

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 norte 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 siliciclastic 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 Bismarck, se han 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 Bismarck, Estación Microondas y Sierra de las Lilas, (aproximadamente 200 km²), en este trabajo se presenta la distribución de las secuencias sedimentarias que se han 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 noroeste 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 Bismarck y que cruza el área de trabajo.

El área de trabajo se encuentra localizada en la provincia sierrana 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

noroeste 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 (Bismarck, 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 Bismarck, Solano y García-Fons (1987) y Solano y Alonso (1990) realizaron los reportes geológicos más completos hasta ahora del área de la Mina de Bismarck. Otros trabajos específicos sobre la geología ge-

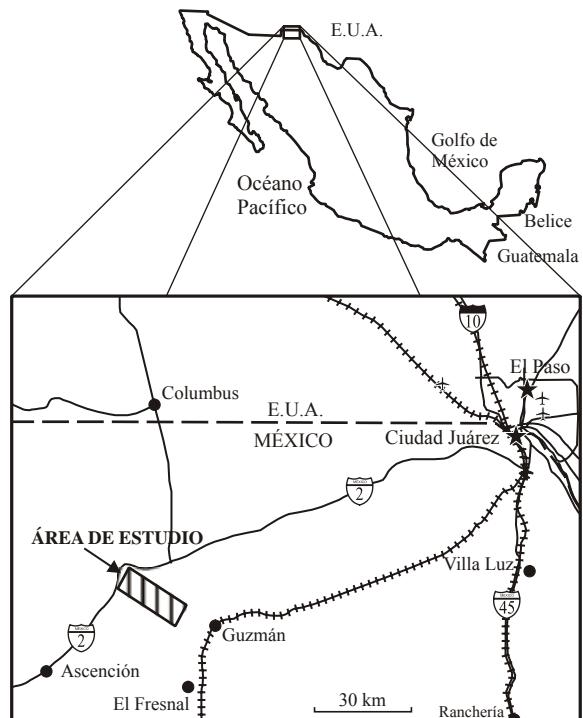


Figura 1. Localización del área de estudio y vías de acceso.

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 aorantes 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 ignimbriticas (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 pérmbica, 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

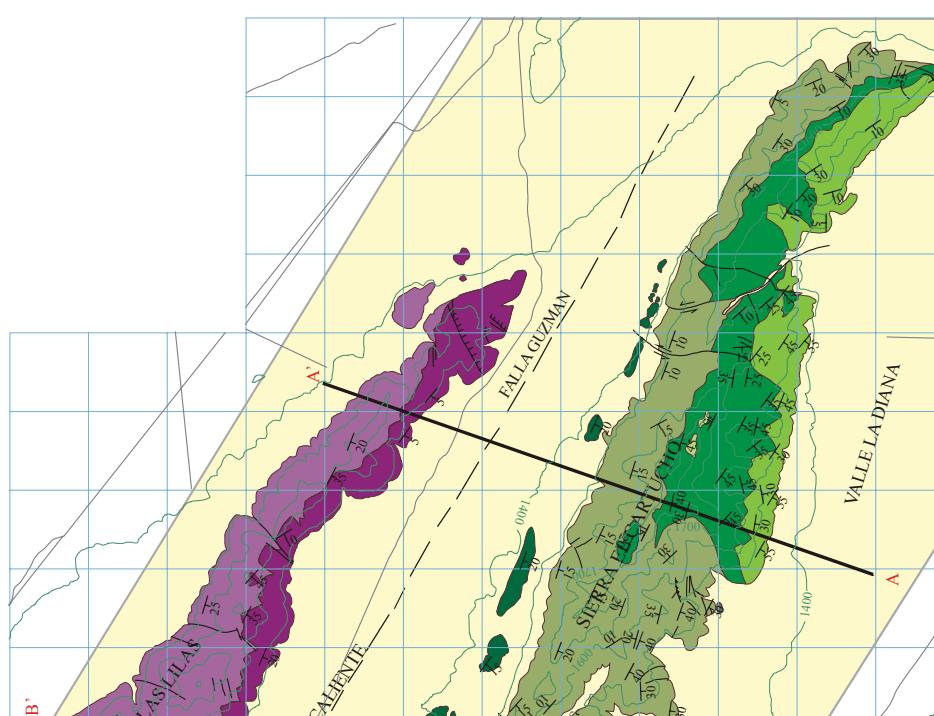
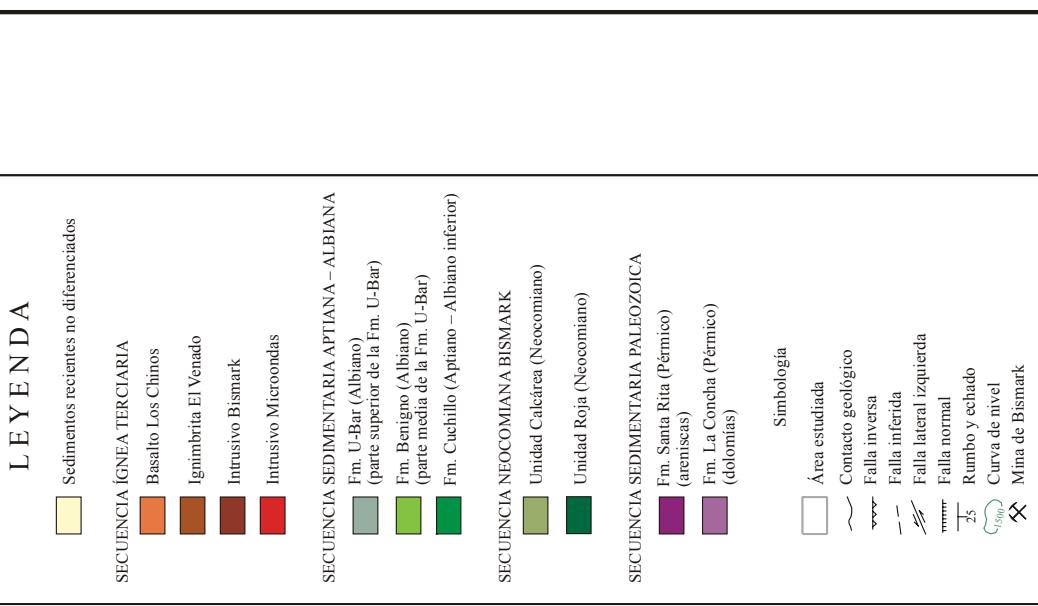
Las rocas aorantes más antiguas del área de estudio se encuentran bien expuestas a lo largo de todo el margen NE de la zona estudiada, en la sierra conocida como Sierra de Las Lilas, también llamada por Ramírez-M. y Acevedo-C. (1957) y Campbell y Muela (1983) como Sierra de Santa Rita (Figura 2).

