

ARQUITECTURA, ESTRUCTURA Y AMBIENTE DE DEPOSITO DE ALGUNOS ESTROMATOLITOS DEL PRECAMBRICO SEDIMENTARIO DE CABORCA, SONORA

Sergio Cevallos-Ferriz¹
y Reinhard Werber²

RESUMEN

Los estromatolitos proterozoicos de las Capas Gamuza (*sensu* Anderson *et al.*, 1978) de la región de Caborca, Sonora, son objeto de estudios nuevos desde 1977. Hasta la fecha se identificaron, aparte de *Conophyton*, ejemplares de *Jacutophyton* muy bien desarrollados en dos localidades ubicadas en el Cerrito de la Milla y en los Cerros Pitiquito (antes C. Caborca). *Jacutophyton* abarca estromatolitos de arquitectura compleja, con columnas centrales del tipo *Conophyton* o variantes de éste, ramificadas terminal y lateralmente. Las ramas son muy variables y, en casos extremos, pueden tener forma de planchas verticales, correspondientes al tipo *Platella*. Se establece la conexión genética entre tales elementos y *Conophyton* en muestras del Cerrito de la Milla y se hacen observaciones sobre la repercusión de corrientes en estas formas. La arquitectura y estructura de *Conophyton* son predominantemente controladas por factores bióticos, mientras que las ramas responden mucho más sensiblemente a factores ambientales abióticos.

ABSTRACT

Research on the Proterozoic stromatolites of the Gamuza Beds (*sensu* Anderson *et al.*, 1978) cropping out in the Caborca region, Sonora, was initiated in 1977. Until now, *Conophyton* and very well-developed *Jacutophyton* were identified at two localities in the Cerrito de la Milla and the Cerros Pitiquito (formerly C. Caborca). *Jacutophyton* includes stromatolites showing complex architecture, with central columns of *Conophyton* type which are terminally and laterally ramified. The twigs are very variable and in extreme cases, may adopt the form of vertically oriented plates, corresponding to the *Platella* type. Genetic connection between such elements and *Conophyton* is evident in a sample from the Cerrito de la Milla and observations regarding the effect of currents in these forms are added. The architecture and structure of *Conophyton* are chiefly controlled by biotic factors, whereas the twigs show a much more sensible response to abiotic environmental factors.

INTRODUCCION

La relación estrecha que existe entre las estructuras organizadas y su función es inminente. Los estromatolitos como estructuras organosedimentarias ejemplifican claramente esta situación, aunque reflejan un nivel de organización en el cual los aspectos de unidad y diversidad no son entendidos con exactitud. No obstante que en el intento por definir a los estromatolitos se hace referencia a comunidades de microorganismos, el funcionamiento fisiológico-edificador, aunado a las condiciones ambientales de estas comunidades, no están completamente comprendidos.

Monty (1973) caracterizó a los estromatolitos como "entidades biológicas" y "megaorganismos". Posteriormente, debido a su alta o baja plasticidad morfológica, los refirió como eubiontes o stenobiontes (Monty, 1977). La plasticidad, ya sea en estructuras orgánicas o inorgánicas, lleva de inmediato a cuestionar a cuál o cuáles agentes responde.

En relación a los estromatolitos fósiles, varios investigadores sostuvieron (Korde 1950, *in* Krylov, 1975) que en condiciones ambientales iguales, comunidades razonable-

mente similares de microorganismos depositan estromatolitos de igual arquitectura y estructura. Logan y colaboradores (1974), a raíz de estudios sobre los estromatolitos actuales de la Bahía de Tiburones, Australia, señalaron que la macroestructura está controlada por procesos medioambientales, mientras que la microestructura responde a un control biológico intrínseco. Serebryakov (1976), en un estudio sobre estromatolitos fósiles, encontró un patrón de construcción muy semejante al enunciado para las formas actuales y opinó que (a) los factores abióticos regulan (1) la orientación de los elementos, (2) su forma isométrica o elongación y (3) el diámetro de los elementos; mientras que (b) factores bióticos, junto con parámetros abióticos, regulan (4) la naturaleza de la ramificación, (5) la estructura marginal y (6) la forma de los elementos y de las láminas. Para los fines del presente estudio, se adopta esta última interpretación.

Los estromatolitos examinados en este estudio fueron observados en estratos probablemente correspondientes a la Formación Gamuza (*sensu* Longoria y Pérez, 1979) del Precámbrico sedimentario o Capas Gamuza (*sensu* Anderson *et al.*, 1978), del Cerrito de la Milla, Caborca, Sonora. Una descripción de esta localidad se encuentra en Weber y colaboradores (1979). Aquí se presta atención sobre todo a aquellos estromatolitos que evidencian la repercusión de factores ambientales en la arquitectura e, inclusive, diferencias en la respuesta a éstos, entre varios tipos de elementos

¹Oficina Regional del Noroeste, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 1039, 83000 Hermosillo, Sonora.

²Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 México, D.F.

que constituyen a *Jacutophyton* en dicha localidad. Estas consideraciones se basan principalmente en una muestra con el número CF-79-1, descubierta en 1978 por los presentes autores y transportada a México en 1979 por el primer autor. Esta muestra será incorporada a la colección del Museo de Paleontología del Instituto de Geología de la UNAM.

LA MUESTRA CF-79-1 DEL CERRITO DE LA MILLA

La muestra que a continuación se describe tiene aproximadamente 2 m de longitud, 75 cm de anchura y 50 cm de espesor máximos y pesa 1,500 kg. Fue extraída con la ayuda de una grúa y transportada en ferrocarril a México.

A la intemperie, la roca es gris clara y los estromatolitos que contiene son de color rosáceo pálido, con bandas de colores distintos. En superficie pulida, los estromatolitos

tienen color gris o rojo intenso. La roca encajonante es una caliza arenosa.

La muestra representa una porción de un bioherma compuesto por elementos estromatolíticos muy diversos que se observan en un amplio corte aproximadamente horizontal (Figura 1). Los elementos pueden dividirse, a *grosso modo*, en principales y accesorios, que representan dos generaciones marcadamente separadas. Los principales (Figura 2) a que se refiere este estudio tienen mayores dimensiones y contornos mejor delimitados y, en vida, contribuyeron con su crecimiento a la expansión espacial del arrecife. Los accesorios son mucho más pequeños, de forma irregular y, en vida, junto con sedimento clástico, rellenaron los interespacios de los elementos principales, los llamados canales.

