



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Microfósiles permineralizados
asociados a estromatolitos Cretácicos
de Sonora**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE BIÓLOGO
P R E S E N T A :

HUGO BERARDI CAMPESI



Dr. Sergio R. S. Cevallos Ferriz



284009



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

MAT. MARGARITA ELVIRA CHÁVEZ CANO
Jefa de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis: **Microfósiles**
permineralizados asociados a estromatolitos Cretácicos de Sonora

realizado por **Hugo Bruno Beraldi Campesi**

con número de cuenta **9559767-6**, pasante de la carrera de **Biología**

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis
Propietario

Dr. Sergio Rafael Silvestre Cevallos Ferriz 

Propietario

M. en C. María Guadalupe Barajas Guzmán 

Propietario

Ing. Enrique Alejandro González Torres 

Suplente

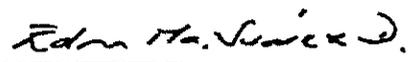
Dr. Eberto Novelo Maldonado 

Suplente

Dr. Joaquín Cifuentes Blanco 

FACULTAD DE CIENCIAS
U.N.A.M

Consejo Departamental de BIOLOGIA



DRA. EDNA MARIA SUAREZ DIAZ



DEPARTAMENTO
DE BIOLOGIA

MICROFÓSILES PERMINERALIZADOS ASOCIADOS A ESTROMATOLITOS CRETÁDICOS DE SONORA

ÍNDICE

Resumen.....	1
Introducción.....	2
Material y métodos.....	6
Resultados.....	8
Descripción de los tipos fósiles.....	9
Análisis taxonómico.....	36
Discusión.....	45
Importancia de los microfósiles.....	45
Diversidad y representatividad.....	46
Ambiente y ecología.....	49
Reconstrucción del ambiente.....	52
Literatura citada.....	55
Lámina I.....	60
Lámina II.....	62
Lámina III.....	64
Lámina IV.....	66
Lámina V.....	68
Lámina VI.....	70
Lámina VII.....	72
Lámina VIII.....	74
Lámina IX.....	76
Lámina X.....	78
Lámina XI.....	80
Lámina XII.....	82
Lámina XIII.....	84
Lámina XIV.....	86

RESUMEN

Se reportan 94 tipos de microfósiles permineralizados en pedernal asociado a estromatolitos del Cretácico Superior (Turoniano-Maastrichtiano, 90-70 m.a.) ubicados en la localidad de Huépac, Sonora, contenidos en parte de la Formación Tarahumara. Aunque los más abundantes son microalgas (cianofitas y clorofitas), también hay granos de polen, esporas, hifas, estructuras reproductoras de hongos y estructuras indefinidas de origen orgánico. Además son frecuentes estructuras minerales que semejan a otras orgánicas. Con la técnica de lámina delgada algunos microfósiles pueden identificarse comparando la forma, talla y arreglo con algas actuales (especies de *Tetraedron*, *Chlorella*, *Spirulina*, *Microcystis*, etc.). Los microfósiles encontrados pueden catalogarse como: algales filamentosos, algales no filamentosos, no algales, acritarcos y concreciones o agregados minerales. Conocer la diversidad de microorganismos fósiles que existen en la localidad permite distinguir entre los que participaron en la construcción del estromatolito y los que eran parte del entorno, dado el hábito bentónico o planctónico que tuvieran y contribuye con la descripción de un paleoambiente dulceacuícola, salobre o marino, por inferencia de la naturaleza de las especies.

podido ir entendiendo e interpretando con más precisión a las facies que constituyen al sitio y a las circunstancias en que se desarrollaron.

La importancia de haber encontrado estromatolitos en Sonora, es que éstos pueden proporcionar *información sobre la ecología del paleoambiente*, dado que sólo crecen asociados al agua y bajo condiciones particulares de salinidad, pH, profundidad y luminosidad (Brock, 1973; Brock, 1976), en contraste con macroorganismos que pueden encontrarse en ambientes menos restringidos. Partiendo con principios como éste, la información que combina aspectos geológicos, evolutivos, paleogeográficos y biológicos en general, aporta una nueva visión sobre un área antes desconocida.

Para entender el paleoambiente en el que se formó un estromatolito se hace referencia a la geología del sitio (estudios geológicos pueden interpretar a un sitio como de origen marino o continental, comparando secuencias estratigráficas con ambientes actuales), la litología (las calizas por ejemplo se atribuyen *generalmente a ambientes marinos*, los conglomerados a ambientes continentales, los piroclastos a zonas de volcanismo, etc.) y el tipo de estromatolito (existe una compleja taxonomía que los agrupa por el tipo de laminación, por morfometría y por composición mineral), sin embargo también pueden hacerse inferencias de las condiciones ambientales, y más aún de la ecología, comparando a los microorganismos que se hallan asociados al pedernal con ficofloras actuales, las cuales caracterizan su diversidad y composición dependiendo de los factores del medio en que se desarrolla cada especie (salinidad, luminosidad, nutrientes, etc.) (Golubic, 1976a).

Tras una identificación que logre relacionar a organismos actuales con microfósiles, se puede inferir la *naturaleza de los mismos*, reconociendo el hábito bentónico o planctónico que tuvieron, pudiendo entonces catalogarlos como constructores del estromatolito o como simples habitantes del cuerpo de agua, lo cual abre a su vez un abanico de posibilidades para la evaluación del papel de los organismos dentro del ecosistema.

Actualmente los estromatolitos son formados por un mosaico muy diverso de microorganismos, siendo dominantes las cianobacterias (Riding, 1977), tanto cocoides como filamentosas, aunque también son comunes las clorofitas y muchas bacterias que están involucradas en el mantenimiento del microambiente (Golubic, 1976b; Schopf, 1983). A este mosaico se agregan muchos otros organismos (hongos, artrópodos, diatomeas, protozoarios, otras algas, etc.) que buscan refugio, sustrato o alimento en las cavidades y superficies del estromatolito, así como estructuras alóctonas (polen, exubias, tejidos vegetales, esporas, etc.) que, junto con los antes mencionados, quedan atrapadas en la laminación.

Estas estructuras acompañantes aparecen en el registro fósil aún anterior al Cretácico (Caudwell *et al.*, 1997; Monty *et al.*, 1981), y son importantes como complemento al momento de interpretar lo observado, pues proveen información sobre el aporte de sedimentos y por tanto de la proveniencia de los mismos, ayudando así a la interpretación del ambiente. Por ejemplo: si son conspicuas algas fósiles planctónicas, puede significar que eran de aguas someras con corriente moderada, tal que inmediatamente al hundirse cayeran sobre el estromatolito. De haber corriente, las algas serían arrastradas a aguas más profundas, y si se tratara de aguas profundas, no sería constante su depositación y no sería común observarlas en las láminas, a menos que el estromatolito estuviera formando una “cama” de área tan extensa que ocupara gran parte del fondo del cuerpo de agua, lo cual sólo ocurre en aguas de poca profundidad. Otro ejemplo: si son frecuentes restos de insectos, seguramente se trataba de aquellos que rondaban en un cuerpo de agua dulce o poco salobre, ya que no existen insectos nadadores marinos (Norris, 1991), en cambio es común observar insectos y larvas en las oquedades de estromatolitos dulceacuícolas actuales.

Cabe resaltar que del registro fósil de organismos como las cianobacterias, la morfología muchas veces es constante a través del tiempo (Pennisi, 1994), y por eso las comparaciones con material actual llegan a acercarse a la realidad, pero encontrar caracteres distintivos para la identificación de un fósil no es cosa fácil. En el registro fósil de microorganismos, es raro el caso en donde se tengan todos los estadios de un ciclo de vida, cloroplastos y/o pirenoídes bien definidos, o simplemente la diferencia entre procarionte y eucarionte. Aún en un fósil algal muy bien conservado, la mayor aproximación taxonómica podría llegar a género, no a la especie, por falta de caracteres, número de ejemplares y por la variabilidad que los organismos puedan tener dentro de la misma especie. Las especies descritas hasta ahora tendrían que ser sólo morfológicas, no biológicas.

Para la identificación a nivel genérico pueden ser suficientes caracteres morfológicos (por ejemplo con *Pediastrum*, *Hydrodictyon* y *Scenedesmus*), pero para la especie, siempre será necesario contar con organismos actuales para la identificación, por lo menos en el caso de las microalgas.

