

Estudio sedimentológico-estratigráfico de la Sierra Las Lilas (Paleozoico) y Sierra El Cartucho (Mesozoico) en la porción noroccidental del Estado de Chihuahua, México (Distrito Minero de Bismark)

Rubén López-Doncel*, Guillermo Labarthe-Hernández y José Luis Mata-Segura

Instituto de Geología, Universidad Autónoma de San Luis Potosí,
Av. Dr. Manuel Nava 5, Zona Universitaria, 78240 San Luis Potosí, S.L.P., México.

*rlopez@uaslp.mx

RESUMEN

En los alrededores del distrito minero de Bismark afloran rocas sedimentarias pertenecientes a dos secuencias estratigráficas diferentes. Una secuencia paleozoica regresiva está representada por la Formación La Concha, compuesta por dolomías delgadas hasta masivas y por la Formación Santa Rita que comprende una intercalación de areniscas y dolomías, ambas con edades del Pérmico Inferior. Tanto la fauna como la litología de ambas formaciones sugieren un ambiente inicial marino somero en forma de plataforma carbonatada tipo rampa, el cual cambia transicionalmente a un ambiente con claro dominio terrígeno continental. Los depósitos pérmicos representan la cobertura sedimentaria depositada sobre el cratón Norteamericano del Terreno Chihuahua.

La secuencia sedimentaria mesozoica se compone exclusivamente de rocas del Cretácico Inferior e incluye (1) una secuencia con fauna neocomiana; (2) la Formación Cuchillo del Aptiano-Albiano inferior; (3) la Formación Benigno del Albiano, correlacionable con la parte media de la Formación U-Bar de Nuevo México; y (4) la parte superior de la Formación U-Bar. Esta secuencia evidencia una tendencia transgresiva pasando de una sedimentación marina con influencia de terrígenos finos (Neocomiano-Aptiano) hasta un ambiente marino de aguas someras en una plataforma carbonatada con depósito de floatstones hasta boundstones en construcciones arrecifales locales (Albiano inferior). Este dominio carbonatado cambió a finales del Albiano y fue reemplazado por sedimentación en una zona continental – marino marginal. Tanto la fauna como la litología de las secuencias sedimentarias mesozoicas demuestran que el depósito marino comenzó en esta porción del noroeste de Chihuahua durante el Neocomiano en una zona paleogeográfica afín a la Cuenca de Chihuahua y al margen norte de la Plataforma de Aldama.

Palabras clave: estratigrafía, sedimentología, Pérmico, Cretácico, Chihuahua, México.

ABSTRACT

Sedimentary rocks belonging to two different stratigraphic sequences of Paleozoic and Mesozoic age are exposed in the vicinity of the Bismark mining district. The regressive Paleozoic sequence of Early Permian age is represented by La Concha Formation, composed of thin to massive dolomites, and the Santa Rita Formation, which includes interbedded sandstones and dolomites. The fauna and the lithology of both formations suggest an initial marine shallow environment in a carbonate ramp-type platform, which changed transitionally to an environment with clear continental siliclastic influence. The Permian deposits represent the sedimentary cover deposited on the North American craton of the Chihuahua terrane.

The Mesozoic sedimentary sequence consists exclusively of Lower Cretaceous rocks and includes (1) a sequence with Neocomian fauna; (2) the Aptian – lower Albian Cuchillo Formation; (3) the Albian

Benigno Formation, which correlates with the middle part of the U-Bar Formation from New Mexico; and (4) the upper part of the U-Bar Formation. These formations demonstrate a transgressive trend ranging from marginal-marine sedimentation containing fine grained terrigenous detritus (Neocomian–Aptian) to a shallow marine water environment with deposition of floatstones and boundstones in a carbonate platform with local reef buildups (lower Albian). This carbonate domain changed at the end of the Albian age and was replaced by sedimentation in a marginal marine-continental environment. The fauna and the lithology of the Mesozoic sedimentary sequences show that the marine deposition began in this part of northwestern Chihuahua in the Neocomian in a paleogeographic zone related to the Chihuahua trough and the northern margin of the Aldama platform.

Key words: stratigraphy, sedimentology, Permian, Cretaceous, Chihuahua, Mexico.

INTRODUCCIÓN

En el noroeste del Estado de Chihuahua, en los alrededores del Distrito Minero de Bismark, afloran secuencias sedimentarias pertenecientes a dos unidades estratigráficas diferentes. Una secuencia terrígena-carbonatada del Paleozoico Superior y otra secuencia predominantemente carbonatada del Cretácico Inferior. Con base en una cartografía geológica que incluye a la Sierra del Cartucho, la Mina de Bismark, Estación Microondas y Sierra de las Lilas, (aproximadamente 200 km²), en este trabajo se presenta la distribución de las secuencias sedimentarias que afloran en el área, así como un estudio estratigráfico-facial detallado de ambas unidades con base en nuevos datos paleontológicos y faciales. Para el levantamiento geológico del área de estudio se utilizaron las bases topográficas escala 1:50,000 del CETENAL, DETENAL e INEGI del año 1974.

LOCALIZACIÓN

El área de estudio se localiza a 320 km al nororiente de la ciudad de Chihuahua, a 80 km al surponiente de Ciudad Juárez y a 25 km al nororiente del poblado de Ascensión, Chihuahua (Figura 1). El área de trabajo es accesible partiendo de Ciudad Juárez, Chihuahua, por la carretera n.º 2 en dirección a Ascensión, Chihuahua. En el Km. 146 se encuentra una desviación hacia el sur, que conecta a un camino de terracería que conduce a la Mina de Bismark y que cruza el área de trabajo.

El área de trabajo se encuentra localizada en la provincia fisiográfica de la Mesa Central, en la que predomina la morfología del área de Cuencas y Sierras compuesta por conjuntos paralelos de sierras alargadas con orientación NW-SE y separadas entre sí por amplios valles endorreicos denominados bolsones.

ANTECEDENTES

Reportes sobre la geología general del área de estudio son escasos. Algunos de los trabajos representativos del

noroste de Chihuahua son los de Tovar (1969), Brown y Dyer (1987) y Haenggi (2001, 2002). Sin embargo, desde hace algunos años, las diferentes zonas mineras que se encuentran en esta porción noroccidental del Estado de Chihuahua (Bismark, El Sabinal, San Pedro Corralitos y El Barreal/Conejos, por nombrar algunos) han sido el centro principal de investigaciones, orientadas primordialmente a aspectos relacionados con la génesis de los yacimientos y sus procesos de mineralización, y presentada en reportes técnicos no publicados. Específicamente en el área de los alrededores de la mina de Bismark, Solano y García-Fons (1987) y Solano y Alonso (1990) realizaron los reportes geológicos más completos hasta ahora del área de la Mina de Bismark. Otros trabajos específicos sobre la geología ge-

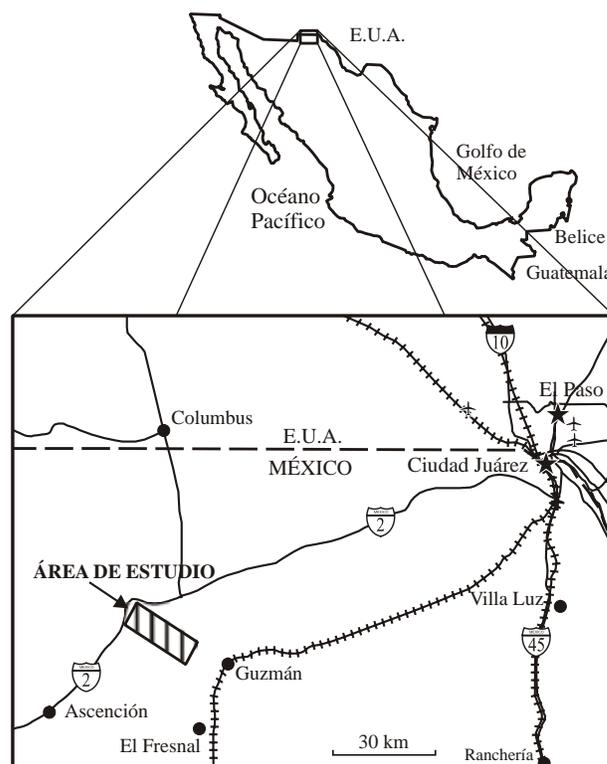


Figura 1. Localización del área de estudio y vías de acceso.

neral, hidrogeología y paleontología del distrito de Bismark son los de Martínez-Rodríguez (1988), Martínez-Leyva (1989), Sharp y Goodell (1990) y ERA-Maptec (1995).

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL Y UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

El área de estudio se localiza en la porción centro-occidental del norte del Estado de Chihuahua, la cual comprende una serie de sierras compuestas por secuencias sedimentarias marinas plegadas del Mesozoico que fueron depositadas sobre rocas paleozoicas, predominantemente sedimentarias. Éstas a su vez descansan sobre un basamento cristalino consolidado de edad precámbrica, Grenvilliano según Mauger *et al.* (1983), aunque los datos radiométricos del pozo Los Chinos de PEMEX indican una edad mayor ($1,327 \pm 242$ Ma), probablemente correlacionable con los gneisses cartografiados en el noreste de Nuevo México (Denison *et al.*, 1984; Haenggi, 2001).

La sedimentación paleozoica se desarrolló inicialmente en ambientes someros (plataforma) relativamente estables, los cuales están representados por calizas y dolomías (González-García, 1976). Durante el Paleozoico superior dominaron condiciones muy inestables, con levantamientos y exposición subaérea de algunas estructuras regionales, relacionadas con las deformaciones de la orogenia Ouachita–Marathon, provocando que depósitos de plataforma se intercalaran con secuencias terrígenas continentales, siendo éstas las rocas aflorantes más antiguas del área de estudio.

El Mesozoico se encuentra mejor representado en el área de trabajo, localizándose en la zona transicional entre los dos elementos paleogeográficos más importantes de esta porción del centro-oeste del Estado de Chihuahua durante el Mesozoico, a saber la Plataforma de Aldama (en sentido de Haenggi, 2002) y la Cuenca de Chihuahua.

Los primeros sedimentos del Mesozoico son secuencias transgresivas del Kimmeridgiano y del Jurásico cúspidal, representadas por rocas arcillo-arenosas y calcáreas de la Formación La Casita, las cuales con el progreso de la transgresión migraron gradualmente durante el Cretácico Inferior (Neocomiano) a depósitos predominantemente marinos calcáreos. Para el Aptiano, la Plataforma de Aldama se encontraba ya cubierta por los mares transgresivos del Cretácico Inferior, aunque dominaron secuencias de plataforma, teniendo en el Cretácico medio su máximo desarrollo con la formación de construcciones arrecifales y depósito de carbonatos de aguas someras.

El basculamiento y volcanismo de la porción occidental de México durante el Cretácico Superior propició el depósito de sedimentos terrígenos, los cuales cubrieron completamente la zona durante el Campaniano, siendo éstos los últimos sedimentos mesozoicos debido a la inexistencia ya sea por erosión o falta de depósito de rocas del Maastrichtiano.

