núm. 1, 1-19.
- Malchus, N., Pons, J.M., Salas, R., 1995. Rudist distribution in the lower Aptian shallow Platform of La Mola de Xert, Eastern Iberian Range, NE Spain: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 12, Núm. 2, 224-235.
- Martínez-Chacón, M.L., Rivas, P., 2009. Paleontología de Invertebrados: Sociedad Española de Paleontología-Universidad de Oviedo-Universidad de Granada-Instituto Geológico y Minero de España, España, 534 p.
- Medina-Barrera-F., De León-Gómez, H., Masuch-Oesterreich, D., 1998. Análisis cinemático de cortes de carreteras en la Sierra Madre Oriental, Noreste de México: GEOGACETA, 23, 95-98.
- Molina, E., 2004. Micropaleontología, 2da. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza, España, 704 p.
- Mullerried, F.K.G., 1944. Geología del Estado de Nuevo León: An. Inst. Invest. Cient., Tomo I, Núm. 1, 167-199.
- Neagu, T., 2005. Albian Foraminfera of the Romanian Plain. Planktonic Foraminfera: Acta Paleontógica Romaniae, Vol. 5, 311-332.
- Núñez-Useche, F., Barragán, R., 2012. Microfacies analysis and paleoenvironmental dynamic of the Barremian-Albian interval in Sierra del Rosario, Eastern Durango state, Mexico: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 29, Núm. 1, 204-218.
- Omaña, L., Alencáster, G., Buitrón, B.E., 2016. Mid-early late Albian foraminiferal assemblage from the El Abra Formation in the El Madroño locality, eastern Valles-San Luis Potosí Platform, México: Paleoenvironmental and paleobiogeographical significance: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Vol. 68, Núm. 3, 477-496.
- **Omaña-Pulido L., Pantoja-Alor, J., 1998**. Early Aptian Benthic Foraminifera form the Cajón Formation, Huetamo, Michoacán, SW México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 15, Núm. 1, 64-72.
- Padilla y Sánchez, R.J., 1981. Paleogeografía y tectónica del Mesozoico en México: Revista del Instituto de Geología, UNAM, Vol. 5, Núm. 2, 158-177.
- 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, Vol. 25, Núm. 1, 157-206.
- Padilla y Sánchez, R.J., 2007. Evolución geológica del sureste mexicano desde el Mesozoico al presente en el contexto regional del Golfo de México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo LIX, Núm. 1, 19-42.
- Padilla y Sánchez, R.J., Aranda-García, M., Marrett, R., 2000. Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Vol. LIII, 1-26.
- Pichardo-Barrón, Y., 2002. Evolución Paleogeográfica de la fauna arrecifal (Hauteriviano-Aptiano) del Cerro de Labradores, Galeana, Nuevo León, México: Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL, México, 136 p.

- Rami, M., Reza-Vaziri-M., Khalil-Abad, M-T., Hosseini, S.A., Carević, I., Allameh, M.,
  2012. Microbiostratigraphy of the Lower Cretaceous strata from the Bararig Moutain,
  SE Iran: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 29, Núm. 1, 63-75.
- Scholle, P.A., Ulmer-Scholle, D.S., 2003. A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: Grains, textures, porosity, diagenesis. AAPG Memoir 77, Estados Unidos de América, 459 p.
- Skelton, P.W., Spicer, R.A., Kelley, S.P., Gilmour, I., 2003. The Cretaceous World. Cambridge University Press, Inglaterra, 360 p.
- Tardy, M., 1972. Sobre la estratigrafía de la Sierra Madre Oriental en el sector de Parras, Coahuila: Distinción de las serires Coahuilense y Parrense: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Vol. 33, Núm. 2, 51-70.
- Wilson, J.L., 1975. Carbonate Facies in Geologic History, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Alemania, 471 p.
- Young, K., 1986. The Albian-Cenomanian (Lower Cretaceous-Upper Cretaceous) Boundary in Texas and the Northern Mexico: Journal of Paleontology, Vol. 60, Núm. 6, 1212-1219.

#### PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE MONTEMORELOS



Perfil estratigráfico de Montemorelos.

#### PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL CAÑÓN DE MIRELES



Perfil estratigráfico del Cañón de Mireles.

#### MODELO PALEOAMBIENTAL