En muchos casos se encuentran similitudes (morfológicas, merísticas y de arreglo) entre microfósiles y organismos actuales (Schopf y Blacic, 1971), pero no siempre son coincidentes todas las características. Por ejemplo: se puede observar similitud en la forma pero no en la talla o el arreglo. En los fósiles es difícil encontrar todas las características de tal manera que correspondan exactamente con la descripción de géneros actuales. Aún así pueden encontrarse fósiles que por ciertos rasgos peculiares y únicos del ejemplar faciliten la identificación por parecido y por tanto sean suficientes sólo características

morfológicas para reconocer un género. Cuando faltan datos, los caracteres son considerados en conjunto, pues a diferencia de la identificación de material reciente, con los fósiles no se pueden hacer cultivos ni se tienen siempre detalles microscópicos como la ornamentación, los planos de división, partes terminales, caliptras y certeza de la forma real, es decir que algunos rasgos pueden encontrarse modificados por la diagénesis o ausentes por degradación, sustitución, etc. En sentido opuesto, pueden encontrarse microfósiles que tengan coincidencia en la forma y el arreglo con algas actuales pero que no coincidan en tamaño, así que el tamaño sería un carácter secundario a considerar en la identificación. En otras ocasiones el arreglo y/o el tamaño son los que caracterizan al tipo de organismo que se observa (sería ilógico relacionar células de 50 μm y aisladas con cianofitas crococcales, cuando éstas no rebasan las 15 μm y crecen siempre en colonias). No obstante hay caracteres que son frecuentemente fáciles de apreciar, por ejemplo si el arreglo es colonial o cenobial (dependiendo del tamaño de las células), si hay separación entre las células, si hay o no cubierta mucilaginosa, si hay vainas, si las vainas son o no estratificadas, si los individuos están aislados unos de otros, si están en asociación, si tienen o no contenido. Cualquier elemento que sirva para la aproximación a un grupo determinado.

El análisis de los detalles permite separar por tipos a los ejemplares, en donde la morfología es el carácter principal que los distingue. Para la descripción hay que tomar en cuenta el mayor número de caracteres posibles de cada uno de los tipos, asumiendo que existe variabilidad entre ellos o que pueden encontrarse en distintos estadios del ciclo de vida. Todo esto dando el mayor peso a los ejemplares completos y mejor conservados.

Por otro lado, el cuerpo de agua pudo ser muy extenso, con distintos microambientes dentro del mismo, con condiciones altamente cambiantes (estacionales) y muy distintas de un sitio a otro, lo cual trae problemas de identificación, pues una especie puede tener distintas manifestaciones morfológicas y de arreglo dependiendo de las condiciones del medio: variaciones de alcalinidad entre zonas de agua dulce y de agua salada, si son planctónicas, si crecen sobre una superficie o si son criptobiontes (endolíticas) (Branco y Senna, 1996). En el caso inverso, existen especies que no varían morfológicamente aún estando sujetas a condiciones cambiantes, por ejemplo: la cianobacteria *Rivularia atra* crece en rocas costeras que quedan expuestas al agua de mar, al agua de lluvia y a la exposición aérea, con variaciones únicamente fisiológicas (Lee, 1989). En el caso de los fósiles, la diagénesis también puede afectar modificando la forma externa y/o interna de las células, colapsando el contenido citoplasmático, plegando

las paredes o modificando el tamaño real, lo cual ya ha sido comprobado experimentalmente (Francis, *et al.*, 1976).

El objetivo de este trabajo es elaborar un catálogo, lo más completo posible, del tipo de organismos fósiles y estructuras acompañantes que se encuentran asociadas a los estromatolitos de Huépac, mostrando a los ejemplares más representativos y mejor conservados, de quienes pueden proponerse conclusiones interesantes y valiosas que ayuden a entender mejor la zona, a nivel geológico y biológico.

MATERIAL Y METODOS

Las muestras de estromatolitos fueron recolectadas a partir de 1971 en la localidad de Huépac, al noreste de Hermosillo, Sonora, México. El polígono del área se encuentra entre los 29° 57' 12''-29° 57' 40'' lat. y 110° 06' 25''-110° 08' 21'' long., a 12.5 km al NE del poblado de Huépac (Fig. 1).

Se trata de una secuencia volcanosedimentaria de la Provincia Geológica Sonorense (Ortega *et al.*, 1991), que de acuerdo con Ortega *et al.* (1992) es de edad Precámbrica, origen complejo y ambiente geotectónico compuesto, mientras que la localidad tiene una edad Cretácica, es de origen volcánico intercalado con estratos sedimentarios y afloramientos propios de ambientes geotectónicos de arco continental (Ferrusquía, 1997).

En la localidad de Huépac, los estratos calizos estromatolíticos se intercalan con otros de pedernal, lutitas, areniscas, riolitas, limolitas y tobas en varios niveles de la sección tipo del miembro superior de la Formación Tarahumara (Fig. 1), la cual fue fechada radiométricamente por el método U-Pb en 70 m.a. (McDowell *et al.*, 1994). Recientemente están en revisión artículos de otros estudios de fechación de esta formación, hasta ahora con límites mínimos de edad en 70 m.a. y los máximos en 90 m.a. (McDowell, com. pers.).

Hay aproximadamente 11 estratos estromatolíticos repartidos en una columna litológica de 80 m de alto en el miembro superior de la formación. El pedernal donde se encuentran los microfósiles puede aparecer en bandas de gran espesor ubicadas en la superficie de los estromatolitos o intercalado entre la laminación formando pequeños lentes (Fig. 1). Las calizas intemperizadas presentan un color rojizo o grisáceo, mientras que el pedernal en el que hay materia orgánica suele ser casi o totalmente negro. Cabe mencionar que la composición de los carbonatos es variable de un estrato a otro e incluso en el mismo estrato. Esto depende del porcentaje de arcillas, del grado de compactación y del tipo de

las paredes o modificando el tamaño real, lo cual ya ha sido comprobado experimentalmente (Francis, *et al.*, 1976).

El objetivo de este trabajo es elaborar un catálogo, lo más completo posible, del tipo de organismos fósiles y estructuras acompañantes que se encuentran asociadas a los estromatolitos de Huépac, mostrando a los ejemplares más representativos y mejor conservados, de quienes pueden proponerse conclusiones interesantes y valiosas que ayuden a entender mejor la zona, a nivel geológico y biológico.

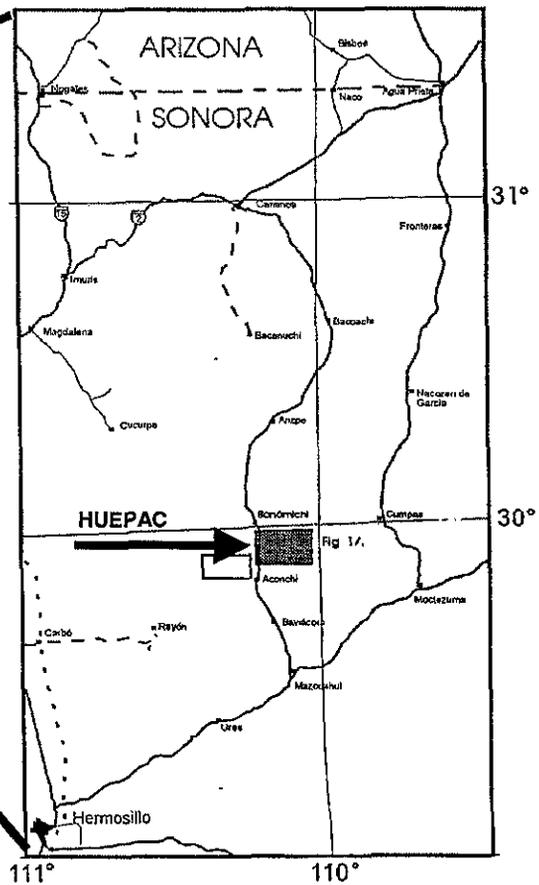
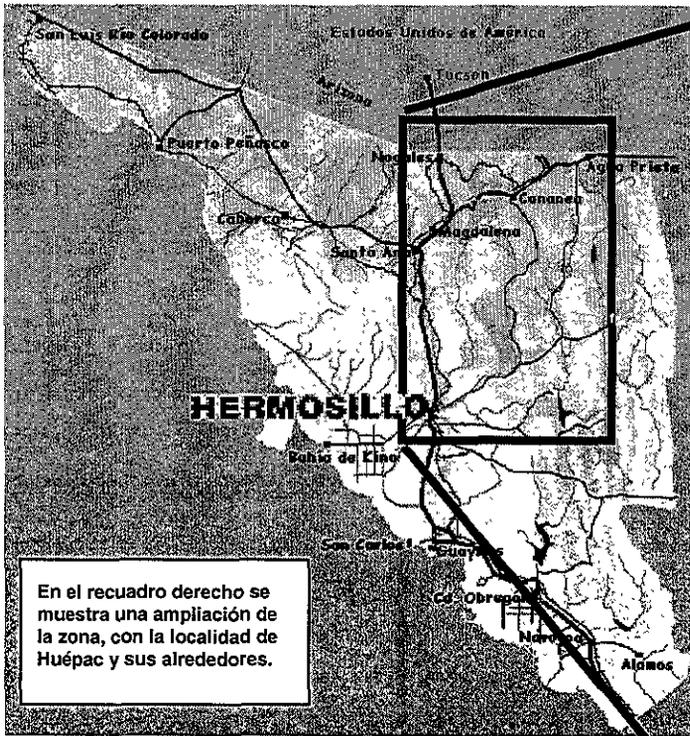
MATERIAL Y METODOS

Las muestras de estromatolitos fueron recolectadas a partir de 1971 en la localidad de Huépac, al noreste de Hermosillo, Sonora, México. El polígono del área se encuentra entre los 29° 57' 12''-29° 57' 40'' lat. y 110° 06' 25''-110° 08' 21'' long., a 12.5 km al NE del poblado de Huépac (Fig. 1).