El Cenozoico está caracterizado por intensa actividad ígnea, inicialmente intrusiva (Intrusivo Microondas e Intrusivo Bismark, Figura 2), y posteriormente extrusiva, dominando importantes emisiones ignimbríticas (Ignimbrita El Venado, Figura 2), así como extrusiones basálticas del Oligoceno y Mioceno (Basalto Los Chinos, Figura 2, López-Doncel *et al.*, 1997).

En el área de estudio se encuentran tres unidades estratigráficas claramente diferenciables que van desde el Paleozoico superior hasta el Terciario. Se trata de una secuencia sedimentaria pérmica, una secuencia sedimentaria cretácica y una serie de rocas ígneas de edad terciaria tanto intrusivas (granitos) como extrusivas (basaltos y riolitas, Figura 2). El presente trabajo se ocupa únicamente en la descripción de las secuencias sedimentarias, dejando la descripción de las secuencias ígneas para posteriores reportes.

SECUENCIA SEDIMENTARIA PALEOZOICA

Las rocas aflorantes más antiguas del área de estudio se encuentran bien expuestas a lo largo de todo el margen NE de la zona estudiada, en la sierra conocida como Sierra de Las Lilas, también llamada por Ramírez-M. y Acevedo-C. (1957) y Campbell y Muela (1983) como Sierra de Santa Rita (Figura 2).

La Sierra de Las Lilas es una sierra de aproximadamente 10 km de largo y 3 km en su parte más ancha, la cual tiene un rumbo NW–SE. La Sierra de Las Lilas representa la terminación sur de un tren de grandes afloramientos paleozoicos con un rumbo NW–SE que se extienden a través de la Sierra de los Chinos (o Sierra Boca Grande), Sierra de Palomas (o Sierra de Los Moscos) y Sierra Rica en el NW del Estado de Chihuahua hasta la frontera con los EE.UU. (Figura 3). Entre los trabajos realizados en esa zona se pueden mencionar los de Díaz y Navarro (1964), Tovar (1969), Campbell y Mula (1983) y algunos reportes técnicos de PEMEX no publicados; la compilación más completa sobre la historia tectónica, unidades estratigráficas y desarrollo paleogeográfico de la porción norte de Chihuahua fue publicada por Haenggi (2001, 2002), contemplando el borde noroccidental de Chihuahua que incluye el área de estudio. Sin embargo, es poco lo que ha sido reportado en particular sobre La Sierra de Las Lilas.

En la Sierra de Las Lilas afloran exclusivamente rocas sedimentarias de edad pérmica (Campbell y Muela, 1983). Esta secuencia sedimentaria se compone de dos formaciones que son litológicamente bien diferenciables. La formación inferior está compuesta por una secuencia de por lo menos 200 m de espesor de dolomías, llamada Formación La Concha (Zeller, 1965). Estas dolomías afloran a todo lo largo del margen nororiental de la Sierra de Las Lilas. A esta formación la sobreyace concordantemente una secuencia de por lo menos 100 m de areniscas cuarcíferas hasta arcósicas fuertemente silificadas y que es llamada Formación Santa

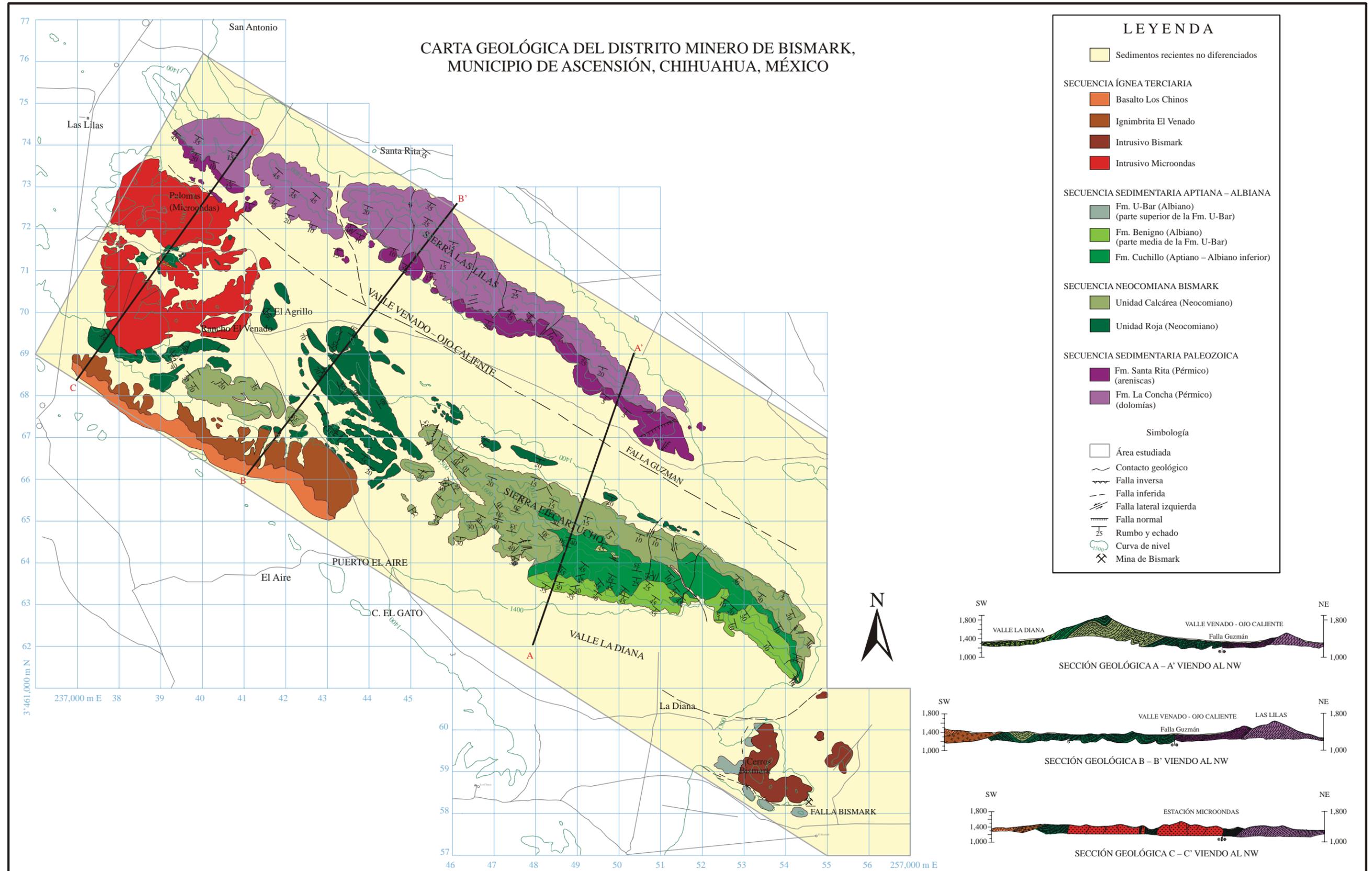


Figura 2. Carta geológica de la zona de estudio (simplificada de la carta geológica escala 1:10,000 de López-Doncel *et al.* (1997).

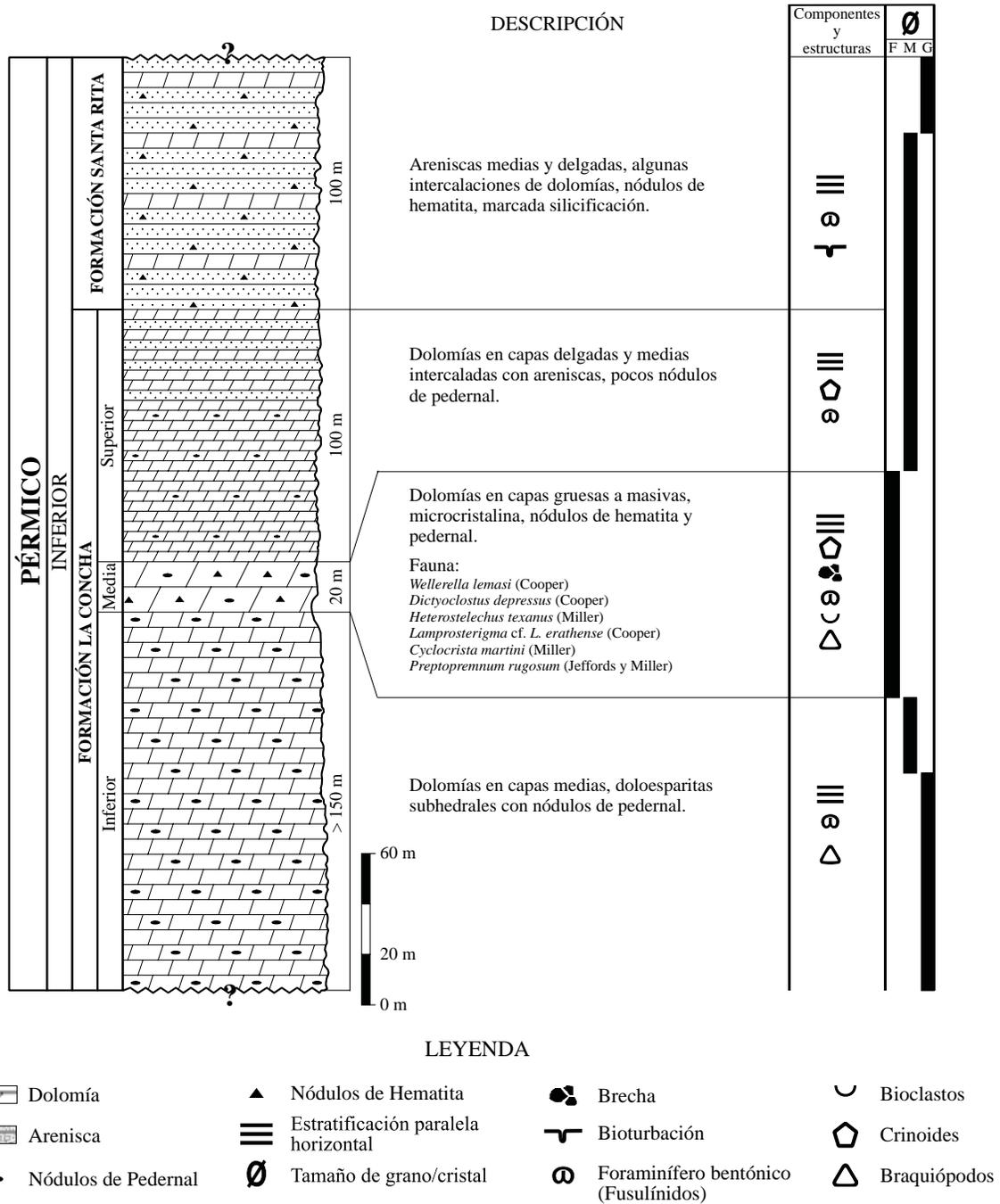


Figura 4. Sección estratigráfica de la Sierra de Las Lilas (secuencia paleozoica). Incluye descripción litológica, fauna y componentes. F: fino; M: medio; G: grueso.

foraminíferos bentónicos difícilmente identificables, así como fusulínidos, además de braquiópodos no determinables. Localmente esta unidad es muy rica en fauna (Figura 4), conteniendo principalmente horizontes de tipo “flujo de detritos” con gran contenido de biodetritos de crinoides, los cuales muestran un moderado transporte, ya que aún es posible reconstruir algunos ejemplares completamente. Otra fauna presente en algunas capas son braquiópodos y fusulínidos. Facialmente, los horizontes de esta unidad media

varían de *dolowackestones* en las capas pobres en fósiles, hasta *dolograinstones*, *dolofloatstones* y *dolorudstones* en las capas biodetríticas. La textura xenotópica, así como la fábrica no destructiva de estas dolomías, evidencian una dolomitización temprana (Figura 5c).