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 aoramientos 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 aoran exclusivamente rocas sedimentarias de edad pérmbica (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 aoran 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 silitizadas y que es llamada Formación Santa

López-Doncel, Labarthe-Hernández y Mata-Segura, Figura 2

ESTA GEOLÓGICA DEL DISTRITO MINERO DE BISMARCK,
MUNICIPIO DE ASCENSIÓN, CHIHUAHUA, MÉXICO



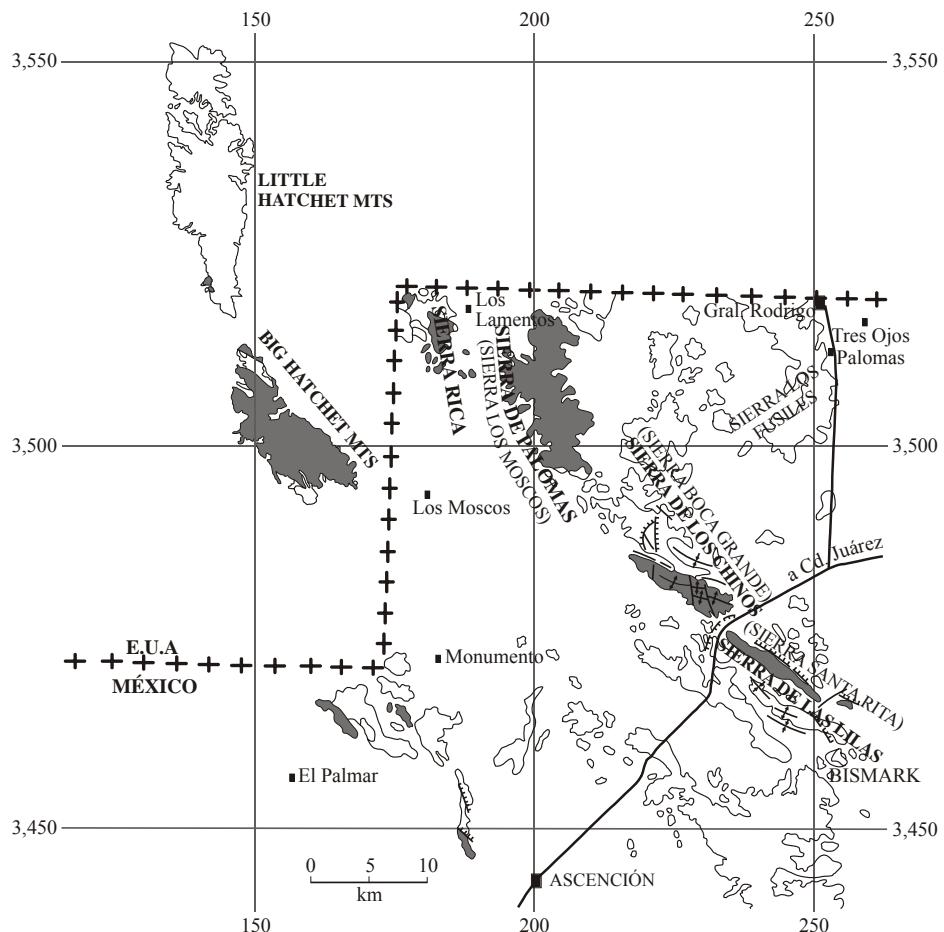


Figura 3. Distribución de las sierras del norte del Estado de Chihuahua y sur de Nuevo México. En color gris se distinguen las sierras conformadas exclusivamente por secuencias paleozoicas. En paréntesis aparecen otros nombres dados a las sierras en diferente material cartográfico (modificado de Tovar, 1969).