Se trata de una secuencia volcanosedimentaria de la Provincia Geológica Sonorense (Ortega *et al.*, 1991), que de acuerdo con Ortega *et al.* (1992) es de edad Precámbrica, origen complejo y ambiente geotectónico compuesto, mientras que la localidad tiene una edad Cretácica, es de origen volcánico intercalado con estratos sedimentarios y afloramientos propios de ambientes geotectónicos de arco continental (Ferrusquía, 1997).

En la localidad de Huépac, los estratos calizos estromatolíticos se intercalan con otros de pedernal, lutitas, areniscas, riolitas, limolitas y tobas en varios niveles de la sección tipo del miembro superior de la Formación Tarahumara (Fig. 1), la cual fue fechada radiométricamente por el método U-Pb en 70 m.a. (McDowell *et al.*, 1994). Recientemente están en revisión artículos de otros estudios de fechación de esta formación, hasta ahora con límites mínimos de edad en 70 m.a. y los máximos en 90 m.a. (McDowell, com. pers.).

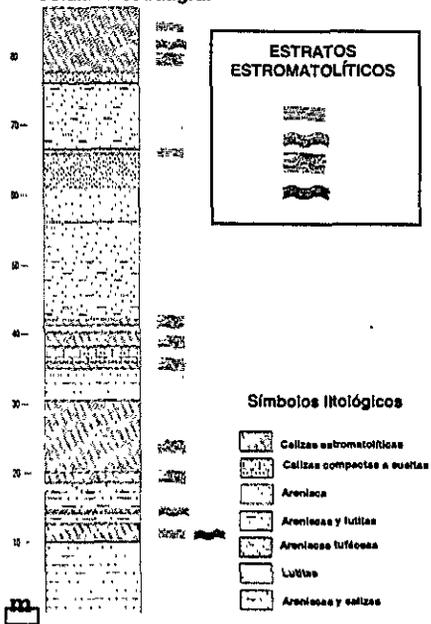
Hay aproximadamente 11 estratos estromatolíticos repartidos en una columna litológica de 80 m de alto en el miembro superior de la formación. El pedernal donde se encuentran los microfósiles puede aparecer en bandas de gran espesor ubicadas en la superficie de los estromatolitos o intercalado entre la laminación formando pequeños lentes (Fig. 1). Las calizas intemperizadas presentan un color rojizo o grisáceo, mientras que el pedernal en el que hay materia orgánica suele ser casi o totalmente negro. Cabe mencionar que la composición de los carbonatos es variable de un estrato a otro e incluso en el mismo estrato. Esto depende del porcentaje de arcillas, del grado de compactación y del tipo de



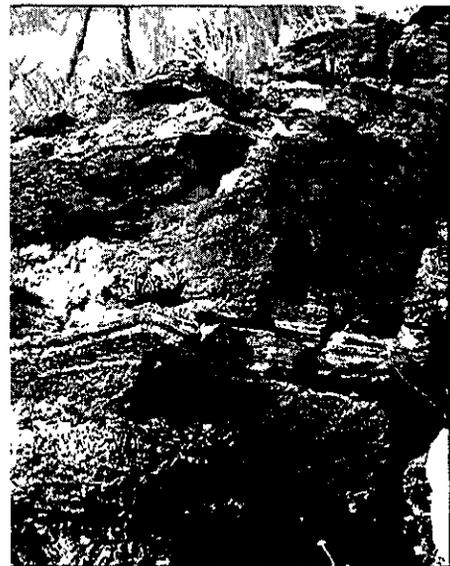
Fragmento de estromatolito de carbonatos grisáceos, sin pedernal. (medida = 10 cm).



Columna estratigráfica



Fragmento de estromatolito de carbonatos rojizos con intercalaciones de pedernal en forma de lentes y bandas.



cristalización, en donde la textura deposicional sea reconocible (University of British Columbia: <http://www.science.ubc.ca/~geol202/sed/carb/classification.html>).

Se hicieron más de 300 láminas delgadas de las calizas y del pedernal, encontrando microfósiles únicamente en el pedernal. Las estructuras en el carbonato que parecieron orgánicas no presentaban caracteres distinguibles y se encontraban en muy mal estado de conservación.

Para la técnica de laminación se corta la roca en forma de monedas que se montan en un portaobjetos con termoplástico y se pulen con abrasivo de silicón hasta que la luz las traspase (espesor recomendado de 40 μm), posteriormente se tapan con un cubreobjetos y bálsamo de Canadá; de esta manera los microfósiles pueden ser observados y fotografiados en un microscopio fotónico (en este caso un Olympus BH-2 con un sistema fotográfico Olympus SZH y película Ilford 50).

Para la identificación de los géneros mencionados en el análisis taxonómico, los ejemplares fueron comparados con la literatura y con la observación directa de colectas propias, cultivos y material fotográfico proporcionados por los laboratorios de Ficología de la Facultad de Ciencias y del Instituto de Biología de la UNAM.

Cabe mencionar que muchas estructuras orgánicas que se encuentran en el pedernal no son descritas en este trabajo, pues se trata de estructuras apenas distinguibles que pierden toda nitidez en una impresión fotográfica o que no tienen representatividad

RESULTADOS

En las láminas delgadas se observa una gran cantidad de restos orgánicos no distinguibles (detritus), una gran variedad de formas orgánicas bien diferenciadas con muy buena conservación y otras tantas estructuras presumiblemente orgánicas pero de forma indefinida (envolturas, vesículas, sacos, restos extraños, etc.). El color, la textura de la roca y la homogeneidad del grano de la matriz de pedernal es variable en las muestras, pues probablemente no todo el pedernal corresponde al mismo tipo de facie, lo cual hablaría de una diferencia temporal y/o espacial entre los microorganismos

De las estructuras orgánicas descritas, no todas pudieron ser identificadas por falta de correlación morfológica o biológica con especies actuales descritas y/u observadas, pues en cualquier caso se requiere la presencia de caracteres que aquí están ausentes (ciclo de vida, tipo de pigmentos, forma de división, etc.). Aún así, los ejemplares que presentan formas peculiares comparables con especies

cristalización, en donde la textura deposicional sea reconocible (University of British Columbia: <http://www.science.ubc.ca/~geol202/sed/carb/classification.html>).

Se hicieron más de 300 láminas delgadas de las calizas y del pedernal, encontrando microfósiles únicamente en el pedernal. Las estructuras en el carbonato que parecieron orgánicas no presentaban caracteres distinguibles y se encontraban en muy mal estado de conservación.

Para la técnica de laminación se corta la roca en forma de monedas que se montan en un portaobjetos con termoplástico y se pulen con abrasivo de silicón hasta que la luz las traspase (espesor recomendado de 40 μm), posteriormente se tapan con un cubreobjetos y bálsamo de Canadá; de esta manera los microfósiles pueden ser observados y fotografiados en un microscopio fotónico (en este caso un Olympus BH-2 con un sistema fotográfico Olympus SZH y película Ilford 50).

Para la identificación de los géneros mencionados en el análisis taxonómico, los ejemplares fueron comparados con la literatura y con la observación directa de colectas propias, cultivos y material fotográfico proporcionados por los laboratorios de Ficología de la Facultad de Ciencias y del Instituto de Biología de la UNAM.

Cabe mencionar que muchas estructuras orgánicas que se encuentran en el pedernal no son descritas en este trabajo, pues se trata de estructuras apenas distinguibles que pierden toda nitidez en una impresión fotográfica o que no tienen representatividad.