Determinaciones paleontológicas realizadas en diferentes ejemplares en cinco muestras de esta unidad (Figura 4), indican edades que fluctúan entre el Pensilvánico medio y el Pérmico Inferior, sin embargo el carácter alóctono de

algunos ejemplares presentes en los horizontes de tipo “flujo de detritos”, enrarecen la determinación exacta de la secuencia paleozoica, por lo que las edades más jóvenes (Pérmico Inferior) son las que se consideran más certeras (determinaciones realizadas por la Dra. Blanca Estela Buitrón Sánchez, UNAM). Los ejemplares determinados son los siguientes:

Braquípoda

- *Wellerella lemasi* (Cooper), Pérmico.
- *Dictyoclostus depressus* (Cooper), Pérmico.

Equinodermata – Crinoidea

- *Heterostelechus texanus* (Miller), Pensilvánico–Pérmico Inferior.
- *Lamprosterigma* cf. *L. erathense* (Cooper), Pensilvánico medio.
- *Cyclocrista martini* (Miller), Pensilvánico superior.
- *Preptopremnum rugosum* (Jeffords y Miller), Pensilvánico superior.

Esta unidad media se distingue morfológicamente de las unidades inferior y superior debido a su aspecto masivo, y conforma las partes medias del flanco nororiental y las cimas de la Sierra de Las Lilas (Figura 5a). El espesor de esta unidad es de 20 m, aunque éste puede variar mucho lateralmente.

La unidad superior está compuesta por capas medias a delgadas de dolomías grises a gris oscuro que, hacia las partes superiores de la unidad, se intercalan con algunas capas medias de areniscas bien recristalizadas de color café rosado. La cantidad y tamaño de nódulos y lentes de pedernal comunes en las otras unidades de esta formación tienden a disminuir notablemente hacia las capas superiores. Columnelas de crinoides, braquiópodos y fusulínidos pueden ser aún reconocidos, aunque su número es muy escaso y su mala conservación no permite realizar determinaciones paleontológicas. El espesor de esta unidad es de aproximadamente 100 m.

Formación Santa Rita

La Formación Santa Rita en el área de estudio se encuentra expuesta en el flanco sur–sureste de la Sierra de Las Lilas (Figura 2). La Formación Santa Rita está conformada por una alternancia de areniscas cuarcíferas (cuarzo > 95%) en capas que van de 10 hasta 40 cm de espesor, de color gris rosado, café hasta rojo, bien compactas y estratificadas con abundantes nódulos de hematita. Hacia las partes superiores de la formación se intercalan algunos horizontes medios (hasta 30 cm) de dolomías grises (Figura 4).

Según análisis por conteo de puntos en cinco muestras de diferentes horizontes de esta formación, las areniscas se clasifican como areniscas cuarcíferas, de acuerdo al modelo de Pettijohn (1987). Las areniscas de la Formación Santa

Rita muestran un porcentaje de 70–80% en granos (>95% granos de cuarzo, el restante 5% son zircones y minerales opacos) y un 20–30% de cemento (cementación tipo *sparry*, autógena de 100% SiO₂). La matriz original fue reemplazada por sílice (cuarzo) a través de procesos diagenéticos tardíos. Los componentes de esta formación muestran una granulometría que va de arena media a gruesa en granos de cuarzo de 0.2–0.7 mm, casi exclusivamente monocristalinos, los cuales muestran una morfología semiangular a subredondeada. La clasificación casi monominerálica y su sorteo de moderado a bueno indicarían una buena madurez textural, sin embargo la redondez no tan desarrollada sugiere una relativa proximidad a la fuente, la cual debió ser un protolito de tipo intrusivo muy rico en cuarzo.

La Formación Santa Rita, principalmente en las capas de arenisca, es pobre en fósiles. Marcas de actividad bentónica llegan a encontrarse en estas capas, además de que se han reportado horizontes de dolomías de la parte superior de esta formación con fusulínidos mal preservados (Campbell y Muela 1983).

El espesor de la Formación Santa Rita es desconocido ya que no afloran rocas sobreyacientes, pero se calcula no menor a los 100 m.

Debido a una cubierta de sedimentos recientes, se desconoce el tipo de contacto de las rocas sedimentarias paleozoicas y la secuencia calcárea mesozoica de la Sierra del Cartucho al SW. Aunque existen secuencias paleozoicas que sobreyacen deposicionalmente a secuencias mesozoicas en la porción suroccidental de Nuevo México, al norte del área de estudio es aún especulativo su tipo de contacto. En un reporte no publicado (ERA-MAPTEC, 1995) se describe una falla principal (y marcadamente más regional), llamada Falla Guzmán (Figura 2). Según el informe, esta falla aparece en imágenes de satélite como un gran lineamiento de varias decenas de kilómetros con un rumbo WNW–ESE que se extiende desde la zona de la laguna de Guzmán, al sureste del área de estudio, cruzando a lo largo el área de estudio y continuándose hasta el margen de la sierra conocida como de los Chinos (Sierra Boca Grande, Figura 3), a través del Valle Venado–Ojo Caliente. Esta falla se ha descrito como una falla con desplazamiento lateral izquierdo (premineralización) que es responsable de la iniciación de una serie de fallas asociadas a ésta, como lo es la falla Bismark, así como de la yuxtaposición de la secuencia sedimentaria paleozoica y la cretácica (Figura 2).

Interpretación de las formaciones pérmicas

La fuerte dolomitización, así como la marcada silificación que afecta los horizontes paleozoicos de la Sierra de Las Lilas dificulta determinar con exactitud un modelo de depósito para éstas, sin embargo los datos faciales–paleontológicos obtenidos permiten dar alguna información al respecto.

La intercalación de sedimentos carbonatados con

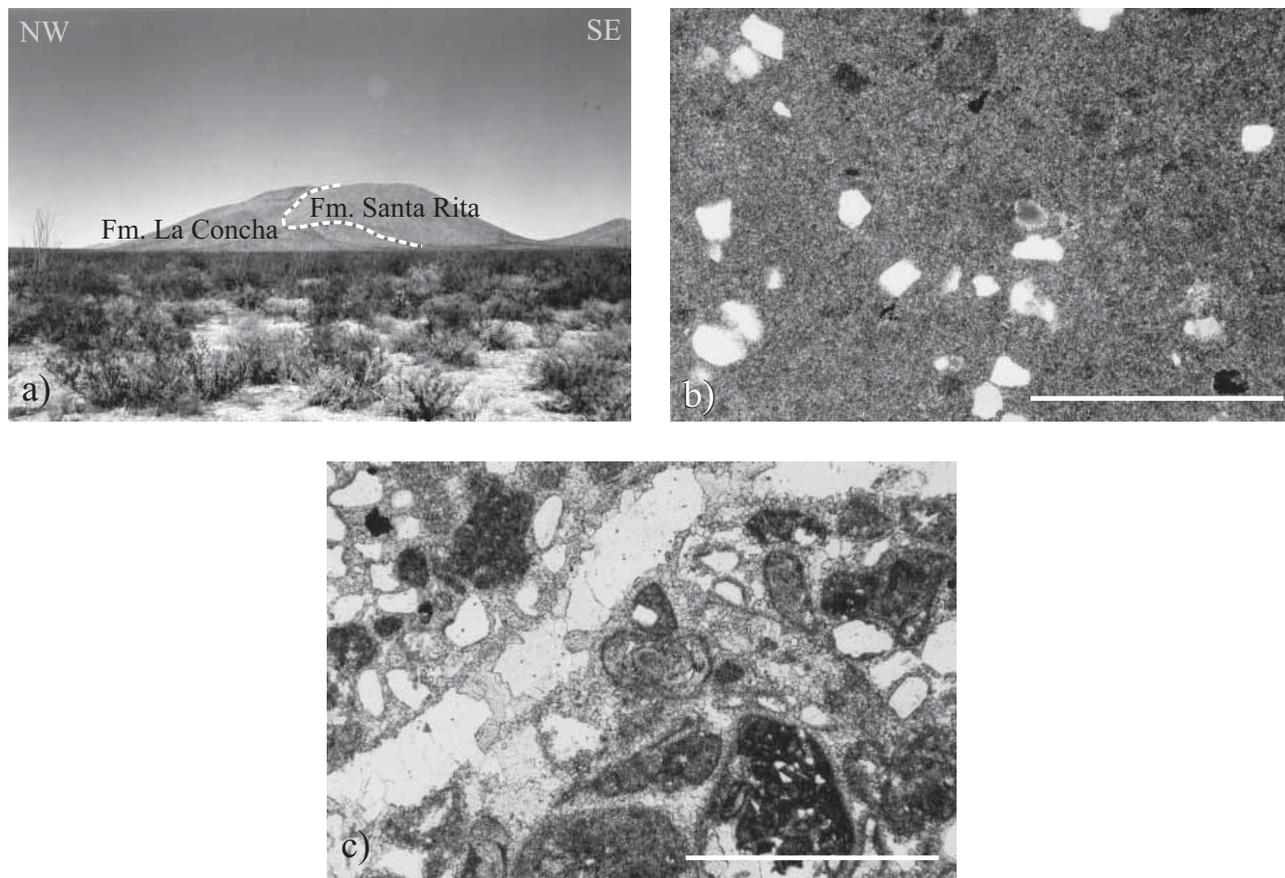


Figura 5. Secuencia sedimentaria paleozoica. a: Vista de la terminación suroriental de la Sierra de Las Lilas. A la izquierda de la foto se reconoce la Formación Santa Rita (areniscas, con tonalidades oscuras) y a la derecha la Formación La Concha (dolomías). b: Microfotografía de una dolomía de la subunidad inferior de la Formación La Concha. En una masa microdoloparítica (mosaico idiotópico/xenotópico) descansan algunos granos angulares de cuarzo (autígenos). Ligeramente se aprecian manchas oscuras producto probablemente de homogenización por actividad bentónica; muestra 1030-2, obj. 5X, nicoles cruzados, escala 1 mm. c: Dolomía de la parte media de la Formación La Concha. En una matriz doloparítica son reconocibles algunos componentes esqueléticos (bioclasto, a la derecha de la foto), microfósiles (al centro se reconoce un foraminífero bentónico) y algunos extraclastos (granos semirredondeados de cuarzo de color claro); muestra 1030-1, obj. 5X, nicoles paralelos, escala 1 mm.

sedimentos terrígenos indica un ambiente cambiante del dominio de depósito, lo cual evidencia un ambiente inestable característico de zonas sinorogénicas, mostrando en general una secuencia con claras tendencias regresivas. La presencia de carbonatos con fauna bentónica y la asociación faunística de crinoides y braquiópodos señalan a un ambiente marino de aguas someras (*dolowackestones*), donde existían de igual forma carbonatos detríticos alóctonos (*dolograinstones* a *dolorudstones*), lo cual es característico para plataformas con un gradiente a aguas profundas, en forma de una plataforma carbonatada tipo rampa. La dolomitización de textura xenotópica y con una fábrica aún conservada (dolomitización temprana, Formación La Concha, unidad media) apoya este modelo; sin embargo, la secuencia paleozoica en general muestra una gradual tendencia regresiva de aguas más profundas (Formación La Concha, unidad inferior), a aguas más someras (Formación La Concha, unidad media) hasta una etapa de gran influencia terrígena (Formación La Concha, unidad superior) que culmina en

dominio subaéreo con depósito de capas terrígenas continentales (Formación Santa Rita), que eventualmente fueron transgredidas (dolomías en la Formación Santa Rita).

