

LOS ESTROMATOLITOS DEL PRECAMBRICO TARDIO DE LOS ALREDEDORES DE CABORCA, ESTADO DE SONORA, I; RECONSTRUCCION DE *JACUTOPHYTON* SHAPOVALOVA E INTERPRETACION PALEOECOLOGICA PRELIMINAR

Reinhard Weber¹, Sergio Cevallos-Ferriz², Alejandro López-Cortés²,
Adolfo Olea-Franco² y Silvia Singer-Sochet².

RESUMEN

Los estromatolitos de las Capas Gamuza, al sur de Caborca, Sonora, se describieron en 1941 y fueron asignados de manera indecisa a "*Collenia*" o "*Cryptozoön*". El hallazgo de *Conophyton* y *Jacutophyton* en dos localidades permite apoyar la asignación previa de las Capas Gamuza al Precámbrico Tardío, al menos en cuanto a los estratos que contienen *Jacutophyton*. Las Unidades 10 a 12 de las Capas Gamuza (*sensu* Anderson *et al.*, 1978) carecen de estromatolitos y de otros fósiles índice. Su asignación al Precámbrico es, por lo tanto, tentativa. Los excelentes afloramientos de biohermas estromatolíticas en el área permiten la reconstrucción e interpretación paleoecológica, la cual es fundamental en la correlación local y regional (análisis de cuenca). Se concluye que los biohermas se desarrollaron en un ambiente marino y, al menos temporalmente, en la zona de inframarea, debajo de la repercusión del oleaje.

ABSTRACT

The fossil stromatolites of the Gamuza Beds, south of Caborca, Sonora, were discovered in 1941 and afterwards assigned to "*Collenia*" or "*Cryptozoon*" in a tentative manner. The finding of *Conophyton* and *Jacutophyton* at two localities allows to corroborate the previous assignment of the Gamuza Beds to the Late Precambrian, at least up to the uppermost level with *Jacutophyton*. The Units 10 to 12 of the Gamuza Beds (*sensu* Anderson *et al.*, 1978) do not carry stromatolites and lack other guide fossils. Their attribution to the Precambrian is therefore tentative. Excellent outcrops of stromatolite bioherms in the area allow the reconstruction and paleoecological interpretation fundamental in local and regional correlation (basin analysis). The bioherms developed in a marine environment and, at least temporally, at the subtidal zone and below the wave base.

INTRODUCCION

En las últimas dos décadas, el conocimiento de los estromatolitos fósiles se incrementó en tal forma que, hoy en día, es una rama vigorosa e independiente de la paleobiología y de la bioestratigrafía, y es cultivada en numerosos centros de investigación. El descubrimiento de estromatolitos precámbricos en los alrededores de Caborca, Sonora, en 1941, no ha conducido de inmediato a investigaciones paleontológicas formales. En consecuencia, la información publicada sobre estas estructuras algales no va más allá de su mención y uso para determinar la edad de las rocas portadoras, en varios artículos geológicos, o de su ilustración en algunos trabajos de divulgación.

Aquí se presentan los primeros resultados de una investigación paleobotánica formal que se inició en la primera mitad de 1978 y cuyo objeto es el de comprender los estromatolitos fósiles de Caborca, en el contexto de la paleobiología del Precámbrico, con el fin de aportar elementos esenciales para la estratigrafía de esta región. Al elaborar una síntesis de la paleobotánica de México (Weber, 1978) se consideró la conveniencia de desarrollar este tema de investigación. El trabajo se inició en agosto de 1978 a través

de un curso de biología de campo, impartido por Weber y Cevallos-Ferriz, en la Facultad de Ciencias de la UNAM. Del 20 de septiembre al 4 de octubre del mismo año, se realizó una excursión al área de Caborca que incluyó la búsqueda de estromatolitos y pedernal asociado a ellos, la observación e interpretación de algunas de estas estructuras *in situ* y la planeación de trabajos de campo posteriores. Además, se colectaron unas 100 muestras de estromatolitos y pedernal, que se depositaron en el Museo de Paleontología del Instituto de Geología de la UNAM, con los números de catálogo provisionales WGB 78-1 a 78 y WGB 78-P1 a 21.

LOS ESTROMATOLITOS, SU IMPORTANCIA Y DISTRIBUCION EN EL PRECAMBRICO

Las dificultades inherentes a la utilización del registro fósil para dilucidar la historia evolutiva de los organismos, se incrementan cuando se intenta reconstruir la ecología de la biósfera del Precámbrico.

A partir de los descubrimientos de Tyler y Barghoorn (1954), durante las últimas dos décadas, se ha revolucionado el estudio de los organismos que poblaron el Planeta antes de la aparición de metafitas y metazoarios. En la búsqueda de una comprensión de la historia de la vida en el Precámbrico, se han utilizado tres grandes tipos de evidencia fósil: (1) los microfósiles celulares conservados en pedernal y, en mucho menor medida, en carbonatos y lutitas,

1.- Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México 20, D. F.

2.- Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México 20, D. F.

(2)-los estromatolitos, y (3)-los corripuestos organicos fosiles en rocas sedinieritarias. La mayor parte de lo que se sabe sobre los eventos evolutivos previos a la aparicion de metafitas y metazoarios se basa en estudios detallados de microfósiles hallados en pedernal.

Los estromatolitos son cuerpos organosedimentarios producidos por cierta combinacion del entranpamiento, union y precipitacion de sedirriente, conio resultado de las actividades metabólicas y del crecimiento de comunidades de microorganismos, especialmente cianoficeas (Walter, 1976, p. 1).

Para comprender la paleobiologia del Precámbrico, ha sido necesario el estudio de los estromatolitos actuales, tanto a nivel morfologico, conio a aquel de los procesos biologicos asociados con su formacion. Por otro lado, gran parte del conocimiento sobre la paleobiologia de los estromatolitos fósiles se ha derivado y tendra que adquirirse de observaciones directas sobre su tamano, arquitectura, macro y microestructura, tipo y variacion de biohermas y distribucion en el tiempo y en el espacio. Aunque los estromatolitos actuales semejan en muchos aspectos a los del Precámbrico, en cuanto a su diversidad y frecuencia, no son equiparables con aquellos. Valga anadir que el razonamiento actualista se encuentra con limitantes notables en este contexto.

Los estromatolitos presentan una gran variedad de formas arquitectonicas; los hay estratiformes, discoidales, columnares sin ramificar o ramificados, con ramas isodiamétricas aplanadas o tabulares y, finalmente, muy irregulares. En su interior, pueden presentar estructura laminada o carecer de laminacion (en este ultimo caso se les da el nombre de trombolitos). En su edificacion intervienen bacterias, cianoficeas y algas eucariontes (sobre todo cloroficeas), unicelulares y filamentosas, las cuales forman tapetes coherentes, asociadas de maneras muy diversas. Estan compuestos basicamente por carbonatos de calcio y magnesio, aunque algunos consisten de oxidos de fierro y manganeso, sílice opalino o pedernal, minerales de fosforo e, inclusive, de arenisca de cuarzo (Walter, 1977).

En la actualidad, los estromatolitos se encuentran en zonas restringidas de lagos, pantanos, manantiales calientes y frios, planicies de marea, bahias hipersalinas y fondos oceanicos. En el mar se les localiza en las zonas de intermaree e infranmaree; en esta ultima se forman predominantemente estromatolitos columnares.

En la morfogenesis de los estromatolitos participan fundamentalmente dos fuerzas: las corrientes de agua y la reaccion fototactica de los microorganismos edificadores. En la mayoria de los casos, el balance entre estas dos fuerzas determina la forma de los estromatolitos. En ausencia de corrientes fuertes, la forma del tapete algal puede ser controlada por la reaccion a la luz. Cuando las corrientes son fuertes, las fuerzas modeladoras dominantes son la erosion direccional y la depositacion. No obstante, aun con factores ambientales fuertes, la morfogenesis puede estar ampliamente influida por procesos biologicos; por ejemplo, el contorno de las laminas y la microestructura de los estromatolitos estan determinados por la forma del tapete algal.

Registro fosil de los estromatolitos del Precámbrico.

En el pasado, los estromatolitos formaban grandes arrecifes en ambientes en los que ahora su importancia es insignificante.

Aparecen por primera vez en sedimentos del Arqueano (3,760 - 2,500 m. a. A.P.*) que contienen microbios poco diversificadas y mal conservadas. Hasta el momento, solo se han senalado cuatro horizontes estromatolíticos, dos en Canada y dos en Kodesia (Awramik, 1977).

La presencia de estromatolitos en el Arqueano permite afirmar que los microorganismos desarrollaron la habilidad de vivir bentonicamente en una etapa temprana de su evolucion. El desarrollo de una cubierta o envoltura probablemente proporcione ciertas ventajas selectivas, ya que: (1)-el mucilago ayndaria en el entranpamiento y union de sedimentos, y la existencia dentro del sedimento podria haber protegido a los microorganismos de radiaciones perjudiciales, (2)-la cubierta misma pudo constituir una protección contra las radiaciones ultravioletas, (3)-el mucilago podria haber contribuido a la existencia bentonica, y (4)-el mucilago contribuye a la naturaleza cohesiva de los tapetes algales, permitiendo que estos puedan resistir cambios de turbulencia, corrientes, etc. (Awramik, 1977).

En el primer tercio de Proterozoico (2,500 - 1,800 m. a. A.P.), aparecen las evidencias mas antiguas que se conocen de abundantes estromatolitos carbonatados (2,300 m.a.). Desde este momento hasta finales del Precámbrico, la abundancia, distribucion geografica y diversidad de los estromatolitos se incrementan (Schopf, 1978).

