



Caracterización del Grupo Bisbee (Cretácico Inferior) en el área al sur de la sierra Basómari, Noreste de Sonora, México

Rogelio Monreal^{1,*}, Ignacio Cano-Corona², Francisco Javier Grijalva-Noriega¹,
Alejandra Montijo-González¹, Emilio Almazán-Vázquez¹

¹ Universidad de Sonora, Departamento de Geología, Calle Rosales y Boulevard Luis Encinas s/n, Colonia Centro, 83000 Hermosillo, Sonora, México.

² Servicio Geológico Mexicano, López del Castillo 14, Colonia Los Álamos, 83180 Hermosillo, Sonora, México.

* monreal@geologia.uson.mx

Resumen

El Grupo Bisbee es la unidad litoestratigráfica más importante que identifica al Cretácico Inferior en el sureste de Arizona y noreste de Sonora. En la sierra Basómari, este grupo está caracterizado por afloramientos de las formaciones Morita, Mural y Cintura, los cuales están fuertemente afectados por pliegues de dimensiones kilométricas localmente volcados, fallas de cabalgadura de edad mesozoica, y un fallamiento normal cenozoico. Estas unidades litoestratigráficas están sobreyacidas por rocas volcánicas y sedimentarias terciarias. En el área de estudio la Formación Morita está constituida por estratos delgados a medianos de areniscas de grano fino con algunos horizontes con madera fósil, intercalados con estratos de calizas fosilíferas y calizas arcillosas con estratificación de delgada a mediana. La Caliza Mural se caracteriza por capas de calizas fosilíferas que varían de delgadas a masivas, intercaladas con capas de areniscas y areniscas arcillosas de espesores delgados a medianos. La Formación Cintura está compuesta principalmente por estratos de areniscas de espesores que varían de delgados a masivos, intercalados con capas de lodolitas de estratificación laminar a delgada. Las rocas del Grupo Bisbee en el área de la sierra Basómari representan ambientes sedimentarios marinos de aguas someras: nerítico interior de intermarea, nerítico medio con desarrollo de condiciones lagunares y de bancos ooidales, nerítico exterior (plataforma marina abierta) y pelágico.

Palabras clave: litoestratigrafía, Cretácico Inferior, Grupo Bisbee, Sonora, México.

Abstract

The Bisbee Group is the most important lithostratigraphic unit that identifies the Lower Cretaceous in southeastern Arizona and northeastern Sonora. In the sierra Basómari, this group is characterized by outcrops of the Morita, Mural and Cintura formations, which are strongly affected by folds of kilometric dimensions locally overturned, normal faults of Mesozoic age, and a Cenozoic normal faulting. These lithostratigraphic units are overlain by Tertiary volcanic and sedimentary rocks. In the study area the Morita Formation is constituted by thin- to medium-bedded fine-grained sandstone, with some horizons with fossil wood, intercalated with fossiliferous and marly thin- to medium-bedded limestone. The Mural Limestone is characterized by thin- to massive-bedded fossiliferous limestone, intercalated with thin- to medium-bedded sandstone and clayish sandstone beds. The Cintura Formation is mainly made up of thin- to massive-bedded sandstone intercalated with laminar to thin-bedded mudstone. The Bisbee Group rocks in the area of the sierra Basómari represent shallow- marine sedimentary environments: intertidal inner neritic, middle neritic with development of lagoonal and ooidal bank conditions, outer neritic (open marine platform) and pelagic.

Keywords: lithostratigraphy, Lower Cretaceous, Bisbee Group, Sonora, Mexico.

1. Introducción

El registro estratigráfico del Cretácico Inferior en Sonora es muy variable, la porción oriental se caracteriza por tener un espesor potente (> 1500 m) de rocas terrígenas y carbonatadas, mientras que al poniente son de menor espesor (< 1000 m) y predominantemente terrígenas. Los afloramientos más importantes en el noreste del estado se tienen en la sierra Anibacachi (Hayes, 1970; Warzeski, 1987; González-León, 1994). En la porción centro, afloran en las localidades de Santa Ana (Navarro-Fuentes, 1989), Cerro de Oro (González-León y Jacques-Ayala, 1988; Monreal, 1994; González-León y Lucas, 1995; Baron-Szabo y González-León, 2003), Lampazos (Bartolini y Herrera-Urbina, 1986; González-León, 1988; Monreal y Longoria, 2000a), Arivechi (Martínez y Palafox-Reyes, 1985; Almazán-Vázquez, 1990; Monreal, 1997), sierra El Chiltepín y la sierra Los Chinos (Monreal y Longoria, 2000b; Monreal *et al.*, 2001; Santa María-Díaz, 2002, Santa María-Díaz y Monreal, 2008). Por otro lado, en la parte noroeste, la localidad principal está en las inmediaciones de la sierra El Chanate (Jacques-Ayala, 1995). En la mayoría de los trabajos, el establecimiento de unidades estratigráficas en estas áreas se ha realizado en forma inadecuada y sin seguir los procedimientos del Código de Nomenclatura Estratigráfica de Norteamérica (NACSN, 2005), lo que ha provocado que exista una gran cantidad de denominaciones litoestratigráficas, originando confusión en la comunidad geológica (Monreal, 1993; Monreal *et al.*, 1994).

La mayoría de las rocas sedimentarias del Cretácico Inferior de Sonora forman parte del Grupo Bisbee, el cual fue originalmente descrito por Dumble (1900) bajo el nombre de “capas Bisbee”, como una secuencia de estratos arenosos y carbonatados expuestos cerca del pueblo Bisbee en el sureste del estado de Arizona, EE. UU. Posteriormente, Ransome (1904) cambió el término de “capas” a “Grupo” Bisbee y lo dividió en cuatro formaciones, de la base a la cima: Conglomerado Glance, Formación Morita, Caliza Mural y Formación Cintura. Taliaferro (1933) es quien reconoce por primera vez el Grupo Bisbee en el noreste de Sonora y lo describe como una secuencia potente que consiste de: (a) conglomerados basales de aproximadamente 1000 m de espesor caracterizado por clastos de rocas precámbricas y paleozoicas, (b) 1500 m de intercalaciones de areniscas, lodolitas y lutitas que transicionalmente sobreyacen a los conglomerados y que, a su vez, son sobreyacidas por (c) una secuencia de aproximadamente 250 m de espesor consistente de calizas delgada con intercalaciones de areniscas y lutitas, sobreyacidas por calizas masivas con intercalaciones locales de areniscas y lutitas, que pasan transicionalmente a (d) un secuencia de casi 700 m de espesor consistente de intercalaciones de areniscas, limolitas y lodolitas con algunas intercalaciones de capas carbonatadas.

Las rocas sedimentarias que afloran en el área de la sierra de Basómari son también del Cretácico Inferior y

pertenecen al Grupo Bisbee, el cual en esta localidad está representado por la Formación Morita, Caliza Mural y Formación Cintura, y se relacionan con la estratigrafía de la cuenca Bisbee de las sierras Anibacachi y El Tigre del noreste de Sonora. El área de estudio está caracterizada por una topografía abrupta con elevaciones promedio de 1500 msnm y se localiza al noroeste del estado de Sonora, aproximadamente a 25 kilómetros al Este del poblado Ejido El 47, y está comprendida entre las coordenadas geográficas 30° 50' 01" y 30° 55' 01" N, y 109° 20' 01" y 109° 25' 01" W (Figura 1).

El Cretácico Inferior de la sierra Basómari es importante y significativo para entender la evolución paleogeográfica del norte de México durante el Cretácico temprano; sin embargo, esta localidad es poco entendida geológicamente, ya que ha sido poco estudiada y muchos de los trabajos que se han realizado se enfocan a la exploración por yacimientos minerales, cuyos informes se encuentran todavía inéditos en compañías mineras privadas.

El objetivo de este estudio es conocer a detalle la litoestratigrafía de las unidades cretácicas expuestas al

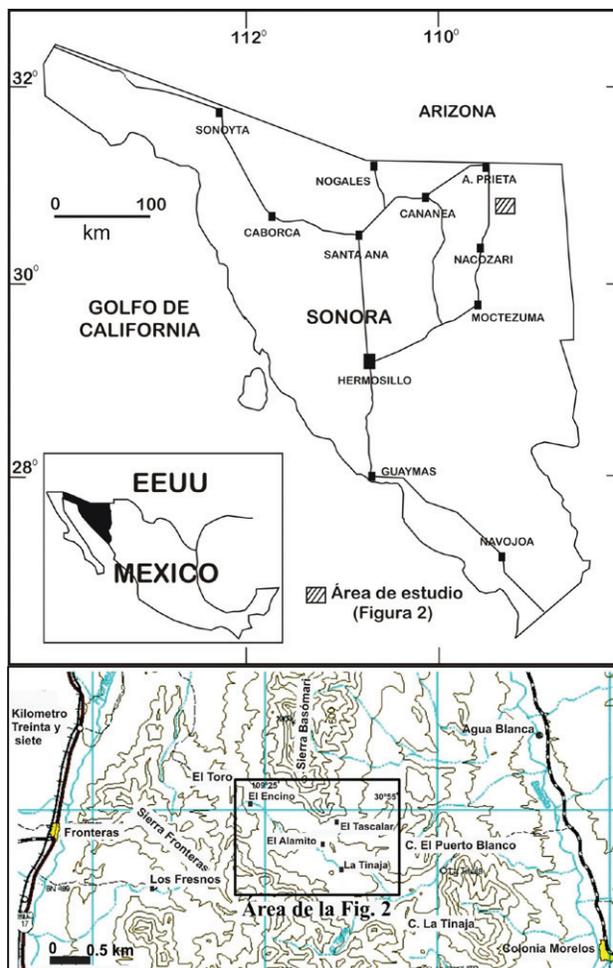


Figura 1. Localización geográfica del área de la sierra Basómari, noreste de Sonora, México.

sur de la sierra Basómari, profundizando con esto en el conocimiento de la paleogeografía durante el Cretácico temprano del noreste de Sonora. Se midieron secciones con brújula y cinta con el propósito de identificar las características estratigráficas y estructurales de las unidades presentes, y se realizó un muestreo sistemático para establecer la litoestratigrafía de cada unidad. Se llevó a cabo también el estudio petrográfico de las unidades, a partir del cual se interpretaron los ambientes de depósito.

