

EL CÁMBRICO-ORDOVÍCICO DE ARIVECHI, EN LA REGIÓN CENTROORIENTAL DEL ESTADO DE SONORA

Emilio Almazán-Vázquez*

RESUMEN

En la región centrooriental del Estado de Sonora, en las inmediaciones de la Sierra Madre Occidental, y al surponiente del poblado de Arivechi, aflora un paquete sedimentario del Cámbrico Medio y Superior de 950 m de espesor, y del Ordovícico Temprano, de 475 m.

Las rocas cámbricas fueron denominadas, a partir de la base, Formación La Sata, constituida por cuarcita, lutita, arenisca, caliza oolítica y caliza oncolítica; Formación El Mogallón, formada por caliza delgada de estructura laminar; Formación La Huerta, compuesta por caliza en estratos delgados, con estructuras de bioturbación y Formación Milpillás, en la cual alternan lutita calcárea y caliza arcillosa. La Formación El Santísimo, caracterizada por lutita, caliza arcillosa y caliza gruesa, representa al Ordovícico Inferior.

La fauna contenida en los sedimentos del Paleozoico inferior está compuesta de trilobites, braquiópodos, moluscos, artrópodos, conodontos, esponjas, ostrácodos, equinodermos y coprolitos. Las zonas faunísticas *Pre-Glossopleura*, *Dunderbergia* o *Elvinia*, *Ptychagnostus atavus* y *Symphysurina* fueron determinadas con base en los géneros de trilobites.

Las rocas miogeosinclinales de Arivechi permiten establecer que la posición del borde cámbrico del cratón de América del Norte se sitúa al sur, es decir, relativamente cerca del límite internacional entre México y Estados Unidos de América.

Palabras clave: estratigrafía, Cámbrico, Ordovícico, Arivechi, Sonora, México.

ABSTRACT

A sequence consisting of 950 m of Middle and Upper Cambrian and 475 m of Lower Ordovician sedimentary rocks crops out near the Sierra Madre Occidental in the east-central portion of Sonora, southwest of the town of Arivechi.

From the base, the Cambrian rocks have been named La Sata Formation, composed of quartzite, shale, sandstone, and oolitic and oncolitic limestones; El Mogallón Formation, of thin and laminar limestones; La Huerta Formation, of thin bioturbated limestone; and Milpillás Formation of interstratified calcareous shale and clayey limestone. El Santísimo Formation, formed by shale, shaly limestone and thick limestone, represents the Lower Ordovician.

The fauna in the lower Paleozoic rocks of Arivechi is characterized by trilobites, brachiopods, mollusks, arthropods, conodonts, sponges, ostracodes, echinoderms and coprolites. *Pre-Glossopleura*, *Dunderbergia* or *Elvinia*, *Ptychagnostus atavus*, and *Symphysurina* zones were identified by trilobite genera.

The Arivechi miogeosynclinal rocks allow the southern boundary of the American Cambrian craton to be placed near the Mexico-United States border.

Key words: stratigraphy, Cambrian, Ordovician, Arivechi, Sonora, Mexico.

INTRODUCCIÓN

Por sus características geológicas particulares, el Estado de Sonora se encuentra ampliamente cubierto por rocas del Paleozoico, predominando las facies carbonatadas en sus diversos períodos.

Sin embargo, los afloramientos del Cámbrico se restringen a ciertas localidades, pudiéndose señalar las unidades formacionales Puerto Blanco, Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, Arrojos y El Tren, expuestas en los alrededores de Caborca (Cooper *et al.*, 1956). De la misma forma, en Cananea, la Sierra de los Ajos y la cuenca de Cabullona, afloran rocas equivalentes a las formaciones Bolsa y Abrigo (Viveros-Martínez, 1965; Aponte-Barrera, 1974). Recientemente, Stewart y colaboradores (1984) describieron rocas cámbricas equivalentes a la Formación Puerto Blanco, Cuarcita Proveedora, Formación

Bonanza King y Lutita Dunderberg, las cuales afloran en la sierra Agua Verde, situada 100 km al oriente de Hermosillo.

Con relación al Ordovícico, al occidente de Caborca se localiza la Formación Bísani (Cooper y Arellano, 1946; Malpica-Cruz y de la Torre, 1979), la cual contiene una gran cantidad de ostrácodos que indican que las rocas no son más antiguas que el Trentoniano (Brunner, 1984). En la región central de Sonora, la Serie Cobachi (López-Ramos, 1980) contiene corales (King, 1939), graptolites y radiolarios (Peiffer *et al.*, 1980) de edad richmondiana. Finalmente, en la sierra Agua Verde una delgada secuencia carbonatada encierra conodontos del Ordovícico Temprano (Stewart *et al.*, 1984).

Es por ello que las rocas del Cámbrico y Ordovícico, expuestas en la región de Arivechi, constituyen una contribución importante para el conocimiento del Paleozoico inferior en México y para la reconstrucción paleogeográfica de América del Norte.

LOCALIZACIÓN

El área está ubicada a 165 km al ESE de la ciudad de Her-

* Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 1039, 83000 Hermosillo, Sonora.

mosillo y a 9 km en dirección S75°W del poblado de Arivechi, en la porción centrooriental del Estado de Sonora (Figura 1).

La zona se caracteriza por prominencias orográficas, que varían desde 600 hasta 1,140 m de altitud, y queda englobada en la ladera oriental de la provincia fisiográfica denominada Sierras Alargadas, en contacto con la provincia de la Sierra Madre Occidental (Raisz, 1964).

ESTRATIGRAFÍA

La estratigrafía del área está representada por rocas del Cámbrico, Ordovícico, Jurásico, Cretácico y Terciario.

Por tener una mayor importancia en la bioestratigrafía y paleogeografía de América del Norte, en el presente artículo se destaca las secuencias estratigráficas del Cámbrico y Ordovícico.

CÁMBRICO

Un paquete litológico de edad cámbrica, de aproximadamente 1,000 m de espesor, expuesto al surponiente del poblado de Arivechi, fue dividido en cuatro unidades formacionales que, en orden ascendente, son: Formación La Sata, Formación El Mogallón, Formación La Huerta y Formación Milpillas (Figura 2).