RESULTADOS

En las láminas delgadas se observa una gran cantidad de restos orgánicos no distinguibles (detritus), una gran variedad de formas orgánicas bien diferenciadas con muy buena conservación y otras tantas estructuras presumiblemente orgánicas pero de forma indefinida (envolturas, vesículas, sacos, restos extraños, etc.). El color, la textura de la roca y la homogeneidad del grano de la matriz de pedernal es variable en las muestras, pues probablemente no todo el pedernal corresponde al mismo tipo de facie, lo cual hablaría de una diferencia temporal y/o espacial entre los microorganismos.

De las estructuras orgánicas descritas, no todas pudieron ser identificadas por falta de correlación morfológica o biológica con especies actuales descritas y/u observadas, pues en cualquier caso se requiere la presencia de caracteres que aquí están ausentes (ciclo de vida, tipo de pigmentos, forma de división, etc.). Aún así, los ejemplares que presentan formas peculiares comparables con especies

actuales, pudieron ser separados básicamente en tres Divisiones: Cyanoprokaryota, Chlorophyta y Heterokontophyta (Bacillariophyceae).

También se encontraron estructuras orgánicas no algales (conidios, granos de polen, hifas, restos de artrópodo, bivalvos, restos vegetales, etc.).

Las láminas fotográficas fueron ordenadas tratando de agrupar a los microfósiles según la forma y el tipo (algales, no algales, formas indefinidas). Se muestran también formas inorgánicas de forma sugerentemente orgánica (crecimiento de cristales, concreciones, etc.) y restos vegetales.

Algunas partes estructurales descritas en los diferentes tipos no son observables a detalle en las láminas fotográficas, así que para mostrar a cada uno de los organismos tridimensionalmente, habría que hacer secuencias interminables de fotografías que mostrasen cada uno de los rasgos en los distintos planos en que se encuentran (los cuales se aprecian fácilmente en el laboratorio con tan solo mover el ajuste micrométrico del microscopio). Para las fotografías aquí presentadas se buscó el ángulo que muestra mejor las características más importantes en solo dos dimensiones y sólo en algunos casos se incorporaron secuencias que muestran la profundidad de campo.

Por su morfología, los microfósiles encontrados pueden agruparse básicamente en:

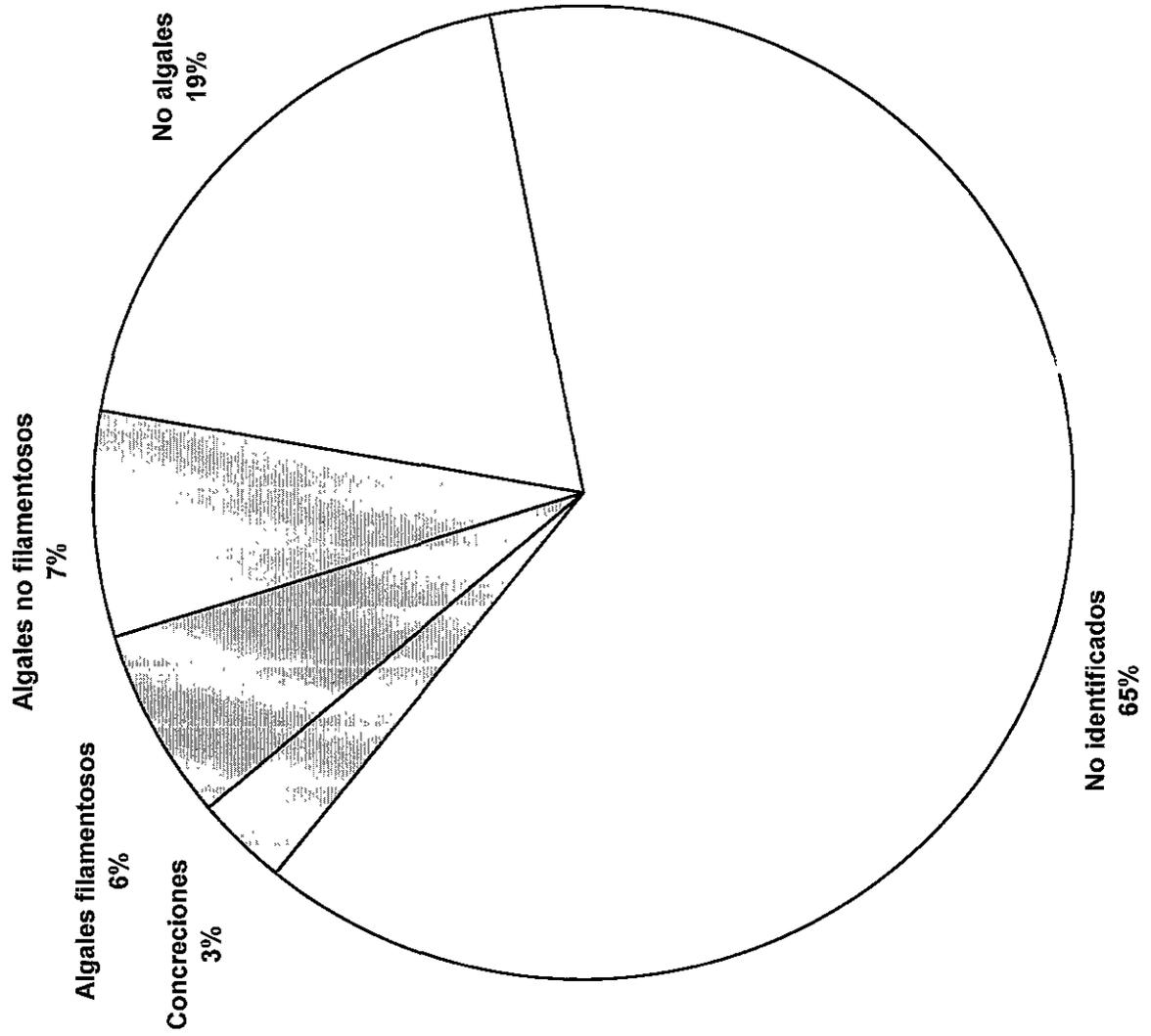
- Algales filamentosos: Tipos 3, 5, 6, 7, 9 y 22 (6.38%)
- Algales no filamentosos: Tipos 1, 2, 4, 10, 13, 38 y 61 (7.45%)
- No algales: Tipos 11, 16, 50, 62- 65, 69, 73, 77-78, 80- 83, 86, 89 y 90 (19.15%)
- Acritarcos: Tipos 8, 12, 14-15, 17-21, 23-37, 39-49, 51-60, 66- 68, 70- 72, 74- 76, 79, 84, 85, 87, 91 y 92 (63.83%)
- Concreciones y agregados minerales: Tipos 88, 93 y 94 (3.19%)

(ver gráfica 1)

DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS FÓSILES

A continuación se presenta la descripción de los tipos encontrados. Varios son presentados con un nombre genérico con el objeto de poder ubicarlos por morfotipos; la proposición de tales nombres se discute más adelante. Los ejemplares sin género propuesto son descritos desde el punto de vista puramente morfológico, merístico y de arreglo.

GRÁFICA 1



TIPO 1. (*Tetraedron?*). Lámina I, fotos 1-14. Lámina II, fotos 1-3.

Células tetraédricas con 4 brazos ubicados generalmente en dos planos. Sólo dos ejemplares aparecen con los brazos en el mismo plano (Lám. I, 9, 11). Los extremos angulares son redondeados y sólo en tres ejemplares se observan lo que pudieran ser pequeñas papilas en el extremo de los brazos (Lám. I, 7, 9 y 11). El ancho máximo de cada uno de los brazos suele medir la mitad o un poco más de la mitad que la totalidad del diámetro de la célula. En algunos casos se observan contenidos compactos o semidispersos de no más de 3 μm de diámetro, ubicados siempre en posición central con respecto a la punta de los brazos; la distancia que guardan con respecto a la pared celular es imprecisa. La textura de la pared es rugosa, en ocasiones granulada a manera de retículos muy finos, pero en ningún caso hay ornamentación distintiva. En algunos ejemplares puede haber poros o discontinuidades en la pared próxima a la parte terminal de los brazos (Lám. I, 1). Los diámetros celulares varían de 25 a 35 μm , mayormente de 30 μm . Se encuentran siempre solitarias (sólo en un caso aparecen 2 juntas. Lám. I, 2, 3), aunque se pueden encontrar mezcladas con células cocoides coloniales. Son frecuentes en las muestras.

TIPO 2. (*Chlorococcales, Chlorellales?*). Lámina II, fotos 4-16. Lámina III, fotos 1-2.