Rita. La Formación Santa Rita aflora a lo largo del ancho suroccidental de la Sierra de Las Lilas (Figura 2, 4 y 5a).

Formación La Concha

La Formación La Concha ha sido descrita en la literatura como una secuencia dolomítica con espesores que varían de 420 m (Zeller, 1965) a 670 m (Campbell y Muela, 1983) y que ha sido subdividida en tres unidades. En el área de trabajo, la Formación La Concha está representada por una secuencia de dolomías en la que se pueden identificar tres unidades, las cuales litológicamente son comparables con las descritas por Campbell y Muela (Figura 4), sin embargo a excepción de la unidad inferior, cuya base no aflora, tanto la unidad media como la superior presentan espesores marcadamente menores. La unidad inferior consiste en capas medianas a gruesas de dolomías color gris claro a oscuro, con cristales subhendrados hasta euhendrados del tamaño de microesparitas (mosaico idiotípico/xenotípico,

pico, Figura 5b). Ocasionalmente se encuentran nódulos pequeños de pedernal negro, gris azulado hasta rosado. Esta unidad aflora en las partes bajas del ancho nororiental de la Sierra de Las Lilas (Figura 2). El espesor de esta unidad se desconoce, ya que no aflora su base, pero se estima que es mayor a los 150 m. Debido a la fuerte dolomitización que muestra esta unidad, la cual destruyó por completo la fábrica, no es reconocible ninguna de sus estructuras y texturas originales. Sobrepiviendo a esta unidad se encuentra una unidad media compuesta por capas gruesas hasta masivas de dolomías negras, muy porosas y fuertemente silicicadas con abundantes nódulos de hematita (unidad media, Figura 4). Debido a la intensa silicificación que muestran algunos horizontes de la unidad, la conservación de los fósiles llega a ser excelente. Junto a abundantes nódulos de hematita, en esta unidad se encuentran extensamente distribuidos grandes nódulos de pedernal gris a gris rosado. Esta unidad presenta una textura xenotípica, caracterizada por cristales idiomórficos de dolomita, la cual permite la conservación de estructuras "fantasma" de algunos fósiles, principalmente

