

24/40

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Ciencias

TESIS DONADA POR
D. G. B. - UNAM

OBSERVACIONES SOBRE LOS ESTROMATOLITOS DEL
PRECAMBRICO TARDIO DE LAS CAPAS GAMUZA DE
LA REGION DE CABORCA, ESTADO DE SONORA. -

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
B I O L O G O
PRESENTA

SERGIO RAFAEL SILVESTRE CEVALLOS FERRIZ.

MEXICO, D. F.

1981.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TABLA DE CONTENIDO.

| | | |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. | Introducción. | 1 |
| 1.1. | Definición del término estromatolito. | 1 |
| 1.2. | Esbozo de la historia del conocimiento de los estromatolitos | 1 |
| 1.3. | Antecedentes sobre los estromatolitos del Precámbrico sedimentario de Caborca, Son. | 4 |
| 1.4. | Marco de referencia geológico | 4 |
| 2. | Desarrollo, objetivos e importancia del presente proyecto. . . | 5 |
| 2.1. | Fases de desarrollo de la presente tesis. | 6 |
| 3. | Area de trabajo, localidades, material y método. | 7 |
| 3.2. | Localidades | 8 |
| 3.2.1. | El Cerrito de la Milla | 8 |
| 3.2.2. | Los Cerritos de las Víboras | 9 |
| 3.3. | Material | 11 |
| 3.4. | Método y técnicas | 12 |
| 3.4.1. | Método de campo | 12 |
| 3.4.2. | Trabajo de laboratorio | 12 |
| 3.4.3. | Trabajo de gabinete | 12 |
| 4. | Descripción, taxonomía y paleoecología de los estromatolitos.. | 13 |
| 4.1. | Descripción | 13 |
| 4.1.1. | <u>Conophyton</u> Maslov y <u>Jacutophyton</u> Shapovalova | 13 |
| 4.1.2. | <u>Platella</u> Korolyuk | 14 |
| 4.2. | Reconstrucción de un bioherma complejo con <u>Platella</u> | 17 |
| 4.3. | Taxonomía | 19 |
| 4.3.1. | <u>Cryptozoon</u> y <u>Collenia</u> | 19 |
| 4.3.2. | Identificación | 20 |
| 5. | Paleoecología | 21 |
| 5.1. | Paleoambiente marino versus dulceacuícola | 21 |
| 5.2. | Paleoambiente intermarea versus inframarea | 21 |
| 5.3. | Factores ambientales y forma | 22 |
| 5.4. | Alternativas en la búsqueda de la comprensión de la arquitec- tura de los estromatolitos | 23 |
| 5.5. | Las corrientes: una exploración de probabilidades | 24 |
| 5.6. | Análisis de detalle de la muestra CF-79-1, del Cerrito de la Milla | 25 |
| 6. | Edad de los estromatolitos | 28 |
| 7. | El pedernal. | 28 |
| 8. | Agradecimientos | 29 |
| 9. | Bibliografía | 30 |

1. INTRODUCCION

1.1. Definición del término de estromatolito.

Los estromatolitos, tema central de esta tesis, pueden ser definidos de acuerdo a la literatura moderna y en un sentido amplio como:

CUERPOS ORGANO-SEDIMENTARIOS DE ARQUITECTURA Y ESTRUCTURA DETERMINADAS, PRODUCIDOS IN SITU POR COMUNIDADES BENTONICAS (TAPETES) DE MICROORGANISMOS (PRINCIPALMENTE CIANOFICEAS) MEDIANTE ENTRAMPAMIENTO E INCORPORACION Y/O PRECIPITACION BIOTICA DE SEDIMENTO (GENERALMENTE CARBONATO DE CALCIO).

Para darle a este término un significado más estrecho, puede añadirse:

...QUE ESTAN FIRMENTEMENTE ADHERIDOS AL SUSTRATO Y QUE MUESTRAN ESTRUCTURA LAMINADA.

Si se restringe la definición así, quedan excluidos por ejemplo los oncólitos, los cuales "en vida" no están fijos en el sustrato y que pueden tener acrecimiento en todas las direcciones, y se eliminan también los trombolitos que carecen de laminación.

En este trabajo el término de estromatolito se utilizará en el sentido de la definición anterior más estricta.

El concepto correspondiente ha venido esclareciéndose paulatinamente, desde hace más de un siglo y a través de estudios numerosos sobre objetos tan variados como concreciones, nódulos e incrustaciones, caliche, sinter y espeleotemas, travertino y geyserrita, algas calcáreas y, desde luego, genuinos estromatolitos.

Los dos pasos decisivos en la consolidación del concepto se dieron sólo recientemente; el primero cuando, en 1954, Johnstone, Playford y Chase encontraron los famosos estromatolitos modernos de la Bahía de Tiburones de Australia, mismos que fueron referidos, en 1960, por Logan, ante el Congreso Geológico Internacional de Copenhague (Logan, 1961; Walter, 1972; Playford y Cockbain, 1976). El segundo coincide, paradójica-

mente, con la publicación del libro "Stromatolites" (Walter, 1976), donde este mismo autor formuló: "Hace 68 años, E. Kalkowski acuñó y definió la palabra de estromatolito, mas aún está incrementándose la controversia y la confusión en cuanto a su uso".

Con buenas razones, Hofmann (1973) y Monty (1977) recalcaron la importancia de los estudios de Kalkowski (1908), en el presente contexto.

Este último autor, al proponer los términos de estromatolito y de estromatolite, los definió de una manera implícita, a lo largo de su discusión. Resumiendo, sus definiciones pueden formularse así:

"El nombre nuevo de estromatolito se les da a masas de caliza con estructura particular -de finas láminas más o menos aplanadas (en contraste a las estructuras concéntricas de los oolitos) y con un patrón de construcción particular- no sólo en forma de bancos simples y regulares, lateralmente continuos, sino también como masas mejor delimitadas masivas, ramosas, columnares o semejantes a coliflor".

Tal como Monty (1977) expone, Kalkowski (1908) con el término de estromatolite se refirió a las láminas delgadas de carbonato que constituyen los estromatolitos, y no a éstos mismos. Monty (1977) discutió lo anterior con bastante amplitud, con el fin de aclarar supuestas malinterpretaciones de los términos de Kalkowski, cometidas por Hofmann (1973).

Finalmente, Kalkowski (1908) ya había interpretado la laminación como resultado de acrecimiento periódico debido a la actividad rítmica de edificadores orgánicos.

Se observa que casi todos los elementos de la definición anterior, que pretende ser moderna, ya se encuentran formulados en el trabajo de Kalkowski (1908) sobre estromatolito y oolito del Triásico; este autor, sin embargo, no tuvo la suerte de encontrar mucho eco.

1.2. Esbozo de la historia del conocimiento de los estromatolitos.

Al parecer, los primeros objetos la

minados, los cuales después recibirían el nombre de estromatolitos, fueron referidos en 1825, por Steel, de rocas del Cámbrico Superior de Saratoga - Spring, N.Y., E.U.A. Comenzando tan temprano como en 1858, con estudios sobre Eozoon canadense por Logan (resumido por Dawson, 1875), depósitos finamente laminados semejantes a estromatolitos, fueron postulados como evidencia de vida precámbrica (Schopf et.al. 1971). En 1883, Hall reconsideró las estructuras descritas por Steel en detalle y estableció su origen, proponiendo para una forma el nombre de Cryptozoon proliferum. Desde ese tiempo, las investigaciones sobre tales fósiles tomaron mayor interés. Se descubrieron cada vez más formas similares, aplicándoseles para su clasificación la nomenclatura linneana. Particularmente, se describieron numerosas "especies" de Cryptozoon. Matthew (1890 a, b), siguiendo el ejemplo de Hall, tomó también el nombre de Eozoon para un estromatolito precámbrico (1890 a), mismo que después llamó Archaeozoon acadense, (1890 b). Poco después empezó la proliferación de nombres "genéricos" nuevos tales como Spongiostroma (Gurich, 1906), Gymnosolen (Steinmann, 1911) y Collenia (Walcott, 1914).

Ya desde hace unos 150 años, casi siempre se les asignaba a los estromatolitos un origen biológico; pero debido a la falta de pruebas concluyentes, estas interpretaciones, durante mucho tiempo fueron de carácter intuitivo. Igualmente especulativos eran, en gran parte, los antiguos intentos de dilucidar, cuáles organismos construyeron los estromatolitos. En América, estos estudios evolucionaron rápidamente, a partir de diversos trabajos botánicos relacionados con laminaciones concéntricas, en lagos, ríos, aguas termales, etc. El primer intento sistemático de aplicar dichos estudios botánicos en la paleontología fue el de Walcott (1914). Sin embargo, tres meses antes de la publicación de ese trabajo, Wieland (1914) en una revisión de este problema, concluyó que estas estructuras eran constituidas por algas primitivas y, además añadió, que los periodos Precámbrico, Cámbrico y Ordovícico

podían ser caracterizados como "el reino de las algas".

Moore (1918) dió otro paso importante en la interpretación de estas estructuras. El describió "concreciones silicificadas" de la formación de hierro de la Isla Belcher, Canadá. (Iron Formation, hoy atribuida al Grupo Belcher), en las cuales encontró microfósiles unicelulares y filamentosos. Al respecto, Hofmann (1972) advierte que esta flora nunca fue fotografiada, además de no conocerse en la actualidad el depositario de las preparaciones de Moore. Merece particular atención el hecho de que el trabajo de Moore (1918) antecede en 36 años al trabajo de Tyler y Barghoorn (1954) quienes refirieron por primera vez la famosa microflora de niveles estromatolíticos del Gunflint Chert, aportando así la primera prueba paleontológica indiscutible del origen biológico de estromatolitos precámbricos. El posterior descubrimiento de los estromatolitos recientes de la Bahía de Tiburones, Australia, edificados por diversos microorganismos, sobre todo cianofíceas, corroboró de manera decisiva la teoría del origen biótico de los estromatolitos fósiles.

Pese a lo anterior, la hipótesis o puesta, sostenida en el pasado por varios geólogos y paleontólogos, y según la cual los estromatolitos eran de origen inorgánico, no es únicamente de interés histórico. Pues, en la realidad existen en la actualidad y seguramente han existido en el pasado geológico, estructuras muy similares a los auténticos estromatolitos biógenos, pero que son netamente inorgánicas. Estas se forman, por ejemplo, en cuevas (Thraikill, 1976), alrededor de manantiales termales (Walter, 1976), y en perfiles de suelo (Read, 1976). Especialmente los espeleotemas del tipo "cave popcorn" y las geyseritas pueden ser sumamente similares a estromatolitos.

En el pasado, fueron principalmente autores europeos que sostenían hipótesis de origen inorgánico, para interpretar los estromatolitos. Reis (1908) criticó severamente a Kalkowski (1908), y explicó a los estromatolitos como -

concreciones inorgánicas, que se les pudiese comparar con megaooides. Høltedahl (1919, 21) se opuso a la interpretación biótica de muchos estromatolitos, alegando que se tratase frecuentemente de concreciones cuyas laminaciones fuesen comparables a anillos de Liesegang, o de estructuras producidas por recristalización y "otros cambios internos radicales en las rocas", por precipitación química, etc. Con argumentos similares, Seward (1931) promovió la hipótesis inorgánica, llegando finalmente a arguir con escepticismo consciente; que los estromatolitos tuviesen que refutarse como estructuras orgánicas, hasta que se hallasen en ellos filamentos y células cuya "participación en la producción de la matriz circundante" pudiera ser comprobada.

Aún en la actualidad, este último argumento no ha perdido toda su validez, y en el caso de estructuras fósiles de aspecto estromatolítico, la decisión determinante de si son o no auténticos estromatolitos tendrá que ponerse, en ocasiones; sobre todo, cuando se trate de hallazgos aislados en rocas cuyo ambiente de depósito se desconoce.

La discusión del origen biótico de los estromatolitos tiene otra faceta importante, que fue formulada de manera muy elegante por Cloud (1942): "Aun que orgánicas en su origen, estas estructuras no son por ellas mismas organismos o parte de ellos. Sin embargo, deben ser llamados de alguna forma y el término estromatolito... parece ser el más apropiado para las formas laminadas simples".

Debe añadirse a lo anterior, que además de no ser por sí mismos organismos, son producto de comunidades a veces de numerosas especies de microorganismos. Teniendo esto en mente, es un reto el porqué con mucha frecuencia, los estromatolitos fósiles muestran arquitecturas y estructuras muy constantes. Pia (1933) enfatizó esta observación en las siguientes palabras: "Realmente es maravilloso como tal colonia en muchos aspectos se comporta como un

solo organismo, caracterizado por una sola forma, una arquitectura regular y un patrón de crecimiento propio".

Monty (1973) con base en la misma observación, caracteriza a los estromatolitos como "entidades biológicas" y "mega-organismos". Posteriormente (Monty, 1977) recuerda que algunos estromatolitos exhiben una gran plasticidad morfológica. Los llama "eurobiontes", mientras que otros, poco variables, se llaman "estenobiontes". Este rasgo de los estromatolitos, recalado por Pia (1933) y Monty (1977), fue utilizada, al menos explícitamente, por los autores que desarrollaron la clasificación de dichas estructuras.

Más allá, se ha tomado en consideración desde que se propuso utilizar los estromatolitos en estudios bioestratigráficos e, inclusive, como fósiles índice. En 1933, Fenton y Fenton reconocieron variaciones en los paleoambientes de estos objetos, y en 1939 los utilizaron, con mucha precaución como fósiles índice para correlaciones locales únicamente. Fenton (1943) dice: "Ya que muchos estromatolitos tienen caracteres constantes y ampliamente distribuidos en horizontes definidos, pueden ser utilizados como fósiles índice" dentro de cuencas individuales. "No se han reunido datos que justifiquen su uso más general". En 1942, Cloud había expresado dudas de que jamás los estromatolitos pudieran utilizarse en correlación a través de más de una sola cuenca.

Este punto de Cloud lo refutó Fenton (1943) en los siguientes términos: "Esta conclusión parece ser prematura si no improbable". Rezak (1957) volvió a proponer la utilización de estos fósiles con fines de correlación.

Desde los años cincuenta, los geólogos y paleontólogos rusos exploraron sistemáticamente el potencial de los estromatolitos como fósiles índice, con el resultado de que hoy se utilizan, inclusive, en correlación intercontinental (Walter, 1972; Semikhatov, 1976; Preiss, (1976).

A la vez surgieron nuevos métodos

de clasificación, dando como resultado los estudios bioestratigráficos del Precámbrico así como el análisis de cuencas sedimentarias precámbricas.

1.3. Antecedentes sobre los estromatolitos del Precámbrico sedimentario de Caborca, Son.

Rocas precámbricas o arcáicas* referidas de la República Mexicana desde el siglo pasado, aunque frecuentemente sin el apoyo de la evidencia. Uno de los primeros informes en que se presentó material probatorio, fue el de Stoyanow (1942), quien mencionó el hallazgo de Collenia en las cercanías de Caborca, por los geólogos mexicanos G. Gomez y L. Torres I. Las rocas correspondientes, las designó como Formación Jojoba nombre inválido, que no vuelve a utilizarse en la literatura posterior. De acuerdo con Arellano (1956), estas rocas fueron observadas ya por Keller y Wellings (1922) quienes las llamaron "Capas Gamuza". Este nombre fue utilizado en la literatura posterior a Stoyanow (1942) por varios autores, para toda la secuencia sedimentaria precámbrica de Caborca (Eells, 1972; Anderson et al., 1978; Weber et al., 1979).

Los estromatolitos de esta secuencia fueron estudiados con muy poco detalle, por Cooper y Arellano (1946, 1956) y Arellano (1946, 1956), quienes los llamaron ya sea Collenia o Cryptozoon, sin que se hubiesen hecho intentos de relacionar estos nombres con algún tipo particular de los estromatolitos (Weber et al. 1979). Los datos descriptivos contenidos en dichas publicaciones son por demás pobres. Stoyanow solamente mencionó que los mismos formaron arrecifes. Arellano (1946) señaló la presencia de "Collenia" y de "criptozoarios cilíndricos de un diámetro variable entre 5 y 50 cm, y con dimensiones axiales semejantes, acomodados en todas posiciones respecto a la estratificación". Anderson et al. (1978) dan los siguientes datos descriptivos: En su Unidad 2 de las Capas Gamuza localizaron "grandes estromatolitos, estructuras hemisferoides apiladas, y laminaciones arrugadas indicativas de una biotita algácea". En cuanto a su U

*Debe decir: fueron

nidad 3, señalan: "Las costras algáceas consisten de laminaciones intrincadas - formadas por alteraciones de láminas relativamente anchas conteniendo huevecillos concentrados..." y "Las algas en forma de bizcocho son también abundantes en algunas capas y están comunmente pegadas al material laminar algáceo y a los clastos de dolomía afanítica".

Poco después, Weber, Cevallos y Mendoza (1978) comunicaron la identificación de Conophyton y Jacutophyton en en los Cerros Pitiquito (antes: Cerros Caborca) y el Cerrito de la Milla. Datos descriptivos detallados e ilustraciones fueron presentados por Weber y colaboradores (1979).

Casi al mismo tiempo, Gamper y Longoria (1978 ó 1979?) describieron de manera preliminar, estromatolitos del grupo Conophyton y "estromatolitos ramificados" de los Cerros Pitiquito y del Cerro Gamuza.

Finalmente, Cevallos y Weber (1980), informaron más ampliamente sobre la presencia de estromatolitos en forma de planchas verticales, asociados con Jacutophyton, en el Cerrito de la Milla, mismos que son el objeto principal de la presente tesis.

1.4. Marco de referencia geológico.

El desarrollo del conocimiento geológico sobre el Precámbrico de la región de Caborca, anterior a 1978, se encuentra resumido en Anderson y colegas (1978) y en Weber y colaboradores (1979). Desde 1978, en una serie de publicaciones se hace patente la gran complejidad de estas rocas y de los eventos tectónicos que les dieron su estructura secundaria actual. Merriam e Eells (1978 ó 1979?) publicaron un mapa de reconocimiento geológico del "Cuadrángulo Caborca", Sonora, el cual cubre una buena parte del área de afloramiento de Precámbrico de la región. Estos autores, en su trabajo, no discutieron las interpretaciones propuestas por Anderson y colegas (1978); Silver (1979) postuló que las rocas del zócalo metamórfico de la región de Caborca, corresponden a un bloque alóctono trasladado de manera siniestral desde la gran Cuenca de California, a unos 800 km más en el norte, a su lugar ac-

tual, a lo largo de la línea estructural denominada como Mojave* Megashear (Silver y Anderson, 1974; Anderson y Silver, 1979) y que estuvo activa en el Mesozoico Medio.

A las rocas que constituyen este bloque alóctono metamórfico, Longoria y colegas (1978 ó 1979?) las nombraron como Complejo Bámori. Según Anderson (1979) el granito Aibó, fechado en 1110 ± 10 a.m.por Anderson y colaboradores (1978), es la roca ígnea más joven del zócalo, sobre el cual descansa, discordantemente, la secuencia sedimentaria no metamorfoseada aquí en discusión. El granito Aibó, que aflora en el flanco oriental del Cerro el Arpa, (Cooper y Arellano, 1956; Damon et al., 1962; Anderson et al., 1978) y en los Cerros Gamuza, Calavera y al sur de los Cerros del Tecolote (Longoria y González, 1979), es en la actualidad la "piedra fundamental" para dos interpretaciones diferentes del Precámbrico sedimentario de la región.

Por una parte, los geólogos norteamericanos, particularmente Anderson y colegas (1978), sostienen que el contacto entre los sedimentos y dicho granito sea erosional, y que no hayan tenido lugar mayores desplazamientos tectónicos del Precámbrico sedimentario. Esta hipótesis se basa en la observación de un "conglomerado basal" con fragmentos del granito en el mencionado contacto, misma que fue publicada primero por Damon y colaboradores (1962) y confirmada por Anderson y otros (1978). Consecuentemente, para estos autores, el Precámbrico sedimentario debe tener una edad máxima de 1110 ± 20 m.a. Weber y colaboradores (1979) adoptaron esta interpretación, con ligera reserva ya que no disponían de evidencia opuesta. Posteriormente, Weber y Cevallos (1980), asignaron los estromatolitos descritos por Weber et al., (1979), al Rífico Medio (1,400-900 m.a). Aún así, los datos de que disponen estos autores, son insuficientes para discutir la hipótesis antes resumida.

Por otra parte, el grupo de geólogos encabezados por Longoria sostienen que el contacto entre el granito Aibó y el Precámbrico sedimentario, sea es-
* Debe decir: Sonora

tructural y que este último represente un cuerpo alóctono de origen desconocido (Longoria et al., 1978). Mientras que en 1978, esta hipótesis de aloctonía se basaba exclusivamente en evidencias estructurales preliminares, recientemente se comunicó también el hallazgo de estromatolitos indicativos de una edad aproximada de 1800 m.a. (Longoria, com. verbal 1980), en lo que sería el "Precámbrico Sedimentario Temprano". Esta afirmación es inaceptable, mientras que no se publiquen descripciones e ilustraciones de dichos estromatolitos.

En trabajos recientes, Longoria y Pérez (1979) y Longoria y González (1979), han propuesto una subdivisión del Precámbrico sedimentario en varias formaciones, como la Fm. El Arpa, Fm. Caborca, Fm. Pitiquito, Fm. Gamuza, Fm. Papalote y Grupo Gachupín.

El concepto anterior de Capas Gamuza, se refiere a todas las rocas sedimentarias precámbricas de la región. (Anderson et al., 1978; Weber et al., 1979).

Los conocimientos actuales sobre la geología de la región de Caborca, se presentan de manera esquemática y resumida en la Figura 1.

2. Desarrollo, objetivos e importancia del presente proyecto.

Recientemente se renovaron los estudios relacionados con el Precámbrico de Caborca, Sonora, con dos metas diferentes enfocadas en el objetivo común de comprender los eventos registrados en las rocas de esta área.

El primer proyecto fue programado por R. Weber, desde 1977, y se enfocó en el estudio descriptivo y la interpretación paleontológica y paleoecológica de los estromatolitos del Precámbrico sedimentario. El motivo inicial de este programa ha sido la observación de algunas muestras de estromatolitos y de ejemplares de *Girvanella* del Precámbrico y del Cámbrico de Caborca, colectadas en 1944 por Cooper y Arellano, las cuales están depositadas en el Museo de Paleontología del Instituto de Geología, UNAM. La intención de desarrollar este proyecto fue verbalmente comentada por

R. Weber, con F. Longoria, en otoño de 1977 y con J.W. Schopf, a fines del mismo año. A ambos colegas se les comunicó verbalmente, que el material de Cooper y Arellano contiene excelentes ejemplares de Conophyton. A su vez, J. W. Schopf, al examinar estas muestras, opinó que quizás también Baicalia estaba representada. A los dos colegas se les comunicó que el proyecto se iniciaría en el momento en que un estudiante estuviera dispuesto a desarrollar su tesis profesional, en el marco del proyecto.

Efectivamente, en marzo de 1978, el autor de la presente tesis inició la investigación, para la cual se planearon los siguientes puntos, a manera preliminar:

- A.- Localización de estromatolitos en el campo.
- B.- Descripción de las estructuras estromatolíticas in situ y fotografía de las mismas.
- C.- Colecta de estromatolitos y de las rocas encajantes.
- D. Atención especial a porciones silicificadas de los estromatolitos, con el fin de buscar microflora.
- E.- Localización en el campo de pederal y colecta del mismo.
- F.- Elaboración en el laboratorio de superficies pulidas y de láminas delgadas de estromatolitos y pederal.
- G.- Descripción, en caso dado, de microfósiles de los estromatolitos y del pederal.
- H.- Ensayo de reconstrucción de un complejo estromatolítico mayor.
- I.- Síntesis paleoecológica y estratigráfica.

Poco después, en 1978, R. Merriam (com. pers. escrita) informó a R. Weber sobre el inicio de otro proyecto de investigación, encabezado por F. Longoria y ampliamente financiado por el Consejo de Recursos Minerales, sobre la Geología, especialmente del Precámbrico, de la región de Caborca (vease capítulo 1.3. y 1.4), mismo que incluye también estudios sobre los estromatolitos, a realizarse por M. Gamper de Longoria.

2.1. Fases de desarrollo de la presente tesis.

Durante el primer semestre de 1978 se comenzaron a trabajar los puntos antes señalados. Durante estos primeros meses el esfuerzo estuvo enfocado a la recopilación bibliográfica y al diseño de un curso de Biología de Campo, impartido de septiembre de 1978 a febrero de 1979, por R. Weber y S. Cevallos Ferriz, en la Facultad de Ciencias, UNAM.