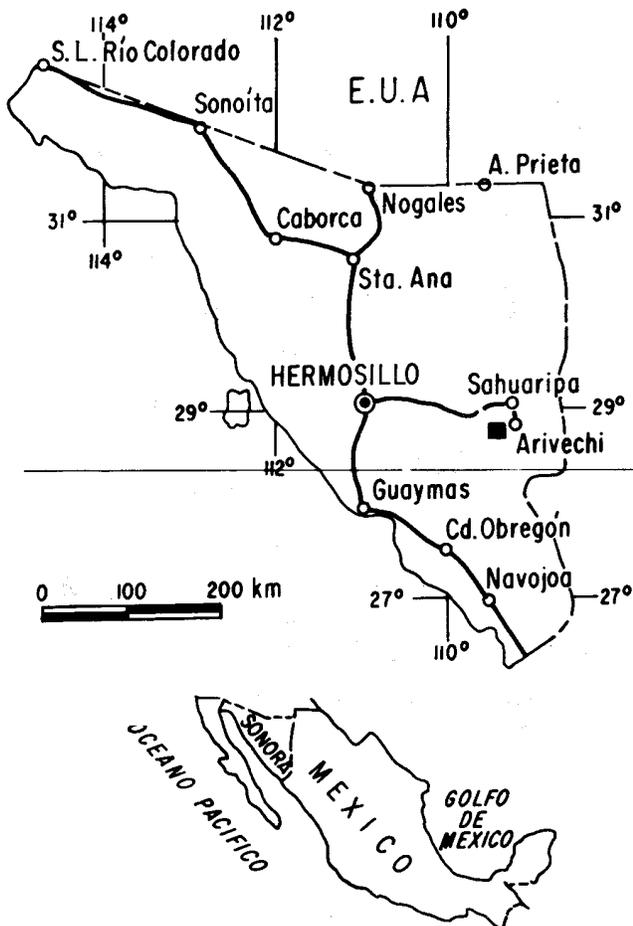


Figura 1.- Mapa de localización del área donde afloran las rocas cámbrico-ordovícicas de Arivechi, en la parte centrooriental de Sonora.

Estructuralmente, la secuencia litológica del Cámbrico tiene, de manera general, una orientación norte-sur, con inclinaciones al oriente, e intensidades que varían desde 15 hasta 50°.

En ciertas zonas, la estratificación presenta una deformación fuerte y cerrada, como se observa en la margen oriental del cerro La Sata; pero, en general, la secuencia fue altamente dislocada por una gran cantidad de fallas normales, algunas de las cuales superan los 3 km de longitud, dificultando el seguimiento estratigráfico (Figura 3).

Formación La Sata

La distribución de esta unidad es un cinturón delgado, situado a lo largo de la margen oriental del cañón labrado por el arroyo Milpillas y en la ladera meridional del cerro La Sata, del cual toma su nombre formacional (Figura 3).

La localidad tipo de la Formación La Sata se sitúa en la intersección de las coordenadas 28°54'40"N y 109°16'20"W, es decir, unos 900 m al nororiente del cerro La Sata, donde, sin

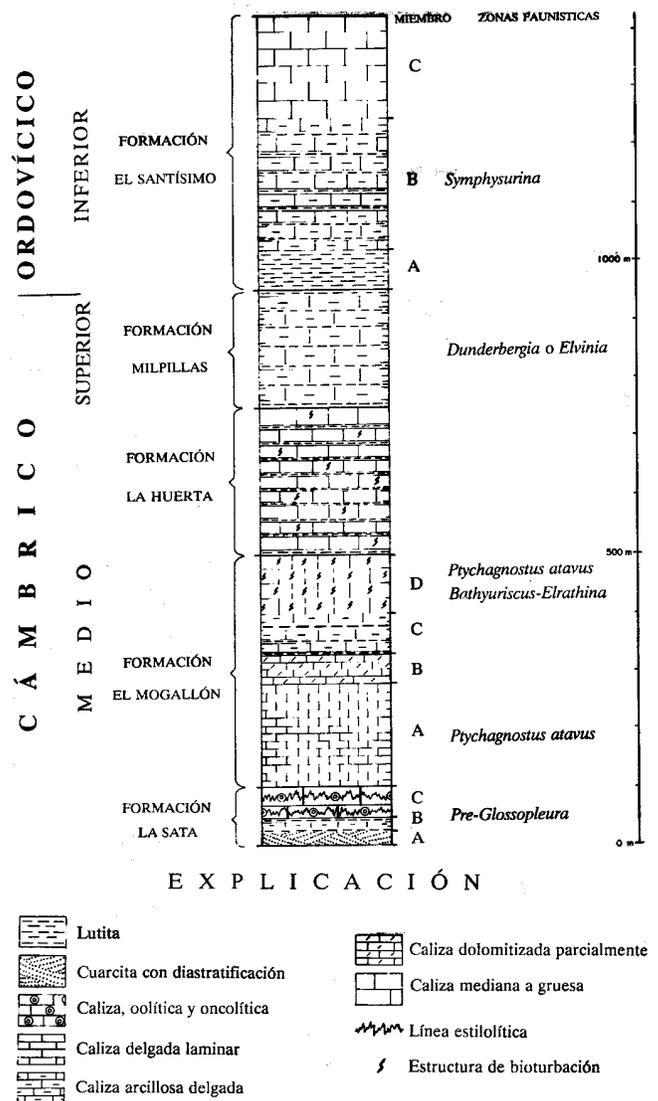


Figura 2.- Columna estratigráfica del Cámbrico y Ordovícico de la región de Arivechi, en Sonora centrooriental.

