



UNIVERSIDAD DE SONORA

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y
TECNOLÓGICAS**

POSGRADO EN BIOCENCIAS

PALEOECOLOGÍA DE UNA COMUNIDAD MARINA DEL CRETÁCICO INFERIOR EN EL ÁREA DE CERRO DE ORO, RAYÓN, SONORA, MÉXICO

TESIS

que para obtener el grado de:

MAESTRO EN BIOCENCIAS

presenta:

JESÚS ENRIQUE VELAZQUEZ HERAS

Hermosillo, Sonora, México

Agosto del 2021

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

Hermosillo, Sonora a 17 de agosto del 2021

Asunto: Cesión de derechos

**UNIVERSIDAD DE SONORA
P R E S E N T E.**

Por este conducto hago constar que soy autor y titular de la obra denominada **Paleoecología de una comunidad marina del Cretácico Inferior en el área de Cerro de Oro, Rayón, Sonora, México**, en los sucesivo LA OBRA, realizada como trabajo terminal con el propósito de obtener el Grado de **Maestro en Biociencias** virtud de lo cual autorizo a la Universidad de Sonora (UNISON) para que efectúe la divulgación, publicación, comunicación pública, distribución, distribución pública, distribución electrónica y reproducción, así como la digitalización de la misma, con fines académicos o propios de la institución y se integren a los repositorios de la universidad, estatales, regionales, nacionales e internacionales.

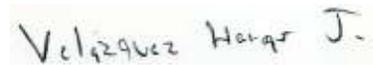
La UNISON se compromete a respetar en todo momento mi autoría y a otorgarme el crédito correspondiente en todas las actividades mencionadas anteriormente.

De la misma manera, manifiesto que el contenido académico, literario, la edición y en general cualquier parte de LA OBRA son de mi entera responsabilidad, por lo que deslindo a la UNISON por cualquier violación a los derechos de autor y/o propiedad intelectual y/o cualquier responsabilidad relacionada con la OBRA que cometa el suscrito frente a terceros.

ATENTAMENTE



LIC. GILBERTO LEÓN LEÓN
Abogado General
UNIVERSIDAD DE SONORA



Jesús Enrique Velázquez Heras

Hermosillo, Sonora, México

Agosto, 2021

PALEOECOLOGÍA DE UNA COMUNIDAD MARINA DEL CRETÁCICO INFERIOR EN
EL ÁREA DE CERRO DE ORO, RAYÓN, SONORA, MÉXICO

T E S I S

que para obtener el grado de:

MAESTRO EN BIOCENCIAS

presenta:

JESÚS ENRIQUE VELAZQUEZ HERAS

Hermosillo, Sonora, México

Agosto del 2021

APROBACIÓN

Los miembros del Comité designado para revisar la tesis titulada **Paleoecología de una comunidad marina del Cretácico Inferior del área de Cerro De Oro, Rayón, Sonora, México** presentada por **Jesús Enrique Velazquez Heras**, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Biociencias.



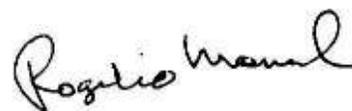
Dr. Francisco Javier Cuen Romero
Director



Dra. Reyna Amanda Castillo Gámez
Co-directora



Dr. Fernando Enríquez Ocaña
Secretario sinodal



Dr. Rogelio Monreal Saavedra
Sinodal interno



Dra. Blanca Estela Buitrón Sánchez
Sinodal externo

DEDICATORIA

A mis padres Jesús y Martina, quienes me brindaron su amor, conocimiento y su fé para que yo llegara a cumplir este gran paso en mi vida, el cual anhelé desde que yo era pequeño. Hacer ciencia.

A mi hermana Ana Lucía, la cual ha sido un gran apoyo y compañía a lo largo de mi vida.

A mi abuela Lucía, la cual me ha criado como si fuera su hijo y ha dado todo su amor para que fuese posible que yo llegase a superarme hasta este punto.

A mi amigo Jesús Eduardo, que siempre ha estado conmigo a lo largo de mi vida brindándome una amistad llena de consejos, compañía, hermandad y una manera distinta de ver lo que vivo hoy en día.

A mis amigos Alberto, Alex, Cesar, Claudio, Iván, Miguel, Nario y Ofelia por siempre estar para mí en esos momentos que los he necesitado.

Agradezco a Alba, Elizabeth, Georgina, Javier, Mazuly y Sara por ser de las mejores cosas que me he podido encontrar en este bello desierto. Gracias siempre por su amistad.

Agradezco a Jazmin que fue una de las personas que más le hubiera interesado ver que fue lo que plasmé en estas páginas. Espero que donde quiera que estés, algún día puedas leerme.

Dedico en particular este documento a los encargados de motivarme en mi camino como forjador de la ciencia a mis maestros el M.C. Cesar Higareda, la Dr. Edith Montoya, el M.C. Gilberto Marquez, el Dr. Hipolito Castillo y el M.C. Roberto Carcamo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco mi director de Tesis, Dr. Francisco Javier Cuen Romero por ser un gran amigo, por brindarme su sabiduría y atención a lo largo de la culminación de este proyecto, a motivarme a seguir en este camino y hacerme ver lo grandioso que puede llegar a ser hacer ciencia.

A mi Co-directora, la Dra. Reyna Amanda Castillo Gamez con quien pude contar a lo largo de todo este proceso.

Un especial agradecimiento al Dr. Rogelio Monreal Saavedra quien nos proporcionó el material estudiado y nos asesoró para describir las características paleoambientales y sedimentológicas que se discutieron en este proyecto.

A lo miembros de mi comité de tesis: el Dr. Luis Fernando Enríquez Ocaña y la Dra. Blanca Estela Buitrón Sanchez, por sus consejos en la redacción de la tesis, sus comentarios y sobre todo su apoyo.

A la M.C. Dolores Vasquez del Castillo quien me dio buenos consejos, apoyo y me permitió llevar a cabo mi posgrado de una forma eficiente.

Agradezco a mis profesores el Dr. Luis Enrique Millan, el Dr. Jose Raúl Romo León y la Dra. Maria Cristina Peñalba Garmendia por esas increíbles enseñanzas que me llevo a lo largo de sus clases de posgrado.

RESUMEN

El Cretácico Temprano, a nivel mundial, se caracteriza por eventos de regresión y transgresión marina, los cuales dieron paso a procesos de radiación de especies. Particularmente, los invertebrados marinos se vieron afectados por estos eventos de oscilación del nivel del mar que generaron barreras geográficas, como también la conexión entre los diferentes hábitats, propiciando la especiación, de lo cual se tiene limitado registro en el estado de Sonora. Este trabajo es el primer estudio de la paleoecología de las faunas de invertebrados marinos del Cretácico Inferior ubicadas en Sonora central. En las inmediaciones de Cerro El Caloso, ubicado al sur del ejido Cerro de Oro, se han identificado un total de 30 especies, donde se describieron organismos como foraminíferos, corales, bivalvos, gasterópodos, cefalópodos y equinodermos. Estas paleocomunidades formaron parte de lo que se conoce durante el Cretácico Temprano como Mar Interior de Norteamérica, el cual cubrió parte de Canadá, Estados Unidos y México, y estuvieron conectados durante eventos regresivos/transgresivos. Por otra parte, en estos mares habitaron algunas especies endémicas, dentro de las cuales se han identificado a los rudistas *Caprinuloidea* sp. y *Coalcomana ramosa*, y el bivalvo *Remondia furcata*. En la Caliza Mural, se encuentran los organismos mencionados, y los índices paleoecológicos aplicados indican que se cuenta con una diversidad rica en especies en el paleoambiente, donde organismos como el dinoflagelado *Pithonella* sp., el molusco *Cerithium austinense* y el foraminífero *Orbitolina texana* dominan en las comunidades. Asimismo, la distribución descrita para estas paleocomunidades fue de tipo agrupada. La litología se compone de rocas tipo wackestone, floatstone y packstone, las cuales junto con el contenido fosilífero son característicos de ambientes someros lagunares de baja energía. Finalmente, los grupos funcionales y gremios dominantes fueron representados por organismos epifaunales sésiles carnívoros, epifaunales vágiles herbívoros y epifaunales vágiles saprófagos.

Palabras clave: Cretácico, paleoecología, invertebrados, grupos funcionales, paleoecosistemas.

ABSTRACT

Worldwide, the Early Cretaceous is characterized by oceanic regression and transgression events, which impuled the radiation processes of species. In particular, marine invertebrates were affected by these oscillation events, which generated geographical barriers, as well as the connection between the different ecological niches, promoting speciation of which there is limited record in the state of Sonora. This work is the first study of the paleoecology of the Lower Cretaceous marine invertebrate fauna located in central Sonora. In the El Caloso Hill, located south of Cerro de Oro, a total of 30 species were identified, where organisms such as foraminifera, corals, bivalves, gastropods, cephalopods and echinoderms were described. These paleocommunities were part of what is known during the Early Cretaceous as the Western Interior Seaway, which covered part of Canada, the United States and Mexico, which were connected during regressive/transgressive events. However, some endemic species inhabited these seas, within which it was possible to identify the rudists *Caprinuloidea* sp. and *Coalcomana ramosa*, and the bivalve *Remondia furcata*. In the Mural Limestone, on which the mentioned organisms were found, the applied paleocological indexes show a rich species diversity on the paleoambient, where organisms like dinoflagellate *Pithoniella* sp. the mollusk *Cerithium austinense*, and the forminifera *Orbitolina texana* dominate these communities. In addition, the distribution described for these paleocommunities was defined as a grouped type. The lithology described for these environments is composed of wackestone, floatstone and packstone, which along with the fossil content are characteristic of a shallow lagoon environment with low energy. Finally, the dominant guilds were represented by carnívorous sessile epifaunal, herbivore vágile epifaunals and saprophagous vágile epifaunals organisms.

Key words: Cretaceous, palaeoecology, invertebrates, guilds, paleoecosystems.

ÍNDICE GENERAL

	Página
APROBACIÓN	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
INTRODUCCIÓN	1
Oscilaciones marinas del Cretácico y su papel evolutivo	1
Oscilaciones marinas en México	4
Importancia de los invertebrados marinos	5
I. ANTECEDENTES	9
I.1. Invertebrados del Cretácico Inferior en México	9
I.2. Estudios previos de invertebrados marinos en Sonora	10
I.3. Paleoecología del Cretácico Inferior en México	11
I.4. Estudios previos en el área de estudio	12
II. HIPOTESIS	14
III. OBJETIVOS	15
III.1. Objetivo general	15
III.2. Objetivos específicos	15
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	16
IV.1. Área de estudio	16
IV.2. Metodología	17
V. RESULTADOS	24
V.1. Análisis paleoambiental	24
V.2. Análisis paleontológico y paleobiogeografía	35
V.3. Paleoecología	49
V.3.1. Análisis ecológicos	49

V.3.2. Índices ecológicos	55
V.3.3. Dominancia de Simpson	56
V.3.4. Reciprocidad de Simpson	57
V.3.5. Diversidad de Shannon-Weaver	57
V.3.6. Diversidad de especies de Menhinick	57
V.3.7. Riqueza de especies de Chao	58
V.3.8. Grupos funcionales	58
VI. DISCUSIÓN	67
VII. CONCLUSIONES	71
VIII. RECOMENDACIONES	74
IX. LITERATURA CITADA	75

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Mapa de localización del área de estudio Cerro El Caloso.	16
2	Mapa geológico de Cerro El Caloso tomado de Servicio Geológico Mexicano.	17
3	Dibujo de vista en perfil de Cerro El Caloso con sus unidades estratigráficas (1-7) y sus puntos de recolecta de muestras de roca (CO-).	25
4	Floatstone con restos de bivalvos, fragmentos de equinodermos y presencia de pellets.	25
5	Floatstone con restos de bivalvos, equinodermos con presencia de micrita en conjunto con pellets.	26
6	Wackestone con intraclastos, presencia de <i>Pithonella</i> de forma escasa, abundantes fragmentos de equinodermos y crinoides planctónicos como <i>Saccocoma</i> , además de fragmentos de braquiópodos. Ocasionalmente se observan partículas terrígenas.	26
7	Caliza arenosa con fragmentos de ostrácodos.	27
8	Caliza arenosa con fragmentos de bivalvos.	27
9	Caliza arenosa con fragmentos de bivalvos, ostrácodos y equinodermos.	27
10	Packstone con escasa presencia de micrita y pellets.	28
11	Packstone con presencia de micrita y escasos pellets.	28
12	Floatstone y packstone, con presencia de pellets, escasos bivalvos y partículas terrígenas.	28
13	Floatstone con presencia de rotálidos, fragmentos de ostrácodos, partes de equinodermos y pellets.	29
14	Floatstone con fragmentos de equinodermos y pellets.	29
15	Floatstone con presencia de pellets, ostrácodos y fragmentos de equinodermos. Presencia de partículas terrígenas.	29
16	Wackestone con presencia de pellets y partículas terrígenas.	30
17	Wackestone, presencia de <i>Pithonella</i> , trazas de equinodermos, braquiópodos, ostrácodos, bivalvos y gasterópodos. Presencia de partículas terrígenas.	30
18	Wackestone, con presencia de <i>Pithonella</i> , cnidarios, abundantes fragmentos de equinodermos, rotálidos, bivalvos y partículas terrígenas.	30
19	Floatstone con fragmentos de bivalvos, presencia de micrita y escasos pellets.	31
20	Floatstone, presencia de intraclastos, espinas de equinodermos, braquiópodos, rotálidos, bivalvos y partículas terrígenas.	31

21	Packstone con presencia de pellets.	31
22	Packstone con presencia de de ostrácodos, restos de bivalvos y equinodermos.	32
23	Wackestone con partículas terrígenas.	32
24	Wackestone.	32
25	Wackestone, equinodermos, braquiópodos, rotálidos, bivalvos y partículas terrígenas.	33
26	Caliza arenosa con fragmentos de rotálidos.	33
27	Caliza arenosa con presencia de pellets.	33
28	Wackestone, espinas de equinodermos, braquiópodos y rotálidos, bivalvos, gasterópodos y partículas terrígenas.	34
29	Wackestone, con presencia de <i>Orbitolina texana</i> .	34
30	Wackestone, con restos de bivalvos.	34
31	Wackestone, con intraclastos, pellets, equinodermos, rotálidos, orbitolinidos (<i>Orbitolina texana</i>) y bivalvos.	35
32	Curvas de rango-abundancia de las tres estaciones descritas en la Tabla 2.	53
33	Porcentaje de especies/gremios presentes en la estación 1.	60
34	Porcentaje de individuos/gremio presentes en la estación 1.	61
35	Porcentaje de especies/gremios presentes en la estación 2.	62
36	Porcentaje de individuos/gremio presentes en la estación 2.	63
37	Porcentaje de especies/gremios presentes en la estación 3.	65
38	Porcentaje de individuos/gremios presentes en la estación 3.	66

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA		PÁGINA
1	Distribución de especies muestreadas. A= Abundancia, AR= Abundancia relativa.	50
2	Distribución de especies por estación. A= Abundancia, AR= Abundancia relativa.	51
3	Distribución por estación. Var = Varianza, Media, Distribución espacial y tratamiento estadístico sugerido.	54
4	Índices ecológicos utilizados para Cerro El Caloso por estación.	56

INTRODUCCIÓN

El Cretácico representa uno de los períodos más activos en la historia de la geósfera y la biósfera (Ashu y Spencer, 2016). Por una parte, la fragmentación del supercontinente Pangea a inicios del Mesozoico provocó que los continentes tomaran la dinámica de deriva que presentan actualmente, además de generar nuevas regiones costeras y un incremento en los hábitats marinos cercanos a estas. También, una explosión de nanoplancton calcáreo y foraminíferos en los mares cálidos propició la formación de enormes depósitos de rocas carbonatadas. A mediados del Cretácico, el aumento en la actividad volcánica submarina cambió radicalmente las condiciones de super efecto invernadero, mientras que en los ecosistemas continentales florecían las angiospermas y prosperaban los grandes reptiles (Ogg *et al.*, 2012).

Cronológicamente, el Cretácico comprende de los 145.7 a 66 Ma, con una duración aproximada de 80 Ma, la base de este sistema está definida por la primera aparición de *Calpionella alpina* (Berriasiano), mientras que el límite superior está representado por una anomalía de iridio y la presencia del ammonite *Pachydiscus neubergicus* (Maastrichtiano) (Ogg *et al.*, 2016).

Oscilaciones marinas del Cretácico y su papel evolutivo

Una de las principales características del Cretácico es el aumento significativo del nivel del mar en intervalos de tiempo relativamente cortos, debido principalmente a la paleogeografía del planeta (Ray *et al.*, 2019). Durante el Cretácico Temprano el nivel del mar aumentó aproximadamente de 100 a 200 m, mientras que durante el Cretácico Tardío se registra un ascenso de 200 a 250 m más que en la actualidad (Haq, 2014). Los altos niveles del mar durante el Cretácico se consideran como el resultado del desplazamiento del agua en las cuencas marinas debido a la ampliación de las dorsales oceánicas (Rafferty, 2010). Lo anterior, provocó que durante el Cretácico Tardío las aguas marinas inundaran los continentes, creando mares epicontinentales relativamente someros en América del Norte, América del Sur, Europa, Rusia, África y Australia (Reyment y Dingle, 1987; Riccardi, 1988; Ruffell, 1991; Lowery *et al.*, 2018). De igual manera, la extensión territorial de todos los continentes fue reducida a medida

que las zonas costeras eran inundadas. Se ha calculado que la tierra firme cubría el 18% en comparación con el aproximado 30% que cubre en la actualidad (Rafferty, 2010).

Durante el Cretácico, las aguas del Ártico en las cuales prácticamente no había hielo, estaban conectadas a las corrientes marinas del Tethys, a través mares someros desarrollados en la parte central de América del Norte y Rusia (Spicer y Herman, 2010). Debido a la batimetría somera de los mares, las faunas marinas que habitaban en la parte sur del Atlántico podían migrar al Tethys a través de los que actualmente es Nigeria, Níger, Chad y Libia (Pérez-Díaz y Eagles, 2017). La mayor parte de las áreas de Europa occidental, este de Australia, algunas regiones de África, Sudamérica, India, Madagascar, entre otras, estuvieron cubiertas por aguas marinas durante algún tiempo en el Cretácico (Macellari, 1988; Rafferty, 2010).

Por otra parte, diversas investigaciones independientes indican la existencia de 5 a 15 ciclos de transgresión-regresión a nivel mundial durante el Cretácico (Kauffman, 1977; Barron y Washington, 1982; Mancini y Puckett, 2002; Rafferty, 2010). Las regresiones se llevan a cabo cuando la línea de costa se regresa hacia el mar, que pueden ser producidas por disminuciones en el nivel del mar u otros factores como procesos tectónicos. Mientras que en las transgresiones se dan cuando la línea de costa transgrede o avanza hacia el continente y pueden ser producidas cuando se eleva el nivel de los océanos u otros factores. En estos procesos se generan nuevos grupos faunísticos debido a la formación de nuevos nichos ecológicos y/o ecoespacios disponibles (Ramsbottom, 1979). A mediados del Cretácico, América del Norte y Australia experimentaron importantes transgresiones. En el Cretácico Tardío la mayor parte de las masas continentales fueron cubiertas por aguas marinas debido principalmente al deshielo en los polos, pero no de manera simultánea. Estos ciclos marinos de aumento y descenso del nivel del mar, fueron controlados principalmente por procesos eustáticos y por un clima cálido uniforme (Kauffman, 1977; Barron y Washington, 1982).

Las regresiones marinas juegan un papel evolutivo muy importante. En ambientes de poca profundidad se caracterizan por el aislamiento y remoción de especies, mientras que las transgresiones generan la conexión, por medio de mares epicontinentales, para los organismos anteriormente aislados (Hallam y Cohen, 1989). Particularmente, los invertebrados marinos experimentaron estos eventos durante el Cretácico Temprano, dando como resultado diversas radiaciones adaptativas (Alroy *et al.*, 2008). Un claro ejemplo de esto es el intercambio de los

principales formadores arrecifales u organismos que generaban estructuras afines a estos, como los moluscos rudistas. Durante el Jurásico Medio-Tardío, el aumento de arrecifes principalmente por corales escleractinios y los estromatopóridos disminuyó drásticamente (Scott, 1988; Wood, 2001; Benton y Harper, 2010). Por otra parte, las asociaciones de rudistas proliferaron a lo largo todo el Cretácico, alcanzando ambientes de condiciones someras de altas temperaturas, mayor turbidez, y sustratos con altas tasas de sedimentación (Gili *et al.*, 1995). El desplazamiento de los corales hacia aguas más profundas fue probablemente provocado por diferentes factores como el alza casi exponencial del nivel del mar, el aumento de la temperatura, la disminución del acarreo de nutrientes continentales y su imposibilidad de colonizar ambientes de aguas continentales poco profundas (Scott, 1988; Hallam, 1992). Otro factor importante fue el cambio de la composición química de los océanos, que, en conjunto con el alza de la temperatura y los niveles de CO₂ del planeta, favorecieron la formación de mares aragoníticos, principal componente estructural de los invertebrados marinos durante el Cretácico, particularmente los rudistas (Pascual-Cebrian *et al.*, 2016). Los corales escleractinios siguieron formando estructuras de calcita, la cual para la época era difícil de integrar, por lo que estos se generaban a un ritmo más lento (Sánchez-Beristain *et al.*, 2016).

Respecto a la distribución paleobiogeográfica de faunas marinas durante el Cretácico, se han documentado tres regiones biogeográficas distintas: región boreal norte, región boreal sur y la región del Tethys (Michalík y Leereveld, 1997; Rafferty, 2010). La región del Tethys separó las dos regiones boreales, y se caracteriza por la presencia de rudistas y corales como principales formadores de arrecifes, así como foraminíferos y ammonites, los cuales habitaron las aguas más cálidas de esta región (Steuber y Löser, 2000). No obstante, las estructuras orgánicas parecidas a arrecifes fueron dominadas por los rudistas (Gili *et al.*, 1995). Los rudistas se distribuyen principalmente dentro de la región del Tethys, y son importantes porque las rocas donde estos se encuentran funcionan como reservorios de petróleo en México, Venezuela y Medio Oriente (Cuen-Romero *et al.*, 2007).

Otros organismos restringidos casi por completo a la región del Tethys son las algas calcáreas, foraminíferos bentónicos, corales coloniales, gasterópodos acteonélidos y nerineidos, algunos ammonites y equinodermos. En contraste, los belemnites estaban confinados a aguas frías en las regiones boreales. Dentro de la región boreal destacan moluscos bivalvos como

Exogyra y *Gryphaea*, los cuales tuvieron una distribución cosmopolita (Rafferty, 2010). El plancton adquirió un aspecto similar a las formas modernas al final del Cretácico. Los cocolitofóridos llegaron a ser tan abundantes en el Cretácico Tardío que formaron importantes sedimentos calcáreos en asociación con los foraminíferos planctónicos. Los animales y plantas unicelulares menos abundantes, pero importantes del Cretácico incluyen a las diatomeas, radiolarios, dinoflagelados, ostrácodos y calpionélidos.

Oscilaciones marinas en México

Las oscilaciones en el nivel del mar durante el Cretácico han sido ampliamente estudiadas en Norteamérica y en México (Alencáster, 1978; Matsumoto, 1980; García-Barrera, 2006). Estos eventos han quedado registrados en los estados de Coahuila, Chihuahua, Puebla, Oaxaca, Sonora, entre otros (Imlay, 1944).

Durante el intervalo de tiempo del Albiano (113 – 100,5 Ma) del Cretácico Temprano, el mar de Tethys propició la extensión del Golfo de México, el cual cubrió una gran parte del territorio nacional, donde se desarrollaron grandes extensiones de plataforma continental y abundantes mares someros, en los cuales proliferaron extensos arrecifes coralinos y bancos de rudistas (Alencáster y Flores-Timoteo, 2009). Estas intrusiones de agua epicontinental formaron parte de una gran masa de agua conocida como Mar Interior Occidental/*Western Interior Seaway* (WIS), un mar con aproximadamente 6000 km de extensión. El WIS se expandía desde el norte de Alaska hasta el sur de México, dividiendo Norteamérica desde los tiempos del Albiano hasta el Maastrichtiano (113 – 66 Ma). Su expansión generó la unión de las masas de agua polares con las ecuatoriales (Hay *et al.*, 1993).

El WIS comenzó a formarse hace 120 millones de años con la orogenia Sevier, la cual fue producto de la convergencia de 2 placas, la placa oceánica Farallón; y la placa continental norteamericana (Hintze, 2005). Este proceso creó cuencas donde hoy se ubican las cordilleras de la meseta de Colorado y las montañas Rocallosas. La cuenca se inundó progresivamente debido a procesos como el derretimiento de las capas de hielo terrestre debido al aumento progresivo de la temperatura causado por diferentes procesos, incluyendo un aumento en el CO₂ en la atmósfera, así como también por la liberación de las aguas subterráneas que debido a

procesos tectónicos terminaron por emerger a la superficie (Sames *et al.*, 2015). Se especula, que el fin del WIS fue producto del inicio y desarrollo de la orogenia Laramide, ubicada en la parte oeste de Norteamérica mediante la acción de su levantamiento y los efectos de sedimentación que pudieron suceder posteriormente a su formación, eventos que corresponden a finales del Cretácico y parte del Cenozoico (Chang y Liu, 2021). Se estima que la temperatura oceánica del WIS a partir de análisis isotópicos de oxígeno 18 ($\delta^{18}\text{O}$) fue mayor a los 40°C en la capa de agua superficial. Mientras el $\delta^{18}\text{O}$ recopilado en estudios de faunas de bivalvos y gasterópodos revelaron que la temperatura media de este, podía variar de los 5–21°C, esto demostrado durante los tiempos del Campaniano y el Maastrichtiano (83–66 Ma) (He *et al.*, 2005). La salinidad rondaba entre los 29–35 en zonas de alta profundidad, 20–32 en baja profundidad, y 11–26 psu (gramos de sal por litro) en ambientes estuarinos, demostrando que los ambientes de poca profundidad y cercanos al continente tenían una gran influencia de los depósitos de agua dulce proveniente de los ríos, lagos o demás acumulaciones continentales (Petersen *et al.*, 2016). En conjunto, la temperatura, salinidad y la topografía producto de la tectónica y los cambios regresivos/transgresivos provocaron el desarrollo de grupos de invertebrados en lo que hoy es el estado de Sonora.

Durante los eventos de transgresión, gran parte del actual territorio de Sonora estuvo cubierto por mares someros, los cuales propiciaron una abundante fauna de invertebrados marinos como foraminíferos, corales, braquiópodos, bivalvos, gasterópodos, ammonites y equinodermos (González-León, 1988; Scott y González-León, 1991; Monreal-Saavedra, 1997).

Importancia de los invertebrados marinos

Los invertebrados marinos son organismos importantes para la paleontología debido a su potencial estratigráfico y paleoecológico (Hughes *et al.*, 2000). Los invertebrados marinos se conservaron en las diferentes unidades estratigráficas debido a que estos desarrollan conchas y exosqueletos duros, y formaron estructuras como biostromas o biohermas de carbonato de calcio (*e.g.* rudistas del género *Vaccinites*). Estas características han permitido que este grupo se conserve de manera eficaz en el registro fósil, por lo que en algunas ocasiones contiene taxa fósiles que no se repiten. Su diversidad y altas concentraciones de organismos hace posible la

determinación de la edad relativa de las rocas, e incluso describir su evolución biológica (Oriol *et al.*, 1983; Cuen-Romero *et al.*, 2016; Chacón-Baca *et al.*, 2020).

La bioestratigrafía del Cretácico utilizando ammonites es una de las más exitosas ya que poseen una alta diversidad de biozonas a lo largo de todo el mundo. De acuerdo con Lehmann (2015), el Cretácico se puede dividir de 87 a 113 zonas estratigráficas utilizando ammonites, dando como resultado que cada biozona fósil con potencial bioestratigráfico tenga una duración de 0.7 a 0.9 Ma. Los organismos fósiles que constituyen estas biozonas vivieron en las plataformas del mar de Tethys y en las plataformas boreales, cada una con una especie representativa que puede estar presente en una o ambas zonas, como es el caso de *Mortoniceras pricei* los cuales indican el comienzo del Albiano superior de la zona boreal y la zona de Tethys. Es importante remarcar que las subdivisiones temporales del Albiano fueron definidas utilizando ammonites. El Albiano medio fue definido por *Lyelliceras lyelli*, mientras que *Dipoloceras cristatum* define el comienzo del Albiano superior (Gradstein *et al.*, 2012). Otro grupo importante son los protistas alveolados, como los calpionélidos (Valanginiano – Barremiano) (Hardenbol, 1998; Lukeneder y Reháková, 2004; Omaña *et al.*, 2017), los inocerámidos son utilizados para datar el Cretácico tardío (Cobban *et al.*, 2006) y los belemnites, donde algunos grupos como el género *Actinocamax* son utilizados para datar el Cretácico tardío (Christensen, 1990), principalmente de las zonas boreales.

La presencia de invertebrados marinos en los diferentes nichos ecológicos hace que participen en abundantes cadenas tróficas, lo cual, les ha permitido ser referentes paleoecológicos. En mares bentónicos del Cretácico Temprano se ha descrito la posible relación trófica que existía entre el fitoplancton y el zooplancton, ya que el aumento de foraminíferos planctónicos corresponde especialmente al aumento del fitoplancton de esa época (Fraaije *et al.*, 2018). No obstante, algunos grupos de ammonites heteromorfos, como los del suborden Ancyloceratina, se diversificaron a la par con los foraminíferos planctónicos, ya que estos eran su fuente de alimento (Rückheim, 2005; Mikhailova y Baraboshkin, 2009; Fraaije *et al.*, 2018).