Este curso incluía una excursión a los alrededores de Caborca, del 20 de septiembre al 4 de octubre de 1978, en parte financiada por el Consejo de Recursos Minerales y la Facultad de Ciencias, UNAM, cuyo programa incluía los siguientes puntos principales:

- A. Visita al Cerrito de la Milla, búsqueda de estromatolitos y de capas de pederal.
- b. Visitas a los Cerros del Rajón, del Gachupín así como a cerros más cerca de Bámori, con el mismo objetivo.

Durante la excursión, R. Weber verbalmente informó a F. Longoria sobre hallazgos de numerosos ejemplares de Conophyton y de "estromatolitos ramificados", en el Cerrito de la Milla y en una localidad de la Sierra Rajón, ubicada en su parte aquí llamada Cerritos de las Víboras. Otras localidades, recomendadas para su estudio por F. Longoria, tales como el Cerro Cañedo y el extremo suroriental del Cerro Gamuza (antes Cerro del Gachupín) no dieron resultados satisfactorios, en lo que a la búsqueda de estromatolitos se refiere. Estos hechos se mencionan aquí, pues según Gamper y Longoria (1978 ó 1979?) las localidades estudiadas por ellos fueron expuestas a R. Weber (véase capítulo 1.3 y 3.2.2.).

Los estromatolitos ramificados del Cerrito de la Milla y de los Cerritos de las Víboras fueron identificados como Jacutophyton. Este resultado fue presentado en septiembre de 1978, en una contribución fuera de programa al VII Congreso Mexicano de Botánica (Weber, Cevallos y Mendoza, 1978). Luego,

con participación de estudiantes, se redactó el primer informe sobre el curso de Biología de Campo, terminado a fines de octubre de 1978 (Biología de Campo, 1978). A partir de él, se elaboró un manuscrito para publicación que fue entregado a principios de 1979 (Weber y colaboradores, 1979). El segundo informe del curso, terminado en febrero de 1979, fué redactado por R. Weber y S. Cevallos Ferriz (Biología de Campo, -- 1979). En ese documento se presentan algunos aspectos del conocimiento del Pre cámbrico en el SW de los Estados Unidos de América, se menciona también el hallazgo de estructuras microscópicas, posibles microfósiles, en pedernal y se da una interpretación preliminar de los estromatolitos en forma de planchas, antes llamados tabulares, del Cerrito de la Milla, con base en fotografías de campo.

Al terminarse el curso se formularon los objetivos definitivos de esta investigación:

- A. Observaciones geológicas en las localidades trabajadas en la Biología de Campo.
- B. Colecta y descripción de los estromatolitos tabulares del Cerrito de la Milla.
- C. Interpretación paleoecológica de los mismos.
- D. Evaluación del potencial bioestratigráfico de los estromatolitos.
- E. Examen de los posibles microfósiles, en el pedernal del Cerrito de la Milla.

A continuación, se desarrollaron las siguientes actividades, sin que se encontrase financiamiento oficial alguno.

Del 16 al 26 de mayo de 1979, el autor acompañado por O. Comas, realizó una segunda visita a las localidades del Cerrito de la Milla y de los Cerros Pitiquito, con el fin de trazar secciones, de colectar muestras de los estromatolitos y de la roca encajante y para observar si el desarrollo de los biohermas de Jacutophyton muestra ciclicidad, en estas localidades.

En seguida se intensificaron los

trabajos de gabinete y de laboratorio, así como la dificultosa documentación bibliográfica. En julio de 1980, en el IV Coloquio sobre Paleobotánica y Palinología, se presentaron resultados preliminares en cuanto a la interpretación paleoecológica de los estromatolitos en forma de planchas, del Cerrito de la Milla (Cevallos y Weber, 1980), y sobre el significado bioestratigráfico de los estromatolitos identificados por estos autores (Weber y Cevallos - 1980).

La importancia del presente proyecto reside en que, por primera vez en México, se han estudiado estromatolitos fósiles de una manera detallada y con miras a utilizarlos en interpretaciones bioestratigráficas. De esta manera, se abrió un campo nuevo para la investigación paleontológica en México que tiene considerables posibilidades de desarrollo. A su vez, este trabajo podrá ser un estímulo para correlaciones estratigráficas posteriores, más sofisticadas que las ya existentes, entre el Precámbrico de Sonora y del Suroeste de los Estados Unidos de América.

3. AREA DE TRABAJO, LOCALIDADES, MATERIAL Y METODO.

3.1. Area de estudio. El área donde se hicieron los recorridos pertinentes a esta tesis, se localiza en la parte NW de la República Mexicana, en los alrededores de Caborca, Sonora. Está delimitada por los paralelos 30°45' y 30°20' de latitud N y los meridianos 112°10' y 112°00' de longitud WG y constituye una franja de aproximadamente 20 km por 40 km. Asimismo, es parte del Cuadrángulo Caborca (Merriam e Eells, 1978 o 1979) y también del Cuadrángulo Pitiquito-Primavera de Longoria y coautores (1978 o 1979).

El acceso a la zona es posible por la carretera internacional de Hermosillo-Mexicali o por el ferrocarril del Pacífico que tiene estaciones en Caborca y Pitiquito. A partir de esta última población, las distintas localidades son accesibles por la brecha que parte de este poblado rumbo al Rancho Bámori y algunos caminos de tierra, que parten de la misma (compárese Weber y colabo-

radores, 1979).

3.2. Localidades.

Las localidades visitadas se ubican en el extremo NW del área, en la ciudad de Caborca, y a un par de Km al sur de Pitiquito, segunda población en importancia del área de estudios (Figura 2).

3.3.1. El Cerrito de la Milla

Esta elevación forma parte de una serie de pequeñas lomas en la periferia N. de Caborca, y se ubica al N. del terraplen del Ferrocarril del Pacífico, al suroeste de la carretera Internacional y al E de la avenida que comunica ésta con el centro de Caborca, en dirección N-S. Las coordenadas correspondientes son 30° 43' 15" de latitud N y 112° 08' 50" de longitud WG (Figura 3).

El Cerrito de la Milla está constituido en su totalidad, por rocas carbonatadas precámbricas, cubiertas por escombros erosional, particularmente en el flanco sur y en la porción media del cerro. En algunas partes, sobre todo la media y la occidental, en el pasado hubo pequeñas labores de cantera, cuyos terrenos destruyeron aún más la observación de la roca madre.

Mayores variaciones en el echado de los estratos, entre casi 90° en el suroriente, 55° en el occidente, y de menos de 20° en el nororiente, indican, que las rocas están fracturadas en una serie de bloques, ya sea por afallamiento de mayor escala o, tal vez, por derrumbes ocurridos en algún tiempo, cuando este cerro estuvo menos sepultado en el aluvión del Terciario y Cuaternario de su alrededor, y por tanto, su relieve fue más abrupto. Bloques de pequeñas dimensiones se observan muy bien en la base del extremo nororiental del cerro.

Además, la variación de los echados se debe, en parte, a la presencia de espesos biohermas estromatolíticas en algunos niveles, cuyas superficies irregulares dificultan el trazo de secciones. Por este motivo, Weber y coautores (1979) presentaron sólo una descripción generalizada de las unidades expuestas en el Cerrito de la Milla.

En la siguiente descripción de las unidades expuestas en el Cerrito de la Mi

lla, se parte de la suposición, de que los estratos más antiguos afloran en el extremo noroccidental.

Tienen rumbo W-E y echado de entre 50° y 55° S (cf. Arellano, 1946).

La sección se inicia con un paquete de dolomías fuertemente intemperizadas y, en parte, silicificadas, con estromatolitos, de alrededor de 10 m. de espesor.

Por falta de estromatolitos expuestos en superficies frescas, no se hicieron observaciones detalladas, en este horizonte.

Suprayace un estrato de unos 5 m. de espesor, constituido por caliza crema (espatita) que carece de fósiles.

La unidad siguiente tiene alrededor de 10 m. de espesor. Consiste de calizade color crema oscuro (espatita), con biohermas estromatolíticas. Los estromatolitos destacan en color rojo óxido, a veces muy intenso. En este estrato está intercalado un cuerpo de pedernal de, al menos localmente, más de 2 m de espesor. Tal vez, un estrato de pedernal semejante que aflora en la falda N de la porción oriental del Cerrito de la Milla, marca el mismo nivel estratigráfico. El pedernal tiene color negro y, en muestras de mano, presenta una laminación fina, horizontal, en que alternan rítmicamente bandas negras y de color gris oscuro. En algunos casos, tiene manchas de color óxido, y frecuentemente, en microfracturas, se precipitaron delgadas capas de minerales de hierro del mismo color.

En la porción superior de hallan los niveles con Jacutophyton y Platella que se examinan más adelante. Es importante mencionar que la mayor parte de la roca con estromatolitos correspondientes a este estrato, y que se observan en el afloramiento, representan bloques aislados, cuyas estratificación ya no se orienta en el echado general de la sección.

En la cima de la unidad se observó una dolomía gris oscuro con numerosos ejemplares de Conophyton de diámetros de alrededor de 10 cm. Se considera posible, que este nivel sea correlativo al bioherma de Conophyton que aflora -

en la cresta de la parte media oriental del cerro.

Más allá, en la porción occidental, la sección no es observable, ya que está cubierta por escombros de talud.

En cuanto a la supuesta continuación de la sección en la parte oriental, comparese la descripción en Weber y coautores (1979).

3.2.2. Los Cerritos de las Víboras

Esta pequeña serranía forma parte de los Cerros Pitiquito, denominados así - por Longoria y coautores (1978 o 1979?). Los Cerros Pitiquito se extienden en el SE de la población del mismo nombre, y al E de la brecha que comunica este poblado con el Rancho Bámori, en dirección N-SSE (Mendoza, 1979), y a su vez, son la parte norte de la Sierra Rajón. Weber y coautores (1979) utilizaron en vez del topónimo Cerros Pitiquito el de Cerros Caborca, usado en 1978, por los geólogos que trabajaban en la región.

Los Cerritos de las Víboras se ubican a unos 7 a 8 km al SSE de Pitiquito y pertenecen a la cadena occidental de los Cerros Pitiquito. En el N y SE están flanqueados por dos valles que drenan los Cerros Pitiquito hacia el poniente. El valle ubicado al oriente y sur parte de una depresión interior amplia, paralela a las dos cadenas de los Cerros Pitiquito. Hacia el poniente, el valle se torna transversal y forma un "cuello de botella", antes de desembocar a la planicie amplia de aluvión que se extiende entre Pitiquito y Bámori. El costado N de esta parte angosta del valle, lo forman los Cerritos de las Víboras.

La localidad estudiada en esta tesis, se ubica en el mismo costado, en la intersección de las coordenadas 30° 36' de latitud N y 112° 01' WG, y a alrededor de 8 km al SSE de Pitiquito (Figura 4).

Esta zona fue visitada en 1944, por Cooper y Arellano, lo cual es atestado por la etiqueta de campo de la muestra CA-5, colectada por estos geólogos "en el lado poniente del Cerro del Chino, 4-5 millas al SSE de Pitiquito" (Comparese 3.3. Material). La figura 3 de Cooper y Arellano (1946)

indica que para todo el conjunto hoy - llamado Sierra Rajón, ellos utilizaron el nombre de Cerros del Chino. Lo confirman también en el texto (Cooper y Arellano, 1946, p. 608). Arellano (1946, p. 8) utilizó, además, el nombre de Cerro San Pedro.

Mendoza (1979: 81) se refiere a la localidad examinada a continuación, en los siguientes términos: "Un hecho de importancia relevante, es el descubrimiento de un excelente afloramiento de estromatolitos, durante el caminamiento e-f, formado de estructuras estromatolíticas... con notables ramificaciones... Este afloramiento llamó tanto - la atención que se invitó al Dr. R. Weber... quien con un grupo de alumnos... fue llevado al sitio de afloramiento, - empezando de inmediato el estudio del - mismo". En verdad sucedió lo siguiente (comparese capítulo 1.5.). En septiembre y octubre de 1978, coincidieron un grupo de estudiantes de Geología de la UNISON, encabezados por J.F. Longoria, M.A. González, J.J. Mendoza y V.A. Pérez, y un grupo de estudiantes de Biología de la UNAM, con R. Weber y S. Cevallos, para efectuar trabajo de campo en el área de estudio de esta tesis. Ambos grupos tuvieron programas definidos con anterioridad, y trabajaron independientemente. No obstante, el día 27 de septiembre, R. Weber pidió información sobre el más fácil acceso a los Cerros Pitiquito. J.J. Mendoza le recomendó una visita a los aquí llamados Cerros de las Víboras, visibles desde lejos, por la presencia de un "mogote cónico rojizo", y cercanos al camino de brecha mencionado. El 28 de septiembre el grupo de estudiantes guiados por R. Weber, se dirigió a la zona indicada - por J.J. Mendoza, sin que éste u otro de sus colegas geólogos los acompañasen. En este día, R. Weber localizó - los estromatolitos del grupo Jacutophyton, ciertamente con notables ramificaciones. En la noche del mismo día, estos estromatolitos fueron identificados por R. Weber, y el hallazgo fue discutido con los estudiantes. Además, fue comunicado a J.F. Longoria y colaboradores, sin mencionarles el nombre de Jacutophyton. El día siguiente, R. Weber invitó a J.J. Mendoza y un colega de él, a acompañarlo en otro recorrido de la misma localidad, junto con los es

túdiantes. Se les enseñó el bioherma de estromatolitos ramificados, el cual ciertamente llamó mucho su atención, pues, según Mendoza (com. verbal de ese mismo día), antes nadie había subido hasta ese acantilado, además de que el caminamiento llamado e-f (Mendoza, 1979) se haya efectuado sobre el cauce del arroyo que viene del interior de la sierra. J. F. Longoria tuvo conocimiento de lo sucedido, de inmediato. Se considera difícil de entender ¿por qué el asesor de la tesis de J. J. Mendoza (1979) no corrigió la versión antes citada? Este asunto se refiere en este trabajo, pues datos falsos vertidos en una tesis profesional requieren de una contestación por el mismo conducto.

Esta misma localidad fue reexaminada en 1979, por el autor de esta tesis.

Sus alrededores fueron representados por Mendoza (1979, Fig. 6) en una sección esquemática, que muestra el flanco sur de los Cerritos de las Víboras; de abajo para arriba y del poniente al oriente, afloran las Formaciones Pitiquito, Gamuza y Papalote. Los estratos tienen rumbo generalizado NW-SE y echados de entre 7° y 43°NE.

La formación Pitiquito aflora en el frente occidental de los Cerritos de las Víboras, y consiste de rocas terrígenas. En el valle antes descrito, forma una pequeña elevación cónica que se distingue de las siguientes hacia el oriente por su coloración rojiza. En las elevaciones siguientes afloran las formaciones carbonatadas Gamuza y Papalote.

La Formación Gamuza está bien expuesta, en los costados de un valle tributario bifurcado, en cuyos costados se formaron amplias lomas y acantilados abruptos, y que se muestra, junto con la sección descrita más adelante, en la Figura 4. La coloración general de esta parte es gris.

En general, hay que señalar también para esta localidad, que los sedimentos precámbricos están afectados por un tectonismo muy complejo. Mendoza (1979, Fig. 6) refiere varias fallas mayores. Por otra parte, hay numerosos afallamientos menores, cuyo patrón debería desenredarse en un estudio detallado. En consecuencia, es frecuente encontrar bloques aislados que no encajan en la secuencia generalizada, frag-

mentación de las unidades en bloques mayores o menores que aún se encuentran en posición aproximadamente original y múltiples niveles de brechas de falla. No extraña, por tanto, que los estromatolitos observados en estas rocas, frecuentemente no tienen orientación definida, en relación con la estratificación.

El trazo de la sección que a continuación se describe (cf. Figura 4) se inició en un punto arbitrario, situado en el margen N del río que cruza los cerros, y donde la Fm. Gamuza está cubierta por conglomerado de talud, y un paquete de calcilita, aparentemente muy transportado, de color grisáceo en fresco y amarronado, al intemperismo. No se observaron estratificación ni fósiles (Unidad 1).

Encima sigue una caliza (calcilita) microgranular de 3.80 m de espesor, de color gris sucio en fresco y gris claro a la intemperie. En la base de esta unidad y por encima de un pequeño nivel de conglomerado, la caliza muestra pisolitas. En las grietas y fracturas de la misma, penetraron otras calizas más oscuras, portadoras de estromatolitos, pertenecientes a la unidad suprayacente. La unidad no presenta fósiles autóctonos (Unidad 2).

Sobre ella descansa una caliza (espatita) portadora de estromatolitos, mejor expuesta, y de 3.20 m de espesor y una inclinación de 23° NW. En su base, muestra color gris claro y oscuro, mientras que en su parte superior, predomina el color más oscuro, a la intemperie. En fresco, su color es gris claro. (Unidad 3).

La sobreyace una caliza (espatita) microgranular, muy silicificada con estromatolitos, de 2.50 m de espesor y con inclinación de 23° NW. Tiene color gris acerado en fresco y gris oscuro a la intemperie.

Esta caliza está fuertemente fracturada. Contiene también caliza conglomerática, hacia su cima. Los estromatolitos cuya disposición van de la perpendicular a la horizontal, con respecto a la estratificación, son frecuentemente encontrados. En la cima de la unidad se observa una caliza de color crema. (Unidad 4).

Encima de ella descansa una caliza (espatita) oscura, muy fragmentada, de unos 7.50 m de espesor, y con inclinación de 30° NW. Es fosilífera en su porción inferior y superior. En su parte media, la caliza presenta laminación fina, probablemente de origen algal. Posee algunos niveles de conglomerado, de 1 a 10 cm de espesor. En la parte superior se pierde casi por completo la estratificación y se observan venas anchas de calcita (Unidad 5).

Weber y coautores (1979) presentaron una descripción un poco más general de las rocas aflorantes en esta localidad, que se denomina aquí "Cerritos de las Víboras" por la gran densidad de la población de víboras de cascabel, en ella.

3.3. Material. Los estromatolitos referidos en esta tesis fueron, en parte, observados y fotografiados en el campo.

Desde inicios del proyecto, al que corresponde esta tesis, se disponía de una serie pequeña de muestras, colectadas en 1944 por Cooper y Arellano, y que se encuentran en la colección paleobotánica del Museo de Paleontología (Inst. Geol. UNAM.).

Las etiquetas de campo correspondientes a algunas de ellas, se habían perdido antes de que se iniciase este proyecto.

Las que aún se conservan, tienen datos de localidad bastante exactos. Los ejemplares mismos tienen números originales de CA-1 a CA-9. Las muestras CA-2, CA-6 y CA-8, provienen del lado occidental del llamado "Cerro Gachupin", hoy Cerro Gamuza; la CA-5 fue colectada en el flanco oeste del "Cerro del Chino". Muy probablemente se trata de la localidad de los Cerritos de las Víboras, antes descrita.

Ejemplares adicionales del material colectado por Cooper y Arellano, se encuentran depositados en el Museo Nacional de Washington.

En 1978 (compárese capítulo 2.1) se incorporaron a la colección paleobotánica del Museo de Paleontología (Inst. Geol., UNAM), 78 ejemplares de estroma-

tolitos con los números provisionales WGB 78-1 a 78, y 21 muestras de pedernal (WGB-78-P1 a 21) que fueron colectados durante el curso de Biología de Campo antes mencionado.

Los estromatolitos WGB 78-1 a 54 provienen de diferentes puntos en el Cerrito de la Milla; los que llevan los números WGB 78- 59 a 61 del Cerro Gamuza y los restantes, números WGB 78-62 a 78, de varias unidades descritas aquí de los Cerritos de las Víboras. Las muestras de pedernal se colectaron en el Cerrito de la Milla. En algunas muestras de estromatolitos (WGB-78-2, 17, 39c, 49, 60, 65, 68, 72 y 76) se elaboraron superficies pulidas y láminas delgadas, durante el curso. Estos materiales no fueron utilizados para esta tesis.

Las muestras de pedernal WGB-78 P. 1, 2 y 3 fueron enviados en 1978 a J. W. Schopf, para elaboración de láminas delgadas.

Para el mismo fin se utilizaron, durante el curso, las muestras de pedernal WGB-78-p 7, 12, 18 y 20.

Las muestras de pedernal WGB-78 P 9, 13 y 21, fueron sujetas, en 1979 y 1980, a maceración palinológica.

En mayo de 1979, el autor de esta tesis colectó muestras adicionales de estromatolitos, rocas encajantes y pedernal, que una vez concluida esta investigación, serán donadas a la colección paleobotánica del Museo de Paleontología (Inst. Geol., UNAM). Llevan los números de colecta CF-791 a 25 (estromatolitos y roca encajante) y CF-79 P-1-5 (pedernal del Cerro de la Milla).

La muestra CF-79-1 se describirá detalladamente, más adelante.

3.4. Métodos y técnicas.

El entendimiento profundo paleobiológico de los estromatolitos del Precámbrico sedimentario de Caborca requiere sin lugar a duda, de investigaciones prolongadas. El presente trabajo y las fases anteriores del proyecto a que corresponde, pretenden, por

una parte, explorar las posibilidades de investigaciones futuras en el área y el material que ofrece, y por otra, dar primeros resultados y proponer algunas hipótesis que tendrán que elaborarse en estudios posteriores.

3.4.1. Método de campo.

La salida al campo de 1978 se efectuó con la finalidad de exploración, sin que se midieran secciones. Los afloramientos fosilíferos fueron fotografiados intensamente, a color y en blanco y negro. En la observación, se les dió preferencia a los biohermas estromatolíticos, cuya variación arquitectónica se trató de interpretar y reconstruir (Weber et al., 1979). En la campaña de 1979, se intentó ampliar estas observaciones y de correlacionarlas con secciones medidas (compárese capítulo 3.2), mismas que se levantaron con cinta y brújula. En las unidades diferenciadas en dichas secciones, se tomaron muestras, particularmente de las rocas encajantes de los estromatolitos.

3.4.2. Trabajo de laboratorio. Las muestras colectadas en 1978 fueron, en parte, sometidas a laminación y elaboración de superficies pulidas, en los laboratorios del Consejo de Recursos Minerales, bajo la supervisión del Sr. Agustín Rodríguez. Debido a que el control de campo de algunas de estas muestras fue insuficiente, no se utilizaron para esta tesis. Algunas muestras de pedernal colectadas en la misma ocasión, fueron enviadas en otoño de 1978, para laminación, al Dr. J. W. Schopf, de la Universidad de California en Los Angeles. Las láminas se recibieron a principios de 1979 y fueron examinadas, principalmente por R. Weber, con un fotomicroscopio ZEISS de la Facultad de Ciencias, UNAM., con el fin de buscar vestigios de microflora. Dos de estas láminas delgadas fueron estudiadas mineralógicamente, por el Dr. L. de Pablo (Inst. Geol., UNAM). Los resultados fueron dados a conocer por Weber y Cevallos (Biología de Campo, 1979).

Otra serie de láminas delgadas -- fueron elaboradas de muestras colectadas en 1979, por el Sr. Agustín Rodríguez con su equipo particular.

La identificación petrográfica de 18 de estas láminas fue realizada en el Laboratorio de Petrografía, del Consejo de Recursos Minerales.

La serie incluye 81 láminas delgadas de pedernal del Cerrito de la Milla, que fueron observadas y, en parte fotografiadas con el fotomicroscopio ZEISS, equipado con accesorios para contraste de fases, del Laboratorio de Palinología (Inst. Geol. UNAM), en colaboración con el Sr. Héctor Hernández.

Varias muestras de pedernal del Cerrito de la Milla fueron sujetas a maceración palinológica, por la Biol. Cecilia Tomasini y el Sr. Héctor Hernández, de Laboratorio de Palinología (Inst. Geol., UNAM).

Se cuenta con un total de alrededor de 100 preparaciones, elaboradas con varias técnicas. Se tomaron fotografías de este material con el equipo antes mencionado.

Por causas económicas y técnicas no se pudo utilizar en esta tesis el método de reconstrucción gráfica de los estromatolitos, basado en series de cortes paralelos. El costo de tales trabajos, necesarios en investigaciones futuras, será elevado, debido al gran tamaño y la dureza de los estromatolitos del área.