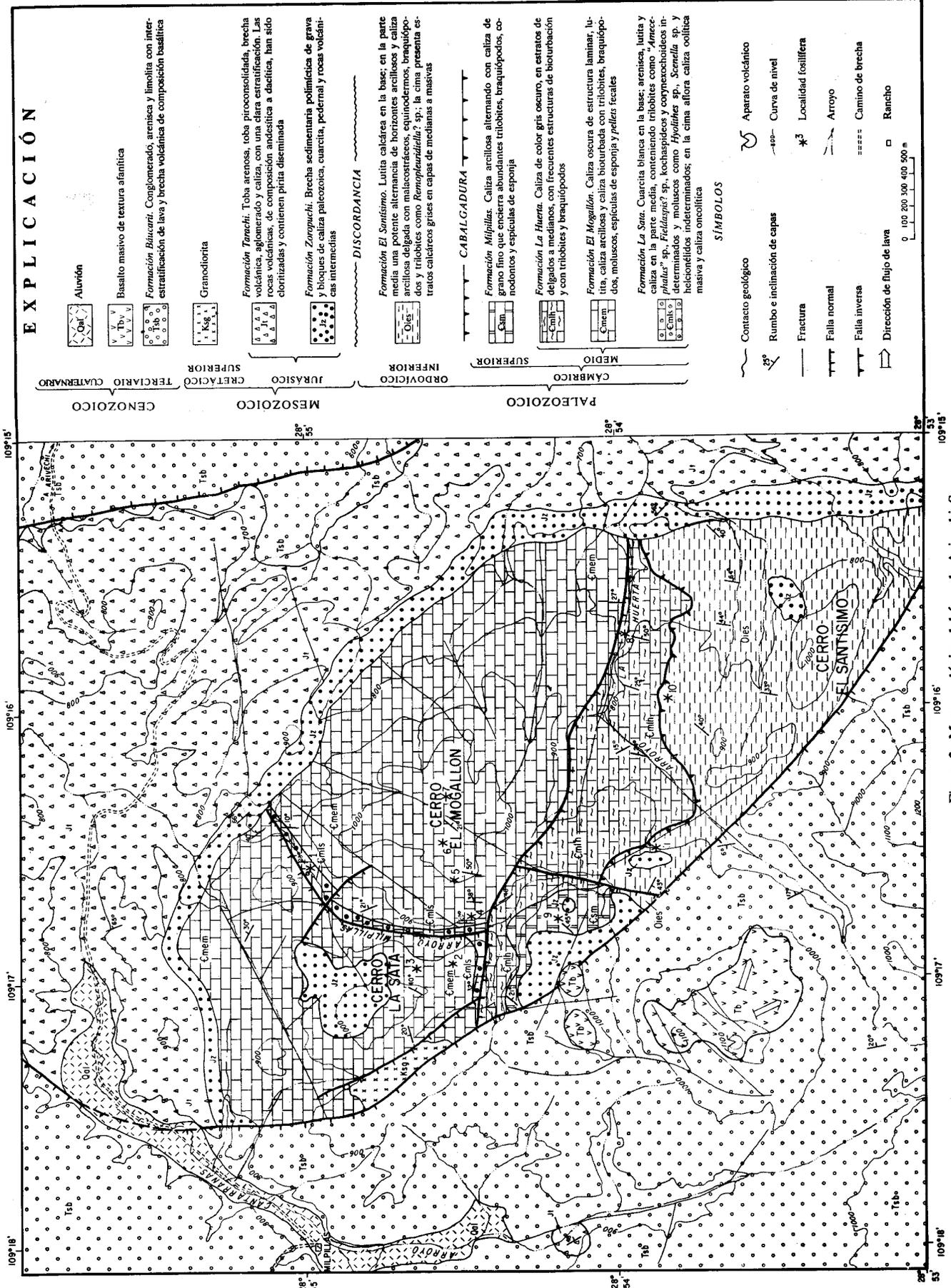


Figura 3.- Mapa geológico del área de Arivechi, Sonora.

estar expuesta la base de la unidad, afloran 100 m de una litología clástico-carbonatada que constituye la sección tipo. De acuerdo con sus facies litológicas, la formación fue dividida en tres miembros.

Miembro A. El miembro basal de la Formación La Sata está expuesto de manera incompleta, pues su base se encuentra cubierta, por lo que únicamente afloran 25 m de cuarcita blanca, de grano grueso, en estratos que varían desde 60 hasta 120 cm de espesor. Las rocas contienen innumerables estructuras diastratificadas de ángulo bajo.

Miembro B. Este miembro está constituido por una secuencia de 25 m de espesor que consiste en la base, en arenisca verde-amarillenta en capas delgadas, muy intemperizadas; lutita limosa, de color verde y superficie rojiza, debido a oxidación; lutita masiva, sumamente saturada; y, hacia la cima, lutita calcárea y caliza arcillosa interestratificadas en capas delgadas, que presentan estructuras de grietas de desecación, huellas de oleaje, diastratificación, cristales cúbicos de piritita diseminada y fauna fósil representada por trilobites, braquiópodos inarticulados y moluscos. Entre la fauna recolectada en la localidad fosilífera 1 (Figura 3) e identificada se encuentran los trilobites *Amecephalus* sp., *Fieldaspis* ? sp. y *Corynexochoides* y *Kochaspideos* indeterminados, así como los moluscos *Hyolithes* sp., *Scenella* sp. y helcionélidos indeterminados.

Miembro C. La cima está formada por 50 m de calizas oolíticas, de color gris y tonalidades rojizas al intemperismo, estratificación masiva, donde los oolitos son de tamaño milimétrico; a continuación, asociadas a estas rocas, afloran calizas oncolíticas, en capas con espesores desde 10 hasta 40 cm, de color gris oscuro, donde los organismos algáceos, recristalizados parcialmente, presentan una forma casi esférica y tienen un tamaño que varía desde 0.2 hasta 3 cm. Este miembro presenta una densa red de líneas estilolíticas, paralelas a la estratificación y espaciadas unos 20 cm, en promedio. Las rocas carbonatadas en su constitución encierran, frecuentemente, fragmentos de equinodermos, braquiópodos y trilobites, cuyo mal estado de conservación impide su identificación.

Las relaciones estratigráficas con la unidad superior (Formación El Mogallón) son concordantes y el contacto se sitúa donde aflora el último nivel de calizas de estratificación gruesa y se inicia una secuencia de estratos delgados de calizas laminares oscuras. El contacto inferior con las rocas subyacentes no aflora en el área de estudio.

La fauna presente en el miembro medio de la Formación La Sata indica la base del Cámbrico Medio y, probablemente, represente la zona faunística *Pre-Glossopleura*.

La asociación faunística de trilobites y moluscos de la Formación La Sata es similar a ciertos géneros encontrados en la Formación Arrojos del área de Caborca (Cooper *et al.*, 1956; Stewart *et al.*, 1984), por lo que ambas unidades son sincrónicas. En la región de Cananea, la parte superior de la Formación Bolsa (Viveros-Martínez, 1965; Aponte-Barrera, 1974) podría corresponder a eventos sedimentológicos de la misma edad que los de la Formación La Sata, con diferencias litológicas marcadas.

Formación El Mogallón

Cubriendo a la Formación La Sata, aflora a continuación

la Formación El Mogallón, la cual toma su nombre de una de las principales características orográficas del área. La localidad tipo se ubica en el cruce de las coordenadas 28°54'30"N y 109°16'30"W y la sección tipo se encuentra bien expuesta, de la base a la cima, en la falda occidental del cerro El Mogallón (Figura 3).

La unidad estratigráfica forma los afloramientos cámbricos de mayor distribución en toda la zona y constituye, prácticamente, los cerros La Sata y El Mogallón.

La Formación El Mogallón está conformada por un paquete de rocas sedimentarias de aproximadamente 400 m de espesor y sus asociaciones bioestratigráficas permiten diferenciar cuatro miembros (Figura 2) que, en orden ascendente, se caracterizan por lo siguiente.