Los invertebrados también describen paleoambientes. Es debido a la presencia, de aquellos que poseen conchas u otros materiales duros fosilizables que se llega a identificar ciertas características de los sedimentos y su ambiente de depósito. De acuerdo con el análisis de microfacies en ambientes de caliza carbonatada, Flügel (2010) describe que la presencia de

alta diversidad biótica de algunos organismos como los foraminíferos bentónicos y los corales coloniales zooxantelados, son indicadores de ambientes ubicados en zonas ecuatoriales de clima tropical, entre los grados 30°N -30°S. Por otra parte, en los ambientes de baja diversidad, generalmente de menor temperatura y distribuidos más allá de los grados 30°N -30°S o incluso cercanos a las zonas polares son representados por organismos como esponjas silíceas, corales solitarios azooxantelados, briozoos y cirripedios, presentes en mayor abundancia. De igual manera, algunos sistemas de clasificación de paleoambientes marinos como el de Wilson (1975), tienen como criterio la biota de invertebrados marinos contenidos en los sedimentos para describir los tipos de ambientes, que van desde las aguas profundas de mar abierto dominados por restos de organismos nectobentónicos-pelágicos; hasta los ambientes de intermarea, donde se encuentran principalmente gasterópodos y limitados grupos foraminíferos y ostrácodos. El estudio de microfacies además permite caracterizar algunas condiciones abióticas como profundidad, temperatura, entre otros (Flügel, 2010).

Aunque se tiene un amplio registro de invertebrados marinos del Cretácico en México, la paleoecología de estos no ha sido estudiada a profundidad, particularmente para el estado de Sonora. En efecto, en la comunidad de Cerro de Oro, se han realizado algunos estudios paleontológicos basados en diversos grupos fósiles, sobre todo invertebrados, que han permitido establecer una base bioestratigráfica (González-León, 1988; Monreal, 1994; González-León y Lucas, 1995; Baron-Szabo y González-León, 1999; Monreal *et al.*, 2011). Sin embargo, la paleoecología de la comunidad de invertebrados no ha sido estudiada, aun cuando se ha demostrado que estos contribuirían al conocimiento de la paleontología en el estado y aportarían información muy valiosa desde el punto de vista paleoecológico y paleogeográfico.

Con base en lo anterior, es pertinente realizar esta investigación para aportar un mayor conocimiento sobre la estructura y funcionamiento de las faunas que habitaron la paleocomunidades marinas del Cretácico Inferior de Sonora-Central y observar si estas faunas guardan alguna semejanza taxonómica y funcional con respecto a las cadenas tróficas y comunidades marinas actuales. Este proyecto plantea un estudio paleoecológico de la comunidad marina del Cretácico Temprano encontrada en Cerro de Oro, Municipio de Rayón, Sonora; con la finalidad de conocer la estructura de la comunidad a través del estudio de su taxonomía, la composición sedimentológica y la interpretación paleoambiental de la zona de

deposito de estos organismos y el análisis de la composición de estas paleocomunidades a partir de modelos paleoecológicos y la asignación de sus gremios.

La paleoecología es el estudio de las condiciones de vida que tuvieron los organismos fósiles en su tiempo de vida, analizando sus relaciones y estilos de vida que desempeñaron y sus relaciones con el paleoambiente (Benton y Harper, 2010). Una forma de llevar a cabo los estudios paleoecológicos es por medio del estudio de comunidades. Una comunidad se compone de un grupo de poblaciones con un determinado numero de especies que están sometidas a condiciones bióticas y abióticas que incentivan a los organismos a ser mediadores del transporte de energía y materia por medio de cadenas tróficas dentro de un ecosistema (Begon y Townsend, 2006). Una comunidad puede ser estudiada a partir de diversos índices para resolver las siguientes incognitas: ¿cuántas especies hay en una comunidad?, ¿qué especie es o son dominantes dentro de la comunidad?, ¿algunas comunidades se parecen?, ¿Por qué hay organismos presentes en un cierto ecosistema?, entre otras problemáticas. Odum (1972) describe que no es necesario tomar a todos los organismos de una comunidad entera para caracterizar una comunidad que posee organismos dominantes, los cuales, son los más abundantes dentro de una comunidad, acaparan mayor numero de nutrientes, participan en mayor medida en las cadenas tróficas, cubren la mayor parte del espacio con su distribución, o los que poseen un mayor impacto en la distribución de los otros organismos dentro de una comunidad (Smith y Smith, 2007).

I. ANTECEDENTES

I.1. Invertebrados del Cretácico Inferior en México

Existen reportes llevados a cabo en invertebrados del Cretácico Inferior de México. Se atribuye que los primeros estudios paleontológicos de carácter científico realizados en México fueron efectuados en la región de Tehuacán, Puebla por Galleoti (1839) y Nyest y Galleoti (1840) (Carreño y Montellano-Ballesteros, 2005), donde analizaron faunas de invertebrados marinos del Aptiano. Alencáster (1956), realizó la identificación y asignación estratigráfica utilizando pelecípodos y gasterópodos del Barreminao-Aptiano de las formaciones San Juan Raya y Zapotitlán en el estado de Puebla. Buitrón y Barceló- Duarte (1980), reportaron a *Cossmanea (Eunerinea) poblana* y *Nerinea (Nerinea) sanjuanensis* junto a otras 10 especies de gasterópodos nerineidos en la región de San Juan de Raya, Puebla. Alencáster y Pantoja (1986), reportan la presencia del rudista *Coalcomana ramosa* (Boehm) en estratos del Albiano temprano en el Cerro de Tuxpan, Jalisco, especie de importancia paleoecológica debido a su distribución en el Caribe y Texas. Feldmann *et al.* (1998), documentan en Tepexi de Rodríguez, Puebla, para la Formación Tlayúa, fósiles de isópodos, anomuros y braquiuros. Alencáster y Pantoja-Alor (1998), reportan por primera vez a los rudistas *Huetamia buitronae* y *Douvilleia skeltoni* del Aptiano inferior en Michoacán. Manzo y Franco (2005), establecieron la bioestratigrafía de la formación La Peña, en Nuevo León utilizando ammonites del Aptiano. Barragán y Szives (2007), realizaron la paleobiogeografía aptiana de ammonites del género *Mathoceras* obtenidos de la Formación La Peña, Nuevo León. Barragán y Maurrasse (2008), realizaron un estudio biocronoestratigráfico de la Formación La Peña, Nuevo León, datada del Albiano temprano a partir de la ocurrencia de varias especies de ammonites, en la zona se identificó a *Pseudohaploceras reesidei*, *Dufrenoyia justinae*, *Burckhardtites nazasensis*, *Burckhardtites ehlersi*, *Colombiceras spathi*, *Penaceras rursiradiatus* y *Kazanskyella aff. arizonica*. Applegate *et al.* (2009), documentaron dos nuevos géneros y especies de holoturoideos en Tepexi de Rodríguez, Puebla, datados del Albiano temprano. Buitrón-Sánchez *et al.* (2015), estudiaron en Tepexi de Rodríguez, Puebla, la presencia de siete asteroideos en la Formación Tlayúa, reportada como Albiano temprano. Serrano-Brañas y García (2015), relizaron un análisis tafonómico y de icnofacies del Aptiano de San Juan Raya, Puebla, utilizando fósiles de diversos grupos de invertebrados. Ovando-Figueroa *et al.* (2017), utilizaron ammonites de los géneros

Kazanskyella, *Quitmanites*, *Immunitoceras* y *Huastecoceras* para realizar un análisis taxonómico y estratigráfico del Aptiano superior- Albiano inferior de Cerro Chino, Chihuahua. Vega *et al.* (2019), describieron isópodos del Valanginiano-Hauteriviano provenientes de la Formación San Juan Raya y la Formación Tlayúa en la Barranca El Gavilán, Puebla. Heard *et al.* (2020), describieron a *Protoapseudoidus espinalensis* (Crustacea: Apseudomorpha) del Aptiano inferior de Chiapas. Debido a la importancia y los diversos usos que tienen los invertebrados marinos, estos han impulsado estudios de indole paleontológica no únicamente en el centro y sur de México.

I.2. Estudios previos de invertebrados marinos en Sonora

Existe también un número considerable de estudios en el noroeste de México, concisamente en Sonora. Scott y González-León (1991), dieron a conocer orbitolínidos y otros foraminíferos para la zona de Lampazos (Sonora central), que permitieron datar el área como perteneciente al Barremiano-Albiano. Monreal-Saavedra (1997), reportó una sucesión marina del Cretácico Inferior en el Cerro Las Conchas, aplicando el método de microfacies, reportando fósiles de algas verdes y rojas, foraminíferos, corales, braquiópodos, bivalvos, gasterópodos y equinodermos. Lawton *et al.* (2004), reportaron la estratigrafía aptiana-albiana de la Formación Caliza Mural en los miembros de Cerro La Ceja, Tuape, Los Coyotes, Cerro La Puerta, Cerro La Espina y Mesa Quemada, utilizando foraminíferos bentónicos, bivalvos y ammonites. Monreal *et al.* (2011), describieron las rocas de la sierra Basómari (NE del estado), incluyéndolas dentro de las formaciones Cintura, Morita y Mural pertenecientes al Grupo Bisbee, datando las rocas mediante foraminíferos que proporcionan edades del Aptiano superior al Albiano inferior. Löser (2016), reportó corales de las familias Carolastraeidae, Heterocoeniidae, y Paronastreaeidae, pertenecientes al Barremiano superior y el Albiano inferior del Grupo Bisbee. Robert *et al.* (2018), realizaron la taxonomía de los ammonites del Aptiano-Albiano del area de Lampazos, la sección del Cerro de las Conchas y la Sección de Rancho Buffalo. En conjunto, estos estudios remarcan la importancia que tienen los invertebrados marinos para la comunidad paleontológica no solo de Sonora, sino de todo México. Sin embargo, la paleoecología sigue siendo una rama que no ha sido del todo explorada por los paleontólogos mexicanos.

I.3. Paleoecología del Cretácico Inferior en México

Existen pocos estudios paleoecológicos de invertebrados marinos en México. Para el Paleozoico de México, Cuen-Romero *et al.* (2019) describieron la paleoecología de las formaciones Proveedora, Buelna, Cerro Prieto y El Gavilán en Sonora central, siendo este el único registro paleoecológico del Cámbrico en el país. Torres-Martínez *et al.* (2021), estudiaron la paleoecología y asociaciones de braquiópodos del Pérmico de la Formación Paso Hondo, en Chiapas. El Cenozoico tiene el mayor número de registros paleoecológicos. Stump (1975), estudió la paleoecología de corales, bivalvos, gasterópodos y equinodermos del Pleistoceno de Puerto Libertad, Sonora. Fischer *et al.* (1989), estudiaron la paleoecología de *Diplochaetetes mexicanus* (Polychaeta) del Oligoceno de Baja California. Flessa y Ekdale (1987), realizaron un estudio paleoecológico y tafonómico del Pleistoceno del Golfo de California. Para el Cretácico Superior, Vega-Vera (1988), describió la paleoecología de invertebrados marinos de la Formación Potrerillos de la sierra Antrisco, Nuevo León.

La Paleoecología del Cretácico Inferior en México, al igual que los trabajos de otros tiempos geológicos mencionados está escasamente conocida. Ifrim (2013), describió la paleobiología y la paleoecología de los ammonites de la especie *Pseudaspidoceras flexuosum* Powell, con ejemplares de la sección Vallecillo (noroeste de México), donde determinaron que estos habitaban en zonas de mar abierto, en aguas superficiales, en zonas de abundantes carbonatos debido a que estos organismos poseían espinas en su ornamentación y restos de epibiontes fosilizados en sus conchas. Hernández-Ocaña *et al.* (2015), hicieron un registro paleoecológico con ostreidos de las especies *Ostrea alicula* y *Amphidonte (Ceratostreon) actuticosta* en la formación San Juan Raya, donde, de acuerdo con la tafonomía de la zona de estudio, se determinó que estos organismos conformaron bancos arrecifales, asociados a numerosos organismos como corales, gasterópodos, equinodermos y bivalvos. Sánchez-Beristain *et al.* (2019), reportaron para el Cretácico Inferior de Oaxaca la especie *Acanthochaetetes huaucillensis* (Porifera: Demospongiae) y su paleoecología, donde describieron el crecimiento de microbialitas en la parte superior de estos, como también su asociación con briozoarios columnares, *Coalcomana ramosa* y otros rudistas del género *Amphitriscoelus*, lo que permitió inferir que la zona se asemejaba a un arrecife.

I.4. Estudios previos en el área de estudio

Anteriormente, el área de Cerro de Oro ya ha sido objeto de diversas investigaciones de índole geológico/paleontológico. González-León y Jacques Ayala (1988), dataron estratos del Barremiano-Aptiano temprano expuestos en el área de Cerro de Oro mediante foraminíferos, corales, braquiópodos, bivalvos, gasterópodos y ammonites. González-León (1994), realizó un análisis tectónico-estratigráfico en las rocas del Grupo Bisbe, donde determinó que las cuencas del área de Cerro de Oro fueron formadas a través de mínimo tres eventos regresivos-transgresivos, donde también, surge la idea de que se formó a causa de procesos de hundimiento, debido a una distensión de tipo rift. Monreal (1994), realizó un estudio stratigráfico- estructural y de microfacies en Cerro de Oro, donde describió diversas características de las formaciones Cerro de Oro, Morita y Mural. En la Formación Cerro de Oro identificó tres grupos de microfacies con registro de orbitolínidos, corales, bivalvos, rudistas y equinodermos que asignaron a este conjunto la categoría de un ambiente marino somero y lagunar. Mientras que, en la Formación Morita, reportó trece microfacies con la presencia del fósil índice *Orbitolina texana*, donde se asignó una edad Aptiano-Albiano. En la Caliza Mural se identificaron 24 microfacies, las cuales contenían abundantes algas, miliólidos, foraminíferos bentónicos, orbitolínidos, bivalvos rudistas, gasterópodos y equinodermos en conjunto con intraclastos y pellets, los cuales describen zonas representativas de plataforma interior, plataforma exterior con abundantes rudistas y la zona supramareal. Barón-Szabo y González-León (1999), reportaron corales del Barremiano superior- Albiano medio en las localidades de Cerro de Oro y Lampazos. Löser (2011), realizó una revisión sistemática de corales en la Formación Cerro de Oro de la familia Aulastraeoporidae (suborden Rhipidogyrina) del Barremiano tardío - Albiano temprano. Madhavaraju y González-León (2012), identificaron en el Cerro El Caloso y Pitaycachi acumulaciones de elementos mayores, trazas y tierras raras en una parte de la sección de la Caliza Mural.

Como se describe en trabajos anteriores, Cerro de Oro ha tenido diversas investigaciones, en tópicos como la stratigrafía, geología estructural, microfacies, paleontología, petrografía y taxonomía. Sin embargo, la paleoecología de sus comunidades de invertebrados marinos no ha sido descrita. Por lo que, este es el primer trabajo de paleoecología

del Cretácico Inferior que se realizará en una secuencia estratigráfica expuesta en el área de Cerro de Oro y Sonora.

II. HIPOTESIS

Las paleocomunidades del Cretácico Temprano de Cerro de Oro se depositaron en un ambiente marino de plataforma continental relativamente somera, donde se encuentra una alta biodiversidad y abundancia de invertebrados marinos, pertenecientes a grupos que son importantes en las redes tróficas marinas.

III. OBJETIVOS

III.1 Objetivo general

Determinar la paleoecología de las comunidades marinas de invertebrados del Cretácico Inferior de Cerro de Oro, Sonora.

III.2 Objetivos específicos

1. Identificar los fósiles de invertebrados marinos a la menor categoría taxonómica posible.
2. Establecer la bioestratigrafía con base al contenido fósil de invertebrados marinos.
3. Describir las condiciones paleoambientales de las comunidades fósiles.
4. Determinar la paleoecología, con base a la estructura de la paleocomunidad, grupos funcionales y gremios.
5. Identificar la Paleogeografía.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS.

IV.1. Área de estudio

El Cerro El Caloso se encuentra dentro del área de Cerro de Oro en el Municipio de Rayón, Sonora, al noreste de la ciudad de Hermosillo (Figura. 1); se ubica en las coordenadas $29^{\circ}60'29''$ N y $110^{\circ}62'70''$ W y puede ser localizada en la Carta Geológico Minera H12-D22 del Servicio Geológico Mexicano. El Cerro El Caloso cuenta con afloramientos del Cretacico Inferior (SGM, 1999) y rocas de arenisca y lutita-arenisca (Figura 2).

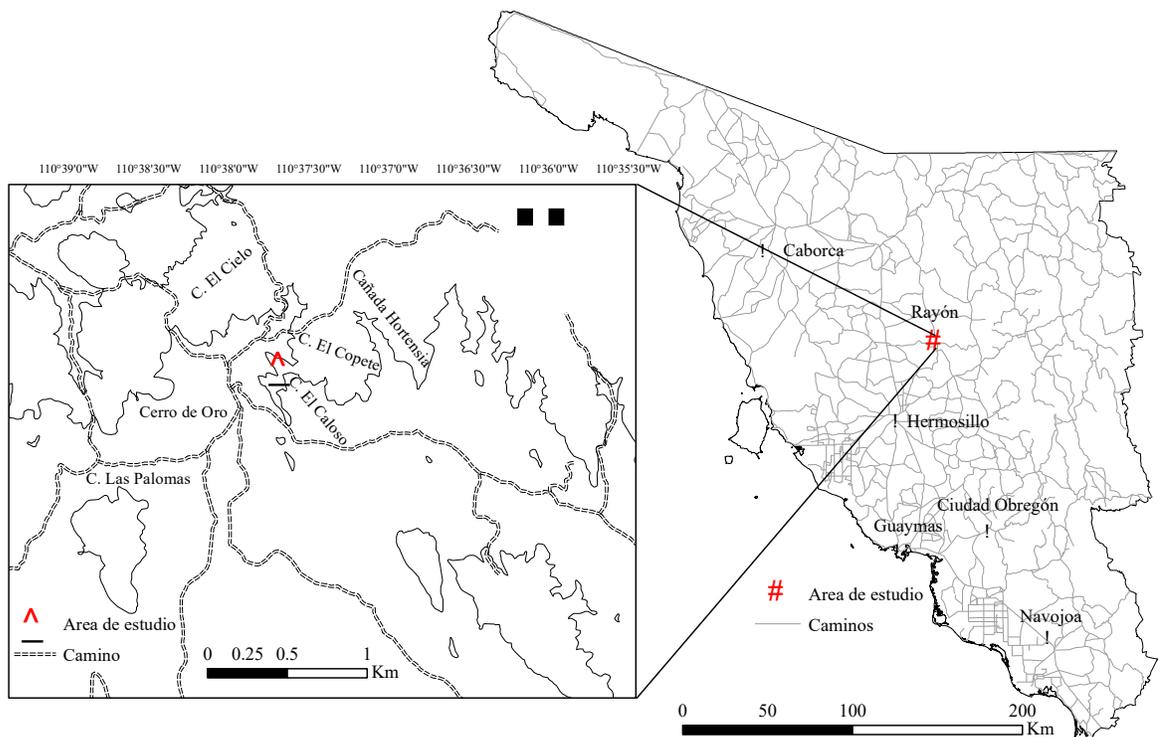


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio donde se muestra la ubicación de Rayón y la ubicación de Cerro El Caloso.

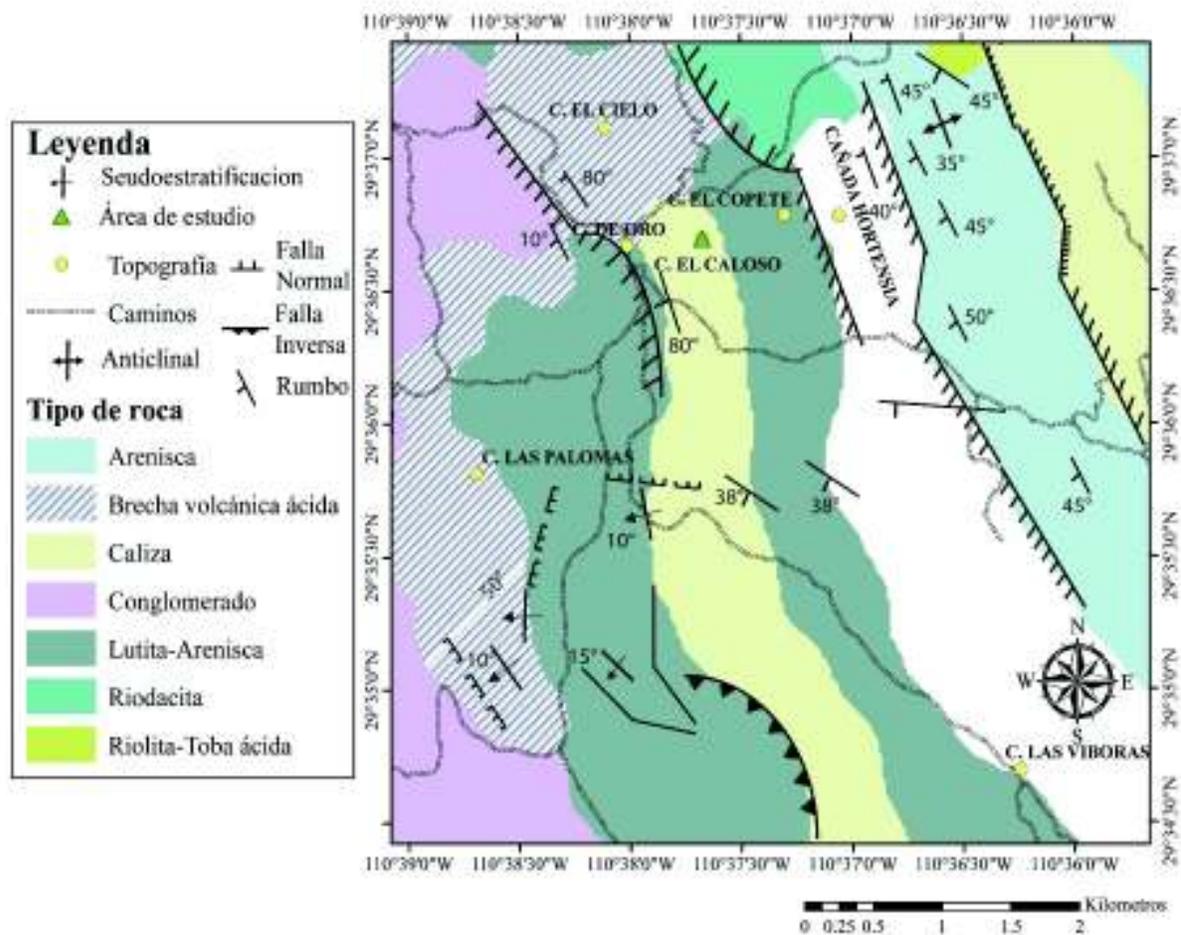


Figura 2. Mapa geológico de Cerro El Caloso tomado de Servicio Geológico Mexicano (SGM, 1999).

IV.2. Metodología

Este estudio se realizó en diferentes fases, las cuales se describen a continuación:

Recopilación bibliográfica: Esta fase se enfocó en la búsqueda de material bibliográfico disponible referente a los estudios de faunas de invertebrados del Cretácico Inferior, estudios paleoecológicos, entre otros tópicos, tanto a nivel global como regional, para delimitar los principales vacíos de conocimiento y problemáticas que buscan ser resueltos con el presente estudio. Dicha información fue seleccionada y descrita en los diversos apartados de este documento para delimitar los conocimientos previos para generar la bibliografía del presente trabajo.

Extracción de material paleontológico: La extracción paleontológica se llevo a cabo en dos pasos, trabajo de campo y trabajo de laboratorio.

Trabajo de campo: Para extraer el material de campo y para definir las unidades estratigráficas, se acudió a los alrededores de Cerro El Caloso. Como primer paso se dio un recorrido a través del lugar y se seleccionaron los puntos que contuvieran rocas sedimentarias. Estos sitios se clasificaron de acuerdo al tipo de roca sedimentaria, para posteriormente generar un registro de tres estaciones en diferentes gradientes altitudinales, donde la estación 1 formó parte de la falda del cerro, la estación 2 la zona intermedia y la estación 3 como la zona con mayor altura. En cada una de las estaciones se realizaron cuadrantes de 1 x 1 metro y se tomaron las coordenadas con ayuda de un GPS, para posteriormente realizar la extracción del material fosil que se encontrara dentro de ellos. Estos fósiles fueron extraídos de la roca con ayuda de un cincel y un martillo. Posteriormente se envolvieron en papel periódico y se transportaron en bolsas de plástico para realizar su limpieza.

Trabajo de laboratorio: Como parte del trabajo de laboratorio se realizó una limpieza mecánica siguiendo los siguientes pasos. Los fósiles fueron introducidos en agua durante unos minutos, para posteriormente colocarlos sobre una superficie suave y liberarlos del exceso de material rocoso con ayuda de martillo, cinceles de diversos tamaños, agujas y una pluma neumática. Posteriormente se aplicó grafito coloidal a cada ejemplar y se tiñeron con una capa de cloruro de amonio sublimado sobre su superficie, lo cual mostró relieves y características que no se aprecian a simple vista en los fósiles (Villas y Herrera, 2001). Finalmente, se tomaron fotografías a blanco y negro del material colectado.

Análisis paleontológico: Con relación al objetivo numero 1, el cual es identificar los fósiles de invertebrados marinos taxonómicamente, se utilizaron los criterios de clasificación que se describen en el *Treatise on Invertebrate Paleontology* (Moore *et al.*, 1959) hasta la categoría de género, y se utilizó la bibliografía con el sistema de clasificación más reciente para llegar al nivel de especie en aquel material que fue conservado sin alteraciones.

Análisis paleoambiental: Para determinar las características paleoambientales correspondientes con el objetivo numero 3, las rocas se procesaron en cortes de láminas delgadas en el Laboratorio de Corte y Laminado del Departamento de Geología de la Universidad de

Sonora. Las laminas se observaron con ayuda de un microscopio petrográfico (Leica EZ4 HD)G para analizar su litología y el contenido microfósil, utilizando las metodologías propuestas por Folk (1962), Dunham (1962), Embry y Klovan (1972), Pettijohn *et al.* (1987) y Flügel (2010).

La metodología de Folk (1962) se utilizó para clasificar las calizas marinas, donde se midió la proporción de la micrita (matriz de calcita de 1 a 4 μm de diámetro) y esparita (cementos carbonatados de más de 4 μm de diámetro) los cuales permitieron inferir el ambiente de depósito de alta o baja energía de corrientes marinas al momento que la roca se depositó.

También se utilizó el método de Dunham (1962) para describir si el ambiente de deposición de las rocas se llevó a cabo en sitios de alta o baja energía; para ello se analizó la composición del sedimento original indicando la presencia o ausencia de lodo (todo aquello menor a 20 μm) y la presencia de unión orgánica de los sedimentos al momento de su depósito. Se clasificaron en lutitas (rocas detríticas que posean menos del 10% de granos mayores a 20 μm), wackestone (rocas carbonatadas que posean más del 10% de granos mayores a 20 μm), packstone (cuando el espacio de los granos es ocupado por micrita), grainstone (cuando el espacio de los granos es ocupado por cemento) y boundstone (cuando los componentes originales del material se unen por la acción de seres vivos).

La clasificación de Embry y Klovan (1972) complementa con otras 5 clases a la clasificación de Dunham (1962): rudstone (textura del grano en la que los agregados poseen un tamaño menor a 2 mm y se encuentran en una proporción superior al 10%), floatstone (textura de matriz, en la que los agregados tienen un tamaño menor a 2 mm y están en una proporción superior al 10%), y boundstone, la cual se divide en 3 subdivisiones:

- 1.- Framestone: bioconstrucción hecha por organismos que construyen armazones rígidos.
- 2.- Bindstone: bioconstrucción hecha por organismos que incrustan y atrapan el sedimento.
- 3.- Bafflestone: bioconstrucción hecha por organismos que acumulan sedimento por efecto pantalla o filtración.

El sistema de clasificación de Pettijohn *et al.* (1987) para determinar las rocas areniscas permite dividir en 2 familias:

Arenitas: porcentaje de matriz menor al 15%. Que se divide a su vez en cinco tipos de arenitas: arenita cuarzosa (cuarzoarenita), arenita lítica (litarenita), sublitarenita, arenita feldespática (arcosa) y subarcosa.

Grauvacas: porcentaje de matriz de 15 a 75%. De acuerdo a la composición, las grauvacas se dividen en grauvaca cuarzosa, grauvaca feldespática y grauvaca lítica.

En caso de que la matriz sea mayor al 75% se les considera como lutitas (Jabbour y Guerra, 2009).

El análisis de microfacies (Flügel, 2010) permitió caracterizar las rocas carbonatadas con base al tipo de grano, cemento, naturaleza de la micrita, tamaño y forma de los granos y la forma de crecimiento de los fósiles localizados en las láminas delgadas, utilizando los criterios de clasificación de Standard Microfacies Types (SMF).

Al finalizar este apartado, se pudo inferir los ambientes de depósito y las edades de las rocas colectadas.

Análisis paleoecológico: Para llevar a cabo el objetivo 4, el cual consiste en evaluar la paleoecología y la composición de las comunidades se llevaron a cabo los siguientes pasos:

Las muestras paleontológicas se cuantificaron con base al número de individuos por especie y la riqueza de especies. Con ayuda del Software Past 3.x ® (Hammer *et al.*, 2011) se realizaron las pruebas de Diversidad de Shannon-Weaver (1949), Dominancia y Reciprocidad de Simpson (1949), Riqueza de especies de Menhinick (1964), Riqueza Total de Chao (2005) y Curvas de Rarefacción (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003). También se determinó el tipo de distribución de la fauna fósil utilizando la clasificación de Ludwig y Reynolds (1988), los gremios de la paleocomunidad realizando un conteo de los organismos donde se revisó la literatura de los grupos y especies obtenidas, para posteriormente clasificarlas utilizando el criterio de clasificación de gremios/grupos morfológicos de Caron y Jackson (2008). Por último, se describió la paleobiogeografía de los organismos fósiles utilizando información recopilada de literatura y de bases de datos como Fossilworks y Paleobiology Database.

Índice de Diversidad de Shannon-Weaver (1949): Este modelo fundamenta que todas las especies han sido representadas en la muestra y que cada individuo observado se obtuvo de manera aleatoria. Este modelo se puede escribir mediante la ecuación:

$$H' = - \sum \rho_i \log_2 \rho_i$$

Dónde:

ρ_i = proporción de individuos pertenecientes a la especie i en la muestra. El valor de ρ_i se estima utilizando la ecuación $\rightarrow N_i/N$, donde N_i es el número de individuos de la especie i y N el total de número de individuos (Zarco-Espinosa, 2010).

Éste toma valores que van de 0.5 a 5. Cuando el resultado oscila de los 0.5 a 2.9 se dice que la diversidad en nuestro estrato es baja. Mientras que los valores de 3 a 5 se consideran como de alta diversidad.