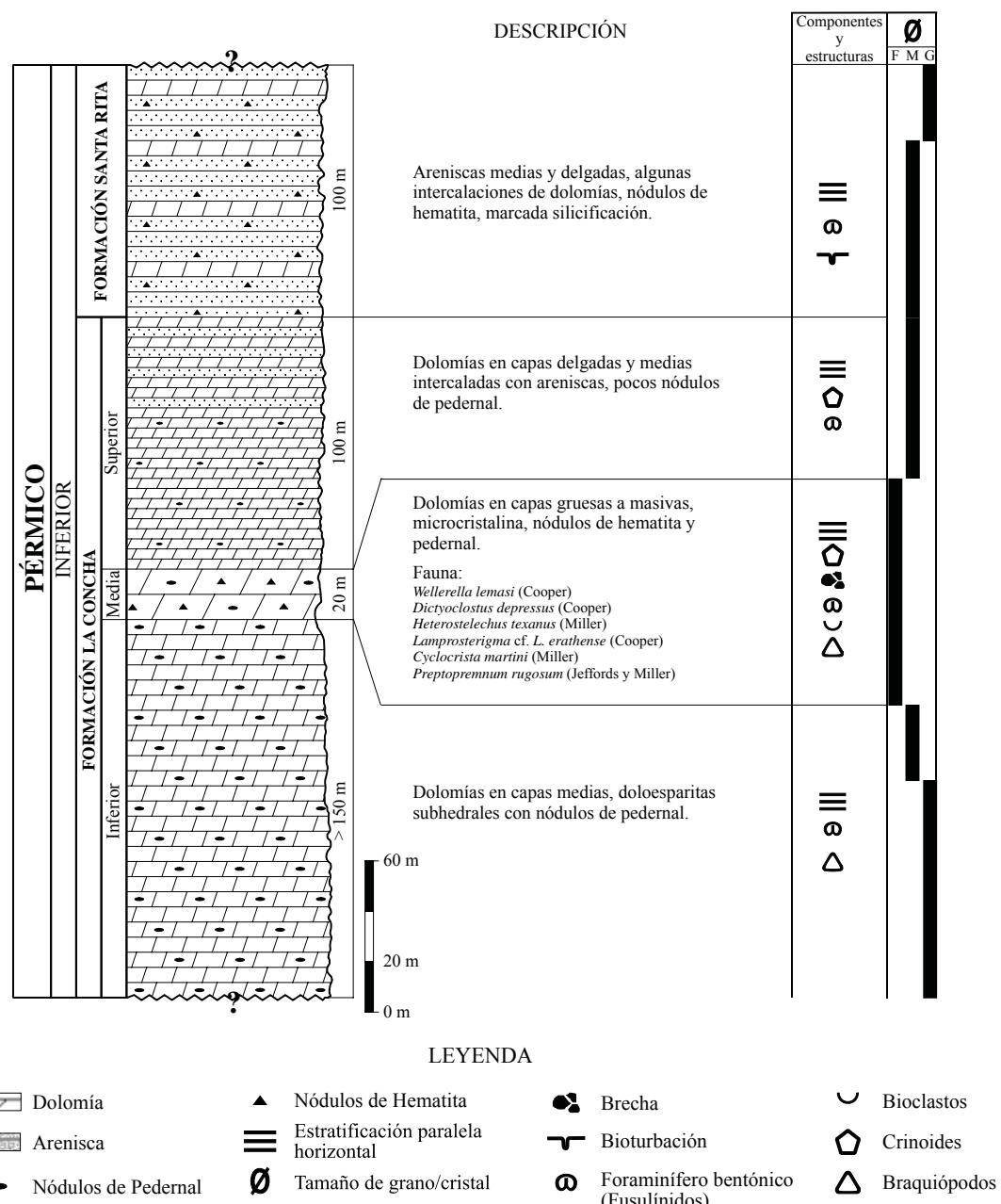


Figura 4. Sección estratigráfica de la Sierra de Las Lilas (secuencia paleozoica). Incluye descripción litológica, fauna y componentes. F: no; M: medio; G: grueso.

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 “ujero 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 biotétricas. 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 alótromo de

algunos ejemplares presentes en los horizontes de tipo “ ujo 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:

Braquipoda

- *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 ancho 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 medianas a delgadas de dolomías grises a gris oscuro que, hacia las partes superiores de la unidad, se intercalan con algunas capas medianas 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, braquíópodos 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 ancho 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 zirconios 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 monocrystalinos, los cuales muestran una morfología semiangular a subredondeada. La clasificación casi monomineralica y su sorteoamiento 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 aparecen rocas sobreayacentes, 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 sobreacen 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 Bismarck, 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 silicificación 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

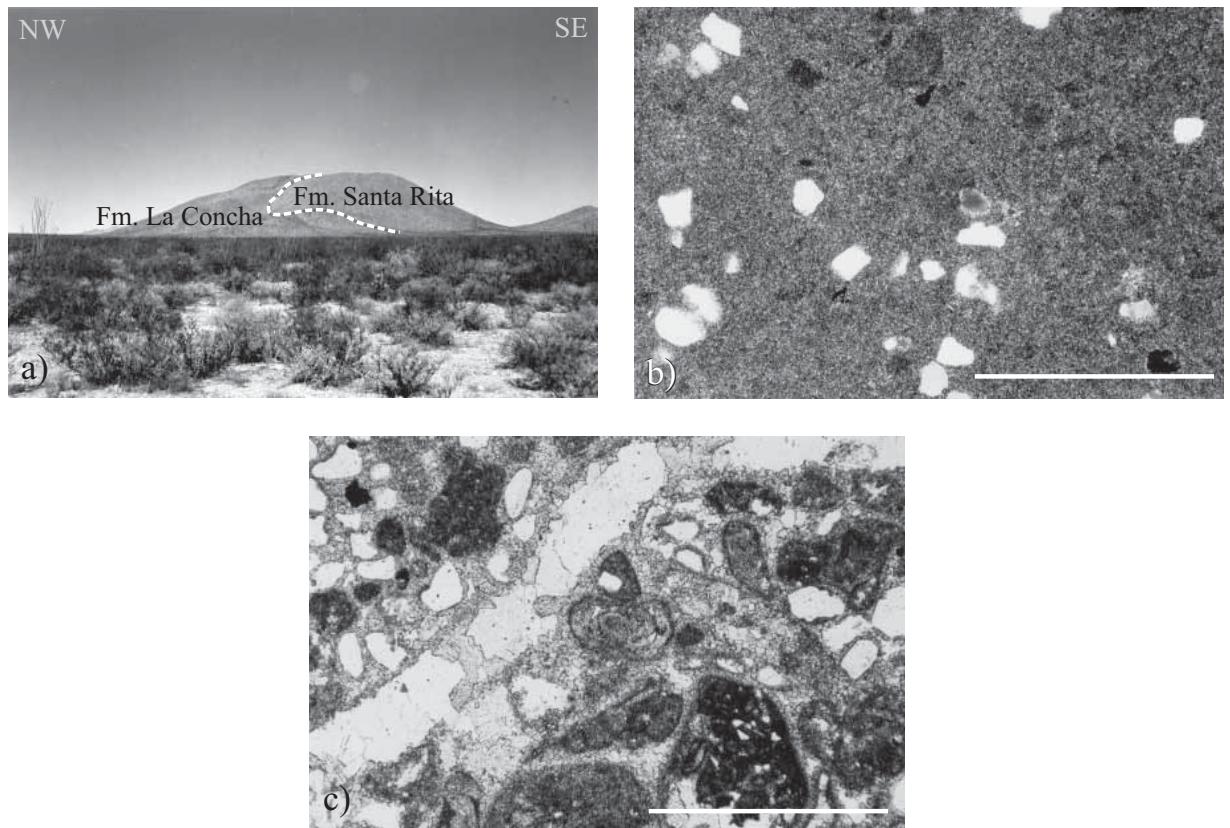


Figura 5. Secuencia sedimentaria paleozoica. a: Vista de la terminación suroriental de la Sierra de Las Lilas. A la izquierda de la foto se reconoce la Formación Santa Rita (areniscas, con tonalidades oscuras) y a la derecha la Formación La Concha (dolomías). b: Microfotografía de una dolomía de la subunidad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