Miembro A. El miembro basal de la Formación El Mogallón es el más potente, ya que está formado por 180 m de rocas calcáreas en estratos delgados que varían desde 2 hasta 30 cm de espesor, de color gris oscuro a casi negro y que intemperiza en tonalidades grisáceas claras. Las rocas presentan una marcada estructura laminar, la cual se manifiesta en superficies de alteración, en bandas finas amarillentas y grises. Ocasionalmente, el miembro contiene horizontes delgados de brechas y conglomerados intraformacionales. Las rocas contienen, repartido uniformemente en todo el miembro, un conjunto faunístico caracterizado por trilobites, braquiópodos, espículas de esponja y coprolitos. Los trilobites están silicificados y las conchas de los braquiópodos están fosfatadas. Entre los fósiles recolectados en las localidades fosilíferas 2, 3, 4 y 5 (Figura 3) se cuenta las especies de trilobites *Ptychagnostus atavus* (Tullberg), *Hypagnostus parvifrons* (Linnarsson), *Peronopsis fallax*, *Peronopsis* sp., *Olenoides* sp. cf. *O. marjumensis* y *Modocia* sp.; entre los braquiópodos están *Prototreta attenuata* (Meek), *Prototreta* sp., *Acrothele subsidua* (White), *Micromitra* sp., *Pegmatreta bellatula* y *Linnarsonia ophirensis*; las espículas de esponja son de hexactinélidos.

Miembro B. El segundo miembro, con un espesor de 50 m, consta, litológicamente, de calizas de estructura laminar, color gris oscuro y bandas finas claras y oscuras al intemperismo. Las rocas están dolomitizadas parcialmente y presentan una silicificación tenue. En apariencia, el conjunto de rocas de este miembro es azoico, ya que no se encontró macrofósiles.

Miembro C. A continuación aflora una interesante estratificación de horizontes delgados arcilloso-calcáreos y calizas arcillosas, en capas que varían desde 2 hasta 10 cm, las cuales tienen, en total, un espesor de 65 m. En la parte superior de los horizontes carbonatados se aprecia frecuentes estructuras de bioturbación. En la localidad fosilífera 6 (Figura 3) el conjunto faunístico comprende trilobites, braquiópodos, moluscos, espículas de hexactinélidos y *Planolites* sp.

Entre los trilobites están las especies *Hypagnostus parvifrons* (Linnarsson), *Modocia typicalis*?, *Utaspis*? sp. y marjumiidos indeterminados; de los braquiópodos se logró identificar a *Lingulella* sp., *Prototreta attenuata*, *Prototreta* sp., *Acrothele subsidua*, *Lingulella* sp. y linnarsoniidos indeterminados. Entre los moluscos, *Hyolithes* sp. fue la única especie identificada.

Miembro D. El miembro superior de la Formación El Mogallón tiene un espesor de 100 m de rocas carbonatadas, de color gris oscuro, en capas que varían desde 10 hasta 30 cm y

que alternan con bandas delgadas e irregulares de sedimentos arcillosos de color rojo claro. Cerca de la base del miembro, afloran algunos estratos pisolíticos de unos 35 cm de espesor. Las calizas se caracterizan por tener frecuentemente estructuras de bioturbación, rellenas de calcita fibrosa o sedimentos arcilloso-calcáreos oxidados. Las rocas contienen trilobites, braquiópodos y espículas de esponja.

Entre la fauna recolectada en la localidad fosilífera 7 (Figura 3) se logró identificar a los trilobites *Onymagnostus hybridus?*, *Ptychagnostus atavus?*, *Ptychagnostus michaeli*, *Bathyriscus* sp., *Hypagnostus parvifrons* (Linnarsson) y *Ptychagnostus* sp. Entre los braquiópodos están *Lingulella* sp., *Prototreta flabellata* Bell, *Linnarssonina* sp. cf. *L. ophirensis* (Walcott) y *Linnarssonina* sp. Las espículas de esponja pertenecen a hexactinélidos.

Las asociaciones faunísticas de los fósiles de la Formación El Mogallón permiten precisar que las rocas pertenecen a la parte media del Cámbrico Medio.

Las relaciones estratigráficas de la Formación El Mogallón y la unidad infrayacente, Formación La Sata, son concordantes; respecto al contacto con la unidad superior (Formación La Huerta), se infiere que pudiera ser concordante, puesto que no fue posible situarlo, debido a los movimientos de desplazamiento vertical que sufrió el paquete sedimentario cámbrico.

Algunas partes de unidades estratigráficas que afloran cerca de Caborca, como la cima de la Formación Arrojitos, la base de la Formación El Tren (Cooper *et al.*, 1956) y la base de la Formación Abrigo, que aflora en el área de Cananea (Aponte, 1974) son de edad similar a la Formación El Mogallón, aunque en el aspecto litológico existen diferencias marcadas. Por otra parte, las formaciones Wheeler y Marjum del Central House Range (Hintze y Robison, 1975), en la parte centrooccidental del Estado de Utah, la Caliza Geddes y la Lutita Secret Canyon (Nolan *et al.*, 1956), del distrito minero Eureka en Nevada y la base de la Formación Bonanza King, que aflora en el Nopah Range del Death Valley (Stewart, 1970) y las montañas San Bernardino (Cameron, 1981 y 1982), en el Estado de California, son equiparables en edad con la Formación El Mogallón.

Formación La Huerta

Esta unidad estratigráfica toma su nombre del arroyo La Huerta, el cual corta rocas sedimentarias del Cámbrico, a lo largo de aproximadamente 2 km. La localidad tipo se ubica en la zona aledaña al cruce de las coordenadas 28°53'56"N y 109°15'30"W.

La Formación La Huerta presenta una sección tipo en la entrada oriental del cañón labrado por el arroyo del mismo nombre, donde las rocas del Cámbrico están expuestas en paredes cercanas a la vertical, cuya altura es de 40 m.

La unidad está distribuida en una franja de unos 500 m de anchura por 3 km de longitud promedio, constituyendo los afloramientos australes del Cámbrico en el área (Figura 3).

Como resultado de los efectos tectónicos sobre la unidad, ésta se presenta estructuralmente como un bloque hundido, por lo cual fue imposible establecer las relaciones estratigráficas con la unidad infrayacente (Formación El Mogallón).

El espesor litológico fue estimado en 250 m y se caracteriza por horizontes delgados de caliza de color gris oscuro y textura fina, interrumpidos por capas de arcilla, de unos cuantos centímetros de espesor, contaminadas por carbonatos y de

color rojo claro, que son el resultado de la actividad orgánica que dejó una gran cantidad de estructuras de bioturbación.