Índice de Dominancia y Reciprocidad de Simpson (1949): Este índice se utilizó para medir la dominancia de especies, tomando en cuenta el número total de especies y la proporción en las que estas son encontradas en una muestra. El índice de Simpson determina la probabilidad de que uno o más individuos de la misma muestra, aleatoriamente seleccionados, correspondan a la misma especie. El valor de Dominancia es siempre < 1 . Este índice se expresa en la siguiente ecuación como:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^S ni(ni - 1)}{N(N - 1)}$$

Donde:

S = número de especies.

N = total de organismos presentes.

n = número de organismos por especie.

Los datos obtenidos varían de 0 a 1, donde el valor de 0 nos dice que hay una mayor diversidad y el valor de 1 que la muestra es dominada por una única especie.

Su inverso se considera como un buen indicador de diversidad y se calcula como: $1-D$

Índice de Diversidad de Menhinick (1964): este índice nos indica la diversidad, donde esta aumenta su valor resultante mientras se tenga un mayor número de especies en la muestra (Ludwig y Reynolds, 1988). La ecuación resultante para este índice se representa como:

$$d_2 = S\sqrt{n}$$

Donde:

S = es el número de especies.

n= es el número de individuos en la muestra.

Índice de Riqueza Total de Chao (2005): Este índice estima el número de especies esperadas para un muestreo considerando que existe una relación entre el número de especies representadas por un individuo y el número de especies representadas por dos individuos en las muestras. Este índice se ve representado en la siguiente ecuación:

$$Ch = S + \frac{F_1(F_1 - 1)}{2(F_2 + 1)}$$

Dónde:

F_1 = número de especies registradas a partir de un individuo.

F_2 = número de especies registradas a partir de dos individuos.

Distribución fósil: La distribución del material fósil se determinó por medio de la clasificación de Ludwig y Reynolds (1988) utilizando análisis estadísticos **media** (μ) y **varianza** (σ^2) del número de individuos por muestra y como estos datos se relacionan entre sí. La clasificación se divide en 3 tipos de distribución.

1. Distribución Aleatoria: donde el valor de la varianza es igual a la media.
2. Distribución Uniforme: donde la varianza es menor que la media.
3. Distribución Agregada: donde la varianza es mayor que la media.

Identificación de gremios y grupos funcionales: Se definieron los gremios fósiles clasificándolos con base a su distribución en la columna de agua, y sus grupos funcionales de acuerdo con sus categorías tróficas utilizando para ambas clasificaciones el sistema de propuesto por Caron y Jackson (2008).

Los **gremios** se dividieron en las categorías: infaunal (I), epifaunal (E): sésil (S) o vágil (V), nectobentónico (NK) y pelágico (P).

Los **grupos funcionales** se dividieron en las categorías: saprófago (SA), detritívoro (DE), cazador y/o carroñero (HS) y forrajero (GR).

Este análisis permitió describir las relaciones paleoecológicas de las comunidades fósiles y así como la dominancia de ciertas especies y los roles que estos desempeñaban en el paleoambiente.

Paleobiogeografía: Como parte del objetivo número 5, el cual es describir la paleogeografía de las comunidades, se tomaron datos de la bibliografía consultada y se hizo una comparativa entre la paleoecología que se describió en la localidad de Cerro de Oro, y otras localidades del Cretácico Inferior con ayuda de bases de datos (Fossilworks y Paleobiology Data Base).

V. RESULTADOS

V. 1 Análisis Paleoambiental

El estudio de las rocas sedimentarias y su composición por medio del análisis bajo el microscopio petrográfico de láminas delgadas ayuda a describir los diferentes escenarios de depósito de las rocas al momento de su depositación. Por lo que los índices propuestos por autores como Folk (1964) y Dunham (1962) son una importante herramienta dentro de los estudios paleoecológicos.

Para Cerro El Caloso se reporta la presencia de rocas carbonatadas de tipo wackestone y floatstone principalmente, las cuales de acuerdo al esquema de Wilson (1975) corresponden a un ambiente lagunar abierto de aguas poco profundas, con influencia de mareas de baja energía. Además, se correlaciona con la abundante fauna de moluscos y equinodermos que fueron encontradas en las estaciones de muestreo de los estratos.

Las muestras de wackestone obtenidas cuentan con la presencia de *Pithonella* (Miozoa), *Orbitolina texana* (Foraminifera) y fragmentos del crinoideo *Saccocoma*. Tanto la roca de tipo wackestone como floatstone cuentan con una amplia composición de fragmentos de braquiópodos, rotálidos, bivalvos, ostrácodos, equinodermos, partículas terrígenas, y en algunos casos pellets. Estos últimos, son un importante indicador de que el área era abundante en oxígeno y nutrientes (Flügel, 2010).

Se definieron un total de 7 unidades de campo (Figura. 3), donde se recolectaron un total de 13 muestras de rocas (CO-1 a CO-13) y muestras fósiles (Figuras 4 a 31). La unidad 1 está conformada de lodolita violeta; la unidad 2 es una intercalación de lodolita púrpura con caliza de capa fina a mediana de color gris medio a oscuro, la parte inferior de la unidad 3 es lodolita de capa delgada marrón claro, la parte superior de la unidad 3 está compuesta de lodolita púrpura, la parte inferior de la unidad 4 es una caliza de capa media gris claro y marrón con abundantes bivalvos de hasta 5 cm de largo, la parte superior de la unidad 4 es una caliza de capa media a gruesa de color gris medio con abundantes bivalvos silicificados y gasterópodos, la unidad 5 es caliza gris clara delgada, algo nodular con abundantes fragmentos fósiles, la parte inferior de la unidad 6 es de lodolita marrón con nódulos calcáreos y algunas capas delgadas de caliza, la parte superior de la unidad 6 es caliza gris resistente de estratificación media, la unidad

7 es de caliza gris de gran espesor.

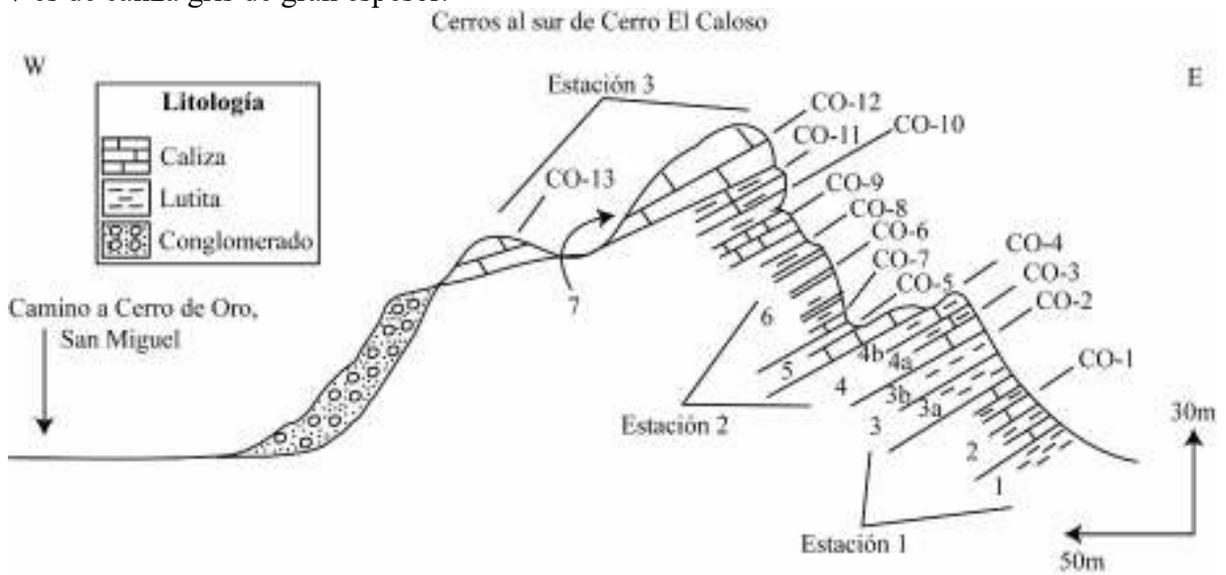


Figura 3. Dibujo de vista en perfil de Cerro El Caloso con sus unidades estratigráficas (1-7) y sus puntos de colecta de muestras de roca (CO-).

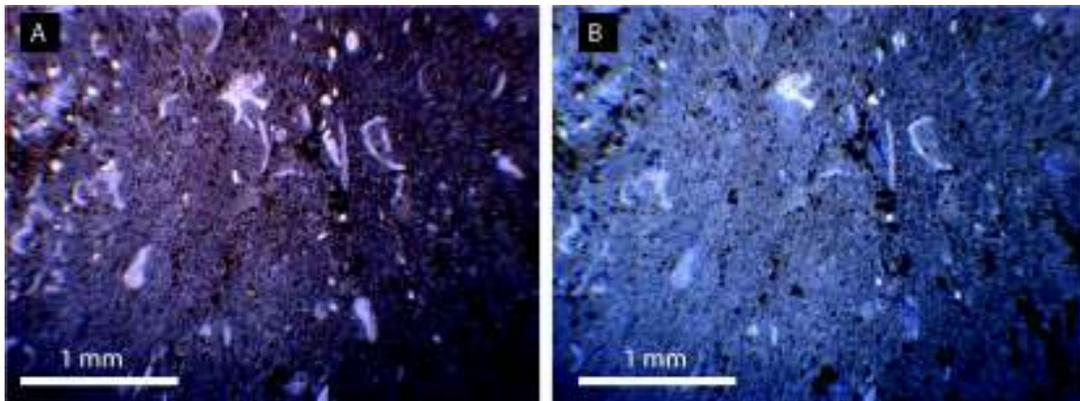


Figura 4. Floatstone con restos de bivalvos, fragmentos de equinodermos y presencia de pellets: A) luz natural y B) luz polarizada. Objetivo: 4X. Punto de recolecta #1 (CO-1).

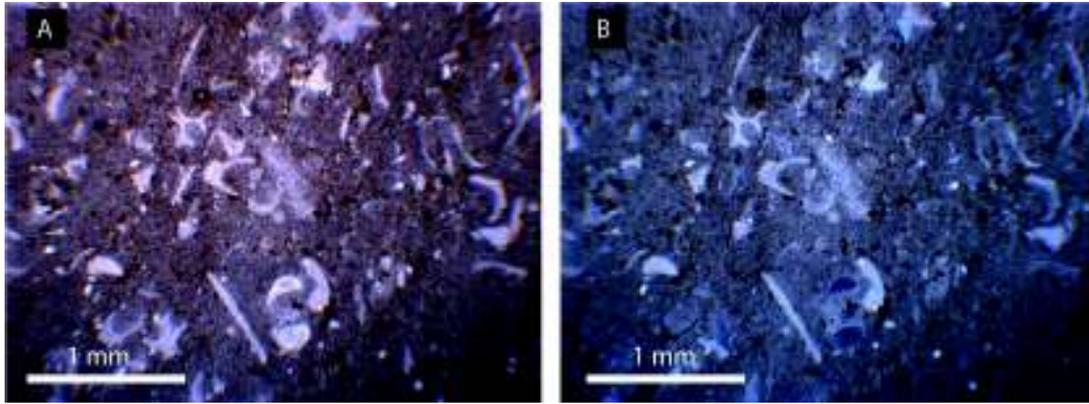


Figura 5. Floatstone con restos de bivalvos, equinodermos con presencia de micrita en conjunto con pellets: A) luz natural y B) luz polarizada. Objetivo: 4X. Punto de recolecta #1 (CO-1).

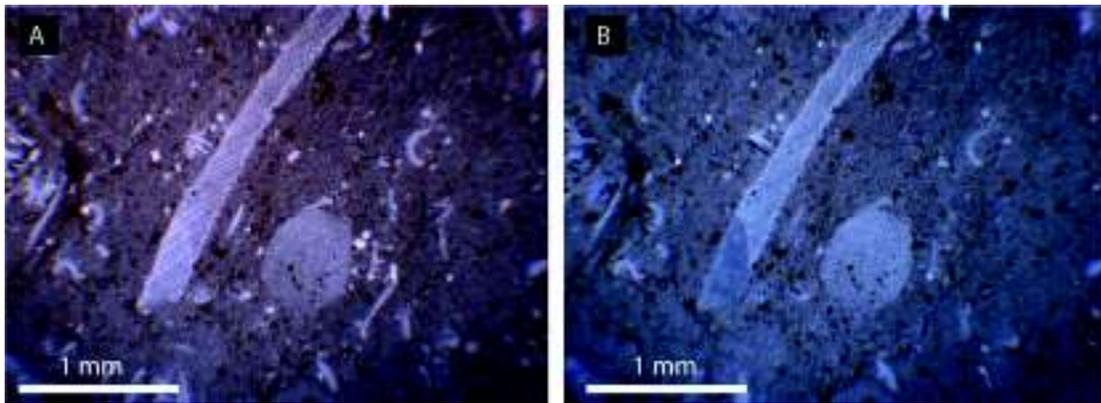


Figura. 6. Wackestone con intraclastos, presencia de *Pithonella* de forma escasa, abundantes fragmentos de equinodermos y crinoides planctónicos como *Saccocoma*, además de fragmentos de braquiópodos. Ocasionalmente se observan partículas terrígenas: A) luz natural y B) luz polarizada. Objetivo: 4X. Punto de recolecta #1 (CO-1).

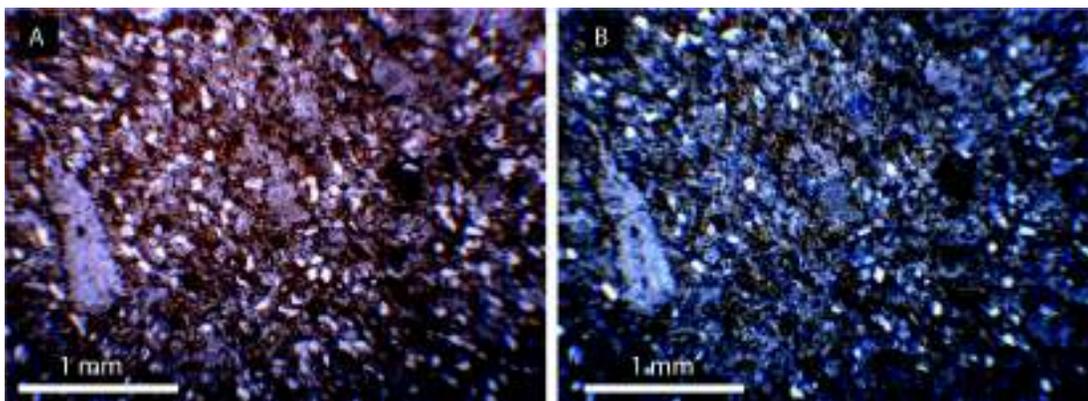


Figura 7. Caliza arenosa con fragmentos de ostrácodos: A) luz natural y B) luz polarizada. Objetivo: 4X. Punto de recolecta 2 (CO-2).

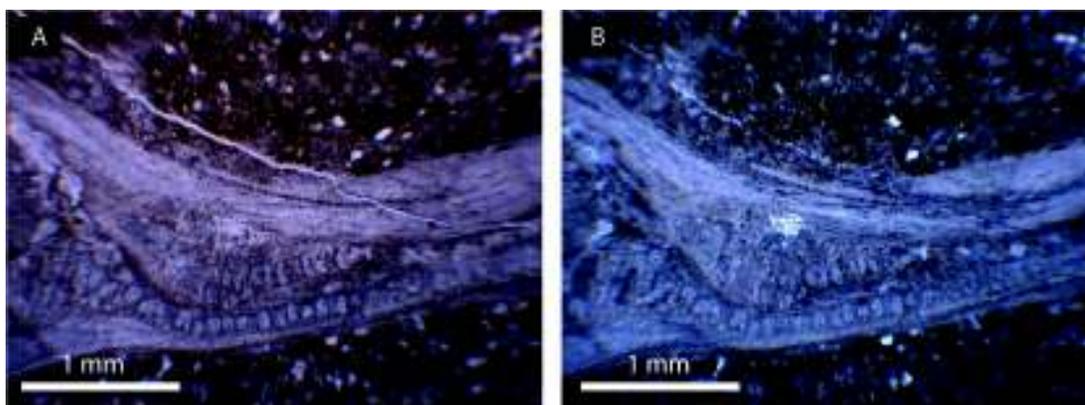


Figura 8. Caliza arenosa con fragmentos de bivalvos: A) luz natural y B) luz polarizada. Objetivo: 4X. . Punto de recolecta 2 (CO-2).

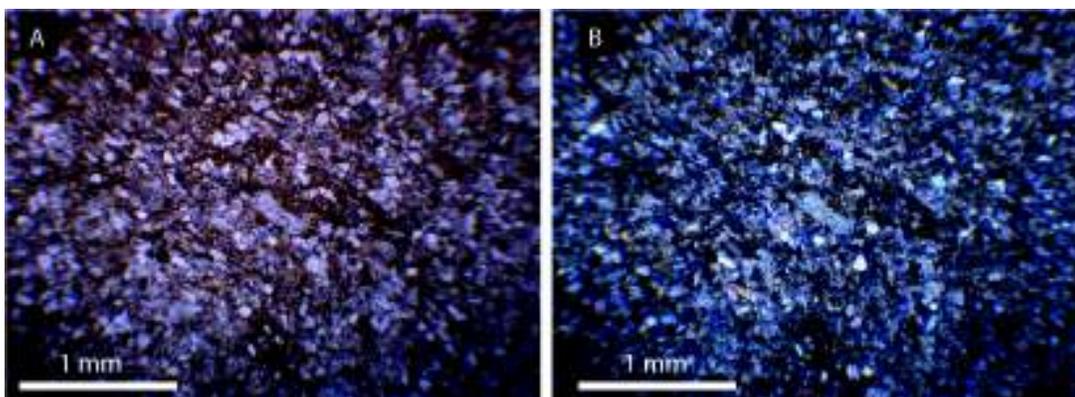


Figura 9. Caliza arenosa con fragmentos de bivalvos, ostrácodos y equinodermos: A) luz natural y B) luz polarizada. Objetivo: 4X. . Punto de recolecta 2 (CO-2).

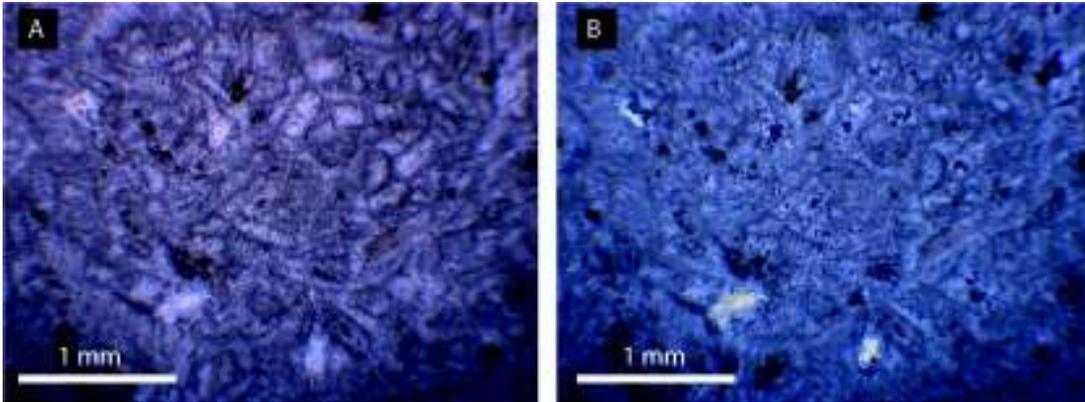


Figura 10. Packstone con escasa presencia de micrita y pellets: A) luz natural y B) luz polarizada. Objetivo: 4X. Punto de recolecta 4 (CO-4).

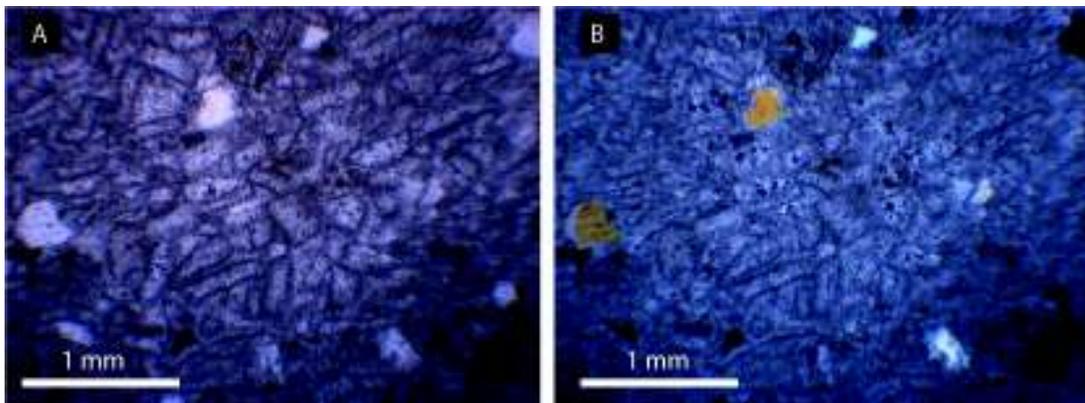


Figura 11. Packstone con presencia de micrita y escasos pellets: A) luz natural y B) luz polarizada. Objetivo: 4X. Punto de recolecta 4 (CO-4).

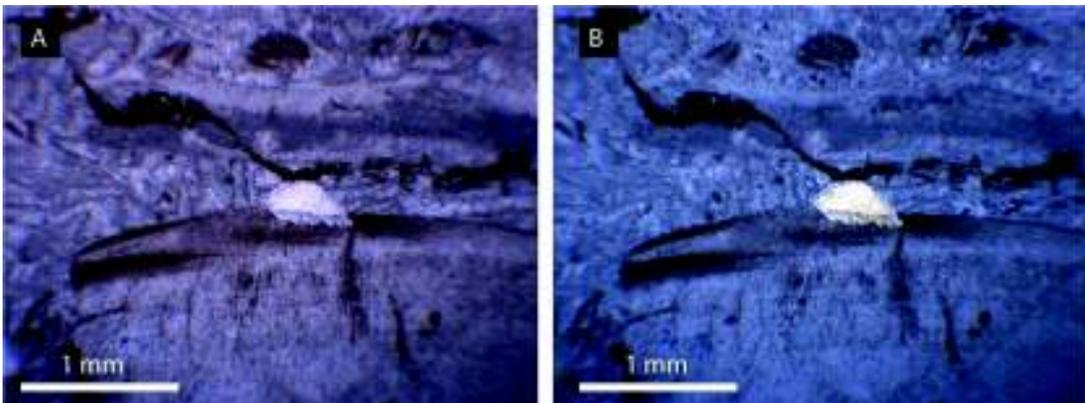


Figura 12. Floatstone y packstone, con presencia de pellets, escasos bivalvos y partículas terrígenas: A) luz natural y B) luz polarizada. Objetivo: 4X. Punto de recolecta 4 (CO-4).

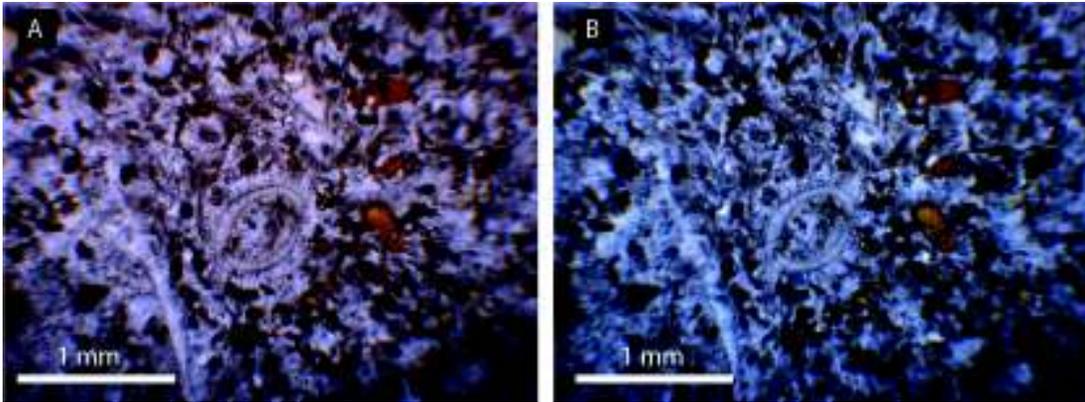


Figura 13. Floatstone con presencia de rotálidos, fragmentos de ostrácodos, partes de equinodermos y pellets: A) luz natural y B) luz polarizada. Objetivo: 4X. Punto de recolecta 5 (CO-5).

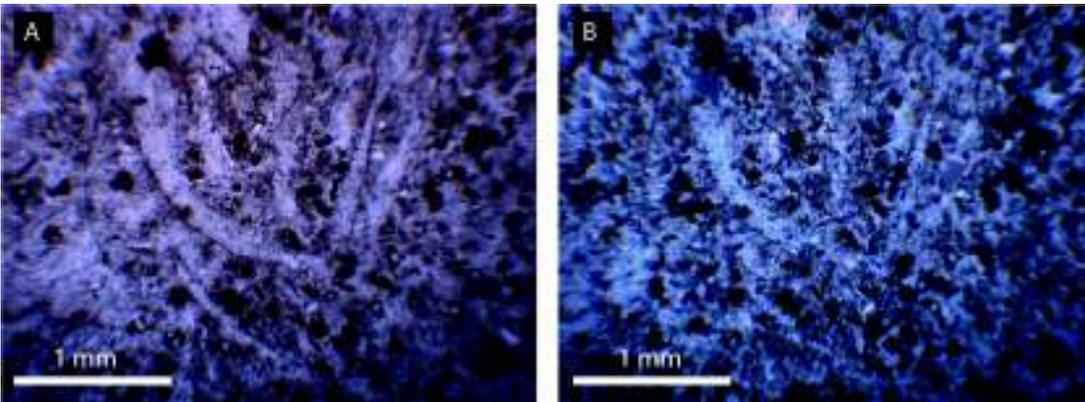


Figura 14. Floatstone con fragmentos de equinodermos y pellets: A) luz natural y B) luz polarizada. Objetivo: 4X. Punto de recolecta 5 (CO-5).

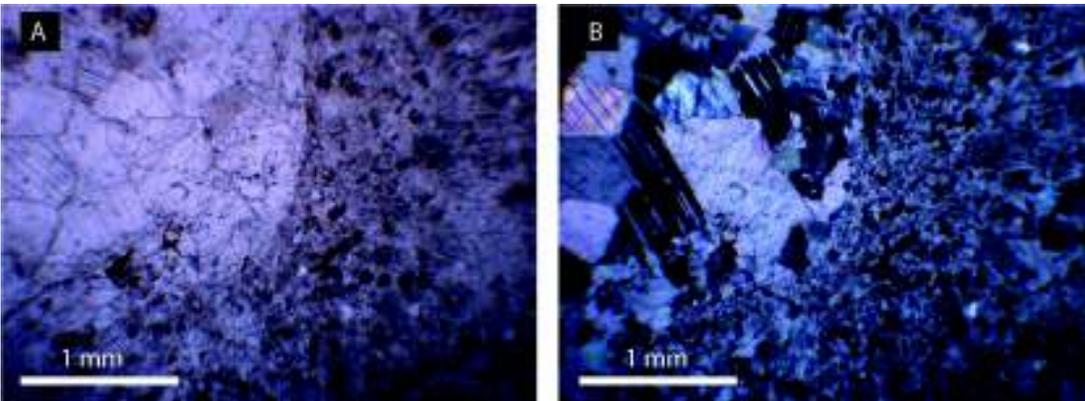


Figura 15. Floatstone con presencia de pellets, ostrácodos y fragmentos de equinodermos. Presencia de partículas terrígenas: A) luz natural y B) luz polarizada. Objetivo: 4X. Punto de recolecta 5 (CO-5).

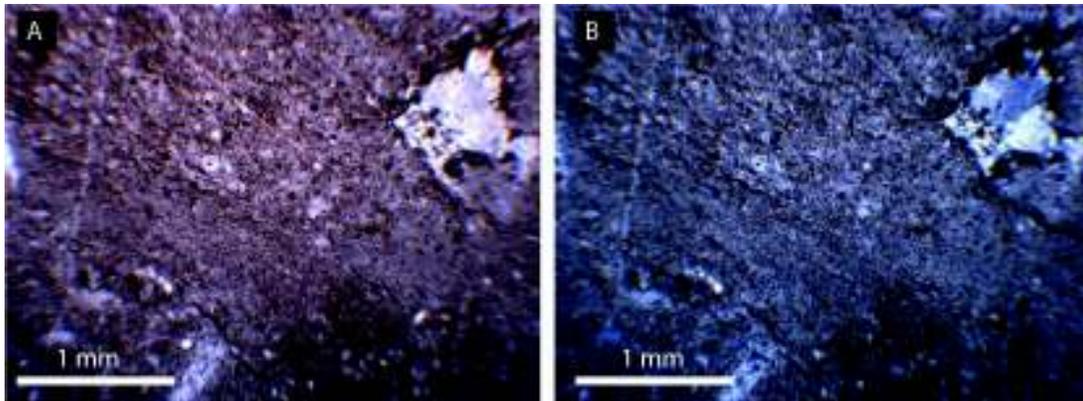


Figura 16. Wackestone con presencia de pellets y partículas terrígenas: A) luz natural y B) luz polarizada. Objetivo: 4X. Punto de recolecta 6 (CO-6).

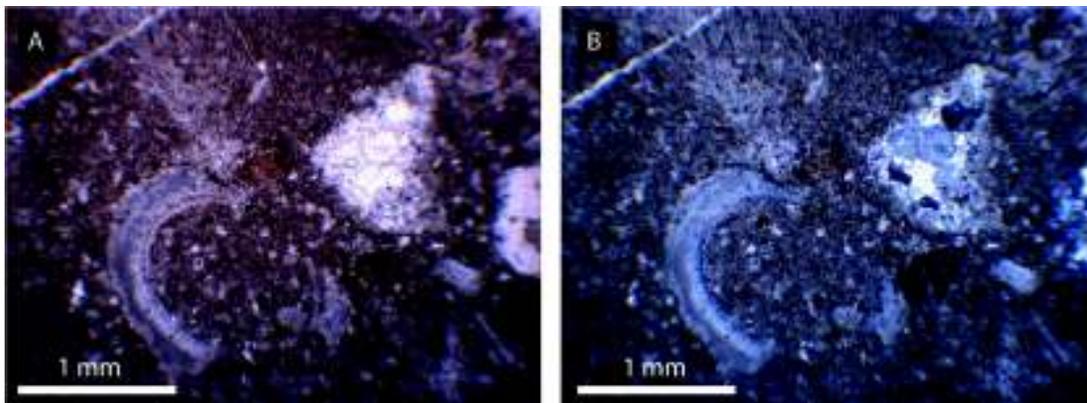


Figura 17. Wackestone, presencia de *Pithonella*, trazas de equinodermos, braquiópodos, ostrácodos, bivalvos y gasterópodos. Presencia de partículas terrígenas: A) luz natural y B) luz polarizada. Objetivo: 4X. Punto de recolecta 6 (CO-6).