2. Trabajos previos

La sierra Basómari no ha sido estudiada desde el punto de vista litoestratigráfico; sólo existe el trabajo de cartografía regional a escala 1:250 000 de la hoja Nacozari realizado por el Consejo de Recursos Minerales y la Universidad de Sonora (Palafox-Reyes *et al.*, 1998), y en la que se incluye el área de estudio. Sin embargo, al norte del área de estudio, en la región de Cabullona, se han llevado a cabo algunos trabajos estratigráficos donde se reporta al

Grupo Bisbee (Ransome, 1904; Hayes, 1970; Grijalva-Noriega, 1991, 1994; González-León y Lawton, 1995). Recientemente, Lawton *et al.* (2004) y González-León *et al.* (2008) realizaron trabajos enfocados a la estratigrafía, sedimentología y bioestratigrafía de la Caliza Mural en el norte de Sonora, incluyendo afloramientos cercanos al área de estudio.

3. Geología de la porción sur de la sierra Basómari

En sur de la sierra Basómari afloran de manera general tres sucesiones litológicas cuya posición cronoestratigráfica varía del Cretácico Inferior hasta el Cuaternario. La sucesión basal está constituida por la Formación Morita, Caliza Mural y Formación Cintura del Cretácico Inferior. La segunda sucesión está representada por rocas volcánicas terciarias, mientras que en la cima se tienen sedimentos continentales que determinan una sucesión del Terciario-Cuaternario (Figura 2).

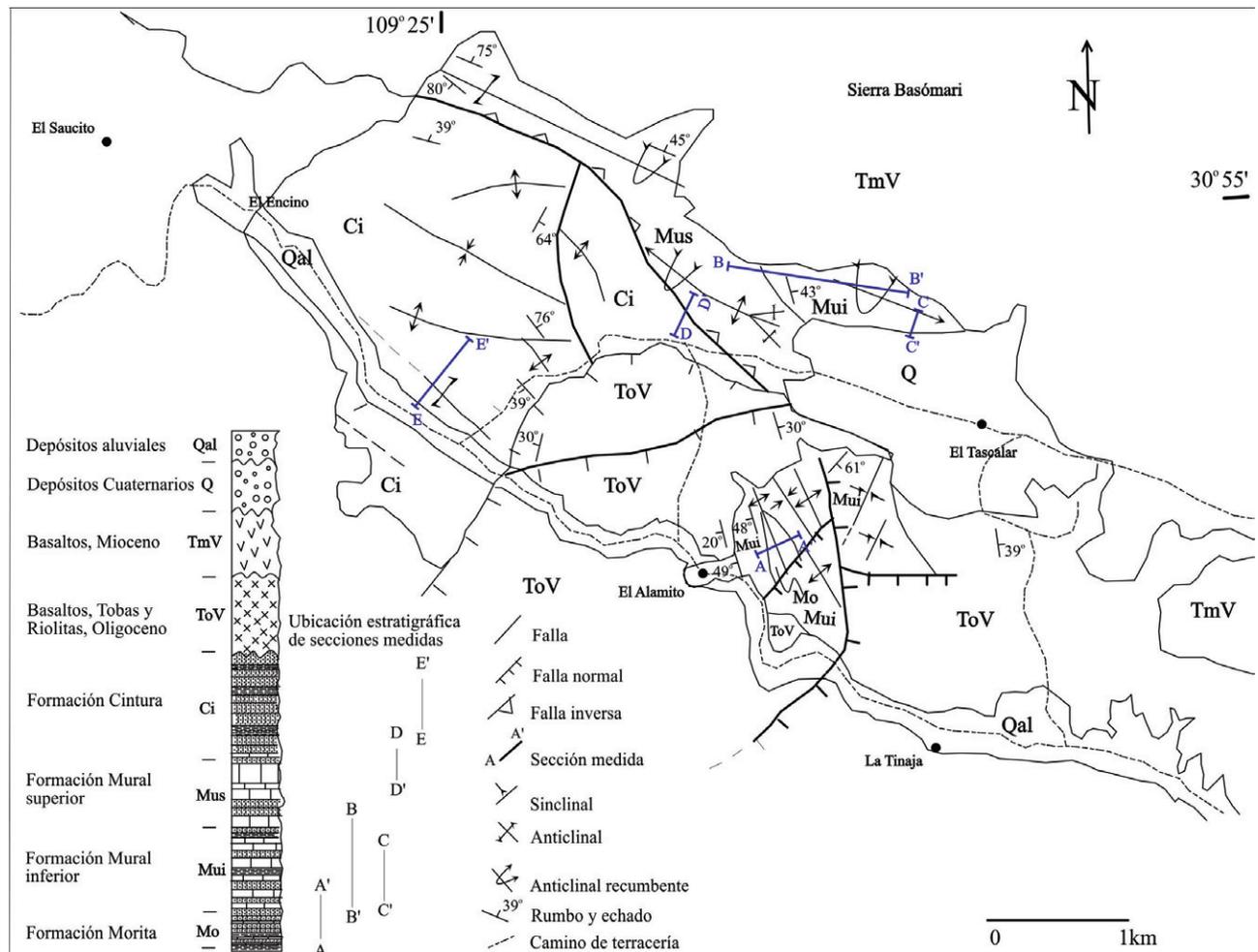


Figura 2. Mapa geológico y columna estratigráfica general del área de la sierra Basómari. Se sitúan sobre el mapa las secciones estudiadas.

3.1 Cretácico Inferior

3.1.1 Formación Morita (Mo)

Esta formación aflora en la porción sur del área de estudio, al noreste del rancho El Alamito. Está constituida por estratos delgados a medianos de areniscas de grano fino (ortocuarzitas y areniscas calcáreas) que se intercalan con estratos de calizas fosilíferas y calizas arcillosas de espesores que también varían de delgados a medianos. Localmente, algunos horizontes de la porción detrítica presentan fragmentos de madera fósil de hasta 1.5 m de longitud. El espesor estimado para esta unidad es de 30 m y está sobreyacida en contacto transicional por la Caliza Mural.

3.1.2 Caliza Mural (Mu)

La Caliza Mural aflora al noreste del área de estudio y está constituida de manera general por capas de calizas fosilíferas que varían de delgadas a masivas, intercaladas con algunas capas de areniscas y areniscas arcillosas de espesores delgados a medianos. Presenta un espesor aproximado de 390 m y su contacto superior es estructural con la Formación Cintura.

3.1.3 Formación Cintura (Ci)

La Formación Cintura aflora al noroeste del área de estudio y está compuesta principalmente por estratos de areniscas (ortocuarzitas y litarenitas) de espesores que varían de delgados a masivos, intercaladas con capas de lodolita de estratificación laminar a delgada. El espesor aproximado para esta unidad es de 231 m.

3.2 Terciario

El Terciario en la sierra Basómari está representado por una serie de rocas volcánicas que informalmente se incluyen en dos unidades. La primera unidad está constituida por basaltos, tobas y riolitas del Oligoceno (ToV), mientras que la segunda es un basalto del Mioceno (TmV). Estas rocas volcánicas sobreyacen discordantemente a las rocas del Cretácico Inferior.

3.3 Cuaternario

Cubriendo a las unidades anteriores se encuentran sedimentos plio-cuaternarios compuestos por gravas, arenas, limos y arcillas (Q), depositados en ambientes fluviales y lacustres, cuyos afloramientos se encuentran localizados en las partes bajas y en las márgenes de los ríos, mientras que en los cauces de éstos, se tienen gravas y arenas que representan el aluvión cuaternario (Qal).

4. Geología estructural

Las rocas que componen el área de estudio están

fuertemente plegadas, por lo que las estructuras más sobresalientes son anticlinales y sinclinales, algunos de los cuales son asimétricos, y otros se encuentran con sus planos axiales verticales o volcados, con longitudes desde decenas de metros hasta 2 km (Figura 2). Los pliegues de mayor escala tienen una orientación NW-SE con vergencia tanto al suroeste como al noreste y están afectando principalmente a las formaciones Caliza Mural y Cintura; los pliegues de pequeña escala se observan dentro de la Formación Morita. Algunos de estos pliegues se encuentran con sus ejes girados o torcidos, lo cual se reconoce fácilmente por el cambio de vergencia en direcciones opuestas a lo largo del pliegue. En la porción occidental del área de estudio se tiene una falla de cabalgadura con orientación NW-SE y vergencia hacia el suroeste, la cual sobrepone a la Caliza Mural sobre la Formación Cintura. Estas estructuras en compresión no afectan a las rocas cenozoicas del área de estudio, por lo que probablemente fueron desarrolladas durante el evento tectónico compresivo de la Orogenia Laramide que afectó esta porción de México durante el Cretácico Tardío al Paleoceno.

Tanto las unidades del Cretácico Inferior como las del Terciario son cortadas por fallas normales con orientaciones predominantes NNW-SSE y NNE-SSW, las cuales inclusive determinan el contacto entre estas unidades. La actividad distensiva intraplaca que ha afectado esta porción de México desde el Oligoceno temprano y que se tiene aún activa (*Basin and Range*) seguramente es la responsable de estas estructuras.