Con respecto al ambiente de aquella epoca de la historia de la Tierra, muchos investigadores, particularmente Cloud (1974), han senalado que la evidencia geologica indica una importante transicion hace unos 2,000 m. a. en el contenido atmosferico de oxigeno, de una condicion casi anoxica a un contenido de oxigeno quizá del uno por ciento del nivel actual. Para evidenciar la magnitud de la controversia relacionada con lo anterior, se tienen que mencionar las deducciones de Dimroth y Kimberly (1976) y de Margulis, Walker y Rambler (1976) quienes, con base en observaciones muy diversas, llegaron independientemente a la conclusion de que la atmosfera oxidante ya se habia establecido mucho antes, tal vez hace mas de 3,750 m.a. A.P.

Hace aproximadamente 2,000 m.a. el hábito estromatolítico se establecio en las zonas someras de inframarea e intermaree. Esta invasion de la zona de intermaree requiere de la evolucion de mecanismos adicionales para adaptarse a un ambiente predominantemente expuesto. Estos mecanismos habrian surgido para permitir una adaptacion a: (1)-ondas luminosas de longitud de onda más corta, (2)-altas intensidades de luz visible que en la presencia de oxigeno descompone la clorofila y los carotenoides, produciendo epóxidos potencialmente letales, (3)-la perdida de agua, y (4)-probablemente, la temperatura y salinidad sujetas a cambios constantes (Awramik, 1977).

Posiblemente durante el segundo tercio del Proterozoico (1,800 - 1,200 m.a. A.P.), sucedio uno de los eventos de mayor trascendencia en la evolucion biologica: la aparicion de los eucariontes; desde entonces, estos participan en la edificacion de los estromatolitos junto con bacterias y cianoficeas. Basandose en una revisión del registro precámbrico de los metazoarios, Durharri (1978) ha llegado a suponer una edad tal vez mayor de los 2,000 m. a. para este grupo de indudables eucariontes. Por lo tanto, es razonable pensar que la edad de las algas eucariontes sea mayor que

* A.P.: antes del presente

la anteriormente señalada.

La abundancia, diversidad y distribución geográfica de los estromatolitos en el último tercio del Proterozoico (1,200 - 570 ni. a. A.P.) han conducido a algunos investigadores a denominar este periodo de la historia de la Tierra como la "era de los estromatolitos".

Con base en las microbiotas del último tercio del Proterozoico, parecen válidas las siguientes conclusiones:

1. Las abundantes y ampliamente distribuidas comunidades edificadoras de estromatolitos estaban compuestas sobre todo por cianofíceas, a diferencia de las microbiotas del primer tercio del Proterozoico, que incluían una proporción relativamente grande de procariontes de afinidad desconocida, posiblemente poco relacionados con bacterias y cianofíceas. Las microbiotas del segundo y tercer tercios contienen diversas agrupaciones de cianofíceas filamentosas (incluyendo aparentes Oscillatoriaceae, Nostocaceae, Rivulariaceae) y coccoidales (Entophysalidaceae, Pleurocapsaceae pero, sobre todo, Chroococcaceae).

2. Aparte de las comunidades bentónicas edificadoras de estromatolitos, durante la última parte del Proterozoico eran abundantes y estaban muy esparcidas y diversificadas las algas unicelulares planctónicas, representadas en el registro fósil por palinomorfos tales como esporas, acritarcas, etc.

3. Se sabe con certeza que, antes del fin del Precámbrico, habían aparecido ya organismos multicelulares (Durham, 1978).

Algunos estromatolitos tienen distribución geográfica amplia y distribución geográfica vertical restringida, por lo que pueden ser utilizados como fósiles índice. Los estromatolitos columnares son los que se han utilizado con mayor éxito en estudios bioestratigráficos del Proterozoico.

La disminución en diversidad y abundancia de los estromatolitos hacia finales del Precámbrico podría reflejar la aparición de organismos excavadores y consumidores de algas, sobre todo gasterópodos. Por otro lado, estos animales son también precipitadores de carbonato de calcio, por lo que habrían sido competidores, en este aspecto, de los estromatolitos.

INVESTIGACIONES PREVIAS SOBRE EL PRECAMBRICO SEDIMENTARIO DE CABORCA

Desde el siglo pasado, en numerosas ocasiones se ha señalado la existencia de rocas precámbricas o arcaicas en la República Mexicana, sin evidencia estratigráfica convincente. Las primeras rocas precámbricas genuinas del país fueron descubiertas por Taliaferro (1933) quien estudió la región de Cabullona, en la parte nororiental de Sonora (de Cserna, 1962).

Descubrimiento y denominación de las Capas Gamuza. En 1941, Isauro G. Gómez y Lorenzo Torres Izabal hallaron trilobites y ejemplares de "Collenia" en localidades cercanas a Caborca. De acuerdo con Stoyanow (1942, p. 1263-1264), los estromatolitos se presentan en una unidad que denominó "Formación Jojoba", la cual asignó al Precámbrico Tardío. Este nombre no se ha utilizado en trabajos posteriores y su publicación en el lugar citado carece de validez nomenclatorial. Arellano (1946, p. 56) y Cooper y colaboradores (1956, p. 16, 26) llamaron a esta secuencia sedimentaria, de manera informal, "Capas" o "Serie con

Collenia". Sin embargo, las mismas rocas ya habían sido observadas en 1922 por Keller y Wellings (Arellano, 1956, p. 516), quienes les dieron el nombre de "Capas Gamuza" y las asignaron al Carbonífero Inferior y niveles más bajos. Recientemente, Anderson y colaboradores (1978) retomaron este nombre, que se utilizara también en el presente artículo.

Reconocimiento y subdivisión de las Capas Gamuza.- El personal científico del Instituto de Geología de la UNAM, principalmente por conducto del Ing. A. R. V. Arellano, de feliz memoria, ha participado en el estudio de las Capas Gamuza a partir de 1943. En cooperación con la Smithsonian Institution de Washington, desarrolló un proyecto importante de estratigrafía y paleontología, particularmente sobre el Cámbrico de la región de Caborca, que es rico en fauna fósil. Dichas investigaciones quedaron concluidas con las publicaciones de Cooper y colaboradores (1956) y de Arellano (1956).

Los primeros resultados de este proyecto fueron publicados por Arellano (1946) y Cooper y Arellano (1946), e incluyen, en forma breve, datos estratigráficos relativos a las Capas Gamuza. Estos autores, en la Sierra Rajón, los Cerros del Gachupín (o Cerro Gamuza) y El Arpa, observaron una secuencia tripartita de sedimentos diversos, predominantemente carbonatados, que asignaron al Precámbrico por la presencia de "Collenia" o de "criptozoarios" en la Unidad-media. El espesor total de esta secuencia es de 1,600 a 1,650 m. A partir de sus estudios de reconocimiento, en cuyo curso descubrieron también los afloramientos con estromatolitos en el Cerro de La Milla, se llevó a cabo una serie de proyectos geológicos que paso a paso ha completado el cuadro de la distribución geográfica de las Capas Gamuza, a través de levantamientos geológicos

Damon y colaboradores (1962) publicaron fechas radiométricas (K-Ar y Rb-Sr), obtenidas en rocas precámbricas y más jóvenes de la región de Caborca, además de dos mapas de reconocimiento geológico de los Cerros El Arpa y La Berruga, respectivamente.

En una tesis de maestría del San Diego State College, Eells (1972) cartografió detalladamente la geología de la Sierra de La Berruga, incluyendo los Cerros La Berruga, San Clemente, Aquituni y Calaveras, al poniente y surponiente de Bamori. Los mapas de Eells están publicados por Anderson y colaboradores (1978, figs. 2 y 5). A su vez, Hardy (1973), en una tesis de la misma escuela, descubrió y cartografió geológicamente afloramientos del Precámbrico sedimentario en la Sierra Santa Rosa, al sureste de Bamori.

Además, se conocen afloramientos de las Capas Gamuza en el Cerro del Viejo, al poniente de Bamori, y en el Cerro Clemente, no idéntico al Cerro San Clemente, al oriente del mismo Rancho (Merriam, comunicación personal escrita).

Eells (in Anderson et al., 1978) describió detalladamente las Capas Gamuza, y las subdividió en 12 unidades; de estas, las 2, 3 y 9 contienen estromatolitos.

Actualmente, algunos geólogos de la Universidad de Sonora están levantando mapas geológicos detallados del Cerro Gamuza, de los Cerros Caborca que, tal vez, sean idénticos al llamado Cerro San Pedro (Arellano, 1946, p. 56) y del Cerro Rajón.

Límites y edad de las Capas Gamuza. La base de las

Capas Gamuza fue identificada por Damon y colaboradores (1962, p. 22 *et. seq.*) en el contacto discordante con el zocalo metamorfico del "Precámbrico Anterior", en el Cerro La Berruga, y con el Granito Aibo, expuesto en el Cerro El Arpa. La presencia de dicho granito ya habia sido senalada por Cooper y Arellano (1946, p. 688), aunque ellos no habian observado el conglomerado basal de las Capas Gamuza suprayacente al granito, por lo cual no descartaron la posibilidad de que se tratase de un cuerpo intrusivo emplazado despues del deposito de las Capas Gamuza. De acuerdo con las fechas radiométricas disponibles hasta ahora, el Granito Aibo es la roca mas joven localizada debajo de las Capas Gamuza.

Damon y colaboradores (1962, p. 23, tab. 5) obtuvieron, mediante el método de Rb-Sr, una edad aparente de 710 ± 100 m. a. para el Granito Aibo. Este mismo granito fue fechado recientemente por Anderson y colaboradores (1978, p. 11, 12), utilizando el metodo U-Pb en zircones, como de $1,110 \pm 10$ m.a.