En la localidad fosilífera 8 (Figura 3) se recolectó trilobites y braquiópodos; de los primeros se reconoció marjumiiidos y ptychopariidos indeterminados; de los braquiópodos se identificó *Micromitra* sp., *Acrothele* sp., *Prototreta attenuata* (Meek) y lingúlidos indeterminados.

El conjunto faunístico probablemente corresponda a organismos que vivieron durante la parte superior del Cámbrico Medio, aunque los taxa no son, precisamente, los característicos de la edad mencionada.

La Formación La Huerta tiene una equivalencia geocronológica con la parte superior de las formaciones El Tren en Caborca (Cooper *et al.*, 1956) y Bonanza King del Death Valley (Stewart *et al.*, 1984), así como con una parte de la mitad inferior de la Formación Abrigo, expuesta en el distrito minero de Cananea (Aponte, 1974), aunque en los aspectos litológico y de contenido faunístico existen diferencias notables.

Formación Milpillas

Aflorando en un área de extensión restringida, la Formación Milpillas toma su nombre del arroyo que drena la zona de norte a sur (Figura 3); su localidad tipo está situada en las coordenadas 28°54'15"N y 109°16'45"W.

La Formación Milpillas constituye una colina pequeña, la cual se eleva 60 m sobre el nivel del valle adyacente, la sección tipo se encuentra expuesta en la ladera suroccidental de dicha prominencia topográfica.

La litología está formada por horizontes de lutitas calcáreas, muy intemperizadas, de tonalidades café claro, interestratificadas con calizas arcillosas, de colores amarillento y café, en capas que varían desde 5 hasta 15 cm de espesor y con textura fina. El espesor del paquete es de aproximadamente 200 m.

En la parte superior de ciertos estratos carbonatados hay braquiópodos bien conservados, caracterizándose por una concha fosfatada (localidad fosilífera 9); de igual manera, algunos horizontes de calizas de grano fino contienen fragmentos de espigas de trilobites, braquiópodos inarticulados y colonias de filocáridos. Cuando esta roca fue disuelta en ácido, mostró un contenido abundante de trilobites, braquiópodos, moluscos y, en menor cantidad, conodontos, ostrácodos y espículas de esponja, los cuales, en su mayoría, se presentan fosfatados y excepcionalmente conservados.

Entre las especies de trilobites identificadas se tiene las siguientes: *Aphelotoxon* n. sp.?, *Elviniella* sp. (o *Elvinia*), *Homognostus* sp., *Pseudoagnostus* sp. *Pterocephalia*?, sp. y ptychoparioideos no determinados. Artrópodos filocáridos como *Caryocaris* sp. cf. *C. curvilata*. Entre los braquiópodos están *Angulotreta* sp., *Micromitra* sp., *Quadrisonia* sp. y lingúlidos de valvas largas no determinados. Entre los moluscos se cuenta *Pelagiella* sp., *Hyalithes* sp. e *Hypseloconus* sp. Respecto a los conodontos se tiene *Westergaardodina* sp. y elementos coniformes sin clasificar. Las esponjas y espongiomorfos son *Chancelloria* sp. y hexactinélidos. No fue posible identificar los ostrácodos. De los equinodermos se encontró placas de eocrinoides, Stylophorans? y otros. Finalmente, hay numerosos coprolitos asociados a la fauna.

Los taxa contenidos en la Formación Milpillas permiten precisar que las rocas pertenecen a la parte media del Cámbrico Superior, representando la zona faunística *Dunderbergia* o *Elvinia*.

La Formación Milpillas es equivalente en edad a la Lutita Dunderberg de la parte sur del Great Basin en Estados Unidos de América (Stewart *et al.*, 1984) y a la parte media superior de la Formación Abrigo, que aflora en el área de Cananea (Aponte-Barrera, 1974).

Las relaciones estratigráficas de la Formación Milpillas fueron enmascaradas por un evento de superposición tectónica, el cual ocasionó que la Formación El Santísimo, del Ordovícico Inferior, la cubriera mediante una falla inversa. Por otra parte, la Formación Zoropuchi del Jurásico, se encuentra superpuesta a la Formación Milpillas mediante un contacto erosional de discordancia angular (Figura 3).

El contacto estratigráfico inferior de la unidad, no se encuentra expuesto en la zona, debido al hundimiento que sufrió el bloque que constituye la Formación Milpillas, el cual está limitado por fallas normales de gran ángulo.

ORDOVÍCICO

La secuencia arcilloso-carbonatada del Ordovícico, que se localiza en la esquina sudoccidental del mapa geológico (Figura 3), fue denominada Formación El Santísimo.

Formación El Santísimo

Esta unidad toma su nombre de una de las mayores prominencias fisiográficas denominada cerro El Santísimo, ubicada en la esquina sudoriental del mapa geológico (Figura 3). Geográficamente, la localidad tipo está situada en los 28°53'20"N y 109°15'45"W.

La columna estratigráfica de la Formación El Santísimo se encuentra mejor expuesta en el cauce del arroyo ubicado unos 300 m al norte del cerro El Santísimo, complementándose con los afloramientos del cerro mismo. El área mencionada constituye la sección tipo y forma una columna sedimentaria de 475 m de espesor, dividida en tres miembros (Figura 2).

Miembro A. La parte inferior de la Formación El Santísimo está formada por unos 70 m de lutitas calcáreas, masivas, en tonalidades verde y rojiza, intensamente fracturadas, resultando en laminillas pequeñas; exhibe un grado leve de metamorfismo y está desprovista de macrofauna.

Miembro B. A continuación, el miembro intermedio tiene un espesor de 225 m de una secuencia litológica que consiste, de la base a la cima, en una interstratificación de lutitas calcáreas en horizontes delgados y calizas arcillosas pelágicas a semipelágicas de color gris oscuro a negro, con filocáridos de género y especie indeterminados, pero similares a *Caryocaris*, pellets fecales y trilobites nektónicos articulados, pobremente conservados y semejantes a *Remopleuridiella?* sp. (Figura 3, localidad fosilífera 10). Probablemente, el ambiente bentónico de conservación fue anaeróbico por debajo de la picnoclina, a juzgar por la abundancia de materia carbonosa, la carencia de estructuras de bioturbación y la presencia únicamente de fósiles nektónicos; además, en la localidad fosilífera 11 (Figura 3) se recolectó fósiles de trilobites mal conservados, de los cuales se identificó las especies *Geragnostus?* sp., *Parabolinella?* sp., *Symphysurina?* sp. y otros dos géneros de ptychoparioideos indeterminados. En la parte superior del Miembro B, los niveles carbonatados predominan en capas que varían en espesor desde 5 hasta 30 cm, de color gris oscuro y, frecuentemente, la parte superior de los estratos contiene braquiópodos inarticu-

lados de la familia de los Lingulidae y fragmentos pequeños de trilobites no identificables; ciertos horizontes, de aproximadamente 15 cm de espesor, están constituidos por una gran cantidad de fósiles muy fragmentados y variados, entre los que se puede observar equinodermos, posiblemente cistoideos, trilobites y braquiópodos. Asimismo, el miembro comporta horizontes calcáreos de estructura de *boudinage*, huellas de oleaje, grietas de desecación y brechas intraformacionales.