5. Litoestratigrafía

Con el propósito de conocer con mayor detalle la litoestratigrafía de las rocas cretácicas del área de estudio, se realizaron una serie de perfiles geológicos y 5 secciones estratigráficas medidas. Cada sección estratigráfica fue dividida en paquetes litológicos o unidades informales de campo con base en sus propiedades físicas, incluyendo el espesor de las capas y se identificó la formación del Grupo Bisbee a la cual pertenecen.

5.1 Sección A-A'

Esta sección se ubica en la porción central del área de estudio al noreste del Rancho El Alamito (Figura 2), tiene una longitud en el terreno de 102 m (Figura 3) y corta perpendicularmente el eje de un anticlinal. La sucesión estratigráfica de esta sección corresponde a la Formación Morita (Unidad A) y al miembro inferior de la Caliza Mural (Unidades B y C), y que a continuación se describen de la base a la cima.

5.1.1 Formación Morita

La unidad A está compuesta en su mayoría por capas de areniscas de color gris rojizo a rosado de espesores delgados

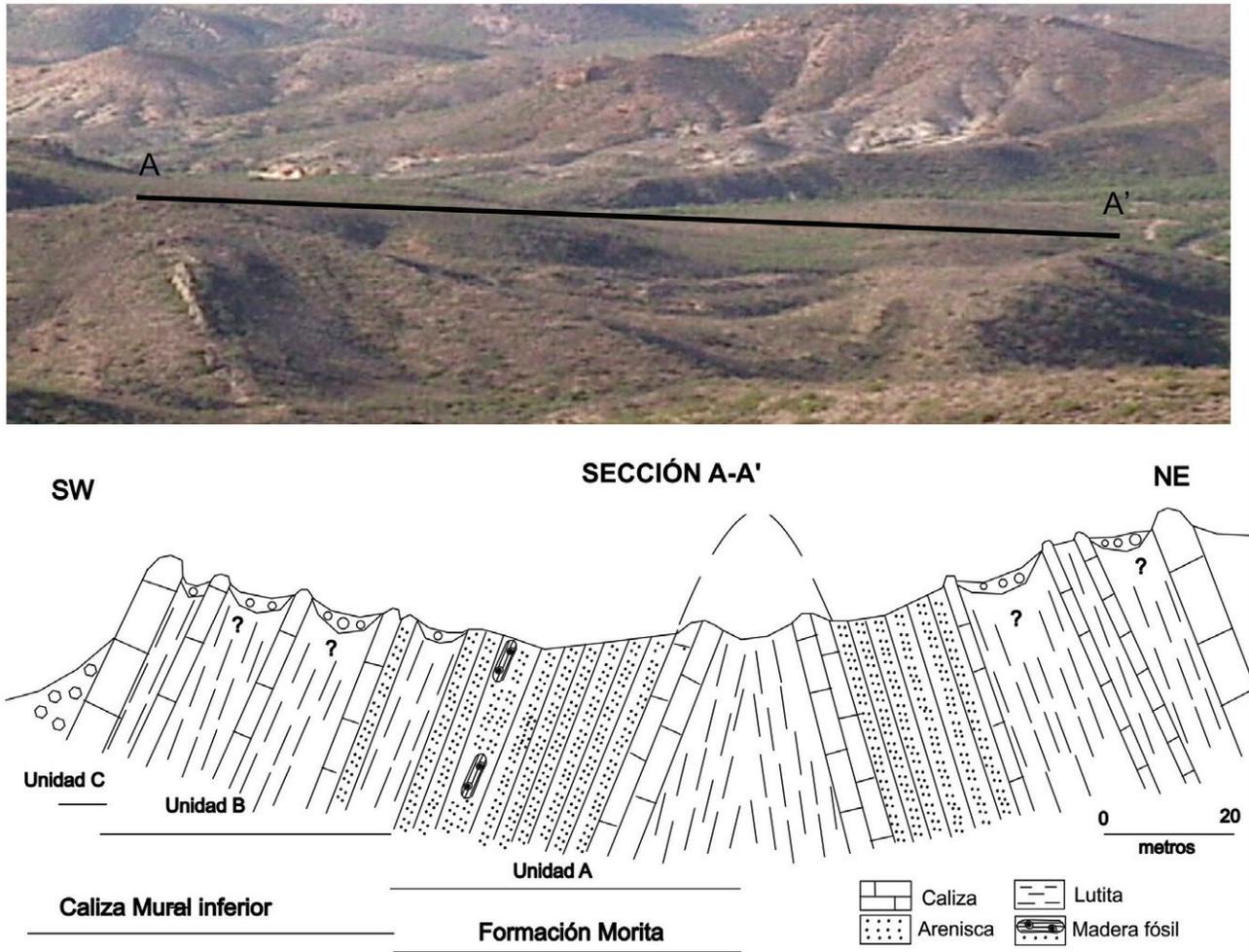


Figura 3. Vista panorámica y perfil esquemático de la sección A-A' mostrando las unidades de campo.

a laminares, las cuales localmente incluyen fragmentos de madera fósil de hasta 1.5 m de longitud (Figura 4), así como intercalaciones de algunas capas delgadas a medianas de calizas fosilíferas de color café oscuro que contienen restos de bivalvos y otros organismos. También se tienen intercaladas algunas capas de lutitas gris oscuro. La unidad A tiene un espesor de 20 m.

5.1.2 Caliza Mural inferior

Esta formación se divide en dos paquetes litológicos B y C. La unidad B está constituida por capas de calizas fosilíferas y calizas arcillosas de color gris parduzco, amarillo rojizo y café parduzco. Su estratificación varía de mediana a gruesa y presenta abundantes fragmentos de ostras, estratificación cruzada, vetillas de calcita y algunos óxidos y nódulos de pedernal. Intercaladas con las rocas carbonatadas se encuentran capas de lutitas de estratificación delgada, y localmente, algunas capas de areniscas de color gris claro y espesores delgados a medianos. Esta unidad tiene un espesor de 35 m. La unidad C está compuesta por una caliza fosilífera de color gris claro parduzco de

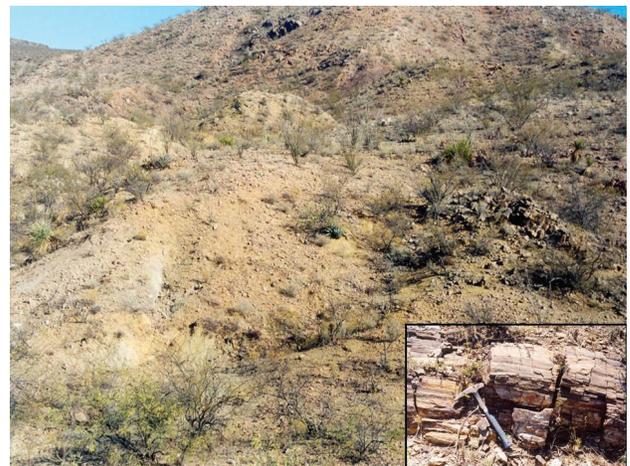


Figura 4. Panorámica de la unidad A, sección A-A'. En el recuadro, madera fósil. Formación Morita.

estratificación masiva, con la presencia de abundantes ostras. Presentan un marcado intemperismo kárstico y nódulos de pedernal. Esta unidad tiene un espesor de 5 m.

5.2 Sección B-B'

Esta sección medida se localiza en la parte norte del área de estudio (Figura 2) y tiene una longitud en el terreno de 573 m (Figura 5). Está compuesta por los miembros inferior (unidades A, B, C, D y E) y superior (unidades F, G y H) de la Caliza Mural, los cuales se presentan de manera invertida.

5.2.1 Caliza Mural inferior

Se divide en 5 unidades. La unidad A está compuesta por capas de calizas arenosas y calizas fosilíferas de estratificación delgada a gruesa, que presentan un color gris claro en superficie fresca e intemperizan a uno gris medio a café verdoso. Contienen fragmentos fósiles muy abundantes en ciertos horizontes, así como estilolitas, nódulos de pedernal y con desarrollo local de dolomitización. Esta unidad tiene un espesor de 50 m. La unidad B está constituida en su mayoría por capas delgadas a medianas de areniscas y areniscas calcáreas, cuya coloración varía de café amarillento-rojizo a rosa parduzco. Esta unidad tiene un espesor de 85 m. La unidad C está representada por calizas fosilíferas y calizas arenosas de estratificación delgada a gruesa y de color gris oscuro a gris claro. Contiene fragmentos pequeños de fósiles (equinodermos

y moluscos) y presenta estratificación cruzada. Esta unidad tiene un espesor de 17 m. La unidad D se compone enteramente de capas de areniscas calcáreas de color café parduzco con estratificación delgada a mediana, que localmente presenta estratificación cruzada y fragmentos de equinodermos y moluscos. Esta unidad tiene un espesor de 5 metros. La unidad E está constituida por un paquete de calizas fosilíferas gris oscuro de estratificación masiva e intemperismo kárstico. Presenta abundantes ostras y otros fragmentos de fósiles (Figura 6). Esta unidad tiene un espesor de 20 metros.