Los sedimentos de las secuencias pérmicas aflorantes pertenecen a las rocas del Paleozoico tardío depositadas en el cratón de Norteamérica sobre el llamado Terreno Chihuahua, y son interpretados como la extensión meridional de la plataforma continental de Norteamérica (Sánchez-Zavala *et al.*, 1999). La asociación faunística, así como las características facial-deposicionales de las rocas paleozoicas tardías del norte de Chihuahua son similares a las reportadas para la porción centro-sur de México (Flores de Dios-González *et al.*, 2000).

SECUENCIA SEDIMENTARIA MESOZOICA

Rocas sedimentarias mesozoicas afloran a lo largo de toda la Sierra del Cartucho en la parte central, oriental

y noroccidental del área de estudio (Figura 2). La Sierra del Cartucho es una estructura morfológica positiva con una longitud de 10.5 km y una anchura máxima de 3 km. La elevación promedio de esta sierra es de 1,500 m y su máxima elevación es de 1,900 m snm (Figura 6a). Se encuentra limitada en su parte noroccidental–suroriental (Valle Venado–Ojo Caliente, Figura 2), por una cubierta de sedimentos recientes, los cuales cubren el contacto entre los sedimentos mesozoicos de la Sierra del Cartucho y la secuencia sedimentaria paleozoica de la Sierra de Las Lilas. La terminación suroriental está truncada por el emplazamiento del intrusivo cuarzomonzonítico de Bismark. El límite EES–WWS de esta sierra está cubierto por una

secuencia de sedimentos cuaternarios, así como por derrames basálticos y riolíticos terciarios (Valle La Diana, Figura 2). Las partes bajas de la culminación noroccidental de la Sierra del Cartucho están a su vez también cortadas por el intrusivo Palomas Microondas (Figura 2).

La secuencia mesozoica aflorante en la Sierra del Cartucho ha representado un gran problema en cuanto a su exacta ubicación en la tabla estratigráfica del noroeste de Chihuahua. En reportes técnicos no publicados han sido presentadas correlaciones estratigráficas de esta área con respecto a otras sierras (Sierra del Águila, Sierra de Juárez), las cuales no han dejado en claro la posición estratigráfica y formación o formaciones que afloran en la Sierra del

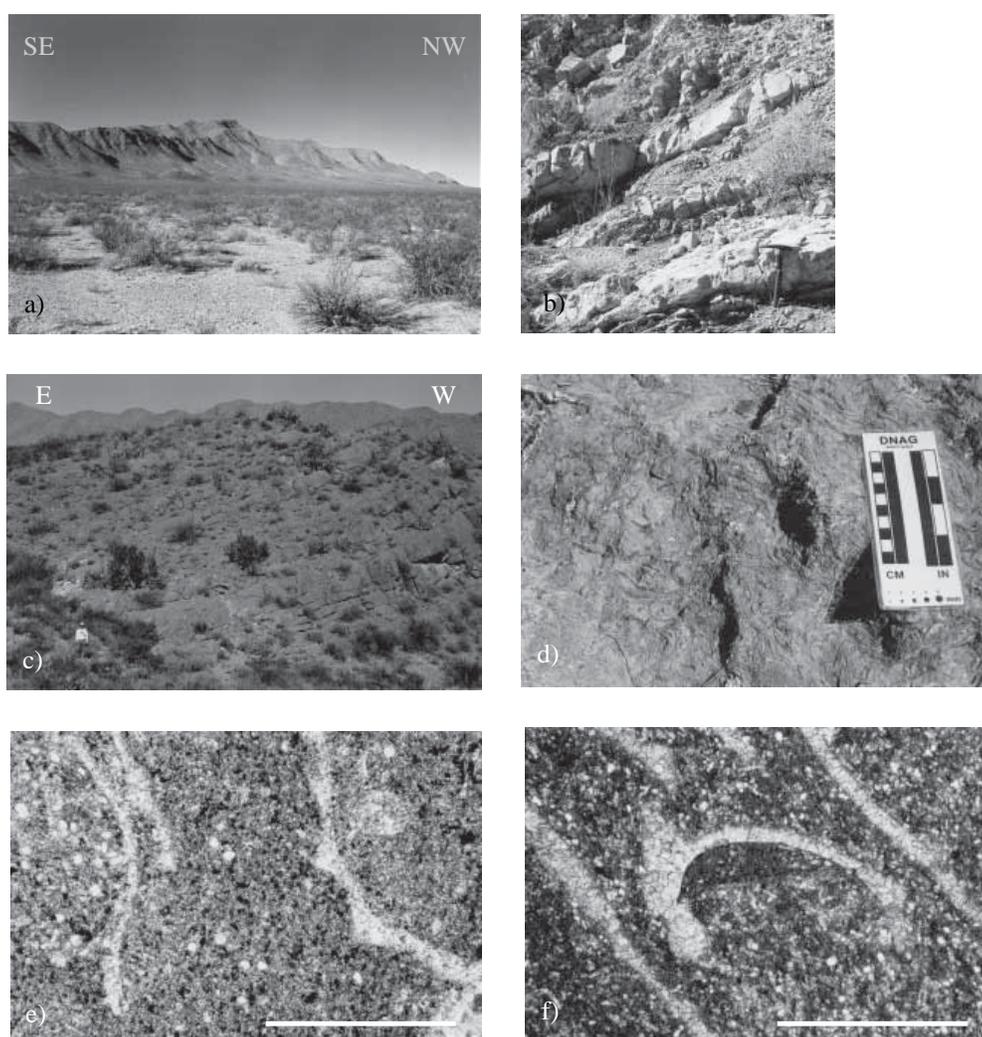


Figura 6. Secuencia Neocomiana Bismark, Unidad Roja. a: Vista hacia el sur de la porción central y la terminación norte de la Sierra del Cartucho; foto tomada sobre el Valle Venado – Ojo Caliente (ver Figura 2). b: Afloramiento de la parte inferior de la Unidad Roja, donde se reconocen las capas medias de lutitas negras (horizontes mayormente erosionados) intercalando con horizontes medios a delgados de calizas de color claro (afloramiento en la parte baja del flanco norte de El Cartucho). c: Vista de las calizas gruesas ricas en ostras de la parte media de la Unidad Roja; son notables los bancos gruesos hasta masivos de esta subunidad (afloramiento en el flanco norte de la Sierra del Cartucho). d: Foto de una de las capas ricas en moluscos (*Gryphea corrugata* y *Ostrea* sp.) de la parte media de la Unidad Roja (Afloramiento de foto c). e: Lámina delgada de una caliza de la parte media de la Unidad Roja. La lámina muestra una matriz micrítica parcialmente esparitizada de una floatstone/biomicrudita, donde descansan algunos bioclastos de gasterópodos (izquierda) y de lamelibranchiados? (derecha), Muestra 212-5, Obj. 5X, nicoles cruzados, escala 1 mm. f: Estructura geopetal en la concha de un lamelibranchiado en las biomicruditas de la parte superior de la Unidad Roja; muestra 1106-1, Obj. 5X, nicoles paralelos, escala 1 mm.

Cartucho. En la literatura se ha diferenciado la secuencia sedimentaria de la Sierra del Cartucho de una secuencia calcáreo-arenítica de lo que se nombra “Sierra de Bismark y Cerro de la Medalla”, como dos unidades geológicas y geomorfológicas diferentes. Ciertamente, la llamada “Sierra de Bismark” no es otra cosa que la prolongación suroriental de la Sierra del Cartucho, por lo cual en este trabajo el término Sierra del Cartucho incluye también a la secuencia sedimentaria que se encuentra en contacto con el Intrusivo Bismark y que injustificadamente se le llama “Sierra de Bismark”.

Las rocas aflorantes en la Sierra del Cartucho son fácilmente diferenciables entre sí debido a sus características litológicas, así como a su contenido faunístico. De este modo se han diferenciado dos secuencias sedimentarias pertenecientes al Cretácico Inferior: 1) una secuencia compuesta por dos unidades con fauna neocomiana (Unidad Roja y Unidad Calcárea), para la cual no existen reportes publicados con su denominación formacional y que aquí llamaremos informalmente Secuencia Neocomiana Bismark, y 2) una Secuencia Sedimentaria Aptiana–Albiana, compuesta por tres formaciones, que de acuerdo a las similitudes litológico-faciales y paleontológicas son correlacionables con formaciones del Cretácico Inferior del norte de Chihuahua y sur de Nuevo México, a saber la Formación Cuchillo del Aptiano–Albiano inferior y las Formaciones Benigno (similar a la parte media de la Formación U-Bar) y U-Bar, en su parte superior, ambas del Albiano (Figura 7). Las diferentes unidades son descritas de la unidad aflorante más antigua a la unidad más joven (Figura 7).

Secuencia Neocomiana Bismark: Unidad Roja

Esta unidad forma la base de la secuencia de rocas que conforman la Sierra del Cartucho. Debido a un característico color rojizo a ocre de esta secuencia se le ha denominado de manera informal como Unidad Roja.

La Unidad Roja se extiende a lo largo de todo el flanco norte y hacia la terminación NW de la Sierra del Cartucho, conformando las partes bajas de ésta (Figura 2).

En esta unidad se reconocen tres subunidades diferentes. La primera subunidad (subunidad A) que aflora es una secuencia alternante de lutita gris oscuro, negra o hasta de color beige rojizo, muy físil, en horizontes de hasta 2 m de espesor (normal 30–50 cm), los cuales se intercalan con capas medianas de *wackestone* y *packstone* gris oscuro (intemperizan a ocre). Las calizas llegan a ser ricas en macrofauna (gasterópodos, moluscos, etc.) y microfauna, principalmente foraminíferos planctónicos y radiolarios. Algunos de estos horizontes calcáreos son margosos, lo que hacia el contacto con la subunidad superior disminuye notablemente, haciéndose la secuencia marcadamente más calcárea (Figura 6b). El espesor de esta subunidad es desconocido por no aflorar su base, calculándose éste no menor a 10 m.