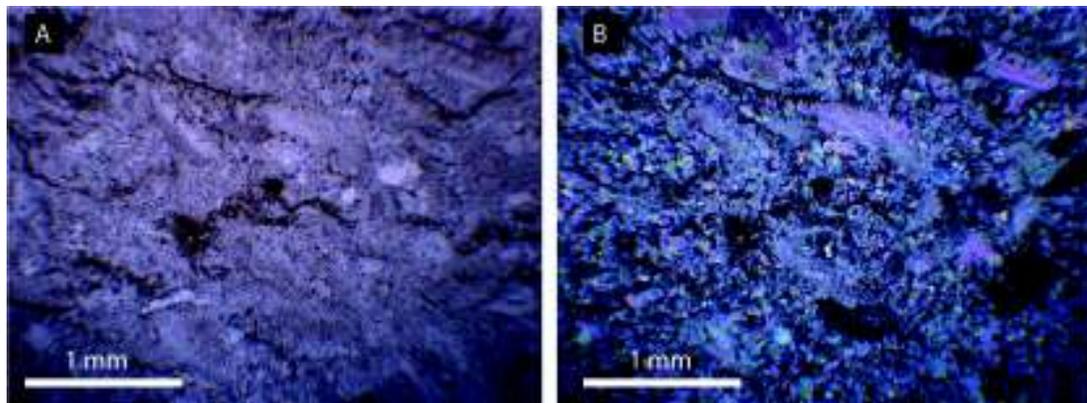


Figura 18. Wackestone, con presencia de *Pithonella*, cnidarios, abundantes fragmentos de equinodermos, rotálidos, bivalvos y partículas terrígenas: A) luz natural y B) luz polarizada. Objetivo: 4X. Punto de recolecta 7 (CO-7).

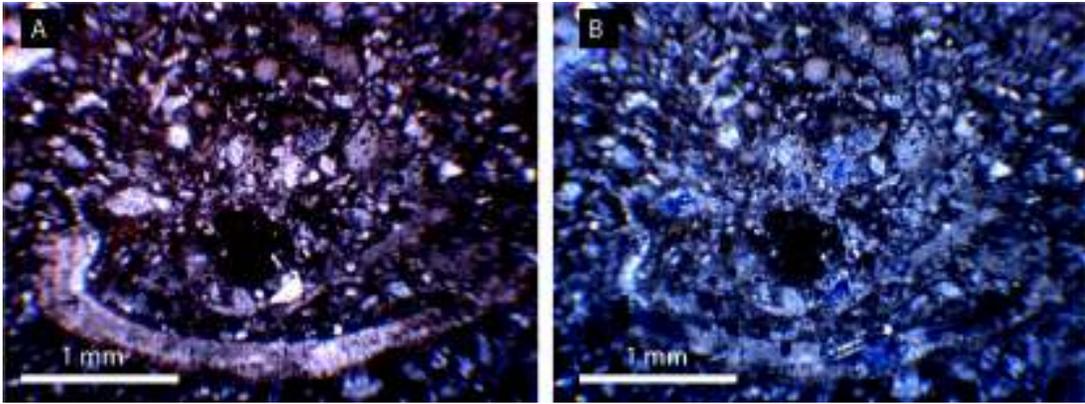


Figura 19. Floatstone con fragmentos de bivalvos, presencia de micrita y escasos pellets: A) luz natural y B) luz polarizada. Objetivo: 4X. Punto de recolecta 8 (CO-8).

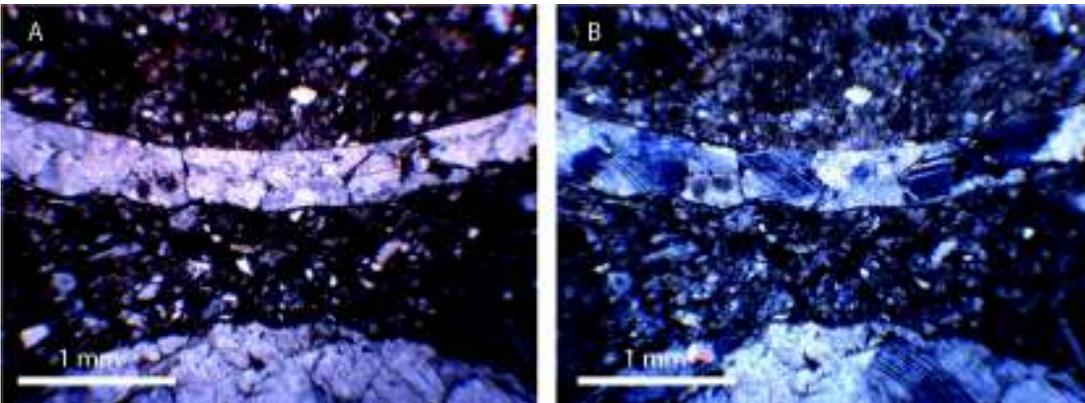


Figura 20. Floatstone, presencia de intraclastos, espinas de equinodermos, braquiópodos, rotálidos, bivalvos y partículas terrígenas: A) luz natural y B) luz polarizada. Objetivo: 4X. Punto de recolecta 8 (CO-8).

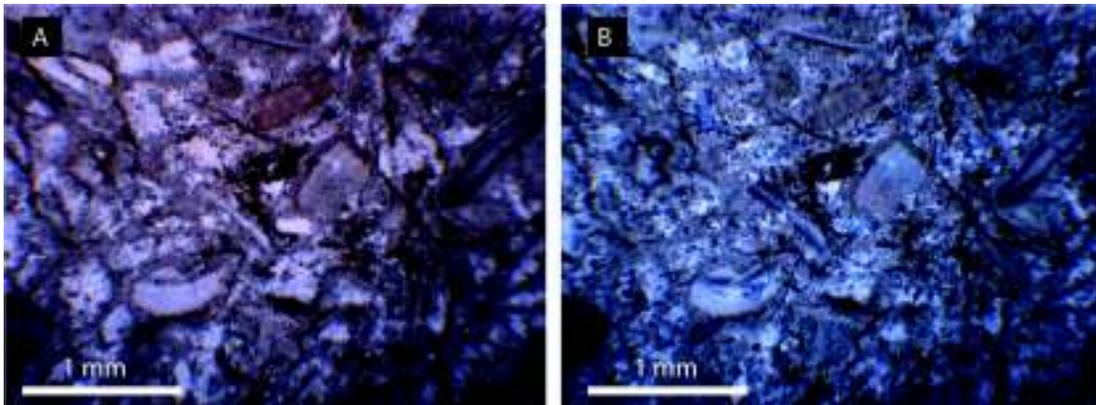


Figura 21. Packstone con presencia de pellets: A) luz natural y B) luz polarizada. Objetivo: 4X. Punto de recolecta 9 (CO-9).

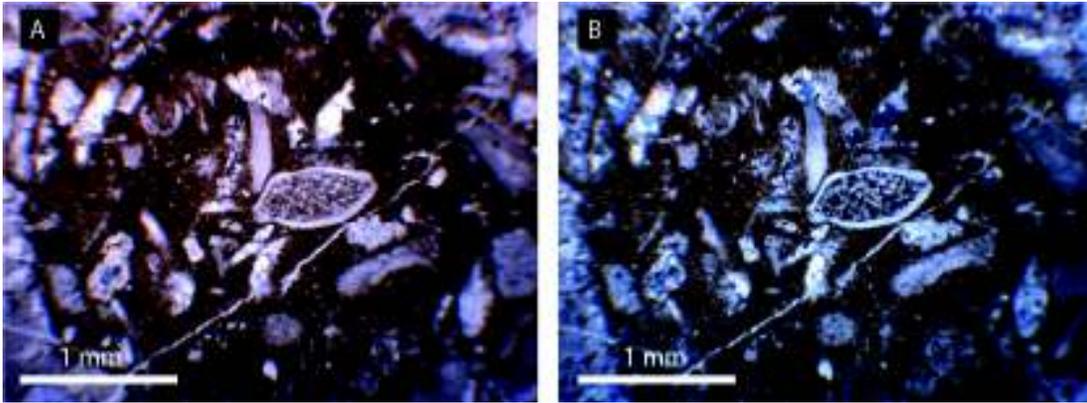


Figura 22. Packstone con presencia de de ostrácodos, restos de bivalvos y equinodermos: A) luz natural y B) luz polarizada. Objetivo: 4X. Punto de recolecta 9 (CO-9).

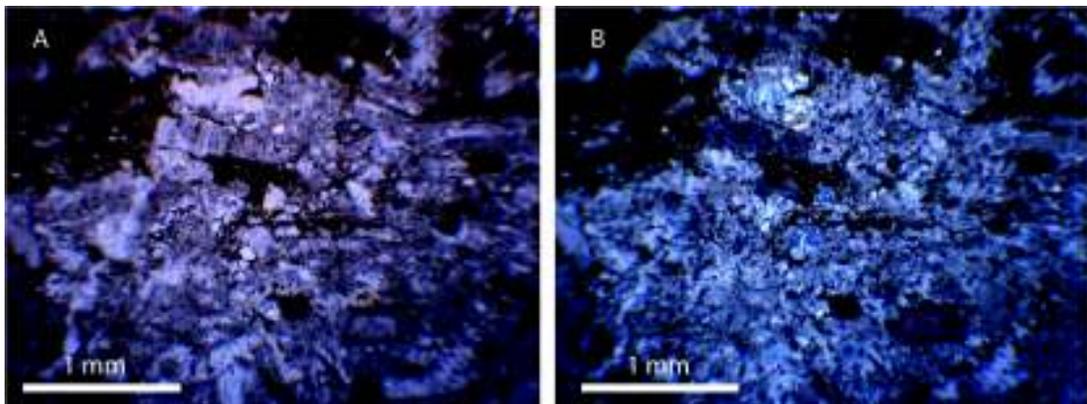


Figura 23. Wackestone con partículas terrígenas: A) luz natural y B) luz polarizada. Objetivo: 4X. Punto de recolecta 9 (CO-9).

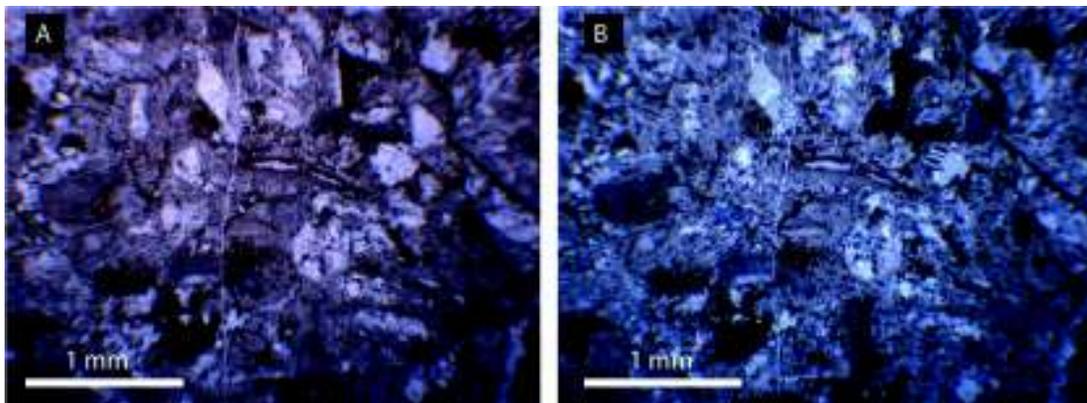


Figura 24. Wackestone: A) luz natural y B) luz polarizada. Objetivo: 4X. Punto de recolecta 9 (CO-9).

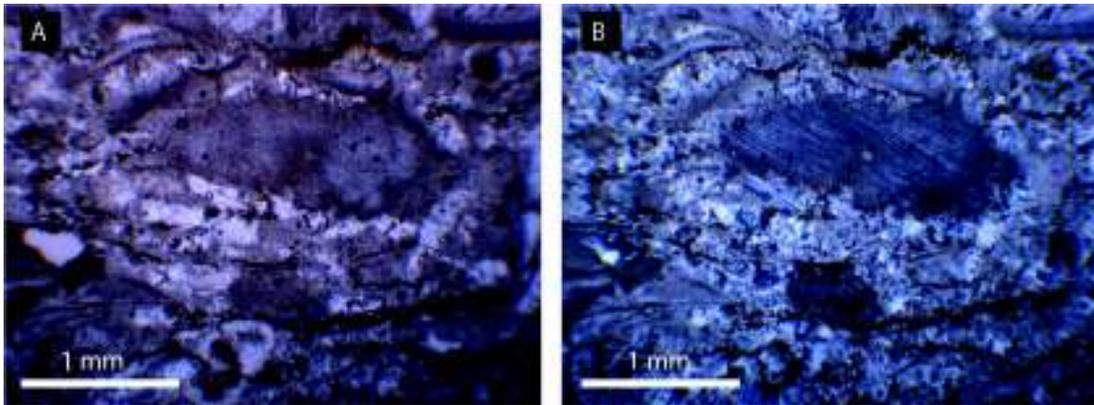


Figura 25. Wackestone, equinodermos, braquiópodos, rotálidos, bivalvos y partículas terrígenas: A) luz natural y B) luz polarizada. Objetivo: 4X. Punto de recolecta 9 (CO-9).

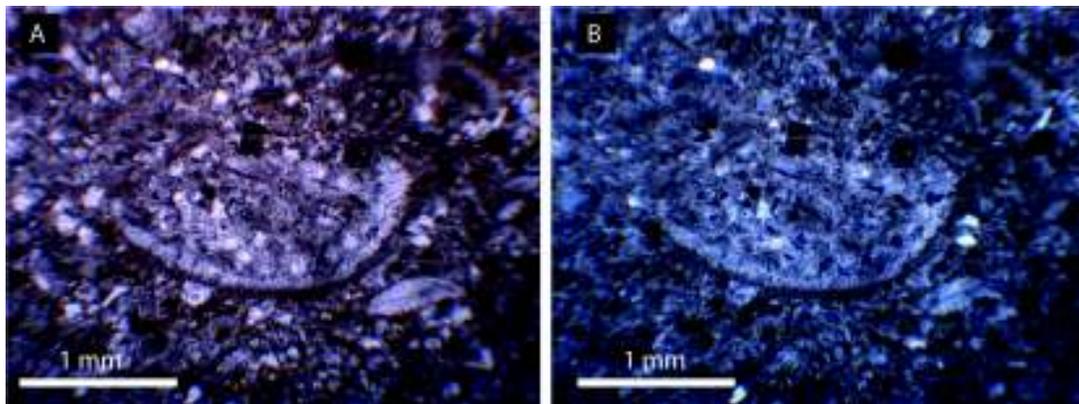


Figura 26. Caliza arenosa con fragmentos de rotálidos: A) luz natural y B) luz polarizada. Objetivo: 4X. Punto de recolecta 10 (CO-10).

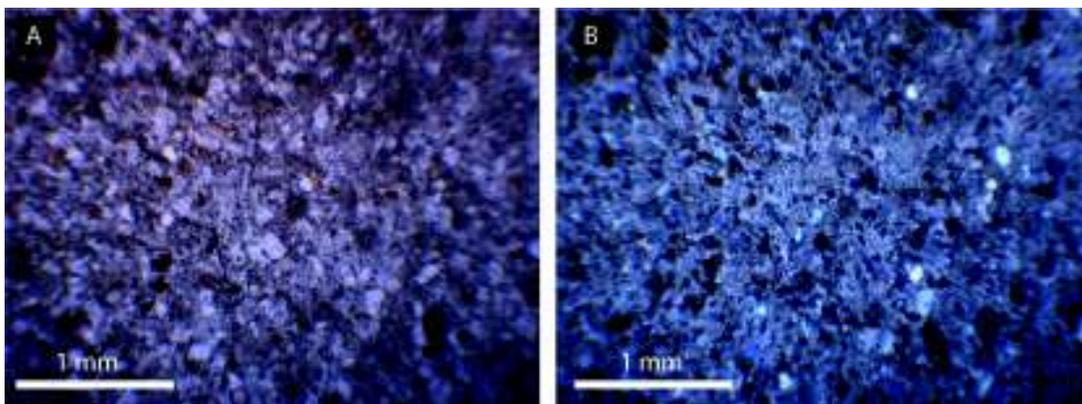


Figura 27. Caliza arenosa con presencia de pellets: A) luz natural y B) luz polarizada. Objetivo: 4X. Punto de recolecta 10 (CO-10).

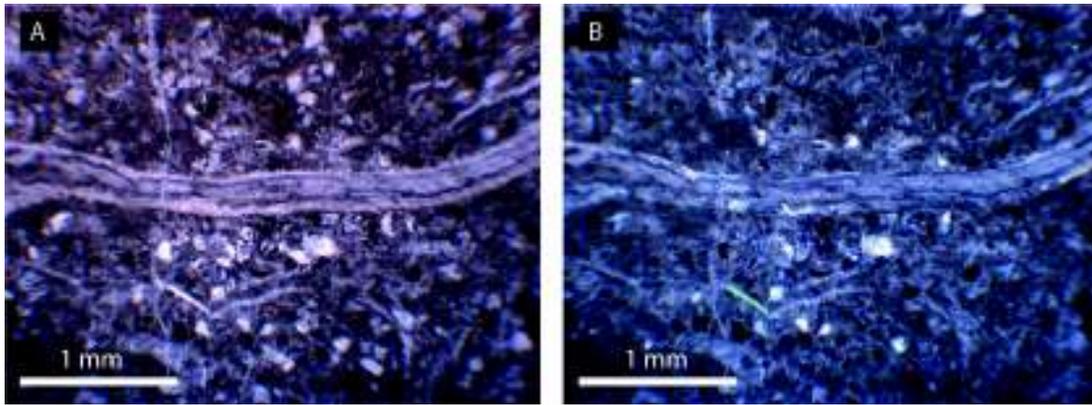


Figura 28. Wackestone, espinas de equinodermos, braquiópodos y rotálidos, bivalvos, gasterópodos y partículas terrígenas: A) luz natural y B) luz polarizada. Objetivo: 4X. Punto de recolecta 10 (CO-10).

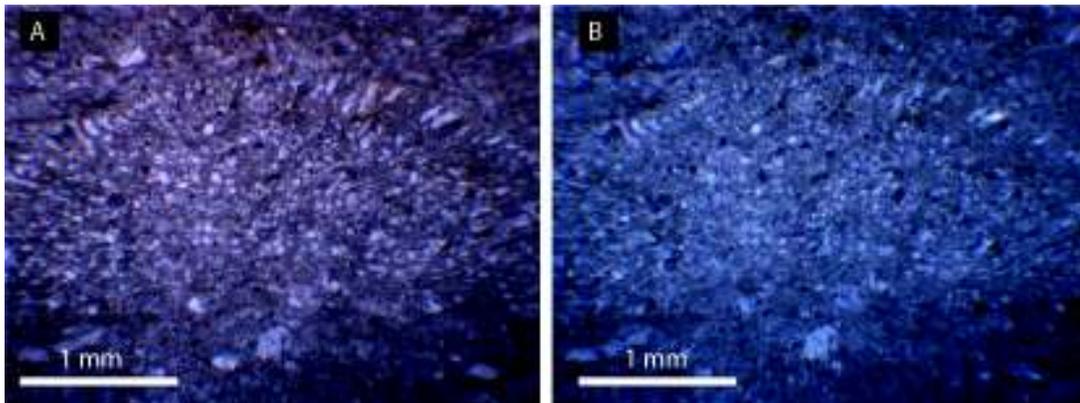


Figura 29. Wackestone, con presencia de *Orbitolina texana*: A) luz natural y B) luz polarizada. Objetivo: 4X. Punto de recolecta 13 (CO-13).

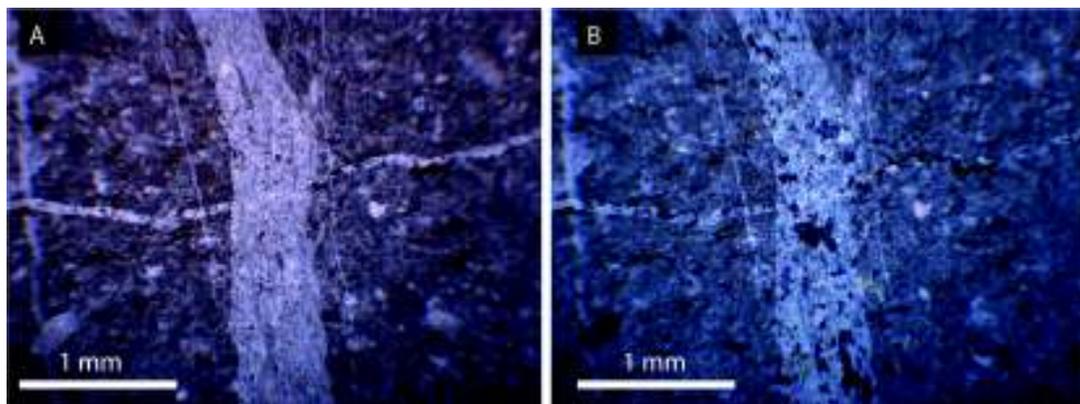


Figura 30. Wackestone, con restos de bivalvos: A) luz natural y B) luz polarizada. Objetivo: 4X. Punto de recolecta 13 (CO-13).

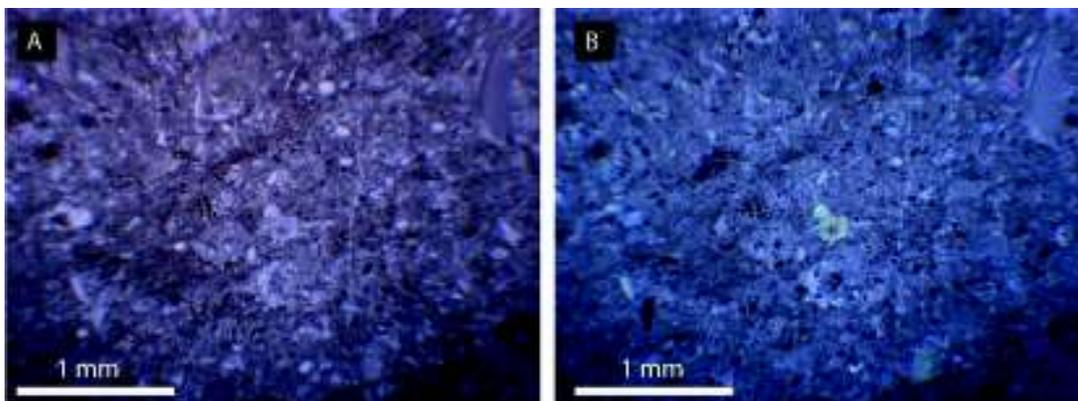


Figura 31. Wackestone, con intraclastos, pellets, equinodermos, rotálidos, orbitolinidos (*Orbitolina texana*) y bivalvos: A) luz natural y B) luz polarizada. Objetivo: 4X. Punto de recolecta 13 (CO-13).

V.2. Análisis paleontológico y paleobiogeografía

Phylum Miozoa Cavalier-Smith, 1987.

Clase Dinophyceae Fritsch, 1929.

Familia Acanthochaetidae Fischer, 1970.

Género *Pithonella* T.Lorenz, 1902.

Especie tipo: *Pithonella ovalis* (Kaufmann, 1865).

Pithonella sp.

Ocurrencia: Estación 1.

Pithonella es un género de dinoflagelados que se encuentra distribuido de manera global. Algunos representantes de este género como *Pithonella ovalis* tienen importancia estratigráfica en el Cretácico Temprano (Olszewska y Wieczorek, 2002). Se puede localizar en el Albiano-Turoniano de las formaciones Isfiya, Khureibe, Junediya y Daliya al norte de Israel (Bein y Reiss, 1976), en el Hauteruviano tardío de Frielingen, Alemania (Weinkauff *et al.*, 2013), en el Cretácico Temprano de Forebalkan, Bulgaria (Ivanova y Keupp, 1999) y en el Albiano tardío de los Montes Cárpatos de Polonia (Olszewska y Wieczorek, 2002). En México este género ha

sido reportado para el Cretácico Tardío en el Cenomaniano-Turoniano de Huitziltepec, Guerrero (Hernández-Romano *et al.*, 1997), en Cerritos, en la plataforma de San Luís Potosí (Omaña *et al.*, 2014) y en el Turoniano de la Formación Ford, Coahuila (Flores-Cadenas *et al.*, 2019).

Phylum Foraminifera d'Orbigny, 1826.

Clase Globothalamea Pawlowski, Holzmann y Tyszka, 2013.

Orden Loftusiida Kaminski y Mikhalevich in Kaminski, 2004.

Familia Orbitolinidae Martin, 1890.

Género *Orbitolina* d'Orbigny, 1850.

Orbitolina (Mesorbitolina) texana Roemer, 1849.

Ocurrencia: Estación 3.

Orbitolina texana ha sido reportada en rocas tipo mudstone/wackestone en facies del Cretácico Inferior de Arizona (Hartshorne, 1989). Este género presenta distribución cosmopolita, ya que se puede encontrar en países como España y otras partes de Europa (Masse *et al.*, 1998; Masse *et al.*, 2004; Fernández-Mendiola, 2017), en Egipto (Salama *et al.*, 2018) y China (Smith y Juntao, 1988). Para México, esta especie ha sido registrada en la Formación Alisitos, en el estado de Baja California, en ambientes de poca profundidad (Allison, 1955).

Phylum Cnidaria Hatschek, 1888.

Clase Anthozoa Ehrenberg, 1834.

Subclase Zoantharia de Blainville, 1830.

Orden Scleractinia Bourne, 1900.

Familia Dermosmiliidae Koby, 1887.

Género *Epistreptophyllum* Milaschewitsch, 1876.

Especie tipo : *Epistreptophyllum commune* Milaschewitsch, 1876.

Epistreptophyllum sp.

Ocurencia: Estación 3.

Epistreptophyllum ha sido reportado en algunos lugares de Europa como la Formación Magyaregregy, Montañas Mecsek, Hungría (Császár y Turnsek, 1996) y la Formación Oehrli, Rotsteinpass, Suiza (Baron-Szabo, 2018). También ha sido reportada en el Aptiano-Albiano de Gebel Mistan, Sinai, Egipto (Mekawy, 2013), en el Aptiano-Albiano de la Formación Sanganeh, Koppeh Dag, Irán (Pandey *et al* 2007) y en el Aptiano de la Formación Langshan, Tibet, China (Löser y Liao, 2001).

Familia Caryophylliidae Dana, 1846.

Genero *Parasmilia* Milne Edwards y Haime, 1848.

Parasmilia sp.

Ocurrencia: Estación 1.

Parasmilia es un género que se puede encontrar estratigráficamente desde el Cretácico Temprano hasta el Mioceno. En México, este género ha sido encontrado en el área de Cerro de las Conchas, Arivechi, Sonora (Filkorn, 2003). También ha sido localizado en en las faunas Albianas de Gabal Manzour, Sinai, Egipto (Aboul Ela *et al*, 1991) y el Albiano Temprano de la Zona Mammillatum, Aude, Francia (Löser, 2013).

Phylum Mollusca Linnaeus, 1758.

Clase Bivalvia Linnaeus, 1758.

Orden Hippuritida Newell, 1965.

Familia Caprinuloideidae Damestoy, 1971.

Género *Caprinuloidea* Palmer, 1928.

Caprinuloidea sp.

Ocurrencia: Estación 2.

Caprinuloidea es un género que se distribuye estratigráficamente del Aptiano hasta el Cenomaniano. Los ejemplares del Cretácico Temprano se encuentran distribuidos principalmente en México, llegando a considerarse endémicos (García-Barrera, 2006). Han sido descritos en la Formación Alisitos, Baja California (Allison, 1955), en la Formación Abra, Taninul, San Luis Potosí (Collins, 1988), en la Formación Sierra Madre, Chiapas, en la Formación Mal Paso, Huetamo, Michoacán y en la Sierra de la Ruda, San Luis Potosí (García-Barrera, 2006). También se han localizado en el Grupo Bisbee, Formación Caliza Mural, Arizona (Hartshorne, 1989) y en las Formaciones Fort Lancaster, Stuart City, y Edwards, en Texas (Scott y Weaver, 2010; Scott *et al*, 2016)

Género *Coalcomana* Harris y Hodson, 1922.

Especie tipo: *Coalcomana ramosa* Boehm, 1889.

Coalcomana ramosa Boehm, 1889.

Ocurrencia: Estación 3.

Al igual que el género *Caprinuloidea*, el género *Coalcomana* se ha descrito como un género endémico para México, con un rango estratigráfico del Aptiano-Cenomaniano (García-Barrera, 2006). *Coalcomana* ha sido descrita en la Formación Mural, en la sección de Santa Ana y en el Cerro Las Pimas, Sonora (González-Léon *et al*, 2008), la Formación Encinos, Tamazula, Jalisco (Buitrón-Sánchez y López-Tinajero, 1995), en la Formación Mal Paso, Huetamo, Michoacán (García-Barrera, 2006), la Formación Cipiapa entre los estados de Puebla y Oaxaca (Alencáster, 1973), y la Formación Sierra Marre, en Chiapas (García-Barrera, 2006). No obstante, estos rudistas también se han localizado en la Formación Mural, Arizona (Hartshorne, 1989), y la Formación Stuart City, Texas (Scott *et al*, 2016).

Orden Cardiida Ferussac, 1822.

Familia Cardiidae Lamarck, 1809.

Género *Protocardia* Beyrich, 1845.

Protocardia granuliferum Gabb, 1869.

Ocurrencia: Estación 2.

Especie tipo: *Protocardia hillana* Sowerby, 1813.

Protocardia sp.

Ocurrencia: Estación 2.