5.2.2 Caliza Mural superior

Se divide en tres paquetes litológicos F, G y H. La unidad F está compuesta por capas de calizas fosilíferas (fragmentos de equinodermos y moluscos) y calizas arenosas de color gris rosado parduzco que se presentan con estratificación delgada a mediana. Se intercala con capas de estratificación delgada de lodolitas y areniscas calcáreas de espesores delgados a medianos. Esta unidad tiene un espesor de 15 m. Unidad G caracterizada por capas de calizas fosilíferas de color gris claro y oscuro a tonos rojizos, con estratificación de delgada a gruesa. Contiene localmente abundantes fósiles en algunos horizontes como calpionélidos, espinas de equinodermos, foraminíferos planctónicos y bentónicos

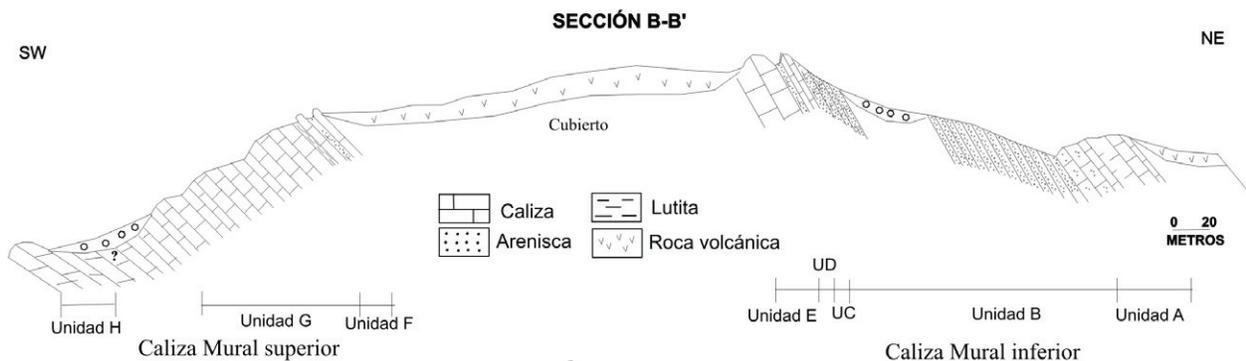


Figura 5. Vista panorámica y perfil esquemático de campo de la sección B-B', mostrando las unidades de campo. Clave: UD = Unidad D, UC = Unidad C. La fotografía y el perfil no están a la misma escala



Figura 6. Caliza masiva con abundantes ostreas, unidad E, sección B-B'. Caliza Mural inferior.

(entre éstos, miliólidos) y moluscos, así como vetillas de calcita e intemperismo kárstico. Esta unidad tiene un espesor de 90 m. La unidad H se compone solamente por capas de calizas gris claro de espesores que varían de gruesos a masivos, con abundantes ostreas y otros organismos como espinas de equinodermos, corales, gasterópodos, bivalvos y foraminíferos. Esta unidad tiene un espesor de 22 m.

5.3 Sección C-C'

Esta sección medida se localiza en porción norte del área de estudio (Figura 2) y tiene una longitud en el terreno de 238 m (Figura 7). Las rocas en esta sección se encuentran invertidas y corresponden al miembro inferior de la Caliza Mural.

5.3.1 Caliza Mural inferior

En esta sección el miembro inferior de la Caliza Mural fue dividido en 6 paquetes litológicos (unidades A a F). La base de la unidad A está compuesta por capas medianas de calizas fosilíferas (anélidos, moluscos, foraminíferos y espinas de equinodermos) con ooides y de color gris oscuro, presentan intemperismo kárstico y vetillas rellenas de calcita. En la cima se presentan capas delgadas a medianas de areniscas de color gris rosado parduzco a gris claro parduzco. Se midió un espesor de 50 m para la unidad A, que se encuentra parcialmente cubierta por los depósitos continentales cuaternarios.

La unidad B está constituida por estratos delgados a gruesos de calizas fosilíferas de color gris claro parduzco y café parduzco. Presenta horizontes con abundantes fósiles (moluscos, foraminíferos y espinas de equinodermos), ooides y localmente nódulos de pedernal, óxidos y vetillas

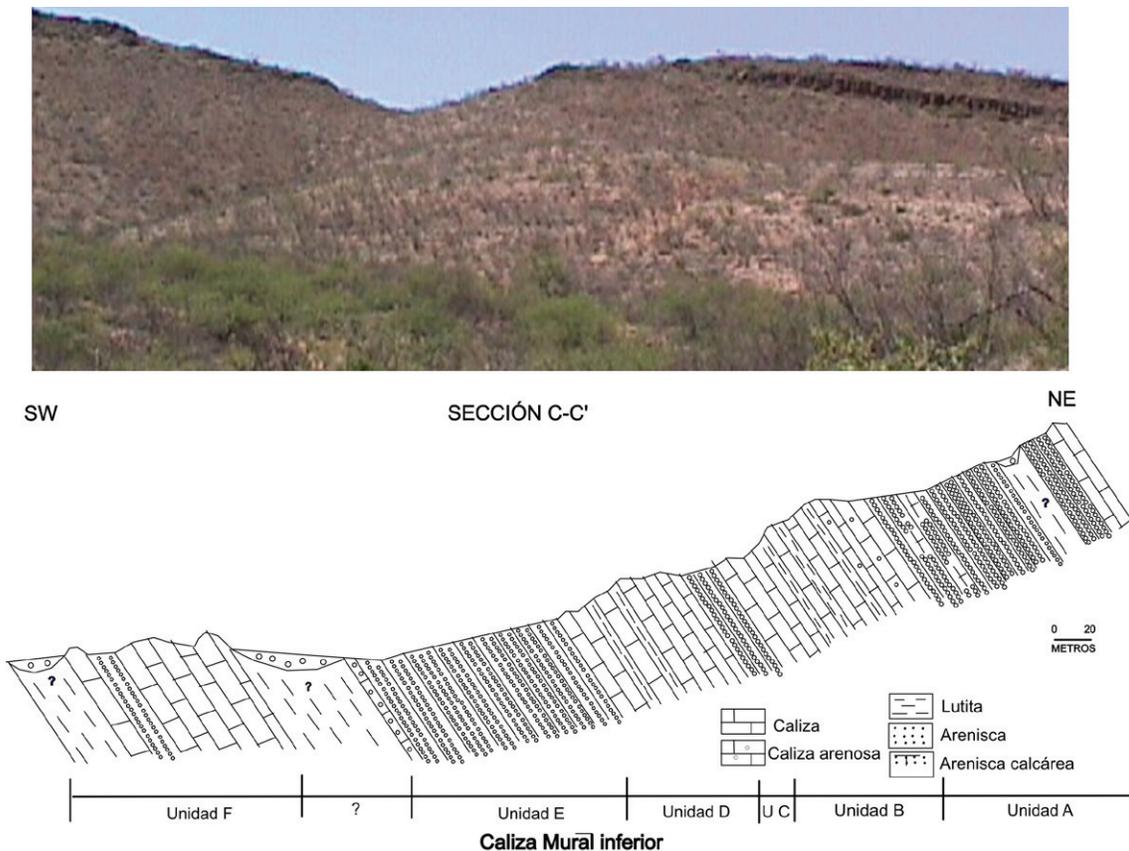


Figura 7. Sección esquemática C-C', mostrando las unidades de campo.

de calcita, así como intemperismo kárstico. Algunas de estas capas de calizas presentan estratificación cruzada. La unidad B tiene un espesor de 40 m.

La unidad C está compuesta por areniscas de estratificación delgada color rojo parduzco amarillento, presenta laminaciones y un espesor de 10 m. La unidad D está compuesta por calizas fosilíferas (fragmentos de anélidos y foraminíferos planctónicos y bentónicos) de color gris parduzco rojizo en estratos medianos a gruesos; localmente se le observan óxidos y vetillas de calcita. Esta unidad tiene un espesor de 25 m. La unidad E consiste en su totalidad por capas de areniscas de color gris rojizo a gris pardo rosado en estratos delgados a medianos y presenta un espesor aproximado de 50 m. La unidad F está constituida por calizas fosilíferas (fragmentos de moluscos y braquiópodos) de color gris oscuro a gris claro, con estratificación mediana a gruesa e intemperismo kárstico; localmente se observan nódulos de pedernal, óxidos y vetillas de calcita. Intercaladas con estos estratos se encuentran capas delgadas de areniscas de color gris rojizo. Esta unidad tiene un espesor de 80 m.

5.4 Sección D-D'

Esta sección medida se localiza en porción norte del área de estudio (Figura 2), en la ladera sur de la sierra Basómari, y tiene una longitud en el terreno de 393 m (Figura 8). En esta sección las rocas se encuentran también invertidas y la constituyen el miembro superior de la Caliza Mural y la

Formación Cintura. El contacto entre ambas formaciones está representado por una cabalgadura.

5.4.1 Caliza Mural superior

En esta sección el miembro superior de la Caliza Mural está representado por la unidad A y la componen capas medianas a masivas de calizas fosilíferas (fragmentos de moluscos, orbitolínidos, espinas de equinodermos y miliólidos) de color gris claro, intercaladas con capas delgadas de areniscas y lodolitas de color gris claro. Algunos estratos de calizas presentan abundantes ostreas, estratificación cruzada, intemperismo kárstico, nódulos de pedernal, así como vetillas rellenas de calcita. Presenta un espesor de 75 m.

5.4.2 Formación Cintura

Representada por la unidad B, está constituida por capas de areniscas de color gris rojizo a rosado con estratificación delgada a gruesa. Algunas capas están intercaladas muy localmente con paquetes de lodolitas. Esta unidad tiene un espesor de 320 m.

5.5 Sección E-E'

Esta sección medida se localiza en porción centro occidental del área de estudio (Figura 2), a través del eje de un anticlinal, y tiene una longitud en el terreno de 230 m (Figura 9). Esta sección corresponde a la Formación Cintura.