sedimentos terrígenos indica un ambiente cambiante del dominio de depósito, lo cual evidencia un ambiente inestable característico de zonas sinorogenéticas, 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 detriticos alótontos (*dolofrainstones* 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 xenotípica 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 inseguridad 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 a orantes pertenecen a las rocas del Paleozoico tardío depositadas en el cráton 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 a orante 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 a oriente en la Sierra del Cartucho ha representado un gran problema en cuanto a su exacta ubicación en la tabla estratigráfica del norte 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 aparecen en la Sierra del

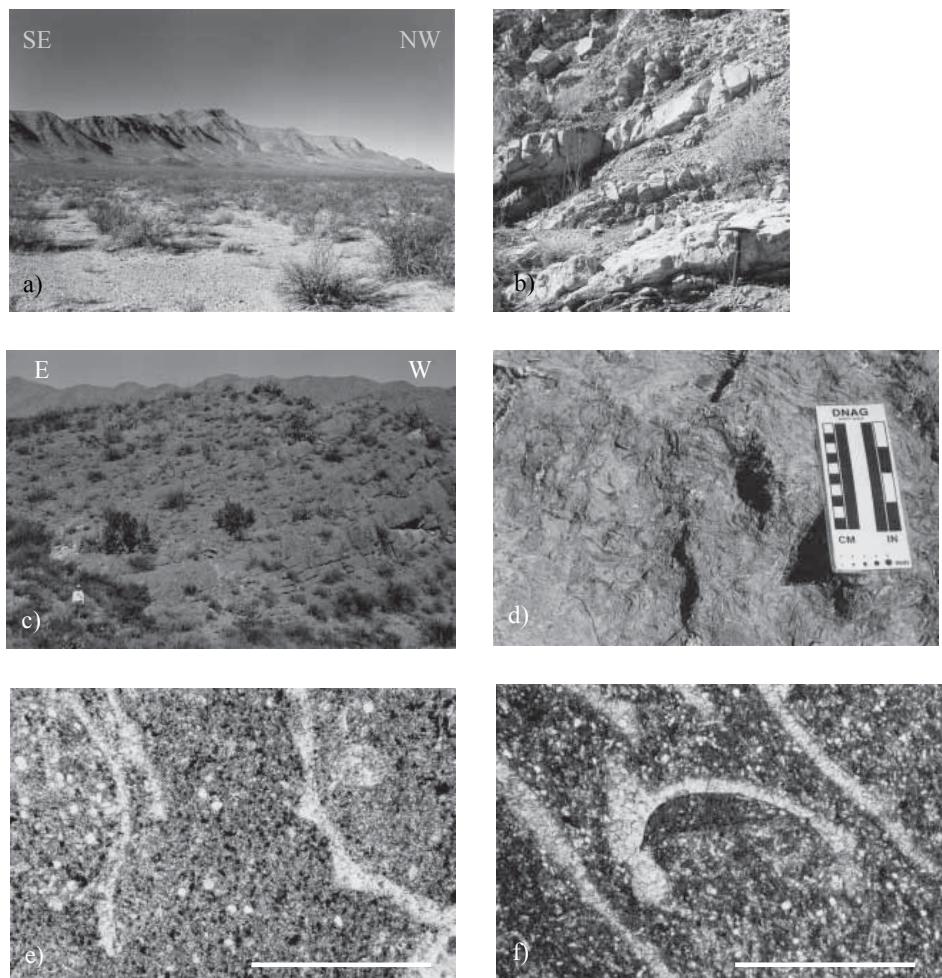


Figura 6. Secuencia Neocomiana Bismark, Unidad Roja. a: Vista hacia el sur de la porción central y la terminación norte de la Sierra del Cartucho; foto tomada sobre el Valle Venado – Ojo Caliente (ver Figura 2). b: A oramiento de la parte inferior de la Unidad Roja, donde se reconocen las capas medias de lutitas negras (horizontes mayormente erosionados) intercalando con horizontes medios a delgados de calizas de color claro (a oramiento en la parte baja del ancho norte de El Cartucho). c: Vista de las calizas gruesas ricas en ostreas de la parte media de la Unidad Roja; son notables los bancos gruesos hasta masivos de esta subunidad (a oramiento en el ancho norte de la Sierra del Cartucho). d: Foto de una de las capas ricas en moluscos (*Gryphaea corrugata* y *Ostreas* sp.) de la parte media de la Unidad Roja (A oramiento de foto c). e: Lámina delgada de una caliza de la parte media de la Unidad Roja. La lámina muestra una matriz micrítica parcialmente esparcida de una floatstone/biocrudita, donde descansan algunos bioclastos de gasterópodos (izquierda) y de lamelibranchiados? (derecha), Muestra 212-5, Obj. 5X, nícales 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, nícales 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 Bismarck y Cerro de la Medalla”, como dos unidades geológicas y geomorfológicas diferentes. Ciertamente, la llamada “Sierra de Bismarck” 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 Bismarck y que injustamente se le llama “Sierra de Bismarck”.