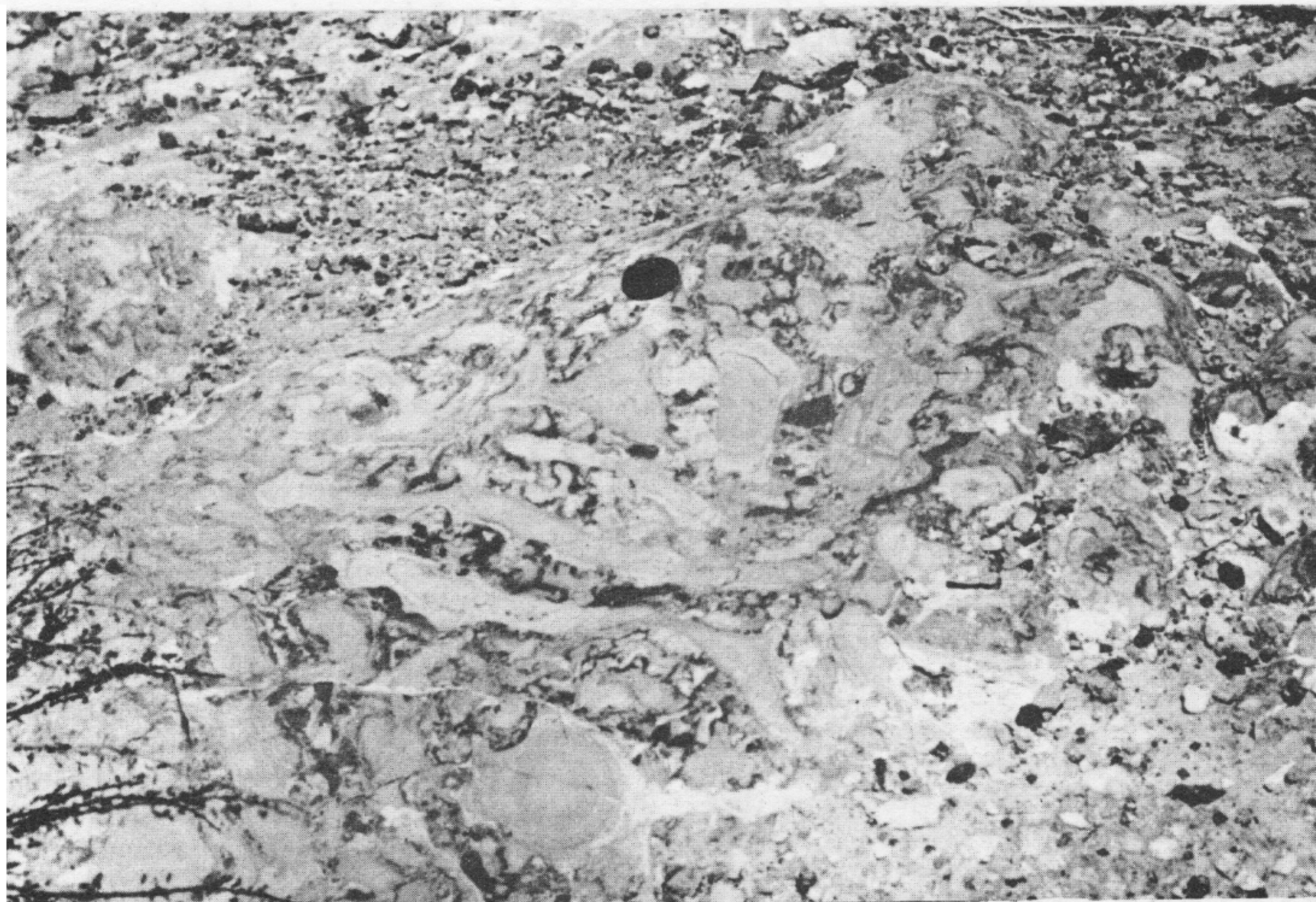


Figura 1.- Bioherma con elementos estromatolíticos de los tipos *Conophyton* y *Platella*. Localidad: Cerrito de la Milla, Caborca. Precámbrico tardío. El objeto de escala tiene 5 cm de diámetro. Muestra CF-79-1.

Entre los elementos principales se distinguen tres tipos sólo gradualmente separados: (1) columnas verticales del tipo *Conophyton*, cuyo contorno en corte transversal es aproximadamente isodiamétrico y que pueden mostrar protuberancias laterales (Figura 2: U, R, S); (2) planchas que en corte transversal son elongadas (Figura 2: D, E, F, P, Q, etc.); y (3) elementos que en corte transversal muestran contorno en forma de U, Y o variantes de éstos, y que aquí se llaman elementos de contorno de herradura (Figura 2: I, M, N, O). Un análisis de la orientación de los planos de simetría de la laminación de los elementos individuales lleva a la conclusión que todos ellos se originaron a partir de algunos centros de crecimiento, mismos que coinciden con los elementos del tipo *Conophyton*. Además, se aprecia que los tres tipos de elementos principales no están distribuidos al azar, a lo largo de la superficie de la muestra, sino que los

elementos semejantes se agrupan, excepto los del tipo *Conophyton* y en los grupos que forman, tienen una orientación similar. Esto es muy llamativo en los elementos elongados, que tienen posición subparalela.

Lo anterior sugiere que la arquitectura del conjunto de los elementos se desarrolló bajo el control de factores bióticos (centros de crecimiento) y ambientales (agrupamiento de elementos en forma de herradura y elongados con orientación subparalela de estos últimos). En este artículo se analizará a continuación solamente la intervención de los factores ambientales.