Células regularmente esféricas con una envoltura o pared externa hialina, uniforme (no discontinua), que varía en espesor de 1 a 3 μm . El límite interno de la célula es esférico y equidistante al límite externo (pared externa), aunque puede ser semiovoide y dejar un espesor variable con respecto al límite externo (Lám. II, 5); puede presentar hendiduras locales o achatamientos en lo que sería la membrana celular (Lám. II, 7, 8, 10. Lám. III, 1). Las células pueden o no presentar contenido, que puede ser de diámetro variable cuando es compacto (3 a 5 μm) o puede estar disperso parcial o totalmente y estar o no en posición central. El diámetro celular varía de 15 a 25 μm . Es común encontrarlas aisladas, aunque en ocasiones se hallan en pequeños grupos (de 6 a 8 células). Al encontrarlas en grupos, las células presentan casi el mismo diámetro. No muestran asociaciones particulares con otros organismos. Son frecuentes en las muestras.

* Lámina III, fotos 3-8: Células de *Chlorella vulgaris* en cultivo.

TIPO 3. (*Rivulariaceae*). Lámina III, fotos 9-16. Lámina IV, fotos 1-11. Lámina V, foto 1.

Filamentos con forma atenuada, uniseriados y sin ramificaciones. Por la posición del ángulo agudo o atenuado del filamento se deduce que son polares (tienen un extremo anclado al sustrato) y de arreglo paralelo, no estratificado. En el extremo redondeado de la vaina se encuentran estructuras terminales semejantes a caliptras o heterocitos que pueden tener vista reniforme o cónica cuando son grandes (Lám. III, 9, 11, 12, 14; Lám. IV, 1-2, 4-5) y forma circular cuando son pequeños (Lám. IV, 6-7); el que tengan formas distintas puede explicarse por el colapso de dichas células y por el ángulo en que se miran. Dentro de la vaina se pueden observar células colapsadas a lo largo y al centro del filamento (células fotosintéticas) (Lám. III, 10, 13, 15-16); las primeras dos células del tricoma (enseguida de la caliptra o heterocito) son siempre más alargadas en los filamentos más grandes (Lám. III, 9, 14-16), y en todos los filamentos (grandes y pequeños) las demás células del tricoma son más anchas que largas (tipo *Oscillatorial*), en forma de monedas (Lám. IV, 11). En muchos casos sólo se encuentran las vainas sin contenido (Lám. III, 11-12, 14; Lám. IV, 1-2), conservando el mismo arreglo de las que sí tienen y que en corte transversal todas son circulares. El largo de los filamentos puede llegar a 170 μm , el ancho varía de 7 a 10 μm . Los heterocitos o caliptras tienen anchos de 5 a 7 μm y largos de 2 a 5 μm . Las células internas más largas miden hasta 10 μm , y las células fotosintéticas entre 1 y 2.5 μm de ancho y 2 μm de largo. Estos filamentos se observaron sólo en una preparación y en una porción localizada de la misma. Entremezcladas con los filamentos, se encuentran algunas estructuras circulares de 60 a 120 μm de diámetro (Lám. IV, 9), de pared remarcada y con contenidos circulares parecidos a esporas de hasta 20 μm de diámetro.

TIPO 4. (*Microcystaceae*?). Lámina V, fotos 2-10.

Células coloniales regularmente esféricas, de margen claro y remarcado, sin ornamentación y no asociadas a estructuras que sugieran esporulación (vesículas, envolturas, etc.), de textura superficial suave y sin vainas individuales envolventes, aunque de manera masiva sí pueden presentar un tipo de envoltura (mucílago?). Este rasgo es evidente sobre todo cuando la colonia es pequeña (Lám. V, 10). Miden de 5 a 10 μm de diámetro. Se encuentran en extensión y número de individuos variable; las colonias no presentan una forma definida (no hay patrones), se encuentran mas bien dispersas; en un solo caso se observan con arreglo circular (Lám. V; 10). Dentro de las colonias resalta el encontrar pseudofilamentos de hasta 10 células (Lám. V; 5, 9). Casi en todas las colonias puede esto apreciarse y es exclusivo de este tipo. No se observan planos u ordenamientos espaciales que indiquen el plano de

división, así como tampoco se han observado células en división (lo que sí es común en otros ejemplares). Son abundantes en las muestras.

TIPO 5. (Bacillariophyceae?). Lámina V, fotos 11-18. Lámina VI, fotos 1-15.

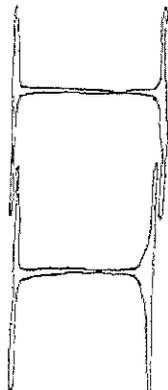
Filamentos septados, uniseriados no ramificados. La forma de las células puede ser cuadrada o rectangular, siendo a veces más largas que anchas o más anchas que largas (Lám. V, 11-13, 16-17). Los septos son casi siempre ondulados (hasta 2 ondulaciones), pero también pueden verse rectos y perpendiculares a la longitud del filamento (Lám. V; 13). En algunos filamentos la imagen traslapada de los diferentes planos de los límites longitudinales celulares pueden dar la impresión de un recubrimiento o vaina externa de hasta 6 μm de ancho (Fig 2), ya que en corte transversal todos los filamentos presentan forma de cruceta con vértices que alcanzan las 6 μm de profundidad. El corte transversal deja ver 2 brazos de un mismo eje con terminación angular "cuadrada" y 2 brazos del eje perpendicular, con terminación redondeada (Lám. V, 14, 18. Lám. VI, 12-15). Las células pueden presentar o no contenido; éste no tiene una posición definida dentro de la célula, incluso hay filamentos en donde sólo algunas células lo presentan. El ancho de las células varía de 18 a 40 μm ; con largos de 15 a 50 μm . Los cortes transversales van de 20 a 40 μm de diámetro. Las paredes de las células en ocasiones pueden presentar engrosamientos en el vértice de los septos, así como posibles valvas en forma de H (Lámina V, fotos 13, 16 y 17. Lámina VI, fotos 4, 7-9). Pueden encontrarse íntimamente asociados a filamentos del Tipo 6 y 7, así como a microorganismos cocoides. Son abundantes en las muestras.

TIPO 6. (Bacillariophyceae?). Lámina VI, fotos 16-19. Lámina VII, fotos 1-2.

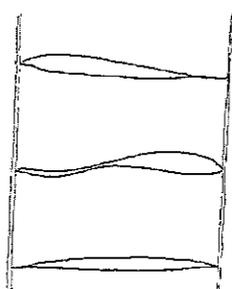
Filamentos septados, uniseriados no ramificados. Las células son siempre más anchas que largas. Los septos son siempre ondulados (3 o 4 ondulaciones). No se aprecia ningún recubrimiento o vaina envolvente. En corte transversal tienen forma de cruceta, con 2 brazos de terminación "cuadrada" y otros 2 con terminación "redondeada" (Lám. VI, 19. Lám. VII, 2). En pocos filamentos se observaron células con contenido; de presentarse, se sitúa cercano a los septos o en posición central. El ancho de las células varía de 30 a 65 μm ; los largos varían de 20 a 30 μm . Los cortes transversales varían de 30 a 65 μm de longitud. La textura superficial es lisa, sin rugosidades ni ornamentaciones. En este tipo de filamentos no se han observado posibles valvas en forma de H ni engrosamientos en la pared cercana a

FIGURA 2

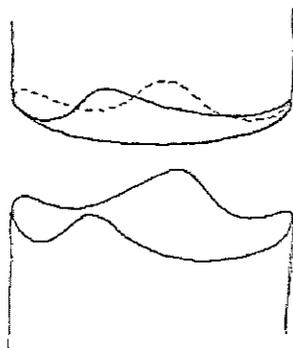
ESQUEMA DE ESTRUCTURAS FILAMENTOSAS
DE LOS TIPOS 5, 6 Y 7



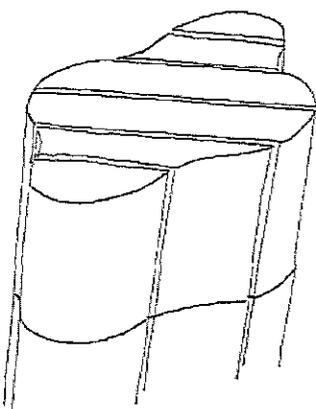
Vista longitudinal
de las valvas en
forma de H de
los filamentos
tipo 5, 6 y 7.



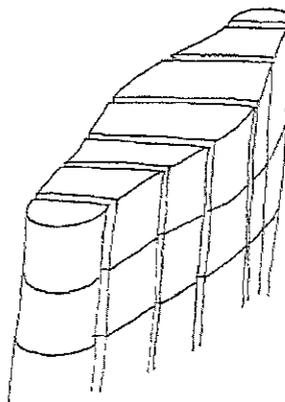
Diferentes tipo de
vista de los filamentos
con septos ondulados



Vista del traslape
entre septos, que
hace que
aparezcan
ondulados.