Protocardia es un género que se distribuye desde el Triásico Superior hasta el Neogeno y durante el Cretácico se ha identificado en varios continentes. Ha sido indentificada para el Cretácico Inferior en la Formación Clearwater, Canada (Jeletzky, 1968), en la Formación Kiowa, Kansas (Scott, 1970) y en la Formación Tucumcari, Nuevo México, Estados Unidos (Kues, 1997). En Europa se ha encontrado en países como Albania (Kollmann y Peza, 1996) e Inglaterra (Woods y Jones, 1996). En Africa se le pudo encontrar en la Formación Halal, en Siani, Egipto (Ayoub-Hannaa, 2011). En México se ha localizado en la Formación Alisitos, Baja California (Allison, 1955) y en la Formación Aurora, Coahuila (Kellum, 1956).

Orden Pholadida Gray, 1854.

Familia Corbulidae Lamarck, 1818.

Género *Corbula* Bruguière, 1789.

Especie tipo: *Corbula sulcata* Lamarck, 1801.

Corbula sp.

Ocurrencia: Estación 1.

El Género *Corbula*, se origina en el Triásico y se mantiene hasta el día de hoy como el reconocido grupo de las almejas canasta. Este género se ha encontrado en el Cretácico Inferior de la Formación Kiowa, Kansas, Estados Unidos (Scott, 1970) y en la Formación Currier, Columbia Británica, Canada (MacLeod y Hills, 1990). Se ha reportado también en la Formación Villaro, España (Poyato-Ariza et al, 2000), en la Formación Bückeberg, Alemania (Sachs, 1997) y en la Zona Mirdita, Albania (Kollmann y Peza, 1997). No obstante, en México, únicamente Allison (1955) describe este género para la Formación Alisitos en Baja California.

Orden Ostreida Férussac, 1822.

Familia Gryphaeidae Vialov, 1936.

Género *Exogyra* Say, 1820.

Exogyra texana Roemer, 1849.

Ocurrencia: Estación 1 y 2.

Exogyra es un género ampliamente distribuido en Europa. Se ha localizado en el Aptiano de la Cordillera Prebética, España (Morycowa *et al.*, 2001), en el Barremiano de la cordillera de Serre de Bleyton, en Col de Perty, Francia (Kroh *et al.*, 2010), en el Albiano del sureste de Inglaterra (Kennedy, 1970), en el Valanginiano de las Montañas Secbek, Hungría (Császár y Turnšek, 1996) y en el Neocomaniano de Polonia (Pugaczewska, 1975). En Africa se ha descrito en el Aptiano de Etiopía (Bosellini *et al.*, 1999), en el Hauteruviano de las Cordilleras de Alto Atlas, Marruecos (Rey *et al.*, 1988) y el Aptiano de Tunez (Dhondt *et al.*, 1999). También se ha localizado en Asia en el Hauteruviano de Bolshoy Balkhan, en Turkemistan (Bugrova, 1990) y en el Albiano de Shiraz, Iran (Moghaddam *et al.*, 2016). En América se reporta en Estados Unidos en el Albiano tardío de Texas (Lee, 1996), en el Barremiano de Venezuela (von der Osten, 1957) y en el Albiano del Valle de Colombia (Villamil, 1998). Para México, ha sido descrita en el Aptiano de Baja California (Allison, 1955), en el Hauteruviano de Coahuila (Imlay 1940), el Aptiano de Puebla (de Cserna, 1956) y el Aptiano de Sonora (González-León *et al.*, 2008).

Género *Gryphaea* Lamarck, 1801.

Gryphaea sp.

Ocurrencia: Estación 1.

Gryphaea es un género que se ubica estratigráficamente desde el Triásico hasta el Eoceno. En el Cretácico Temprano del Continente Americano, se localiza en Texas, en las Formacion Denton (Laughbaum, 1960) y en Arizona, en la Formación Shellenberger Canyon (Miller, 1964), Estados Unidos; y en Pointe-à-Pierre, Trinidad (Cox, 1954). En México, este

género se encuentra distribuído en los estados de Baja California (Allison, 1955), Coahuila (Kellum, 1956) y Zacatecas (Imlay, 1940).

Orden Carditida Dall 1889.

Familia Carditidae Fleming 1820.

Género *Ludbrookia* Chavan 1951.

Ludbrookia sp.

Ocurrencia: Estación 1 y 3.

Ludbrookia es un género que se localiza distribuido en el Albiano de la Formación Tucumcari, Nuevo México, Estados Unidos (Kues, 1997); y en el Aptiano tardío de la Formación Grès Verts Helvetiques, Francia (Delamette *et al*, 1997).

Familia Crassatellidae Férussac, 1822.

Género *Remondia* Gabb, 1869.

Especie tipo: *Remondia furcata* Gabb, 1869.

Remondia furcata Gabb, 1869.

Ocurrencia: Estación 1 y 3.

Remondia es un género que se encuentra distribuído en la Formación Denison, Texas, Estados Unidos (Clark y Twitchell, 1915). Sin embargo, este género fue descrito por primera vez por Gabb (1869) en el Cretácico de Arivechi, Sonora (Stanton, 1890).

Subclase Paleoheterodonta Newell, 1965.

Orden Trigoniida Dall, 1889.

Familia Trigoniidae Lamarck, 1819.

Género *Trigonia* Bruguière, 1789.

Taxon tipo: *Trigonia sulcata* Hermann, 1781.

Trigonia mooreana Gabb.

Ocurrencia: Estación 2 y 3.

El género *Trigonia* se encuentra distribuido cosmopolitamente a lo largo del Cretácico Inferior. En Estados Unidos se ha registrado en la Formación Budden Canyon, California (Murphy, 1956) y en la Formación Shellenberger Canyon (Miller, 1964). En Europa se tienen registro en España (Llopis *et al* 1981), Inglaterra (Kennedy, 1970), Hungría (Császár y D. Turnsek, 1996) y Serbia (Jankičević, 1979). En Africa se ha registrado en la región del Sinaí, Egipto (Mekawy, 2013). En Asia se ha localizado en la región de Kutch, en la India (Rudra y Bardhan, 2006). Mientras que Speden (1973) reporta este género en Nueva Zelanda en la Península de Raukumara. En Sudamérica se ha reportado en Argentina (Lazo, 2003) y Venezuela (Von Der Osten, 1957). Finalmente, en México *Trigonia* puede encontrarse en Baja California (Allison, 1955), Coahuila (Kellum, 1956) y Michoacán (González-Arreola *et al*, 1996) (Figura 38).

Orden Unionida Stoliczka, 1871.

Familia Unionidae Rafinesque, 1820.

Género *Unio* Philipsson, 1788.

Unio hubbardi Gabb, 1868.

Ocurrencia: Estación 1.

El Orden Unionida se ha localizado en la Formación Newark Canyon, Nevada, Estados Unidos (Bonde, *et al*, 2015). En Europa se ha localizado en el Grupo Enciso, La Rioja, España (Viera *et al*, 1984), en la Formación Vectis, en la localidad de Barnes High, Inglaterra (Buffetaut y Hutt, 1980) y en la Formación Jydegaard, Bornholm, Dinamarca (Rees, 2000). En Asia, este género se ha reportado en Japón, en la Formación Kuwajima (Matsukawa y Obata, 1994).

Clase Gastropoda Cuvier, 1797.

Superfamilia Stromboidea Rafinesque, 1815.

Orden Littorinimorpha Golikov y Starobogatov, 1975.

Familia Aporrhaidae Gray, 1850.

Género *Anchura* Conrad, 1860.

Especie tipo: *Anchura abrupta* Conrad, 1860.

Anchura monilifera Gabb, 1869.

Ocurrencia: Estación 1, 2 y 3.

Anchura transversa Gabb 1868.

Ocurrencia: Estación 2 y 3.

Anchura es un género que se ha reportado mayormente en Inglaterra, en las formaciones Blackdown Greensand (Taylor *et al*, 1983), Sandgate (Bristow, 1991) y Lower Greensand (Casey, 1961). Mientras que, en el continente americano, podemos encontrar este género en la Formación Barranquín, Venezuela (Von Der Osten, 1957) y en México, en las formaciones Alisitos (Baja California) y Caliza Aurora (Kellum, 1956).

Familia Tylostomatidae Stoliczka, 1868.

Género *Tylostoma* Sharpe, 1849.

Especie tipo: *Tylostoma torrubiae* Sharpe, 1849.

Tylostoma elevatum.

Ocurrencia: Estación 1 y 2.

Tylostoma mutabilis Gabb, 1869.

Ocurrencia: Estación 2 y 3.

El género *Tylostoma* se distribuye estratigráficamente desde el Jurásico medio hasta el Cretácico Superior. No obstante, se encuentra en el Cretácico Inferior de la Formación Capas Rojas, Castellón, España (Llopis *et al*, 1981), y en la Formación Hidasivölgy Marl, en las Montañas Mecsek, Hungría (Császár y Turnšek, 1996). En África se ha localizado en los depósitos de Gebel Mistan, Sinai, Egipto (Mekawy, 2013), en la Formación Amba Aradam, Sureste de Etiopía (Bosellini *et al*, 1999) y en la Formación Madiela, en las costas de Gabon (Musavu Moussavou y Mabicka Obame, 2015). Este género también se ha localizado en China, en la Formación Langshan (Smith y Juntao, 1988) y en Venezuela, en la Formación Barranquin (von der Osten, 1957). No obstante, en México se ha reportado en la Formación Alisitos, Baja California (Allison, 1955), la Formación Aurora, Coahuila, (Kellum, 1956), la Formación Mal Paso, Michoacán (García-Barrera, 1995) y la Formación San Juan Raya, Puebla (de Cserna, 1956).

Orden Sorbeoconcha Ponder y Lindberg, 1997.

Familia Cassiopidae Beurlen, 1967.

Género *Cassiope* Coquand, 1865.

Cassiope cf. *C. burnsi*.

Ocurrencia: 1 y 2.

Cassiope es un género que durante el Cretácico Inferior se puede localizar en la Formación Kiowa, Kansas, Estados Unidos (Scott, 1970); y en México en la Formación Alisitos, Baja California (Allison, 1950) y la Formación San Juan Raya, Puebla (De Cserna, 1956). Este género también se ha descrito en el Cretácico Superior únicamente en Austria (Kollmann, 2009) y en Utah (Joyce *et al*, 2016).

Género *Gynmentone* Kossman, 1909.

Gynmentone (*Gynmentone*) *zebra*.

Ocurrencia: Estación 1.

Gymnentone es un género escasamente registrado, que se puede encontrar en el Aptiano de la Formación Argiles de Morella, el Forcall, España (Gombau y Valls, 2012) y en la Formación Santana, Brasil (Arai, 2014). En México, se tienen ejemplares en el Cerro de Tuxpan, Jalisco (Buitrón, 1986) y en la Formación Mal Paso, San Lucas, Michoacán (Buitrón-Sanchez, *et al.*, 2003).

Género *Turritella* Lamarck, 1799.

Especie tipo: *Turritella terebra* Linnaeus, 1758.

Turritella seriatim-granulata Roemer, 1849.

Ocurrencia: Estación 1, 2 y 3.

Turritella es un género que se encuentra distribuido estratigráficamente del Jurásico hasta reciente. No obstante, en el Cretácico Inferior lo podemos encontrar en diversos estratos del mundo. Se ha reportado en Europa en el Albiano de los Alpes Franceses (Delamette *et al.*, 1997), en el Barremiano de Quedlinburg, Alemania (Kollmann, 1982), en el Aptiano de Devon, Inglaterra (Taylor *et al.*, 1983) y en el Barremiano de Albania (Kollmann y Peza, 1997). En Estados Unidos, se ha descrito en el Albiano de Kansas (Scott, 1970), de Nuevo México (Kues, 1997), de Texas (Lee, 1996) de California (Squires y Saul, 2006) y el Valanginiano de Oregon (Wells *et al.*, 2000). En Sudamerica se reporta para el Barremiano de Venezuela (von der Osten, 1957) y en el Albiano de Punta Guajira, Colombia (Bürgl, 1958). En México, este género solo se ha reportado para el Aptiano de Baja California (Allison, 1955) y el Albiano de Coahuila (Kellum, 1956).

Familia Cerithiidae Fleming, 1822.

Género *Cerithium* Bruguière, 1789.

Especie tipo: *Cerithium adansonii* Bruguière, 1789.

Cerithium austinense Roemer.

Ocurrencia: Estación 2.

Cerithium es un género con distribución estratigráfica que va del Triásico Inferior hasta Reciente. En el Cretácico Inferior se puede encontrar en Europa en el Grupo Enciso, La Rioja, España (Viera *et al.*, 1984). Este género también se distribuye en Africa, en las faunas de Gabal Manzour, Sinai, Egipto (Aboul Ela, *et al.*, 1991) y en la Formación Amba Aradam, Etiopía (Bosellini *et al.*, 1999). En America, se ha localizado en la Formación Rio Hatillo, Pueblo Viejo, Republica Dominicana (Myczyn e Iturralde-Vinent, 2005), en la Formación Barranquin, Venezuela (von der Osten, 1957) y en la Formación Lodoga, en California, Estados Unidos (Kiel *et al.*, 2008). En México, este género se ha identificado en la Formación Alisitos, Baja California (Allison, 1955) y en la Formación San Juan Raya, Puebla (de Cserna, 1956).

Superorden Hypsgastropoda Ponder y Lindberg, 1997.

Infraorden Littorinimorpha Golikov y Starobogtov, 1975.

Orden Mesogastropoda Thiele, 1925.

Superfamilia Naticoidea Forbes, 1838.

Familia Naticidae Guilding, 1834.

Género *Euspira* Agassiz, 1837.

Euspira sp.

Ocurrencia: Estación 3.

El género *Euspira* se distribuye únicamente en en Estados Unidos, en el Albiano de la Formación Tucumcari, Nuevo México (Kues, 1997) y en el Albiano de la Formación Kiowa, Kansas (Scott, 1970). Este género en la escala estratigráfica surge en en Albiano y se mantiene reciente.

Género *Lunatia* Gray, 1847.

Lunatia sp.

Ocurrencia: Estación 2 y 3.

El género *Lunatia* se distribuye estratigráficamente del Cretácico Inferior hasta la actualidad. En el Cretácico Inferior se encuentran distribuidos únicamente en México, en el Barremiano de la Formación Zapotitan, Puebla (de Cserna, 1956) y en el Aptiano de la Formación Cumburindio, Michoacán (González-Arreola *et al.*, 1996).

Subclase Vetigastropoda Salvini-Plawen, 1980.

Orden Trochida Bouchet *et al.*, 2017.

Superfamilia Trochoidea Rafinesque, 1815.

Familia Trochidae Rafinesque, 1815.

Género *Margarites* Gray, 1847.

Taxon tipo: *Margarites diaphana* Gray, 1847.

Margarites bartonensis Sharpe, 1947.

Ocurrencia: Estación 1, 2 y 3.

El género *Margarites* se encuentra durante el Cretácico Inferior en el Barremiano tardío de Serre de Bleyton, Francia (Kroh *et al.*, 2010) y en el Albiano tardío de la Formación Blackdown Greensand, Inglaterra (Taylor *et al.*, 1983).

Clase Cephalopoda Cuvier, 1797.

Orden Ammonitida Hyatt, 1889.

Familia Engonoceratidae Hyatt, 1900.

Género *Engonoceras* Neumayr y Uhlig, 1881.

Engonoceras sp.

Ocurrencia: Estación 1, 2 y 3.

El género *Engonoceras* se distribuye casi únicamente en el Continente Americano, teniendo únicamente un registro de el fuera del continente en Egipto, en la Formación Halal (El

Qot, 2018). Se tienen registros en Estados Unidos en el Aptiano de la Formación Weno, Texas (Kennedy *et al.*, 1998) y en en Aptiano de la Formación Kiowa, Kansas (Scott, 1970). En México se tienen la Formación Nogal, Sonora (Robert *et al.*, 2018) y en el Albiano de San Carlos, Coahuila (Tatum, 1928).

Phylum Echinodermata Bruguière, 1791.

Clase Echinoidea Leske, 1778.

Orden Spatangoida Agassiz, 1840.

Familia Hemiasteridae Clark, 1917.

Genero *Hemiaster* (Holanthus) Lambert y Thiéry, 1924.

Hemiaster sp. Agassiz y Desor 1847.

Ocurrencia: Estación 1, 2 y 3.

El género *Hemiaster* ha sido reportado en Europa en el Albiano tardío de Xixona, España (Gallemi *et al.*, 1997) y en el Albiano medio de Saint-Jouin, Francia (Delamette *et al.*, 1997). En Africa se le ha encontrado en el Albiano tardío de Sinai, Egipto (Ayoub-Hanaa, 2011). Mientras que en America se ha localizado en Estados Unidos en el estado de Texas, en la Formacion Person (Scott *et al.*, 2016) y en México, en la Formación Caliza Aurora, Coahuila (Kellum, 1956).

Familia Pseudodiadematidae Pomel, 1883.

Genero *Tetragramma* Agassiz 1840.

Tetragramma malbosi Agassiz, 1846.

Ocurrencia: Estación 1 y 3.

Tetragramma es un género que se encuentra mayormente distribuido en Europa y Africa. Se le puede encontrar en la Formación Gres verts helvetiques, Haute-Savoie, Francia (Delamette *et al.*, 1997), la Formación Lower Greensand, Greensand, Inglaterra (Casey, 1961) y la

Formación Toboulouart, Gran Atlas, Marruecos (Rey *et al.*, 1988). No obstante, en México este género ha sido descrito para el Cretácico de Colima, Coahuila, Michoacán y Sonora (Nieto-López y García-Barrera, 2006).

Clase Crinoidea Miller, 1821.

Infraorden Articulata Miller, 1821.

Familia Saccocomidae d'Orbigny.

Genero *Saccocoma* Agassiz, 1836.

Saccocoma sp.

Ocurrencia: Estación 1.

Saccocoma es un género de crinoideos que se distribuye principalmente en Europa. Se le puede encontrar en el Aptiano Inferior de Croacia (Masse *et al.*, 2004), en el Berrasiano-Valanginiano de Bulgaria (Ivanova *et al.*, 2008) y en el Berrasiano temprano de la Republica Checa (Vankova *et al.*, 2019).

V.3. Paleoecología

V.3.1. Análisis palecológico

El análisis paleoecológico se llevó a cabo en varias etapas. Primero se determinó la abundancia y la abundancia relativa de todos los organismos que fueron contabilizados en las colectas de Cerro El Caloso (Tabla 1).

Tabla 1. Distribución de especies muestreadas. A=Abundancia, AR= Abundancia relativa.

Especie	A	AR
<i>Pithonella</i> sp.	50	12.2
<i>Turritella seriatim-granulata</i>	41	10.0
<i>Orbitolina texana</i>	40	9.78
<i>Parasmilia</i> sp.	35	8.56
<i>Ludbrookia</i> sp.	30	7.33
<i>Gryphaea</i> sp.	17	4.16
<i>Cerithium austinense</i>	13	3.18
<i>Exogyra texana</i>	12	2.93
<i>Trigonia mooreana</i>	20	4.89
<i>Caprinuloidea</i> sp.	12	2.93
<i>Coalcomana ramosa</i>	12	2.93
<i>Cassiope</i> cf. <i>C. burnsi</i>	11	2.69
<i>Tylostoma elevatum</i>	10	2.44
<i>Anchura monilifera</i>	10	2.44
<i>Hemiaster</i> sp.	10	2.44
<i>Anchura transversa</i>	10	2.44
<i>Margarites bartonensis</i>	9	2.20
<i>Tylostoma mutabilis</i>	9	2.20
<i>Lunatia</i> sp.	10	2.44
<i>Unio hubbardi</i>	6	1.47
<i>Protocardia</i> sp.	6	1.47
<i>Remondia furcata</i>	11	2.69
<i>Corbula</i> sp.	4	0.98
<i>Tetragramma malbosi</i>	4	0.98
<i>Engonoceras</i> sp.	4	0.98
<i>Protocardium granuliferum</i>	4	0.98
<i>Saccocoma</i> sp.	3	0.73
<i>Epistreptophyllum</i> sp.	3	0.73
<i>Gynmentone (Gynmentone) zebra</i>	2	0.49
<i>Euspira</i> sp.	1	0.24
Total	409	100

La Tabla 2 muestra la distribución de especies de cada estación, así como su abundancia relativa en porcentajes, donde la suma de cada una refleja el número total de todos los organismos.

Tabla 2. Distribución de especies por estación. A= Abundancia, AR= Abundancia relativa.

Especie	A	AR
Estación 1		
<i>Pithonella</i> sp.	50	26.46
<i>Margarites bartonensis</i>	3	1.59
<i>Tylostoma elevatum</i>	2	1.06
<i>Turritella seriatim-granulata</i>	15	7.94
<i>Cassiope</i> cf. <i>C. burnsi</i>	4	2.12
<i>Gynmentone</i> (<i>Gynmentone</i>) <i>zebra</i>	2	1.06
<i>Anchura monilifera</i>	4	2.12
<i>Remondia furcata</i>	5	2.65
<i>Unio hubbardi</i>	6	3.17
<i>Corbula</i> sp.	4	2.12
<i>Exogyra texana</i>	8	4.23
<i>Ludbrookia</i> sp.	20	10.58
<i>Gryphaea</i> sp.	17	8.99
<i>Tetragramma malbosii</i>	3	1.59
<i>Hemiaster</i> sp.	6	3.17
<i>Parasmilia</i> sp.	35	18.52
<i>Engonoceras</i> sp.	2	1.06
<i>Saccocoma</i> sp.	3	1.59
Total	189	100.00
Estación 2		
<i>Margarites bartonensis</i>	3	2.80
<i>Tylostoma elevatum</i>	8	7.48
<i>Tylostoma mutabilis</i>	6	5.61
<i>Anchura transversa</i>	4	3.74
<i>Turritella seriatim-granulata</i>	12	11.21
<i>Cassiope</i> cf. <i>C. burnsi</i>	7	6.54
<i>Cerithium austinense</i>	13	12.15
<i>Anchura monilifera</i>	4	3.74
<i>Lunatia</i> sp.	8	7.48
<i>Protocardium granuliferum</i>	4	3.74
<i>Protocardia</i> sp.	6	5.61
<i>Trigonia mooreana</i>	12	11.21
<i>Exogyra texana</i>	4	3.74
<i>Caprinuloidea</i> sp.	12	11.21
<i>Hemiaster</i> sp.	3	2.80
<i>Engonoceras</i> sp.	1	0.93

	Total	107	100.00
Estación 3			
<i>Orbitolina texana</i>		40	35.40
<i>Tylostoma mutabilis</i>		3	2.65
<i>Anchura monilifera</i>		2	1.77
<i>Anchura transversa</i>		6	5.31
<i>Margarites bartonensis</i>		3	2.65
<i>Turritella seriatim-granulata</i>		14	12.39
<i>Euspira</i> sp.		1	0.88
<i>Lunatia</i> sp.		2	1.77
<i>Remondia furcata</i>		6	5.31
<i>Trigonia mooreana</i>		8	7.08
<i>Coalcomana ramosa</i>		12	10.62
<i>Ludbrookia</i> sp.		10	8.85
<i>Tetragramma malbosii</i>		1	0.88
<i>Hemiaster</i> sp.		1	0.88
<i>Epistreptophyllum</i> sp.		3	2.65
<i>Engonoceras</i> sp.		1	0.88
	Total	113	100.00

Posteriormente se realizó una curva de rango-abundancia, la cual equipara la abundancia y la riqueza de especies que existe entre diferentes comunidades. Mediante una gráfica se representa la abundancia relativa de cada especie con su rango correspondiente. El rango es el orden de las especies que va de mayor a menor abundancia (Figura 32).

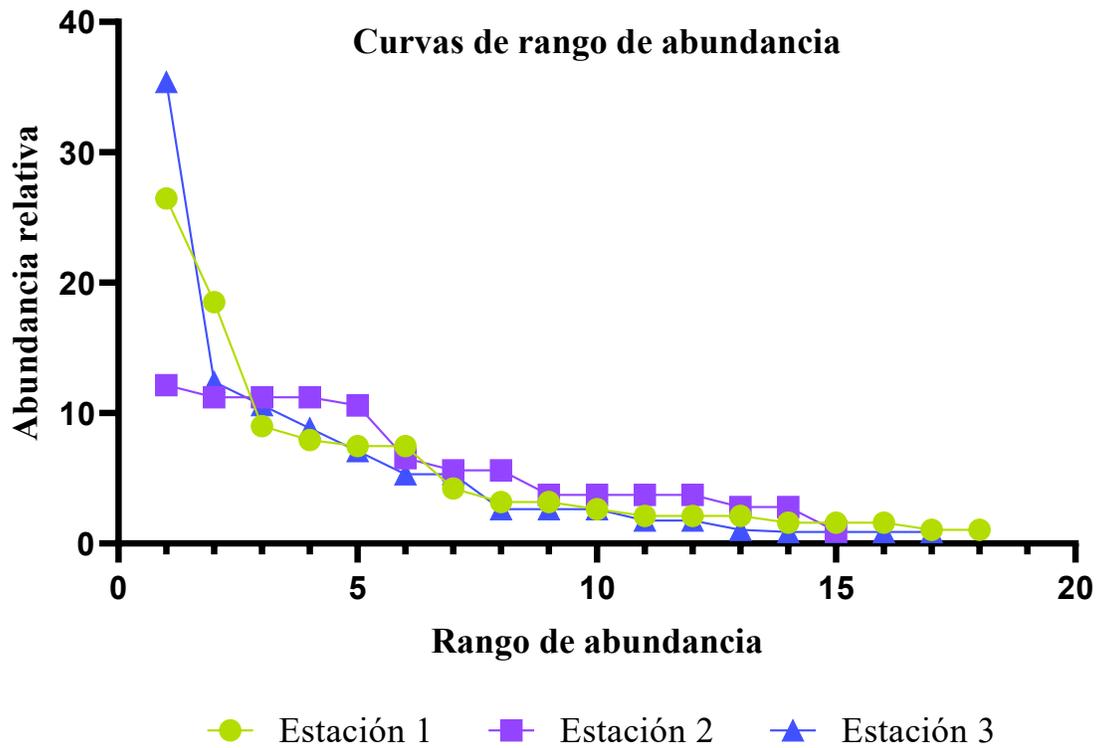


Figura 32. Curvas de rango-abundancia de las tres estaciones descritas en la Tabla 2.

El rango de abundancia es el rango de especies cuantificadas por su abundancia relativa, la cual nos muestra desde la especie con mayor presencia hasta las menos abundantes (eje x). La abundancia relativa (eje y) se expresa en un eje log10. En esta figura se observa que la estación 1 posee la riqueza de especies más alta (representada en el largo de la curva), mientras que la equitatividad (gradiente de la curva) es mayor en la estación 3 comparada con el resto de las comunidades.

En el análisis de las comunidades paleontológicas, para la estación 1 se reportan un total de 189 individuos, distribuidos en 18 especies (Tabla 2). En la estación 2 se contabilizó un total de 107 individuos, distribuidos en 16 especies (Tabla 2). Por ultimo, la estación 3 dio como resultado un total de 113 individuos, distribuidos en 16 especies (Tabla 2).

En el Cretácico Inferior de Cerro El Caloso se recopilieron un total de 409 individuos, distribuidos en 30 especies. Para la estación 1 se reporta a *Pithonella* sp. como la especie dominante con un total de 50 individuos, la cual únicamente se identificó en esta estación. En la estación 2 se tiene una abundancia más equitativa entre los organismos, donde se incluyen a *Cerithium austinense*, *Turritella seriatim-granulata*, *Trigonia mooreana* y *Caprinuloidea* sp. Mientras que la estación 3, refleja nuevamente la dominancia de una sola especie, *Orbitolina texana* con 40 individuos, la cual, únicamente fue localizada en esta estación. Las tres estaciones muestreadas tuvieron en su mayoría una composición de organismos de las clases Bivalvia, Gastrópoda y Echinoidea. Por otra parte, el ammonite *Engonoceras* sp. perteneciente a sistemas paleoecológicos nectobentónicos, fue la especie que menos se registró en todas las estaciones, presentando una cantidad máxima de dos individuos en la estación 1 y un solo individuo en las estaciones 2 y 3. Estas paleocomunidades registraron una varianza (σ^2) superior a la media (μ) en todas las estaciones, mostrando que la distribución para todas las estaciones son de tipo agrupada con un tratamiento estadístico de tipo binomial negativo (Tabla 3).

Tabla 3. Distribución por estación. Var = Varianza, Media, Distribución espacial y tratamiento estadístico sugerido.

Estación	Cantidad	Var	Media	Distribución	Tratamiento
1	189	170.74	10.50	Agregada	Binomial Negativo
2	107	14.50	6.69	Agregada	Binomial Negativo
3	113	94.46	7.06	Agregada	Binomial Negativo

V.3.2. Índices ecológicos

Los índices ecológicos obtenidos muestran los siguientes datos (Tabla 4). Para la estación 1 se cuenta un total de 189 individuos distribuidos en 18 especies, con una dominancia de Simpson de 0.13 indicando que algunas especies como *Pithonella* sp. (n=50) seguida de *Parasmilia* sp. (n=35), pueden ser las dominantes en esta estación. La reciprocidad de Simpson tiene un total de 0.86, mostrando que tanto los recursos como la diversidad para las zonas de alta profundidad eran diversos. El índice de Shannon-Weaver dio como resultado 2.35, lo cual es considerado como una diversidad intermedia. El índice de Menhinick indica un valor de 1.30 y el índice de riqueza total de Chao indica un valor de 18 especies esperadas para este muestreo, el cual corresponde con el tamaño de la muestra. Las especies menos abundantes de esta estación fueron *Engonoceras* sp., *Gynmentone (Gynmentone) zebra* y *Tylostoma elevatum*, todas con un registro de 2 individuos.