FACTORES AMBIENTALES MODELADORES

En ocasiones, el registro fósil no puede ser interpretado completa y correctamente por sí sólo y es necesario re-

currir a objetos actuales comparables. Los estromatolitos fósiles muestran esta situación, pero debido a que sus representantes actuales no son abundantes, la extrapolación de las interpretaciones hechas con éstos tiene sus límites. En la búsqueda de un modelo para explicar la arquitectura de los estromatolitos fósiles, conviene utilizar también a otros organismos cuyo patrón de desarrollo edificador sea semejante al de ellos. Tales organismos serían los constructores de arrecifes, sobre todo algas rojas y verdes y los corales. Johnson (1961), al hacer generalizaciones sobre la distribución ecológica de las algas, mencionó como factores limitantes de importancia para ellas los siguientes: luz, profundidad, carácter del sustrato, salinidad, temperatura, circulación y turbiedad del agua. Además, planteó si la resultante de la combinación de estos factores no sería la que en realidad regulase los hábitos de las algas. Barham y Davis (1969), comentando sobre el efecto del agua en los arrecifes coralinos del Golfo de California, mencionaron como posibles

causas de la ramificación a la temperatura, densidad luminosa, turbiedad, así como el movimiento del agua y su química. Ellos concluyeron que el oleaje y las corrientes parecían ser los factores modeladores dominantes. Rees (1972), en un estudio semejante, llegó a conclusiones muy parecidas y mencionó a Theodor (1965, in Rees, 1972) quien, en la Martinica, había observado que las algas verdes *Avrainvillea* y *Halimeda* se orientan conforme a la alineación del oleaje. Roberts (1974) en un trabajo sobre corales concluyó que su forma y orientación están controladas por la dirección del oleaje y añadió que para esto interviene la morfología del arrecife. Los parámetros que influyen en el desarrollo de los arrecifes coralinos son comparables a los que se postulan para las características macroscópicas de los estromatolitos y puede asumirse que éstos mismos definen un gran ecosistema compuesto por un elevado número de nichos ecológicos, donde bien pudiera hablarse del reemplazo ecológico de los estromatolitos precámbricos por los corales y otros organismos edificadores de los arrecifes modernos.



Figura 2.- Denominación con números y letras de los elementos estromatolíticos y de los canales entre ellos del bioherma de la Figura 1. Escala aprox. x 0.1.