Vista
transversal y
longitudinal de
los filamentos
tipo 5 y 6.



Vista transversal
y longitudinal
del filamento
tipo 7.

los septos. Pueden encontrarse íntimamente asociados a filamentos del Tipo 5 y 7, así como a otros microorganismos. Son abundantes en las muestras.

TIPO 7. (*Bacillariophyceae?*). Lámina VII, fotos 3-20.

Filamentos septados, uniseriados no ramificados. Pueden estar completos o fragmentados. Al fragmentarse las células pueden separarse individualmente o en grupos. Tienen dos vistas longitudinales: una en donde las células son más anchas que largas y otra en donde las células son cuadradas (Fig. 2). A pesar de estar unidas las células, son independientes unas de otras, pues no existe un único septo para dos células, sino que cada una tiene su propia envoltura (valva?). Puede o no haber contenido, el cual generalmente es compacto. En corte transversal las células son fusiformes. No se aprecian recubrimientos o vainas hialinas envolventes. No se aprecian ornamentaciones (rafes, estrías o punteaduras). Pueden encontrarse asociados a los filamentos del Tipo 5 y 6, aunque son menos frecuentes que éstos. En vista transversal el largo de las células varían de 19 a 30 μm , en la parte más ancha varían de 5 a 7 μm , y en la más delgada de 3 a 4 μm . En vista longitudinal, el largo de las células varía de 3 a 9 μm . La separación de las posibles valvas o septos llega a tener como máximo 1 μm en la parte más cóncava. Sólo en 2 ejemplares se aprecian posibles valvas en forma de H; en este caso las células tienen 6 μm de ancho y 6 μm de largo, en ocasiones con contenido (Lám. VII, 12-13).

TIPO 8. (*Chlorophyta, Xantophyta, Heterokontophyta?*). Lámina VII, fotos 21-24.

Estructuras cilíndricas que incluyen a 2 o 3 células de forma oblonga y de igual diámetro que el cilindro que las contiene. Por el extremo de los cilindros sobresalen hemiesféricamente las células (una por cada extremo), que le dan una forma redondeada a las terminaciones del cilindro. Las células pueden o no tener contenido (generalmente ausente), el cual puede ser céntrico o periférico, generalmente compacto. En el centro de los cilindros se aprecia la separación entre las células. En la mayoría de las células se observa una constricción o cingulo, que recorre la periferia de cada una. El ancho de los cilindros varía de 9 a 13 μm ; el largo (de la punta de una célula a otra) va de 33 a 47 μm ; el ancho de las células varía de 9 a 15 μm y el largo de 13 a 16 μm . Se encuentran asociadas únicamente a los filamentos del Tipo 7.

TIPO 9. (*Spirulina?*). Lámina VIII, fotos 1-14.

Filamentos helicoidales con compactación variable en la espiral e incluso pueden encontrarse segmentos espiralados y otros desenrollados, lo cual puede ser observable en un mismo filamento. No se observan septos, caliptras ni partes terminales, así como tampoco vainas o envolturas. Todos los ejemplares observados tienen 3 μm de diámetro (ancho). Pueden encontrarse en solitario o en cúmulos de varios filamentos revueltos y entremezclados. Son abundantes en las muestras.

TIPO 10. (Chroococcaceae, Microcystaceae?). Lámina IX, fotos 1-29.

Células coloniales circulares o ligeramente ovaladas, generalmente cubiertas por una vaina hialina individual, aunque también pueden encontrarse por pares sin vaina individual. dentro de una vaina que envuelve a ambas (Lám. IX, 17) o por pares con vaina individual dentro de otra vaina más grande (Lám. IX, 7), e incluso las vainas que contienen 2 células quedan envueltas por pares en una vaina cuadrada aún mayor. En algunos casos las vainas parecen estar estratificadas hasta en dos capas; esto ocurre únicamente si se trata de dos o más células, no en células solitarias. Las células pueden verse con contenido colapsado, casi totalmente hialinas o totalmente ennegrecidas; esto último en ocasiones hace difícil distinguir unas células de otras. El arreglo colonial puede ser circular (Lám. IX, 29) o amorfo (Lám. IX, 13, 28) aunque en la mayoría de los casos es de tipo cúbico o cuadrado (Lám. IX, 1-2), por lo menos en 2 planos distintos y hasta 6 pares de células por plano. Estos cubos se cohesionan unos con otros para formar agregados cada vez más grandes pero definidos unos de otros. Las células tienen de 7 a 15 μm de diámetro; las vainas pueden tener de 0.5 a 1 μm de espesor; dentro de un agregado, las células guardan el mismo diámetro, pero puede ser que 2 células pequeñas ocupen el espacio que ocuparía una más grande, lo cual sugiere que las más pequeñas son producto de una división (Lám. IX, 1, 29). Es raro encontrar células solitarias de este tipo, generalmente se encuentran en pequeñas colonias dispersas.

TIPO 11. (Palinomorfo, conidio?). Lámina IX, fotos 30-32.

Estructuras con células de forma trapezoidal arregladas en forma de roseta, en donde una célula es rodeada por 6 o más células, las cuales pueden estar circularmente alrededor de una (Lám. IX, 33) o formando una espiral (Lám. IX, 34). La pared es recta entre las células, mientras que por fuera son redondeadas. En ningún caso se observaron contenidos ni ornamentaciones. La textura es lisa, y pueden ser hialinas o marrones, de contorno remarcado. Los diámetros celulares varían de 4 a 6 μm . En

ocasiones pueden tener extensiones de otras células que se salen del arreglo arrosetado y forman pseudofilamentos de hasta 4 células. Sólo aparecen en 2 preparaciones.

* Lámina IX, foto 33: Palinomorfo actual.

TIPO 12. Lámina IX, foto 34.

Agregado de células deformadas, reniformes y ovoidales, sin contorno definido, de textura porosa y totalmente ennegrecidas. Parecen estar envueltas en una especie de mucílago hialino amorfo de aproximadamente 50 μm de diámetro. No se observan límites celulares. Los diámetros de los corpúsculos negros (células) oscilan entre 7 y 12 μm . Este tipo de cúmulos celulares suelen aparecer dispersos en las partes donde la matriz de pedernal es de color muy claro.

TIPO 13. (*Gloeocapsa?*). Lámina X, fotos 1 a 12.

Células coloniales esféricas o ligeramente ovoidales con vaina estratificada individual (hasta 2 coberturas). Pueden estar solitarias, por pares o en grupos de 4 a 6 células dentro de la colonia. Los diámetros celulares varían de 4 a 8 μm , mientras que las vainas varían de 1 a 5 μm de espesor. Las células pequeñas son siempre esféricas y las células grandes tienden a ser más ovoidales; en algunos casos presentan deformaciones (Lám. X, 5-7, 12). Las células, a pesar de estar envainadas individualmente, pueden estar a su vez dentro de otras vainas también estratificadas, que incluyen a una o varias células (Lám. X, 4, 7, 9-10). En ocasiones se aprecian ennegrecidos los contenidos celulares. Son abundantes en las preparaciones pero no en grandes cantidades.

TIPO 14. Lámina X, fotos 13 y 14.

Células que forman tétradas en un solo plano. Las células son hialinas, de textura lisa o suave, sin contenido ni ornamentación. Suelen encontrarse envueltas por una vaina romboidal o cuadrada y con un espacio intercelular al centro; la forma de las células puede ser redonda, pero cuando las paredes se tocan entre sí se aplanan; a pesar de ello las células se encuentran casi siempre separadas unas de otras. Están asociadas a células con las mismas características morfológicas pero arregladas por pares o en solitario (Tipo 18). Las vainas miden de 25 a 30 μm en diagonal; las células miden de 8 a 10 μm de diámetro.

TIPO 15. Lámina X, fotos 15 a 22.

Células oblongas cuando están solas o por pares y con forma de gota de agua cuando están en cúmulos de 4 o más células. De contorno celular remarcado. No se aprecia ningún tipo de envoltura, ni ornamentación en la pared, ni contenidos evidentes, excepto por pequeños puntos que no están bien definidos. Los diámetros varían de 7.5 a 10 μm . Pueden estar en uno, dos o tres planos. El arreglo es variable: pueden estar formando racimos que van de 5 células de ancho a una; pueden estar en tétradas o péntadas, y éstas a su vez unidas a otras, tal que de tétrada en tétrada se forman conjuntos de numerosos individuos (sincenobios).