La posibilidad de que en las Capas Gamuza existan estratos de mayor edad que el Granito Aibo a nivel regional, es remota, aunque hay que tenerla en mente para investigaciones futuras.

El contacto de las Capas Gamuza con el Cámbrico suprayacente fue localizado mediante inferencia por Arellano (1946, p. 56) debajo de los estratos cambricos (Formacion Puerto Blanco), expuestos en el flanco septentrional del Cerro Canedo. Recientemente, Anderson y colaboradores (1978, p. 26) encontraron este contacto expuesto en el Cerro Calaveras. La Formacion Puerto Blanco tiene unos 320 m de espesor en su localidad tipo, que se ubica en el extremo occidental del Cerro La Proveedora (Cooper *et al.*, 1956). Esta formacion es la unidad mas antigua con trilobites en la region de Caborca, y contiene *Olenellus*, *Hyalolithes* y *Lingulella*, en un nivel inferior, y *Obolella*, *Wanneria* y *Olenellus*, en niveles superiores (Lochmann-Balk, 1956, p. 531). No obstante, la verdadera posición estratigrafica de la Formacion Puerto Blanco, en cuanto a la base del Sistema Cámbrico, aun no esta firmemente establecida. Durham (1978, p. 22), por ejemplo, senala que:

"Previamente he constatado en varios lugares que haya utilizado la primera aparicion de trilobites ... como marca de la base del Cámbrico. Sin embargo, los argumentos de Rozanov y colaboradores (1969), Daily (1972) y Cowie y Glaesner (1975) son convincentes, y estoy utilizando tentativamente la base del Piso Tommotiano ruso como limite. Aparentemente, trilobites (cuerpos fosiles) se encuentran solo cerca de la cima del Tommotiano o de la base del Piso Atabariano inmediato superior."

La edad de la base del Tommotiano ha sido determinada radiométricamente en 570 m. a. A.P. (Cowie y Glaesner, 1975).

Si se acepta el punto de vista de Durham y de los autores citados por él, la Formacion Puerto Blanco va no necesariamente debe ser considerada como el nivel mas antiguo del Cámbrico en la region de Caborca. De hecho, Anderson y colaboradores (1978) senalan que la Unidad 12 de las Capas Gamuza podria formar parte del Sistema Cámbrico. Por lo tanto, es necesario buscar evidencia critica nueva para analizar si las Capas Gamuza, en su totalidad, pertenecen al Precámbrico. Esto se vuelve aun mas obvio si se toman en cuenta las siguientes dos observaciones: (1)-la correlacion de las unidades precámbricas y cámbricas

tempranas de Sonora con las del suroeste de los Estados Unidos de America, que se basa anipliamente en similitudes litologicas, es todavia tentativa (Anderson *et al.*, 1978), y (2)-la asignacion de las formaciones Deep Spring, Reed Dolomite, Stirling Quartzite, Johnnie y Noonday Dolomite, del suroeste de los Estados Unidos de America, ya sea al Precámbrico o al Cámbrico, es insegura (Stewart, 1970).

En parte, este problema se solucionara localizando fosiles indice en las Capas Gamuza. Ciertamente, en primer termino habra que buscárseles entre los estromatolitos.

Los estromatolitos de las Capas Gamuza.- Muy poco se ha escrito hasta la fecha sobre la naturaleza propia de los estromatolitos de las Capas Gamuza. Stoyanow (1942, p. 1264) los llamo "*Collenia*", senalando que formaron arrecifes. Arellano (1946, p. 56) menciona "*Collenia*" y "criptozoarios cilindricos de un diametro variable entre 5 y 50 cm, y con dimensiones axiales semejantes, acomodados en todas posiciones respecto a la estratificacion." Cooper y Arellano (1946, p. 609) dieron preferencia al nombre de "*Cryptozoon*": para regresar posteriormente (1956, p. 16 y 26) a "*Collenia*": que se ha venido utilizando en las publicaciones subsiguientes. Aparece todavia en Anderson y colaboradores (1978, p. 17 y 18) donde, ademas, se encuentra una breve descripcion petrográfica de algunas estructuras algales y se menciona la presencia de algas en forma de bizcocho, en la Unidad 3 de las Capas Gamuza. De lo anterior se desprende que los nombres citados se han utilizado de una manera informal, y que apenas puede decirse que los estromatolitos ya esten identificados.

Según Johnson (1961), en los anos cincuenta se conocian tambien "*Collenia*" y "*Cryptozoon*" del Paleozoico, por lo que es dificil entender la afirmacion de Arellano (1956, p. 509) de que fuesen indicativos de formaciones precámbricas.

AREA DE ESTUDIO Y LOCALIDADES FOSILIFERAS

Area de estudio.- La zona de trabajo (Figuras 1 y 2) abarca los alrededores de Caborca, entre los paralelos $30^{\circ} 45'$ y $30^{\circ} 20'$ N y los meridianos $112^{\circ} 10'$ y $112^{\circ} 00'$ W. Caborca se ubica al extremo noroeste de esta area. La segunda poblacion en importancia es Pitiquito, situada a 11 km del centro de Caborca, hacia el este-sureste. La via principal de comunicacion del area es la Carretera Federal Num. 2. Mas alla, el area es accesible solo a traves de caminos de tierra, como el que parte de Pitiquito al sur, rumbo al Rancho Bamori. Este camino es transitable en todas las estaciones del ano y solo rara vez resulta interrumpido por las avenidas de los arroyos teniporales. El Ferrocarril del Pacifico tiene estaciones en Caborca y Pitiquito.

Localidad 1: Cerro de La Maquina.- Esta elevacion topografica se situa en la periferia nororiental de Caborca, entre la via del ferrocarril al norte y la Carretera Federal Num. 2 al suroeste, entre las coordenadas $30^{\circ} 42' 50''$ N y $112^{\circ} 08' 20''$ W. En el Cerro de La Maquina aflora una secuencia de dolomitas, dividida en dos partes por una intercalacion potente de cuarcita. La orientacion del cerro es NW-SE y los estratos tienen inclinacion hacia el sur. En las dolomitas se distingue una laminacion fina que puede ser

originada por la actividad de algas, mas no se observaron estromatolitos de forma definida. Las rocas que afloran en

el cerro fueron asignadas por Cooper y Arellano (1946) al Precámbrico.

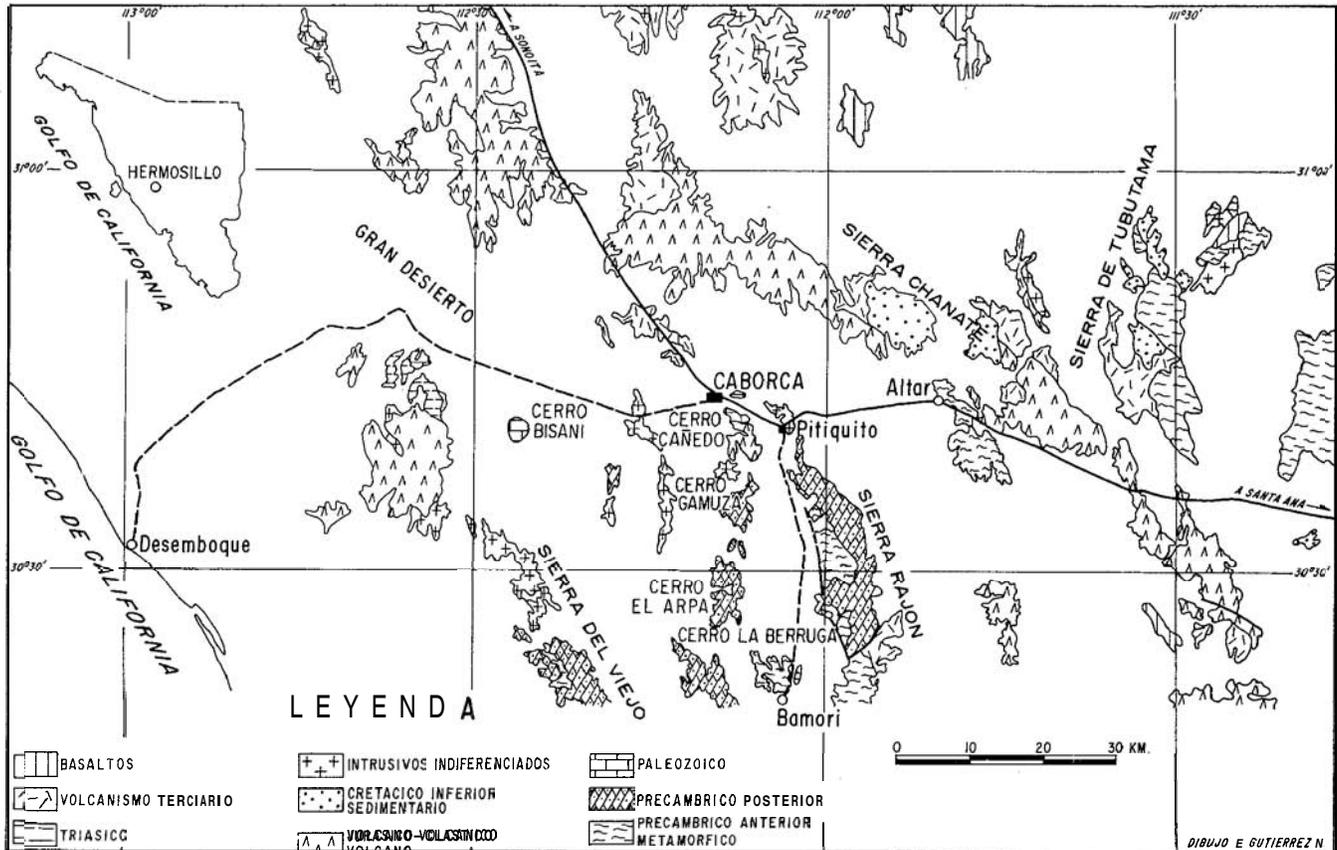


Figura 1.- Esquema geológico del noroeste del Estado de Sonora (modificado segun mapa de Rangin y Roldan-Quintana, 1978: frente a p. 98).