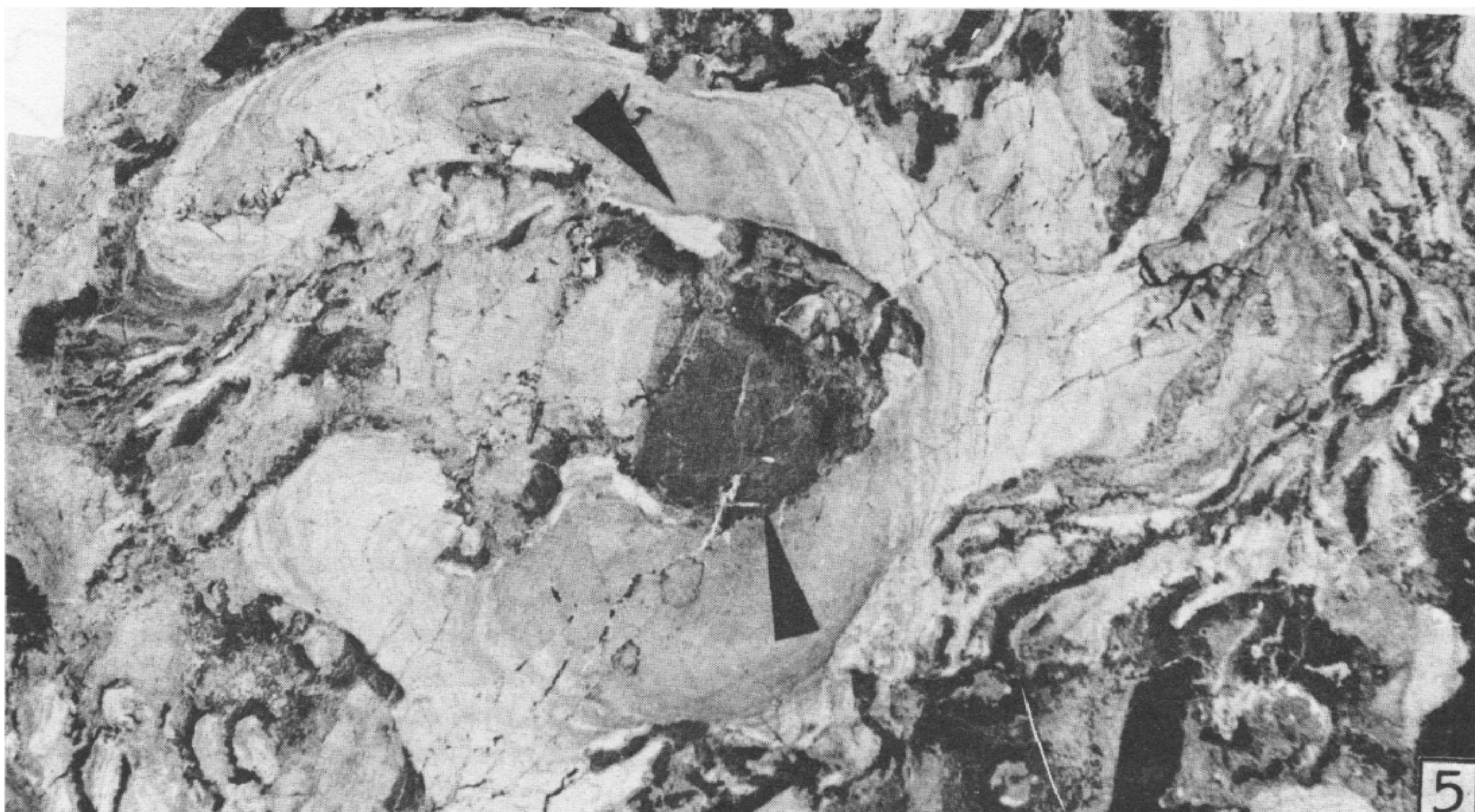
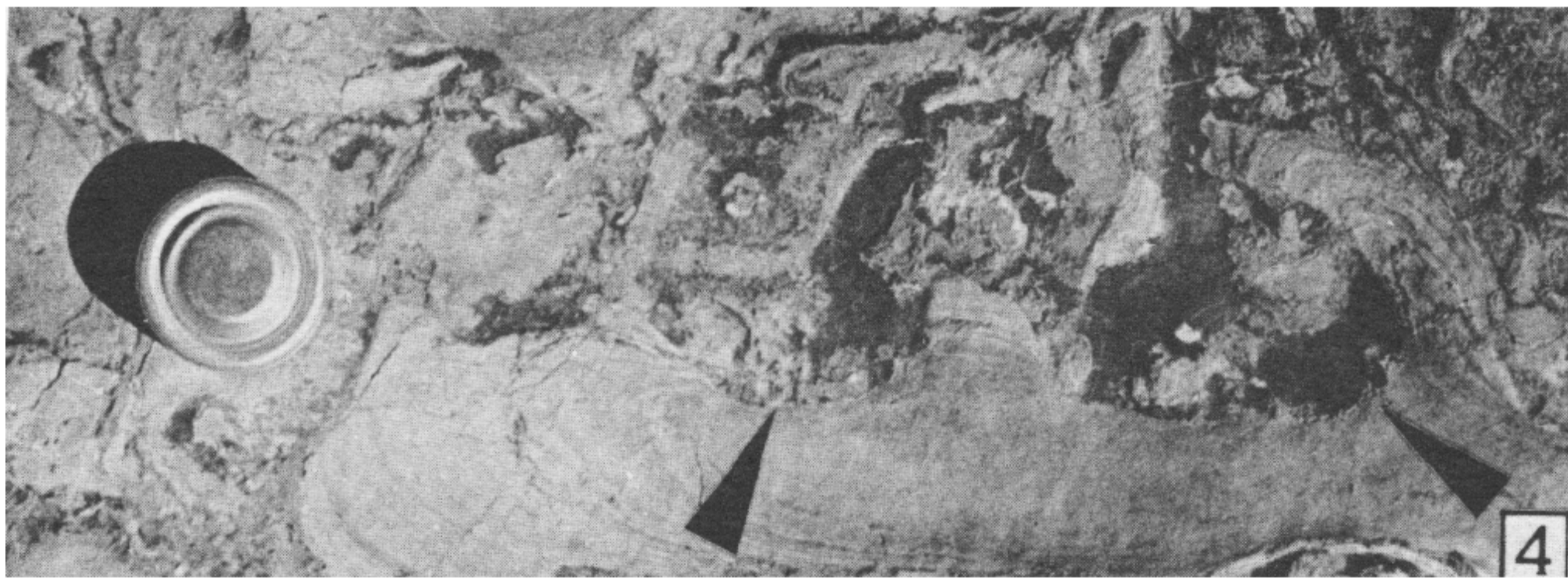
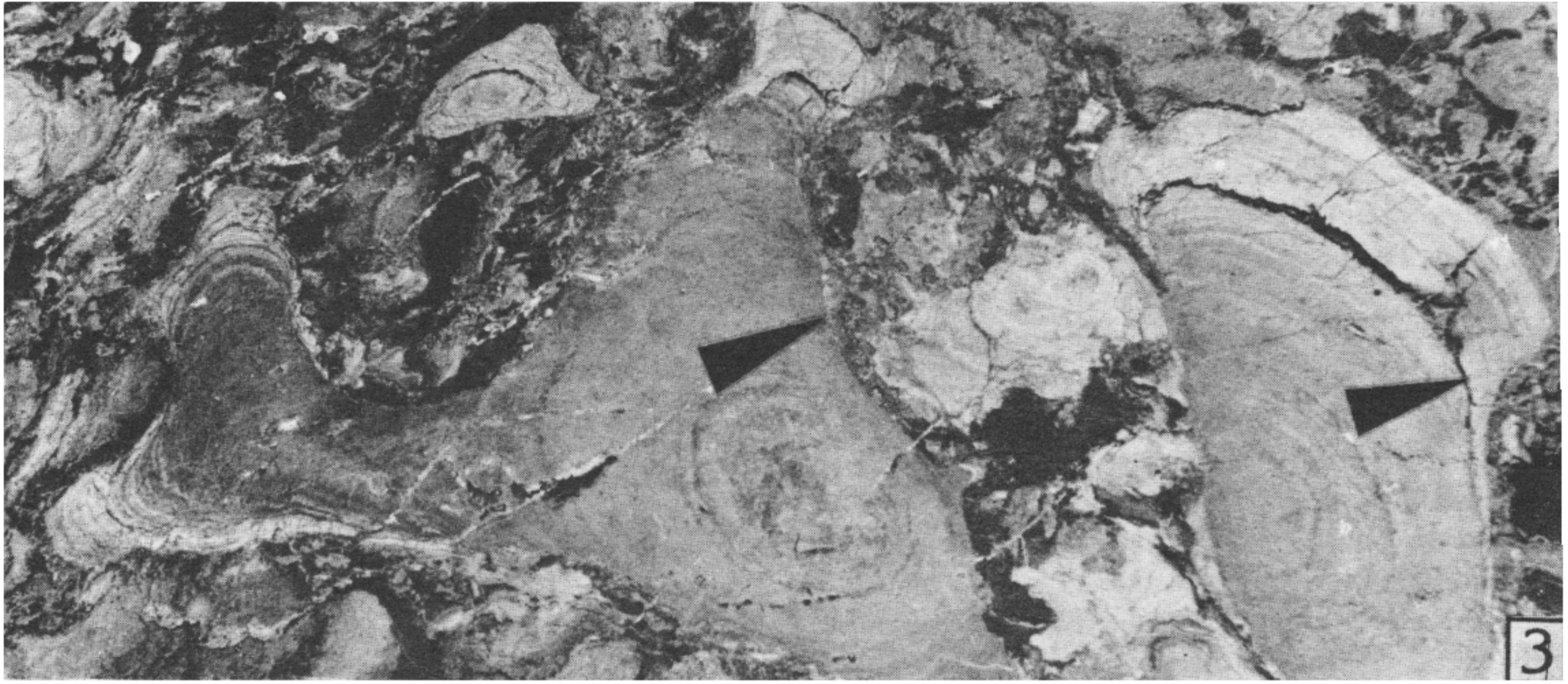
Anticipando una observación que se utilizará en el siguiente capítulo, hay que mencionar que los estromatolitos de la muestra antes descrita, localmente tienen superficies afectadas por erosión (Figuras 3, 4 y 5). A veces, tales superficies erosionadas, en una fase de crecimiento posterior, fueron cubiertas nuevamente por tapete algal y láminas de carbonato (Figura 3).

Este hecho permite concluir que en los interespacios de los elementos principales se desplazaron corrientes lo suficientemente fuertes y persistentes para obstaculizar el crecimiento de los elementos o destruir porciones de ellos, jun-

to a lugares de mayor turbulencia. Consecuentemente, los factores ambientales químicos y de temperatura deben haber tenido poca importancia para la diferenciación de los tipos de elementos principales observados en la muestra. Esta afirmación negativa, sin embargo, aún no implica que esta diferenciación precisamente se deba a las corrientes.