La estación 2 tiene un total de 107 individuos distribuidos en 16 especies (Tabla 4). La dominancia de Simpson tiene un valor registrado de 0.08, que en relación con la cantidad de individuos la cual es muy uniforme dentro de las especies de esta estación, nos indica que hay un conjunto de especies dominantes, ya que el valor es cercano a cero. Esto se corrobora nuevamente con el índice de reciprocidad de Simpson, el cual es de 0.91. La diversidad de Shannon-Weaver indica al valor de 2.61, que da como resultado una muestra con diversidad intermedia, donde cualquier organismo encontrado en esta estación puede ser muestreado. El índice de Menhinick muestra un valor de 1.54, mientras que la riqueza total de Chao indica un valor de 16, lo cual corresponde con el número de individuos que fueron tomados en el área de estudio, además teniendo como ausencia a la especie *Pithonella* sp. y contando con especies únicas como *Caprinuloidea* sp, *Cerithium austinense*, *Protocardia* sp., *Protocardium granuliferum*. La especie menos abundante de esta estación es *Engonoceras* sp. la cual también es de las especies menos registrada en la estación 1 y se encuentra con otro grupo de ejemplares de abundancia total de 1 individuo en la estación 3.

En la estación 3 se tienen 113 individuos distribuidos en 16 especies (Tabla 4). El índice de dominancia de Simpson indica un valor de 0.17 lo cual indica la presencia de una especie dominante, que en este caso es *Orbitolina texana* con 40 individuos registrados. El índice de

diversidad de Simpson registra 0.83, debido a que la distribución de las especies omitiendo a *Orbitolina texana* es uniforme, con valores que van de 14 a 1 individuos registrados. La diversidad de Shannon-Weaver da un valor de 2.17, indicando una diversidad intermedia. El índice de Menhinick de un valor de 1.50. Mientras que el índice de Chao de una cantidad de 19 individuos probables a muestrear en la estación, superando en 3 valores a la cantidad que fue colectada. *Engonoceras* sp., *Euspira* sp., *Hemiaster* sp. y *Tetragramma malbosi* son las especies menos abundantes en la estación, contando solo con un individuo muestreado.

Tabla 4. Índices ecológicos utilizados para Cerro El Caloso por estación.

Índice	Estación		
	1	2	3
No. Taxa	18	16	16
Individuos	189	107	113
Dominancia de Simpson	0.13	0.08	0.17
Diversidad de Simpson	0.86	0.91	0.82
Shannon-Weaver	2.35	2.61	2.17
Menhinick	1.30	1.54	1.50
Chao	18	16	18

V.3.3. Dominancia de Simpson

En el análisis del índice de dominancia de Simpson se observa que los valores oscilaron entre 0.08-0.12. La estación 3, es aquella que refleja el valor más alto de dominancia con un valor de 0.17, con intervalos de confianza inferior de 0.12 y superior de 0.22. La estación 2 es aquella que presenta una menor dominancia con un valor de 0.08, e intervalos de confianza inferior de 0.08 y superior de 0.10. El bajo nivel de dominancia de esta estación se deba a que hay una gran cantidad de especies que tienen el mismo número de individuos. Por último, la estación número 1 cuenta con una dominancia de 0.14, indicando que una sola especie puede ser la dominante, con valores de intervalos de confianza inferior de 0.12 y superior de 0.17. La dominancia de estas tres estaciones alcanza su punto mínimo en la estación 2 con un valor de 0.08 y alcanza su valor máximo en la estación 3 con un valor de 0.17. Aquella estación que presenta una mayor

diversidad de acuerdo con el índice de dominancia de Simpson es la estación 2, debido a que posee valores uniformes entre las especies.

V.3.4. Reciprocidad de Simpson

El análisis profundo de la reciprocidad de Simpson denota que el grado de distribución de las especies es de 0.82 hasta 0.92. La reciprocidad de 0.82, la cual es la menor y corresponde a la estación 3, cuenta con intervalos de confianza inferior de 0.77 y superior de 0.87, la cual también cuenta con el valor de dominancia de especies, más alto. La mayor reciprocidad corresponde a la estación 2, con un valor de 0.92, con intervalos de confianza inferior de 0.90 y superior de 0.92. La Estación 2 también contó con el índice de dominancia más bajo de las tres estaciones. Por último, la estación número 1 cuenta con una reciprocidad 1-D de 0.86, con intervalo de confianza inferior de 0.83 y superior de 0.88. La estación 1 tuvo 0.14 en el índice de dominancia de Simpson. En esta ocasión, la mayor reciprocidad ocurre en la estación 2, con un valor de 0.92 y el valor más bajo en la estación 3, ambos valores correlacionables los índices de dominancia obtenidos en la tabla anterior.

V.3.5. Diversidad de Shannon-Weaver

Por otra parte, el índice de Diversidad de Shannon mostró valores que van de 2.17-2.62, demostrando que todas las estaciones poseen un nivel de diversidad normal y con valores similares. Para la estación 1 se tiene una diversidad de 2.36 con intervalo de confianza interior de 2.18 y superior de 2.46. La estación 2 cuenta con un valor de diversidad de 2.62, con un intervalo de confianza inferior de 2.47 y superior de 2.65. Finalmente, el índice de diversidad de la estación 3 posee un valor de 2.17 con un intervalo de confianza inferior de 2.01 y superior de 2.35.

V.3.6. Diversidad de especies de Menhinick

La diversidad de especies de Menhinick más alta obtenida se cuantificó en la estación 2 con un total de 1.55, con intervalo de confianza inferior de 1.55 y superior de 1.55. El menor índice de

riqueza se registró en la estación 1 con un valor de 1.31 e intervalos de confianza inferior de 1.24 y superior de 1.31. Por último, la estación 3 registró un valor de riqueza de 1.50, con intervalos de confianza inferior de 1.50 y superior de 1.50.

V.3.7. Riqueza de especies de Chao

Finalmente, el índice de riqueza de especies de Chao, arrojó los siguientes resultados. La estación 1 posee una riqueza de 18 especies totales esperadas con un límite de confianza inferior de 17 y superior de 21. La estación 2 posee un valor de 16 especies con un intervalo de confianza inferior de 16 y superior de 19. Por último, la estación 3 obtuvo una riqueza de 18 especies, con un índice de confianza inferior de 16 y superior de 26. *Parasmilia* es uno de los organismos dominantes en la estación 1 con 35 organismos. Esta especie no se vuelve a presentar en otras estaciones donde se encuentran otros organismos de tipo formador arrecifal como *Caprinuloidea* con 12 individuos en la estación 2 y *Coalcomana ramosa* con 12 organismos en la estación 3, donde también se tiene al Cnidario *Epistreptophyllum*. Es probable que el tipo de hábito y competencia por recursos de los rudistas en estas zonas haya sido un factor determinante que inhibía la distribución de los corales en otras estaciones, ya que su presencia es nula en la estación 2 o muy escasa como en la estación 3 con solo tres ejemplares de *Epistreptophyllum*. No obstante, el tipo de sustrato que habitaban los corales tenían propiedades rígidas, mientras que los rudistas podían poblar casi cualquier tipo de sustrato.

V.3.8. Grupos funcionales

Dentro de las comunidades existen los gremios, que son grupos de organismos funcionalmente similares que a su vez desempeñan tareas o procesos similares dentro de un ecosistema (Benton y Harper, 2010).

Los gremios/grupos funcionales asignados en este trabajo fueron clasificados en 12 categorías, donde se incluyeron organismos de tipo: infaunal sésil saprófago, infaunal vágil saprófago, infaunal vágil detritívoro, infaunal vágil carnívoro, epifaunal sésil carnívoro, epifaunal sésil saprófago, epifaunal sésil herbívoro, epifaunal vágil detritívoro, epifaunal vágil herbívoro, epifaunal vágil saprófago, nectobentónico carnívoro y desconocido.

En la estación 1 se registró un total de 18 especies, que se categorizaron en 10 gremios diferentes, siendo esta la estación que mayor número de gremios aportó a la comunidad. Los organismos de tipo infaunal vágil saprófago, epifaunal sésil carnívoro y epifaunal vágil herbívoro fueron los que presentaron mayor abundancia con 3 especies descritas para cada uno, correspondientes al 17% de las especies/gremio de la estación (Figura 33). En la estación 1 se tuvo un total de 10 gremios identificados, distribuidos en un total de 189 individuos colectados (Figura 34). Especies encontradas en esta estación como *Pithonella* sp. se reportan como un grupo de dinoflagelados donde su paleoecología se ha atribuido a ambientes de poca profundidad y de aguas cálidas, formando parte del plancton (Trejo, 1983). Por otra parte, la presencia de el coral solitario *Parasmilia* sp. permite formular que estos mares poseían una cantidad normal de nutrientes sobre la columna de agua, ya que esto les permitía una cantidad óptima de entrada de luz necesaria para permitirse existir en esta zona, la cual es la más profunda de las 3 estaciones (Wood, 1995). La diversidad de organismos filtradores y herbívoros como bivalvos y gasterópodos presentes en este paleoambiente fue quizás lo que ayudó a mantener las condiciones necesarias para que proliferaran los corales solitarios, factor el cual fue aprovechado por aquellos organismos carnívoros como *Exogyra texana* y *Gryphaea* sp.

Estación 1.

Consumidores primarios-Epifaunales.

Epifaunal saprófago (sésil) Dinophyceae: *Pithonella* sp.

Epifaunal carnívoro/fotosimbiótico (sésil) -Anthozoa: *Parasmilia* sp.

Consumidores secundarios-Infaunales.

Infaunal saprófago (sésil), -Bivalvia: *Corbula* sp.

Infaunal saprófago(vágil), -Bivalvia: *Ludbrookia* sp., *Remondia furcata*,
Unio hubbardi.

Infaunal detritívoro (vágil) -Gastropoda: *Anchura monilifera*. Echinoidea:
Hemiaster sp.

Consumidores secundarios-Epifaunales,

Epifaunal saprófago (sésil) - Echinoidea: *Saccocoma* sp.

Epifaunal carnívoro (sésil) -Bivalvia: *Exogyra texana*, *Gryphaea* sp.

Epifaunal saprófago (vágil) -Gastropoda: *Turritella-seriatim granulata*.

Epifaunal detritívoro-herbívoro (vágil) -Echinoderma saprofago: *Tetragramma malbosi*.

Epifaunal herbívoro (vágil) –Gastropoda: *Cassiope c cf burnsi*, *Margarites bartonensis*, *Tylostoma elevatum*.

Consumidores secundarios nectóbentónicos.

Carnívoros -Cephalopoda: *Engonoceras* sp.

Desconocido.

Gynmentone (Gynmentone) zebra.

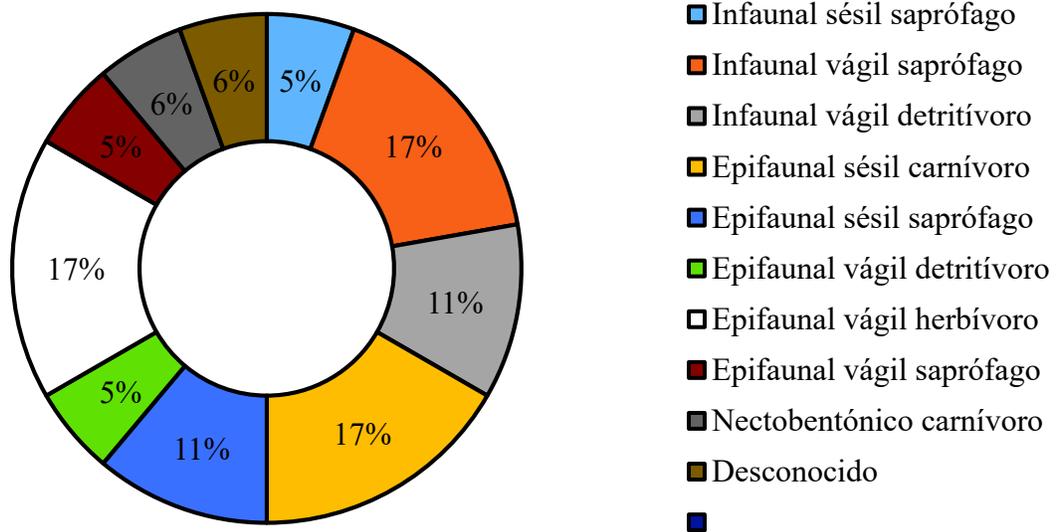


Figura 33. Porcentaje de especies/gremios presentes en la estación 1.

De igual manera, se realizó el conteo de individuos/gremio, donde los organismos de tipo epifaunal sésil carnívoro fueron los que presentaron mayor abundancia, con 60 individuos colectados, con especies representativas como *Parasmilia* sp.; seguido de los individuos

epifaunales sésiles saprófagos con 53 individuos contabilizados donde podemos encontrar a *Pithonella* sp.; y los de tipo infaunal vágil saprófago con 31 individuos registrados, entre los que se encuentran *Ludbrookia* sp., *Remondia furcata*, *Unio hubbardi* (Figura 34).

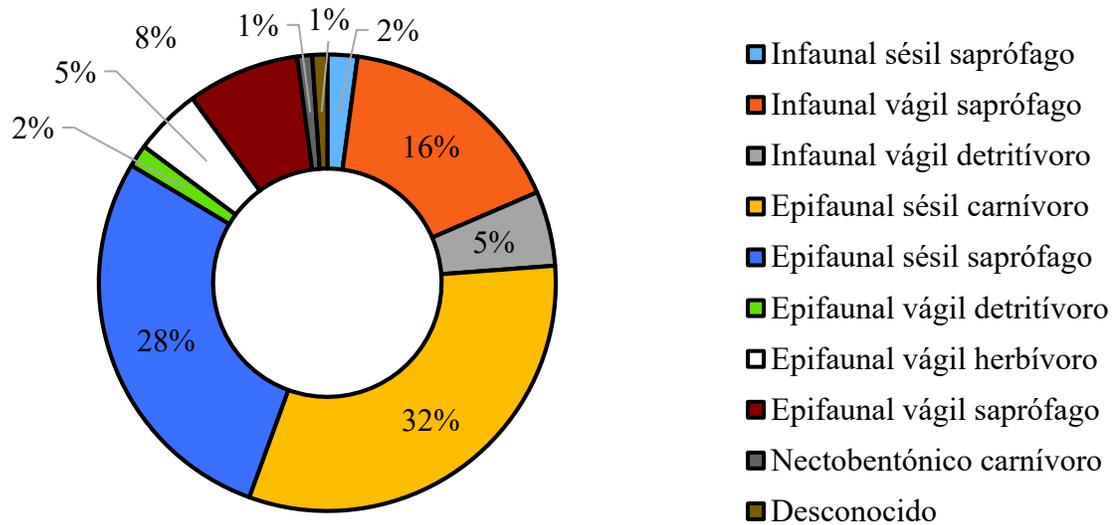


Figura 34. Porcentaje de individuos/gremio presentes en la estación 1.

En la estación 2 se registró un total de 16 especies, que se categorizaron en 8 gremios diferentes. Se hizo presente el rudista *Caprinuloidea* sp., el cual dentro del Mar Interior Norteamericano jugó un papel importante en la creación de estructuras arrecifales (García-Barrera, 2006). No obstante, la profundidad que este rudista ocupó en relación a la ausencia de corales para este bloque nos permite inferir que la estación 2 se encontraba a una menor profundidad, en un ambiente donde tenemos agua mayormente eutrofizada (Scott, 1988; Gili et al., 1995; Wood 1995; Steuber y Löser 2000) y con un considerable número de organismos filtradores y herbívoros. En esta estación se contabilizó la menor cantidad de gremios. Los organismos de tipo epifaunal vágil herbívoro fueron los dominantes (con un total del 25%) distribuidos en 4 especies descritas; seguidos del tipo infaunal vágil saprófago y infaunales vágil detritivos, en este caso presentando ambos un 19% distribuido en un total de 3 especies (Figura 35).

Estación 2.

Consumidores secundarios-Infauales.

Infaunal saprófago (vágil) -Bivalvia: *Protocardia* sp., *Trigonia mooreana*, *Protocardium granuliferum*.

Infaunal detritívoro (vágil) –Gastropoda: *Anchura monilifera*, *Anchura transversa*. Echinoidea: *Hemiaster* sp.

Infaunal carnívoro (vágil) -Gastropoda: *Lunatia* sp.

Consumidores secundarios-Epifaunales.

Epifaunal saprófago (sésil) -Bivalvia: *Caprinuloidea* sp., *Exogyra texana*.

Epifaunal saprófago (vágil) -Gastropoda: *Turritella-seriatim granulata*

Epifaunal herbívoro (vágil) -Gastropoda: *Cerithium austinense*, *Margarites bartonensis*, *Tylostoma elevatum*, *Tylostoma mutabilis*.

Consumidores secundarios Nectónicos.

Carnívoros -Cephalopoda: *Engonoceras* sp.

Consumidor secundario Epifaunal.

Epifaunal (vágil) -Gastropoda: *Cassiope* cf. *C. burnsi*.

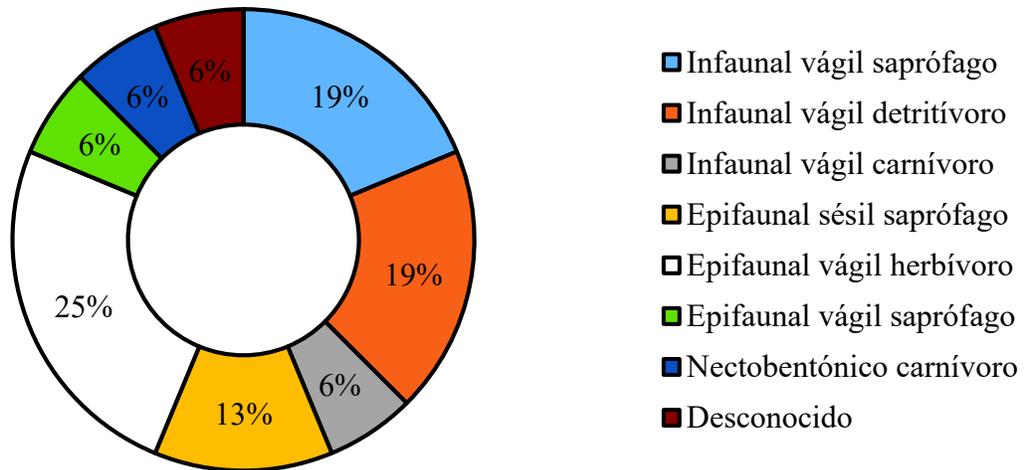


Figura 35. Porcentaje de especies/gremios presentes en la estación 2.

Se realizó el conteo de individuos/gremio donde los organismos de tipo epifaunal vágil herbívoro mostraron una mayor abundancia con 30 individuos colectados, representados por individuos como *Cerithium austinense*, *Margarites bartonensis*, *Tylostoma elevatum* y *Tylostoma mutabilis*.; seguido de los individuos de tipo infaunal vágil saprófagos con 22 individuos contabilizados donde podemos encontrar a *Protocardia* sp., *Trigonia mooreana* y *Protocardium granuliferum*.; y los de tipo epifaunal sésil saprófago con 16 individuos contabilizados, entre los que se encuentran *Caprinuloidea* sp. y *Exogyra texana* (Figura 36).

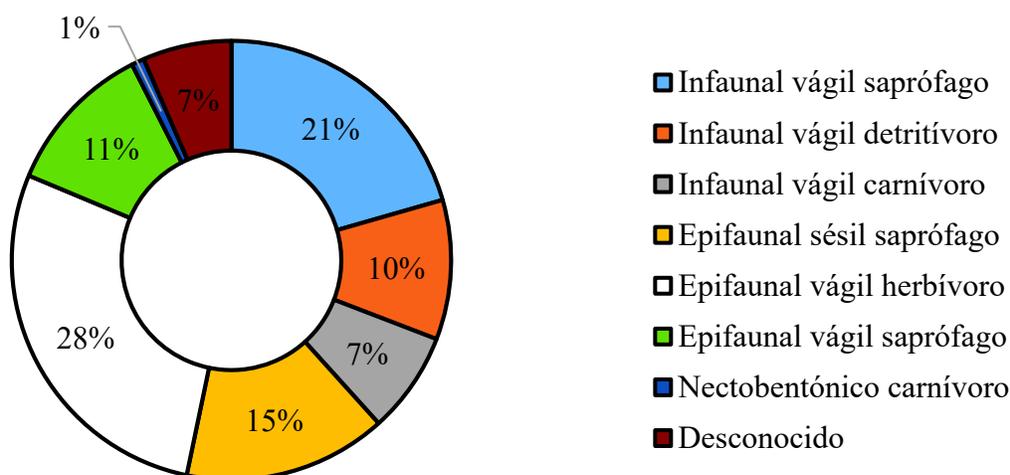


Figura 36. Porcentaje de individuos/gremio presentes en la estación 2.

Por último, en la estación 3 se registró un total de 16 especies, donde se categorizaron 9 gremios diferentes. Este paleoambiente contó con la presencia del rudista *Coalcomana ramosa*, característico de zonas arrecifales del Cretácico de México (García-Barrera, 2006). Dadas las características de la fauna disponible para estos ambientes donde tenemos también la presencia *Orbitolina texana* y escasos registros del ammonite *Engonoceras* sp. se puede deducir que la estación 3 cumple con las condiciones más someras del registro (Allison, 1955; Scott, 1988; Gili et al., 1995). De acuerdo con Wilsón (1975) la presencia de Bivalvos, Gasterópodos y Equinodermos en abundancia, son un fuerte indicador de zonas arrecifales. Los organismos de tipo infaunal vágil detritívoro e infaunal vágil saprófago cumplieron con el mayor número de especies registradas con un total del 19% distribuido en 3 especies (Figura 37).

Estación 3.

Consumidores primarios-epifaunales.

Epifaunal herbívoro (sésil) -Foraminifera: *Orbitolina texana*.

Epifaunal carnívoro/fotosimbiótico (sésil) -Anthozoa: *Epistreptophyllum* sp.

Consumidores secundarios-infaunales.

Infaunal saprófago (vágil) -Bivalvia: *Ludbrookia* sp, *Remondia furcata*,
Trigonia mooreana.

Infaunal detritívoro (vágil), -Bivalvia: *Anchura monilifera*, *Anchura transversa*. Echinoidea: *Hemiaster* sp.

Infaunal carnívoro (vágil)- Gastropoda: *Lunatia* sp., *Euspira* sp.

Consumidores secundarios, epifaunales.

Epifaunal saprófago (vágil) -Gastropoda: *Turritella-seriatim granulata*.

Bivalvia: *Coalcomana ramosa*.

Epifaunal detritívoro (vágil) -Echinoidea: *Tetragramma malbosii*.

Epifaunal herbívoro (vágil) -Gastropoda: *Margarites bartonensis*, *Tylostoma mutabilis*.

Consumidores secundarios, Nectobentónicos.

Carnívoro (vágil) -Cephalopoda: *Engonoceras* sp.

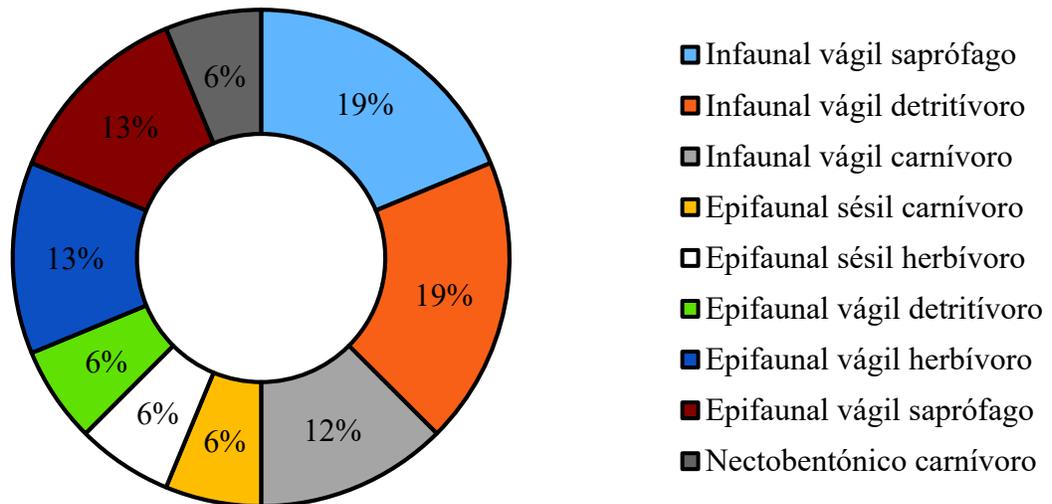


Figura 37. Porcentaje de especies/gremios presentes en la estación 3.

El conteo de individuos/gremio registró un total de 113 individuos para la estación 3, donde los organismos de tipo epifaunal sésil herbívoro mostraron una mayor abundancia con 40 individuos colectados, únicamente representados por *Orbitolina texana*; seguido de los individuos de tipo epifaunal vágil saprófago con 26 individuos contabilizados, donde podemos encontrar a *Turritella-seriatim granulata* y *Coalcomana ramosa*; y los de tipo infaunal vágil saprófago con 24 individuos contabilizados, entre los que se encuentran *Ludbrookia* sp, *Remondia furcata* y *Trigonia mooreana* (Figura 38).

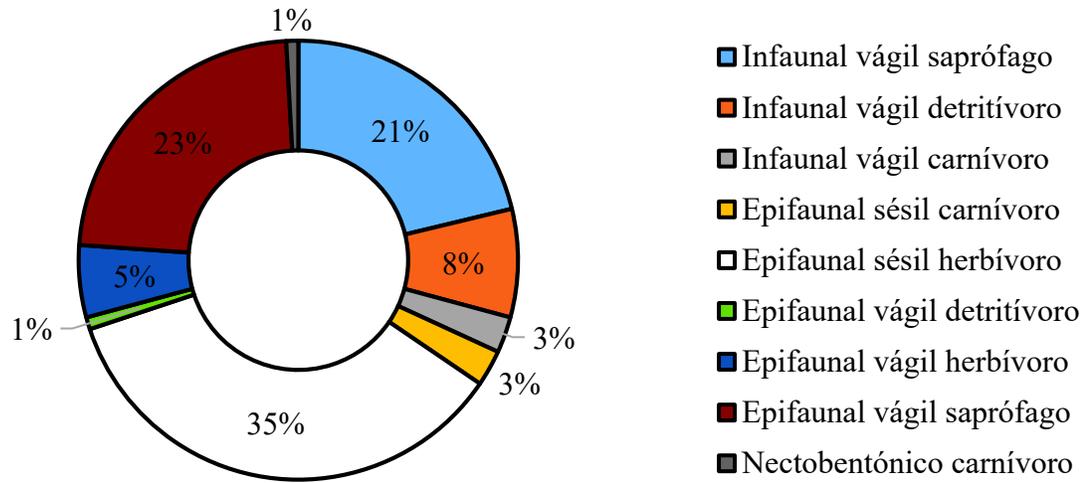


Figura 38. Porcentaje de individuos/gremios presentes en la estación 3.

VI. DISCUSIÓN

En Cerro el Caloso se localizaron organismos como foraminíferos, corales, bivalvos, gasterópodos, cefalópodos y equinodermos. Estudios anteriores, han revelado que las faunas descritas para el Mar Interior Norteamericano eran diversas para los países como México, Estados Unidos y Canadá, con conexiones marinas durante los eventos regresivos/transgresivos del Cretácico Temprano (Scott, 1975; Kauffman, 1984; Landman *et al*, 2012), lo cual se ve reflejado con la amplia variedad de individuos que fueron recolectados en esta localidad, entre los que se encuentran *Pithonella* sp., *Parasmilia* sp., *Orbitolina texana*, *Ludbrookia* sp y *Turritella seriatim-granulata* como las más abundantes.

Un grupo de organismos que se describieron de las faldas de Cerro El Caloso son los corales. Los corales son escasos para este periodo (Scott, 1988, Gili *et al* 1995) y están representados en esta comunidad por el género *Parasmilia* el cual se compone de organismos solitarios (Freiwald y Roberts, 2006; Jell *et al.*, 2011; Löser, 2016) y únicamente está presente en la estación 1, la cual representa la zona de mayor profundidad. Por otra parte, los rudistas *Caprinuloidea* sp. y *Coalcomana ramosa* se localizan en las estaciones 2 y 3, las cuales son parte de aguas más someras. Los rudistas durante el Cretácico Inferior son conocidos por formar asociaciones arrecifales durante los tiempos del Hauteriviano hasta el Albiano construyendo sus bases en plataformas someras, aprovechando aquellos ecosistemas que los corales eran incapaces de colonizar, por lo general a menor profundidad (Scott, 1988). Estudios realizados por Scott (1988) y Gili *et al.*, (1995) definen a los corales como organismos que preferían ambientes donde las temperaturas no eran tan calidas durante el Cretácico Temprano por lo que, se estipula que la estación 1 donde se localiza *Parasmilia* sp. presenta una mayor profundidad a su vez que una menor temperatura comparado a las estaciones 2 y 3, donde encontramos a *Caprinuloidea* sp y *Coalcomana ramosa*. No obstante, Steuber y Löser (2000) mencionan que *Caprinuloidea* sp. y *C. ramosa* al ser rudistas recumbentes estaban adaptados a ambientes de alta energía y corrientes fuertes, por lo cual sigue siendo un misterio por qué los podemos encontrar en estos sedimentos, ya que contrasta al tipo de paleoambiente descrito por los estratos de wackestone y floatstone recopilados en este estudio ya que, Wilson (1975) los asocia con ambientes de baja energía. Por otra parte, *Engonoceras* es un género que ha sido registrado en

ambientes de profundidad, fuera de la costa (Scott, 1970; Kennedy *et al.*, 1998) y escasamente en ambientes someros (Robert *et al.*, 2018), lo cual corrobora el tipo de ambiente al que estaba sometida esta paleocomunidad la cual pudo ser de arrecife.