Localidad 2: Cerrito de La Milla.- Esta elevacion se localiza al norte de Caborca, entre la via del Ferrocarril del Pacifico y la Carretera Federal Num. 2, en la interseccion de las coordenadas $30^{\circ} 43' 15''$ N y $112^{\circ} 08' 50''$ W. El Cerrito de La Milla y el Cerro de La Maquina (loc. 1) son muy parecidos en cuanto a la orientacion y la inclinacion de los estratos, misma que varia entre 50 y 90° S. La secuencia que aflora en el Cerrito de La Milla tiene su base en la falda noroccidental del mismo.

En la secuencia normal, primeramente se observan dolomita-masivas que contienen estromatolitos columnares, cubiertas por calizas con estructuras algales parecidas a las anteriores. Sobreyacen a estas capas de pedernal de al menos 2 m de espesor, seguidas nuevamente por calizas y dolomitas con biohermas algales de gran diversidad arquitectonica.

Las unidades sobreyacentes estan mejor expuestas en las partes media y oriental del cerro. La cresta en la porcion media esta formada por dolomita de color gris obscuro, que contiene un bioherma muy macizo de columnas del tipo *Conophyton*, resistente al intemperismo, y que esta frecuentemente alterado por silicificacion parcial. La secuencia termina con dolomitas de color gris obscuro muy parecidas a las de la localidad anterior. Estas afloran solamente en la parte suroriental del Cerrito de La Milla y carecen de estromatolitos de forma definida.

Localidad 3: Cerro Canedo.- Esta elevacion topografica se localiza 2 km al sureste de Caborca al costado sur del Rio Magdalena, a $30^{\circ} 41' 40''$ N y $112^{\circ} 07' 30''$ W. El rum-

bo de los estratos es E-W, con inclinacion hacia el sur. Las rocas de este cerro fueron atribuidas por Arellano (1946) a la Formacion Puerto Blanco, debido a la presencia de trilobites. Sin embargo, las mismas rocas, en el mapa de Rangin y Roldan (1978, junto a p. 98), estan asignadas al Precámbrico.

En la parte superior de la seccion afloran estratos potentes de cuarcita, frecuentemente intercalados con carbonatos puros. En la cuarcita se observaron diastratificacion, huellas de oleaje y restos de animales de concha dura. Ademas, se colecto un ejemplar de arqueociatido, identificado por Durham (comunicacion verbal). Estas observaciones parecen corroborar la asignacion original al Cambrico de las rocas mencionadas del Cerro Canedo.

Localidad 4: Cerros Gamuza.- Esta serrania cubre una superficie relativamente grande, unos 15 km al sur-sureste de Caborca. Se visitaron algunos lomerios al extremo sur, a los cuales corresponden las coordenadas $30^{\circ} 33' 00''$ N y $112^{\circ} 06' 10''$ W. Se encontraron rocas carbonatadas con estructuras estromatolíticas muy escasas, que se colectaron en forma de cantos rodados.

Localidad 5: Cerros Caborca.- Estos cerros, provisionalmente llamados así por geologos de la Universidad de Sonora, forman la parte mas septentrional de la Sierra del Rajon, que se extiende en direccion sur-sureste de Pitiquito, hasta casi la latitud de Bamori. Las porciones sur y media de la sierra fueron llamadas por Arellano (1946) Cerro Rajon y Cerro Chino, mientras que el nombre de Cerro San

Pedro, citado por el mismo autor, tal vez corresponda a la parte llamada aquí Cerros Caborca.

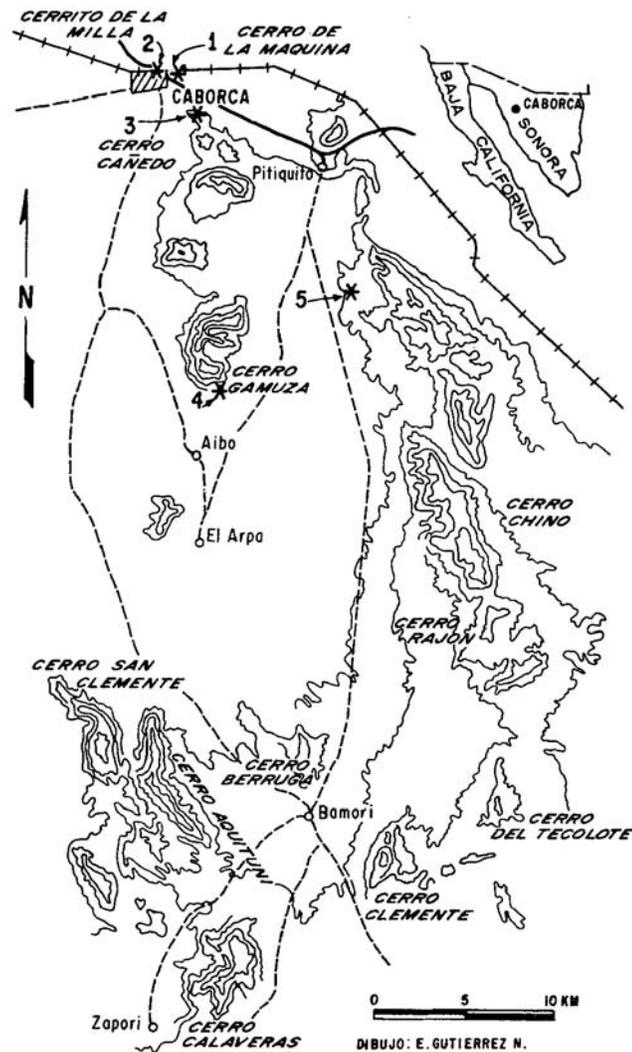


Figura 2.- Mapa que muestra las localidades visitadas (modificado según Anderson y colaboradores, 1978, fig. 1).

Unos ocho kilómetros al sur-sureste de Pitiquito, la sierra esta constituida por dos cadenas paralelas mayores, de las cuales la occidental se encuentra cortada perpendicularmente por dos valles profundos. El area visitada se ubica entre las coordenadas $30^{\circ} 36' 00'' N$ y $112^{\circ} 01' 50'' W$, donde el valle localizado al sur se abre hacia la planicie. El lugar se reconoce facilmente desde el camino de Pitiquito a Bamori, pues el costado norte del valle esta formado por una serie de pequenas elevaciones, de las cuales la primera y mas occidental tiene forma de cono y esta constituida por cuarcita roja de las Capas Gamuza. Los estratos en esta area tienen inclinacion hacia el este. La seccion que aflora en el area comienza con las cuarcitas rojas mencionadas, sobre las que descansan potentes estratos de rocas carbonatadas que forman las elevaciones mas orientales. En la secuencia normal, estas rocas carbonatadas pueden dividirse en un intervalo inferior de dolomitas de color gris obscuro sin estromatolitos, seguido por un potente intervalo medio de calizas y dolomitas con estructuras algales, separado de un intervalo superior por un estrato muy uniforme de arenisca calcarea de color gris claro, que muestra una coloración

beige en las superficies expuestas a la intemperie. Este estrato tiene un espesor de entre 1 y 2 m, muestra una laminación fina y subyace a otra unidad de dolomitas y calizas con estromatolitos, el intervalo superior mencionado anteriormente. En los niveles subyacentes a la arenisca calcarea, se observan estromatolitos columnares muy altos y ramificados.

OBSERVACIONES

Terminología de cortes.- Las siguientes descripciones de los estromatolitos se basan en observaciones de campo en una serie de diferentes tipos de cortes, expuestos en los afloramientos, que se definen a continuacion:

Con respecto al estrato se utilizaron:

Corte horizontal: atraviesa el estromatolito paralelamente al estrato.

Corte vertical: corta el estromatolito perpendicularmente al estrato.

Con respecto al estromatolito, los cortes se denominan de la manera usual en anatomia de maderas:

Corte transversal: secciona el estromatolito perpendicularmente al eje de mayor longitud.

Corte oblicuo: atraviesa el estromatolito con un angulo de inclinacion mayor a 0° y menor a 90° , con referencia al eje de mayor longitud.

Corte radial: secciona el estromatolito en el plano a que pertenece el eje de mayor longitud.

Corte tangencial: atraviesa el estromatolito en algún plano paralelo al corte radial.

Descripcion de Conophyton MASLOV.- En el Cerrito de La Milla y en los Cerros Caborca se localizaron estromatolitos que, en corte horizontal, muestran un contorno circular o subcircular de hasta 50 cm de diametro y laminación concentrica (Figuras 3 y 4). En el centro de los mismos cortes, se nota frecuentemente una porcion circular de 2 a 3 cm de diametro, la cual destaca por su color relativamente claro (Figura 3). Algunos de estos ejemplares se examinaron, no solo en cortes horizontales, sino tambien en un corte vertical que supera al horizontal correspondiente en longitud, mas no en anchura. Así se pudo establecer que se trataba de estromatolitos columnares. En cortes radiales (Figuras 5 y 6), se observo que la porcion de color claro, antes senalada para el centro del corte horizontal, pertenece a una estructura central continua a lo largo de todo el eje geometrico de la columna. A veces, este eje central, tentativamente comparable a una medula, se halla un tanto desplazado del eje geometrico. No obstante, en general los ejes centrales son muy rectos y, en columnas vecinas, marcadamente paralelos. Se distinguen de las porciones más externas de las columnas no solo por el color, sino tambien en la laminación. En el corte radial, la laminación de las porciones externas presenta un patron de "V" invertida y densamente sobrepuesta, mientras que en el eje central, las láminas son transversales o un poco concavas, con frecuentes intervalos rellenos de silice.