LAS CORRIENTES Y EL OLAJE

Las consideraciones del capítulo anterior hacen probable que los estromatolitos muestren una respuesta nota-



Figuras 3, 4 y 5.- Tres detalles de los elementos estromatolíticos de la muestra CF-79-1, descrita en el texto. Los triángulos negros marcan superficies de elementos, erosionadas antes del relleno de los canales. Explicación más amplia en el texto. (Figuras 3 y 4 aprox. x 0.5. Figura 5 aprox. x 0.6).

ble a corrientes y oleaje. Esto es perfectamente evidente en el caso de aquellos estromatolitos modernos de la Bahía de Tiburones, que se desarrollan a nivel intermarea, en las playas de las bahías, y que están elongados en el sentido de la traslación de las olas (Hoffman, 1976, figura 6, b, c, d). Asimismo, la elongación horizontal de los estromatolitos fósiles del grupo *Platella*, desde que éstos se describieron, fue interpretada como respuesta a paleocorrientes (Komar, 1966; Serebryakov, 1976).

OBSERVACIONES

De ser cierto que el bioherma descrito de la muestra CF-79-1 en vida permitía el paso de corrientes con traslación horizontal, en corte horizontal éste debiera presentar un sistema de canales de capacidad horizontalmente más o menos constante, por lo menos en alguna dirección. Esto implica que los canales y los elementos que los delimitan deben tener una orientación preferencial, y que 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 partir de la recta, se trazaron líneas perpendiculares a 2 cm de distancia y se midieron todos los ángulos entre ellas y las líneas medias de los canales y elementos. Los resultados se graficaron en histogramas (Figuras 6 y 7), donde se observa una distribución a *grosso modo* normal. Los canales y elementos muestran una orientación preferencial. La orientación perpendicular a ésta no figura en lo que a los canales se refiere, y es muy escasa en los elementos.

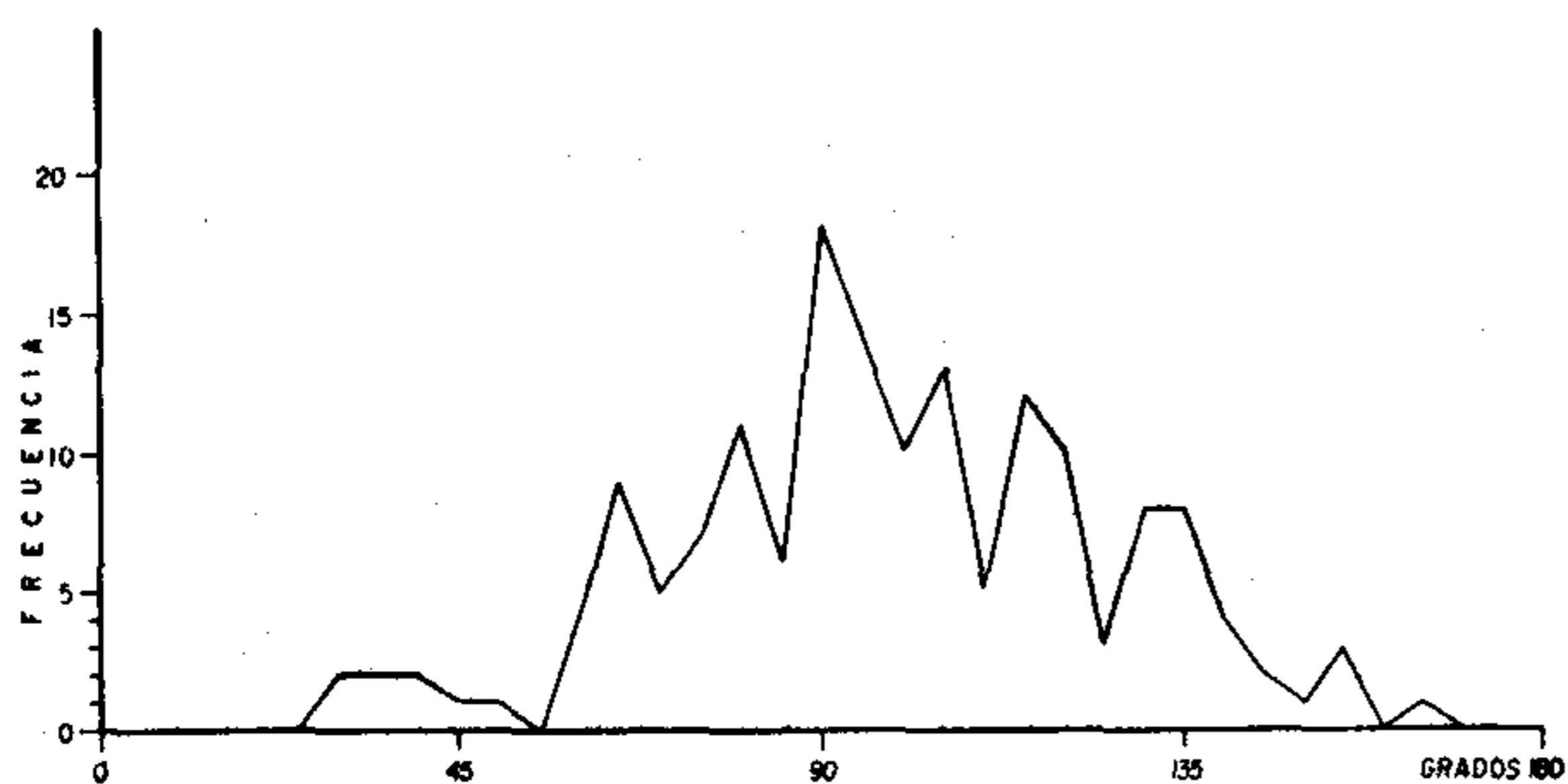


Figura 6.- Orientación de los canales entre los estromatolitos con respecto a un plano vertical arbitrariamente seleccionado. Explicación detallada en el texto. Muestra CF-79-1.