3.4.3 Trabajo de gabinete. En este inciso, merecen mención solamente los análisis de los datos obtenidos de la muestra CF-79-1, que se explicarán en el contexto de la descripción y del estudio paleoecológico (véase capítulos 4.2 y 5.6).

4. DESCRIPCION, TAXONOMIA Y PALEOECOLOGIA DE LOS ESTROMATOLITOS.

4.1. Descripción.

Los estromatolitos, en el sentido definido al principio de esta tesis, se presentan con mucha frecuencia formando biohermas estromatolíticas complejas. Estos están constituidos por elementos arquitectónicos de forma determinada, por ejemplo, columnares, domales, estratiformes o tabulares. El término de arquitectura se utiliza en esta tesis, con referencia a la configuración que tienen estos elementos en las biohermas. Debido a que dicha configuración está en parte dada por la forma externa de los elementos, ésta última también se incluye en el concepto de arquitectura.

Por otra parte, todos los elementos arquitectónicos están compuestos por láminas sucesivas. A esta laminación como a otras características internas de los estromatolitos, se refiere en esta tesis, el término de estructura.

Cada una de las láminas tiene una forma tridimensional específica, ya sea cónica, hemisférica, hemielipsoidal, acanalada o plana, misma que define, en parte, la forma externa de los elementos.

De acuerdo con lo anterior, el concepto de forma abarca a la vez aspectos de la arquitectura y de la estructura. Por este motivo, se incluye aquí la forma de las láminas en el concepto de estructura. El término forma se utilizará de una manera inconvencional y se evitará el de morfología.

En la descripción de los estromatolitos, que son cuerpos tridimensionales, es necesario referirse a cortes, ya sea con respecto al estrato en que están incorporados o con respecto a los elementos mismos.

A. Cortes con respecto al estrato:

Corte horizontal. Atraviesa al estromatolito paralelamente al estrato.

Corte vertical. Es perpendicular al estrato.

B. Cortes con respecto al estromatolito.

Corte transversal. Secciona al estromatolito perpendicularmente a su eje de mayor longitud.

Corte radial. Pasa por el estromatolito en el plano al que pertenece el eje de mayor longitud.

Corte tangencial. Atraviesa al estromatolito en algún plano paralelo al corte radial.

Corte oblicuo. Secciona al estromatolito con un ángulo menor de 90° y mayor a 0° , con respecto al eje de mayor longitud.

Los siguientes términos fueron definidos por Walter (1972, modificado):

Columna: Elemento estromatolítico discreto, con dimensión en la dirección dominante de crecimiento al menos doble a la dimensión transversal.

Ramificación: Se aplica a la división de una columna en nuevas columnas discretas. Las columnas se vuelven discretas cuando son separadas por un interespacio.

Domal: Se refiere a elementos o estructuras con radio de curvatura aproximadamente constante.

Zona axial: Designa a la línea central de una columna, y se usa particularmente, cuando en esta línea se observan rasgos estructurales peculiares. Weber y coautores (1979), utilizaron en vez de este término, el de eje central.

4.1.1. Conophyton MASLOV y Jacutophyton SHAPOVALOVA.

Representantes de estos grupos, de la región de Caborca, fueron examinados ampliamente por Weber y colaboradores (1979), sobre todo con base en los extensos biohermas des-

descubiertos en los Cerritos de las Víboras, entonces llamados Cerros Caborca. En la misma publicación se mencionó la presencia, en el Cerrito de la Milla, de biohermas de Jacutophyton, cuyos elementos muestran una gran diversidad arquitectónica, y, sobre todo, se señaló el hallazgo de elementos tabulares, cuya arquitectura, en esta tesis se refiere con el término de planchas verticales.

Las observaciones correspondientes de Weber y coautores (1979) fueron representadas en la figura 5.

4.1.2. Platella KOROLYUK.

Los estromatolitos de este grupo se encontraron exclusivamente en el nivel estratigráfico inmediatamente suprayacente al estrato de pedernal (Unidad 3), mencionado previamente por Arellano (1956). Al parecer, los bloques con Platella encontrados en esta localidad, no estaban in situ.

A continuación, con base en fotografías tomadas por R. Weber y M. A. Gutiérrez, en 1978, y la muestra WGB-78-48A, se describirán porciones de estos biohermas, constituidas exclusivamente por elementos en forma de plancha vertical. Luego, con base en fotografías, se examina un bloque, en que se encontró una columna central de Conophyton, con varias planchas distalmente sobrepuestas. Finalmente, se procede a un análisis detallado de la muestra CF-79-1, en la cual se fundamenta la reconstrucción (figura 16).

4.1.2.1 En la figura 6 se observa el afloramiento de algunos bloques disgregados con estromatolitos elongados en corte aproximadamente vertical; y perpendicular a los planos de los elementos, que forman canales en la superficie de la roca. Estos estromatolitos alcanzan una altura mayor a 30 cm y son ligeramente sinuosos y rugosos.

Tienen entre 1 y 2 cm de grosor, y están separados por interespacios de aproximadamente 3 a 4 cm.

La fig. 7 muestra otra superficie expuesta en este grupo de bloques, con elementos en las mismas dimensiones.

4.1.2.2. La muestra WGB 78-48 A es una pieza de roca en forma de una cuña burda, de 62 cm de largo, y 24 cm de anchura máxima, medida en la superficie superior. Tiene 28 cm de altura.

La cara superior muestra cortes horizontales de 7 elementos elongados, cuya continuidad vertical en la muestra se observa fácilmente. Tres de estas planchas son paralelas, las demás forman ángulos menores a 46°, con referencia a las anteriores (figura 8).

Uno de los elementos se observa en los dos lados de la muestra, desde la base, y en la superficie superior. Obviamente atraviesa toda la muestra.

Los demás elementos, son visibles sólo por un lado del bloque (Figura 9), debido a que el otro lado está cubierto por material endurecido de relleno de fractura, y por caliche. En el lado limpio se nota que al menos cinco de los elementos, son continuos desde la superficie inferior de la muestra. Se infiere que todos estos elementos atraviesan el bloque completamente. Los elementos se encuentran en posición vertical, son aproximadamente planos y muestran, en parte, orientación notablemente paralela, particularmente en sentido vertical. Tienen grosor mínimo de 1 cm. La anchura máxima no se midió, porque algunos de los elementos poseen pequeños abultamientos secundariamente sobrepuestos. Los interespacios o canales, miden entre 5 y 6 cm de anchura. La muestra WGB 78-48 A no formó parte del conjunto de bloques anteriormente descritos. Los estromatolitos elongados que contiene, semejan fuertemente los de la muestra CF-79-1.

Los elementos de esta muestra coinciden estrictamente con la definición de Platella de Krylov (1975). (Compárese capítulo 4.3.2.).

4.1.2.3. Las figuras 10 y 11 son fotografías de campo de otro bloque, expuestos en un sitio distante de los anteriores. Su altura expuesta es de unos 45 cm. En un lado de su base se observa un estromatolito columnar de muy grandes dimensiones, de unos 30 cm de diámetro con la estructura típica de un Conophyton bien desarrollado (cf. Weber y coautores, - - 1979), y que está fracturado a lo largo de su laminación, quedando una parte de él separada del bloque grande. Otra parte, más periférica, de este Conophyton se encuentra aún adherida al fragmento mayor. En esta porción se observa un cambio abrupto de la estructura, que es del tipo Conophyton, en la parte inferior, y domal aplanada en el extremo distal. En este mismo nivel, la columna muestra claramente ramificación. En la parte superior del bloque, se observa que las ramas tienen forma de plancha. Tres de ellas atraviesan el bloque en toda su anchura, y algunas otras están sólo muy parcialmente preservadas, debido a la forma irregular del bloque. Todas tienen posición vertical igual a la de la columna y orientación subparalela. Su grosor es de 3 cm. aproximadamente.

4.1.2.4.

El conjunto de estromatolitos más importante, para esta tesis, con el número de muestra CF-79-1, fue descubierto en 1978. Weber y Cevallos (Biología de Campo, - - 1979) dieron una descripción preliminar basada en fotografías de campo. En 1979, se recogió la muestra, con la ayuda de una grúa. Fue transportada en ferrocarril a la Ciudad de México. La muestra tiene aproximadamente 2 m de largo, 75 cm de ancho y 50 cm de espesor y un peso de 1,500 kg. Durante la extracción se fracturó en dos partes que para las siguientes observaciones fueron reensambladas gráficamente. Una vez en México, se pulieron la cara superior y el plano de factura cubierto por caliche y suelo endurecido, de una de las piezas.

A la intemperie, la roca es gris clara, y los estromatolitos que contiene, son de color rosáceo pálido, con bandas de colores distintos, como café, naranja, amarillento y blanco sucio. En superficie puli-

da, los estromatolitos tienen color gris o rojo intenso, y la roca encajante es gris oscura o negra. Esta última es una caliza arenosa.

La importancia de este ejemplar reside en que muestra un amplio corte más o menos horizontal de un bioherma en que se observan elementos estromatolíticos muy diversos. La figura 12 es una fotografía de campo de este conjunto, tomada antes de su extracción. En la figura 13 se representan esquemáticamente los contornos y los patrones de laminación de los elementos principales que constituyen el bioherma, expuestos en la cara superior, después de limpiar y pulir la muestra. Además, en la Figura 14, se anotaron letras y números, correspondientes a cada uno de los elementos estromatolíticos y los interespacios o canales que los separaban "en vida".

La línea interrumpida en las dos figuras designa, donde la muestra se fracturó en dos partes. Los estromatolitos visibles en la muestra pueden, a grosso modo, dividirse en principales y accesorios. Sólo los primeros se encuentran representados en las Figuras 13 y 14, tienen mayores dimensiones y contornos mejor definidos, mientras que los accesorios, se localizan en los interespacios de los primeros. Estos tienen contornos irregulares o difusos, y son generalmente de dimensiones muy pequeñas. Las consideraciones de esta tesis se refieren casi exclusivamente a los elementos principales.

Además, la muestra tiene gran importancia, porque las posiciones relativas de los elementos principales, junto con sus patrones de laminación, sugieren consideraciones sobre la arquitectura tridimensional del bioherma y las relaciones espaciales de los elementos. Estas consideraciones se expondrán en el contexto de la reconstrucción (Capítulo 4.2.) y, a su vez, llevarán más adelante a conclusio-

nes referentes al desarrollo del bioherma y sus elementos arquitectónicos en el tiempo, es decir, sobre su crecimiento. Este aspecto será examinado en la discusión paleoecológica (capítulo 5.6.).

Entre los elementos principales pueden diferenciarse tres tipos fundamentales, en la realidad sólo gradualmente distintos; primero columnas del tipo de Conophyton, cuyo contorno en el corte transversal es más o menos isodiamétrico y que pueden mostrar protuberancias sobrepuestas en la superficie (Figura 14: U, R, S). En segundo término, hay elementos oblongos o elongados (Fig. 14: D, E, F y, probablemente también T, P, Q, W y X), y tercero, se observan elementos con corte horizontal en forma de "herradura" (Fig. 14: I, M, O y quizás, también N).

Los elementos del tipo de Conophyton son poco numerosos y relativamente pequeños. Sólo en uno de ellos se observan dos cortes, el horizontal (Figura 14: S) y otro, oblicuo (Figura 15), que está expuesto en la superficie de fractura pulida. En este último corte se observa muy claramente la laminación que es concéntrica y de densidad aproximadamente igual, desde la periferia hasta el centro. En éste hay una porción elíptica con dimensión menor de alrededor de 1.5 cm. en que no se observa laminación. Esta porción corresponde a la zona axial. En la parte inferior de la Figura 15, la columna es incompleta y las láminas se encuentran cortadas. Debido a que las columnas de Conophyton normalmente son más o menos isodiamétricas y compuestas por láminas cónicas completas, esta observación se explica como resultado de erosión, que removió una parte de la columna, durante o después de su desarrollo.

Las demás columnas del tipo Conophyton no permiten observaciones tan completas, ya que se dispone sólo de los cortes horizontales (Figura 14: U y R). Sin las prolongaciones periféricas, tienen diámetros de alrededor de 10 cm. No se observan zonas axiales, pero si tienen laminación concéntrica.

Los elementos principales del segundo tipo son bastante numerosos, en la muestra. En corte horizontal son más o menos

elongados, tienen algunas protuberancias superficiales y extremos redondeados. A veces son ligeramente flexuosos. El más largo de ellos (Figura 14: D), mide 56 cm de longitud, y juntos tienen una anchura media de 3.2 cm. La laminación, tal como se observa en los cortes, muestra diferentes patrones, en las porciones medias y en los extremos de los elementos. En las partes medias, que no necesariamente se localizan a distancia igual de los dos extremos, las láminas se orientan paralelamente al corte, de manera que una sola lámina puede ocupar un área bastante extensa. Hacia los extremos, las láminas se orientan oblicuamente al corte, de modo que en éste, aparecen como arcos. Estos arcos, sin embargo, generalmente no son simétricos, con respecto a la línea media longitudinal, sino que sus cimas dirigidas hacia los extremos del elemento, se encuentran desplazados todos hacia un lado del estromatolito. De acuerdo con esto, en la porción central, las áreas delimitadas por las láminas son elipses desplazadas hacia un lado del estromatolito, donde se encuentran aplanados. Es decir, los focos no coinciden con la línea media del estromatolito. En uno de los elementos elongados (Figura 14: E; compárese también Figura 13), se observan dos porciones centrales con desplazamiento de los focos a diferentes lados de la línea media longitudinal. Por ello, se cree que este elemento es compuesto. En la parte, donde cambia el desplazamiento de un lado al otro, el elemento se dobla, lo cual apoya la interpretación anterior.

En lo que a la posición en el bioherma se refiere, los elementos oblongos son subparalelos y parecen tener dos direcciones predominantes de orientación. Esta observación preliminar intuitiva se analizará más adelante, en el contexto paleoecológico (capítulo 5.6.).

Aunque en esta muestra se observen sólo los cortes horizontales de

los elementos oblongos, con base en una comparación con la muestra WG-78-48 A, -- previamente descrita, se concluye que estos elementos tienen forma de planchas, y que son transicionales entre las ramas típicas, más o menos isodiamétricas de Jacutophyton y las planchas del grupo Platella.

El tercer tipo de elementos principales, en corte horizontal, muestran contorno fuertementedoblado, más o menos a manera de "herradura", e irregular. Generalmente, el foco de la laminación se localiza en o cerca de la porción media, de donde parten los dos brazos de la "herradura". Ellos se discutirán más ampliamente en la reconstrucción (capítulo 4.2.) y en la discusión paleoecológica (capítulo 5.6.). Valga añadir, que estos elementos son muy variables en el patrón de laminación y en sus dimensiones.

Los elementos G y H (Figura 14), que se localizan junto al elemento elongado - F, no encajan en ninguno de los tres tipos antes descritos. En corte horizontal, son marcadamente más anchos que la anchura media de los elementos elongados, no tienen porción media circular con laminación concéntrica y sus contornos de ninguna manera pueden compararse con una "herradura". Sin embargo, muestran laminación con foco desplazado hacia el canal 15 (Figura 14).

Se supone que estos dos elementos son ramas apicales de una columna del tipo Conophyton localizada por debajo del corte observable en la muestra.

Con base en los datos descriptivos anteriores, es posible concluir que el bioherma de la muestra CF-79-1, es una modificación de Jacutophyton tal como fue descrito y reconstruido por Weber y coautores (1979; compárese Figura 5).

4.2. Reconstrucción de un bioherma Completo con Platella.

Las observaciones anteriores permiten proponer una reconstrucción ligeramente idealizada que se ilustra en la Figura 16. El diagrama representa un bloque de aproximadamente un metro de anchura, en su base, unos 80 cm de altura, y muestra varios cortes horizontales y verticales.

En la parte basal del bloque se dibujó arbitrariamente un extenso estromatolito estratiforme, que sirve como substrato para estromatolitos columnares del tipo Conophyton y -- otros que suelen estar presentes en los ciclos de Jacutophyton. El crecimiento de estas columnas se inicia a partir de elementos con estructura domal, en parte discretos desde la base, y en parte confluyentes. Poco arriba de esta base, las columnas son unidades discretas que ya a esta altura están ramificadas. Además, a este nivel, las columnas tienen, en parte, zonas axiales bien diferenciadas. Esta parte de la reconstrucción se apoya en las observaciones antes expuestas en la muestra CF-79-1, en los ejemplares ilustrados por Weber y coautores (1979, Fig. 4, 7 y 8) que provienen del mismo horizonte, y en ejemplares adicionales, observados en el campo.

Aproximadamente a la altura del primer corte horizontal, y más arriba, en la parte derecha del bloque, se muestra una superficie de erosión, donde varios elementos columnares se encuentran truncados. Este detalle de la reconstrucción se basa en la descripción anterior de un Conophyton con elementos en forma de plancha sobrepuestos (capítulo 4.1.2.3; Figuras 10 y 11). Encima de esta superficie erosional vuelven a presentarse elementos similares a los que se encuentran en la base del bloque, estratiformes y domales. También se regeneraron algunos elementos del tipo Conophyton, en la parte izquierda del bloque, y un elemento columnar de estructura domal. El Conophyton situado más a la derecha del bloque, reproduce el ejemplar de las Figuras 10 y 11, y por encima de él, a partir de la superficie erosional se localizan elementos del tipo -- Platella.

El segundo corte horizontal muestra una situación muy similar a la descrita anteriormente en la muestra CF-79-1 (capítulo 4.1.2.4.), y más arriba, en la porción derecha del --

bloque, se observan exclusivamente elementos del tipo Platella. Esta última porción de la reconstrucción se basa principalmente en la observación de la muestra WGB-78-48 A (capítulo 4.1.2.2., Figuras 8 y 9).

Se considera pertinente discutir a continuación algunas observaciones e ideas sobre la arquitectura de un bioherma como el de la reconstrucción, y particularmente, las relaciones espaciales de los elementos que lo constituyen. En especial, éstas se refieren al segundo corte horizontal del bloque y a la muestra CF-79-1. Apenas es dudoso que entre todos los elementos de este nivel, los columnares isodiamétricos (Figura 14: U, R, S y G+H), en vida, ocuparon las porciones más altas, sobresalientes, del bioherma. En la muestra CF-79-1, las columnas isodiamétricas tienen estructura domal a cónica. Una de las columnas muestra claramente una zona axial (Figura 14: S), a diferencia de las demás. Si éstas últimas tuvieran estructura de Conophyton bien diferenciada, mostrarían laminación de igual densidad, casi hasta su centro (Figura 17, derecha). En realidad, la densidad en el corte disminuye paulatinamente, desde la periferia, y más abruptamente, en el centro. Esto indica una estructura subcónica (Figura 17, en medio). Si la densidad disminuyera rápidamente, desde la superficie, la estructura sería domal (Figura 17, izquierda). A pesar de la estructura subcónica, estas columnas pertenecen a Conophyton que no necesariamente debe presentar zona axial.

Tal como Weber y coautores (1979) señalaron en su descripción de Jacutophyton los focos de la laminación de las ramas se encuentran, en cortes horizontales, constantemente desplazados hacia las columnas centrales de que parten estas ramas. Esto indica que en el conjunto de columna central y ramas, la estructura muestra un declive general centrífugo (Figura 18).

En la descripción de la muestra CF-79-1 (capítulo 4.1.2.4) se han mencionado dos elementos principales que no encajan en los tres tipos de éstos (Figura 14: G y ii), y que parecen ser ramas distales de

una columna de tipo Conophyton. La Figura 19 es una fotografía de detalle de estos elementos y los oblongos vecinos. La afirmación de que los elementos G y H son ramas apicales, se apoya en los siguientes argumentos: primero, si se unieran los elementos G y H, eliminando el canal entre ellos, resultaría un contorno aproximadamente circular. Segundo, los focos de la laminación de cada uno de estos elementos están desplazados hacia este canal, lo que indica un declive general de la estructura de ellos hacia los lados opuestos, no contiguos al canal mencionado. Esto, tercero, indica que los dos elementos juntos, en vida, habrán representado un punto prominente en el bioherma. Consecuentemente y cuarto, se supone que debajo de ellos, en el interior de la muestra, se ubica una columna del tipo Conophyton. Sin embargo, al nivel del corte observable (Figura 19), los elementos G y H no tienen láminas cónicas. El eje inferido común de ellos y que continuaría el del Conophyton, se ubica en el canal que los separa.

También ya se ha mencionado en la descripción de la muestra CF-79-1, que los elementos oblongos tienen focos estructurales lateralmente desplazados. De hecho, los estromatolitos F, D y E (en parte), de la Figura 14, tienen focos de laminación centrados aproximadamente sobre radios que parten del eje inferido entre los elementos G y H. La laminación en estos focos es más o menos horizontal, en el lado "adaxial" y tiene declive centrífugo, en el lado "abaxial". Por lo tanto, estos elementos obedecen al mismo declive estructural centrífugo que los elementos G y H. Esto sugiere que los elementos oblongos también son ramas del Conophyton, en el interior de la muestra. Por lo anterior, para la relación espacial entre los elementos examinados, se propone la reconstrucción libre de la Figura 20.

De la misma manera podrán analizarse las relaciones entre todos los

elementos de la muestra CF-79-1. Sin embargo, se considera preferible no llevar estos razonamientos al último detalle, en esta tesis, pues de ninguna manera pueden conducir a conclusiones y reconstrucciones comparables a aquellas que se elaboran con la técnica de series de cortes paralelos.

A pesar de ello, las observaciones anteriores se han utilizado ampliamente en el diseño de la reconstrucción de la Figura 16.

4.3. Taxonomía.

Los estromatolitos descritos en esta tesis fueron referidos por Stoyanow (1942) Arellano (1946, 1956) y Cooper y Arellano (1946, 1956) con los nombres de Collenia o Cryptozoon.

Posteriormente, Weber y colaboradores (1978) introdujeron los nombres de Cono-phyton y Jacutophyton, que fueron discutidos más ampliamente por Weber y coautores (1979). En esta tesis se añade el nombre Platella.

4.3.1. Cryptozoon y Collenia.

El uso de estos nombres en la literatura previa sobre los estromatolitos del Precámbrico sedimentario de Caborca, carece de significado taxonómico. Cryptozoon fue acuñado por Hall en 1883 ante la necesidad de distinguir entre los estromatopóridos y las "concreciones", hoy llamadas estromatolitos. Logan y coautores (1962) advierten que Hall definió los Cryptozoon en términos completamente claros como "formas discretas, subsféricas en su forma natural, al ser observadas en corte transversal; la forma es pequeña en un principio y se expande conforme el crecimiento procede...". Los problemas en cuanto a la distinción entre Cryptozoon y Collenia, comenzaron cuando Walcott (1906) interpretó algunas formas semejantes a Cryptozoon proliferum como Cryptozoon frequens y después (Walcott, 1914), con duda, las incluyó en un género nuevo, Collenia.

La descripción del género Collenia se basó en Collenia undosa cuya diagnosis es la siguiente: Estromatolito "Más o menos irregular, en forma de domo, -

con cuerpos laminados masivos o turbinados, que crecen con la superficie arqueada en la parte superior.

El crecimiento es aparentemente por adición de capas externas o lamelas de grosores variados, con interespacios que varían grandemente aún dentro del mismo especimen". En la discusión subsiguiente, Walcott (1914) diferencia Collenia por un "tipo de crecimiento incrustante que forma cuerpos domales con los bordes de las láminas apuntando hacia abajo", mientras que el crecimiento de Cryptozoon lo caracteriza "por la forma de copa y con los bordes de las láminas en la superficie superior".

En la literatura puede observarse que estas definiciones son aplicables a un gran número de estromatolitos, que en su mayoría muestran a la vez características que según las deficiones anteriores, pertenecen a Collenia o Cryptozoon.

Además, es un hecho que estos nombres se han utilizado por autores posteriores, tales como Cooper o Arellano, de una manera muy laxa, por lo cual han perdido en gran medida, su significado.

Recientemente, Logan y colegas (1962), con la intención de precisar el significado, definieron a Cryptozoon y Collenia en los siguientes términos:

Cryptozoon: "Estructuras columnares o unidades masivas discretas y sólidas, compuestas de hemiesferas sobrepuestas verticalmente, expandiéndose de la base al ápice; las láminas usualmente domales en la porción superior y redondeadas alrededor de los márgenes".

Collenia: "Cuerpos hemiesféricos discretos o unidos lateralmente, algunas veces esferoidales, compuestos por láminas concavo-convexas".