TIPO 16. Lámina X, fotos 23 a 26.

Células esféricas u ovaladas de arreglo moniliforme (bolitas unidas formando pseudofilamentos); son de contorno remarcado la mayoría de las veces. No hay ornamentación ni cubiertas o vainas externas. En algunas se aprecia lo que pudieran ser contenidos a manera de pequeños puntos parietal o centralmente ubicados. En ocasiones los pseudofilamentos moniliformes parecen plegarse sobre sí mismos (Lám. X, 24) formando "nudos" en donde se vuelve difícil apreciar unitariamente a las células. El diámetro de las células varía de 4 a 7 μm . No se encuentran particularmente asociados a algún otro tipo de organismos.

TIPO 17. Lámina X, fotos 27 a 31.

Estructuras amorfas, en ocasiones se aprecian células de contorno definido, y aún así la forma no es constante: pueden ser ovoides, oblongas o fusiformes, pero la mayoría de las veces es una vaina hialina la que envuelve a una masa amorfa cerebroide que tiene pliegues como circunvolucionados. La vaina puede tener espesor muy variable. A pesar de ser amorfas, el patrón morfológico es el mismo, tal que son reconocibles morfológicamente. Las vainas pueden ser de 20 a 100 μm de diámetro, y las células internas que logran definirse miden de 9 a 11 μm de diámetro. Se encuentran siempre en los límites de la laminación en la que es evidente un cambio en la composición de los minerales.

TIPO 18. Lámina X, fotos 32 a 35

Células que forman tétradas en un solo plano; a diferencia de las tétradas del Tipo 14, éstas no tienen ningún tipo de vaina externa. Las paredes son planas cuando están en contacto las células; nunca son

más de 4 células por cenobio, los cuales pueden juntarse para formar sincenobios (Lám. X, 33-34). No se aprecian espacios intercelulares centrales. Las células miden de 6 a 7 μm de diámetro. Se encontraron sólo en 2 preparaciones.

TIPO 19. Lámina X, foto 36.

Tres células pegadas: dos de 8 μm y una de 5 μm , que se encuentra a la mitad de las dos mayores y en uno de los extremos. No hay vainas ni recubrimientos; no hay contenidos ni ornamentaciones. La pared de las células mayores es plana en la unión y redondeada hacia la parte de afuera.

TIPO 20. (Estructura reproductora algal o fúngica?). Lámina X, foto 37.

Estructura alargada compuesta básicamente por tres partes: un brazo con dos pequeñas esferas en la base, cabeza y un tronco, que es la parte más alargada y está septado. El largo total (desde la cabeza hasta el extremo de la parte septada) es de 80 μm ; la cabeza mide 20 μm de diámetro, y el tronco septado mide 25 μm de ancho, y la separación entre septos es de 10 μm . Las pequeñas esferas miden 5 μm cada una. Se encuentra asociado a una gran cantidad de células de 5 a 6 μm de diámetro apenas distinguibles (no mostradas).

TIPO 21. Lámina X, foto 38.

Cenobios de células compactadas entre sí, pero con pequeños espacios entre ellas (no totalmente juntas). No se observa recubrimiento alrededor de los cúmulos ni individualmente. Las células varían de 3 a 5 μm de diámetro. No se observa contenido celular. Son abundantes en las preparaciones.

TIPO 22. Lámina XI, fotos 1 a 5.

Filamento septado, uniseriado, no ramificado. Las células son más largas que anchas, en forma de barril (túmidos, hinchados); están separadas unas de otras por septos que se ensanchan en la parte central (hasta 3 μm de espesor), dejando a las células con una concavidad (Lám. XI, 1-3). El tricoma está cubierto con una vaina hialina de hasta 2 μm de espesor (Lám. XI, 1-3). Todas las células presentan contenido compacto, que generalmente ocupa gran parte del interior celular en la parte central. Se observó sólo una célula terminal, la cual es redondeada con una constricción que la adelgaza en su extremo terminal y cóncava como las demás en el extremo contrario (Lám. XI, 4). El ancho total del

filamento es de 16 μm . Las células varían de 27 a 36 μm de largo y de 9 a 13 μm de ancho. En corte transversal se aprecian la vaina y el contenido; el perímetro tiende a ser hexagonal, aunque esto pudiera deberse al colapso *post mortem* (Lám. XI, 5). Sólo se observaron 2 filamentos, juntos y en una sola preparación.

TIPO 23. (Células en división?). Lámina XI, fotos 6 a 8.

Células pareadas con envoltura hialina y en ocasiones casi imperceptible. Las células son regularmente esféricas, aunque pueden presentar deformaciones locales. Aunque pueden estar muy juntas dentro de la vaina, se encuentran siempre separadas. En algunos ejemplares la pared se aplanan en el límite con la otra célula (Lám. XI, 7). Pueden o no presentar contenido; de estar éste presente, puede estar ubicado en los extremos y ser disperso, o puede ser semicentral y en forma de pequeños cuadrados bien definidos y negros (como cristales de magnetita). Las células varían de 12 a 17 μm ; el largo de las vainas puede llegar a las 47 μm y el ancho hasta 20 μm (en el caso de que esté bien delimitado).

TIPO 24. (Células en división?). Lámina XI, foto 9.

Par de células envueltas en una vaina oblonga. Las células tienen una textura granular en la pared y el contorno; son más o menos esféricas las dos, aunque una parece más cuadrada que la otra; se aprecia algo así como una doble pared en el perímetro, que es de color más claro que la parte interna. No hay un contenido evidente. La vaina mide 15 μm de largo y 9 μm de ancho. Las células miden 6 y 7.5 μm de diámetro. Es el único ejemplar encontrado con doble pared celular.

TIPO 25. (Células en división? Estructuras fúngicas?). Lámina XI, fotos 10 y 11.

Células pareadas, completamente unidas. Una de las células es siempre cónica, mientras que la otra es siempre redondeada. En el punto de unión entre ambas, la pared se hace perpendicular al eje longitudinal total (el que forman las dos células), es decir, se aplanan. No hay ningún tipo de vaina o envoltura, así como tampoco hay contenido. Son hialinas traslúcidas. Las células cónicas pueden ir de 3.5 a 6 μm de largo y 6 μm de ancho; las células redondeadas tienen 5 μm de largo y 6 μm de ancho (el largo y ancho se toman con respecto al eje longitudinal total). No son abundantes en las preparaciones.

TIPO 26. (Células en división?). Lámina XI, fotos 12 a 14.

Células pareadas, sin recubrimiento externo. No se observa contenido. La forma celular es esférica, aunque pueden estar ligeramente achatadas en los polos. La pared puede estar un poco aplanada en la parte que entra en contacto con la otra célula. Miden de 9 a 10 μm de diámetro. Son frecuentes en las preparaciones.

TIPO 27. (Célula en división?). Lámina XI, foto 15.

Estructura circular envolvente con dos células adentro. Las células tienen forma de medio círculo, con las puntas redondeadas. No hay contenido evidente. El diámetro total de la estructura es de 10 μm . Las células tienen 9 μm de largo y 5 μm de ancho. Es la única célula en división con forma redonda observada.

TIPO 28. (Células en división?). Lámina XI, fotos 16 y 17.

Células por pares, envueltas en una vaina. Las células pueden estar separadas o totalmente juntas, lo que provoca que la pared que las une sea plana y no redondeada. En todos los casos hay contenido compacto y localizado periféricamente, por lo menos en una de las células. La forma de las células es variable: pueden ser semicirculares, elípticas u oblongas; casi siempre con alguna deformación local o constricciones. Las vainas miden de 18 a 20 μm de largo y de 11 a 12 μm de ancho. Las células miden de 7 a 10 μm de largo y de 7 a 9 μm de ancho. Son de los pocos ejemplares de células en división que presentan contenido.

TIPO 29. Lámina XI, fotos 18 a 21.

Células solitarias o por pares, de forma regularmente esférica u ovalada; en el caso de que estén pareadas se encuentran pegadas. No hay recubrimiento, pero en ocasiones la pared externa presenta pliegues que acompañan a la misma curvatura celular. En todos los casos hay contenido disperso u organizado que ocupa gran parte del interior. Las células miden de 15 a 19 μm de diámetro. En el caso de que se encuentren solitarias, siempre habrá otras cercanas del mismo tipo que estén pareadas. No son muy frecuentes en las preparaciones.

TIPO 30. Lámina XI, foto 22 y 23.

Cenobio de células ovaladas, hialinas y con contenido compacto de igual forma que la célula pero de menor tamaño y equidistante del límite externo. No se observa ningún recubrimiento. Las células varían de 7 a 9 μm en el diámetro mayor. Solo fueron observadas en una preparación.