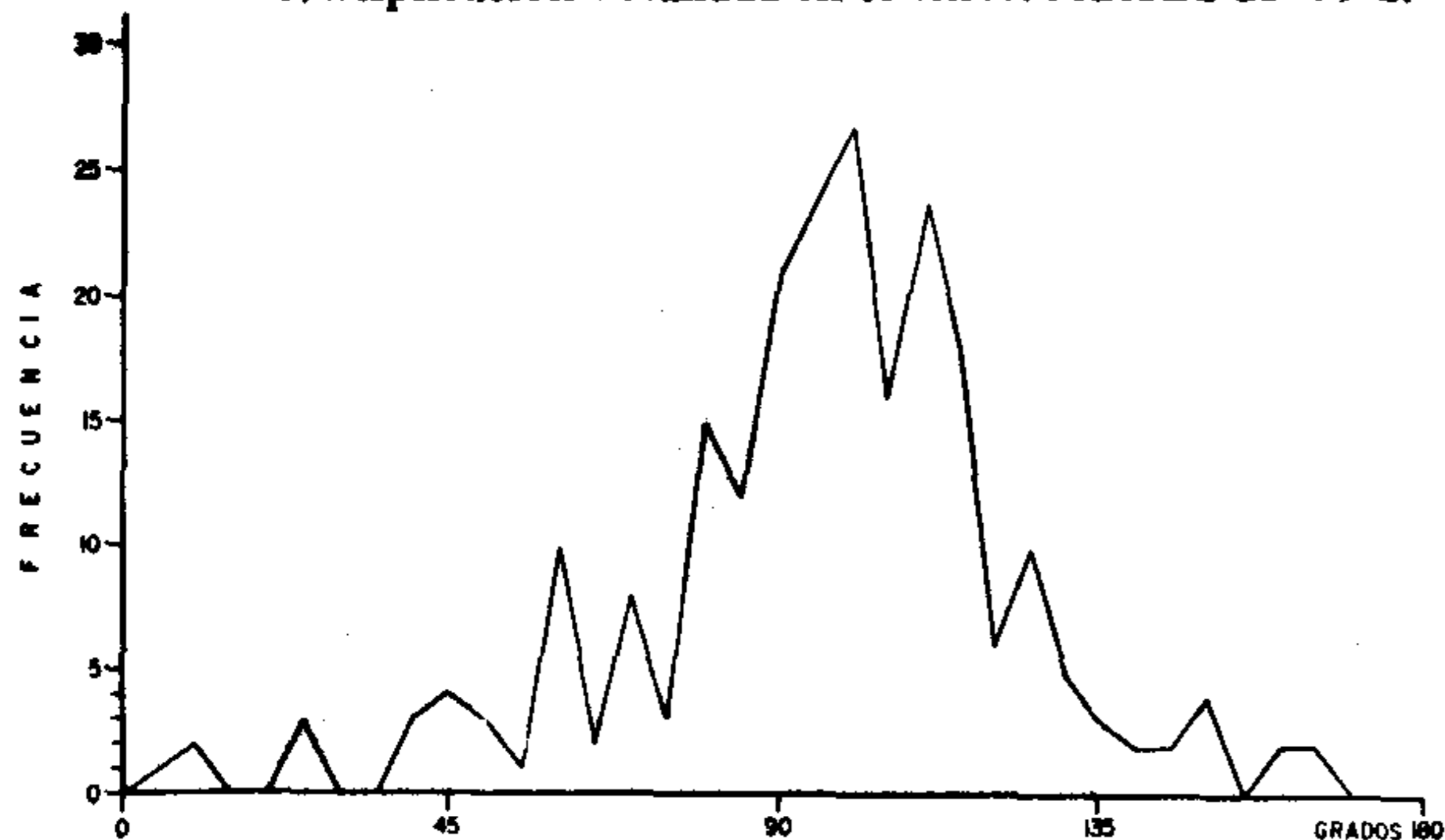


Figura 7.- Orientación de los elementos con respecto a un plano vertical arbitrariamente seleccionado. Explicación detallada en el texto. Muestra CF-79-1.

Para medir las anchuras de los canales y elementos, se utilizaron las líneas medias de éstos, y las medidas se tomaron perpendicularmente a ellas, a distancias de 0.4 cm (no se hicieron mediciones en aquellos lugares 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 8 y 9), donde se observa que las anchuras también tienen distribución casi normal. La desviación de la normal en los valores bajos se debe a que las anchuras obviamente deben ser mayores a 0.