Dada la tridimensionalidad de las columnas y teniendo en cuenta que las laminas son concentricas en corte horizontal, se concluye que estas ultimas tienen forma de conos truncados sobrepuestos. Esto queda comprobado por la forma que muestran las laminas consecutivas en cortes oblicuos (Figura 7).



Figura 3.- Bioherma de *Conophyton*. Corte aproximadamente transversal, expuesto en el cauce de un arroyo seco. Se observan varios cortes de columnas de hasta 35 cm de diámetro. Las columnas no están ramificadas. Localidad 5, Cerros Caborca. Fotografía de Reinhard Weber.

La estructura descrita corresponde al género *Conophyton* Maslov 1937.

Descripción de Jacutophyton SHAPOVALOVA.- En los Cerros Caborca y, en menor medida, en el Cerrito de La Milla, se observaron cortes verticales de estromatolitos columnares del tipo *Conophyton*, pero con arquitectura más compleja, porque en la superficie de las columnas se desarrollan ramas de dirección y longitud variables (Figuras 8 y 9). Para la descripción siguiente es preciso añadir que las columnas tienen orientación vertical con respecto

al estrato, de manera que los cortes horizontales de las mismas coinciden con cortes transversales.

Las ramas siempre están orientadas en sentido ascendente, de modo que forman un ángulo axilar α menos de 90° con respecto al eje central de la columna correspondiente. La laminación de las ramas es notablemente diferente de la que se observa en las columnas (compárese descripción de *Conophyton*). La principal diferencia reside en que las ramas carecen de un eje central. Para comprender los patrones de laminación de las ramas, hubiera sido útil

hacer series de cortes lo cual, por razones técnicas, no ha sido posible. Por lo tanto, la descripción siguiente se basa en observaciones de campo de un gran número de cortes

naturales, los cuales muy a menudo son oblicuos (Figura 10).

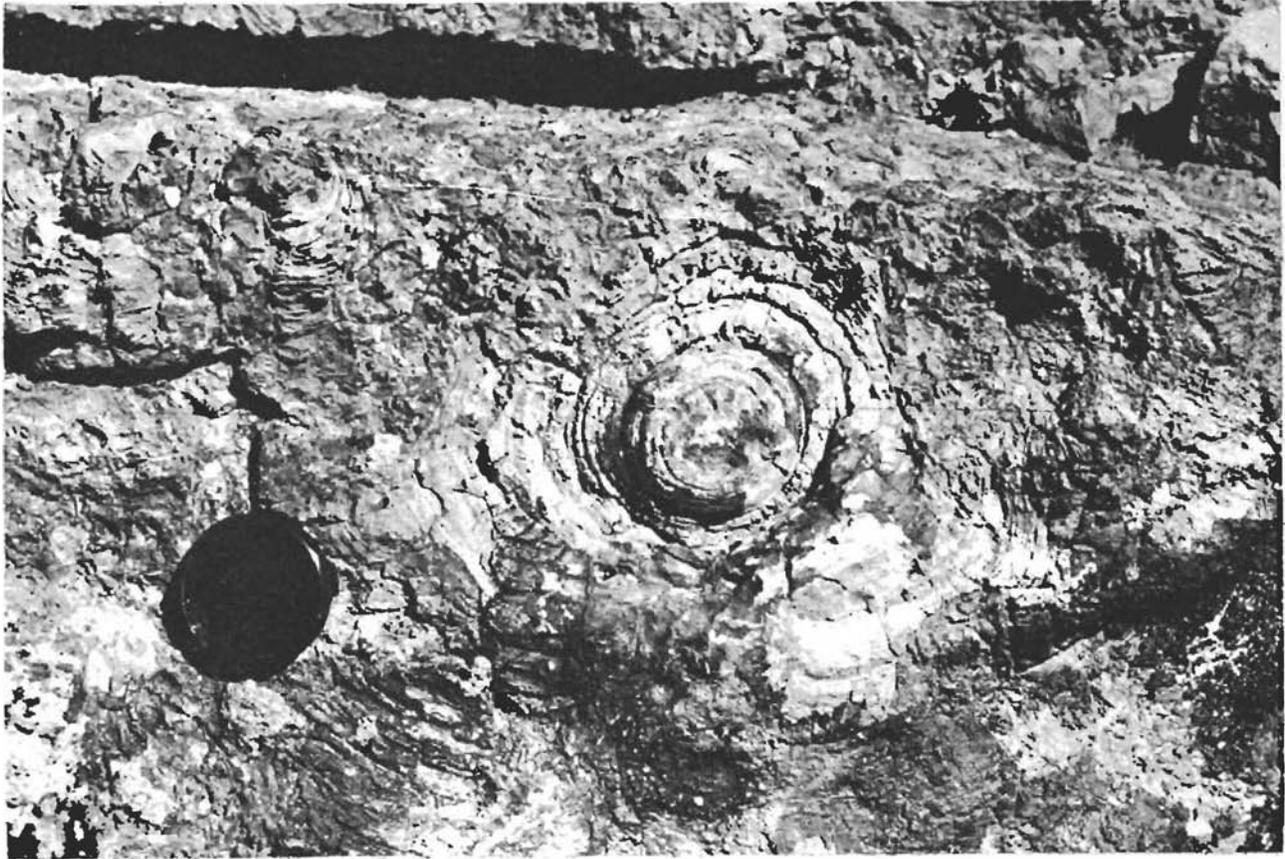


Figura 4.- Corte transversal de estromatolito columnar con estructura de *Conophyton*, con protuberancias superficiales (*Jacutophyton*). El objeto de escala tiene 5 cm de diámetro. Localidad 2, Cerrito de La Milla. Fotografía de Miguel Angel Gutiérrez-Domínguez.

Por lo general, las laminas aparecen en forma de elipses o arcos dispuestos alrededor de un foco excéntrico; solo muy rara vez puede observarse un patrón concéntrico normal. Adicionalmente, es interesante hacer notar que en cortes horizontales, en los que se puedan ver una columna central y un grupo de ramas correspondientes a esta, los focos excéntricos siempre están desplazados hacia el eje central de la columna, mientras que en cortes verticales de grupos de ramas, los focos se desplazan hacia abajo. Estos patrones se comprenden si se supone una forma hemisférica o hemiesférica modificada para las laminas individuales. La escasez del patrón concéntrico circular perfecto se explica por la escasez de ramas isodiamétricas y de cortes exactamente transversales.

Los estromatolitos ramificados con columna central del tipo *Conophyton* y con ramas de estructura marcadamente distinta, pertenecen al género *Jacutophyton* Shapovalova 1968.

Mientras que en los Cerros Cahorca se observaron ejemplares de *Jacutophyton* muy bien desarrollados, de altura inferida de hasta 2 m, con columna central de hasta 30 cm de diámetro, los ejemplares del Cerrito de La Milla parecen ser más raquíticos, tienen dimensiones más pequeñas y se asocian con elementos arquitectónicos que no se han observado en los Cerros Cahorca (Figuras 7 y 8). La siguiente descripción se basa en estromatolitos que se hallaron en el

nivel de dolomita y caliza, inmediatamente superior a los estratos de pedernal mencionados en el inciso sobre las localidades, y que se encuentran en el extremo occidental del Cerrito de La Milla.

Ocasionalmente se encuentran columnas del tipo *Conophyton* (Figura 7). En otros estromatolitos columnares, que se observaron sólo en corte horizontal, no se hallaron ejes centrales (Figura 4). Es posible que en algunas columnas, las laminas tengan forma cónica, mientras que en otras gradualmente pasan a ser hemisféricas. En cortes horizontales se encontraron, además de los estromatolitos columnares, elementos muy alargados y agrupados de manera aproximadamente paralela, de anchura y con interespacios más o menos constantes. Donde hay otros tipos de cortes asociados a los horizontales, se aprecia la continuidad vertical de estos elementos. Se trata, por lo tanto, de estromatolitos tabulares, puestos de canto.

En cortes verticales expuestos en esta localidad, se hallaron estromatolitos de gran extensión horizontal y con laminación paralela al estrato. Considerando que estos elementos están asociados con contactos de estratos, se infiere que son estromatolitos estratiformes. No fue posible corroborar esta conclusión en el campo, pues no se encontró algún afloramiento con la combinación de cortes necesaria para ello.