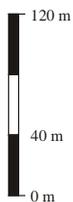
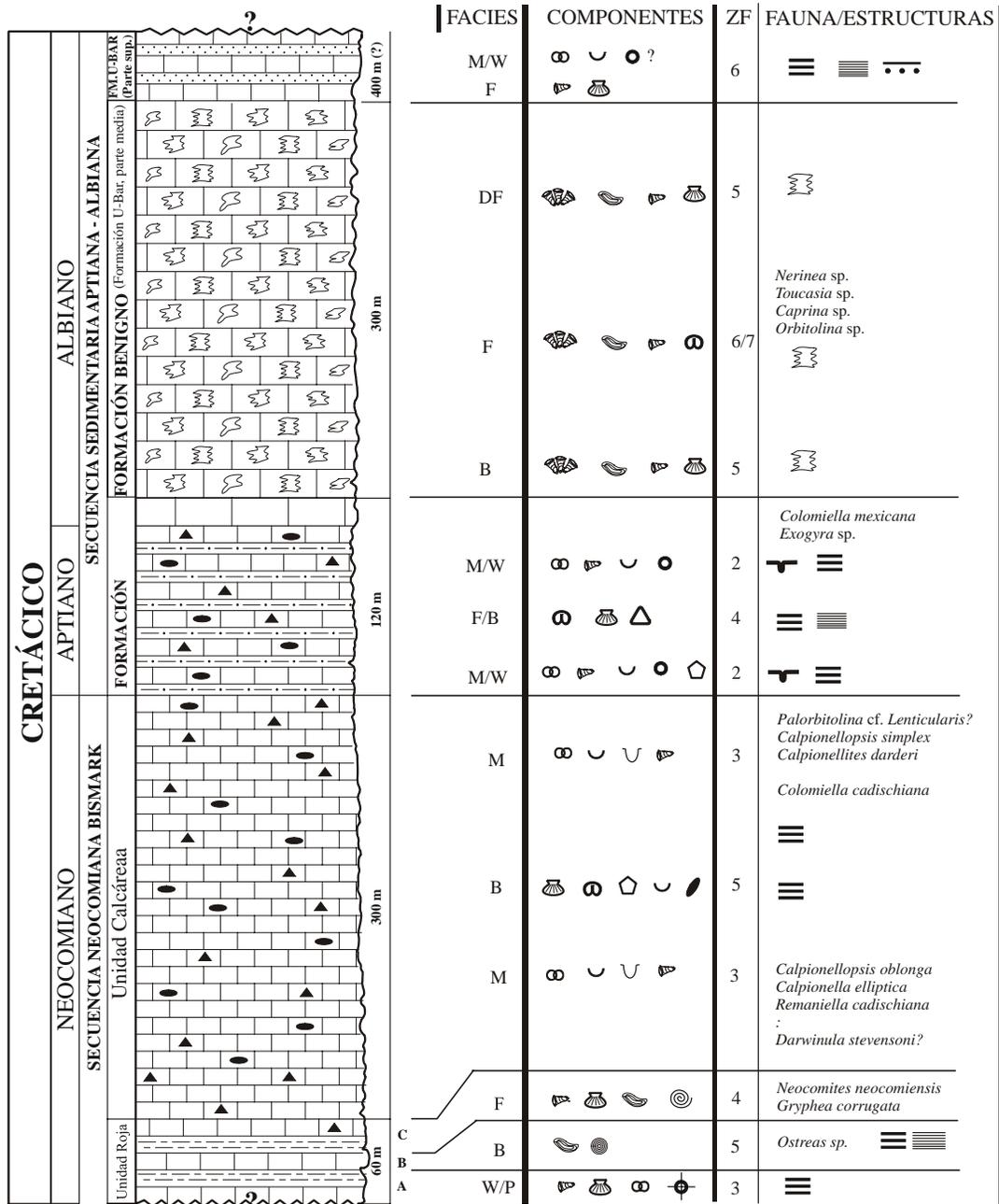
Sobreyaciendo a ésta se encuentra la subunidad B (Figura 7), que es una secuencia de por lo menos 20 m de espesor de caliza gris oscuro (intemperiza en rojizo ocre) en bancos gruesos (*boundstone*) de hasta 2.0 m de espesor (Figura 6c). Estas calizas están formadas por bancos con abundantes moluscos (*Ostreas* sp., Figura 6d), en acumulaciones en forma de coquinas donde se destaca la excelente preservación de las conchas de los ejemplares. En esta subunidad se intercalan capas más delgadas (30–50 cm) de *grainstone* oolítico y *floatstone* fosilífero (Figura 6e), lo que indica claramente zonas de gran energía.

Sobre la subunidad B descansa la subunidad C (Figura 7), la cual consiste en una alternancia de aproximadamente 30 m de caliza fosilífera, de color gris oscuro (intemperiza a rojo), con un marcado olor fétido, en capas de 30 a 15 cm, las cuales se intercalan con capas delgadas de lutita de color ocre a rosado–rojo, sin fósiles. Algunos de los bancos calcáreos presentan una gran abundancia de fósiles, dominando los moluscos (*Gryphea* sp.), gasterópodos y otros bivalvos, y hacia la parte superior los amonites. El examen paleontológico realizado a algunos ejemplares recolectados en esta subunidad (determinaciones realizadas por el Ing. Guillermo Alvarado Valdéz, UASLP), muestran que se tratan de un amonite de la especie *Neocomites neocomiensis* (D’Orbigny) (Valanginiano) y moluscos de la especie *Gryphea corrugata* (Cretácico Inferior).

La Unidad Roja muestra en general una tendencia transgresiva que va desde ambientes de plataforma abierta (subunidad A) hasta zonas de menor profundidad y mayor energía. La presencia de ooidos así como de coquinas en la subunidad B, indica también ambientes de zonas de aguas someras con gran energía, característicos de barreras oolíticas y zonas cercanas a la playa.

El análisis microfacial realizado a los horizontes calcáreos de la subunidad C (Figura 6f, 7) revelan que se trata de caliza biomicrítica con un contenido en componentes de 40 a 50%, los cuales por lo general son mayores a los 2 mm y descansan en una matriz micrítica (50–60%). Los componentes son en su mayoría conchas de lamelibranquiados y gasterópodos. De acuerdo con la clasificación de rocas calcáreas propuesta por Dunham (1962) y Folk (1962) se trata de un *floatstone* o una biomicrudita densamente empaquetada, respectivamente, lo que indica, según la clasificación de los estándares de microfacies (SMF) de Wilson (1975) y Flügel (1979), un SMF 11/12, típico para una ZF 4 de la zona atrás del arrecife.

La Unidad Roja inclina levemente (10–15°) hacia el SW y las capas tienen un rumbo general NW–SE. Debido al leve buzamiento en estas capas, existen extensos afloramientos, principalmente en la terminación noroccidental de la Sierra del Cartucho, así como en el flanco norte de ésta, donde debido a la mayor competencia a la erosión de la subunidad B (calizas gruesas), es topográficamente bien reconocible formando pequeñas elevaciones y cerros (p. ej., Cerro El Agrillo, ver Figura 2). La base de la Unidad Roja no aflora debido a que el flanco norte de la Sierra del Cartucho



LEYENDA

- Lutitas
- Caliza
- Arenisca
- M: Mudstone
- W: Wackestone
- P: Packstone
- G: Grainstone
- F: Floatstone
- D: Dolomia/Dolomitizado
- B: Boundstone
- Nódulos de pedernal
- Nódulos de hematita
- Calpionelas
- Ostreas
- Bivalvos en gral.
- Amonites
- Gasterópodos
- Bioclastos
- Ooides
- Calcíferas
- Foraminífero bentónico
- Foraminífero planctónico
- Crinoides
- Rudistas
- Arrecife
- Pellets
- Estratificación paralela horizontal
- Estratificación gradada
- Laminación
- Bioturbación

Figura 7. Sección estratigráfica de la Sierra del Cartucho (Secuencia Neocomiana Bismark y Secuencia Sedimentaria Aptiana-Albiana). Incluye descripción litológica, fauna y componentes. ZF: Zona de Facies.

se encuentra cubierto por sedimentos recientes y porque, hacia la terminación noroccidental de ésta, fue emplazado el cuerpo intrusivo de la Estación Microondas–Palomas (Figura 2). Aunque su espesor es desconocido, éste es calculado en no menor a los 60 m.

El contacto superior de la Unidad Roja es concordante con la unidad que informalmente se ha denominado “Unidad Calcárea” (Figura 7). Cabe mencionar que entre estas dos unidades se encuentra emplazado en forma parcialmente irregular un diquestrato (a veces lenticular) de una roca cristalina de grano medio a grueso y color verde olivo (gabro), el cual aparece ocasionalmente también interestratificado dentro de la Unidad Calcárea. Este diquestrato llega a tener desde algunos metros hasta pocos decímetros de espesor y fue emplazado durante los procesos tectónicos extensionales que dominaron durante el Terciario (López-Doncel et al., 1997).

Secuencia Neocomiana Bismark: Unidad Calcárea

Sobreyaciendo a las rocas basales de la Unidad Roja se encuentra una serie de bancos medios a gruesos de caliza micrítica (*mudstone*) hasta arrecifal (*boundstones*). La Unidad Calcárea se encuentra ampliamente distribuida a todo lo largo del flanco norte, parte noroccidental y en la terminación poniente de la Sierra del Cartucho (Figuras 2 y 8a). La Unidad Calcárea está constituida en su parte inferior por horizontes medios (30–40 cm) de color gris oscuro (intemperizado gris medio), de caliza micrítica a biomicrítica, los cuales hacia la parte media y superior de la unidad se engrosan marcadamente y muestran un marcado cambio facial a capas más fosilíferas hasta arrecifales. Característica para la parte media y superior de esta unidad es la presencia de irregulares manchas redondeadas (Figura 8b) de color gris oscuro y en tamaños que varían entre 1 y 3 cm de diámetro; estas manchas son principalmente los cortes sobre el plano de estratificación de colonias de foraminíferos bentónicos (orbitolinas), además de esponjas y corales(?). Localmente, y debido a variaciones laterales de las facies, ocurren bancos con gran cantidad de bivalvos (exogyras y grypheas) formando grandes acumulaciones de tipo arrecifal. Estas capas de *boundstone* pueden verse principalmente en los cerros de los alrededores del rancho El Venado en la parte noroccidental del área de trabajo (Figura 2).

La Unidad Calcárea presenta marcada carstificación, fracturamiento, normalmente rellenado con calcita, así como abundantes nódulos de hematita de hasta 5 cm de diámetro. Localmente están presentes nódulos de pedernal de color gris oscuro.