Miembro C. La parte superior de la Formación El Santísimo está constituida por una potente secuencia litológica de calizas de color gris claro, en estratos que varían en espesor desde 15 hasta 80 cm, de textura fina, con una gran cantidad de vetillas finas, rellenas de calcita blanca, aparentemente desprovista de macrofauna, cuyo espesor total es de unos 180 m y que constituye los acantilados del cerro El Santísimo.

La fauna contenida en la Formación El Santísimo permite ubicar al paquete sedimentario en el Ordovícico Inferior, particularmente en el Tremadociano, representando la zona faunística *Symphysurina*.

Debido a la naturaleza plástica del miembro basal de la unidad estratigráfica, el paquete ordovícico se encuentra superpuesto, mediante una falla inversa de corrimiento no muy significativo, sobre la Formación El Mogallón y la Formación Milpillas del Cámbrico. Por otra parte, en su ladera oriental la Formación El Santísimo está cubierta, estratigráficamente, por la Formación Zoropuchi del Jurásico, mediante un contacto de discordancia angular. Finalmente, la parte occidental de la unidad está en contacto con la Formación Báucarit del Mioceno, a través de una falla normal de gran ángulo que se inclina hacia el occidente.

En el Estado de Sonora, la Formación El Santísimo presenta una relación estrecha en edad con un paquete carbonatado delgado, que contiene conodontos del Ordovícico Temprano, y que se encuentra expuesto en la sierra Agua Verde (Stewart *et al.*, 1984).

JURÁSICO

En la zona estudiada afloran dos unidades estratigráficas denominadas Formación Zoropuchi, la inferior, y Formación Tarachi, la superior (Almazán-Vázquez y Fernández, en preparación). La segunda es una secuencia volcanosedimentaria fechada por Paul Damon (comunicación personal, 1985) por los métodos K-Ar y Rb-Sr. los cuales arrojaron una edad geocronométrica de 150 Ma.

Formación Zoropuchi

Esta unidad estratigráfica es una brecha masiva sedimentaria polimictica, que constituye una franja angosta de 200 m de anchura en promedio y unos 6.5 km de longitud, situada en las márgenes oriental y septentrional de los afloramientos del Paleozoico inferior.

Asimismo, se puede observar pequeños restos de erosión de la brecha sedimentaria en áreas reducidas, superpuestas a las unidades cámbrico-ordovícicas (Figura 3).

La Formación Zoropuchi está constituida por grava y bloques de forma angulosa a subangulosa, los cuales están dispuestos caóticamente en una matriz de arena gruesa de cuarzo y algunos feldspatos, de color rojo intenso por efectos de oxidación. Se aprecia, con cierta frecuencia, dentro de la brecha sedimentaria de estructura masiva, lentes arenosos de geome-

tría lenticular y espesor máximo que no sobrepasa un metro.

Los fragmentos son de cuarcita blanca de grano grueso, caliza gris de textura fina, caliza rojiza arcillosa, caliza oncólítica oscura, pedernal negro, encrineta gris, brecha intraformacional, arenisca amarillenta y roca volcánica de composición andesítica. Los clastos presentan una orientación incipiente, por efectos de sedimentación y carecen de gradación granulométrica; su tamaño varía desde 2 hasta 10 cm, llegando a alcanzar, ocasionalmente, hasta 60 cm; su forma predominante es de tabletas.

El espesor de la unidad varía desde 30 hasta 80 m, siendo el promedio 60 m; la disposición estructural es NW43°SE con una intensidad de inclinación de 60°NE.

La relación estratigráfica de la Formación Zoropuchi con las unidades cámbrica y ordovícica, infrayacentes, es a través de un contacto de discordancia erosional angular; con la Formación Tarachi, suprayacente, tiene una relación concordante, caracterizada por un cambio radical en la sedimentación.

Debido a la naturaleza catastrófica de sedimentación de la unidad, no se encontró fósiles que permitieran fecharla con precisión, observándose únicamente en fragmentos de caliza, fauna representativa del Paleozoico, como fragmentos de trilobites, equinodermos, braquiópodos y algas, entre otros.

Formación Tarachi

La Formación Tarachi es una secuencia volcanosedimentaria formada por rocas piroclásticas como toba arenosa, toba arcilloso-limosa, tobas piroconsolidadas, brecha volcánica y aglomerado, conteniendo pirita diseminada, con frecuencia cloritizadas, ocasionalmente epidotizadas y cuya composición varía desde andesítica hasta dacítica.

El paquete volcanosedimentario comprende un miembro de caliza, parcialmente recristalizada, con bandas y cuerpos irregulares de pedernal; tiene un espesor que varía desde 15 hasta 50 m y está desprovisto de fauna fósil.

En la margen oriental del área, la unidad aflora en una franja delgada en el sur, la cual se transforma en una zona amplia en la parte septentrional. En la margen occidental, al sur del arroyo Cantarranas, aflora un testigo aislado de la Formación Tarachi, cuyo diámetro no es mayor que 200 m (Figura 3).

La serie volcanosedimentaria presenta una estratificación clara que la caracteriza, aunque no presenta contenido faunístico que permita fecharla; sin embargo, en el área del cerro Las Conchas, situado 15 km al oriente, Paul Damon (comunicación personal, 1985) realizó estudios radiométricos en rocas volcánicas similares a las de la Formación Tarachi, obteniendo una edad del Jurásico Tardío (150 Ma).

La relación estratigráfica entre la Formación Tarachi y la infrayacente Formación Zoropuchi es concordante y brusca; por otra parte, con la Formación Báucarit, del Mioceno, el contacto es por fallas normales de dimensiones regionales, de gran ángulo, que truncan al patrón estructural de las rocas volcanosedimentarias en una zona amplia.

CRETÁCICO SUPERIOR

En el área está expuesto un tronco intrusivo pequeño de composición granodiorítica, cuya longitud es de aproximadamente unos 600 m y está limitado, lateralmente, por un par de

fallas normales que se inclinan hacia el surponiente (Figura 3).