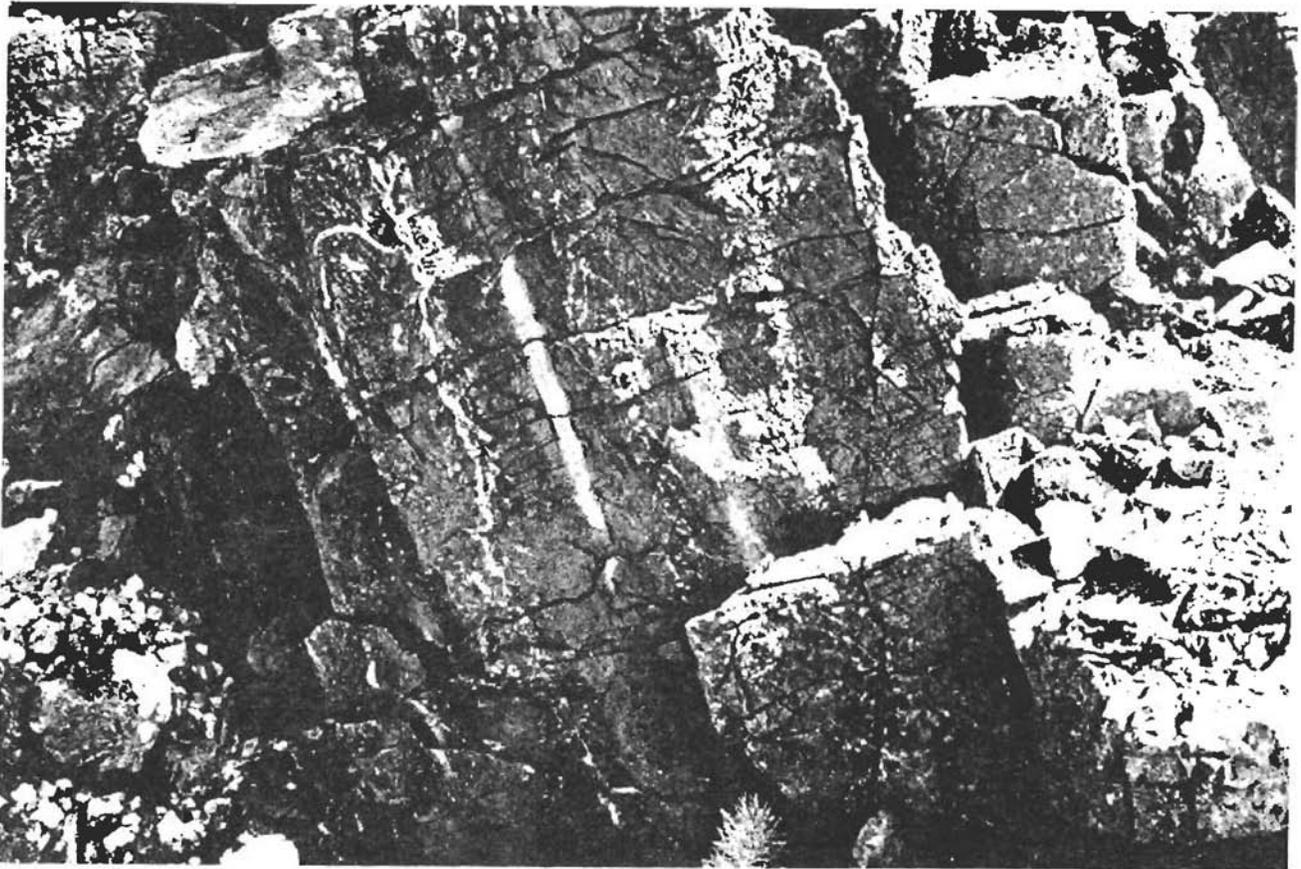


Figura 5.- Bioherma de *Conophyton*. Corte vertical. En el centro de la Fotografía se observan dos ejes centrales, como franjas claras paralelas. Altura del campo de la fotografía, en el centro, aproximadamente 150 cm. Localidad 5, Cerros Caborca. Fotografía de Reinhard Weber.

A partir de los planos de contacto de los estratos, y a veces en transición muy abrupta, se desarrollaron arquitecturas irregulares que, en ocasiones, dan origen a formas subcolumnares de dimensiones pequeñas o a estromatolitos doniales. Llama la atención que en el mismo lugar se encuentren estromatolitos irregulares encimados sobre material algal alóctono (Figura 11).

Las descripciones de los estromatolitos presentadas en este artículo ciertamente no reflejan de una manera exhaustiva la diversidad arquitectónica y estructural que muestran estos en la región de Caborca; además, no se ha intentado determinar con exactitud las dimensiones de los mismos. Esta deficiencia radica en que las formas descritas pertenecen a biohermas, en las cuales están entrelazadas de una manera tan compleja, que prácticamente (y, tal vez, también teóricamente) no sea posible delimitar individuos. Valga añadir que, en cuanto a las ramas de *Jacutophyton* y en el caso de los estromatolitos tabulares, la menor dimensión varía entre los 2 y 5 cm. El margen de variabilidad de estas dimensiones y de algunas que se señalaron en los párrafos anteriores es tan amplio, que los valores deben ser considerados como muy poco característicos.

RECONSTRUCCION DE *JACUTOPHYTON* SHAPOVALOVA

Con base en las descripciones presentadas en el capítulo anterior, es posible llegar a una reconstrucción

de los elementos arquitectónicos más frecuentes en los estromatolitos de la región (Figura 12). El dibujo muestra una parte de un bioherma de alrededor de 2 m de anchura y un tanto de altura, en cortes verticales y horizontales. En las partes más bajas del bioherma se muestran solo columnas de *Conophyton*, sin ramificación. Algunos de los cortes verticales son radiales, en los cuales se notan los ejes centrales (cf. Figuras 5 y 6). Además, en la parte izquierda inferior se observa, un corte horizontal con varias secciones de *Conophyton* que muestran laminación concéntrica (cf. Figura 3). Hacia la parte media del bloque, las columnas comienzan a tener ramas laterales delgadas y a veces, a su vez, ramificadas (cf. Figura 9). A medida que las ramas se vuelven más frecuentes, las columnas correspondientes se reducen en grosor y tienden a dividirse apicalmente en grupos de ramas mayores. Un grupo de estas se muestra, en corte horizontal, en la parte media izquierda del bloque. En los niveles más altos, la roca contiene abundantes ramas (cf. Figura 10). De acuerdo a lo antes expuesto, a los estromatolitos ramificados del tipo representado en el diagrama les corresponde el nombre de *Jacutophyton*.

INTERPRETACION Y DISCUSION

El uso de los nombres genéricos *Conophyton* y *Jacutophyton*.- A pesar de que el propósito de este artículo no es discutir a fondo los problemas taxonómicos

inherentes al estudio paleontológico de los estromatolitos, es preciso explicar brevemente el uso de los nombres genéricos correspondientes a las formas descritas en los capítulos anteriores. Obviamente, los géneros forma *Conophyton* y *Jacutophyton* pertenecen, en el bioherma de la reconstrucción (Figura 12), a una sola superestructura genéticamente coherente; o bien, de acuerdo con Monty (1973), a un "mega-organismo".



Figura 6.- Columna de *Conophyton*. Corte aproximadamente radial. Se observa el eje central, rodeado por un halo de color claro, del que parten líneas claras, marcando la disposición de las laminas conicas. Escala en centímetros. Localidad 2, Cerrito de La Milla. Fotografía de Reinhard Weber.

El nombre genérico *Conophyton* designa estromatolitos columnares con laminación conica, sean estos ramificados o no. Por otro lado, *Jacutophyton* designa estromatolitos con columnas centrales del tipo *Conophyton* (y/o *Baicalia*, *Collumnacollenia*, etc.) y ramas laterales divergentes con estructura diferente de *Conophyton*. Es conveniente hacer resaltar que el concepto genérico de *Jacutophyton* corresponde a un contexto taxonómico diferente al que sirvió de trasfondo para la definición del concepto de *Conophyton*. En la actualidad hay una gran diversidad de enfoques taxonómicos en relación a los estromatolitos y se usan paralelamente muchas clasificaciones (Krylov, 1976). En este artículo no se intenta adoptar uno de estos sistemas, sino que los nombres utilizados se seleccionaron por razones prácticas.

Independientemente de lo anterior, podría sostenerse que no existen fundamentos para tratar los estromatolitos

como verdaderos organismos, en una clasificación linneana, o para darles nombres binomiales, lo cual se hace implícitamente al utilizar nombres genéricos. Aquí se aceptan los argumentos de Krylov (1976), quien convincentemente expuso que, para clasificar objetos en un sistema linneano, no es necesario que se trate de organismos.

Interpretación paleoecológica preliminar.- La arquitectura y estructura de los estromatolitos descritos permiten esbozar ciertas interpretaciones paleoecológicas. El primer punto a analizar se refiere a la forma que tenían las partes libres de las columnas de *Conophyton*, en vida, y a la altura libre que alcanzaban los ejemplares más grandes. La solución de estas interrogantes parte del ángulo que forman las laminas conicas con respecto al eje central de las columnas. Este ángulo mide 10° . En la parte descriptiva de este artículo se señaló que las columnas alcanzan un diámetro máximo de 50 cm. Las laminas conicas que constituyen las columnas tienen entonces un radio basal máximo de 25 cm. Además, ya se señaló que estas laminas tienen forma de conos truncados, lo cual se debe a la presencia del eje central en las columnas. En ejemplares grandes, este eje puede alcanzar un diámetro de 3 cm o un radio de 1.5 cm. La altura máxima de las laminas conicas se obtiene, a manera de un cálculo trigonométrico sencillo, como la altura total de un cono con el radio basal de 25 cm y con un ángulo de 10° entre el manto y el eje, al cual se resta la altura de un cono con el mismo ángulo apical y un radio basal de 1.5 cm.

Para el cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$A = \frac{r(c) - r(e)}{\tan 10^\circ} \quad (1)$$

Donde: A es la altura de la lámina conica,
 $r(c)$ es el radio de la columna y
 $r(e)$ es el radio del eje central.