Posteriormente, Krylov (1975), incluye Collenia en el tipo A 1 de estromatolitos estratiformes, junto con Stratifera. A Cryptozoon, lo enumera en su tipo Zh de estromatolitos columnares, que por falta de características diagnósticas no se pueden colocar en otro grupo, y que se distinguen sólo por la forma de las columnas. En este grupo también enumera a Platella.)

Quizá sería posible localizar, en la región de Caborca, también estromatolitos que con facilidad encajen en las definiciones de Logan y coautores (1962). Sin embargo, esto no tendría mucho significado, ya que siguen siendo imprecisas, y los nombres de Cryptozoon y Collenia pueden considerarse casi como simples sinónimos del término de estromatolito.

4.3.2. Identificación.

Según Krylov (1976) coexisten, en la actualidad alrededor de una docena de sistemas de clasificación de los estromatolitos. En esta tesis no se ha hecho el intento de identificar los estromatolitos hasta el nivel específico, pues para esto serían necesarios estudios de la microestructura.

De acuerdo con Komar y colegas, (1962), a los estromatolitos columnares (del tipo E 3: Krylov, 1965) con el nombre de Conophyton Maslov les corresponde la siguiente definición: "Pared ausente, con láminas de forma cónica" (Krylov, 1975). Con toda seguridad, los ejemplares estudiados por Weber y coautores (1979), corresponden a esta definición.

De acuerdo con Shapovalova (1965), a los estromatolitos (del tipo G. 2: Krylov, 1975) con el nombre de Jacutophyton, les corresponde la siguiente diagnóstico: "Estromatolitos constituidos por una columna central, compuesta por láminas cónicas (Conophyton), de la cual parten lateralmente y hacia arriba columnas laterales prolongadas o bulbosas" (Krylov 1975). Los estromatolitos descritos por Weber y colaboradores (1979), como Jacutophyton, tienen los caracteres señalados en esta definición. Entre paréntesis, es importante mencionar la descripción de un gru-

po adicional de estromatolitos de este tipo, por Walter (1972), con el nombre de Georginia. Según la descripción, Georginia se distingue de Jacutophyton por poseer una superficie lisa "no deshilachada", con numerosas proyecciones pequeñas. Además, en Georginia, las láminas son más delgadas y en las ramas se observa laminación cónica. Semikhatov (1978) reprueba al género Georginia porque todos los caracteres diagnósticos aportados por Walter (1972), pueden encontrarse igualmente en ejemplares de Jacutophyton de la URSS

Los ejemplares de Jacutophyton descritos por Weber y coautores (1979), tienen poco en común con lo que Walter (1972) describió como Georginia.

Para reforzar lo anterior, es preciso señalar que Platella se ha encontrado, en la parte superior de un gran ciclo de Jacutophyton del Rifeano Medio de la URSS (Serebryakov', 1976).

De acuerdo a Korolyuk (1963) y Komar (1966), a los estromatolitos columnares elongados (del tipo Zh. 3: Krylov, 1965) y que se llaman Platella, les corresponde la siguiente definición: columnas fuertemente aplanadas, con arquitectura de planchas verticales (Krylov, 1975). En la clasificación de Komar (1966), estos estromatolitos pertenecen al supertipo de "estromatolitos columnares, con columnas claramente separadas, subcilíndricas; tipo: ramificados; subtipo: pasivamente ramificados; supergrupo: con microestructura no definida y forma lateralmente indeterminada; grupo: de posición vertical, en cortes transversales fuertemente extendidos, elípticos, con una especie de placas paralelas, de extensión no delimitada y planas.

Los ejemplares antes descritos, particularmente en la muestra WGB 78-48 A, corresponden estrictamente a éstas definiciones de Platella.

5. PALEOECOLOGIA.

5.1. Paleoambiente marino versus dulceacuicola.

En las primeras fases de la investigación sobre los estromatolitos fósiles se discutió ampliamente la cuestión si éstos se formaron en agua dulce o en ambientes marinos.

El pionero en analizar esta interrogante fue Walcott (1914) quien asignó los estromatolitos descritos por él, a un medio ambiente dulceacuicola.

A esta conclusión llegó comparando sus fósiles con "concreciones" calcáreas de agua dulce, producidas por cianofíceas, fundamentando así sus ideas referentes al origen dulceacuicola de las rocas precámbricas (Monty, 1977).

Esta hipótesis tuvo buena aceptación al principio, pero poco a poco se fue cuestionando. Twenhofel (1919) expresó dudas, más el efecto de sus argumentos fue contrarrestado por los estudios de Bradley (1929) sobre la Formación Green River del Eoceno de los Estados Unidos de América. Según este autor, los arrecifes algales de esta formación se desarrollaron en lagos de agua dulce (Monty, 1977). No obstante, la hipótesis dulceacuicola fue paulatinamente debilitada a consecuencia de descubrimientos de asociaciones de estromatolitos con fósiles marinos (Fenton y Fenton, 1931).

Luego, Black (1933) describió preliminarmente la formación de estructuras algales laminadas, en aguas marinas y salobres intertidales. A principios de los años cincuenta, se renovaron los estudios sobre los tapetes algales y sus depósitos laminados, en Florida y las Bahamas y, unos diez años después, se descubrieron los estromatolitos marinos de aguas hipersalinas de la Bahía de Tiburones, Australia.

Estos descubrimientos dejaron fuera de duda la existencia de estromatolitos marinos.

No por ello es falso que también existen estromatolitos de agua dulce, como lo

demuestra nuevamente el artículo de Eggleston y Dean (1976), sobre biohermas estromatolíticas en el Lago Verde (Green Lake, N. Y., - E. U. A.).

La pregunta de si los estromatolitos fósiles son marinos o dulceacuicolas, debe ser examinada en cada caso, por separado.

Monty (1977), al respecto, asevera que el registro del Mesozoico tardío y Cenozoico, muestra casi exclusivamente un desarrollo intenso de estructuras estromatolíticas y biohermas en agua de ríos y lagos, o bien no marinas.

Cuanto más se remonta uno en el pasado geológico, tanto más frecuentemente hay pruebas de un origen marino de los mismos.

Puede concluirse, de acuerdo con Monty (1973) que en el curso de la historia geológica, los tapetes algales productores de estromatolitos fueron desplazados de los ambientes netamente marinos hacia los perimarininos, sin afectar esto la posibilidad de la existencia de ellos en agua dulce, desde tiempos remotos.

En el caso de los estromatolitos descritos en esta tesis, aún no hay argumentos definitivos. La gran proporción de dolomita en las unidades carbonatadas del Precámbrico sedimentario de Caborca permite proponer que estas rocas se depositaron en agua marina.

5.2. Peleoambiente de intermarea versus inframarea.

El aspecto de la profundidad de los cuerpos de agua marina, en que se desarrollaron los estromatolitos, desde luego fue poco discutido antes de que se hallasen los primeros objetos actuales en aguas de inframarea e intermarea marinas

y salobres (Ginsburg, 1960).

A pesar de que Ginsburg (1960) refirió tales estructuras del nivel inframarea, en la literatura contemporánea, se arraigó firmemente la hipótesis del origen intermarea de los estromatolitos. Como prueba final de ella se consideró el trabajo de Logan (1961) sobre estromatolitos de intermarea de la Bahía de Tiburones, Australia. Lo anterior conllevó que, en algunas publicaciones geológicas se describieran zonas de intermarea a veces increíblemente extendidas, hasta de 600-1200 km de ancho (Lochmann-Balk, 1970).

Hoy, se acepta que los estromatolitos no sólo pudieron subsistir en este nivel, sino también a profundidades mayores, por debajo del nivel de mareas.

Algunas publicaciones decisivas en este sentido fueron las de Monty (1973) - quien tras un examen de la evolución de las comunidades estromatolíticas, opinó que durante Precámbrico existió la máxima colonización de ambientes inframarea debido a la escasez de comunidades animales competitivas.

Hoffman (1974), refiriéndose a los estromatolitos precámbricos, dijo que éstos vivieron desde la plataforma hasta la base de las cuencas marinas donde están asociados con secuencias de turbiditas grauvacas.

Hoffman (1976) nuevamente expuso que columnas pobremente laminadas del tipo Conophyton pueden haberse desarrollado en profundidades de varios cientos de metros. Finalmente, Playford (1969) describió estromatolitos devónicos que según datos topográficos debieron estar cubiertos al menos por 45 m de agua.

5.3. Factores ambientales y forma.

Para explicar la arquitectura y estructura de los estromatolitos se formularon diversas hipótesis polarizadas hacia dos alternativas. Por un lado, se ha sostenido que los caracteres visibles de éstos dependen exclusivamente de los factores ambientales en que se depositaron. Esta

Esta hipótesis fue fuertemente defendida particularmente por Vologdin (1962) y Korde (1950), en publicaciones relativamente antiguas, y se puede formular de la siguiente manera: en condiciones físico-mecánicas iguales, comunidades razonablemente semejantes de microorganismos depositan estromatolitos de igual arquitectura y estructura.

Por el otro lado, se ha señalado en muchas ocasiones que los estromatolitos pueden tener características muy constantes horizontal y verticalmente.

Esto permite discernir claramente a diferentes grupos taxonómicos, a veces restringidos a fases delimitadas de la historia geológica. Este hecho ha permitido el desarrollo de la bioestratigrafía con base en los estromatolitos y a la hipótesis de que comunidades iguales de microorganismos "harán lo posible" para construir estromatolitos de arquitectura y estructura iguales o semejantes, aún contra las presiones del medio ambiente. Dicha hipótesis, al parecer, nunca ha sido formulada como un dogma excluyente.

Para llegar a una teoría objetiva al respecto, obviamente hay que estudiar a los estromatolitos modernos.

Logan, Hofmann y Gebelein (1974) examinaron, desde este punto de vista, a los estromatolitos de la Bahía de Tiburones, Australia y señalaron que existen dos aspectos controlados por diferentes fuerzas en el desarrollo de los estromatolitos. En primer término mencionaron a la macroestructura controlada por procesos medioambientales y cuyos atributos son:

- A.- El relieve de la superficie del estromatolito sobre la superficie del sustrato circundante.
- B.- La forma del estromatolito.
- C.- Grado de elongación de la estructura estromatolítica.

FALTA CA
PAGINA

23.

lidad regule el ambiente y hábito de las algas.

En cuanto a los corales Barham y Davis (1969) comentando sobre el efecto de agua en los arrecifes coralinos del Golfo de California, mencionaron como posibles causas de la ramificación a la temperatura, intensidad luminosa, turbidez, así como al movimiento del agua y su química. Concluyeron que el oleaje y corrientes parecen dominantes. Rees (1972) en un estudio semejante llegó a conclusiones muy parecidas y citó a Theodor (1965) quien había mencionado que las algas verdes Avranvillea y Halimeda en la Martinica, se orientan conforme a la alineación del oleaje. Roberts (1974) trabajando con corales concluyó también que su forma y orientación está controlada por la dirección del oleaje y añadió que interviene la morfología del arrecife. Además de los corales, pudieran ser utilizados los Bryozoarios y las esponjas, ya que su crecimiento se ve muy afectado por las corrientes. Así, en ambientes con mucho movimiento de agua las formas que resultan son colonias compactas, mientras que si las aguas son tranquilas las colonias se forman ramificadas (Margalef, 1974).

Se observa de esta manera como si existen parámetros comunes y en virtud de la abundancia actual de los arrecifes coralinos así como de braquiópodos y esponjas su estudio podría orientar la comprensión paleoecológica de la arquitectura de los estromatolitos.

5.5. Las corrientes: una exploración de probabilidades.

Los cuerpos de agua se encuentran en constante movimiento. Los organismos que en ellos viven deben adaptarse a ellos. Estos movimientos son especialmente importantes en organismos sedentarios, ya que influyen la forma de los individuos sobre todo si ésta es plástica. Uno de los factores postulados como responsable de la arquitectura de los estromatolitos fósiles y actuales es precisamente la acción de las corrientes sobre ellos. (Figura 21).

El efecto de las mareas sobre ellos es sumamente interesante, sobre todo en

la zona intertidal donde su acción es sentida con mayor fuerza. El flujo producido por el retiro y avance del agua puede orientar a los estromatolitos a la posición en que se ofrezcan menor resistencia. Los movimientos del agua renuevan los nutrientes y el oxígeno, facilitando de esta manera el desarrollo de los organismos y dando como resultado formas de crecimiento características. Margalef (1974) mencionó, cómo en aguas con movimiento el alga Cladophora posee un patrón de ramificación más denso.

Además de las mareas, la acción de las olas (olas primarias) es ampliamente conocida. En éstas el flujo de agua es más constante y su fuerza modeladora será también mayor. En ocasiones se ha dicho que las olas no transportan masas, pero se sabe y en ocasiones se ha vivido el golpe de éstas o el empuje de la corriente que producen. Las olas generalmente conocidas son aquellas que se ven llegar en dirección perpendicular a la línea de costa. Desde luego, éstas también poseen fuerza modeladora y deben ser consideradas en el momento de interpretar la arquitectura de los estromatolitos.

Existen otros tipos de olas difíciles de observar que corren de manera paralela a la línea de costa. Es importante hacer mención de éstas en virtud de que son poco conocidas y su función como fuerza modeladora puede ser considerable.

Aunque su funcionamiento no está completamente comprendido, se tienen datos suficientes como para afirmar que existen (cf. Figura 21).

Es raro encontrar olas primarias que lleguen a la línea de costa en forma perpendicular, sino que, por lo regular, éstas chocan con una dirección oblicua. La disposición oblicua como consecuencia creará una descompensación de presiones a lo largo de esta corriente primaria

por lo que se formará un gradiente mismo que hará fluir masas de agua en dirección perpendicular a esta corriente primaria. Este tipo de corrientes corresponde a las denominadas corrientes estacionarias. Se hace mención de la presión pues las aguas superficiales donde se encontrarían las olas tienen peso y producen una fuerza hacia el interior del cuerpo de agua, misma que varía según la uniformidad del substrato, de esta manera las corrientes estacionarias se encontrarán en zonas donde el suelo o el sustrato sea uniforme, pero si el fondo muestra desniveles se crearán gradientes a intervalos dando como resultado corrientes que pudieran semejar remolinos. A las corrientes así creadas se les conoce con el nombre de rip currents. Para ejemplificar esta situación en la playa del Revolcadero de Acapulco, Mex., existen señales en ciertas áreas donde se sugiere que los visitantes no se metan pues serían llevados por la acción de las corrientes mar adentro. Una tercera posibilidad la ofrecen las llamadas olas de orilla, descritas en 1846 por Stokes. En éstas, la ola primaria se refleja formando medias lunas en la playa dando lugar así a corrientes paralelas a la línea de costa. Estas olas son formadas por vientos y pueden ser de tal magnitud que en el lago Michigan E. U. A., se les adjudicó el desplome de un muelle. Desde el punto de vista físico-matemático este fenómeno tiene un simil con el efecto "whispering gallery". (Dicho efecto acústico puede observarse en algunas construcciones antiguas, por ejemplo en el Convento del Desierto de los Leones, México. Si una persona, colocada en una esquina de un cuarto y con la espalda hacia el centro del mismo, habla a voz baja, puede ser escuchada sólo en el otro extremo). Es importante señalar que estas olas de orilla crearán también gradientes de presión, a intervalos por lo cual se les debe tomar en cuenta, como posibles formadoras de rip currents.

Lo anterior se refiere, en general, a las diversas corrientes en cuerpos de aguas libres. Por otro lado, hay que tomar en consideración también la modificación que deben sufrir las corrientes en el interior de los biohermas estroma-

tolíticos, donde los conjuntos de elementos arquitectónicos darán lugar a sistemas de interespacios, en los cuales se desplaza el agua. Cuando más hidrodinámico es tal sistema de canales, con tanta mayor seguridad, la arquitectura de los estromatolitos mismos podrá interpretarse como respuesta a las corrientes.

En contraste a las anteriores, que son corrientes de gran escala, éstas últimas pueden denominarse como acompañantes.

Las primeras, se localizarán principalmente en cuerpos de agua sobre los arrecifes estromatolíticos y modelarán las superficies de éstos. Las corrientes acompañantes, en su caso, modelarán el interior de los biohermas.

5.6. Análisis de detalle de la muestra CF-79-1, del Cerrito de la Milla.

Los estromatolitos del grupo Platella fueron interpretados, desde que se describieron, como modelados por corrientes. Por lo anterior, fueron clasificados por Komar (1966) en su grupo de estromatolitos columnares pasivamente ramificados. También Serebryakov (1976) mencionó a Platella en relación con paleocorrientes, aunque advirtió que la elongación paralela a las paleocorrientes, de los elementos estromatolíticos individuales es menos precisa que la que se observa en los biohermas enteros.

Por lo anterior, podría ser deducido y afirmado de inmediato, que los estromatolitos de Platella del Cerrito de la Milla son indicadores de la acción y dirección de paleocorrientes. No obstante, en esta tesis se aceptó esto sólo como hipótesis de trabajo, a que se aplicarían algunas pruebas.

De ser cierto que el bioherma descrito de la muestra CF-79-1 (cf. los capítulos 4.1.2.4 y 4.2.), en vida,

permitía el paso de corrientes de agua - con traslación horizontal, éste, en corte horizontal, debe en su arquitectura - presentar un sistema de canales de capacidad más o menos constante, por lo menos en sentido longitudinal.

Lo anterior implica que los elementos y los canales deben tener una orientación preferencial, y los canales deben presentar una anchura más o menos constante.

Para medir las orientaciones, se trazó arbitrariamente una recta en la superficie de la muestra, a lo largo del eje mayor del elemento F. Además se marcaron las líneas medias longitudinales de los elementos y canales (Figura 22). A partir de la recta se trazaron líneas perpendiculares, a 2 cm de distancia y se midieron todos los ángulos entre éstas y las líneas medias de los elementos y canales. Los resultados de estas mediciones se graficaron en histogramas (Figuras 23 y 25) y diagramas de barra (Figuras 24 y 26). En los diagramas de barra, se utilizaron clases de un grado y para los histogramas de cinco grados.

En las gráficas se nota que las orientaciones muestran una distribución a grosso modo normal, es decir, existe una orientación preferencial. La orientación perpendicular a ésta no figura en las gráficas, en cuanto a los canales y es muy escasa, en lo que a los elementos se refiere.

Las mediciones no evidencian la presencia de dos o más orientaciones preferenciales sobrepuestas lo cual hubiera - dado cabida a explicar el patrón arquitectónico del bioherma, con base en oleaje y corrientes de marea. Para medir las anchuras de los elementos y canales, se utilizaron las líneas medias de los mismos, y las medidas se tomaron perpendicularmente a ellas, a distancias de 0.4 cm (No se hicieron mediciones en aquellas - porciones del sistema de canales, donde hay tres o más elementos estromatolíticos vecinos a igual distancia, y donde es imposible trazar una línea media única.) Los resultados se graficaron en diagramas de barra (Figuras 27 y 28). Se observa que las anchuras también presentan distribuciones aproximadamente nor-

males, lo cual permite inferir que la densidad de los elementos y de los canales, es más o menos constante, en toda la muestra. En conclusión, puede admitirse que el bioherma examinado tiene las características necesarias, para haber permitido, en vida, el paso de corrientes de agua.

El hecho de que tales corrientes realmente pasaron por este bioherma, se comprueba con la presencia de superficies laterales erosionadas, en algunos de los elementos estromatolíticos. Esta erosión a todo parecer se produjo en aquellos lugares de los canales, donde las columnas de tipo Conophyton, por su gran volumen, obstaculizaron el paso del agua, o donde pequeñas protuberancias de los elementos produjeron turbulencia o remolinos. Algunas de estas superficies erosionadas se ilustran en las Figuras 29 y 30.

Al observar nuevamente las Figuras 14 y 22, se nota que los elementos del tipo Conophyton, se encuentran relativamente dispersos - (U, S, R, y quizás G+H). Entre S y G+H, se extiende una franja con elementos oblongos del tipo Platella, subparalelos. Estos tienen una orientación que contrasta con la orientación de los elementos X, W, T, B, P, y Q, en alrededor de 50°. Lo mismo sucede en cuanto a los canales vecinos a estos elementos. Al lado derecho de la Figura 22 se nota una franja oblicua de elementos de contorno irregular, pero generalmente en forma de "herradura". En esta franja se localizan también los elementos G y H, que supuestamente son ramas apicales de un Conophyton. En esta franja, los canales 12, 14 y 15 se orientan casi perpendicularmente a los canales 6, 7, 8, 9 y 11 de la franja vecina.

Estas observaciones, se interpretan, recurriendo a un modelo en el cual, aparte de las tres dimensiones espaciales, se toma en consideración la dimensión tiempo, y ade-

más se analiza la interacción de los estromatolitos crecientes, productos de la actividad biótica de tapetes algales, con el factor físico-mecánico que son las corrientes. Este ensayo se ve dificultado por las limitaciones verticales y horizontales de la muestra, y el hecho de que sólo se dispone de un corte horizontal y otro, vertical; además los estromatolitos en ella, representan una fase prolongada de crecimiento, y no es posible trazar "líneas de tiempo" con alguna certeza. (Ciertas regularidades en la coloración y el grosor de las láminas sucesivas de algunos elementos serán analizadas en otro lugar).

Antes ya se mencionó (capítulo 4.2), que la laminación de los estromatolitos permite reconstruir su arquitectura tridimensional. Por una parte se propuso, - que los elementos de tipo Conophyton son los que ocupaban "en vida" los puntos más altos del bioherma, y esto debe haber sido así durante todo su crecimiento. Supongamos, que el bioherma inició su desarrollo con una fase exclusivamente conofítica, y que a través de él, empezaron a producirse corrientes de agua. Entonces los conos, obstaculizaron el paso libre de las corrientes y éstas tuvieron que desviarse de acuerdo a la disposición de las columnas, tal como lo muestra la Figura 31.

Con el crecimiento vertical, estas -- columnas eventualmente llegaron a algún nivel de intermarea, donde se favoreció, por causas desconocidas, su ramificación, para producir Jacutophyton. Estas ramas se desarrollaron de diferentes maneras, de acuerdo a la intensidad y el carácter de las corrientes alrededor de los Conophyton. En aquellos interespacios, por los cuales la corriente pasaba fácil y rápidamente, sin sufrir estancamiento, - las ramas se expandieron paralelamente a la dirección de la misma, formando planchas subverticales a verticales. En las zonas de tranquilidad o turbulencia, en las frentes de los Conophyton dirigidas hacia la dirección general de la corriente y en los lados opuestos, en la sombra de corriente, las ramas no adoptaron la forma de planchas, sino que fueron desa-

rrollándose de tal manera que en -- corte transversal tienen forma semejante a herraduras. Debido a esto se diferenciaron, en el bioherma franjas de "fácil paso" y de "difícil paso" para el agua (Figura 32).

La franja delimitada por los canales 6 y 8-9-11 es de "fácil paso", y la que contiene los elementos G,H,I, M,N y O es de "difícil paso".

Por lo anterior, también es probable, que los canales de las franjas de "fácil paso", fueron profundos, mientras que, en las franjas de "difícil paso", fueron someros, formándose puentes entre los elementos estromatolíticos.

Las suposiciones anteriores no están afectadas por las observaciones relacionadas al origen de las ramas (y planchas) a partir de centros de crecimiento, que se localizaron en los Conophyton; tal como fue deducido en el contexto de la reconstrucción (capítulo 4.2).

El mosaico arquitectónico del -- bioherma descrito, está compuesto por elementos y canales de dimensiones relativamente pequeñas, particularmente si se les compara con los elementos elongados de la Bahía de Tiburones, Australia. Estos últimos están obviamente moldeados por las olas grandes y de alta energía, que se desplazan perpendicularmente a la línea de costa, asociadas con corrientes, en el mismo sentido (capítulo 5.5).

El mosaico de dimensiones pequeñas examinado aquí, no puede reflejar tal oleaje de alta energía, sino que responde a corrientes de menor impacto. De acuerdo a lo dicho con anterioridad, deben haber sido corrientes acompañantes, ya que se desplazaron en el interior del bioherma. Lo más probable es que se trató de corrientes de marea, producidas durante la retirada del agua mar adentro.

El bioherma examinado, con bastante certeza, se desarrolló a nivel de intermarea, y probablemente en las cercanías de un cauce de drenaje de marea.

La coexistencia de estromatolitos de los tipos Platella y Conophyton en la misma muestra comprueba que éstos últimos pudieron desarrollarse a nivel de intermarea.

En una fase posterior en el desarrollo del bioherma, se rellenaron los canales, en parte con sedimento inorgánico y en otra parte, por pequeños estromatolitos más o menos irregulares, que se denominaron accesorios (capítulo 4.1.2.4.).