Otros fósiles que aparecen en esta unidad son gasterópodos, briozoos y crinoides. El análisis microficial de esta unidad muestra abundante microfauna, dominando, sobre todo en los bancos de la parte inferior y superior de la unidad, los foraminíferos pelágicos, artrópodos pequeños y calpionelas (Figura 8), mientras que en la porción media

dominan organismos y componentes de aguas someras (Figuras 8d, e). El análisis micropaleontológico sacó a luz las siguientes especies (determinaciones realizadas por el Dr. José Guadalupe López Oliva, UANL):

Foraminíferos

– *Palorbitolina cf. lenticularis* (Blumenbach), Barremiano superior – Aptiano inferior.

Calpionélidos

– *Calpionellopsis simplex*, Valanginiano superior – Hauteriviano.

– *Calpionellites darderi*, Valanginiano superior – Hauteriviano.

– *Calpionellopsis oblonga*, Berriasiano medio.

– *Calpionella elliptica*, Berriasiano medio.

– *Remaniella cadischiana*, Berriasiano medio.

Colomiélidos

– *Colomiella cadischiana*, Valanginiano superior – Hauteriviano.

Ostracodos

– *Darwinula stevensoni*?

Esta microfauna indica una edad de Cretácico Inferior (Neocomiano). El espectro facial de esta formación abarca aguas someras de muy baja energía (facies arrecifales, ZF5), ambientes de aguas profundas con poca corriente de plataforma abierta y el talud de la plataforma ZF3.

La Unidad Calcárea buza moderada hasta fuertemente al SW en el flanco norte de la Sierra del Cartucho y forma la terminación norte del anticlinal que conforma la sierra (Figura 2), donde sus buzamientos son menos marcados. Sobre todo la parte superior de la Unidad Calcárea se encuentra fuertemente plegada y fallada, lo que ocasionó un extremo engrosamiento de esta unidad. El espesor de esta unidad es mayor a los 300 m. La Unidad Calcárea subyace concordantemente a la Formación Cuchillo.

Secuencia Sedimentaria Aptiana–Albiana: Formación Cuchillo

La Formación Cuchillo sobreyace concordantemente a la Unidad Calcárea de la Secuencia Sedimentaria Neocomiana. Esta formación se encuentra bien expuesta en la parte media oriental del núcleo de la Sierra del Cartucho (Figura 9a).

La Formación Cuchillo está compuesta por una intercalación muy regular de calizas carstificadas de color gris oscuro a negro, en bancos medios, gruesos y hasta masivos, con abundantes nódulos de pedernal y ocasionalmente nódulos de hematita, y horizontes gruesos, medios y delgados de lutita gris oscuro a negro. Localmente se intercalan capas delgadas de limolitas color gris rosado a rojizo. En esta

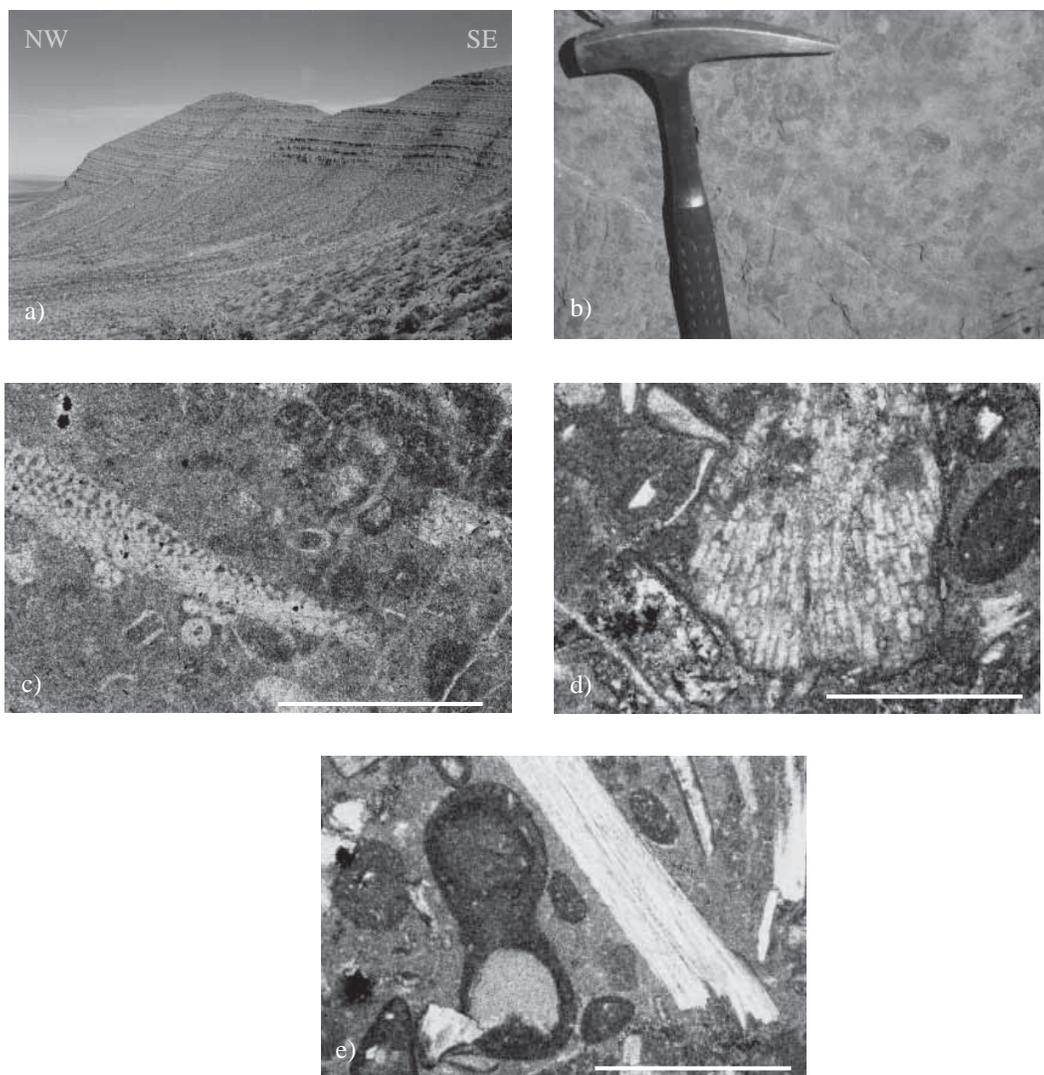


Figura 8. Secuencia Neocomiana Bismark, Unidad Calcárea. a: Afloramientos de la Unidad Calcárea a lo largo de la terminación noroccidental de la Sierra del Cartucho; vista de Sur a Norte. b: Acercamiento a las "manchas" características de las partes media y superior de la Unidad Calcárea. Estas estructuras circulares son colonias de orbitolinas y probablemente cortes de esponjas. c: Microfotografía de una caliza biomicrocítica de la parte inferior de la Unidad Calcárea, con bioclastos, orbitolinas (ejemplar alargado al centro-izquierda de la foto) y algunos cortes de calpionelidos (conchas pequeñas en tono claro y forma de U); muestra 1104-2, Obj. 10X, nicoles cruzados, escala 1 mm. d: *Boundstone/Rudstone* de la parte media de la Unidad Calcárea, conteniendo bioclastos (ejemplar grande en la parte media y ejemplares pequeños en la parte superior izquierda de la foto) y peletoides (formas redondeadas oscuras), descansando en una matriz dismicrítica; muestra 1027-13, Obj. 5X, nicoles cruzados, escala 1 mm. e: *Floatstone/Rudstone* de la Unidad Calcárea. En la muestra se observan bioclastos de moluscos (cristal grande fibroso), bioclastos cobijados (*coated grains*, en este caso un bioclasto de crinoide) y pellets (estructuras redondeadas sin estructura y oscuras), que descansan en una matriz micrítica; muestra 1027-14, Obj.5X, nicoles cruzados, escala 1 mm.

unidad, tanto los bancos lutíticos como los limolíticos se presentan marcadamente físil y sin fósiles. Pobremente representadas se encuentran algunas capas y lentes delgadas de una arenisca gris verdoso a ocre con poca distribución lateral. Las areniscas se presentan muy impuras, son de grano fino y angular, con una matriz calcáreo-arcillosa y sin fósiles.

El estudio microfacial muestra dos estándares microfaciales diferentes: 1) Los bancos medios y delgados están compuestos principalmente por micrita a biomicrocítica (*mudstone* y *wackestone*), donde los componentes son

principalmente bioclastos de crinoides, calcisferas, gasterópodos y algunos foraminíferos planctónicos. También están presentes marcas de bioturbación. La matriz de estas calizas es micrítica alcanzando en algunos horizontes más del 95%. 2) Los bancos calcáreos gruesos a masivos de esta formación presentan características faciales muy diferentes. Estas capas son ricas en fauna, conteniendo principalmente braquiópodos y moluscos (*floatstones* hasta *boundstones*), que aunque son abundantes no llegan a formar arrecifes.

Por posición estratigráfica y contenido faunístico, la edad de esta formación es considerada del Aptiano al

Albiano inferior del Cretácico Inferior. Los sedimentos de esta unidad indican marcadas variaciones en el ambiente de depósito, que incluye tanto aguas profundas a moderadamente profundas (micritas y biomicritas) de zonas desde el bordo y talud de plataforma (ZF4) hasta la cuenca (ZF2), como zonas de aguas someras con corrientes moderadas. Continuos aportes de terrígenos provenientes de zonas elevadas quedan comprobados con las intercalaciones de lutitas y limolitas.

La Formación Cuchillo se encuentra de moderada a fuertemente basculada hacia el SW y localmente se encuentra plegada, formando sinclinales y anticlinales (Figura 2). El espesor de esta unidad es de 120 m.

Secuencia Sedimentaria Aptiana–Albiana: Formación Benigo

Sobreyaciendo concordantemente a la Formación Cuchillo se encuentra la Formación Benigo, la cual aflora en la parte central y suroriental del margen sur de la Sierra del Cartucho y forma por su hábito masivo grandes escarpes, por lo que es fácilmente diferenciable en el campo (Figuras 2 y 9a). Esta formación consiste en capas medias-gruesas y masivas de caliza (*boundstone*), de color gris medio a claro, que en su mayor parte contienen abundante fauna arrecifal. En su base consta de una secuencia de por lo menos 10 m de caliza arrecifal masiva (sin estratificación) y bien carstificada. Los organismos que componen el arrecife son principalmente rudistas (Figuras 9a y 9d), gasterópodos, briozoos y ocasionalmente corales.

Estas zonas arrecifales tienen poca extensión lateral, lo que habla de la formación de biohermas y no de la formación de barreras. Sobre estos horizontes basales descansan alternadamente capas medias de biomicrudita (*floatstone*) gris claro, con gran contenido de biodepositos arrecifales que descansan en una matriz micrítica (Figura 7), y capas medias y gruesas de caliza fosilífera, en las cuales la presencia de rudistas caprinidos (Figura 9b) y requiéndidos (*Toucasia* sp.; Figura 9d), moluscos (Ostras), gasterópodos y algunos foraminíferos bentónicos (miliólidos y orbitolinas; Figura 9c), sugieren ambientes lagunares atrás del frente del arrecife (ZF 2).