Sustituyendo valores, para la altura máxima (A_{max}) de las laminas conicas, se obtiene:

$$A_{max} = \frac{25 - 1.5}{.1763} \quad (2)$$

$$A_{max} = 133.3 \text{ cm}$$

Este cálculo trigonométrico es bastante confiable, porque los estromatolitos ya en vida son cuerpos de roca dura, cuya compactación posterior será mínima. Además, en los *Conophyton* de la región de Caborca, las laminas se aproximan a la forma conica ideal, y su altura corresponde a la altura libre en vida.

En el Cerrito de La Milla se observó una población densa de columnas de *Conophyton* de diámetro cercano a 50 cm. En vida, estos estromatolitos deben haber presentado el aspecto de una gigantesca "cama de faquir" subacuática. Seguramente, tales agrupaciones solo pudieron persistir en un cuerpo de agua tranquila o de baja energía; es decir, por debajo del límite inferior de repercusión del oleaje. Por lo tanto, es razonable pensar que los biohermas, compuestos exclusivamente por columnas del tipo *Conophyton*, se desarrollaron en agua de profundidad considerable y a cierta distancia de la línea de costa.

En vista de la gran proporción de carbonato de magnesio en las unidades carbonatadas de las Capas Gamuza, es probable que se depositaran en un ambiente marino. Las condiciones necesarias para el desarrollo de las columnas de *Conophyton*, de acuerdo a lo anterior, se dieron entonces a



Figura 7.- Tres columnas del tipo Conophyton. Corte oblicuo irregular. Escala aproximadamente x 0.3. Localidad 2, Cerrito de La Milla. Fotografía de Reinhard Weber.



Figura 8.-Jocutophyton. Corte aproximadamente vertical y tangencial. El objeto de escala tiene un diámetro de 3.5 cm. Localidad 2, Cerrito de La Milla. Fotografía de Reinhard Weber.

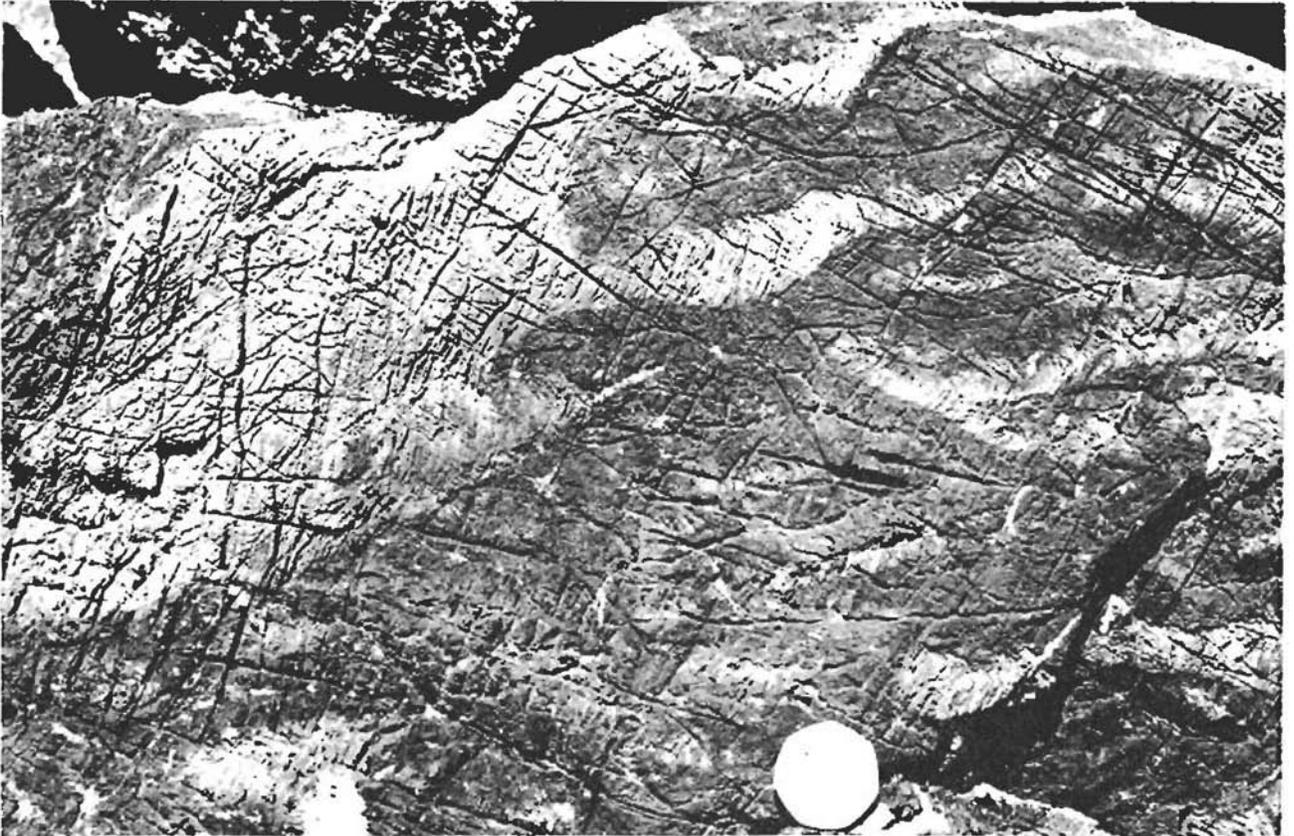


Figura 9.- *Jacutophyton*. A la izquierda se observa el corte oblicuo de una columna central de la que parten varias ramas, algunas de ellas a su vez ramificadas. La moneda tiene 3 cm de diametro. Localidad 5, Cerros Caborcn. Fotografia de Reinhard Weber.



Figura 10.- Numerosas ramas de *Jacutophyton*, sin presencia de una columna central. Escala aproximada x 0.15. Localidad 5, Cerros Caborca. Fotografia de Reinhard Weber.



Figura 11.- Estromatolitos irregulares. junto a la escala se observa un fragmento de material estromatolítico alóctono, encima del cual crecieron nuevamente estromatolitos. Diámetro del objeto de escala 5 cm. Localidad 2, Cerrito de La Milla. Fotografía de Miguel Ángel Gutiérrez-Domínguez.

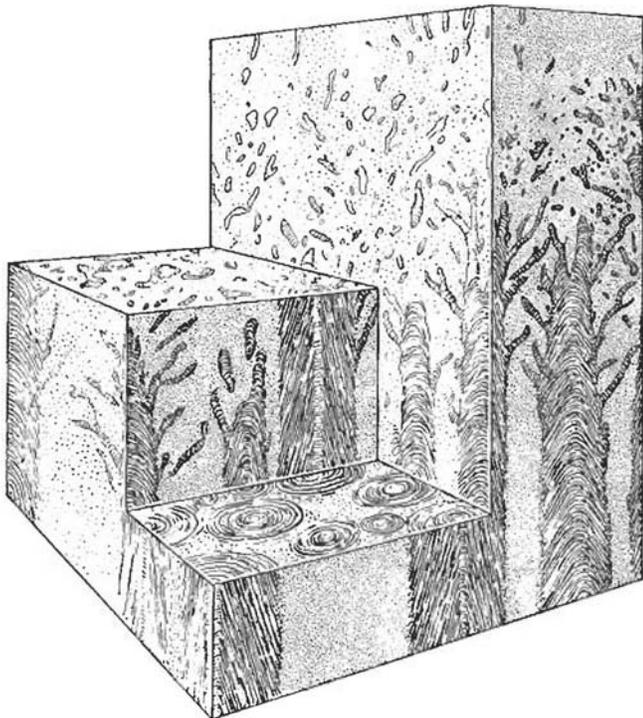


Figura 12.- Reconstrucción de un bioherma con *Conophyton* y *Jacutophyton* en la parte superior. Explicación en el texto. Dibujo por Reinhard Weber.

nivel inframarea, porque a nivel iritermarea, al menos temporalmente, hay oleaje; es decir, una mayor generación de energía.

En el Cerrito de La Milla y en los Cerros Caborca, se observó que las columnas de *Conophyton* pueden mostrar un diámetro constante a distancias verticales mayores a 2 m. Esto permite afirmar que las condiciones ambientales antes especificadas persistieron durante un lapso de tiempo notable y es tentativo preguntar a que se debe la constancia del diámetro de las columnas. Una posible respuesta sería que se debe a que la velocidad de crecimiento de las columnas sea igual a la velocidad de sedimentación en el espacio libre entre ellas. Por otro lado, la constancia puede atribuirse a un mecanismo biológico de regulación, propio del estromatolito.

En la zona de transición del nivel inframarea al intermarea, existe una serie de gradientes, como las de iluminación, turbulencia, gases disueltos en el agua, tiempo de exposición al aire y otros que, ciertamente, tienen que reflejarse en la arquitectura y estructura de los estromatolitos y a los cuales puede obedecer, en el caso de *Jacutophyton*, la ramificación.

Conclusión bioestratigráfica.- *Jacutophyton*, de acuerdo con información a disposición del Instituto de Geológico de la Academia de Ciencias de la UKSS (hasta el año de 1973) se conoce solo en el Precámbrico (Seniikhatov, 1976). Este género forma puede ser usado, por lo tanto, como fósil índice, que permite asignar al Precámbrico Tardío aquellas unidades de las Capas Gamuza que contengan este género y a las subyacentes. De acuerdo con Anderson y colaborado-

res (1978), las Unidades 10, 11 y 12 aflorantes en la Sierra de La Berruga, no son portadoras de estromatolitos. Las Unidades 4 a 8 tampoco los contienen, pero estas Últimas podran asignarse al Precámbrico Tardío, siempre y cuando se compruebe la presencia de *Jacutophyton* en la Unidad 9. Las unidades suprayacentes a esta aun no pueden atribuirse de manera definitiva al Precámbrico o al Cámbrico, pues todavia no se han localizado fosiles indice en ellas.