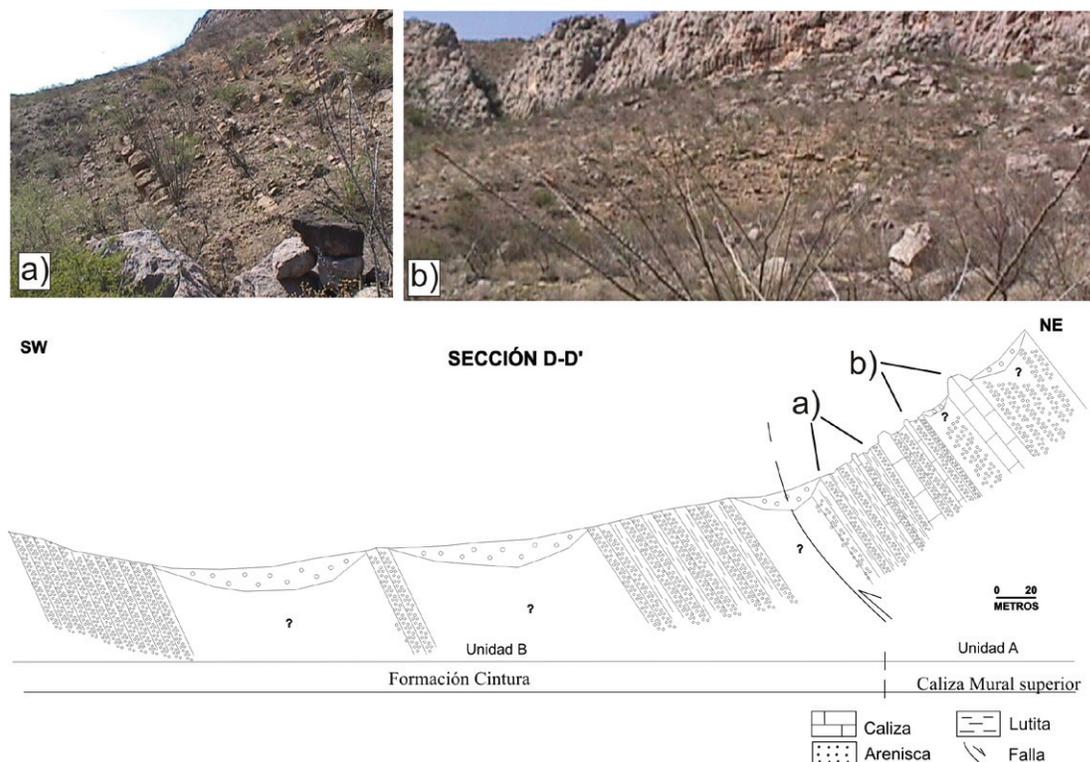


Figura 8. Sección esquemática de la sección D-D', mostrando las unidades de campo.

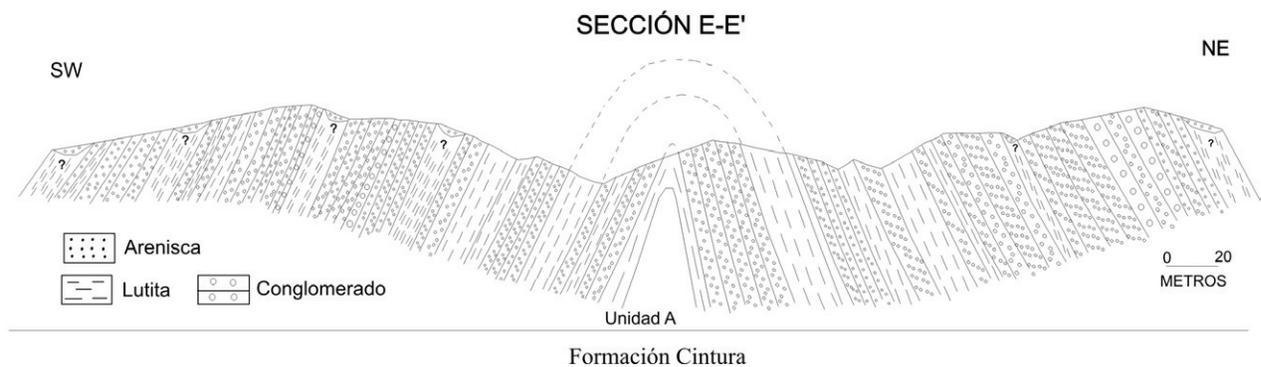
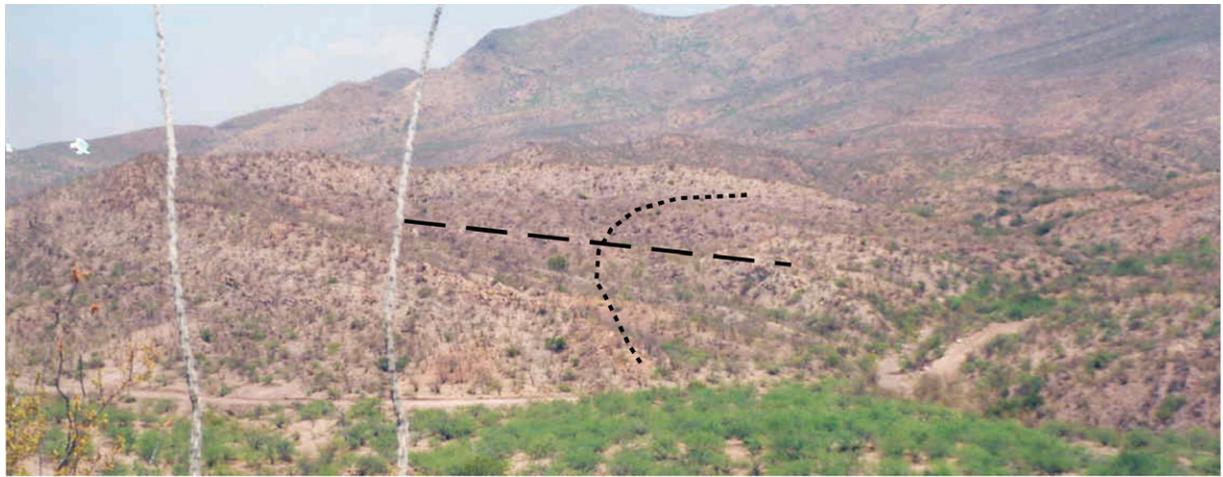


Figura 9. Panorámica y sección esquemática de la sección E-E', mostrando las unidades de campo.

5.5.1 Formación Cintura

La Formación Cintura es representada por la unidad A en esta sección está compuesta por capas delgadas a masivas de areniscas con estratificación cruzada (Figura 10) y en algunos horizontes se presentan conglomerados de clastos de caliza. Las areniscas son de color café claro a parduzco, gris claro, gris claro parduzco, gris claro rosado y rosa parduzco, y está intercalada con capas de lodolitas de color café oscuro y verdoso, gris morado y gris morado rojizo. Esta unidad presenta un espesor de 231 m.

6. Posición cronoestratigráfica

La presencia de orbitolínidos, así como la de los foraminíferos *Hedbergella* sp. y *Favusella* sp. y el calpionélido *Colomiella* sp. identificados en láminas delgadas de la Caliza Mural superior (Figura 11), indican un rango de edad del Aptiano tardío al Albiano temprano para esta unidad, a partir de lo reportado por Longoria (1974, 1975, 1977, 1981 y 1984) sobre la microfauna cretácica en el norte de México, lo cual es consistente con lo reportado por González-León *et al.* (2008) en el rancho El Búfalo, al norte del área de estudio. La edad del resto de las unidades del Grupo Bisbee no fue posible obtenerla debido a que no se encontraron fósiles índice que pudiesen contribuir a la



Figura 10. Arenisca delgada a mediana con estratificación cruzada, sección E-E'. Formación Cintura.

asignación de su edad. Sin embargo, se ha establecido de manera general que la Formación Morita representa una edad del Barremiano al Aptiano (González-León y Jacques-Ayala, 1988), mientras que a la Formación Cintura se le ha asignado una edad del Albiano tardío al Cenomaniano (Grijalva-Noriega, 1996).

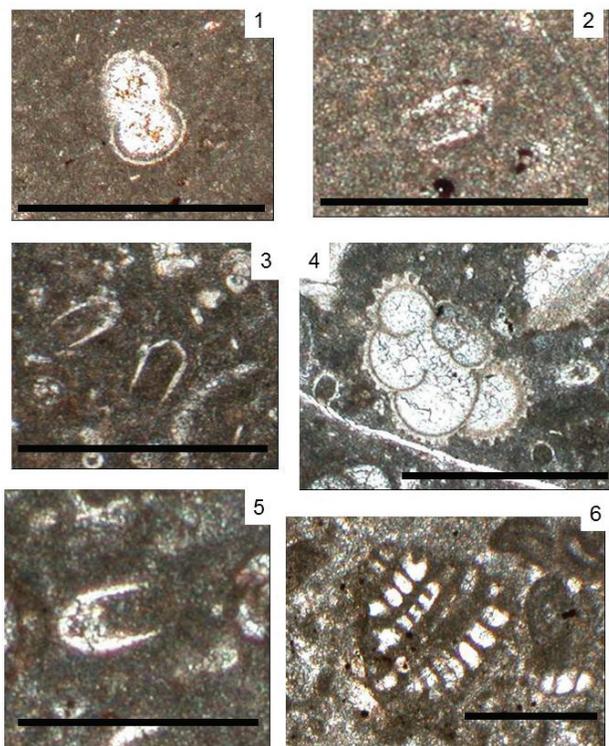


Figura 11. Microfauna en la Caliza Mural superior expuesta en el área de la sierra Basómari. (1) Foraminifero planctónico (*Favusella* sp.?); (2, 3 y 5) Calpionélidos (*Colomiella* sp.); (4) Foraminifero planctónico (*Hedbergella* sp.); (6) Orbitolínido. La barra en cada foto mide 500 micrómetros. Fauna identificada por J.F. Longoria de Florida International University.