6. EDAD DE LOS ESTROMATOLITOS DESCRITOS

En la actualidad coexisten numerosas subdivisiones del Precámbrico, regionales e internacionales. Aunque aparentemente ninguna de ellas está aceptada oficialmente, por el Congreso Geológico Internacional, algunas de ellas se utilizan con mayor frecuencia (Figura 33). En esta tesis se adoptan la división propuesta por Sims (1979), y la de Semikhatov (1976).

El valor bioestratigráfico de los estromatolitos está aún sujeto a discusión, aunque a falta de otros fósiles índice potenciales, en la práctica se han utilizado ampliamente (véase capítulo 1.2; Preiss, 1976).

Las tablas más nuevas, que muestran la distribución cronológica de los estromatolitos precámbricos son, según el conocimiento del autor, las de Komar (1966) y Semikhatov (1976). Komar (1966, Figura 24) registró a Platella sólo para el Rífeano Medio. Semikhatov (1976, Fig. 2) señaló que Jacutophyton estuvo en existencia durante todo el Rífico de acuerdo con datos acumulados entre 1968-1973. La información correspondiente a los años 1965 a 1968, había indicado distribución solamente en el Rífico Medio. Además, Semikhatov marcó la presencia de Jacutophyton en el Aphebiano, y en el Precámbrico terminal (o Vendiano). Este autor no registró a Platella.

Sin embargo, aún en la actualidad se considera que Jacutophyton tales como el que fue descrito por Weber y coautores (1979) corresponden al Rífico Medio (Krylov, comunicación personal, 1979). La presencia de Platella en combinación con Jacutophyton, en la Formación Gamuza de la región de Caborca, puede ser considerada como indicativa de una edad rífica media, a reserva de que, en un futuro, se localicen estromatolitos de otros grupos, que apoyen o modifiquen esta proposición.

Según Semikhatov (1976), el Rífico Medio abarca el lapso entre los 1,350 y 950 millones de años antes del presente.

En la escala del Precámbrico, adoptada por el US Geological Survey, esto correspondería a una porción media del Precámbrico Y, de acuerdo con la propuesta de Sims (1979) a la parte media del Proterozoico Medio.

7. El Pedernal.

Como fue mencionado anteriormente (ver capítulo 3.2.1.) en el Cerrito de la Milla afloran dos zonas con pedernal. La que se encuentra en el extremo occidental del cerro alcanza más de dos metros de espesor, además de estar cubierta en gran medida por suelo y grava.

Esta muestra color negro y presenta microlaminación paralela. La microlaminación en muchas muestras no es continua por lo que se puede inferir un proceso de abrechamiento debido quizás a la desecación, oleaje, fuerzas mecánicas durante el proceso de litificación o, con menor probabilidad, éste puede ser brecha de falla. Una sola muestra posee laminación no paralela y probablemente estromatolítica, sin que rer asegurar que la laminación paralela no obedece a la actividad de tapetes algales. Microscópicamente el pedernal muestra color marrón oscuro en las microlaminaciones ricas en materia orgánica, siendo más claro en las pobres en esta materia. Microfacturas de grosor variable atraviesan frecuente-

mente la laminación. Estas están rellenas de sílice y son pobres en materia orgánica.

Mineralógicamente (según de Pablo, Com. oral) consta de sílice criptocristalino; los microcristales son difíciles de distinguir aún con un microscopio petrográfico potente. Estos parecen ser subedrales a eudrales. Probablemente se trata de calcedonia. Esto no se puede afirmar definitivamente en virtud de que las observaciones se hicieron en preparaciones cuyo medio de montaje se desconoce. Además del sílice, las muestras presentan minerales de hierro (hidróxidos, tal vez limonita) en pequeña proporción.

Las observaciones en busca de microflora en el pedernal se iniciaron en los primeros meses de 1979. En realidad las estructuras hasta ahora observadas no son lo suficientemente abundantes como para poder afirmar la presencia de microorganismos.

Las formas encontradas tienen un plan general de construcción esferoidal, y son negros (opacos) a transparentes, de color marrón, amarillento o casi incoloros.

De estas microformas observadas no existe una sola de la que se puede afirmar su biogenicidad sin temor a equivocación. No obstante, por haber sido encontradas dentro del material, su mención es necesaria. De las formas observadas, existen algunas cuyo carácter contaminante es inminente, ya que pueden ser referidos como granos de polen de angiospermas, o como restos de tejidos, pudiendo ser éstos traqueidas o células epidérmicas; por lo que éste material dificulta aún más la interpretación.

8. Agradecimientos.

Al director de este trabajo, Dr. Reinhard Weber, se le agradece su valiosa guía, colaboración y apoyo, además de los atinados consejos vertidos durante el desarrollo de esta tesis y revisión de la misma.

Se agradece también a los Pas. de --- Biól. Héctor Hernández C. y Luis Roldán R. su cooperación en fotografía; a Verónica,

mi esposa, por la elaboración de gráficas; al Sr. Agustín Rodríguez por la elaboración de láminas delgadas; a las Srita. Gabriela de la Mora Vela y Sras. Leticia Egea de de la Mora y Deyda V. de Delgado por el mecanografiado. Gracias también al Lic. Oscar Rossbach quien favoreció este trabajo en diferentes ocasiones.

Se agradece el hecho de haber aceptado integrar el jurado al Dr. Enrique Martínez Hernández; M. en C. Francisco González Medrano, M. en C. Celestina González Arreola, y M. en C. Gustavo Montejano Zurita.

9. BIBLIOGRAFIA

1. Anderson, T.H., Eells, J. H. y Silver, L.T., 1978. Rocas precámbricas y paleozoicas en la región de Caborca, Sonora, México. En: Roldán Q.J., y Salas, G.A. (Ed.) Libreto Guía. Primer Simposio sobre la Geología y potencial minero en el Estado de Sonora. P.5-34, 6 fig. Inst. Geol. U.N.A.M., Hermosillo.
2. Anderson, T.H., y Silver L.T., 1979. The role of the Mojave-Sonora Megasequence in the tectonic evolution of northern Sonora. Geol. Soc. Am. Annual Meeting in San Diego. Guidebook-Field trip 27. 10 pp. 2 fig.
3. Arellano, A.R.V., 1946. Noticias Geológicas del Distrito de Altar, Son. Bol. Soc. Mexicana 12: 53-58, un mapa.
4. _____, 1956 a. Relaciones del Cámbrico de Caborca, especialmente con la base del Paleozoico. En: Rodgers, J. El Sistema Cámbrico, su Paleogeografía y el problema de su base. Simposio. Parte II: Australia, América. P. 509-527, 2 Lám. - XX Congreso Geológico Internacional, México, D. F.
5. _____, 1956 b. Prólogo. En: Cooper, G. A., Arellano, A.R.V., Johnson, J.H. et al. Geología y Paleontología de la región de Caborca, Norponiente de Sonora. Pte. 1 Paleontología y estratigrafía del Cámbrico de Caborca. p. XI a XIII. XX Congreso Geológico Internacional, México, D. F.
6. Barham, E. y Davis, E., 1969. Gorgonians and watermotion studies in Gulf of California. Underwater Nat. 5: 24-28.
7. Biología de Campo, 1978. Introducción al estudio de los estromatolitos del Precámbrico Tardío de los alrededores de Caborca Son. I México, D. F. Univ. Nal. Autón., México, Fac. Ciencias, X Simposio de Biología de campo, (inédito).
8. _____ 1979. Introducción al estudio de los estromatolitos del Precámbrico Tardío de los alrededores de Caborca Son. - II. México, D. F. Univ. Nal. Autón. México. Fac. Ciencias, XI Simposio de Biología de Campo, (inédito).
9. Black, M., 1933. The Algal Sediments of Andros Island, Bahamas. Philos. Trans. Ser. B. CCXXII - 165-192. (No consultado, citado en Monty, 1977).
10. Cevallos, F.S. y Weber, R., - 1980. Arquitectura, estructura y ambiente de depósito de algunos estromatolitos del Precámbrico sedimentario de Caborca, Son. IV Coloquio sobre Paleobotánica y Palinología en México. (Resúmen).
11. Cloud, P.E., 1942. Notes on stromatolites. Am. J. Sci. 240:363-379.
12. Cooper, G.A. y Arellano, A.R.V., 1946. Stratigraphy near Caborca, North-west Sonora, México. Bull. Am. Ass. Petrol. Geol. 30(11):606-619, 1 Fig.
13. _____, 1956. Descripción de localidades cámbricas y desarrollo general del trabajo. En: Cooper, G.A., Arellano, A.R.V., Johnson, J.H. et al. Geología y Paleontología de la región de Caborca, Norponiente de Sonora. Pte. 2: Paleontología y estratigrafía del Cámbrico de Caborca. P.1-50, 1 lám., 5 Fig., 2 Ta. XX Congreso Geológico Internacional, México. D.F.
14. Damón, P.E., Livingston, D.E., Muger, R.L., Gilletti, B.J. y Pantoja Alor, J., 1962. Edad del Precámbrico "Anterior" y de otras rocas del zócalo de la región de Caborca Altar de la parte noroccidental del Estado de Sonora. En: Fries, C. (Ed.). Estudios Geocronológicos de Rocas Mexicanas. Bol. 64: 11-44 4 Fig., 6 tab., Inst. de Geol., - U.N.A.M., México, D.F.

15. Dawson, J.W., 1875. The dawn of - life. Being the history of the oldest know fossil remains and their rela- - tions to geological time and the deve- lopment of the animal kingdom. 239 pp. Montreal Dawson Bros.
16. Eells, J.L., 1972. The geology of the Sierra de la Berruga, Northwes- - tern Sonora, México. San Diego State College, tesis de maestría. (inédita)
17. Eggleston, J.R. y Dean W.E., 1976. Freshwater stromatolitic bioherms in Green Lake, New York. En: Walter, M. R., (Ed.) Stromatolites p. 479-488, 8 Fig. Elsevier. Amsterdam, Oxford, New York.
18. Fenton, C.L., Fenton, M.A., 1931. Algae and algal beds in the Belt Se-- ries of Glacier National Park. J.Geol. 39: 670-686.
19. _____, 1933. Algal reefs or Bioherms in the Belt Series of Montana. Geol. Soc. Am. Bull. 44: 1135-1142.
20. _____, 1939. Early algal as enviroment indicators and - index fossils. Pan. Am. Geol. 71 (1): 46-47.
21. Fenton C. L., 1943. Precambrian and Early Poleozoic algae. An. Mid. Nat. 30: 83- III.
22. Gamper, M.A., Longoria J.F., 1978-79. Sobre la ocurrencia de estromatoli-- tos en la secuencia Precámbrica del cuadrángulo Pitiquito-La Primavera, NW de Sonora. Bol. Depto. Geol. Univ. Son 1 (2): 95-104. II. Fig.
23. Ginsburg, R.N., 1960. Ancient ana- loges of Recent Stromatolites. Inter. Geol. Congress, XXI session, Norden, 1960, part XXII, Copenhagen, p. 26-35.
24. Gurich, G., 1906. Les spongiostro- mides du Viséen de la Province de No-- mur. Mus. Hist. Natur. de Belgique, mem. 3(4): 1-55. (no consultado citado en - Monty 1977).
25. Hall, J. D., 1883. Cryptozoon (proliferum)n. g. (and sp). New York State Mus. Ann Rept. 36. (no consul- tado, citado en Monty 1977).
26. Hoffman, P.F., 1974. Shallow and deepwater stromatolites in lower - proterozoic plattform to basin fa-- cies change, Great Slave Lake, Cana- da. Am. Ass. Pet. Geol. Bull. 58:856- 867.
27. 1976. Enviromental diversity of Middle Precambrian Stromatolites. En. Walter, M. R. (Ed.) Stromatolites. p. 599-611, 11 figs.Elsevier. Amster- dam, Oxford, New York.
28. Hofmann, H. J., 1972. Precambrian remains in Canada: Fossils, dubiofo-- ssils, and pseudofossils. Proc. Int. Geol. Congr. 24 Sess. Montreal Sect. 1:20-30.
29. _____, 1973. Stromatoli- tes: Characteristics and utility. - Earth Sci. Rev. 9 (4): 339-373.
30. Holvedahl, O., 1919: On the Pa-- leozoic formations of Finmarken in Northern Nor way. Am J. Sci., Ser. - 4:47-107. (no consultado, citado en Monty 1977).
31. _____, 1921. On the ocu- rrence of structures like Walcott's Algonkian algae in the Permian of En- gland. Am. J. Sci. Ser 5 (1): 195-206. (No consultado, citado en Monty 1977).
32. Horodyski, R.J., y von Der Harr,S. P. 1975. Recent calcareous stromato- lites from Laguna Mormona (Baja Cali- fornia) México. J. Sediment. Petrol. 45(4): 894-906, 8 fig.
33. Johnson, J. H., 1961. Limestone - building algae and algal limestones. Colorado School Mines, Spec. Publi. 297 p. ilustr.
34. Kalkowsky, E., 1908. Oolith und Stromatolith im norddeutschen Bunt sandstein. Z. Deut. Geol. Ges. 60:68- 125.

35. Keller, W. T., y Welling, F. E., 1922. Sonora: México, D. F., Cia. Petr. El Aguila, Geol. Rept. 180, 38 p. (inédito, citado según Arellano, 1956).
36. Komar, V.A., Raaben, M.E. y Semikhatov, M.A., 1965. Los Conophyton del Ripheano de la U.R.S.S. y su significado estratigráfico. Acad. Sci. U.R.S.S. Inst. Geol. Acta 131
37. Komar, V.A., 1966. Upper Precambrian stromatolites in the north of Siberian Platform and their stratigraphic significance. Acad. Sci. USSR. Geol. Inst. Transactions 154. 122 pp. XX Lám. 22 Fig.
38. Korde, K.B., 1950. Microscopic structure of stromatolites and types of preserved Cyanophyceae. Dokl. Akad. Nauk S.S.S.R. 71 (6): 1109-1112 (No consultado citado en Krylov, 1975).
39. Korolyuk, I. K. 1963. Stromatolites of the late Precambrian. En: Keller, B. M. (Ed.) Stratigrafiya S.S.S.R.; Verkhni. Gosgeoltekhi zdat, Moscow, 479-498.
40. Krylov, I.N., 1975. Riphean and Phanerozoic stromatolites in the USSR. Acad. Sci. USSR, Geol. Inst. Transactions 274. XIX Lám 78 fig. pp. 243.
41. Krylov, I. N., 1976. Approaches to the classification of stromatolites. En: Walter, M. R. (Ed.) Stromatolites p. 31-43. 6 Fig. Elsevier. Amsterdam, Oxford, New York.
42. Logan, B. W., 1961. Cryptozoon and associated stromatolites from the Recent, Shark Bay, Western Australia. J. Geol. 69: 517-533.
43. Logan, B. W., Hoffman P. y Gebelein, C. D., 1974. Algal mats, cryptalgal fabrics and structures, Hamelin Pool, -- Western Australia. Am. Assoc. Pet. Geol. Mem. 13: 38-84.
44. Longoria, J. F. et. al. 1978. Consideraciones estructurales en el Cuadrángulo Pitiquito-La Primavera, NW de Sonora. Bol. Depto. de Geol. Univ. Sonora. 1 (1) : 61-67.
45. _____, y González M. A. 1980. Estudios Geológicos en el Precámbrico de Sonora. IV Coloquio sobre Paleobotánica y Palinología en México (Resúmen).
46. _____, y Pérez, V.A., 1978. Bosquejo Geológico de los Cerros Chino y Rajón, Cuadrángulo Pitiquito-La Primavera (NW de Sonora). Bol. Depto. Geol. Uni-Son. 1 (2): 119-144.
47. Margalef, R., 1974. Ecología, Ed. Omega.
48. Matthew, G.F., 1890 a. President's annual address. 3. On the existence of organisms in the Precambrian -- rocks. Nat. Hist. Soc. New Brunswick Bull. 2 (9): 28-33. (No consultado, citado en Monty, 1977).
49. Matthew, G.F., 1890 b. Eozoon -- and other low organisms in Laurentian rocks at St. John. Nat. Hist. Soc. New Brunswick Bull. 2(9): 36-41. (No consultado, citado en Monty, 1977).
50. Mendoza, J.J., 1979. Estudios geológicos de los Cerros Pitiquito NW de Sonora, México. Tesis -- prof. I.P.N. 90 pp.
51. Merriam, R., Eells, J.E., 1978-9 Reconnaissance geologic map of the Caborca quadrangle, Sonora México: Bol. Depto. Geol. Uni-Son. 1(2). 87-94, 2 fig.
52. Monty, C.L.V., 1973. Precambrian background and Phanerozoic history of stromatolite communities, an overview. Ann. Soc. Géol. Belg. 96, fasc. III: 585-624 (no visto, citado en Monty, 1977).
53. Monty, C.L.V., 1977. Evolving concepts on the nature and the ecological significance of stromatolites. A review, en: Flugel, E. (Ed.) Fossil Algae recent results and developments, p. 15-36.

54. Moore, E. S., 1918. The Iron Formation on Belcher Islands, Hudson Bay, - with special reference to its origin - and its associated algal limestones. J. Geol. 26, 412-438, (No consultado, cita do en Monty 1977).
55. Pia, J., 1933. Die rezenten Kalksteine. Z. Kristallogr: Mineral Petrogr., Abt. B. Mineral Petrogr. Mitteilungen, (no consultado, citado en Monty, 1977).
56. Playford, P.F., Cockbain, A. E. 1969. Algal stromatolites: deep water forms in the Devonian of Western Australia. Science 165: 1008-1010. (no consultado, citado en Monty 1977).
57. _____, 1976. Modern algal stromatolites at Hamelin - Pool, a hypersaline barred basin in - Shark Bay, Western Australia. En: Walter, M.R. (Ed) Stromatolites. p. 389-412, 11 fig., Elsevier Amsterdam, - Oxford, New York.
58. Preiss, W. V., 1976. Intercontinental correlations. En Walter, M.R. (Ed) Stromatolites. p. 359-370. 1 fig. Elsevier Amsterdam, Oxford, New York.
59. Read, J. F., 1976. Calcretes and their distinction from stromatolites. En Walter, M.R. (Ed) Stromatolites. p. 55-72, 1 fig. 11 Lám. Elsevier. Amsterdam, Oxford, New York.
60. Rees, T. I., 1972. The effect of current on growth form in an octacoral. J. exp. Mar. Biol. Ecol. 19: 115-123.
61. Reis, O. M., 1908. (Dismission of paper by) Kalkowsky: Uber Oolith und Stromatolith im Norddeutschen Buntsandstein. N. Jb. Mineral., Geol., Paleontol. 7: 114-138. (no consultado, citado en Monty 1977).
62. Rezak, R., 1957. Stromatolites of the Belt Series in Glacier National Park and vicinity, Montana, U.S. Geol. Survey, Prof. Paper 294-D p.127-154.
63. Schopf, J. W., Oehler, D. Z. Horodyski, R.J., y Kvenvolden, K.A., - 1971. Biogenicity and significance of the oldest known stromatolites, J. Paleontol. 45: 477-486.
64. Semikhatov, M.A., 1976. Experience in stromatolite studies in the U.S.S.R. En Walter, M.R. (Ed) Stromatolites. p. 337-358, 7 fig. Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York.
65. _____, 1978. Some Aphebian carbonate stromatolites of the Canadian Shield. En: Raaben, M.E. - (Ed.) Lower boundary of the Riphean and Stromatolites of the Aphebian. Acad. Sci: USSR, Geol. Inst. Transactions 312: 111-147, 14 figs. lám. 12-24.
66. Serebryakov, S. N., 1976. Biotic and abiotic factors controlling the morphology of Riphean Stromatolites. En: Walter, M.R. (Ed) Stromatolites. p. 321-336. 8 Fig. Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York.
67. Seward, A. C., 1931. Plant life through the ages. New York, Cambridge: 601 p. (vease p. 86-87).
68. Shapovalova, I. G., 1965. Znachenie nekotorykh formalnykh rode stromatolitov srednego rifeya dlya paleogeograficheskikh postroenii, In: Vsesoyuznyi simposium popaleontologii dokembriya i rannego kembriya. Tezisi Doklady. 32-34. Novosibirsk.
69. Silver, L.T., 1979. Geocronología del basamento Precámbrico de Sonora, México. Resumen Simposio sobre evolución tectónica de México. México, D. F. (inédito) 2 p.
70. Silver L.T. y Anderson, T.H., - 1974. Possible left.- lateral early to midie Mesozoic disruption of the South Western North American craton margin. Geol. Soc. Amer. Abst. 6 - (7): 955-956.

71. Sims, P. K., 1979. Subdivision of the proterozoic and Archean Eons: Recommendations and suggestions by the International Subcommittee on Precambrian Stratigraphy. Remitido a Geotimes y Precambrian Geology.

72. Steinmann, G., 1911. Über Gymnosolen ramsayi eine Coelenterate von der Halbinsel Kanin. Bull. Soc. Geogr. Finlande 3: 18-23 (no consultado citado en Monty, 1977).

73. Stoyanow, A., 1942. Paleozoic Paleogeography of Arizona. Bull. Geol. Soc. Am. 536: 1255-1282, 5 lám. 3 Fig.

74. Tyler, S. A. y Barghoorn, E.S., - 1954. Occurrence of structurally preserved plants in Precambrian rocks of the Canadian Shield, Science, 119 (3096): 606-608.

75. Thrailkill, J., 1976. Speleothems. En Walter, M.R. (Ed.) Stromatolites. p. 73-86. 16 fig. Elsevier. Amsterdam, Oxford, New York.

76. Twenhofel, W. H., 1919. Precambrian and Carboniferous algal deposits Am. J. Sci. 49: 339-352. (no visto, - citado en Monty, 1977).

77. Vologdin, A. G., 1962. The most ancient algae of the USSR. Akad. Nauk. - S.S.S.R., Moscow. 656. p. (no visto, citado en Krylov 1976).

78. Walcott, C.D., 1906. Algonkian formations of Northwestern Montana. Bull. Geol. Soc. Am. 17: 1-28. (no consultado citado en Mont-, 1977).

79. _____, 1914. Precambrian Algonkian flora. Smithsonian Misc. Coll. 64:77-156 (no visto, citado en Monty, 1977).

80. Walter, M.R., 1972. Stromatolites and the biostratigraphy of the Australian Precambrian and Cambrian. Special Papers in Paleontology, No. 11. The Paleontological Association London. 190 pp 34 lam.

81. _____, 1976. Hot spring sediments in Yellowstone National Park. En Walter, M.R. (Ed.) Stromatolites. p. 489-498, 8 fig. Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York.

82. Weber, R. y Cevallos, F.S., 1980. El significado bioestratigráfico de los estromatolitos del Precámbrico sedimentario de la región de Caborca, Son. IV Coloquio sobre Paleobotánica y Palinología en México (Resúmen).

83. _____ y Mendoza, J. J., 1978. Jacutophyton, estromatolito complejo del Precámbrico Tardío de Caborca, Estado de Sonora: Resúmen (inédito). - Trabajo presentado en el VII Congreso de la Sociedad Botánica de México.

84. _____, López, C.A. Olea F.A., Singer, S. S., 1979. Los estromatolitos del Precámbrico Tardío de los alrededores de Caborca, Estado de Sonora, I., Reconstrucción de Jacutophyton e interpretación paleoecológica preliminar. Univ. Nac. Autón. México, Rev. Inst. Geol. 3 (1): 9-23.

85. Wieland, G. R., 1914. Further notes on Ozarkian seaweeds and oolites. Am. Mus. Nat. Hist. Bull. 33: 237-260. (no consultado, citado en Monty, 1977).