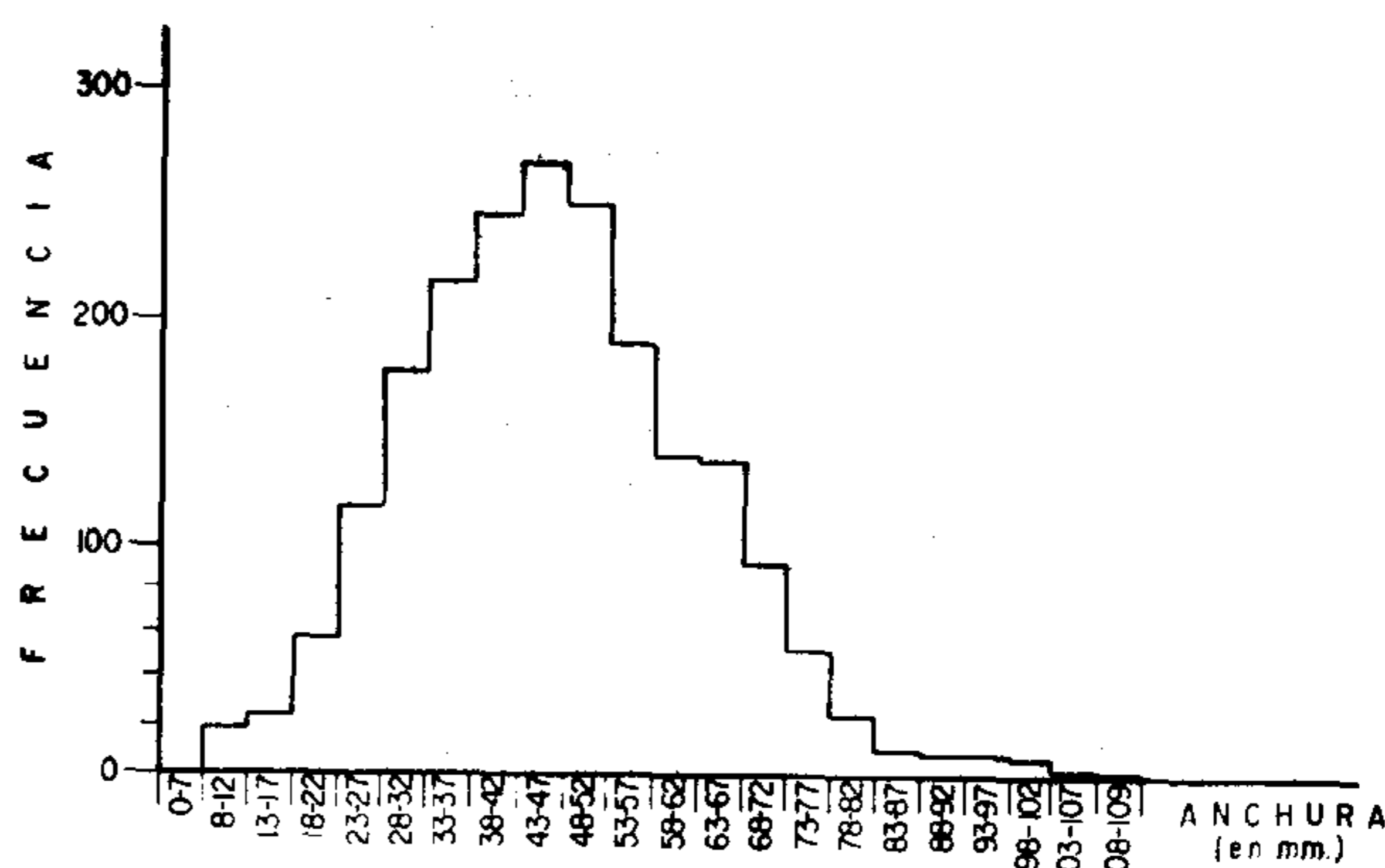


Figura 8.- Anchura de los canales entre los estromatolitos con respecto a su línea media. Explicación detallada en el texto. Muestra CF-79-1.

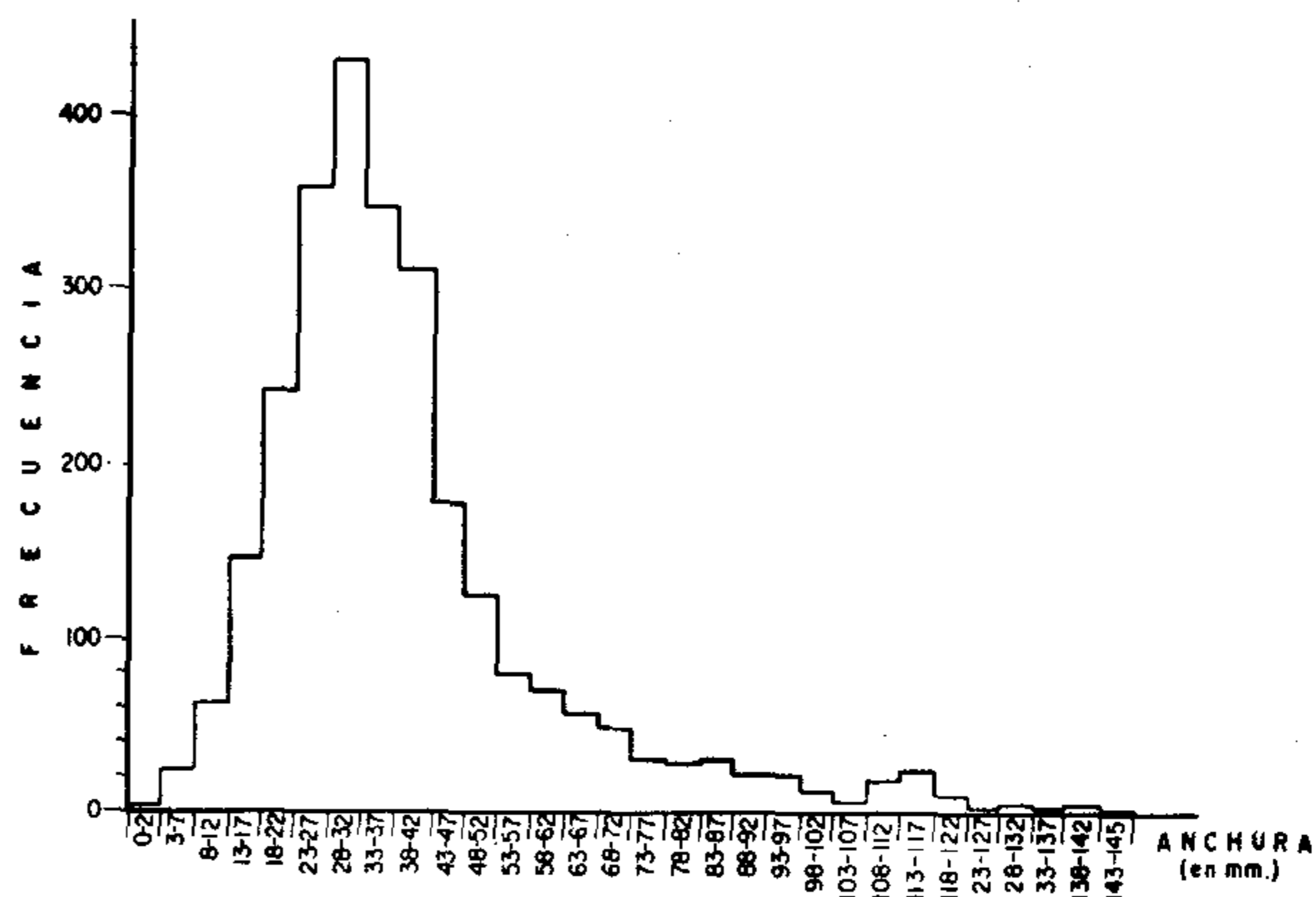


Figura 9.- Anchura de los elementos con respecto a su línea media. Explicación detallada en el texto. Muestra CF-79-1.

INTERPRETACION Y CONCLUSIONES

Las observaciones anteriores corroboran que en vida el bioherma permitía el paso de corrientes. El hecho de que realmente se desplazaba agua a través de él se comprueba por la presencia de superficies erosionadas en algunos lugares de los elementos, lo cual ya se mencionó anteriormente.

La semejanza de los valores promedio de la anchura de los canales y de los elementos, así como la orientación subparalela de los elementos elongados comprueban que los elementos, al menos en parte, están modelados por las paleocorrientes.

En el intento de contestar cuáles corrientes intervinieron en la formación de la arquitectura del bioherma descrito, es necesario revisar brevemente los tipos de corrientes que se dan en cuerpos de agua con arrecifes. Por un lado, hay que pensar en las corrientes perpendiculares a la línea de costa que se producen en la zona de rompimiento de las olas oceánicas y que no son unidireccionales. Cuando las olas no llegan perpendicularmente a la costa, sino que chocan con una dirección oblicua, resultan corrientes estacionarias o corrientes paralelas a la línea de costa. Por otra parte, hay que pensar en corrientes producidas por las mareas, especialmente al retirarse el agua mar adentro, cuando éstas bajan.