Ifrim (2013) en su estudio realizado en la Formación Vallecillo, Nuevo León, realizó un conteo de aquellos grupos fósiles que son encontrados mayormente en ambientes de aguas profundas/mar abierto, donde más del 50% de las muestras obtenidas para este tipo de ambientes es perteneciente a peces o fragmentos de estos, seguido de restos de bivalvos y ammonites, los cuales presentan una mayor abundancia que los que fueron encontrados en la Caliza Mural. Hernández-Ocaña *et al.*, (2015) mencionan que la Formación San Juan Raya, en Puebla, poseían formas similares de ostreidos de la familia Gryphaeae entre ellos especies del género *Gryphaea* y *Exogyra*, géneros también descritos en esta investigación. Los ostreidos de la paleocomunidad de San Juan Raya presentaron biohermas, los cuales en Cerro El Caloso no fueron reportados, a pesar de poseer faunas similares. No obstante, el grado de alteración de las muestras de San Juan Raya debido a su grado de fragmentación parecen corresponder a un ambiente cambiante donde a pesar de ser somero se tuvieron durante diferentes periodos de tiempo bajas y fuertes corrientes. Por otra parte, existe similitud entre las paleocomunidades, ya que ambas etológicamente recurrieron a condiciones gregarias y también llegaron a formar ambientes similares a arrecifes, con la diferencia de que fueron ostreidos los principales formadores. Otro estudio en Arroyo La Cruz, Oaxaca (Sánchez-Beristain *et al.*, 2019) revela condiciones similares a las que se tienen en Cerro El Caloso, con una fauna representada por corales, bivalvos, gasterópodos, ammonites y equinoideos. Sin embargo, estas faunas poseen también briozoos, nerineas y belemnites, los cuales no fueron registrados en el área de estudio. En efecto, este conjunto de estratos es rico en caliza, lutita, conglomerado, arenisca y margas, de las cuales, las dos últimas no se localizan en Cerro El Caloso. Algunas especies de esponjas como *Acanthochaetetes huaucillensis* se encuentran asociados a estos estratos en compañía de rudistas como *Coalcomana ramosa*, *Amphitriscoelus waringi* y *Amphitriscoelus pluriloculata*, que gracias a ellos al igual que el paleoambiente asignado a los alrededores de Cerro de Oro para el Cretácico Temprano han sido designados como de tipo arrecifal de aguas con baja energía. No obstante, los belemnites y ammonites para esta zona se describen únicamente para aguas profundas donde no se cuenta con la presencia de rudistas.

Los bancos de rudistas se encuentran por lo general, en ambientes someros de baja energía. No obstante, la idea de que estos formaran asociaciones arrecifales por sus cualidades gregarias es puesta actualmente en duda (Benton y Harper, 2010). Los nichos que ocupaban dentro de la columna de agua eran diferentes y, a pesar de que se tienen indicios de la presencia de algas en sus valvas no se ha determinado si realmente existía una asociación simbiótica por parte de estas (Gili *et al.*, 1995). Existen también diferencias entre los tipos de ambientes que estos colonizaban en relación al sustrato ya que, a diferencia de los corales, los rudistas podían crecer en ambientes de bajas y altas tasas de sedimentación, en sustratos duros e influencia de mareas de alta energía y también en sustratos móviles donde abundan las tasas de movimiento de sedimento (Steuber y Löser, 2000).

Existe una mayor cantidad de individuos recolectados en la estación 1 donde se tiene una mayor profundidad. Esto puede ser debido a la influencia de las corrientes marinas cálidas que se presentaban en los océanos Cretácicos, y que han demostrado que probablemente estas han desplazado a algunos tipos de organismos, como es el caso de los corales (Scott, 1988). No obstante, existen algunos otros puntos a discutir que no pudieron llevarse a cabo en esta investigación. Fue imposible determinar si la influencia de otros factores como los altos niveles de CO₂ (Pacual-Cebrian *et al.*, 2016), el acarreo de nutrientes continentales (Scott, 1988; Hallam, 1992) y la formación de mares aragoníticos (Sánchez-Beristain *et al.*, 2016) jugaron un papel importante en la batimetría obtenida en Cerro El Caloso. También fue imposible determinar si realmente todos los organismos tienen las mismas tasas de afectación por los factores ambientales como temperatura, salinidad y luz entre las estaciones, donde si podemos apreciar que las aguas someras tienen menor diversidad de géneros y menor número de organismos.

Los resultados obtenidos del índice de Dominancia de Simpson a pesar de poseer valores cercanos a cero indicaron que la abundancia en mayor proporción de especies como *Orbitolina texana*, *Parasmilia* sp. o *Pithonella* sp. no parecen afectar a las comunidades de otros organismos por lo que, los análisis de índices de Reciprocidad de Simpson dieron como resultado valores cercanos a uno, mostrando que tal vez, estos individuos no competían por los mismos recursos. No obstante, las asociaciones de rudistas no son las especies que presentan mayor abundancia para este muestreo, por lo que, las condiciones de temperatura para este tipo

de ambientes someros no parecían poseer ambientes muy cálidos, lo cual se puede correlacionar con la presencia de corales, así como la abundancia de otros grupos de organismos. Por su parte, el índice de Shannon-Weaver corrobora nuevamente que la diversidad óptima de las tres estaciones pudiera relacionada con la abundancia de nutrientes y ambientes de una salinidad óptima para diferentes grupos faunísticos. Mientras que el índice de Diversidad de Menhinick describe que hay una mayor diversidad para la zona intermedia de la columna batimétrica, lo cual puede ser debido a los recursos que se compartían entre las zonas someras y de profundidad. Por último, el índice de Chao presenta anomalías en la zona somera, con un mayor número de individuos esperados contra colectados, por lo que factores como la abundancia de ciertos grupos o ciertas especies pudo verse afectado ya sea por la temperatura y salinidad o procesos de fosilización que impidieron la conservación de todos los organismos para este estrato.

VII. CONCLUSIONES

Cerro El Caloso cuenta con una comunidad fósil de invertebrados marinos representada por 30 especies, donde se encuentran organismos como foraminíferos, corales, bivalvos, gasterópodos, cefalópodos y equinodermos. El análisis para determinar el tipo de ambiente de depósito mediante el uso de microfacies en cortes de lámina, clasificando las rocas de acuerdo a los índices de Folk (1962), Dunham (1962), Embry y Klovan (1972), Wilson (1975), Pettijohn *et al.*, (1987) y Flügel (2010) permitió determinar este paleoambiente como de tipo lagunar de circulación abierta de baja energía, evidenciados por las texturas de la roca como wackestone, floatstone y packstone, todos con abundantes restos de foraminíferos, braquiópodos, bivalvos, gasterópodos, equinodermos y presencia de pellets. No obstante, la presencia abundantes rudistas representadas por dos especies, las cuales son *Caprinuloidea* sp. y *Coalcomana ramosa* son característicos de ambientes arrecifales. Las agrupaciones de rudistas que se lograron identificar en Cerro El Caloso probablemente se ubicaban en el límite entre la zona somera y el mar abierto, lo cual se correlacionaría con la poca presencia de ammonites del género *Engonoceras*. También se cuenta con la presencia de corales solitarios de la especie *Paramilia* sp., los cuales fueron descritos en el ambiente más profundo de esta paleocomunidad (estación 1). Las especies de rudistas *Caprinuloidea* sp. y *Coalcomana ramosa* colonizaron los ambientes más someros que los corales no pueden alcanzar, en este caso en las estaciones 2 y 3.

La distribución de los organismos en estos estratos durante el Cretácico Temprano fue de tipo agrupada, siempre mostrando valores mayores en la varianza en comparación con la media muestral. El índice de dominancia de Simpson demostró que la especie *Pithonella* sp. dominaba aquellos ambientes representados en la estación 1 los cuales tenían una profundidad mayor en el arrecife, zona donde también encontramos al coral solitario *Parasmilia* sp. como la segunda especie más abundante. No obstante, el índice de reciprocidad de Simpson muestra que tal vez los recursos para estas zonas se distribuían de manera equitativa. De acuerdo con el índice de Diversidad de Shannon se cuenta con una diversidad normal. Finalmente, el índice de Chao demostró que el número de especies localizadas en este estrato fueron óptimas para el total de individuos que se contabilizaron para esta estación. La zona de transición entre los estratos de mayor y menor profundidad representada por la estación 2 no tuvo como tal una especie

dominante, sin embargo, empiezan los registros del rudista *Caprinuloidea* sp. indicando aguas más someras. Existió un conjunto de especies dominantes de acuerdo al índice de Simpson. Sin embargo, la reciprocidad que hubo dentro de este conjunto de organismos fue alta. La diversidad descrita para esta zona fue nuevamente de tipo normal y el Índice de Chao dio como resultado una cantidad de especies registradas contra esperadas con valores similares. Por otra parte, la estación 3, que representa la zona más somera de este paleoambiente, es dominada por *Orbitolina texana*. Sin embargo, se determinó que existe alta reciprocidad en este ambiente debido a la alta diversidad que este posee. La diversidad registrada por el índice de Shannon dio un registro normal para esta zona de la paleocomunidad. No obstante, el Índice de Chao mostró que la cantidad de especies registradas en relación al número de organismos que presentó esta estación debió ser mayor al que fue registrado. El Índice de Menhinick indica que este paleoambiente contó con una mayor diversidad en la estación número 2 donde se tiene la zona intermedia entre la mayor y menor profundidad, seguido de la estación 3 de aguas más someras y la estación 1 de aguas más profundas.

En este estudio se lograron identificar 12 gremios/grupos funcionales. La estación 1 tuvo una mayor abundancia de organismos de tipo epifaunal sésil carnívoro, siendo *Parasmilia* sp. que presentó un mayor registro. La estación 2 se conformó principalmente de organismos de tipo epifaunal vagil herbívoro, gremio compuesto de los gasterópodos *Cerithium austinense*, *Margarites bartonensis*, *Tylostoma elevatum* y *Tylostoma mutabilis*. Por último, la estación 3 tuvo mayormente organismos del tipo epifaunal vágil saprófago, con *Orbitolina texana* como la especie más representativa.

La mayoría de los organismos recolectados fueron especies que se encuentran distribuidas de manera cosmopolita, teniendo un mayor número de especies identificadas en Alemania, Estados Unidos, España, Egipto, Francia, Inglaterra y México. No obstante, un grupo de organismos endémicos registrados fueron los rudistas *Caprinuloidea* sp. y *Coalcomana ramosa*. Por otra parte, *Engonoceras* sp. es un caso anormal ya que se encuentra en el área de Texas, Kansas y el norte de México. Sin embargo, cuenta con un solo registro en Egipto. Debido a esto, se pueden concluir diferentes escenarios: 1) *Engonoceras* sp. es una especie retringida únicamente al Mar Interior Norteamericano y 2) probablemente la taxonomía de este organismo está mal descrita y presenta sinonimias con otras especies. Por lo que, se necesita revisar el

material proveniente de otros continentes para corroborar que no hay sinonimias entre otros ammonites que se encuentran distribuidos en otras partes del mundo.

VIII. RECOMENDACIONES

La paleogeografía obtenida en este proyecto fue realizada a través de las bases de datos Paleobiology Data Base y Fossilworks. No obstante, se recomienda revisar de manera detallada los especímenes con los cuales se llevaron a cabo estos registros, como también su clasificación taxonómica más reciente, ya que estos pudieran correr del riesgo de estar mal clasificados. De igual manera, es recomendado revisar los especímenes que estuvieron únicamente restringidos al Mar Interior Norteamericano, para identificar aquellas especies endémicas o sus centros de origen, para así, evaluar aquellos patrones de dispersión que pudiesen existir en grupos ya extintos o recientes.

Asímismo, este trabajo puede utilizarse para realizar una comparativa con otros estudios paleoecológicos que se deseen hacer para el Cretácico Inferior de todo México, con lo que se podría entender más la dinámica paleoecológica y los paleoambientes a los que se sometieron estos organismos.

IX. LITERATURA CITADA

- Abdel-Gawad, G. I. 2008. Late Cenomanian ammonites from NE Libya and the western desert of Egypt. *Geology* 3:201-218.
- About Ela, N. A., G. L. Abdel-Gawad y M. F. Alyg. 1991. Albian fauna of Gabal Manzour, Maghara Area north Sinai, Egypt. *Journal of African Earth Sciences (and the Middle East)* 13: 201-220. doi: 10.1016/0899-5362(91)90005-J
- Albuquerque Pereira, P., C. R. de Cassia Tardin y A. M. Franca Barreto. 2017. Paleocologia e Paleogeografia dos Moluscos e Equinoides da Formação Romualdo, Aptiano–Albiano da Bacia do Araripe, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociência* 40:181-198. doi: 10.11137/2017_2_180_198
- Alencaster G. 1973. Una nueva especie de Toucasia en el Cretacico medio de los estados de Oaxaca y Puebla. *Paleontología Mexicana* 36: 3-18.
- Alencáster, G. 1978. Distribución de faunas marinas del sur de Mexico y del Norte de América Central durante el Cretácico. En: I. Ferrusquía-Villafranca (Ed.), *Conexiones terrestres entre Norte y Sudamérica. Simposio Interdisciplinario Sobre Paleogeografía Mesoamericana: Vol. Boletín 101* (Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología 47-64.
- Alencáster, G. y J. Pantoja-Alor. 1986. *Coalcomana ramosa* (Boehm)(Bivalvia-Hippuritacea) del Albiano temprano del Cerro de Tuxpan, Jalisco. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 47:33-46. doi: 10.18268/BSGM1986v47n1a3
- Alencáster G. y J. Pantoja-Alor 1998. Two new Lower Cretaceous rudists (Bivalvia-Hippuritacea) from the Huetamo Region; Southwestern Mexico. *GEOBIOS* 22: 15–28. doi:10.1016/s0016-6995(98)80061-2
- Alencáster, G. y L. Flores Timoteo. 2009. Cuando el mar invadió a México. Una historia narrada por fósiles. *Nuestra Tierra* 12: 5-11.
- Allison, E. C. 1955. Middle Cretaceous Gastropoda from Punta China, Baja California, Mexico. *Journal of Paleontology*, 29: 400-432.
- Applegate, S. P., B. E. Buitrón-Sánchez, F. A. Solís-Marín y A. Laguarda-Figueras. 2009. Two Lower Cretaceous (Albian) Fossil Holothurians (Echinodermata) from Tepexi De Rodriguez, Puebla, Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 122: 91-102. doi: 10.2988/07-41.1
- Alroy, J., M. Aberhan, D. J. Bottjer, M. Foote, F.T. Fürsich, P.J. Harries, A. J. W. Hendy, A. J. W, S.M. Holland, L. C. Ivany, W. Kiessling, M.A. Kosnik, C.R. Marshall, A.J. McGowan, A.I. Miller, T.D. Olszewski, M.E. Patzkowsky, S.E. Peters, L. Villier, P.J. Wagner y C. C. Visaggi. 2008. Phanerozoic Trends in the Global Diversity of Marine Invertebrates. *Science* 321: 97-100. doi: 10.1126/science.1156963
- Ashu, K. y L. Spencer. 2016. Cretaceous Period: Biotic diversity and biogeography-An Introduction. *New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin* 71: 1-4.
- Ayoub-Hannaa, W., S. Asam, G. Forkuor, Y. Walz, S. Fritsch, F. Pollinger y C. Streckel. 2011. Taxonomy and palaeoecology of the Cenomanian-Turonian macro-invertebrate from eastern Sinai, Egypt. Tesis Doctoral. Universität Würzburg. Alemania.
- Baron-Szabo R.C. y C.M. González-León. 1999. Lower Cretaceous corals and stratigraphy of the Bisbee Group (Cerro de Oro and Lampazos areas), Sonora, Mexico. *Cretaceous Research* 20: 465–497. doi: 10.1006/cres.1999.0159

- Baron-Szabo, R. C. 2018. Scleractinian corals from the upper Berriasian of central Europe and comparison with contemporaneous coral assemblages. *Zootaxa* 4383: 1–98. doi:10.11646/zootaxa.4383.1.1
- Barragán R. y O. Szives. 2007. New records of *Mathoceras* Casey (Deshayesitidae, Ammonoidea) from the Aptian (Lower Cretaceous) of Mexico and Hungary: Biostratigraphic and paleobiogeographic implications. *GEOBIOS* 40: 21–30. doi: 10.1016/j.geobios.2006.03.001
- Barragán, R. y F. J. Maurrasse. 2008. Lower Aptian (Lower Cretaceous) ammonites from the basal strata of the La Peña Formation of Nuevo León State, northeast Mexico: biostratigraphic implications. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 25: 145-157.
- Barron, E. J. y W. M. Washington. 1982. Cretaceous climate: A comparison of atmospheric simulations with the geologic record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 40: 103-133. doi: 10.1016/0031-0182(82)90086-4
- Begon, M., y C. R. Townsend. 2006. *Ecology: from individuals to ecosystems*. John Wiley & Sons. New Jersey, United States. 738
- Benton, M. J. y D. A. Harper. 2010. *Introduction to paleobiology and the fossil record*. John Wiley & Sons. New Jersey, United States. 572
- Bonde, J. W., R. P. Hilton, F. D. Jackson y P. A. Druschke. 2015. Fauna of the Newark Canyon formation (Lower Cretaceous), east-central Nevada. 139-150 p. En: *Geological Society of Nevada Symposium*. Reno, Nevada.
- Bosellini, A., A. Russo y R. Schroeder. 1999. Stratigraphic evidence for an Early Aptian sea-level fluctuation: the Graua Limestone of south-eastern Ethiopia. *Cretaceous Research* 20: 783-791. doi: doi.org/10.1006/crel.1999.0183
- Bristow. C. R. 1991. *Geology of the Petersfield district, Hampshire*. British Geological Survey Technical Report 9:1-101.
- Buffetaut, E. y S. Hutt. 1980. *Vectisuchus leptognathus*, n. sp., a slender-snouted goniopholid crocodylian from the Wealden of the Isle of Wight. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Monatshefte* 385-390.
- Bugrova, I. J. 1990. The facies zonation and scleractinians of the early Hauterivian reef complex of Bolshoy Balkhan. *Cretaceous Research* 11: 229-236.
- Buitrón-Sánchez, B. E. y J. B. Duarte. 1980. Nerineidos (Mollusca-Gastropoda) del cretácico inferior de la región de San Juan Raya, Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 4: 46-55.
- Buitrón, B. E. 1986. Gasterópodos del Cretácico (Aptiano Tardío-Albiano Temprano) del Cerro de Tuxpan, Jalisco. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 17-31.
- Buitrón-Sánchez, B. E., y Y. López-Tinajero. 1995. Mollusk gastropods in a Lower Cretaceous rudist-bearing formation of Jalisco, west central Mexico. *Revista Mexicana de ciencias geológicas* 12: 5.
- Buitrón-Sánchez, B. E., J. Pantoja-Alor y Y. E. R. De La Rosa. 2003. Gasterópodos cretácicos (Aptiano-Albiano) de la región de San Lucas, estados de Michoacán y Guerrero. 177-188, En: n Soto, L. (ed.), *Agustín Ayala-Cañizares universitario, impulsor de la investigación científica: México, D.F., Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*,
- Buitrón-Sánchez, B. E., A. Durán-González, C. Martín-Cao-Romero, F.A. Solís-Marín y A. Laguarda-Figueras. 2015. Lower Cretaceous (Albian) Asteroidea (Echinodermata)

- from Tepexi de Rodriguez, Puebla, Mexico. *Revista de Biología Tropical* 63: 7-15.
- Bürgl, H. 1958. Geología de la Península de la Guajira. *Boletín Geológico* 6:117-163.
- Caron, J.B. y D. A. Jackson. 2008. Paleocology of the greater phyllopod bed community, burgess shale. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 258: 222–256. doi: 10.1016/j.palaeo.2007.05.023
- Carreño, A. L. y M. Montellano-Ballesteros. 2005. La Paleontología mexicana ; pasado, presente y futuro. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 57: 137-147.
- Casey, R.1961. The stratigraphical palaeontology of the Lower Greensand. *Palaeontology*, 3: 487-621.
- Chao, A. 2005. Species estimation and applications. 7907-7916 p. En: Balakrishnan, N., Read, C.B.,Vidakovic, B. (Eds.), *Encyclopedia of Statistical Sciences*. Wiley, New York.
- Chacón-Baca, E., M. P. V. León, C. Castañeda-Posadas y F. J. Cuen-Romero. 2020. La Sociedad Mexicana de Paleontología: Una Retrospectiva Pertinente. *Paleontología Mexicana*, 9: 41-51.
- Chang, C. y L. Liu.2021. Investigating the formation of the Cretaceous Western Interior Seaway using landscape evolution simulations. *Geological Society of America Bulletin*, 133: 347-361. doi: 10.1130/B35653.1
- Christensen, W.K. 1990. Upper cretaceous belemnite stratigraphy of Europe. *Cretaceous Research* 11: 371–386. doi:10.1016/s0195-6671(05)80048-5
- Clark, W. B. y M. W. Twitchell. 1915. The Mesozoic and Cenozoic Echinodermata of the United States. *United States Geological Survey Bulletin* 54: 1-341.
- Cobban, W., I. Walaszczyk, J. Obradovich y K. McKinney. 2006. A USGS zonal table for the upper cretaceous middle Cenomanian-Maastrichtian of the Western interior of the United States based on ammonites, inoceramids, and radiometric ages. *U.S. Geological Survey Open-File Report* 1250: 1-50.
- Collins, L. S. 1988. The faunal structure of a mid-Cretaceous rudist reef core. *Lethaia* 21: 271-280. doi.org/10.1111/j.1502-3931.1988.tb02079.x
- Cox, L. R. 1954. Lower Cretaceous Mollusca from Pointe-a-Pierre. Trinidad. *Journal of Paleontology* 622-636.
- Császár G. y D. Turnšek. 1996. Vestiges of atoll-like formations in the Lower Cretaceous of the Mecsek Mountains, Hungary 17: 0–442. doi:10.1006/cres.1996.0026
- Cuen-Romero, F. J., J. E. Valdez-Holguín, A. Montijo-González y R. Monreal-Saavedra. 2016. Invertebrados fósiles del Paleozoico de Sonora, México. *EPISTEMUS* 10: 75-83. doi: 10.36790/epistemus.v10i21.37
- Cuen Romero, F. J.; J.E. Valdez Holguín; B. E. Buitrón Sánchez; R. Monreal; L. F. Enríquez Ocaña; E. A. Hinojosa; J. A. Ochoa Granillo; F. J. Grijalva Noriega y J. J. Palafox Reyes. 2019. Paleocology of cambrian communities of central Sonora, Mexico: Paleoenvironmental and biostratigraphic considerations. *Journal of South American Earth Sciences* 91: 631- 645 doi:10.1016/j.jsames.2019.04.005
- de Cserna, G. A. 1956. Pelecípodos y gasterópodos del Cretácico Inferior de la región de San Juan Raya, Zapotitlán, Estado de Puebla. *Paleontología Mexicana* 2: 67.
- Delamette, M. J., J. J. Charollais, D. Decrouez y M. Caron. 1997. Les grès verts helvétiques (Aptien moyen-Albien supérieur) de Haute-Savoie, Valais et Vaud (Alpes occidentales Franco-Suisses): Analyse stratigraphique et inventaire paléontologique. *Publications du département de Géologie et Paléontologi.*, Section des Sciences de la Terre 23:1-400.
- Dhondt, A. V., N. Malchus, L. Boumaza, y E. Jaillard. 1999. Cretaceous oysters from North

- Africa; origin and distribution. *Bulletin de la Société géologique de France* 170: 67-76.
- Dunham, R. J. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *Classification of carbonate rocks*. American Association of Petroleum Geologists. 108-121
- El Qot, G. M. 2018. Aptian–early Cenomanian ammonites from north Sinai, Egypt: Systematic paleontology and biostratigraphy. *Cretaceous Research* 85: 142-171. doi: 10.1016/j.cretres.2017.10.013
- Embry, A. F. y J. E. Klovan. 1972. Absolute water depth limits of Late Devonian paleoecological zones. *Geologische Rundschau* 61: 672-686.
- Feldmann, R. M., F. J. Vega, S. P. Applegate y G. A. Bishop. 1998. Early Cretaceous arthropods from the Tlayúa Formation at Tepexi de Rodríguez, Puebla, México. *Journal of Paleontology* 79-90.
- Fernández-Mendiola, P. A., I. Gómez-Pérez y J. García-Mondéjar. 2017. Aptian-Albian Carbonate Platforms. Central Basque-Cantabrian Basin, Northern Spain. 315-324
- Filkorn, H. F. 2003. The Cretaceous corals of Mexico: occurrences and history of research. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 20: 52-78.
- Fischer, R.; C. G. Oliver y J. Reitner. 1989. Skeletal structure, growth, and paleoecology of the patch reef-building polychaete worm *Diplochaetetes mexicanus* wilson, 1986 from the oligocene of baja california (Mexico). *Geobios* 22: 761–775. doi:10.1016/s0016-6995(89)80071-3
- Flessa, K. W. y A. A. Ekdale. 1987. Paleoecology and Taphonomy of Recent to Pleistocene Intertidal Deposits, Gulf of California. *The Paleontological Society Special Publications* 2: 2–33. doi: 10.1017/S247526220000469X
- Flores-Cadenas, B. E., A. Monier-Castillo, I. Lopez-Palomino, B. Ferre, A. Palma-Ramirez, J. R. Romo-Ramírez, C. R. Muñoz-Jaramillo y D. Contreras-Cruz. 2019. Turonian microfossil assemblage of the Eagle Ford Formation From The La Bolita locality, Coahuila, northwest Mexico. *Revista Brasileira de Paleontologia* 22: 169-181.
- Flügel, E. 2010. *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application* (2.^a ed.). Springer-Verlag. doi: 10.1007/978-3-642-03796-2
- Folk, R. L. 1962. *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill Publishing Company. Austin, Texas.
- Fraaije, R. H. B., B. W. M. V. Bakel, J. W. M. Jagt y P. A. Viegas. 2018. El ascenso de un nuevo ecosistema marino basado en plácton durante el Mesozoico: un modelo de abajo a arriba para explicar nuevos morfotipos de invertebrados de nivel superior. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 70: 187-200. doi: 10.18268/BSGM2018v70n1a11
- Freiwald, A. y J. M. Roberts. 2006. *Cold-water corals and ecosystems*. Springer Science & Business Media. Nueva York, Estados Unidos.
- Fourcade, E., L. Piccioni, J. Escibá y E. Rosselo. 1999. Cretaceous stratigraphy and palaeoenvironments of the Southern Petén Basin, Guatemala. *Cretaceous Research* 20: 793-811.
- Galleml, J., G. López, R. Martinez, J. Muñoz y J. M. Pons. 1997. Albian-Cenomanian and Campanian-Maastrichtian biostratigraphy of southeast Spain. *Cretaceous Research* 18: 355-372. doi: 10.1006/cres.1997.0068
- García-Barrera, P. 1995. *Toucasia hancockensis* (Hippuritacea–Requienidae) in southwestern

- Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 12: 191-194.
- García-Barrera, P. 2006. Rudists of Mexico: Historical Aspects and Selected Areas of Research 61-78 p. En: F. J. Vega, T. G. Nyborg, M. D. C. Perrilliat, M. Montellano-Ballesteros, S. R. S. Cevallos-Ferriz, y S. A. Quiroz-Barroso (Eds.), *Studies on Mexican Paleontology*. Springer Netherlands. doi: 10.1007/1-4020-3985-9_4
- Gili, E., J. P. Masse. y P. W. Skelton. 1995. Rudists as gregarious sediment-dwellers, not reef-builders, on Cretaceous carbonate platforms. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 118: 245-267. doi: 10.1016/0031-0182(95)00006-X
- Gradstein, F. M., J. G. Ogg, M. D. Schmitz y G. M. Ogg. 2012. *The geologic time scale 2012*. Elsevier.
- Gombau, E. y E. F Valls. 2012. Precisions geològiques i paleoecològiques sobre el jaciment del Barranc de la Torre Folch (el Forcall, els Ports, Serralada Ibèrica). *Nemus: revista de l'Ateneu de Natura* 2: 41-45.
- González-Arreóla, C., J. Pantoja-Alor, F. Oloriz, A. B. Villaseñor y P. García-Barrera. 1996. Lower Aptian Ammonitina *Pseudohaploceras liptoviense* (Zeuschner) in the Cumburindio Formation (Southwestern Mexico). *Geobios* 29: 35-43.
- González-León, C. M. 1988. Estratigrafía y geología estructural de las rocas sedimentarias cretácicas del área de Lampazos, Sonora. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 7: 148-162.
- González-León, C.M. 1994. Early Cretaceous tectono-sedimentary evolution of the southwestern margin of the Bisbee Basin. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 11: 139-146.
- González-León, C. M., y S. G. Lucas. 1995. Stratigraphy and paleontology of the early Cretaceous Cerro de Oro Formation, central Sonora. *Geological Society of America Special Papers* 301: 41-47.
- González-León, C. M., R. W. Scott, H. Löser, T. F. Lawton, E. Robert y V. A. Valencia. 2008. Upper Aptian-Lower Albian Mural Formation: stratigraphy, biostratigraphy and depositional cycles on the Sonoran shelf, northern Mexico. *Cretaceous Research* 29: 249-266. doi: 10.1016/j.cretres.2007.06.001
- Hallam, A. y J. M. Cohen. 1989. The Case for Sea-Level Change as a Dominant Causal Factor in Mass Extinction of Marine Invertebrates [and Discussion]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 325: 437-455. doi: 10.1098/rstb.1989.0098
- Hallam, A. 1992. *Phanerozoic Sea-level*. Columbia University Press, Nueva York, Estados Unidos.
- Hammer, Ø., D. A. Harper y P. D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electronica* 4: 9.
- Haq, B. U. 2014. Cretaceous eustasy revisited. *Global and Planetary Change* 113: 44-58. doi: 10.1016/j.gloplacha.2013.12.007.
- Hardenbol, J. A. N., J. Thierry, M. B. Farley, T. Jacquin, P. C. De Graciansky y P. R. Vail. 1998. Mesozoic and Cenozoic sequence chronostratigraphic framework of European basins. *SEPM Special Publication*. Oklahoma, Estados Unidos
- Hartshorne P. M. 1989. Facies architecture of a Lower Cretaceous coral-rudist patch reef, Arizona. *Cretaceous Research* 10: 311–336. doi:10.1016/0195-6671(89)90008-6
- Hay, W. W., D. L. Eicher, R. Diner, W. G. E. Caldwell y E. G. Kauffman. 1993. Physical