Las rocas a orientes 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 Bismarck, 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 a oriente más antigua a la unidad más joven (Figura 7).

Secuencia Neocomiana Bismarck: 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 ancho 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 a orilla es una secuencia alterna de lutita gris oscuro, negra o hasta de color beige rojizo, muy fósil, 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 aclarar su base, calculándose éste no menor a 10 m.

Sobre yaciendo 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 (*Gryphaea* sp.), gasterópodos y otros bivalvos, y hacia la parte superior los ammonites. El examen paleontológico realizado a algunos ejemplares recolectados en esta subunidad (determinaciones realizadas por el Ing. Guillermo Alvarado Valdés, UASLP), muestran que se tratan de un ammonite de la especie *Neocomites neocomiensis* (D'Orbigny) (Valanginiano) y moluscos de la especie *Gryphaea 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 oídos 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 lamelibranchiados 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 aoramientos, principalmente en la terminación noroccidental de la Sierra del Cartucho, así como en el ancho 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 a orilla debido a que el ancho norte de la Sierra del Cartucho

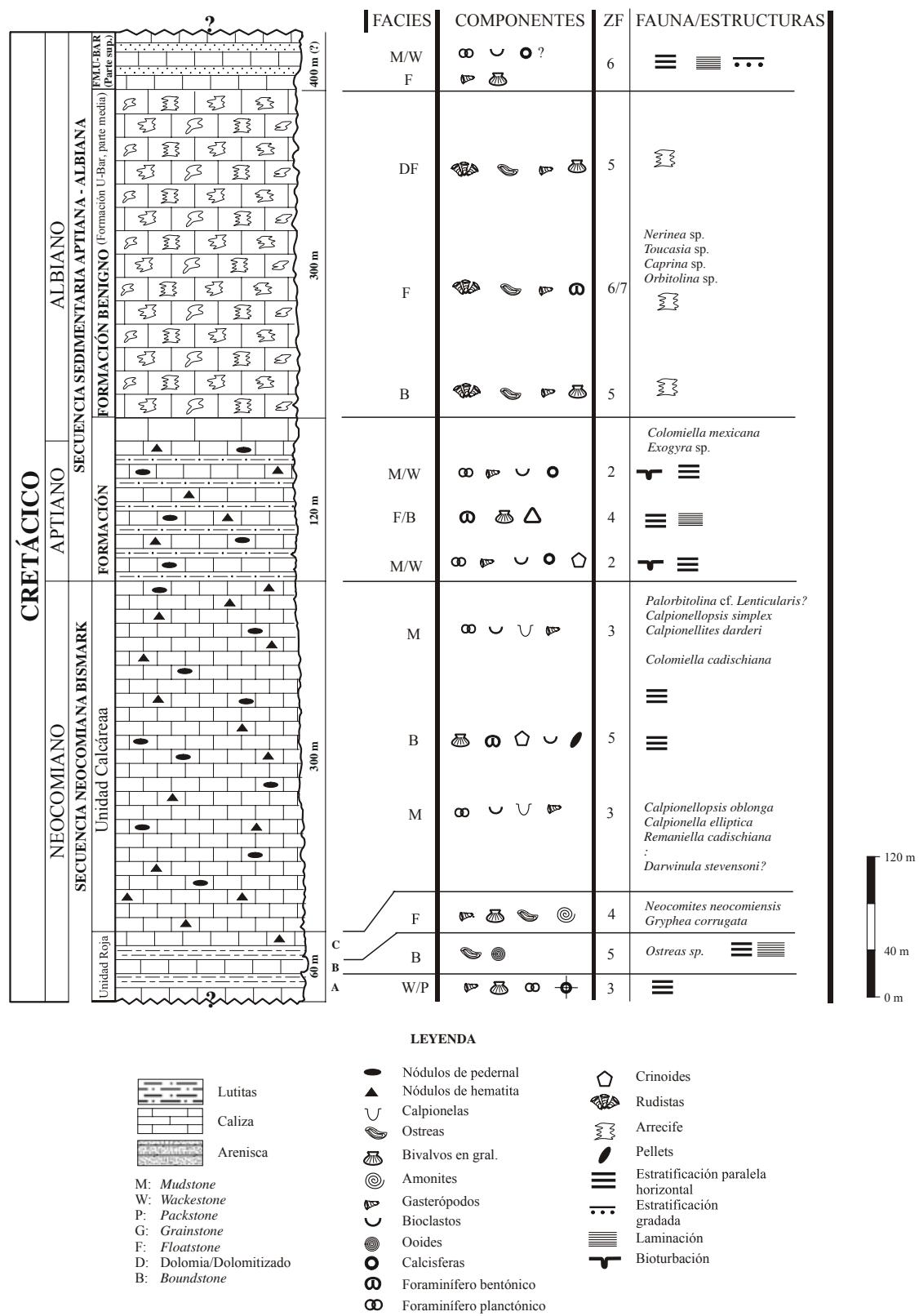


Figura 7. Sección estratigráfica de la Sierra del Cartucho (Secuencia Neocomiana Bismark y Secuencia Sedimentaria Aptiana-Albiana). Incluye descripción litológica, fauna y componentes. ZF: Zona de Facies.