Descripción de las figuras

- Figura 1 Esquema geológico de los alrededores de Caborca, Son., donde se observa la distribución del zócalo metamórfico y del Precámbrico sedimentario. (Según Rangin y Roldán, 1978, tomado de Weber et al, 1979; modificado de acuerdo con Longoria et al, 1978 o 1979).
- Figura 2 Mapa que muestra diferentes cerros con afloramientos de Precámbrico Sedimentario. El Cerrito de la Milla y los Cerros de las Víboras que se refieren en este trabajo se indican con los números 1 y 2 respectivamente. (Modificado y tomado de Weber, et al, 1979; mapa según Anderson y colaboradores, 1978, fig. 1).
- Figura 3 Esquema que muestra la localización del Cerrito de la Milla situado en los límites de la ciudad de Caborca. La línea gruesa en el costado NW del Cerrito muestra la zona donde se levantó la sección correspondiente. (Dibujo por Verónica de la Mora).
- Figura 4 Plano topográfico de los Cerros de las Víboras en Caborca, Son. La línea gruesa representa la zona en que se trazó la sección correspondiente a este cerro. (Dibujo por Verónica de la Mora).
- Figura 5 Reconstrucción de un bioherma de Conophyton y Jacutophyton. Los elementos columnares con laminación cónica corresponden al primer tipo. Aquellos que además de la característica anterior muestran ramas representan al segundo tipo. (Tomado de Weber, et al, 1979).
- Figura 6 Se observan bloques disgregados con estromatolitos elongados en corte aproximadamente vertical. Nótese los canales entre los estromatolitos con un ancho de 3 o 4 cm. y la disposición subparalela que poseen los elementos. El objeto de escala tiene 12 cm. de largo. Localidad: Cerrito de la Milla.
- Figura 7 Se presentan estromatolitos elongados semejantes a los descritos en la figura 6, de la misma localidad.
- Figura 8 Vista oblicua de la muestra WGB-78-49A donde se observa la continuidad de las planchas del tipo Platella en el corte transversal y vertical. Nótese la disposición subparalela de los estromatolitos así como su espesor casi constante. Puede inferirse que los elementos atraviesan al bloque que los contiene completamente. Escala en cm.
- Figura 9 Corte vertical de la muestra WGB-78-49A. Escala en cm.
- Figura 10 Muestra en la parte inferior una columna de Conophyton apicalmente truncada. Estromatolitos elongados pueden ser observados en la parte superior. El objeto de escala posee 5 cm. de diámetro. Localidad: Cerrito de la Milla.
- Figura 11 Presenta a los mismos estromatolitos que la figura 10. Obsérvese la continuidad de los elementos elongados.
- Figura 12 Fotografía de campo de la muestra CF-79-1. Se observa la distribución subparalela de los elementos con mayor elongación, la presencia de uno de los estromatolitos columnares y múltiples estructuras con formas más irregu-

lares. Objeto de escala de 5 cm de diámetro. Localidad: Cerrito de la Milla.

Figura 13 Representación gráfica de los estromatolitos principales de la muestra CF-79-1. Se esquematiza el patrón de laminación en cada uno de los estromatolitos donde es claramente distinguible. Nótese que en el estromatolito "E" (ver fig. 14) se ven dos orientaciones contrarias, en realidad este fósil está constituido por dos elementos fusionados. (Dibujo por Verónica de la Mora).

Figura 14 Esquema de los estromatolitos de la muestra CF-79-1. Se indican los números y las letras con que están designados los elementos y los canales entre ellos, en el texto. (Dibujo por Verónica de la Mora).

Figura 15 Corte oblicuo del estromatolito "S" de la muestra CF-79-1 donde puede ser observada la estructura típica de Conophyton. Donde el corte cruza la parte central del estromatolito la laminación de la zona axial puede observarse.

Figura 16 Como resultado de las observaciones hechas en las muestras CF-79-1 y WGB-78-49A y el auxilio de fotografías de campo se presenta la reconstrucción de una bioherma de Platella. Explicación detallada en el texto. (Dibujo por Reinhard Weber).

Figura 17 Cortes radiales y transversales de elementos columnares con laminación domal, cónicas sin zona axial y cónica con ésta. Nótese la apariencia de la laminación en los cortes transversales. (Dibujo por Reinhard Weber).

Figura 18 Esquema que ilustra cómo los focos de las ramas se encuentran

en cortes horizontales constantemente desplazados hacia las columnas de las que parte. (Dibujo por Reinhard Weber).

Figura 19 Porción central de la muestra CF-79-1 con los elementos G y H de la figura 14 y elementos en forma de plancha. Los elementos G y H parecen ser ramas apicales de una sola columna. Compárese la fig. 20. Escala en cm. Localidad: Cerrito de la Milla.

Figura 20 Esquema explicativo de la figura 19, donde se observa cómo la columna se bifurca y las planchas crecen a partir de la misma columna. (Dibujo por Reinhard Weber).

Figura 21 Muestra en forma muy simplificada el proceso de formación de distintos tipos de corrientes (véase capítulo 5, 5) (Dibujo por Verónica de la Mora).

Figura 22 Se presentan las líneas medias sobre las cuales se realizaron las mediciones del ancho tanto de los estromatolitos como de los canales. La línea arbitrariamente seleccionada para la medición de los ángulos de orientación corre de manera paralela a la línea recta de mayor tamaño que pueda trazarse dentro del estromatolito "D" (Dibujo por Verónica de la Mora).

Figura 23 Histograma que representa la orientación de los estromatolitos con respecto a una línea arbitrariamente seleccionada. La orientación dominante se aprecia cerca de los 90°. El intervalo graficado es de 5°. (Dibujo por Verónica de la Mora).

Figura 24 Diagrama de barras que representa la orientación de los estromatolitos con respecto a una línea arbitrariamente seleccionada. La orientación dominante se aprecia cerca de los 90° . El intervalo graficado es de 1° . (Dibujo por Verónica de la Mora).

Figura 25 Histograma que representa la orientación de los canales entre los estromatolitos con respecto a una línea arbitrariamente seleccionada. La orientación dominante se aprecia cerca de los 90° . El intervalo graficado es de 5° . (Dibujo por Verónica de la Mora).

Figura 26 Diagrama de barras que representa la orientación de los canales entre los estromatolitos con respecto a una línea arbitrariamente seleccionada. La orientación dominante se aprecia cerca de los 90° . El intervalo graficado es de 1° . (Dibujo por Verónica de la Mora).

Figura 27 Diagrama de barras que esquematiza la frecuencia del ancho de los canales entre los estromatolitos en la muestra CF-79-1. Puede observarse un comportamiento normal ante la imposibilidad de tener valores menores que cero. Refuerza el aspecto de una estrecha relación en el patrón de crecimiento de los estromatolitos y hace evidente una marcada tendencia a mantener cierta distancia entre ellos. (Dibujo por Verónica de la Mora)

Figura 28 Diagrama de barras que esquematiza la frecuencia del ancho de los estromatolitos en la muestra CF-79-1. Puede observarse un comportamiento normal. (Dibujo por Verónica de la Mora).

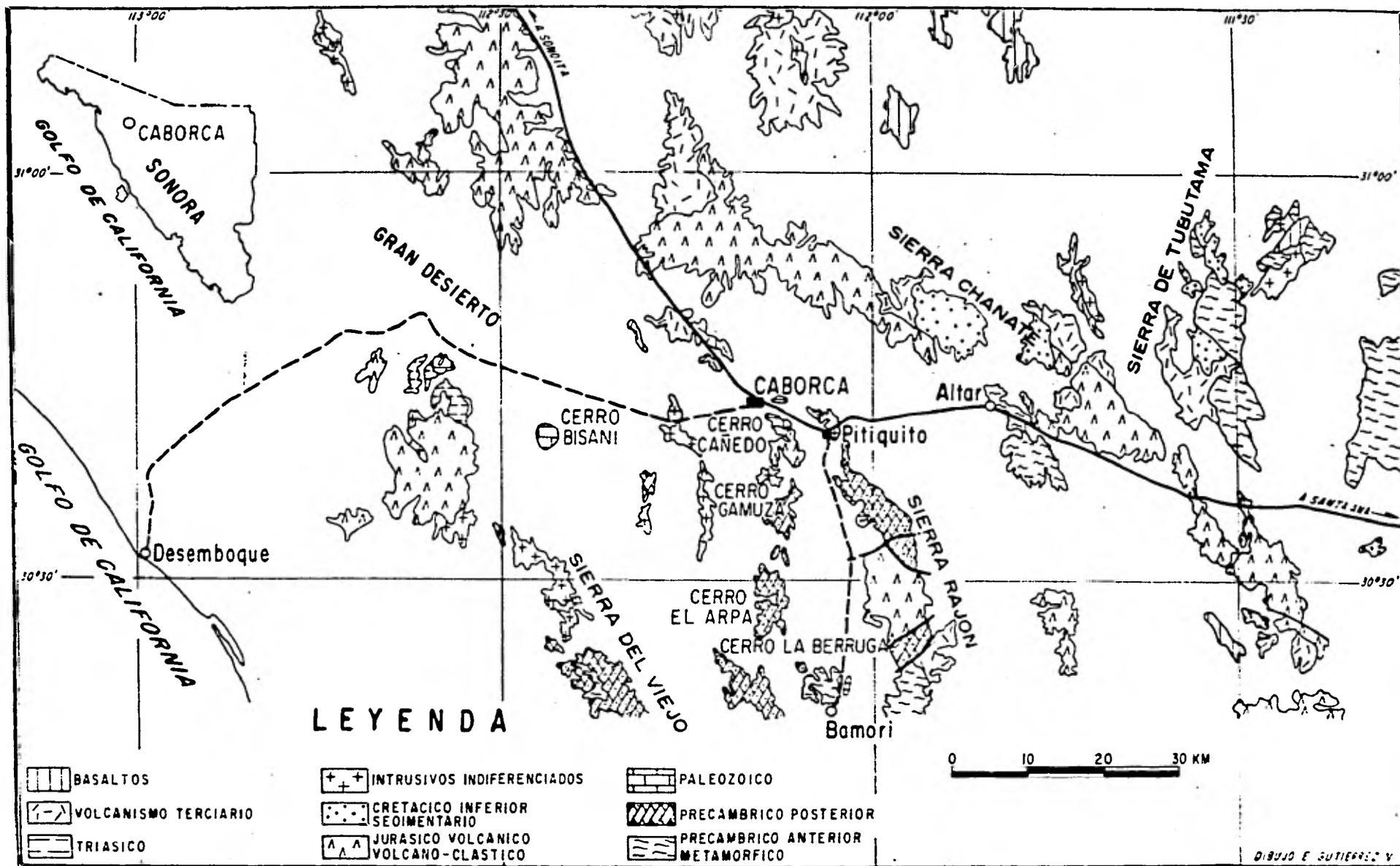
Figura 29 Se presentan claros rasgos de erosión (indicados por triángulos blancos) en los estromatolitos "D" e "I", pues sus láminas se encuentran cortadas abruptamente. El objeto de escala tiene 3.5 cm. de diámetro.

Figura 30 Rasgos de erosión en el estromatolito "H".

Figura 31 Representación esquemática del papel de las columnas tipo Conophyton en el control de la dirección de la corriente. De esta manera las corrientes varían, aunque fuera ligeramente, su dirección inicial. (Dibujo por Reinhard Weber).

Figura 32 Esquema que representa la conformación de las ramas de acuerdo a la posición de crecimiento en la columna y aceptando que su forma está en mayor grado moldeada por las corrientes. La dirección predominante de la corriente está indicada por la flecha. (Dibujo por Reinhard Weber).

Figura 33 Tabla sinóptica de algunas subdivisiones recientes del Precámbrico.



DIBUJO E. SUTIERRES V.

FIGURA 1

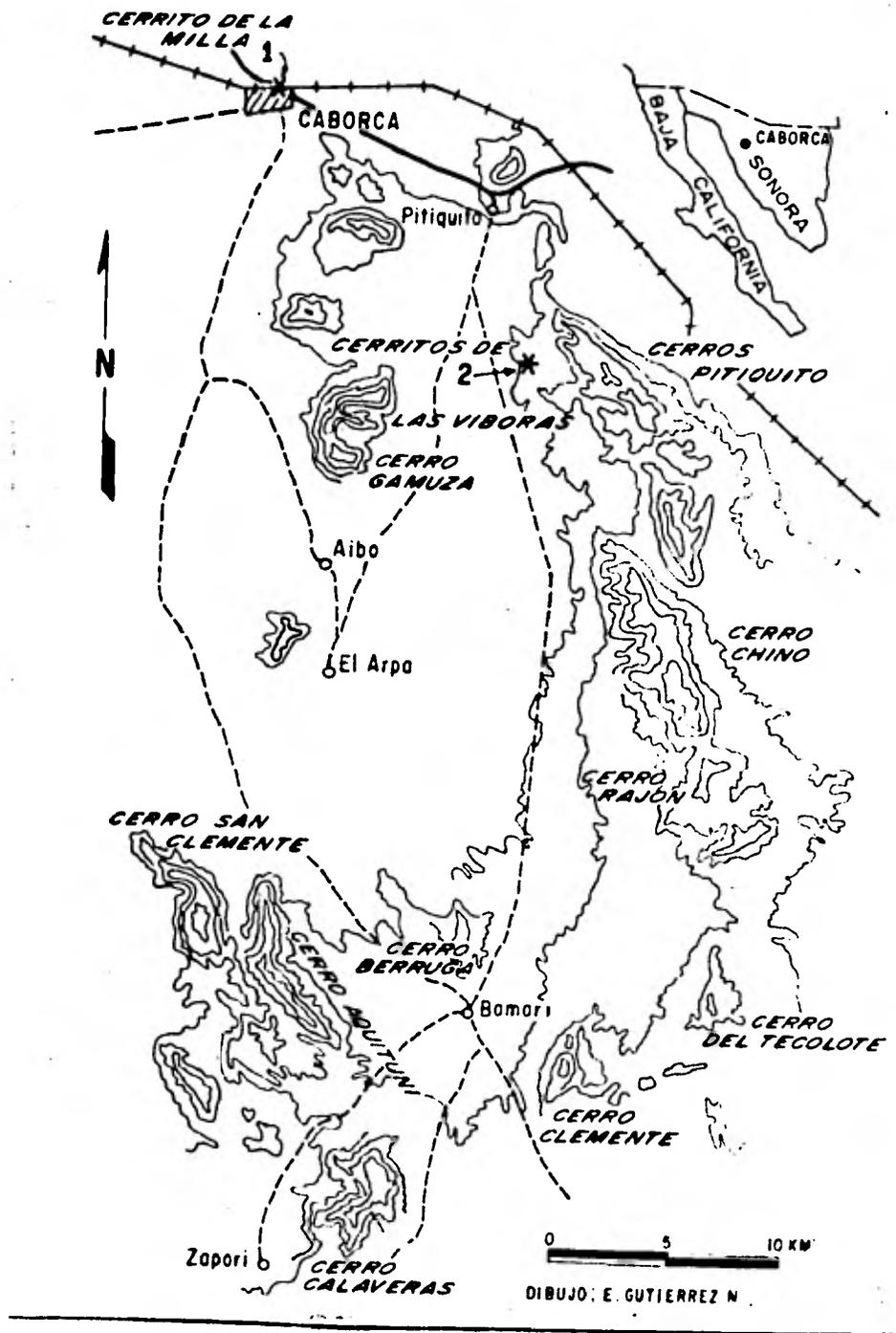
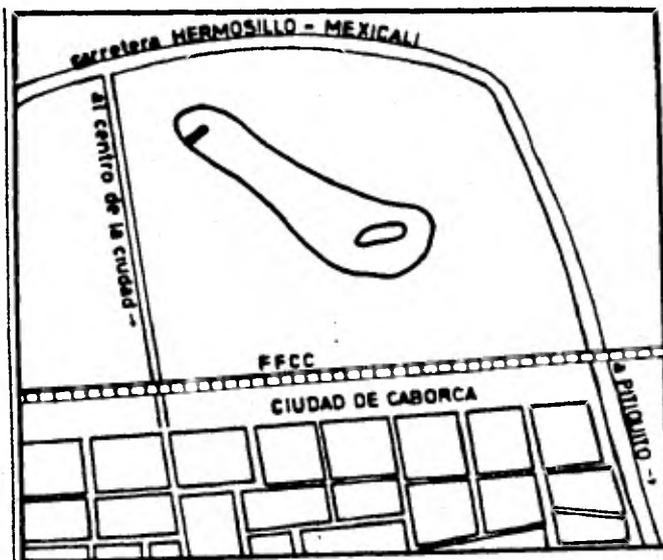