- oceanography and water masses in the Cretaceous Western Interior Seaway. En: Evolution of the western interior basin St. John's: Geological Association of Canada 297-318.
- He, S., T. K. Kyser y W. G. E. Caldwell. 2005. Paleoenvironment of the Western Interior Seaway inferred from $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values of molluscs from the Cretaceous Bearpaw marine cyclothem. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 217: 67-85. doi: 10.1016/j.palaeo.2004.11.016
- Heard, R.W., A. G. Morales-Núñez, M. de L. Serrano-Sánchez, M. A. Coutiño, R. Barragán, y F. J. Vega. 2020 A new family, genus and species of Tanaidacea (Crustacea; Apsedomorpha) from the Lower Cretaceous (Aptian) of Chiapas, Mexico: Systematic revisions , including designation of two new Paleozoic families, and paleoenvironmental observations, *Journal of South American Earth Sciences* 102.
- Hernández-Ocaña, M. I., S. A. Quiroz-Barroso y F. Sour-Tovar. 2015. Tafonomía y Paleoecología de las ostras de la Formación San Juan Raya, Aptiense del sureste de Puebla, México. *Boletín Geológico y Minero* 126: 37-62.
- Hernández-Romano, U., N. Aguilera-Franco, M. Martínez-Medrano, y J. Barceló-Duarte. 1997. Guerrero-Morelos Platform drowning at the Cenomanian–Turonian boundary, Huitziltepec area, Guerrero State, southern Mexico. *Cretaceous Research* 18: 661-686. doi: 10.1006/cres.1997.0078
- Hintze, L., 2005. Utah's Spectacular Geology: How it Came to be. , Brigham Young University geology studies: Special publication, Vol 8.
- Hughes, N. C., F. J. Collier, J. Kluessendorf, J. H. Lipps, W. L. Taylor y R. D. White. 2000. Fossil Invertebrate and Microfossil Collections: Kinds, Uses, Users. *The Paleontological Society Special Publications* 10: 25-36. doi: 10.1017/S2475262200008935
- Ifrim, C. 2013. Paleobiology and paleoecology of the early Turonian (Late Cretaceous) ammonite *Pseudaspidoceras flexuosum*. *Palaios* 28: 9-22.
- Imlay, R. W. 1940. Neocomian faunas of northern Mexico. *Bulletin of the Geological Society of America* 51: 117-190.
- Imlay, R. W. 1944. Cretaceous Formations of Central America and Mexico. *AAPG Bulletin* 28: 1077-1195.
- Ivanova, D. y H. Keupp. 1999. Calcareous dinoflagellate cysts from the Late Jurassic and Early Cretaceous of the Western Forebalkan, Bulgaria. *Berliner geowiss. Abh. E* 30, 3-31.
- Ivanova, D., B. Kołodziej, E. Koleva-Rekalova y E. Roniewicz. 2008. Oxfordian to Valanginian palaeoenvironmental evolution on the western Moesian Carbonate Platform: a case study from SW Bulgaria. In *Annales Societatis Geologorum Poloniae* 78: 65-90.
- Jankičević, J. 1979. L'urgonien de la partie médianedes Carpatho-Balkanides yougoslaves (Serbie orientale). *Géobios* 12: 177-182. doi: 10.1016/S0016-6995(79)80060-1
- Jeletzky, J. A. 1968. Macrofossil zones of the marine Cretaceous of the Western Interior of Canada and their correlation with the zones and stages of Europe and the Western Interior of the United States. *Geological Survey of Canada* 67:1-66
- Jell, J. S., A. G. Cook, y P. A. Jell. 2011. Australian Cretaceous Cnidaria and Porifera. *Alcheringa* 35: 241-284.
- Jiménez-Valverde, A. y J. Hortal. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la

- necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología* 151-161.
- Joyce W. G., T. R. Lyson y J. I. Kirkland. 2016. An early bothremydid (Testudines, Pleurodira) from the Late Cretaceous (Cenomanian) of Utah, North America. *PeerJ* 4:e2502 doi: 10.7717/peerj.2502
- Kauffman, E. G. 1977. Geological and Biological Overview: Western Interior Cretaceous Basin. *The Mountain Geologist* 14: 75-99.
- Kauffman, E. G. 1984. Paleobiogeography and evolutionary response dynamic in the Cretaceous Western Interior Seaway of North America. *Jurassic-Cretaceous biochronology and paleogeography of North America* 273-306.
- Kellum, L. B. 1956. Cretaceous invertebrates of the Aurora limestone. *Papers of the Michigan academy of Science, Arts, and Letters* 41: 205-231.
- Kennedy, W. J. 1970. A correlation of the uppermost Albian and the Cenomanian of south-west England. *Proceedings of the Geologists' Association* 81: 613-676. doi: 10.1016/S0016-7878(70)80057-8
- Kennedy, W. J., W. A. Cobban, A. S. Gale, J. M. Hancock y N. H. Landman. 1998. Ammonites from the Weno limestone (Albian) in northeast Texas. *American Museum novitates* no. 3236, New York.
- Kennedy, W. J., W. A. Cobban, J. M. Hancock y A. S. Gale. 2005. Upper Albian and Lower Cenomanian ammonites from the Main Street Limestone, Grayson Marl and Del Rio Clay in northeast Texas. *Cretaceous Research* 26: 349-428. doi: 10.1016/j.cretres.2004.11.018
- Kiel, S. y K. Bandel. 2004. The Cenomanian Gastropoda of the Kassenberg quarry in Mülheim (Germany, Late Cretaceous). *Paläontologische Zeitschrift* 78: 103-126.
- Kiel, S., K. A. Campbell, W. P. Elder y C. T. Little. 2008. Jurassic and Cretaceous gastropods from hydrocarbon seeps in forearc basin and accretionary prism settings, California. *Acta Palaeontologica Polonica* 53: 679-703.
- Kollmann, H.A. 1982. Gastropoden-Faunen aus der höheren Unterkreide Nordwestdeutschlands [Late Early Cretaceous gastropods of Northwest Germany]. *Geologisches Jahrbuch, A* 65: 517-551
- Kollmann, H. A. y L. H. Peza. 1996. *Diptyxis* Oppenheim (Nerineacea, Gastropoda) from the Lower Cretaceous of Albania. On the distribution of the genus "*Diptyxis*". *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien. Serie A für Mineralogie und Petrographie, Geologie und Paläontologie, Anthropologie und Prähistorie* 11: 33-72.
- Kollmann, H. A. 2009. A Late Cretaceous Aporrhaidae-dominated gastropod assemblage from the Gosau Group of the Pletzsch Alm near Kramsach (Tyrol, Austria). With an appendix on the taxonomy of Mesozoic Aporrhaidae and their position in the superfamily Stromboidea. *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien. Serie A für Mineralogie und Petrographie, Geologie und Paläontologie, Anthropologie und Prähistorie* 11: 33-71.
- Kroh, A., A. Lukeneder y G. Moosleitner. 2010. The invertebrate fauna from the Barremian of Serre de Bleyton (Drôme, SE France). *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien. Serie A für Mineralogie und Petrographie, Geologie und Paläontologie, Anthropologie und Prähistorie* 112: 569-573
- Kues, B. S. 1997. New bivalve taxa from the Tucumcari Formation (Cretaceous, Albian), New Mexico, and the biostratigraphic significance of the basal Tucumcari fauna. *Journal of*

- Paleontology 820-839. doi: 10.1016/0195-6671(85)90030-8
- Llopis, J. V. S., M. Lourdes, J. L. Sanz y S. C. Badía. 1981. Un nuevo yacimiento de Dinosaurios en el Aptiense inferior de Morella (Castellón). *Acta Geológica Hispánica* 3: 139-143.
- Landman, N. H.; J. K. Cochran; N. L. Larson; J. Brezina; M. P. Garb y P. J. Harries. 2012. Methane seeps as ammonite habitats in the U.S. Western Interior Seaway revealed by isotopic analyses of well-preserved shell material. *Geology* 40: 507–510. doi:10.1130/G32782.1
- Laughbaum, L. R. 1960. A paleoecologic study of the upper Denton Formation, Tarrant, Denton, and Cooke counties, Texas. *Journal of Paleontology*: 1183-1197.
- Lawton T.F.; C. M. González-León; S. G. Lucas y R. W. Scott. 2004. Stratigraphy and sedimentology of the upper Aptian–upper Albian Mural Limestone (Bisbee Group) in northern Sonora, Mexico., *Cretaceous Research* 25: 0–60. doi:10.1016/j.cretres.2003.09.003
- Lazo, D. G. 2003. Taxonomy, facies relationships and palaeobiology of bakevelliid bivalves from the Lower Cretaceous of west-central Argentina. *Cretaceous Research* 24: 765-788.
- Lee, Y. N. 1996. A new nodosaurid ankylosaur (Dinosauria: Ornithischia) from the Paw Paw Formation (late Albian) of Texas. *Journal of Vertebrate Paleontology* 16: 232-245.
- Lehmann, J. 2015. Ammonite biostratigraphy of the Cretaceous—an overview. *Ammonoid paleobiology: from macroevolution to paleogeography* 403-429.
- Löser, H. y W. Liao. 2001. Cretaceous corals from Tibet (China)—stratigraphic and palaeobiogeographic aspects. *Journal of Asian Earth Sciences* 19: 661-667. doi: 10.1016/S1367-9120(00)00063-8
- Löser, H. 2011. The Cretaceous corals from the Bisbee Group (Sonora; late Barremian-early Albian): introduction and family Aulastraeoporidae. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 28: 254-261.
- Löser, H. 2013. An Early Albian shallow marine coral fauna from Southern France—insight into evolution and palaeobiogeography of Cretaceous corals. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments* 93: 1-43. doi: 10.1007/s12549-012-0088-2
- Löser, H. 2016. The Cretaceous corals from the Bisbee Group (Sonora, Mexico; Late Barremian-Early Albian): suborder Heterocoeniina. *Paleontología Mexicana* 5: 41-51.
- Löser, H. 2016. Systematic part. -- Catalogue of Cretaceous Corals. Dresden (CPress Verlag).
- Lowery, C. M., R. M. Leckie, R. Bryant, K. Elderbak, A. Parker, D. E. Polyak, M. Schmidt, O. Snoeyenbos-West y E. Sterzinar. 2017. The Late Cretaceous Western Interior Seaway as a model for oxygenation change in epicontinental restricted basins. *Earth-Science Reviews* 177: 545-564. doi:10.1016/j.earscirev.2017.12.001
- Ludwing, J.A. y J. F. Reynolds. 1988. *Statistical Ecology: A Primer on Methods and Computing*. John Wiley y Sons, Inc., New York, NY, USA.
- Lukeneder, A. y D. Rehakova. 2004. Lower cretaceous section of the Ternberg NAPPE (northern Calcareous Alps, Upper Austria): Facies-changes, biostratigraphy and paleoecology. *Geologica Carpathica* 55: 227-237.
- Macellari, C. E. 1988. Cretaceous paleogeography and depositional cycles of western South America. *Journal of South American Earth Sciences* 1: 373-418. doi: 10.1016/0895-9811(88)90024-7

- MacLeod, S. E., y L. V. Hills. 1990. Conformable Late Jurassic (Oxfordian) to Early Cretaceous strata, northern Bowser Basin, British Columbia: a sedimentological and paleontological model. *Canadian Journal of Earth Sciences* 27: 988-998. doi.org/10.1139/e90-101
- Madhavaraju J. y C. M. González-León. 2012. Depositional conditions and source of rare earth elements in carbonate strata of the Aptian-Albian Mural Formation, Pitaycachi section, 90 northeastern Sonora, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 29: 478-491.
- Mancini, E.A. 1982. Early Cenomanian cephalopods from the Grayson Formation of north-central Texas. *Cretaceous Research* 3: 241–259. doi:10.1016/0195-6671(82)90028-3
- Mancini, E. A. y M. T. Puckett. 2002. Transgressive-regressive cycles in Lower Cretaceous strata, Mississippi Interior Salt Basin area of the northeastern Gulf of Mexico, USA. *Cretaceous Research* 23: 409-438. doi :10.1006/cres.2002.1012
- Manzo, R. B. y A. L. M. Franco. 2005. Towards a standard ammonite zonation for the Aptian (Lower Cretaceous) of northern Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22: 39-47.
- Masse, J. P., C. Arias y L. Vilas. 1998. Lower Cretaceous rudist faunas of Southeast Spain: An overview. *Geobios* 31: 193-210. doi:10.1016/s0016-6995(98)80077-6
- Masse, J. P., M. Fenerci-Masse, T. Korbar y I. Velić. 2004. Lower aptian rudist faunas (Bivalvia, Hippuritoidea) from Croatia. *Geologia Croatica* 57: 117-137.
- Matsukawa, M. y I. Obata. 1994. Dinosaurs and sedimentary environments in the Japanese Cretaceous: a contribution to dinosaur facies in Asia based on molluscan palaeontology and stratigraphy. *Cretaceous Research* 15: 101-125. doi: doi.org/10.1006/cres.1994.1005
- Matsumoto, T. 1980. Inter-regional correlation of transgressions and regressions in the Cretaceous period. *Cretaceous Research* 1: 359-373. doi: 10.1016/0195-6671(80)90044-0
- Mekawy, M. S. 2013. Taphonomy of Aptian-Albian Beds in the Gebel Mistan, Maghara Area, Northern Sinai, Egypt. *Journal of Earth Science and Climate Change* 4: 135. doi: 10.4172/2157-7617.1000135
- Menhinick, E. F. 1964. A comparison of some species-individuals diversity indices applied to samples of field insects. *Ecology* 45: 859-861.
- Michalík, J. y H. Leereveld. 1997. Tethyan and Boreal Cretaceous: Correlation. *Cretaceous Research* 18: 307-308. doi: 10.1006/cres.1997.0063
- Mikhailova, I.A. y E. Y. Baraboshkin. 2009. The evolution of the heteromorph and monomorph Early Cretaceous ammonites of the suborder Ancyloceratina Wiedmann: *Paleontological Journal* 43: 527–536. doi: 10.1134/S0031030109050086
- Miller Jr, H. W. 1964. Cretaceous dinosaurian remains from southern Arizona. *Journal of Paleontology* 378-384.
- Moghaddam, M. I., P. Shams y M. Parvaneh Nejad Shirazi. 2016. Systematic of Albian-Cenomanian gastropods and bivalves from the Kazhdumi formation, Zagros Basin. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran* 27: 237-252.
- Monreal, R. 1994. Facies changes, unconformities, stratigraphic juxtapositions and their tectonic implications of the Cretaceous of Cerro de Oro, central Sonora, Mexico. *Universidad de Sonora, Departamento de Geología, Boletín* 11: 1-30.

- Monreal-Saavedra, R. 1997. Microfacies of a Lower Cretaceous marine successions in Cerro Las Conchas, Sonora, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 14: 38.
- Monreal, R., I. Cano-Corona, F. J. Grijalva-Noriega, A. Montijo-González y E. Almazán-Vázquez. 2011. Caracterización del Grupo Bisbee (Cretácico Inferior) en el área al sur de la sierra Basómari, Noreste de Sonora, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 63: 365-378.
- Moore, R. C. 1959. *Treatise on Invertebrate Paleontology. Parts A - W.* Geological Society of America and Lawrence. Kansas: University Kansas Press. Boulder, Colorado.
- Murphy, M. A. 1956. Lower Cretaceous stratigraphic units of northern California. *AAPG Bulletin* 40: 2098-2119.
- Musavu Moussavou, B. y R. Mabicka Obame. 2015. Taxonomy and paleoecology of Albian Madiela Formation gastropods, Gabonese coastal basin: N'Toum quarry section. *Bulletin de la Société géologique de France* 186: 35-42.
- Myczyn, R. y M. Iturralde-Vinent. 2005. The Late Lower Albian Invertebrate Fauna of the Río Hatillo Formation of Pueblo Viejo, Dominican Republic. *Caribbean Journal of Science* 41: 782-796.
- Nieto-López, I. y P. García-Barrera. 2006. Cretaceous echinoids of Mexico. 101-113 p. En: *Studies on Mexican Paleontology.* Springer, Dordrecht.
- Ogg, J. G., L.A. Hinnov y C. Huang. 2012. Cretaceous. 793-853 p. En: Gradstein F. M., Ogg, J. G., Schmitz, M. D. y Ogg G. M. (Eds.), *The Geologic Time Scale.* Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-444-59425-9.00027-5
- Ogg, G. M. y F. M. Gradstein. 2016. Cretaceous. 167-186 p. En: Ogg, J. M., Ogg, G. M. y Gradstein F. M. (Eds.), *A Concise Geologic Time Scale.* Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-444-59467-9.00013-3
- Omaña, L., J. R. Torres, R. López Doncel, G. Alencáster y I. López Caballero. 2014. Florecimiento de pithonélidos en el límite Cenomaniano-Turoniano de Cerritos en el oeste de la plataforma Valles-San Luis Potosi, México: significado paleoambiental. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 31: 28-44.
- Omaña, L.; C. González-Arreola y F. Núñez-Useche. 2017. The Berriasian–Valanginian boundary interval based on calpionellids from the Taraises Formation, Cuencamé de Ceniceros, Durango, NW Mexico: Biostratigraphic, paleoecologic and paleobiogeographic significance. *Journal of South American Earth Sciences* 80: 589-600. doi:10.1016/j.jsames.2017.10.011
- Oriel, S. 1983. North American Stratigraphic Code. *AAPG Bulletin* 67: 841-875.
- Ovando-Figueroa, J.R., J. A. Moreno-Bedmar, K. P. Minor, M. Franco-Rubio, A. Oviedo, P. Patarroyo y E. Robert. 2017. Ammonite taxonomy and biostratigraphy for the upper Aptian lower Albian (Lower Cretaceous) of Cerro Chino, Chihuahua State, northeast Mexico, *Cretaceous Research* 82, 109-137. doi: 10.1016/j.cretres.2017.10.007.
- Olszewska, B. y J. Wiczorek. 2002. Stratigraphic and tectonic position of Cretaceous deposits from Podhale Basin Substratum (Polish Carpathians). *Geologica Carpathica* 53.
- Pandey, D. K., F. T. Fürsich, R. Baron-Szabo y M. Wilmsen. 2007. Lower Cretaceous corals from the Koppeh Dagh, NE-Iran. *Zitteliana* 3-52.
- Pascual-Cebrian, E., S. Götz, T. Bover-Arnal, P. W. Skelton, E. Gili, R. Salas y W. Stinnesbeck. 2016. Calcite/aragonite ratio fluctuations in Aptian rudist bivalves: Correlation with

- changing temperatures. *Geology* 44: 135-138. doi: 10.1130/G37389.1
- Pérez-Díaz, L. y G. Eagles. 2017. South Atlantic paleobathymetry since early Cretaceous. *Scientific Reports* 7: 1-16. doi: 10.1038/s41598-017-11959-7
- Petersen, S. V.; C. R. Tabor; K. C. Lohmann; C. J. Poulsen; K. W. Meyer; S. J. Carpenter; J. M. Erickson; K. K. S. Matsunaga; S. Y. Smith y N. D. Sheldon. 2016. Temperature and salinity of the Late Cretaceous Western Interior Seaway. *Geology* 44: 903-906. doi:10.1130/G38311.1
- Pettijohn F., P. Potter y R. Siever. 1987. *Sand and sandstone*, Springer – Verlag, New York, Segunda edición
- Poyato-Ariza, F. J., M. A. López-Horgue y F. García-Garmilla. 2000. A new early Cretaceous clupeomorph fish from the Arratia Valley, Basque Country, Spain. *Cretaceous Research* 21: 571-585. doi: 10.1006/cres.2000.0212
- Pugaczewska, H. 1975. Neocomian oysters from central Poland. *Acta Palaeontologica Polonica* 20: 47-72.
- Rafferty, J. P. 2010. *The Mesozoic Era: Age of Dinosaurs*. Britannica Educational Publishing. Nueva York, Estados Unidos.
- Ramsbottom, W. H. C. 1979. Rates of transgression and regression in the Carboniferous of NW Europe. *Journal of the Geological Society* 136: 147-153. [https://doi: 10.1144/gsjgs.136.2.0147](https://doi.org/10.1144/gsjgs.136.2.0147)
- Ray, D. C., F. S. P. Van Buchem, G. Baines, A. Davies, B. Gréselle, M. D. Simmons y C. Robson. 2019. The magnitude and cause of short-term eustatic Cretaceous sea-level change: A synthesis. *Earth-Science Reviews* 197: 1-20. doi: 10.1016/j.earscirev.2019.102901
- Rees, J. 2000. An Early Cretaceous scincomorph lizard dentary from Bornholm, Denmark. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 48: 105-109.
- Reyment, R. A. y R. V. Dingle. 1987. Palaeogeography of Africa during the Cretaceous Period. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 59: 93-116. doi: 10.1016/0031-0182(87)90076-9
- Riccardi, A. C. 1988. *The Cretaceous System of Southern South America*. Geological Society of America. Colorado, Estados Unidos. 168. doi: 10.1130/MEM168-p1
- Robert, E., A. Samaniego-Pesqueira, J. A. Moreno-Bedmar y C. M. González-Leon. 2018. Aptian and Albian (Early Cretaceous) ammonites from Lampazos and the Bisbee groups (Sonora State, Northwest Mexico), *Cretaceous Research* 86: 1-23. doi: 10.1016/j.cretres.2018.02.001.
- Rückheim, S. 2005. *The onset of planktic foraminifera in the mid-Cretaceous of the Boreal Realm*. Bochum, Germany, Fakultät für Geowissenschaften, Ruhr-Universität Bochum, unpublished PhD thesis.
- Rudra, P. y S. Bardhan. 2006. Status of “*Trigonia ventricosa*”(Bivalvia) from the Upper Jurassic–Lower Cretaceous of Kutch, western India: Kitchin's unfinished synthesis. *Cretaceous Research* 27: 611-628. doi: 10.1016/j.cretres.2005.09.002
- Ruffell, A. 1991. Sea-level events during the Early Cretaceous in Western Europe. *Cretaceous Research* 12: 527-551. doi: 10.1016/0195-6671(91)90006-X
- Sachs, S. 1997. Erster Nachweis eines gepanzerten Dinosauriers (Reptilia, Ornithischia, Thyreophora) aus der Unterkreide (Berrias) von Gronau in Westfalen. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Monatshefte* 56-64. doi: 10.1127/njgpm/1997/1997/56
- Salama, Y., M. Grammer, S. Saber, S. El-shazly y G. Abdel-Gawad, G. 2018. Sequence

- Stratigraphy and Rudist Facies Development of the Upper Barremian-Lower Cenomanian Platform, Northern Sinai, Egypt. *Acta Geologica Sinica-English Edition*, 92: 286-310.
- Sánchez-Beristain, F., P. García-Barrera y L. Calvillo-Canadell. 2016. Mares calcíticos y aragoníticos: efectos en organismos formadores de arrecifes a través del tiempo. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas* 19: 45-53. doi: 10.1016/j.recqb.2016.02.005
- Sánchez-Beristain, F., P. García-Barrera y J. A. Moreno-Bedmar. 2019. *Acanthochaetetes huaucuilensis* nov. sp. (Porifera: Demospongiae) from the Lower Cretaceous of Oaxaca, Mexico, and its palaeoecological, palaeobiogeographic and stratigraphic implications. *Journal of South American Earth Sciences* 91: 227-238. 10.1016/j.jsames.2019.02.008
- Sames, B., M. Wagreich, J. E. Wendler, B. U. Haq, C. P. Conrad, M. C. Melinte-Dobrinescu, X. Hu, I. Wendlers, E. Wolfgring, I. O. Yilmaz y S. O. Zorina. 2016. Short-term sea-level changes in a greenhouse world—A view from the Cretaceous. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 441: 393-411. doi: 10.1016/j.palaeo.2015.10.045
- Scott, R. W. 1970. Paleoecology and paleontology of the Lower Cretaceous Kiowa Formation, Kansas. *The University of Kansas Paleontological Contributions* 1-94.
- Scott, R. W. 1975 Patterns of Early Cretaceous molluscan diversity gradients in south-central United States. *Lethaia* 8: 241-252
- Scott, R. W. 1988. Evolution of Late Jurassic and Early Cretaceous Reef Biotas. *PALAIOS* 3: 184-193. doi: 10.2307/3514529
- Scott, R. W. y C. M. González-León. 1991. Paleontology and biostratigraphy of Cretaceous rocks, Lampazos area, Sonora, Mexico. *Geological Society of America. Colorado, Estados Unidos*.
- Scott, R. W. y M. Weaver. 2010. Ontogeny and Functional Morphology of a Lower Cretaceous Carpinid Rudist (Bivalvia, Hippuritoida). *Turkish Journal of Earth Sciences* 19: 527-542. doi: 10.3906/yer-0905-1
- Scott, R. W., W. Campbell, R. Hojnacki, Y. Wang y X. Lai. 2016. Albian rudist biostratigraphy (Bivalvia), Comanche shelf to shelf margin, Texas. *Carnets de géologie* 16: 513-541 doi: 10.4267/2042/61701
- Serrano-Brañas, C. I. y E. C. García. 2015. Taphonomic signatures, ichnofacies analysis and depositional dynamics of fossil macro-invertebrate assemblages of the San Juan Raya Formation, Zapotitlán Basin, Puebla, Mexico. *Historical Biology* 27: 915–937. doi: 10.1080/08912963.2014.915819 .
- Servicio Geológico Mexicano. 1999. Carta geológico-minera Rayón H12-D22, escala 1:50,000: Rayón, Sonora, México. Consejo de Recursos Minerales.
- Shannon, C.E. y W. Weaver. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana.
- Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* 63: 688.
- Smith, A. B. y X. U. Juntao. 1988. Palaeontology of the 1985 Tibet geotraverse, Lhasa to Golmud. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences* 327: 53-105.
- Speden, I. G. 1973. Distribution, stratigraphy and stratigraphic relationships of Cretaceous sediments, western Raukumara Peninsula, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics* 16: 243-268.

- Spicer, R. A. y A. B. Herman. 2010. The Late Cretaceous environment of the Arctic: A quantitative reassessment based on plant fossils. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 295: 423-442. doi: 10.1016/j.palaeo.2010.02.025
- Squires R. L. y L. R. Saul. 2006. Additions and refinements to Aptian to Santonian (Cretaceous) *Turritella* (Mollusca, Gastropoda) from the Pacific Slope of North America. *Veliger* 48: 46-60.
- Stanton, T. W. 1890. The geology and paleontology of the Cretaceous deposits of Mexico. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 445-469.
- Steuber, T. y H. Löser. 2000. Species richness and abundance patterns of Tethyan Cretaceous rudist bivalves (Mollusca: Hippuritacea) in the central-eastern Mediterranean and Middle East, analysed from a palaeontological database. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 162: 75-104. doi: 10.1016/S0031-0182(00)00106-1
- Stump T.E.1975. Pleistocene molluscan paleoecology and community structure of the Puerto Libertad region, Sonora, Mexico. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 17: 0–226. doi:10.1016/0031-0182(75)90023-1
- Tatum, J. L. 1928. Cretaceous and Tertiary of Southern Texas and Northern Mexico: DISCUSSION. *AAPG Bulletin* 12: 949-950. doi: 10.1306/3D932817-16B1-11D7-8645000102C1865D
- Taylor, J. D., R. J. Cleavelly y N. J. Morris. 1983. Greensand (Albian) of England. *Palaeontology* 26: 521-553.
- Torres-Martínez, M. A., O. Vinn y L. Martín-Aguilar. 2021. Paleoecology of the first Devonian-like sclerobiont association on Permian brachiopods from southeastern Mexico. *Acta Palaeontologica Polonica* 66. doi: 10.4202/app.00777.2020
- Trejo, M. 1983. Paleobiología y taxonomía de algunos fósiles mesozoicos de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 44: 1-22.
- Vankova, L., T. Elbra, P. Pruner, Z. Vasicek, P. Skupien, D. Rehakova, P. Schnabl, M. Kostak, L. Svabenicka, A. Svobodova, M. Bubik, M. Mazuch, K. Cizkova y S. Kdyr. 2019. Integrated stratigraphy and palaeoenvironment of the Berriasian peri-reefal limestones at Štramperk (Outer Western Carpathians, Czech Republic). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 532. doi: 10.1016/j.palaeo.2019.10925
- Vega, F. J.; N. L. Bruce; O. González-León; J. Jeremiah; M. de L. Serrano-Sánchez; J. Alvarado-Ortega y J. A. Moreno-Bedmar. 2019. Lower Cretaceous marine isopods (Isopoda: Cirolanidae, Sphaeromatidae) from the San Juan Raya and Tlayúa formations, Puebla, Mexico. *Journal of Crustacean Biology* 1–15. doi:10.1093/jcobiol/ruy107
- Vega-Vera F.J. 1988. Análisis Paleoecológico de la Fauna de Invertebrados de la Sierra el Antrisco, Nuevo León. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. Ciudad de México, Mexico.
- Viera, L. I., J. A. Torres y L. M. Aguirrezabala. 1984. El Weald de Munilla (La Rioja) y sus icnitas de dinosaurios (II). *Munibe* 36: 3-22.
- Villamil, T. 1998. Chronology, relative sea-level history and a new sequence stratigraphic model for basinal Cretaceous facies of Colombia. In *Paleogeographic Evolution and Non-glacial Eustasy, Northern south America*, SEPM Special Publication 58: 161-216.
- Villas, E. y Z. A. Herrera. 2001. Fotografía y paleontología. *Enseñanza de las Ciencias de la*

- Tierra 9: 200-206.
- Von Der Osten, E. 1957. A fauna from the Lower Cretaceous Barranquín formation of Venezuela. *Journal of Paleontology* 31: 571-590.
- Weinkauf, M. F. G., H. Keupp y J. Mutterlose, J. 2013. Calcareous dinoflagellates from the Late Hauterivian (Early Cretaceous) of Frielingen, Germany. *Materia* 50: 245.
- Wells, R. E., A. S. Jayko, A. R. Niem, G. Black, T. Wiley, E. Baldwin, K. Molenaar, K. L. Wheeler, C. B. DuRoss y R. W. Givler. 2000. Geologic map and database of the Roseburg 30× 60' Quadrangle, Douglas and Coos counties, Oregon. US Geological Survey Open-File Report, 00-0376.
- Wilson, J. L. 1975. The lower carboniferous Waulsortian facies. 148-168 p. En: *Carbonate Facies in Geologic History*. Springer, New York, NY.
- Woods, M. A. y N. S. Jones. 1996. The sedimentology and biostratigraphy of a temporary exposure of Blackdown Greensand (Lower Cretaceous, Upper Albian) at Blackborough, Devon. *Proceedings-Ussher Society* 9: 37-40.
- Wood, R. 1995. The changing biology of reef-building. *Palaios*, 517-529.
- Wood, R. 2001. Biodiversity and the history of reefs. *Geological Journal* 36: 251–263. doi: 10.1002/gj.898
- Zarco-Espinosa, V.M., J. I. Valdez-Hernández, G. Ángeles-Pérez y O. Castillo-Acosta. 2010. Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del Parque Estatal AguaBlanca, Macuspana, Tabasco. *Univ. Ciencia* 26: 1–17.