Sobre la parte superior de esta formación se identificaron algunos lentes delgados y de poca extensión lateral de arenisca grisea a ocre. Localmente, la Formación Benigo presenta zonas o “manchas” de dolomitización, las cuales aparecen en color gris oscuro a negro, muy porosas y, por su intensa recristalización, no se reconocen fósiles.

La Formación Benigo se encuentra moderadamente basculada al SW y desaparece hacia el extremo nororiental y hacia el sur de la Sierra del Cartucho, debido por una parte a procesos tectónicos y por otra a una gruesa capa de sedimentos cuaternarios.

El ambiente de depósito de esta formación sugiere ambientes que van desde la zona arrecifal (ZF5) hasta la zona

de atrás del arrecife (back reef, ZF7) en la zona lagunar.

El espesor de la Formación Benigo es desconocido ya que no aflora su cima, sin embargo, se sabe que esta formación se extiende hasta el área de la mina de Bismark, ya que rocas con fauna arrecifal son encontradas en cortes al nivel 1,000. Esto puede interpretarse como la posible continuación del arrecife en el valle al sur de la Sierra del Cartucho hasta la Mina de Bismark, por lo que su espesor se considera no menor a los 300 m.

Tanto la litología como la fauna de esta unidad corresponden con la definición original de la Formación Benigo (DeFord y Haeggi, 1970). Sin embargo, algunos de los afloramientos con rocas similares más cercanos al área de estudio se encuentran en la Sierra de Big Hatchet Mountains (Figura 3) del sur de Nuevo México, donde estas rocas son consideradas como una parte (parte media) de la Formación U-Bar (Zeller, 1965), por lo que ambas formaciones podrían correlacionarse (ver Figuras 2 y 7).

Secuencia Sedimentaria Aptiana–Albiana: Formación U-Bar

Se ha denominado como Formación U-Bar (en su parte superior) a una serie alternante de calizas medias y delgadas, intercaladas con bancos y lentes de arenisca y bancos medios de lutita que afloran en el área de la mina de Bismark (Figuras 2, 7 y 9e). Debido a que esta secuencia aparece como una “isla” rodeada por sedimentos recientes y por el intrusivo de Bismark, no afloran sus contactos supra e infrayacentes. Esta parte de la Formación U-Bar aflora en algunos cerros al SE, S, SW y W del intrusivo (Mina de Bismark), y está caracterizada por la fuerte alteración (skarn) que sufrieron las rocas debido a que se encuentran en contacto con el Intrusivo Bismark.

Las rocas aflorantes de esta formación consisten en capas medias y delgadas de caliza (*mudstone/wackestone* hasta *floatstone*) de color gris oscuro y fuertemente recristalizadas, en las que se observan algunas láminas y nódulos de pedernal negro. Localmente, estas calizas contienen gran cantidad de fauna, destacándose los gasterópodos y moluscos que generalmente se encuentran fuertemente recristalizados y reemplazados a calcita, lo que imposibilita su exacto reconocimiento. En lámina delgada no es posible reconocer las estructuras originales ni la microfauna. Ocasionalmente se identifican pequeños fantasmas (*ghost-structures*) de lo que probablemente son foraminíferos. Intercalados con los bancos calcáreos afloran horizontes medianos y lenticulares de una arenisca laminada que contiene 97% de granos de cuarzo monocristalino, 2% de feldespatos y 1% de minerales accesorios (zircón, hematita y minerales opacos), constituyendo éstos un 80–90% del total de la roca. El restante 20–10% es cemento (Figura 9f). Los granos están bien clasificados y son de subredondeados a redondeados. La arenisca se encuentra fuertemente recristalizada (silicificada), causando una cementación extrema en la roca. El



Figura 9. Secuencia Sedimentaria Aptiana – Albiana. a: Vista hacia el sur del flanco norte de la Sierra del Cartucho; en primer plano aflora la Formación Cuchillo, donde se reconoce la intercalación de calizas y lutitas en capas medias y gruesas. En segundo plano y sobreyaciendo a ésta, se observan las calizas masivas de la Formación Benigno (U-Bar parte media). b: Rudista (caprínido) de la parte media de la Formación Benigno (U-Bar, parte media). c: Microfotografía de una biomicrita de la parte superior de la Formación Benigno. En la foto se ven foraminíferos bentónicos (orbitolinas) y moluscos flotando en la matriz micrítica; muestra 1101-2, Obj. 5X, nicoles cruzados, escala 1 mm. d: Caliza (*boundstone*) de la Formación Benigno con abundantes rudistas requienidos (*Toucasia* sp), de las zonas detrás del margen del arrecife. e: Afloramiento de la secuencia calcáreo-arenítica de la parte superior de la Formación U-Bar en los cerros al oeste de la mina de Bismark (ver figura 2). Las capas calcáreas delgadas, fuertemente alteradas, se intercalan con horizontes medios de areniscas cuarzíticas. f: Lámina delgada de una arenisca de la Formación U-Bar (parte superior), donde se aprecian granos monocristalinos de cuarzo y un cristal de plagioclasa (centro de la foto). La muestra está totalmente recristalizada (silicificada) en un cemento tipo *sparry*. También reconocible es el crecimiento de un cemento sintaxial de los granos redondeados de cuarzo, provocando una extrema disminución de la porosidad en estas areniscas; muestra 0801=SS, Obj. 10X, nicoles cruzados, escala 1 mm.

sobrecrecimiento autógeno sintaxial de cuarzo secundario es claramente apreciable en los granos detríticos (Figura 9f). Dentro de la Formación U-Bar también se intercalan capas medias de lutita y limolita, negras hasta rojas, fuertemente alteradas (hornfels) y sin fósiles.

No afloran la base y cima de esta unidad, por lo que su espesor es desconocido. Trabajos de barrenación en los alrededores de la mina arrojan valores de más de 400 m de espesor, pero es muy probable que este sea un espesor

tectónico. La parte superior de la Formación U-Bar buza moderadamente al SW.

El ambiente de depósito de esta unidad va de zonas de aguas someras con mucha energía (ZF6 según Wilson, 1975 y Flügel, 1979) hasta zona de costas con oleaje (areniscas maduras).

Con base en barrenos realizados en los alrededores de la mina de Bismark, esta unidad fue descrita por Solano (1990), quien la subdividió en ocho diferentes subunidades

y clasificó como pertenecientes a la Formación Cuchillo del Cretácico Inferior por su similitud litológica con rocas aflorantes en el área de la Sierra del Águila. Sin embargo, de acuerdo a esta descripción, estos afloramientos de la Formación Cuchillo sugerirían un emplazamiento tectónico a su actual posición dentro de la secuencia estratigráfica del área de estudio. No obstante, los autores del presente trabajo sugieren, de acuerdo a posición estratigráfica, la presencia de una secuencia sobreyacente a la Formación Benigno (o también Formación U-Bar en su parte media), que debido a la cercanía al área de trabajo podría estar representando a la parte superior de la Formación U-Bar de las Hatched Mountains en Nuevo México (Figura 3). Otra posibilidad sería correlacionar estas rocas con las de la Formación Lágrima del Albiano medio (Haenggi, 1966; DeFord y Haenggi, 1970, ver también Monreal y Longoria, 1999). La Formación Lágrima se encuentra expuesta en la Sierra de Juárez al oriente del área de estudio y es correlacionable lateralmente hacia el sureste con la Formación Cox (Haenggi, 1966; Córdoba, 1969). De acuerdo con esta información parece más acertado correlacionar estas rocas, tanto por sus similitudes litológicas, faciales y principalmente por su cercanía geográfica, con la parte superior de la Formación U-Bar en Nuevo México.

Interpretación de la secuencia mesozoica y conclusiones

La importancia de las rocas sedimentarias que conforman la Sierra del Cartucho radica no sólo en que algunas secuencias aquí descritas son por primera vez reportadas, sino en que además representan los últimos afloramientos de secuencias sedimentarias en el noroccidente del Estado de Chihuahua, con lo cual se aportan nuevos datos que nos permiten enriquecer la información sobre el desarrollo geológico-paleogeográfico en esta porción de México durante el Cretácico.

Las secuencias sedimentarias mesozoicas muestran en general un desarrollo transgresivo, donde es posible documentar la evolución de un ambiente marino con continuas variaciones eustáticas y con gran influencia terrígena, evidenciado por los primeros sedimentos de la Secuencia Neocomiana Bismark (Unidad Roja y Unidad Calcárea; Figuras 6 y 7), la cual representaba los depósitos en el margen norte de la Plataforma de Aldama (en el sentido de Haenggi, 2002). La litología de la Secuencia Neocomiana Bismark sugiere probablemente las facies distales de equivalentes proximales de la Formación Hell-to-Finish de Nuevo México, que se encuentra hacia el norte-noroeste del área de estudio en las Big y Little Hatched Mountains (Figura 3). Para el Aptiano (Formación Cuchillo), la Plataforma de Aldama había sido completamente transgredida, pasando en el Albiano a un dominio exclusivamente carbonatado (Formación Benigno, equivalente a la parte media de la Formación U-Bar).

La descripción litológica y, principalmente, la faunística (ver edades determinadas con base en calpionelas en la Unidad Calcárea) muestran que ya en el Neocomiano se depositaban sedimentos marinos en esta porción de Chihuahua, dentro de una secuencia que no había sido previamente reportada. Las características litológicas, faunísticas y deposicionales de esta secuencia difieren marcadamente de las correspondientes a rocas neocomianas (principalmente areniscas y lutitas) que afloran en la porción norte y central de la Cuenca de Chihuahua y que han sido descritas en la llamada Formación Las Vigas (Córdoba *et al.*, 1970; Ortuño-Arzate, 1985; Monreal, 1989). El ambiente de depósito, tanto de la Secuencia Neocomiana Bismark como de la parte basal de la Secuencia Sedimentaria Aptiana-Albiana (Formación Cuchillo), aunque muestran claros indicios de importante influencia terrígena, evidencia un claro dominio marino, lo cual de igual modo contrasta con un depósito costero/litoral propuesto en los trabajos arriba citados para la Formación Las Vigas. Esta información provee elementos para suponer de igual modo una prolongación de las facies marinas tanto al norte como al occidente de los límites de la Cuenca de Chihuahua, lo que localmente podría interpretarse como variaciones de la morfología en los márgenes de la Plataforma de Aldama-Cuenca de Chihuahua. Las rocas del Cretácico Inferior (Albiano; Formación Benigno, parte media de la Formación U-Bar), confirman el depósito de sedimentos en aguas someras a lo largo de una plataforma carbonatada con ocasionales construcciones arrecifales tipo *patch*. Dichas condiciones prevalecieron hasta el Albiano cuspidal, cuando los primeros aportes terrígenos del oeste modificaron el régimen litológico dando lugar a la formación de las rocas calcáreo-areníticas de la parte superior de la Formación U-Bar.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen las facilidades y apoyo otorgados para la realización de este proyecto a la Compañía Peñoles, en especial al Gerente Divisional de Minas, Zona Norte, Ingeniero Pantaleón Trejo de la Cruz, así como a los Ingenieros Jorge Souza y Alfonso Islas, entonces Superintendente y Geólogo de la Unidad Minera Bismark respectivamente. Muchas personas contribuyeron de diversas formas para la terminación del presente artículo, de tal modo agradecemos al Dr. José Cruz Escamilla Casas por la digitalización del mapa geológico y ayuda en el trabajo de campo, al Ingeniero Edgard Rodríguez H. y a los estudiantes Wendy Carvajal H., Judith Cruz M., Niklas y Annika López H., por su apoyo en la edición y manejo de las figuras presentadas, así como a todos los colegas del Instituto de Geología de la UASLP. La edición del presente trabajo fue realizada gracias a la ayuda financiera del Fondo de Apoyo a la Investigación (FAI, Convenio C03-FAI-11-16.51). Finalmente los autores agradecen a los Doctores Walt Haenggi y Timothy F. Lawton por sus observaciones

críticas al manuscrito, las cuales contribuyeron de manera fundamental para la interpretación del presente trabajo.