Granodiorita

La roca intrusiva, en parte muy alterada, es de color verdoso, con fenocristales subhedrales de plagioclasa y euhedrales de biotita, los cuales están rodeados por una matriz cuarzo-feldespática.

El cuerpo plutónico afecta al paquete carbonatado del Cámbrico Medio, produciéndole una reducida aureola de metamorfismo de contacto.

TERCIARIO

Una zona amplia, situada en la parte occidental y en la esquina nororiental del plano geológico, está cubierta por sedimentos continentales, asignados a la Formación Báucarit, del Mioceno, los cuales están coronados por basaltos terciarios, que cubren áreas reducidas.

Formación Báucarit

Las rocas que predominan en la Formación Báucarit son brechas sedimentarias, incipientemente litificadas, constituidas por fragmentos angulosos, primordialmente de rocas volcánicas, de composición andesítica y basáltica, los cuales están rodeados por una matriz arenosa de grano grueso y que está formada por cuarzo, feldespato, mica, arcilla y detrito lítico.

Asimismo, la unidad comprende, en menor proporción, horizontes de areniscas y limolitas y, ocasionalmente, horizontes de brechas basálticas y coladas de basalto vesicular, de color oscuro, que se encuentran interestratificadas en la secuencia.

En general, la unidad presenta tonalidades amarillentas, debido a óxidos de hierro, una estructura masiva e inclinaciones que varían desde 5 hasta 20°, comúnmente en dirección de las sierras circundantes.

Basalto

Algunas áreas de distribución restringida, ubicadas en partes topográficamente elevadas, son la expresión geomorfológica de restos de coladas de basalto de color gris oscuro, con textura afanítica, estructura masiva, intensamente fracturado en pequeñas lajas, de unos 20 m de espesor máximo, que cubren, en concordancia, a la Formación Báucarit y, de manera discordante, a una pequeña zona de la Formación Zoropuchi (Figura 3).

CUATERNARIO

Una zona de forma alargada y distribución local, situada en la parte noroccidental del mapa geológico (Figura 3), está cubierta por los aportes de sedimentos de áreas adyacentes, afectadas por procesos de denudación, que rellenan el valle labrado por el arroyo Cantarranas, constituyendo los sedimentos más recientes.

CONSIDERACIONES FAUNÍSTICAS

Desde el punto de vista estratigráfico, en la zona estudiada aflora, al parecer, una secuencia continua que va, desde la base del Cámbrico Medio hasta, por lo menos, el Tremadociano, del Ordovícico Inferior. De acuerdo con las zonas fau-

nfísticas definidas por Lochman-Balk y Wilson (1958) en Arivechi, para el Cámbrico Medio, en la Formación La Sata se tiene, probablemente, la zona *Pre-Glossopleura*. Asimismo, la presencia de *Bathyriscus* sp. en la Formación El Mogallón denota claramente la zona faunística *Bathyriscus-Elrathina*, aunada a la zona *Ptychagnostus atavus* sensu R. A. Robison (1984). En la Formación Milpillas, del Cámbrico Superior, está presente la zona faunística *Dunderbergia* o *Elvinia*. Finalmente, en la Formación El Santísimo, se encuentra la zona *Symphysurina*, del Ordovícico Inferior.

Debido al desplazamiento sufrido por el paquete estratigráfico de Arivechi, fue imposible detectar todas las zonas faunísticas del Cámbrico Medio y Superior, lo cual muy probablemente se logrará en un futuro cercano, cuando se realice estudios paleontológicos más detallados.

CONSIDERACIONES PALEO GEOGRÁFICAS

Los géneros de trilobites identificados son característicos de conjuntos faunísticos de ambientes marinos miogeosinclinales, particularmente de las zonas externas contiguas al margen de la plataforma carbonatada que rodeaba a América del Norte durante el Cámbrico (Figura 4).

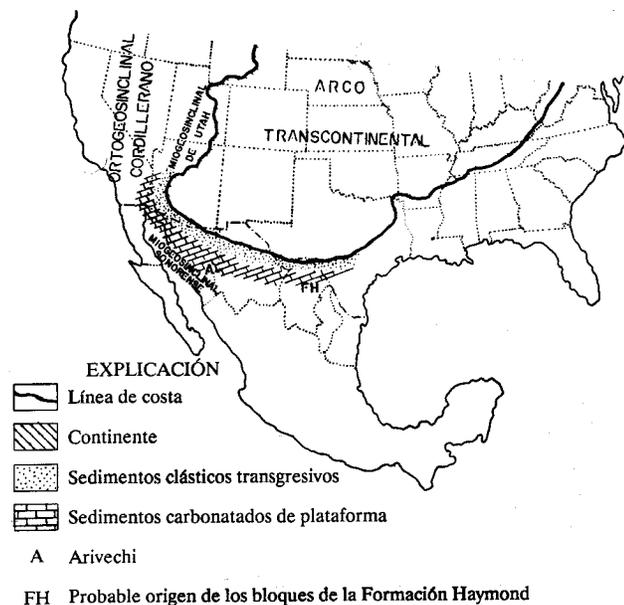


Figura 4.- Paleogeografía de la República Mexicana durante el Cámbrico Medio.

Las secuencias estratigráficas del Cámbrico Medio y Superior del ortogeosinclinal Cordillerano del poniente de América del Norte, particularmente las de los estados de Utah, Nevada y California, tienen una similitud considerable con las series litológicas expuestas actualmente en la región de Arivechi y sedimentadas en el "miogeosinclinal sonoreño".

Una de las diferencias más notables es el espesor considerablemente menor de la columna estratigráfica cámbrica de Arivechi, la cual no es la típica que presentan las secciones miogeosinclinales del Great Basin.

El cambio en la estratigrafía entre Arivechi y la sierra Agua Verde, al parecer construyó la posición de la costa de

América del Norte durante el Cámbrico, situándola en una posición no muy lejana al sur del actual límite internacional entre México y Estados Unidos de América.

CONSIDERACIONES TECTÓNICAS

La posición actual de las rocas miogeosinclinales de Arivechi podría deberse a un desplazamiento lateral siniestro denominado *megashear* Mojave-Sonora (Silver y Anderson, 1974; Anderson y Silver, 1979), que las dislocó en dirección sudoriental, por espacio de unos 700 a 800 km. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que, entre el borde occidental del cratón, ubicado un poco al poniente de Arivechi, y el borde oriental, situado en la fuente de origen de los bloques de la Formación Haymond en el Estado de Coahuila (Palmer *et al.*, 1984), existe una zona mayor que los 1,200 km de anchura sin información geológica, lo cual impide conocer la proyección del cratón de América del Norte hacia el sur, en territorio mexicano.