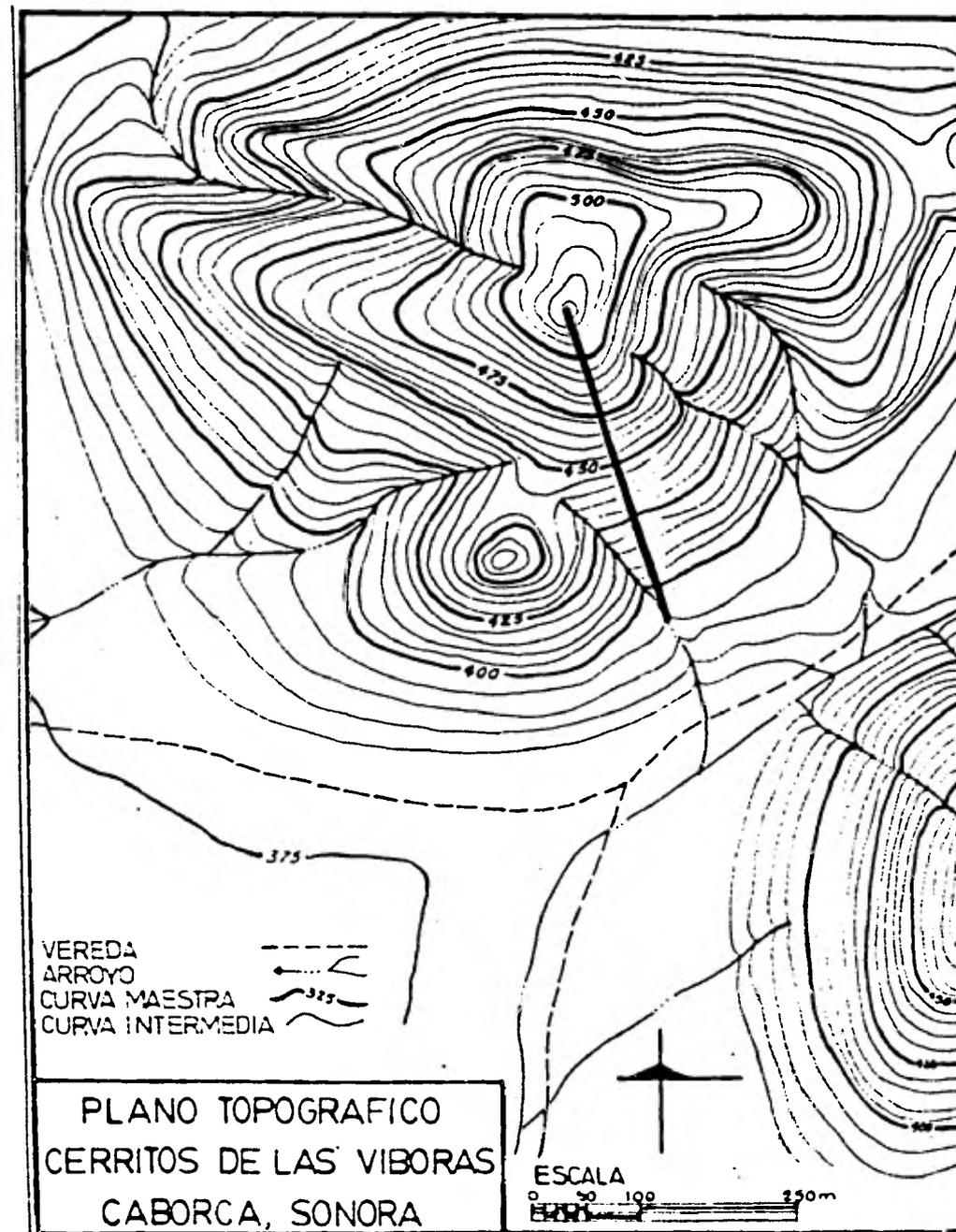
FIGURA 2



ESQUEMA DEL CERRITO DE LA MILLA



FIGURA 3



PLANO TOPOGRAFICO
CERRITOS DE LAS VIBORAS
CABORCA, SONORA

ESCALA
0 50 100 250m

FIGURA 4

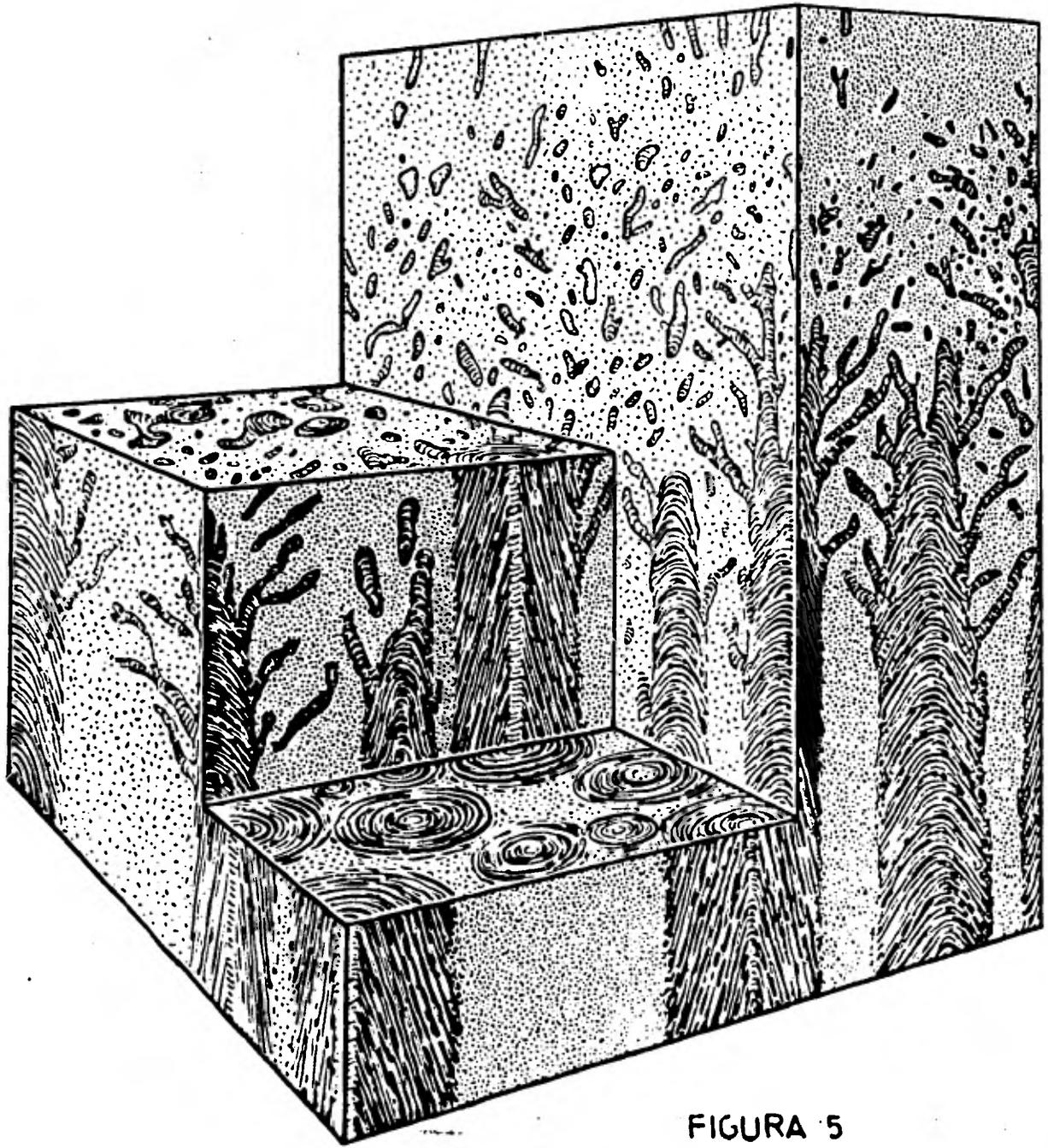


FIGURA 5



FIGURA 6



FIGURA 7



FIGURA 8

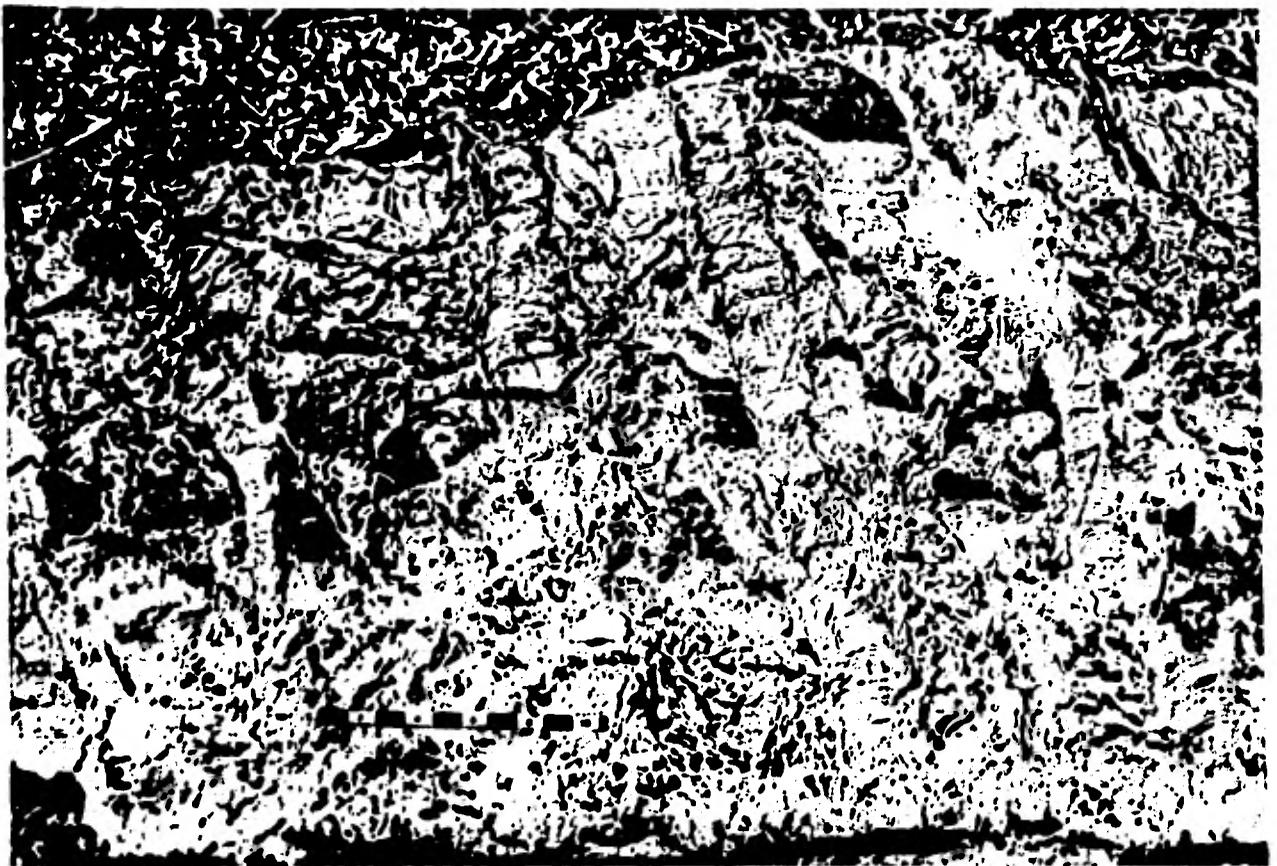


FIGURA 9



FIGURA 11



FIGURA 10



FIGURA 12

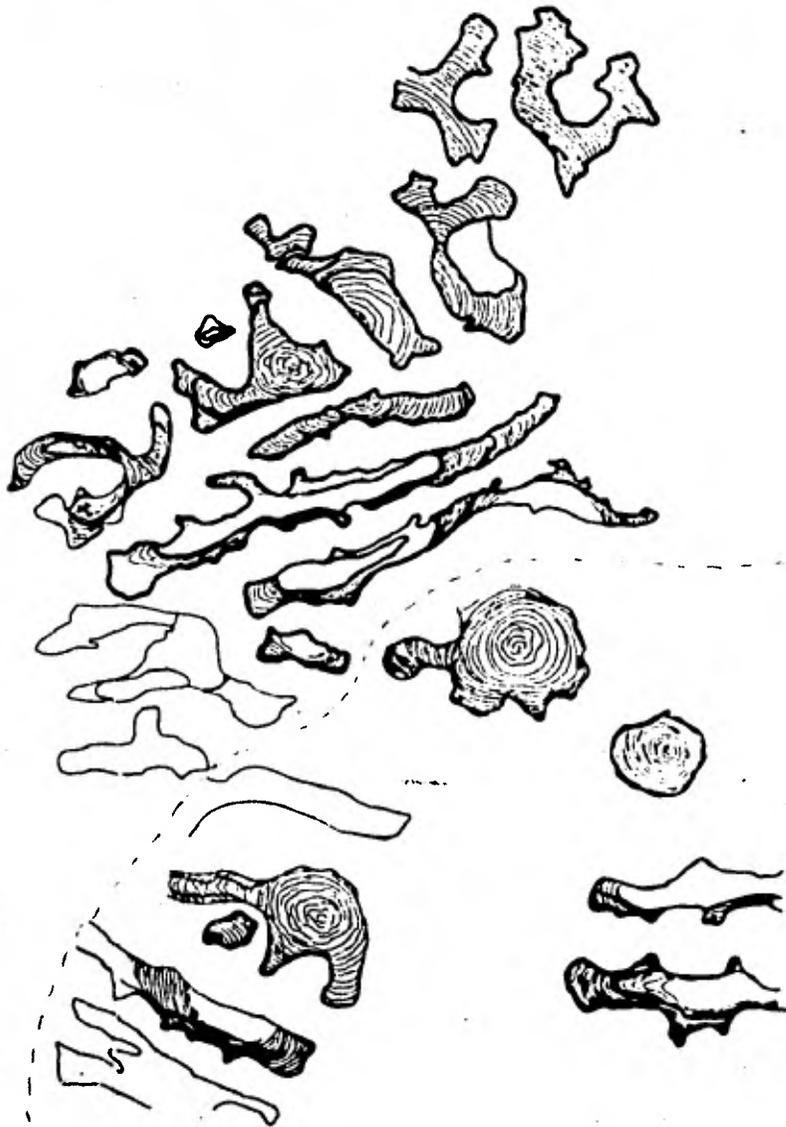


FIGURA 13

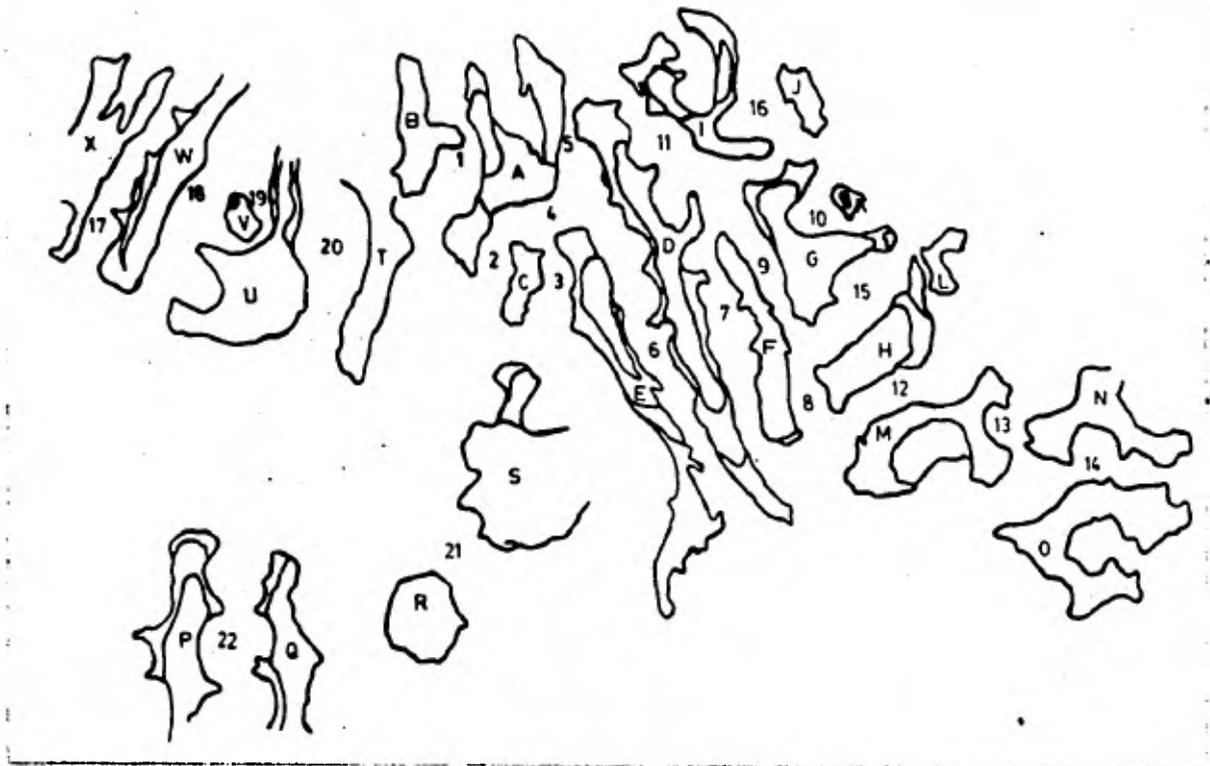


FIGURA 14



FIGURA 15

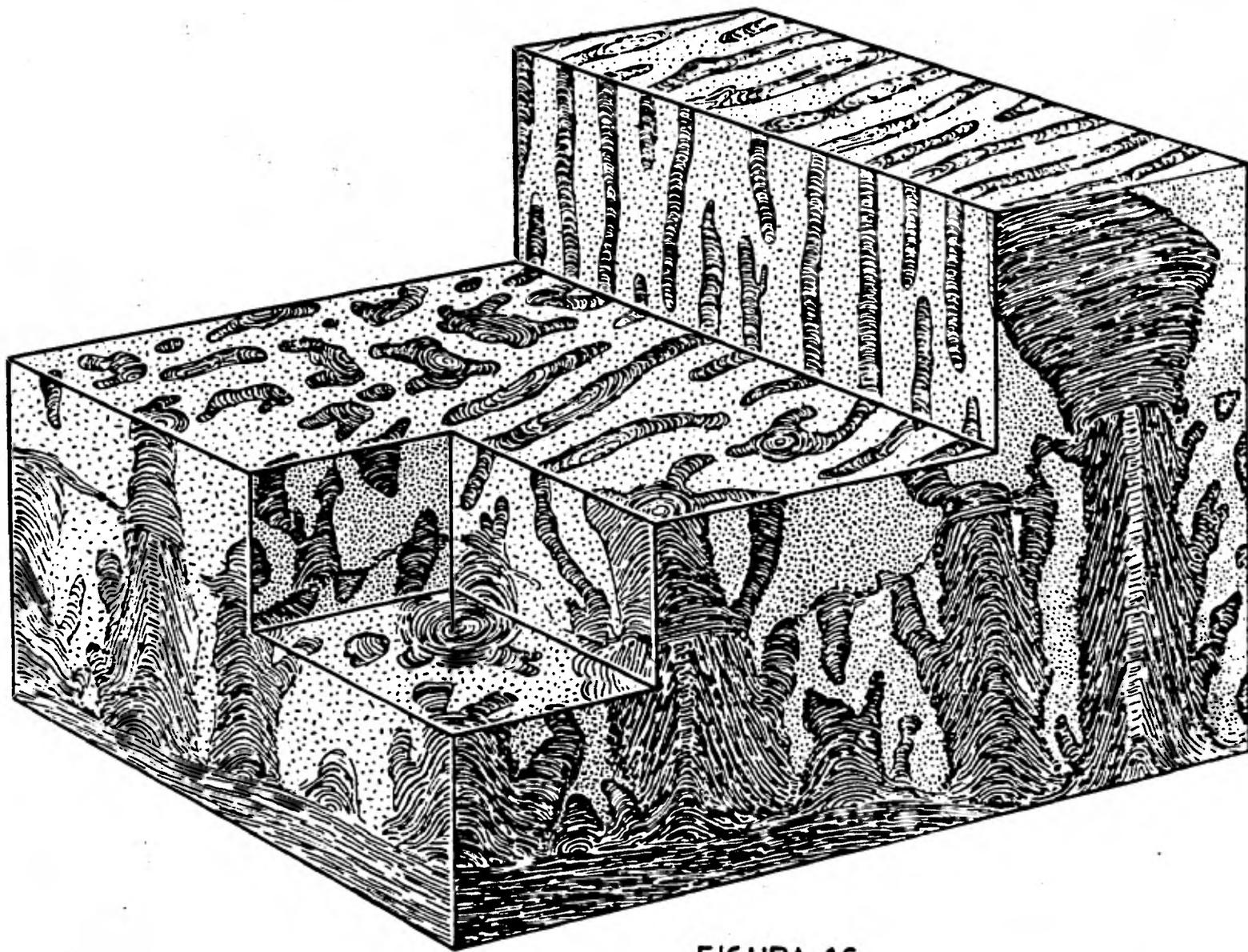


FIGURA 16

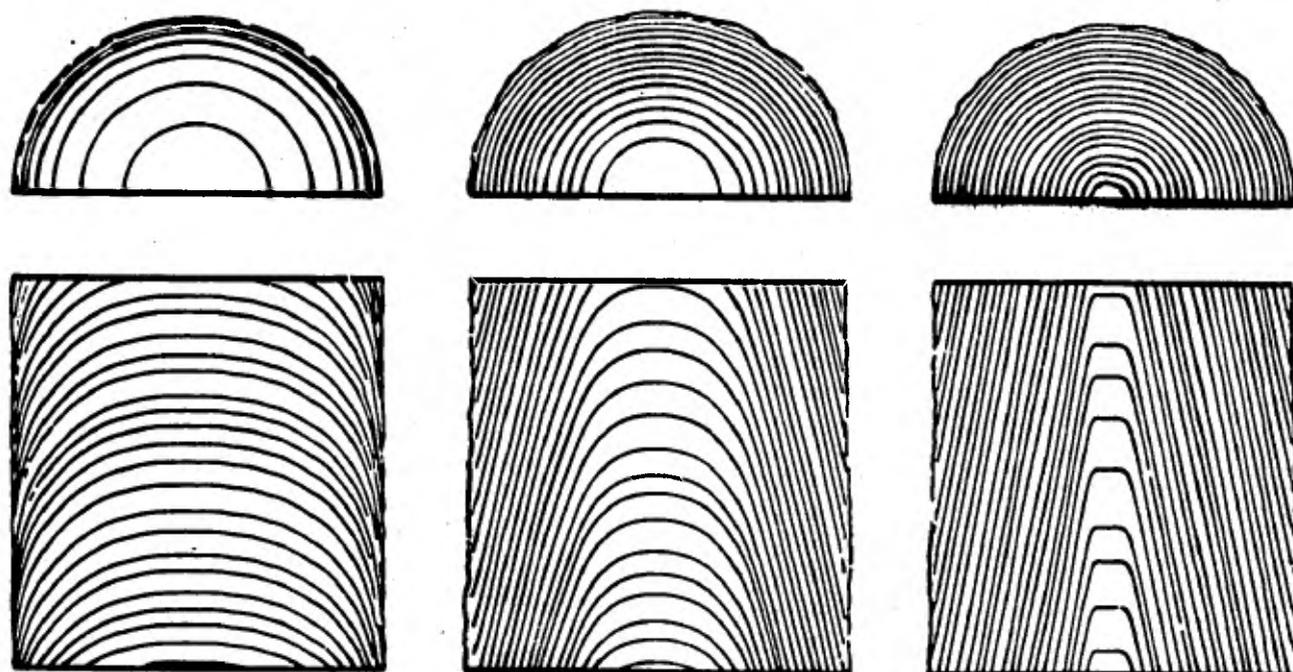


FIGURA 17

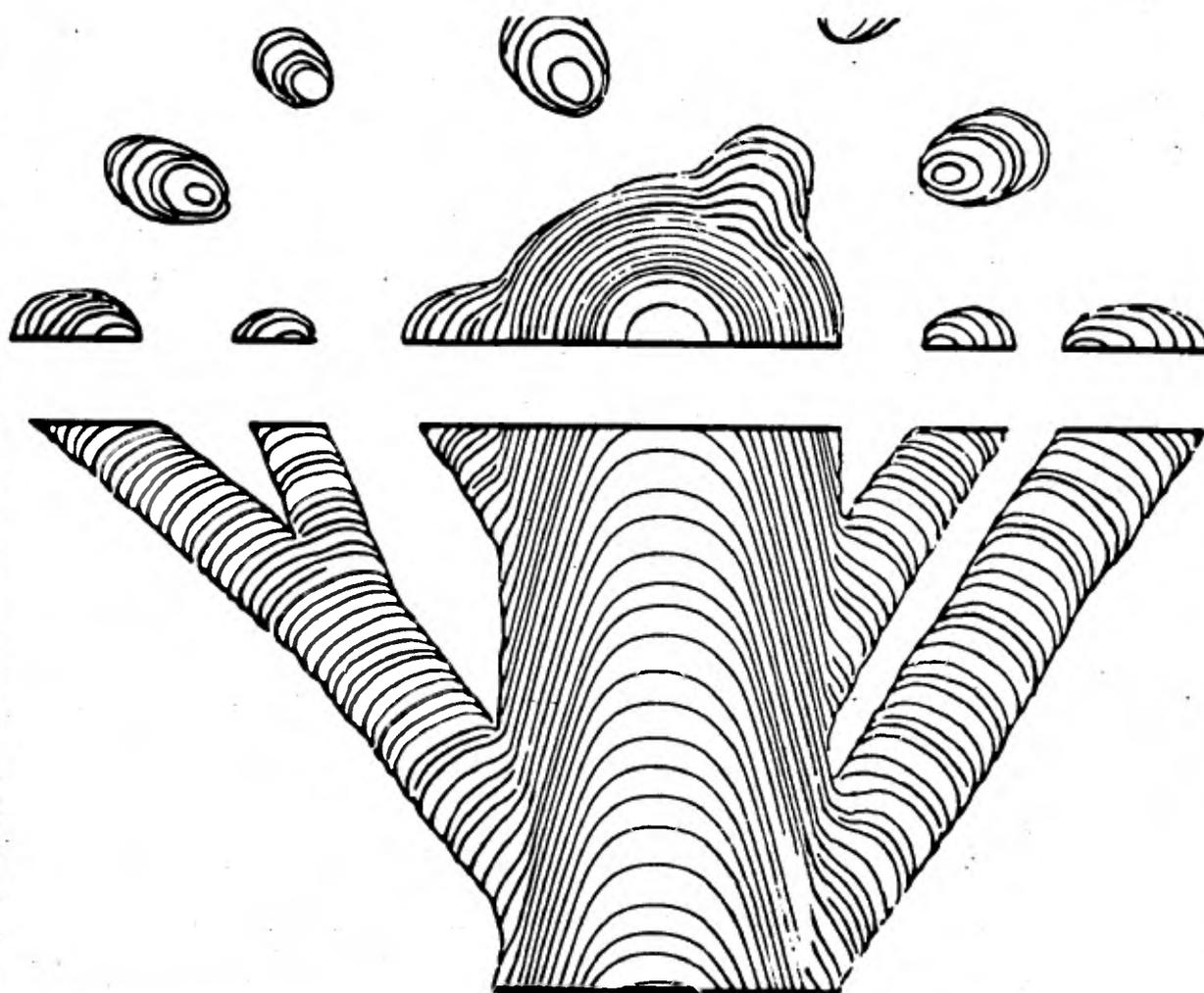


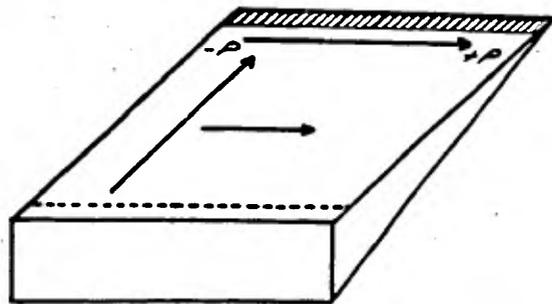
FIGURA 18



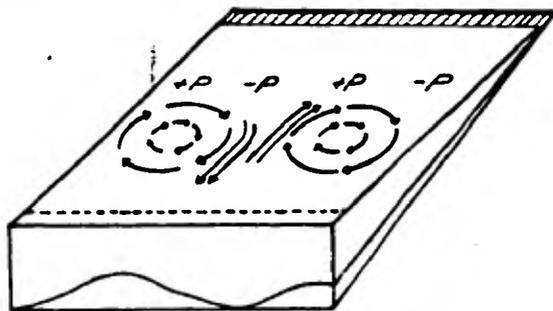
FIGURA 19



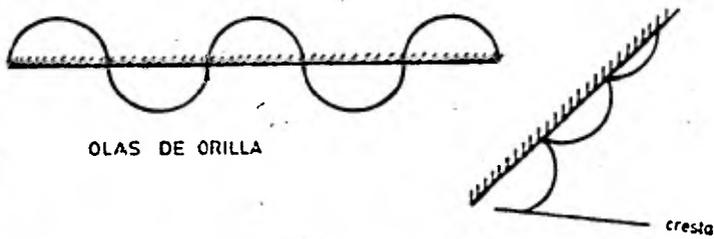
FIGURA 20



CORRIENTES ESTACIONARIAS



RIP CURRENTS



OLAS DE ORILLA

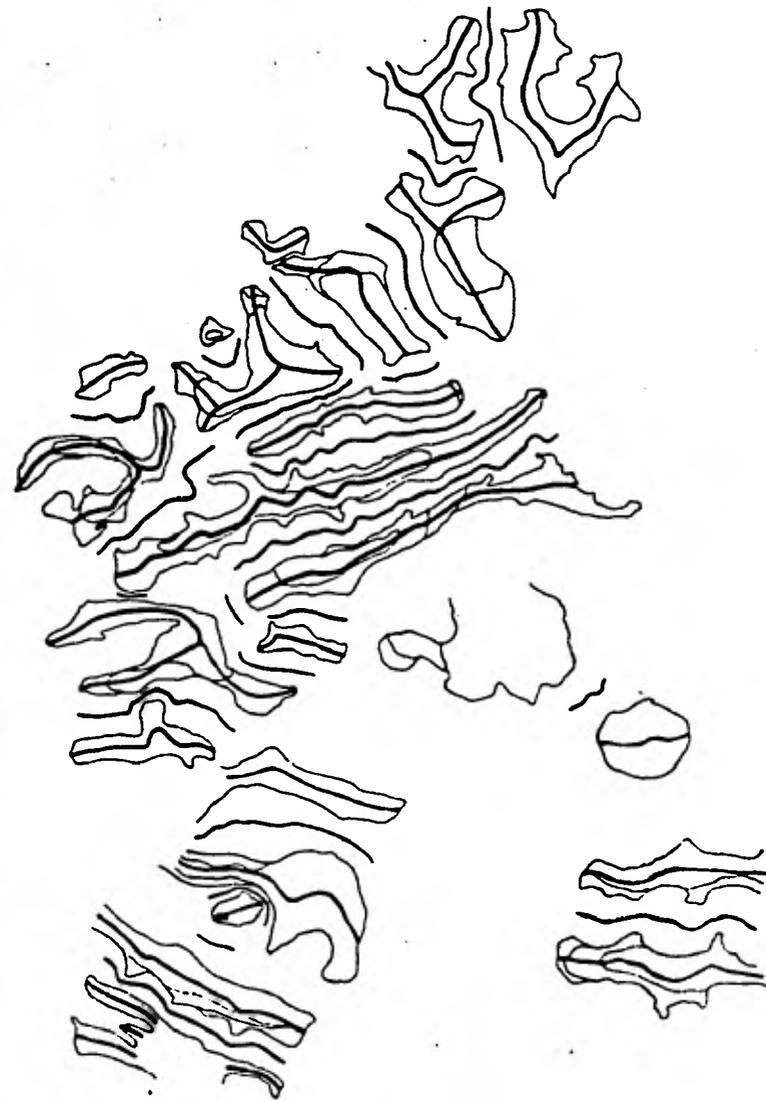
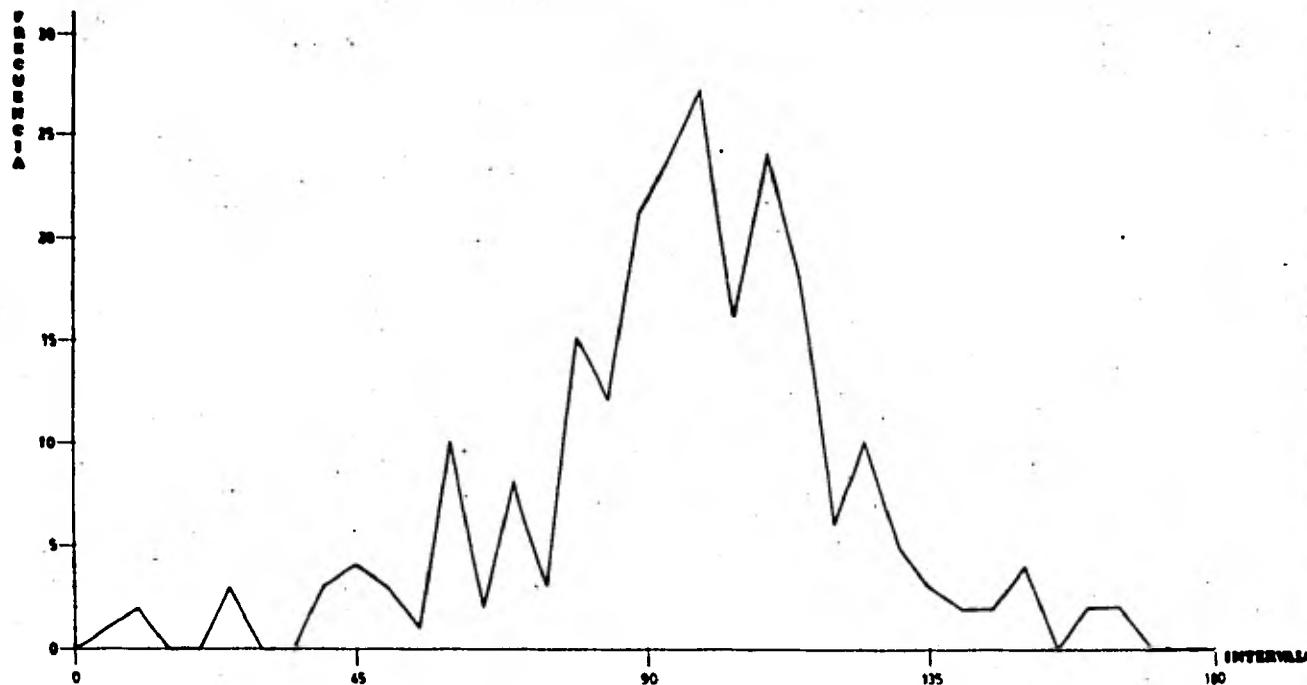