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 intertratado 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

Sobreyciendo 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 ancho 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 relleno 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 microfacial 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 calcionelas (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.

Calcionélidos

– *Calpionellopsis simplex*, Valanginiano superior – Hauteriviano.

– *Calpionellites darderi*, Valanginiano superior – Hauteriviano.

– *Calpionellopsis oblonga*, Berriásano medio.

– *Calpionella elliptica*, Berriásano medio.

– *Remaniella cadischiana*, Berriásano 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 ancho 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 sobreycace 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

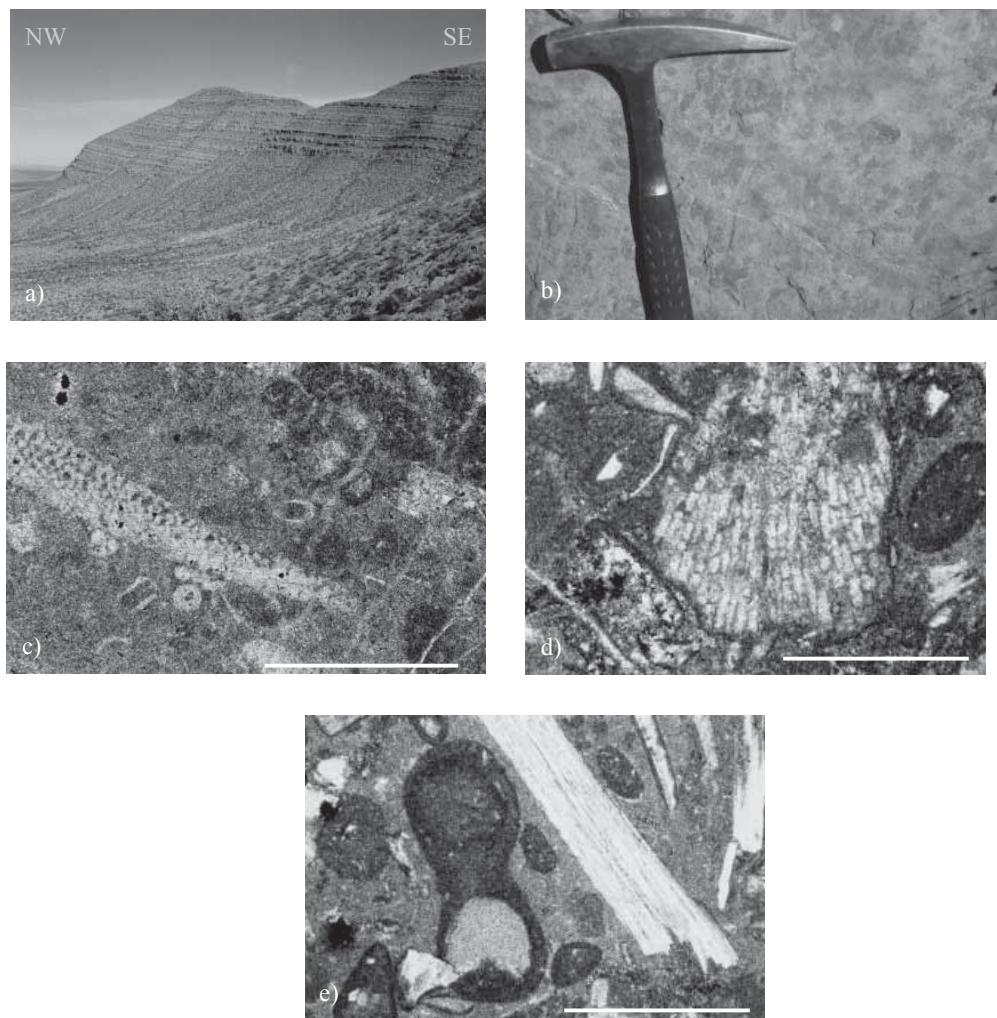


Figura 8. Secuencia Neocomiana Bismarck, Unidad Calcárea. a: Aparcamientos de la Unidad Calcárea a lo largo de la terminación noroccidental de la Sierra del Cartucho; vista de Sur a Norte. b: Acercamiento a las “manchas” características de las partes media y superior de la Unidad Calcárea. Estas estructuras circulares son colonias de orbitolinas y probablemente cortes de esponjas. c: Microfotografía de una caliza biomicrítica 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, nícoles 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 peletoídes (formas redondeadas oscuras), descansando en una matriz dismicrítica; muestra 1027-13, Obj. 5X, nícoles cruzados, escala 1 mm. e: *Floatstone/Rudstone* de la Unidad Calcárea. En la muestra se observan bioclastos de moluscos (cristal grande broso), 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, nícoles cruzados, escala 1 mm.

unidad, tanto los bancos lutíticos como los limolíticos se presentan marcadamente fisiles y sin fósiles. Pobremente representadas se encuentran algunas capas y lentes delgados de una arenisca gris verdoso a ocre con poca distribución lateral. Las areniscas se presentan muy impuras, son de grano no angular, con una matriz calcáreo-arcilloso y sin fósiles.