7. Ambientes sedimentarios

Con base en las características litológicas, petrográficas y de contenido fosilífero, los ambientes sedimentarios que representan las rocas del Grupo Bisbee expuestas en el área de la sierra Basómari son principalmente marinos de aguas someras. La litología, coloraciones y presencia de restos de troncos fósiles en la Formación Morita son evidencias de que esta unidad se depositó en un ambiente marino marginal con desarrollo de ambientes deltaicos, mientras que la presencia de restos de ostreas y braquiópodos en las capas de areniscas son evidencias de ambiente marino nerítico. Las rocas de la Caliza Mural inferior fueron depositadas principalmente en un ambiente marino nerítico interior de intermarea y marino nerítico medio con desarrollo de condiciones lagunares y de bancos ooidales en algunos intervalos, tal y como lo indica la presencia de calizas fosilíferas con ostreas, fragmentos de equinodermos y moluscos, miliólidos, así como de calizas ooidales y arenisca con estratificación cruzada. Por su parte, las rocas de la Caliza Mural superior representan ambientes variables, desde marino nerítico costero interior (localmente de intermarea), nerítico medio con desarrollo de lagunas, nerítico exterior (plataforma marina abierta) y hasta pelágico como lo indica la presencia de espinas de equinodermos,

moluscos, miliólidos, corales, gasterópodos, orbitolínidos, calpionélidos y foraminíferos planctónicos. La Formación Cintura expuesta en el área de estudio representa un ambiente de depósito marino nerítico interior de intermarea y submarea, así como fluvio-deltaico.

8. Correlación

La secuencia cretácica del Grupo Bisbee que aflora en el área de la sierra Basómari, se correlaciona con secuencias que afloran al norte y centro del Estado, particularmente en la sierra Anibacachi, así como con las rocas cretácicas que afloran en las áreas del rancho El Culantrillo, cerros El Caloso, San José, Sierra Azul, Santa Ana, Tuape, Arizpe, Cerro de Oro y Arivechi (González-León, 1978; McKee y Anderson, 1988; Rodríguez-Castañeda, 1988; Monreal, 1994, 1995, 1997; Monreal et al., 1994; González-León y Lucas, 1995; Rosales-Domínguez et al., 1995; Lawton et al., 2004; González-León et al., 2008). Además se correlacionan, al este del estado, con algunas unidades de las áreas de Lampazos y de la sierra de Los Chinos (Monreal y Longoria, 2000a,b).

9. Discusión

La secuencia estratigráfica del Cretácico Inferior expuesta en el área de la sierra Basómari es equivalente a las unidades del Grupo Bisbee del noreste de Sonora, y tanto la litología como los espesores descritos en esta área son muy similares a los reportados en las localidades del estado mencionadas en este trabajo. Sin embargo, haciendo una comparación detallada de la litología se encuentran algunas diferencias con respecto a la sierra Basómari (Figura 12).

Las diferencias de espesores en los afloramientos de las unidades del Grupo Bisbee en el estado, reflejan que el depósito durante el tiempo de sedimentación de éste fue muy variable. Esto es seguramente producto de cambios en la velocidad de subsidencia y migración del depocentro de la cuenca durante el transcurso de dicha sedimentación.

La Formación Morita en el área del Rancho El Culantrillo consiste de un paquete 700 m de espesor de areniscas con estratificación cruzada intercalada con lutitas y lodolitas, un horizonte de calizas fosilíferas en la parte media y areniscas calcáreas con fósiles en la parte superior (Rosales-Domínguez et al., 1995). En el sureste de Arizona y noreste de Sonora la misma formación presenta una intercalación de capas de areniscas, lutitas, lodolitas y capas locales de conglomerados, arcillas y limos, con un espesor de 400 a 1300 m y la presencia de madera fósil en algunas localidades (Jamison, 1983, 1987). En la localidad de Cerro de Oro, la Formación Morita con 260 m de espesor presenta capas delgadas a gruesas de lodolitas, lutitas y areniscas de grano fino y algunos lentes locales de conglomerados (Monreal, 1994). En el área de la sierra Azul presenta capas

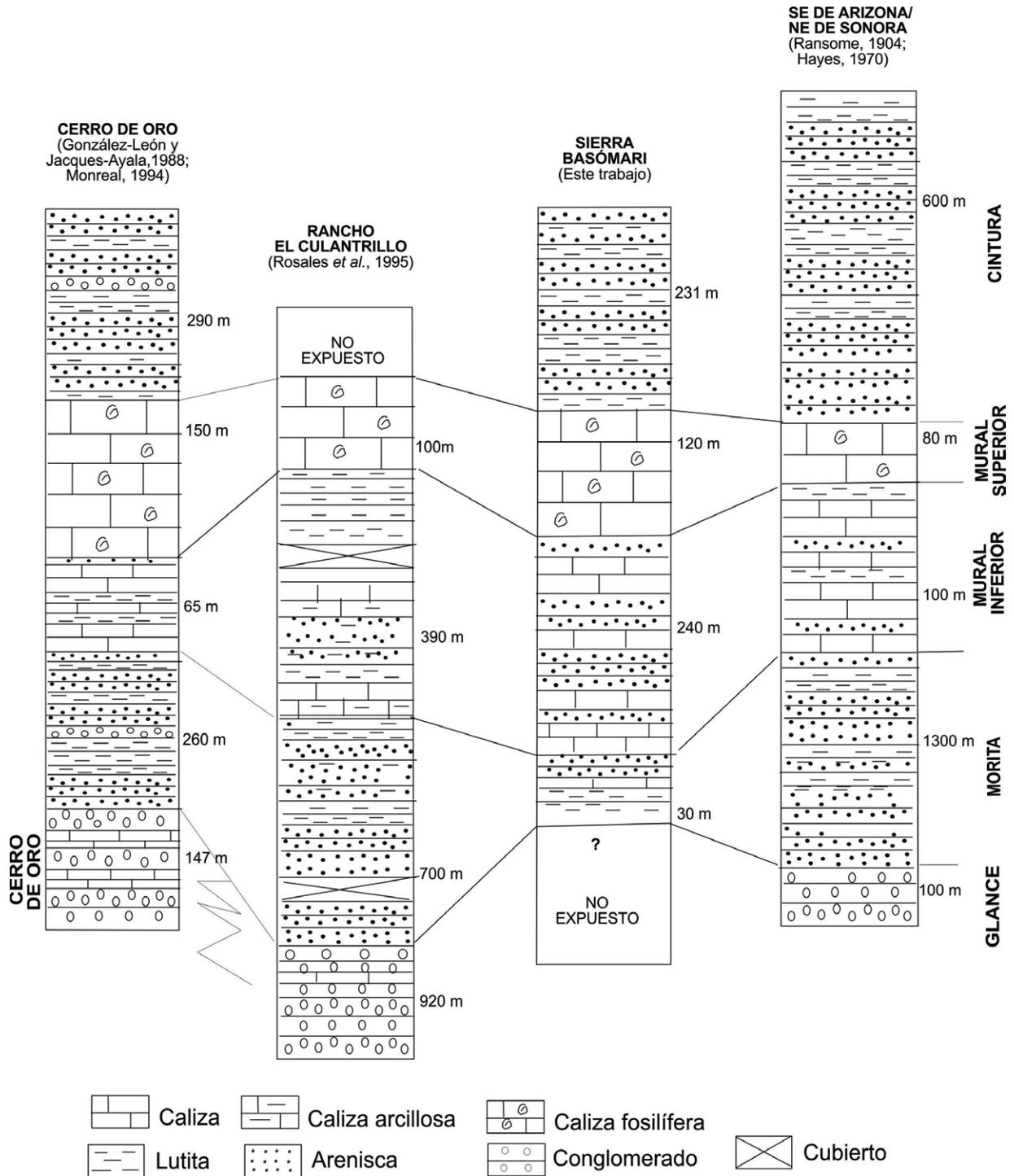


Figura 12. Litocorrelación de las unidades cretácicas expuestas en el área de la sierra Basómari con otras localidades del Grupo Bisbee en Sonora.

de lutitas, lodolitas, microconglomerados y calizas, y su espesor es de 640 a 1000 m (Rangin, 1986; McKee, 1991). En el área de Santa Ana presenta lutitas, areniscas y pocas capas de conglomerados, con un espesor de 100 a 500 m (Navarro-Fuentes, 1989). El espesor expuesto de la parte más superior de la Formación Morita (sección A-A') en el área de estudio es sólo de 20 m y no presenta los horizontes

conglomeráticos que se observan en otras localidades. Además, los fósiles que contiene sugieren un ambiente nerítico para su formación, de tal manera que lo observado en la sierra Basómari, representa solamente la porción del frente deltaico y/o prodelta. Estas grandes diferencias en espesores (de 260 m en Cerro de Oro a 1300 m en el noreste de Sonora) pueden deberse a que el depocentro de la cuenca

se localizaba en el noreste de Sonora y sureste de Arizona durante el tiempo de sedimentación de la Formación Morita. En la sierra Basómari solo afloran los 30 m superiores de la unidad y no es posible identificar su espesor real, aunque en el rancho El Culantrillo, localizado a sólo una decena de kilómetros al noroeste del área de estudio, se reportaron 700 m de espesor (Rosales-Domínguez *et al.*, 1995). También es importante mencionar que en el área de Cerro de Oro, la Formación Morita tiene un espesor de sólo 260 m, pero esto podría deberse a fallamiento local (Monreal, 1994).