REFERENCIAS

- Brown, M.L., Dyer, R., 1987, Mesozoic geology of northwestern Chihuahua, Mexico, *en* Dickinson, W.R., Klute, M.A. (eds.), Mesozoic Rocks of Southern Arizona and Adjacent Areas: Arizona Geological Society Digest, 18, 381-394.
- Campbell, M. P., Muela. P., 1983, Preliminary report of stratigraphic and structural studies of the Sierra Santa Rita, Chihuahua, Mexico, *en* Clark, K.F., Goodell, P.C. (eds.), Geology and Mineral Resources of north-central Chihuahua, Guidebook for the 1983 Field Conference: El Paso Geological Society, 14, 255-260.
- Córdoba, D.A., 1969, Hoja Ciudad Juárez, 13R-A3 con resumen de la Geología de la Hoja Ciudad Juárez, Chihuahua: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Carta Geológica de México, serie 1:100,000.
- Córdoba, D.A., Rodríguez-Torres, R., Guerrero-García, J., 1970, Mesozoic stratigraphy of the northern portion of the Chihuahua Trough, *en* Seewald, L., Sundeen, D. (eds.), The Geologic Framework of the Chihuahua Tectonic Belt, Symposium in honor of Professor Ronald K. DeFord: West Texas Geological Society and The University of Texas at Austin, 83-97.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL), 1974, Carta topográfica El Barreal (H13A33), escala 1:50,000: México, D.F. Secretaría de Programación y Presupuesto, Comisión de Estudios del Territorio Nacional, 1 mapa.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL), 1974, Carta topográfica Niños Héroes de Chapultepec (H13A52), escala 1:50,000: México, D.F., Secretaría de Programación y Presupuesto, Comisión de Estudios del Territorio Nacional, 1 mapa.
- DeFord, R.K., Haenggi, W.T., 1970, Stratigraphic nomenclature of Cretaceous rocks in northeastern Chihuahua, *en* The Geologic Framework of the Chihuahua Tectonic Belt, Symposium in honor of Professor Ronald K. DeFord: West Texas Geological Society and The University of Texas at Austin, 175-196.
- Denison, R.E., Lidiak, E.G., Bickford, M.E., Kisvarsanyi, E.B., 1984, Geology and Geochronology of Precambrian Rocks in the Central Interior Region of the United States: United States Geological Survey, Professional Paper 1241-C, 20 p.
- Díaz, T., Navarro, A., 1964, Litología y correlación del Paleozoico superior en la región de Palomas Chihuahua, México: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 12(5-6), 107-120
- Dirección General de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL), 1974, Carta topográfica Ascensión (H13A41), escala 1:50,000: México, D.F., Secretaría de Programación y Presupuesto, Dirección de Estudios del Territorio Nacional, 1 mapa.
- Dirección General de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL), 1974, Carta topográfica Benito Juárez (H13A3), escala 1:50,000: México, D.F., Secretaría de Programación y Presupuesto, Dirección de Estudios del Territorio Nacional, 1 mapa.
- Dirección General de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL), 1974, Carta topográfica Guzmán (H13A42), escala 1:50,000: México, D.F., Secretaría de Programación y Presupuesto, Dirección de Estudios del Territorio Nacional, 1 mapa.
- Dunham, R.J., 1962, Classification of carbonate rocks according to depositional texture, *en* Ham, W.E. (ed.), Classification of Carbonate Rocks: Tulsa, OK, American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 1, 108-121.
- ERA-MAPTEC, 1995, Remote sensing and structural analysis of the Bismark Mine and surrounding District, Northern Chihuahua—Final Report: Dublín, ERA-MAPTEC, Ltd., Informe Técnico, 92 p. (no publicado).
- Flores de Dios-González, L.A., Vachard, D., Buitrón, B.E., 2000, La cubierta sedimentaria pérmica superior (Formaciones, Olinala, Ihuatpec, Yododeñe) de los terrenos Mixteco y Zapoteco. Evolución sedimentológica e interpretaciones paleogeográficas: GEOS, Época II, 20(3), 324-325.
- Folk, R.L., 1962, Spectral subdivision of limestone types, *en* Ham, W.E. (ed.), Classification of Carbonate Rocks: Tulsa, OK, American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 1, 62-84.
- Flügel, E., 1979, Microfacies Analysis of Limestones: Berlin, Springer-Verlag, 663 p.
- González-García, R., 1976, Bosquejo geológico de la zona noreste: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 28(1-2), 2-49.
- Haenggi, W.T., 1966, Geology of El Cuervo area, northeastern Chihuahua, Mexico: Austin, University of Texas, Tesis doctoral, 403 p.
- Haenggi, W.T., 2001, Tectonic history of the Chihuahua trough, Mexico and adjacent USA, Part I, the pre-Mesozoic setting: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 54, 28-66.
- Haenggi, W.T., 2002, Tectonic history of the Chihuahua trough, Mexico and adjacent USA, Part II, the Mesozoic and Cenozoic: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 55, 38-94.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1974, Carta Topográfica Benito Juárez (H13A32), escala 1:50,000: México, D.F., Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1 mapa.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1974, Carta Topográfica Las Lilas (H13A31), escala 1:50,000: México, D.F., Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1 mapa.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1974, Carta Topográfica San Pedro Corralitos (H13A62), escala 1:50,000: México, D.F. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1 mapa.
- López-Doncel, R.A., Labarthe-Hernández, G., Escamilla-Casa, J.C., Mata-Segura, J.L., 1997, Cartografía geológica 1:10000 y estudio estratigráfico del área de la Mina de Bismark, Sierra del Cartucho, Sierra Las Lilas e Intrusivo Microondas y su correlación con los distritos mineros El Sabal, San Pedro Corralitos y El Barreal (Conejos), Edo. de Chihuahua, México: Informe Técnico para la Minera Bismark, Peñoles, 68 p. (no publicado).
- Martínez-Leyva, P., 1989, Estudio geohidrológico en el área de Bismark en el Municipio de Ascensión, Chihuahua: Consultores en Agua Subterránea, Reporte de primera etapa, 35 p. (no publicado).
- Martínez-Rodríguez, E., 1988, Informe micropaleontológico de una muestra perteneciente al proyecto Bismark, colectada en el NW de Chihuahua: Petróleos Mexicanos (PEMEX), Informe Técnico, 2 p. (no publicado).
- Mauger, R.L., Mc Dowell, F.W., Blount, J.C., 1983, Grenville age Precambrian rocks of the Los Filtros near Aldama, Chihuahua, México, *en* Clark, D.F., Goodell, P.C. (eds.), Geology and Mineral Resources of North-Central Chihuahua, Guidebook for the 1983 Field Conference: El Paso Geological Society, 165-180.
- Monreal, R., 1989, Regional stratigraphic studies in the Lower Cretaceous of northern Mexico and southern United States: Richardson, University of Texas at Dallas, Tesis doctoral, 371 p.
- Monreal, R., Longoria, J.F., 1999, A revision of the Upper Jurassic and Lower Cretaceous stratigraphic nomenclature for the Chihuahua trough, north-central Mexico: Implications for lithocorrelations, *en* Bartolini, C., Wilson, J.L., Lawton, T.F. (eds.), Mesozoic Sedimentary and Tectonic History of North-Central Mexico: Boulder, Colorado, Geological Society of America, Special Paper 340, 69 – 92.
- Ortuño-Arzate, F., 1985, Evolution sedimentaire Mesozoique du basin rift de Chihuahua le long d'une transversale Aldama-Ojinaga (Mexique). Implications géodynamiques: L'Université de Pau et des Pays de L'Adour, Docteur de Troisième Cycle (tesis doctoral), 224 p.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E., Siever, R., 1987, Sand and Sandstone: New York, Springer-Verlag, 553 p.
- Ramírez-M., Acevedo-C., F., 1957, Notas sobre la geología de Chihuahua: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 9(9-10), 583-772.

- Sánchez-Zavala, J.L., Centeno-García, E., Ortega-Gutiérrez, F., 1999, Review of Paleozoic stratigraphy of México and its role in the Gondwana-Laurentia connections, *en* Ramos, V.A., Keppie, J.D. (eds), *Laurentia-Gondwana Connections before Pangea*: Boulder, Colorado, Geological Society of America, Special Paper 336, 221-226.
- Sharp, W.B., Goodell, P.C., 1990, An overview of the geology and mineralization of the Bismark District, *en* Symposium on Mineral Resources of the Chihuahua Desert: University of Texas at El Paso, 64-70.
- Solano, R.B., Alonso, V., 1990, Proyecto Bismark. Reporte de reconocimiento geológico, Lote La Medalla: Guadalajara, Jal., Servicios Industriales Peñoles, S.A. de C.V. (SIPSA), Reporte Interno Octubre 1990, 92 p. (no publicado).
- Solano, R.B., García-Fons, J., 1987, Proyecto Bismark, Evaluación preliminar: Guadalajara, Jal., Servicios Industriales Peñoles, S.A. de C.V. (SIPSA), Reporte Interno, Julio 1987, 111 p. (no publicado).
- Tovar, J., 1969, Stratigraphic study of the Sierra Santa Rita, *en* Córdoba, D., Wengard, S.A., Shomaker, J. (eds.), *Guidebook of the border region, Chihuahua and the United States*, 20th Field Conference: New Mexico Geological Society, 165-170.
- Wilson, J.L., 1975, *Carbonate Facies in Geologic History*: New York, Heidelberg-Berlin, Springer-Verlag, 471 p.
- Zeller, R.A. Jr., 1965, *Stratigraphy of the Big Hatchet Mountains area*, New Mexico: New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources, Memoir 16, 128 p.
- Manuscrito recibido: Febrero 27, 2005
Manuscrito corregido recibido: Junio 21, 2005
Manuscrito aceptado: Junio 21, 2005