Por el contrario, si las series estratigráficas cámbricas de Arivechi no fueron desplazadas, dicha zona se reduciría a la mitad de la distancia y, en este caso, el cratón de América del Norte se vería fuertemente reducido en su parte austral y reforzaría la hipótesis de una posible conexión entre los sistemas Marathon-Ouachita y Cordillerano.

Así pues, es necesario realizar estudios de la parte septentrional de México, que aporten más elementos de precisión y permitan conocer los límites del cratón de América del Norte del Paleozoico inferior, en su porción austral.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece la colaboración del Dr. Allison R. Palmer, Coordinador del Programa Científico del Centenario de la Sociedad Geológica de América y del Dr. Richard A. Robison, del Departamento de Geología de la Universidad de Kansas, quienes gentilmente realizaron las determinaciones paleontológicas presentadas en este artículo, habiendo realizado el primero la mayor parte de ellas. El Ing. Miguel A. Fernández, de la Dirección de Fomento Minero del Estado de Sonora, hizo observaciones de campo importantes y comentarios interesantes acerca del manuscrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, T. H., y Silver, L. T., 1979, The role of the Mojave-Sonora *megashear* in the tectonic evolution of northern Sonora: in Anderson, T. H., y Roldán-Quintana, Jaime, eds., *Geology of northern Sonora*. Geol. Soc. America, Ann. Meeting, Guidebook, p. 59-68.
- Aponte-Barrera, Mario, 1974, *Estratigrafía del Paleozoico (Cámbrico-Pensilvánico) del centro norte de Sonora: México*, D. F. Inst. Politéc. Nal., Escuela Sup. Ing. Arquitectura, tesis profesional, 38 p. (inérita).
- Brunner, Palmira, 1984, Los conodontos de México: in Perrilliat, M. del C., ed., Oaxtepec, Mor., Cong. Latinoam. Paleontología, 3, Mem., p. 84-91.
- Cameron, C. S., 1981, *Geology of the Sugarloaf and Delamar Mountain areas, San Bernardino Mountains, California*: Cambridge, Mass. Inst. Technology, disertación doctoral, 399 p. (inérita).
- 1982, *Stratigraphy and significance of the Upper Precambrian Big Bear Group*: in Cooper, J. D., Troxel, B. W., y Wright, L. A., eds., *Geology of selected areas in the San Bernardino Mountains, western Mojave desert, and south Great Basin, California*. Anaheim, Calif., Geol. Soc. America, Ann. Meeting, Guidebook, p. 5-20.
- Cooper, G. A., y Arellano, A. R. V., 1946, *Stratigraphy near Caborca, northwest Sonora, Mexico*: Am. Assoc. Petroleum Geologists

- Bull., v. 30, p. 606-619.
- Cooper, G. A., Arellano, A. R. V., Johnson, J. H., Okulitch, V. J., Stoyanow, Alexander, y Lochman, Cristina, 1956, Geología y paleontología de la región de Caborca, norponiente de Sonora; pte. 1, Paleontología y estratigrafía del Cámbrico de Caborca: México, D. F., Cong. Geol. Internal., 20, 259 p.
- Hintze, L. F., y Robison, R. A., 1975, Middle Cambrian stratigraphy of the House, Wah Wah, and adjacent ranges in western Utah: Geol. Soc. America Bull., v. 86, p. 881-891.
- King, R. E., 1939, Geological reconnaissance of northern Sierra Madre Occidental, Mexico: Geol. Soc. America Bull., v. 50, p. 1623-1722.
- Lochman-Balk, Cristina, y Wilson, J. L., 1958, Cambrian biostratigraphy in North America: Jour. Paleontology, v. 32, p. 312.
- López-Ramos, Ernesto, 1980, Geología de México: México, D. F., t. 1 y 2, 2ª ed., Edición escolar, 450 p.
- Malpica-Cruz, Rodolfo, y Torre, Guillermo de la, 1979, Integración estratigráfica del Paleozoico de México; pte. I, Cámbrico Ordovícico: México, D. F., Instituto Mexicano del Petróleo, Subdirección de Tecnología de Exploración, Proyecto C-1079 (inédito).
- Nolan, T. B., Merriam, C. W., y Williams, J. S., 1956, The stratigraphic section in the vicinity of Eureka, Nevada: U. S. Geol. Survey, Prof. Paper 276, 77 p.
- Palmer, A. R., DeMis, W. D., Muehlberger, W. R., y Robison, R. A., 1984, Geological implications of Middle Cambrian boulders from The Haymond Formation (Pennsylvanian) in the Marathon basin, west Texas: Geology, v. 12, p. 91-94.
- Peiffer, R. F., Echávarri-Pérez, A. F., Salas, G. A., y Rangin, Claude, 1980, Sur la présence d'Ordovicien supérieur à graptolites dans le nord-ouest du Mexique: Compt. Rend. Acad. Sci. Paris, t. 290, p. 13-16.
- Raisz, Erwin, 1964, Physiographic provinces of Mexico: Cambridge, Mass., U. S. Office of Naval Research, Geography Branch, mapa con texto, escala 1:3'000,000, 2ª ed.
- Robison, R. A., 1984, Cambrian Agnostida of North America and Greenland; pte. I, Ptychagnostidae: Univ. Kansas, Paleont. Contr., Paper 109, p. 1-59.
- Silver, L. T., y Anderson, T. H., 1974, Possible left-lateral early to middle Mesozoic disruption of the southwestern North American craton margin: Geol. Soc. America, Abstr. with Programs, v. 6, p. 955-956 (resumen).
- Stewart, J. H., 1970, Upper Precambrian and Lower Cambrian strata in the southern Great Basin, California and Nevada: U. S. Geol. Survey, Prof. Paper 620, 206 p.
- Stewart, J. H., McMenamin, M. A. S., y Morales-Ramírez, J. M., 1984, Upper Proterozoic and Cambrian rocks in the Caborca region, Sonora, Mexico; physical stratigraphy, biostratigraphy, paleocurrent studies and regional relations: U. S. Geol. Survey, Prof. Paper 1309, 36 p.
- Viveros-Martínez, Alejandro, 1965, Estudio geológico de la sierra de Cabullona, Municipio de Agua Prieta, Sonora: México, D. F., Univ. Nal. Autón. México, Fac. Ingeniería, tesis profesional, 82 p. (inédita).

Manuscrito presentado: 17 de abril de 1986.

Manuscrito corregido devuelto por el autor: 10 de abril de 1987.

Manuscrito aceptado: 19 de abril de 1987.