La Caliza Mural en el noreste de Sonora presenta variaciones de facies y espesores diferentes, posiblemente producto de ciclos transgresivos y regresivos en la Cuenca Bisbee (González-León *et al.*, 2008).

La Caliza Mural inferior en área de la sierra Basómari presenta capas de areniscas, calizas fosilíferas y calizas arcillosas con un espesor de 35 a 240 m. En el área del rancho El Culantrillo esta unidad consiste de 390 metros de calizas arenosas con ostreas, lodolitas calcáreas y areniscas con amonitas. Mientras que en el sureste de Arizona y noreste de Sonora esta formación presenta capas de calizas fosilíferas, areniscas, lodolitas y lutitas con un espesor de 100 a 144 m. En Cerro de Oro, la Caliza Mural inferior consiste de capas delgadas a medianas de lodolita calcárea intercalada con caliza fosilífera arcillosa y arenosa y arenisca, con un espesor de 65 m. En el área de la sierra El Tigre presenta una intercalación de areniscas fosilíferas con capas de calizas y un espesor de 526 m. En el área de la sierra Azul la Caliza Mural inferior consta de capas de lutitas, lodolitas y calizas fosilíferas con un espesor de 250 a 295 m, y en el área de Santa Ana presenta una intercalación de capas de delgadas a masivas de calizas grises con un espesor de 100 a 650 m.

Por su parte, la Caliza Mural superior en el área de la sierra Basómari presenta capas de calizas fosilíferas gruesa a masiva intercaladas con capas de areniscas y lodolitas, de 50 a 127 m de espesor, mientras que en el área del rancho El Culantrillo consiste de capas medianas de calizas grises. En el sureste de Arizona y noreste de Sonora, la Caliza Mural superior presenta capas delgadas a medianas de calizas fosilíferas y muy localmente capas de lutitas y lodolitas en la parte superior, con un espesor de 54 a 84 m. En Cerro de Oro esta unidad consiste de calizas fosilíferas gruesa a masiva y capas gruesas de calizas bioclásticas. En el área de la sierra El Tigre presenta capas delgadas a masivas de calizas fosilíferas intercaladas con capas de calizas arenosas, lutitas y areniscas, con un espesor de 434 m. En el área de la sierra Azul la unidad antes mencionada presenta capas delgadas a masivas de calizas fosilíferas cubiertas por capas de lutitas, lodolitas, escasas areniscas y calizas con ooides, con un espesor de 245 a 280 m. Como queda de manifiesto, el depósito de la Caliza Mural superior es variable en cuanto al contenido y tamaño de grano de clastos terrígenos, ya que estos se encuentran distribuidos en diferentes niveles estratigráficos en la unidad.

Lawton *et al.* (2004) y González-León *et al.* (2008),

proponen la división estratigráfica de la Caliza Mural en varios miembros para diferentes localidades en Sonora, y aunque estos miembros pudieran estar presentes también en la secuencia expuesta en el área de estudio, se requerirían estudios más detallados en la Caliza Mural para discriminar e identificar dichos miembros en la secuencia de la sierra Basómari.

La Formación Cintura en el área de la sierra Basómari se compone de una intercalación de capas de areniscas con lodolitas y, muy localmente, conglomerados de clastos carbonatados, con un espesor de 150 a 320 m, mientras que en el área del rancho El Culantrillo esta formación no se encuentra expuesta ya que la Caliza Mural superior es cubierta por sedimentos plio-cuaternarios. En el sureste de Arizona y noreste de Sonora la Formación Cintura presenta capas de areniscas feldespáticas, lutitas y lodolitas, ocasionalmente conglomerados y algunas capas de calizas cerca de la base, con un espesor de 300 a 600 m. En Cerro de Oro, la Formación Cintura consiste de capas delgadas a masivas de lodolitas y areniscas de grano fino con esporádicos lentes delgados de conglomerados. En el área de la sierra Azul presenta capas de lutitas y lodolitas con algunas capas de areniscas, calizas y conglomerados, con 100 m de espesor. En el área de Santa Ana presenta capas de lodolitas intercaladas con areniscas con un espesor de 500 a 1000 m.

10. Conclusiones

Las rocas del Cretácico Inferior expuestas en la porción sur de la sierra Basómari corresponden a la Formación Morita, Caliza Mural y Formación Cintura del Grupo Bisbee, las cuales fueron depositadas en una extensa cuenca irregular en el norte de Sonora y sureste de Arizona, tal y como se sugiere a partir de las diferencias en espesores y litologías de las unidades que lo constituyen en diferentes localidades.

El ambiente de depósito para la Formación Morita en esta área es principalmente marino nerítico de aguas someras de intermarea a submarea, así como marino marginal con el desarrollo de un sistema deltaico. La Caliza Mural fue depositada en ambientes marinos, desde nerítico interior a nerítico medio con desarrollo local de lagunas y bancos ooidales, hasta ambiente pelágico. La Formación Cintura representa por su parte, el depósito dentro de un ambiente marino nerítico interior de intermarea a submarea (Figura 13A).

Con base en la presencia de calpionélidos y foraminíferos incluidos en las rocas de la Caliza Mural superior, se identifica una posición cronoestratigráfica del Aptiano superior al Albiano inferior para esta parte de la Caliza Mural, y del Cretácico Inferior en general para el resto del Grupo Bisbee en la sierra Basómari

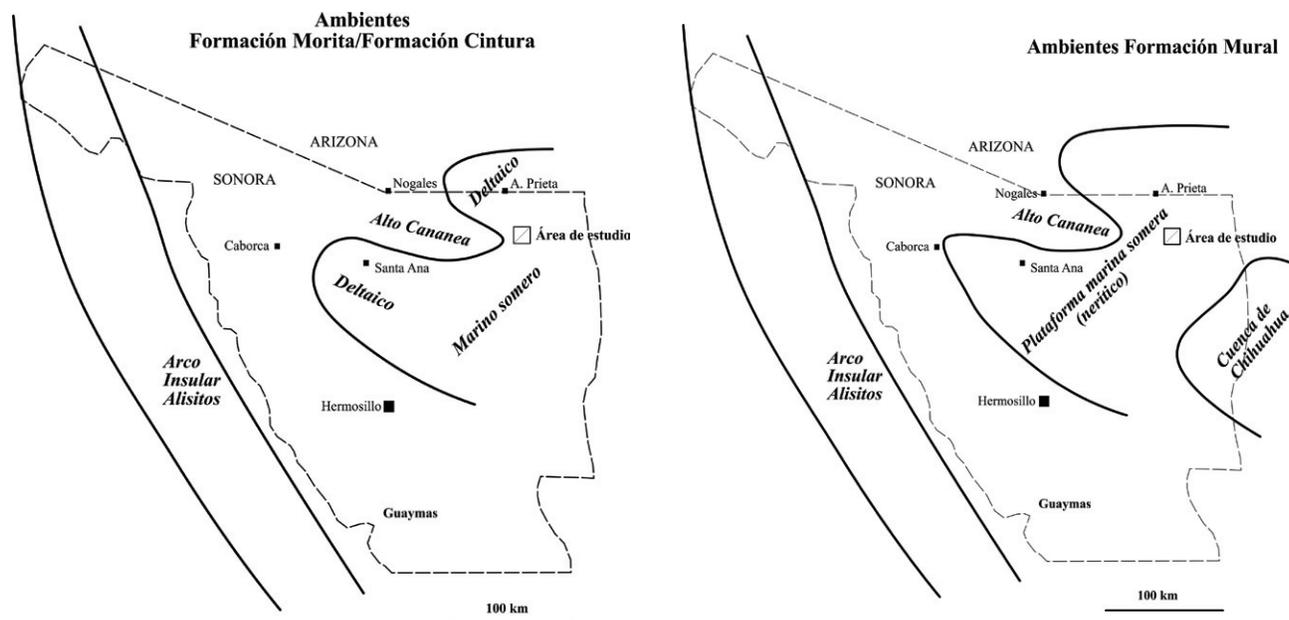


Figura 13. Distribución de ambientes de deposición de la Formación Morita, de la Formación Cintura (A) y de la Caliza Mural (B).

Agradecimientos

Los autores agradecemos el apoyo brindado por el CONACYT a través del proyecto de investigación No. 28307-T, así como al Departamento de Geología de la Universidad de Sonora por las facilidades brindadas para la realización de este estudio.

Referencias

- Almazán-Vázquez, E., 1990, Fauna Aptiano-Albiano del Cerro de Las Conchas, Sonora centro-oriental: Universidad de Nuevo León, Actas Facultad de Ciencias de la Tierra, 4, 153-173.
- Baron-Szabo, R.C., González-León, C.M., 2003, Late Aptian-Early Albian corals from the Mural Limestone of the Bisbee Group (Tuape and Cerro de Oro areas), Sonora, Mexico *en* Scott, R.W. (ed.), Gulf Coast Section Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publications in Geology, 1, 187-225.
- Bartolini, C., Herrera-Urbina, S., 1986, Estratigrafía y estructura de la región de Lampazos, Sonora, México: Boletín del Departamento de Geología, Universidad de Sonora, 3, 13-23.
- Dumble, E.T., 1900, Notes on the geology of Sonora, Mexico: American Institute of Mining and Metallurgical Engineers Journal, 29, 122-152.
- González-León, C.M., 1978, Geología del área de Arizpe, Sonora centro-septentrional: Hermosillo, Sonora, Universidad de Sonora, tesis de licenciatura, 71 p.
- González-León, C.M., 1988, Estratigrafía y geología estructural de las rocas sedimentarias cretácicas del área de Lampazos, Sonora: Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 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., Jacques-Ayala, C., 1988, Estratigrafía de las rocas cretácicas del área de Cerro de Oro, Sonora Central: Boletín del Departamento de Geología Universidad de Sonora, 5, 1-23.