AGRADECIMIENTOS

El presente artículo es una version profundamente modificada del informe correspondiente a un curso de biología de campo, impartido por R. Weber y S. Cevallos-Ferriz, en la Facultad de Ciencias de la UNAM. Los participantes en el trabajo fueron, aparte de los autores, los estudiantes de esta Facultad, J. Avendano-Gil, Alicia Beltrán-Langarica, S. Yolanda Betancourt-Aguilar, M. A. Gutiérrez-Dominguez, H. Hernandez-Campos, F. Simon-Montano y T. Turner-Saad. A Olea-Franco elaboro el capitulo sobre importancia y distribucion en el Precámbrico de los estromatolitos. Los autores agradecen sinceramente la colaboración prestada por estos companeros.

La excursion al area de estudio se llevo a cabo con subsidios del Consejo de Recursos Minerales y de la Facultad de Ciencias de la UNAM. A ambas instituciones, y en particular al Ing. Guillermo P. Salas, Director General del Consejo mencionado, se agradece su ayuda, sin la cual no hubiese sido posible iniciar esta investigacion. Se agradece tambien a J. J. Mendoza-Ruiz, estudiante de Geología de la UNISON, por sus utiles indicaciones durante el desarrollo del trabajo de campo.

Algunos de los resultados que aqui se presentan se comunicaron en septiembre de 1978, durante el VII Congreso Mexicano de Botanica (Weber, Cevallos-Ferriz y Mendoza-Ruiz, 1978) y, en octubre, en el X Simposio de Biologías de Campo, Facultad de Ciencias, UNAM (Weber y Cevallos-Ferriz, 1978; Olea-Franco, 1978).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Anderson, T. H., Eells, J. H., y Silver, L. T., 1978, Rocas precámbricas y paleozoicas de la region de Caborca, Sonora, Mexico: *in* Roldan-Quintana, Jaime, y Salas, G. A., eds., Libro Guía. Primer Simposio sobre la Geología y Potencial Minero en el Estado de Sonora. Hermosillo, Univ. Nal. Auton. Mexico, Inst. Geol., p. 5-34.
- Arellano, A. R. V., 1946, *Noticias geológicas del Distrito de Altar, Son.*: Bol. Soc. Geol. Mexicana, v. 12, p. 53-58.
- 1956, Relaciones del Cámbrico de Caborca, especialmente con la base del Paleozoico: *in* Rogers, J., ed., El Sistema Cámbrico, su paleogeografía y el problema de su base. Parte II: Australia, América. Mexico, D. F. Cong. Geol. Internal. 20, p. 509-527.
- Awramik, S. M., 1977, Paleobiology of stromatolites: *in* Ponnampertuma, C., ed., Chemical evolution of the Early Precambrian. London, Academic Press., p. 111-131.
- Cloud, P. E., 1974, Evolution of ecosystems: *Am. Scientist*, v. 62, p. 54-66.
- 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, A., y Lochmann, C., 1956, Geología y paleontología de la region de Caborca, norponiente de Sonora; Pte. 1; Paleontología y Estratigrafía del Cámbrico de Caborca: Mexico, D. F., Cong. Geol. Internal., 20, p. 1-259.
- Cowie, J. W., y Glaessner, M. F., 1975, The Precambrian-Cambrian boundary: *Earth Sci. Rev.*, v. 11, p. 209-251 (citado segun Durham, 1978).
- Cserna, Zoltan de, 1962, The Precambrian of Mexico: *in* Rankama, K., ed., *The Precambrian*. New York, Interscience, v. 4, p. 253-270.
- Daily, B., 1972, The base of the Cambrian and the first Cambrian faunas: Univ. Adelaide, Centre for Precambrian Research, Spec. Paper 1, p. 13-42 (citado segun Durham 1978).
- Damon, P. E., Livingston, D. E., Mauger, R. L., Giletti, B. J., y Pantoja-Alor, Jerjes, 1962, Edad del Precámbrico "Anterior" y de otras rocas del zocalo de la region de Caborca-Altar de la parte noroccidental del Estado de Sonora: Univ. Nal. Auton. Mexico, Inst. Geología, Bol. 64, p. 11-44.
- Dimroth, E., y Kimberly, M. M., 1976, Precambrian atmospheric oxygen; evidence in the sedimentary distributions of carbon, sulfur, uranium and iron: *Canadian Jour. Earth Sci.*, v. 13, p. 1161-1185.
- Durham, J. W., 1978, The probable Metazoan biota of the Precambrian as indicated by the subsequent record: *Ann. Rev. Earth Plan. Sci.*, v. 6, p. 21-42.
- Eells, J. L., 1972, The geology of the Sierra de La Berruga, northwestern Sonora, Mexico: San Diego State College, tesis de maestria, inedita.
- Hardy, L. R., 1973, The geology of an allochthonous Jurassic sequence in the Sierra de Santa Rosa, northwestern Sonora, Mexico: San Diego State College, tesis de maestria, inedita.
- Johnson, J. H., 1961, Limestone building algae and algal limestones: Golden, Colorado School of Mines, 297 p.
- Keller, W. T., y Wellings, F.E., 1922, Sonora: Mexico, D.F., Cia. Petr. El Aguila, Geol. Rept. 180, 38 p. (inedito, citado segun Arellano, 1956).
- Krylov, I. N., 1976, Approaches to the classification of stromatolites: *in* Walter, M. R., ed., *Stromatolites*. Amsterdam, Elsevier, p. 31-43.
- Lochman-Balk, Christina, 1956, The Cambrian of the Rocky Mountains and southwest deserts of the United States and adjoining Sonora province, Mexico: *in* Rogers, J., ed., El Sistema Cámbrico, su paleogeografía y el problema de su base. Parte II, Australia, América. México, D. F., Cong. Geol. Internal. 20, p. 529-653.
- Margulis, L., Walker, J. C. G., y Rambler, M., 1976, Reassessment of roles of oxygen and ultraviolet light in Precambrian evolution: *Nature*, v. 264, p. 620-624.
- Monty, C. L. V., 1973, Remarques sur la nature, la morphologie et la distribution spatiale des stromatolithes: *Sciences de la Terre*, v. 18, p. 189-212.
- Olea-Franco, Adolfo, 1978, Introduccion al estudio de los estromatolitos del Precámbrico Tardío de los alrededores de Caborca, Sonora, I; La importancia paleo-

- biologica de los estromatolitos: Mexico, D. F., Univ. Nal. Auton. Mexico, Fac. Ciencias, X Simposio de Biologias de Campo, Cursos Intersemestrales, 1 p. (inedito).
- Rangin, Claude, y Roldan-Quintana, Jaime, 1978, Itinerario excursion II; Evolucion geodinamica a lo largo de una transversal en Sonora Septentrional: in Roldan-Quintana, Jaime y Salas, G. A., eds., Libroto Guia, I Simposio sobre Geologia y Potencial Minero en el Estado de Sonora. Hermosillo, Univ. Nal. Auton. Mexico, Inst. Geologia, p. 95-102.
- Rozanov, A. Yu., Missarzhevsky, V. V., Volkova, N. A., Voronova, L. G., Krylov, I. N., Keller, B. M., Korolyuk, I. K., Lenzion, K., Michniak, R., Pychova, N. G., y Sidorov, A. D., 1969, The Tommotian Stage and the Cambrian lower boundary problem: Acad. Ciencias URSS, Inst. Geol. Trans., v. 206, p. 1-380.
- Schopf, J. W., 1978, The evolution of the earliest cells: Scient. American, v. 239, p. 110-138.
- Semikhatov, M. A., 1976, Experience in stromatolite studies in the USSR: in Walter, M. R., ed., Stromatolites. Amsterdam, Elsevier, p. 337-357.
- Stewart, J. H., 1970, Upper Precambrian and Lower Cambrian strata in the southern Great Basin, California and Nevada: US Geological Survey, Prof. Paper 620, p. I-V, 1-206.
- Stoyanow, Alexander, 1942, Paleozoic paleogeography of Arizona: Geol. Soc. America Bul., v. 53, p. 1255-1282.
- Taliaferro, N. L., 1933, An occurrence of Upper Cretaceous sediments in northern Sonora, Mexico: Jour. Geol., v. 41, p. 12-37.
- Tyler, S. A., y Barghoorn, E. S., 1954, Occurrence of structurally preserved plants in Precambrian rocks of the Canadian shield: Science, v. 119, p. 606-608.
- Walter, M. R., ed., 1976, Stromatolites: in Developments in Sedimentology. Amsterdam, Elsevier, 790 p.
- 1977, Interpreting stromatolites: Am. Scientist, v. 65, p. 563-571.
- Weber, Reinhard, 1978, Paleobotanica de Mexico; una síntesis. Buenos Aires, II Cong. Argentino Paleont. Bioestr. y I Cong. Latinoam. Paleont. Resumenes, p. 41.
- Weber, Reinhard, y Cevallos-Ferriz, Sergio, 1978, Introduccion al estudio de los estromatolitos del Precambrio Tardio de los alrededores de Caborca, Sonora, I: Mexico, D. F., Univ. Nal. Auton. Mexico, Fac. Ciencias, X Simposio de Biologias de Campo, Cursos Intersemestrales, 1 p. (inedito).
- Weber, Reinhard, Cevallos-Ferriz, Sergio, y Mendoza-Ruiz, J. J., 1978, *Jacutophyton*, estromatolito complejo del Precambrio Tardio de Caborca, Estado de Sonora: Resumen (inedito).
-