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

principalmente bioclastos de crinoideos, 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

Sobreayendo concordantemente a la Formación Cuchillo se encuentra la Formación Benigo, la cual a orilla 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 medianas-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 carbonatada. 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 alternantemente capas medianas de biomicrudita (*floatstone*) gris claro, con gran contenido de biodetritos arrecifales que descansan en una matriz micrítica (Figura 7), y capas medianas y gruesas de caliza fosilífera, en las cuales la presencia de rudistas caprínidos (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 aparece su cima, sin embargo, se sabe que esta formación se extiende hasta el área de la mina de Bismarck, 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 Bismarck, 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 de la formación original de la Formación Benigo (DeFord y Haenggi, 1970). Sin embargo, algunos de los arrematiados 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 medianas y delgadas, intercaladas con bancos y lentes de arenisca y bancos medios de lutita que aparecen en el área de la mina de Bismarck (Figuras 2, 7 y 9e). Debido a que esta secuencia aparece como una “isla” rodeada por sedimentos recientes y por el intrusivo de Bismarck, no aparecen sus contactos supra e infrayacentes. Esta parte de la Formación U-Bar aparece en algunos cerros al SE, S, SW y W del intrusivo (Mina de Bismarck), y está caracterizada por la fuerte alteración (skarn) que sufrieron las rocas debido a que se encuentran en contacto con el Intrusivo Bismarck.

Las rocas a orillas de esta formación consisten en capas medianas 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. Ocionalmente se identifican pequeños fantasmas (*ghost-structures*) de lo que probablemente son foraminíferos. Intercalados con los bancos calcáreos aparecen 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 (siliciclastica), causando una cementación extrema en la roca. El



Figura 9. Secuencia Sedimentaria Aptiana – Albiana. a: Vista hacia el sur del ancho norte de la Sierra del Cartucho; en primer plano a la Formación Cuchillo, donde se reconoce la intercalación de calizas y lutitas en capas medianas 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 (orbitolinias) y moluscos rotando en la matriz micrítica; muestra 1101-2, Obj. 5X, nícoles cruzados, escala 1 mm. d: Caliza (*boundstone*) de la Formación Benigno con abundantes rudistas requeridos (*Toucasia* sp.), de las zonas detrás del margen del arrecife. e: A oramiento de la secuencia calcáreo-arenática de la parte superior de la Formación U-Bar en los cerros al oeste de la mina de Bismarck (ver figura 2). Las capas calcáreas delgadas, fuertemente alteradas, se intercalan con horizontes medios de arenas cuarzíticas. f: Lámina delgada de una arenisca de la Formación U-Bar (parte superior), donde se aprecian granos monocrystalinos de cuarzo y un cristal de plagioclase (centro de la foto). La muestra está totalmente recristalizada (siliciclastica) 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 arenas; muestra 0801=SS, Obj. 10X, nícoles cruzados, escala 1 mm.

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

No alcanzan 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 Bismarck, esta unidad fue descrita por Solano (1990), quien la subdividió en ocho diferentes subunidades

y clasi có como pertenecientes a la Formación Cuchillo del Cretácico Inferior por su similitud litológica con rocas a orantes en el área de la Sierra del Águila. Sin embargo, de acuerdo a esta descripción, estos a oramientos de la Formación Cuchillo sugerirían un emplazamiento tectónico a su actual posición dentro de la secuencia estratigrá ca del área de estudio. No obstante, los autores del presente trabajo sugieren, de acuerdo a posición estratigrá ca, 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 Hatchet 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 mosozóica 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 a oramientos 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 in uencia 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 Hatchet 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 di eren marcadamente de las correspondientes a rocas neocomianas (principalmente areniscas y lutitas) que a oran 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; Ortúñoz-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 in uencia 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), con rman 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 modi caron 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 guras 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 nanciera 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 Bismarck 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 pérmea superior (Formaciones, Olinala, Ihualtepec, 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 Cervo 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 Bismarck, Sierra del Cartucho, Sierra Las Lilas e Intrusivo Microondas y su correlación con los distritos mineros El Sabinal, San Pedro Corralitos y El Barreal (Conejos), Ed. de Chihuahua, México: Informe Técnico para la Minera Bismarck, Peñoles, 68 p. (no publicado).
- Martínez-Leyva, P., 1989, Estudio geohidrológico en el área de Bismarck 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 Bismarck, 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 Mesozoïque 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