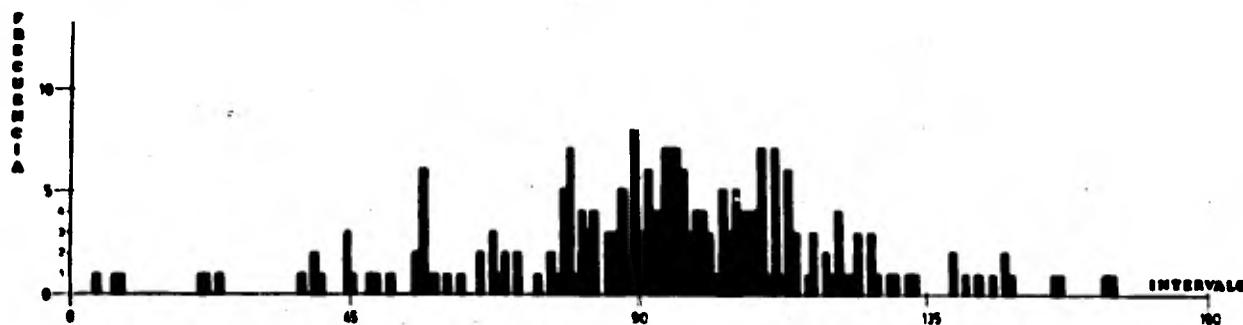
FIGURA 21

FIGURA 22



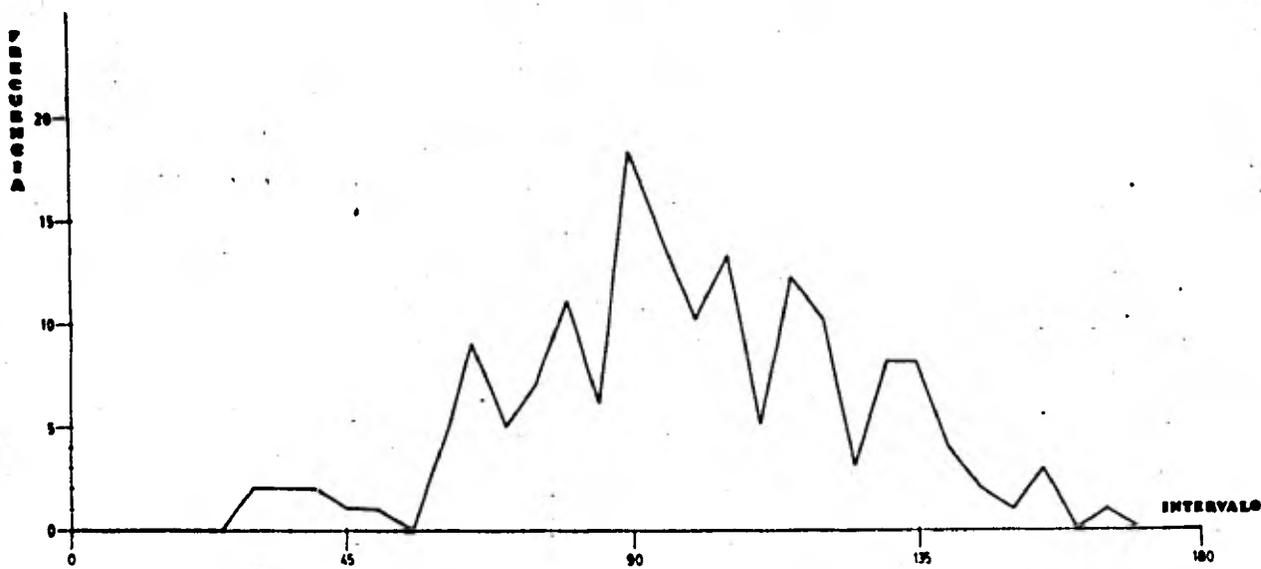
**ORIENTACION DE LOS ELEMENTOS CON RESPECTO A UN PLANO VERTICAL
ARBITRARIAMENTE SELECCIONADO**

FIGURA 23



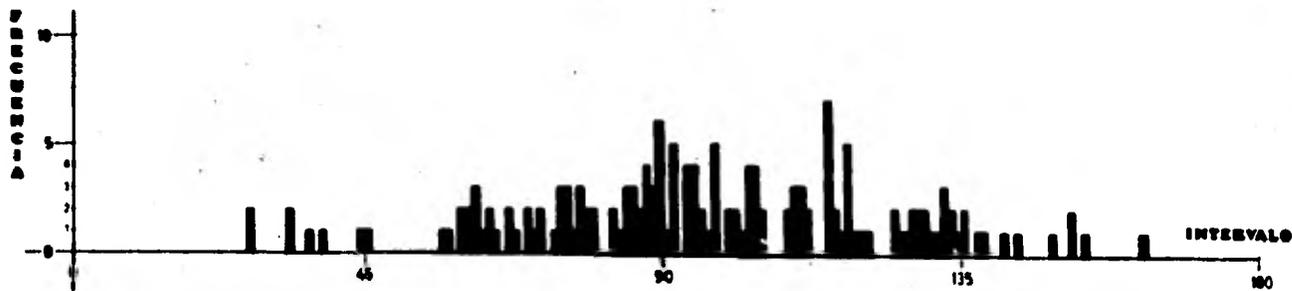
**ORIENTACION DE LOS ELEMENTOS CON RESPECTO A UN PLANO VERTICAL
ARBITRARIAMENTE SELECCIONADO**

FIGURA 24



ORIENTACION DE LOS CANALES ENTRE LOS ESTROMATOLITOS CON RESPECTO A UN PLANO VERTICAL ARBITRARIAMENTE SELECCIONADO

FIGURA 25



ORIENTACION DE LOS CANALES ENTRE LOS ESTROMATOLITOS CON RESPECTO A UN PLANO VERTICAL ARBITRARIAMENTE SELECCIONADO

FIGURA 26

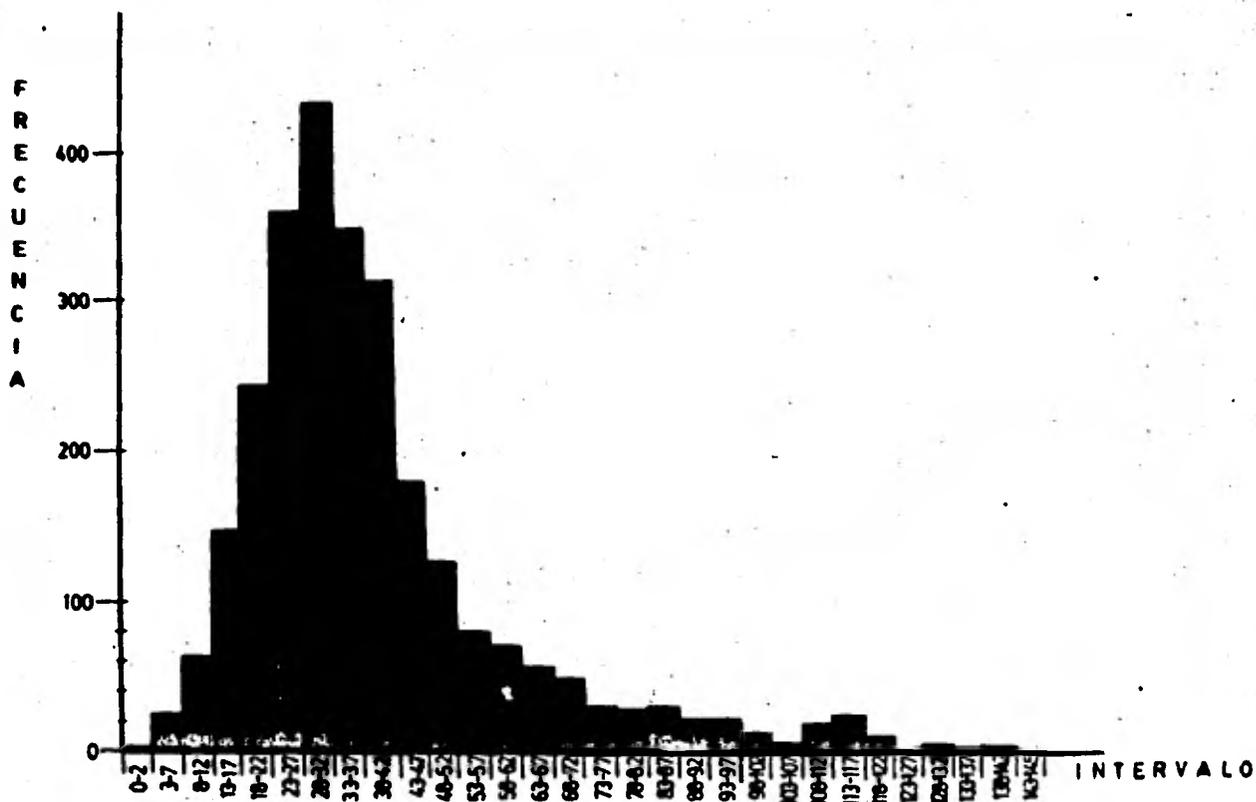


FIGURA 27

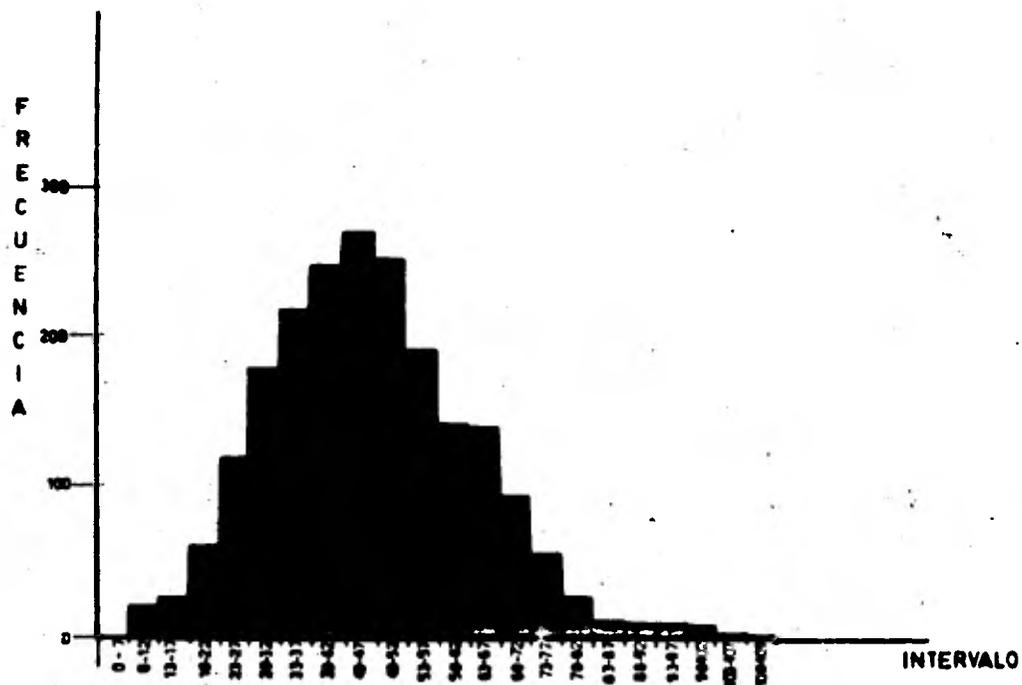


FIGURA 28



FIGU



FIGU

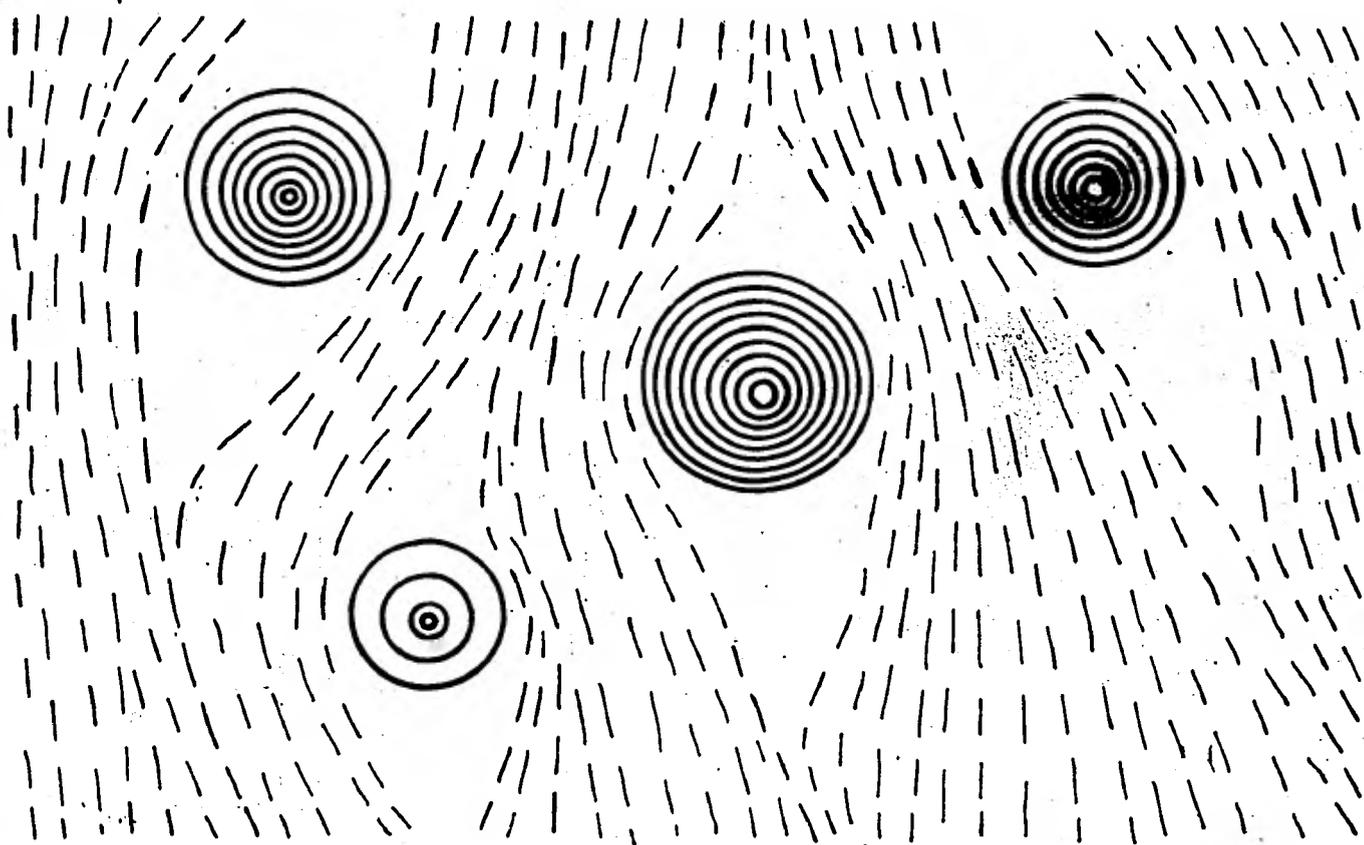


FIGURA 31

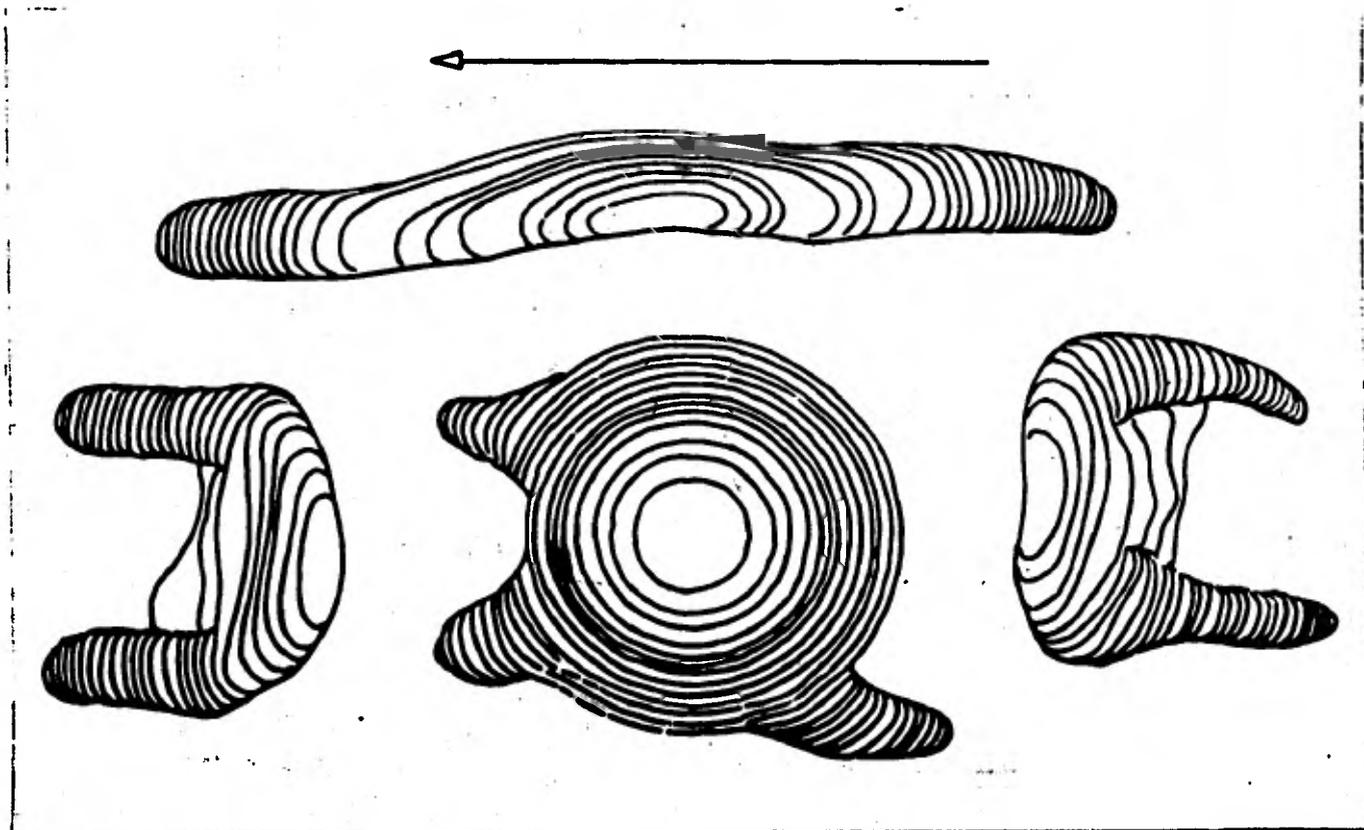


FIGURA 32

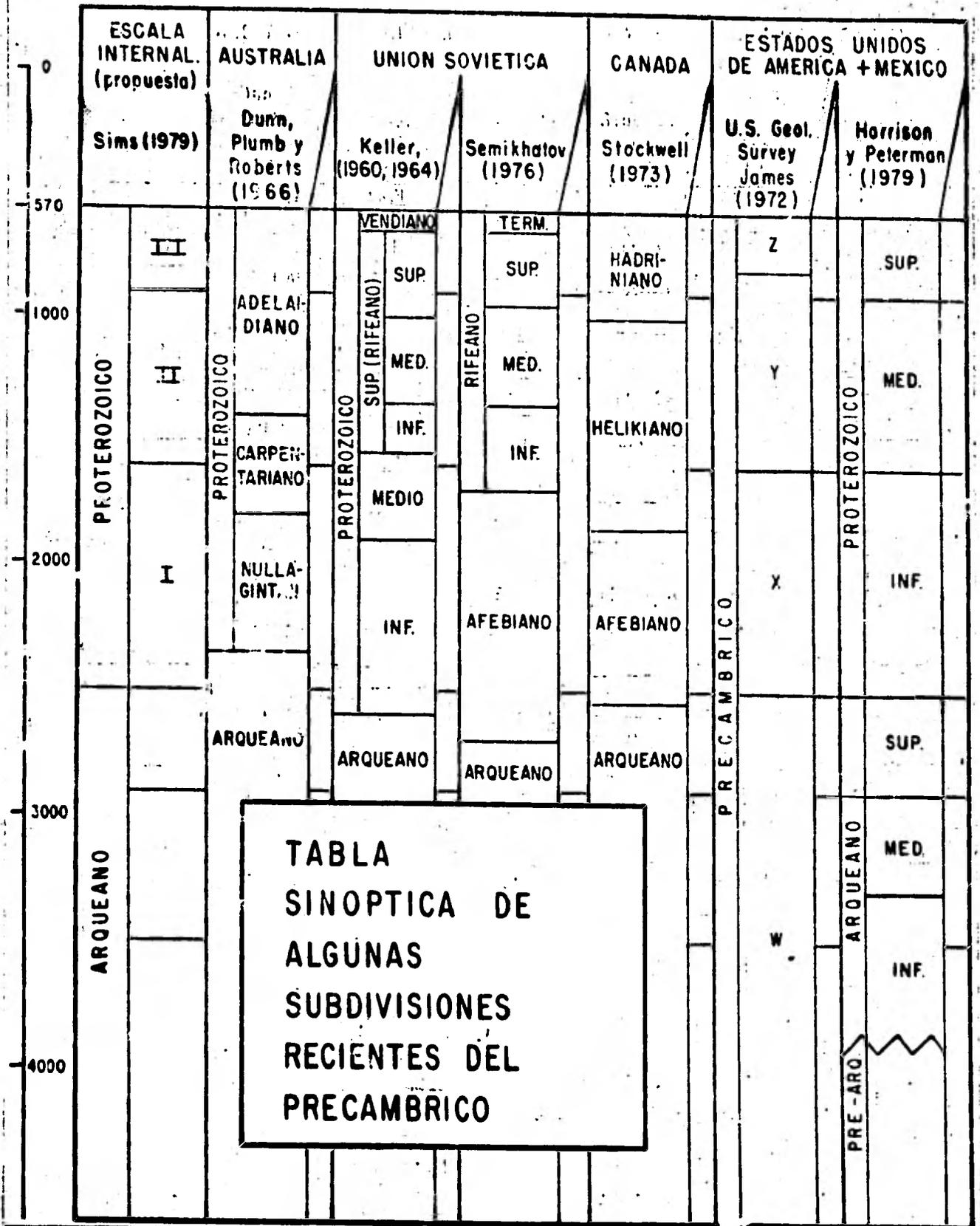


TABLA SINOPTICA DE ALGUNAS SUBDIVISIONES RECIENTES DEL PRECAMBRICO

FIGURA 33