Los estromatolitos elongados modernos de la Bahía de Tiburones son un ejemplo de respuesta al oleaje marino y las corrientes perpendiculares a la costa, producidas por él. Estos estromatolitos, por lo general, tienen dimensiones muy grandes, anchuras de alrededor de 50 a 100 cm, cuando están plenamente expuestos al oleaje. En lugares más protegidos, las anchuras pueden ser mucho menores, de alrededor de 15 cm (Hoffman, 1976, figura 6 d). En este caso, sin embargo, ya no se presenta una elongación bien definida.

Los estromatolitos del bioherma descrito en parte están marcadamente elongados, y algunos muestran huellas de erosión. No obstante, tienen dimensiones mucho menores que los elongados de la Bahía de Tiburones. Por ello, es poco probable que estén moldeados por oleaje y las corrientes asociadas a él. La alternativa más plausible es que su arquitectura responda a paleocorrientes de marea. Estas corrientes pueden tener mucha energía de erosión, como lo comprueban los sistemas de canales de drenaje en las costas del Mar del Norte. Asimismo, en un ambiente con arrecifes, pueden tener gran fuerza modeladora.

Por tanto, se propone que el bioherma de la muestra CF-79-1 se desarrolló a nivel de intermarea y cerca de un canal de drenaje de marea.

Resulta sorprendente que en el bioherma coexistan en estas condiciones y al mismo tiempo elementos columnares del tipo *Conophyton* y elementos elongados del tipo *Platella*. Lo mismo se refiere a cualquier variante de *Jacutophyton*. No se conocen las condiciones específicas que inducen la ramificación de las columnas de *Conophyton* para originar a *Jacutophyton*. No obstante, se puede afirmar que la arquitectura y estructura de *Conophyton* son marcadamente estables y resisten particularmente el impacto de agentes mecánicos. Parecen estar condicionadas predominantemente por factores bióticos, en correspondencia con la iluminación. Las ramas muestran una gran variabilidad en condiciones poco diferentes. Recuérdese la presencia simultánea de ramas con contorno elongado y en forma de herradura, en un solo corte horizontal. Evidentemente, la plasticidad arquitectónica de las ramas es mucho mayor que la de las columnas de *Conophyton*. En otras palabras, responden mucho más sensiblemente a los agentes mecánicos, como son las corrientes.

El análisis paleoecológico del bioherma de la muestra CF-79-1 se enfocó, en este estudio, sobre todo en el aspecto de las corrientes. Desde luego, con ello no se postula que la iluminación no haya tenido efecto sobre la arquitectura y la estructura. Especialmente en el crecimiento subvertical de

los elementos principales, a todo parecer se manifiesta la reacción fototáctica positiva de los microorganismos edificadores.

AGRADECIMIENTOS

En un principio, esta investigación se llevó a cabo con el apoyo económico de la Facultad de Ciencias y del Consejo de Recursos Minerales. Se agradece a estas instituciones, y en particular al Ing. Guillermo P. Salas, este incentivo. En la elaboración de las ilustraciones colaboraron el Sr. Armando Altamira y el Sr. Héctor Hernández. Mucho se les agradece su constante disposición a ayudar en el momento en que sea necesario.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Anderson, T. H., Eells, J. H., y Silver, L. T., 1978, Rocas precámbricas y paleozoicas en la región de Caborca, Sonora, México: Hermosillo, Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Primer Simp. Geología y Potencial Min. en el Estado de Sonora, Libreto Guía, p. 5-34.
- Barham, E., y Davis, E., 1969, *Gorgonians and watermotion studies in Gulf of California: Underwater Naturalist*, v. 5, p. 24-28.
- Hoffman, P., 1976, *Stromatolite morphogenesis in Shark Bay, Western Australia: in: Walter, M. R., ed., Stromatolites*. Amsterdam, Oxford, New York, Elsevier, p. 261-271.
- Johnson, J. H., 1961, *Limestone-building algae and algal limestones: Golden, Colo., Colorado School of Mines*, 297 p.
- Komar, Vi. A., 1966, *Upper Precambrian stromatolites in the north of Siberian Platform and their stratigraphic significance: Moscú, Acad. Sci. USSR, Geol. Inst. Transactions*, v. 154, 122 p.
- Krylov, I. N., 1975, *Riphean and Phanerozoic stromatolites in the USSR: Moscú, Acad. Sci. USSR, Geol. Inst. Transactions*, v. 274, 243 p.
- Logan, B. W., Hoffman, P., y Gebelein, C. D., 1974, *Algal mats, cryptalgal fabrics and structures, Hamelin Pool, Western Australia: Am. Assoc. Petroleum Geologists, Mem. 13*, p. 38-84.
- Longoria, J. F., y Pérez, V. A., 1979, *Bosquejo geológico de los Cerros Chino y Rajón, Cuadrángulo Pitiquito-La Primavera (NW de Sonora): Hermosillo, Univ. Sonora, Bol. Dept. Geología*, v. 1, p. 119-144.
- Monty, Claude, 1973, *Precambrian background and Phanerozoic history of stromatolite communities; an overview: Ann. Soc. Géol. Belge*, v. 96, p. 585-624.
- 1977, *Evolving concepts on the nature and ecological significance of stromatolites: in: Flügel, E., ed., Fossil Algae*. Berlin, Heidelberg, New York, Springer, p. 15-35.
- Rees, T. I., 1972, *The effect of current on growth form in an octacoral: Jour. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, v. 19, p. 115-123.
- Roberts, H. H., 1974, *Variability of reef with regard to changes in wave power around an island: Internal. Coral Reef Symp. 2, Proc. Great Barrier Reef Committee*, v. 2, p. 497-512.

Serebryakov, S. N., 1976, Biotic and abiotic factors controlling the morphology of Riphean stromatolites: *in*: Walter, M. R., ed., Stromatolites. Amsterdam, Oxford, New York, Elsevier, p. 321-336.

Weber, Reinhard, Cevallos-Ferriz, Sergio, López-Cortés,

Alejandro, Olea-Franco, Adolfo, y Singer-Sochet, Silvia, 1979, Los estromatolitos del Precámbrico tardío de los alrededores de Caborca, Estado de Sonora, I. Reconstrucción de *Jacutophyton* Shapovalova e interpretación paleoecológica preliminar: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista, v. 3, p. 9-23.