- González-León, C.M., Lawton, F.T., 1995, Stratigraphy, depositional environments, and origin of the Cabullona basin, northeastern Sonora, *en* Jacques-Ayala, C., González-León, C.M., Roldán-Quintana, J., (eds.), Studies on the Mesozoic of Sonora and Adjacent Areas: Geological Society of America Special Paper, 301, 121-142.
- González-León, C.M., Lucas, S.G., 1995, Stratigraphy and paleontology of the early Cretaceous Cerro de Oro Formation, central Sonora *en* Jacques-Ayala, C., González-León, C.M., Roldán-Quintana, J. (eds.), Studies on the Mesozoic of Sonora and Adjacent Areas: Geological Society of America Special Paper, 301, 41-47.
- González-León, C.M., Scott, R.W., Löser, H., Lawton, T.F., Robert, E., Valencia, V.A., 2008, Upper Aptian-Lower Albian Mural Formation: stratigraphy, biostratigraphy and depositional cycles on the Sonoran shelf, northern Mexico: Cretaceous Research, 29, 249-266.
- Grijalva-Noriega, J., 1991, Sobre el Cretácico Temprano en Sonora y áreas adyacentes: Boletín del Departamento de Geología, Universidad de Sonora, 8, 1-18.
- Grijalva-Noriega, J., 1994, Estratigrafía y sedimentología de la Formación Cintura del área de San Marcos, noreste de Sonora México: Hermosillo, Sonora, Universidad de Sonora, tesis de maestría, 89 p.
- Grijalva-Noriega, J., 1996, Cintura Formation – an Early Cretaceous deltaic system in Northeastern Sonora, Mexico: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 13, 129-139.
- Hayes, P.T., 1970, Cretaceous paleogeography of southeastern Arizona and adjacent areas: Washington D.C., U.S. Geological Survey Professional Paper, 658-B, 42 p.
- Jacques-Ayala, C., 1995, Paleogeography and provenance of the Lower Cretaceous Bisbee Group in the Caborca-Santa Ana area, northwestern Sonora, *en* Jacques-Ayala, C., González-León, C.M., Roldán-Quintana, J. (eds.), Studies on the Mesozoic of Sonora and Adjacent Areas: Geological Society of America Special Paper, 301, 79-98.
- Jamison, K., 1983, The depositional environment and petrographic analysis of the Lower Cretaceous Morita Formation, Bisbee Group, southeastern Arizona and northern Sonora, Mexico: Tucson, Arizona, University of Arizona, tesis de maestría, 157 p.
- Jamison, K., 1987, Petrofacies of Morita Formation (Bisbee Group), southeastern Arizona and northern Sonora, Mexico, *en* Dickinson, W.R., Klute, M.A. (eds.), Mesozoic Rocks of Southern Arizona and Adjacent Areas: Arizona Geological Society Digest, 18, 257-262.

- Lawton, T.F., González-León, C.M., Lucas, S.G., Scott, R.W., 2004, Stratigraphy and sedimentology of the upper Aptian-upper Albian Mural Limestone (Bisbee Group) in northern Sonora, Mexico: *Cretaceous Research*, 25, 43-60.
- Longoria, J.F., 1974, Acerca del Límite Aptiense-Albiense en México: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 25, 38-40.
- Longoria, J.F., 1975, Estratigrafía de la Serie Comancheana del noroeste de México: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 36, 31-59.
- Longoria, J.F., 1977, Bioestratigrafía del Cretácico Inferior basada en microfósiles planctónicos: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 38, 2-17.
- Longoria, J.F., 1981, Foraminíferos planctónicos del Cretácico Inferior de Sonora (resumen), *en* Geological Society of America, Cordilleran Section 77th Annual Meeting, Hermosillo, Sonora, México: Geological Society of America, Abstracts with Programs, 31.
- Longoria, J.F., 1984, Cretaceous biochronology from the Gulf of Mexico region based on planktonic microfossils: *Micropaleontology*, 30, 225-242.
- Martínez, J., Palafox-Reyes, J.J., 1985, Geología del área de Arivechi, Sonora: Hermosillo, Sonora, Universidad de Sonora, tesis profesional, 91 p.
- McKee, M.B., Anderson, T.H., 1988, Mass-gravity deposits and structures in the Lower Cretaceous of Sonora, Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, 110, 1516-1529.
- McKee, M.B., 1991, Deformation and stratigraphic relationships of mid-Cretaceous to Early Tertiary mass gravity slides in a marine basin in Sonora, Mexico: Pittsburgh, Pennsylvania, University of Pittsburgh, tesis doctoral, 286 p.
- Monreal, R., 1993, Paleogeografía y tectónica de la cuenca de Chihuahua durante el Cretácico Inferior: *Boletín del Departamento de Geología, Universidad de Sonora*, 10, 1-20.
- Monreal, R., 1994, Facies changes, unconformities, stratigraphic juxtapositions and their tectonic implications of the Cretaceous of Cerro de Oro Central Sonora, Mexico: *Boletín del Departamento de Geología, Universidad de Sonora*, 11, 1-30.
- Monreal, R., 1995, Las facies marinas (Aptiano-Albiano) del Grupo Bisbee y cronocorrelativas en Sonora: *Boletín del Departamento de Geología, Universidad de Sonora*, 12, 65-78.
- Monreal, R., 1997, Microfacies of Lower Cretaceous marine succession in Cerro Las Conchas, Sonora, Mexico: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 14, 38-49.
- Monreal, R., Valenzuela, M., González-León, C.M., 1994, A revision of the stratigraphic nomenclature for the Cretaceous of northern Sonora and some paleogeographic implications: *Boletín del Departamento de Geología, Universidad de Sonora*, 11, 171-190.
- Monreal, R., Longoria, J.F., 2000a, Stratigraphy and structure of the Lower Cretaceous of Lampazos, Sonora, (northwest Mexico) and its relationship to the Gulf Coast succession: *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 84, 1811-1831.
- Monreal, R., Longoria, J.F., 2000b, Lower Cretaceous rocks of Sierra Los Chinos, east-central Sonora, Mexico: *Geofísica Internacional*, 39, 309-322.
- Monreal, R., Santa María, A., Monreal, C.A., 2001, La Formación Los Picachos (Cretácico Inferior) en la Sierra de Los Chinos, este-central de Sonora; un conglomerado intraformacional, *en* XXIV Convención Internacional de la Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México: Acapulco, Guerrero, Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, 99-101.
- Navarro-Fuentes, J.C., 1989, Estratigrafía del Cretácico Inferior en el área de Santa Ana, Sonora, México: Ensenada, Baja California, Universidad Autónoma de Baja California, tesis de licenciatura, 98 p.
- North American Commission on Stratigraphic Nomenclature (NACSN), 2005, North American Stratigraphic Code (Revised Edition), American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 89, 1547-1591.
- Palafox-Reyes, J.J., Minjarez, I., Monreal, R., Almazán, E., Morales, M., Ochoa, L., Rodríguez, R., Rivera, B., 1998, Carta Geológico-Minera y Geoquímica Nacozari H12-6, Sonora y Chihuahua, Escala 1:250 000: México, D.F., Consejo de Recursos Minerales, 1 mapa con texto.
- Rangin, C., 1986, Contribution a l'étude géologique du système cordillérain mésozoïque du nord-ouest du Mexique: *Mémoires de la Société Géologique de France, nouvelle série*, 148, 136 p.
- Ransome, F.L., 1904, Geology and ore deposits of the Bisbee Quadrangle, Arizona: Washington, D.C., U. S. Geological Survey Technical Report, 21, 167 p.
- Rodríguez-Castañeda, J.L., 1988, Estratigrafía de la región de Tuape, Sonora, Mexico: *Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 7, 52-66.
- Rosales-Domínguez, M.C., Grajales-Nishimura, J.M., Sánchez-Ríos, M.A., Gómez-Luna, M.E., Dueñas, M.A., 1995, Biostratigraphy of the Lower Cretaceous Bisbee Group, Rancho Culantrillo area northeastern Sonora, *en* Jacques-Ayala, C., González-León, C.M., Roldán-Quintana, J. (eds.), Studies on the Mesozoic of Sonora and Adjacent Areas: Geological Society of America Special Paper, 301, 49-57.
- Santa María-Díaz, A., 2002, Geología del Cretácico Inferior y estratigrafía de las Formaciones Lampazos y Los Picachos, Sierra de Los Chinos Sonora: Hermosillo, Sonora, Universidad de Sonora, tesis de maestría, 75 p.
- Santa María-Díaz, A., Monreal, R., 2008, La Formación Los Picachos en la Sierra de Los Chinos, Sonora, México: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 60, 111-120.
- Taliaferro, N.L., 1933, An occurrence of Upper Cretaceous sediments in northern Sonora, Mexico: *Journal of Geology*, 41, 12-37.
- Warzeski, E.R., 1987, Revised stratigraphy of the Mural Limestone: A Lower Cretaceous carbonate shelf in Arizona and Sonora, *en* Dickinson, W.R., Klute, M., Mesozoic rocks of southern Arizona and adjacent areas: Arizona Geological Society Digest, 18, 335-363.

Manuscrito recibido: Enero 9, 2009.

Manuscrito corregido recibido: Agosto 5, 2010.

Manuscrito aceptado: Diciembre 7, 2010.