TIPO 31. Lámina XI, fotos 24 a 26.

De 2 a 4 células en contacto directo, donde el tamaño es distinto para cada una de ellas. Presentan generalmente contenido compacto central o semicentral. El color depende del tipo de minerales que compongan a la matriz; pueden estar oscurecidas o ser traslúcidas. Las células más grandes llegan a medir hasta 22 μm de diámetro y las más pequeñas van de 15 a 17 μm . Las paredes son casi siempre aplanadas en donde entran en contacto con las células vecinas. Se encontraron sólo en dos preparaciones.

TIPO 32. Lámina XI, foto 27.

Masa amorfa de aspecto gelatinoso, que embebe a células de distintos tamaños y formas. Algunas de ellas son redondas y con contenido de límite angular, de color pardo; otras son de forma elíptica, con contenido disperso. Estas últimas pueden encontrarse formando cadenas de hasta 6 células que se curvan hasta formar una U. El largo de las células varía de 10 a 15 μm y el ancho varía de 7.5 a 11 μm . Sólo se observó un ejemplar.

TIPO 33. Lámina XI, fotos 28 y 29.

Células esféricas de 25 μm de diámetro con contenido ennegrecido semidiserso. Dos células se encuentran juntas y una tercera se encuentra en un segundo plano y rota por la mitad. No presentan recubrimiento. La textura de la pared es lisa, aunque una de ellas parece tener pequeñísimas granulaciones en la parte donde se junta con la otra célula.

TIPO 34. Lámina XI, foto 30.

Célula regularmente esférica y solitaria. La pared es simple, remarcada en el perímetro y con algunas deformaciones o achatamientos locales. El contenido es una especie de saco hialino y plegado en algunas de sus partes. La textura es más o menos suave en el centro y más o menos granulada hacia el

límite de la pared. El diámetro máximo es de 86 μm . Sólo se observó un ejemplar con estas características.

TIPO 35. Lámina XI, foto 31.

Célula esférica, solitaria, de pared simple. La textura es lisa en la parte central, pero en el perímetro se vuelve plumosa, afelpada. En el interior de la célula hay un contenido compacto circular muy marcado envuelto en un velo de forma trapezoidal y un poco plegado de las orillas; éste no presenta la textura de la pared externa, es más bien membranoso. El diámetro total es de 120 μm . Se observó sólo un ejemplar, asociado a otras estructuras circulares de mayor tamaño (lámina XII, foto 33).

TIPO 36. Lámina XI, foto 32.

Estructura de forma sacada alargada, se va atenuando hacia uno de los extremos, el otro extremo está oscurecido, a manera de envoltorio basal. No hay contenido. La superficie es de textura lisa y delgada. El margen no es completamente recto, tiene abolladuras pequeñas a lo largo. Mide 175 μm de largo y 75 μm de ancho. Su aspecto vesicular semeja a un receptáculo de esporas.

TIPO 37. Lámina XI, foto 34.

Células esféricas coloniales, de pared simple, sin vainas o recubrimientos, con contenido compacto muy pequeño. La colonia no presenta un arreglo en particular, son más bien dispersas. Las células miden de 10 a 14 μm de diámetro. Son las células con contenido más pequeñas que se han observado. Aparecen sólo en una preparación.

TIPO 38. Lámina XI, fotos 33, 35 a 39. Lámina XII, foto 1.

Células regularmente esféricas, en ocasiones un poco ovaladas (aunque esto no se aprecie natural sino producto de la deformación). Tienen contenido compacto central o semicéntrico, que en ocasiones presenta un velo muy tenue alrededor del mismo. La pared es simple, sin envolturas o vainas, pero suele estar un poco engrosada, a veces con pliegues equidistantes al perímetro y más obscura. Los diámetros varían de 35 a 60 μm . No se encuentran asociadas a algún tipo de organismo en particular, son más bien solitarias y destacan entre la demás flora por su tamaño y por los contenidos tan marcados.

TIPO 39. Lámina XII, foto 2.

Célula esférica, solitaria, con envoltura externa. El contenido tiene forma de copa o herradura y ocupa casi toda la parte interna. La textura es más o menos granulada en toda la célula. El diámetro total es de 30 μm . Sólo se encontró un ejemplar con este tipo de contenido.

TIPO 40. Lámina XII, fotos 3 a 5.

Estructuras parecidas por el grosor de la capa del contorno o pared, la cual es gruesa, muy remarcada, con constricciones locales y un halo o aura blanquecina alrededor de toda la estructura; dos son oblongas y la otra tiende a ser oblonga. Todas tienen contenido, sólo que en una son cristales y residuos seguramente provenientes del medio externo (Lám. XII, 4). En otra se aprecia un contenido en forma de collar de perlas de diminutas proporciones (Lám. XII, 3). Las células miden 37 μm de largo, y de 24.5 a 32.5 μm de ancho. Sólo se encontraron tres ejemplares.

TIPO 41. Lámina XII, fotos 6 a 10.

Células esféricas, hialinas, de pared o contorno muy fino (delgado). La mayoría presenta un recubrimiento a veces casi imperceptible; de no ser evidente este recubrimiento, en su lugar hay un halo blanco alrededor de las células con el mismo espesor que las que sí tienen recubrimiento. En ningún caso hay contenidos. Algunos ejemplares pueden presentar rugosidades notorias en la pared (Lám. XII, 8), pero generalmente el contorno es liso. La mayoría de los ejemplares mide de 72 a 75 μm de diámetro; sólo un ejemplar midió 80 μm . Son frecuentes en las preparaciones. No se encuentran asociadas a algún otro organismo en particular.

TIPO 42. Lámina XII, fotos 11 y 12.

Células esféricas en unión física directa. Ambas comparten el mismo patrón, lo cual es sin duda una relación de parentesco. Ambas tienen un recubrimiento individual o pared que no sobrepasa las 2.5 μm de espesor; no hay ningún recubrimiento extra. En una de las células el contenido es compacto, circular y central, mientras que en la otra es disperso, aunque tiende a delimitarse al centro, menos remarcado y sin forma definida. La "membrana" interna o límite interno es esférico pero puede presentar pequeñas

deformaciones angulares, tal vez producto del colapso *post mortem*. El diámetro total en ambas es de 25 μm . Son pocos los ejemplares que presentan estas medidas con ese tipo de contenidos.

TIPO 43. Lámina XII, fotos 13 a 15.

Células regularmente esféricas de contorno remarcado y granulado. A pesar de que el perímetro es siempre regular, la parte remarcada del contorno presenta partes rectas que se separan de la parte circular del perímetro e incluso curvadas hacia adentro, llegando a tener hasta 3 μm de espesor. Pueden apreciarse algunos contenidos indefinidos en la forma, generalmente son sólo manchas al interior de la células. Los diámetros oscilan entre las 27 y 32 μm . Son muy conspicuos y abundantes, sobre todo en aquellas muestras de matriz muy clara y homogénea.

TIPO 44. Lámina XII, foto 16.

Célula de forma elíptica, cubierta por una capa o pared traslúcida apenas perceptible. El contenido es oscuro, formado por varias hebras amontonadas y curvadas concéntricamente. El diámetro celular es de 40 μm , el del contenido es de aproximadamente 16 μm . Es el único ejemplar con este tipo de contenido.

TIPO 45. Lámina XII, foto 17.

Estructura con forma oblonga. Tiene una vaina hialina de espesor variable, lo que le da aspecto de célula. El contorno interno es remarcado y presenta una concavidad o achatamiento en la parte donde la vaina tiene el mayor espesor. En el interior se observan corpúsculos a manera de grumos diseminados por toda el área y una pequeña esfera en uno de los extremos. Los grumos del interior se confunden con los micro sedimentos que la rodean. La célula mide 90 μm de largo por 65 μm de ancho. La vaina tiene un espesor máximo de 14.5 μm y mínimo de 5 μm . Es el único ejemplar de estas medidas con este tipo de contenido.

TIPO 46. Lámina XII, foto 18.

Estructura esférica, delimitada en la forma únicamente por el cambio de color en la roca, que forma un círculo perfecto. Dentro del círculo se observa una estructura amorfa, con pliegues, de límites angulares y redondeados, tal vez producto del colapso de todo el citoplasma, que ocupa la mayor parte del interior. A su vez dentro de la estructura interna se aprecia un corpúsculo ennegrecido ubicado en uno de los bordes. El diámetro circular es de 46 μm ; el diámetro aproximado de la estructura interna es de 36 μm .

Se encontró asociada a estructuras luniliformes no identificadas (ver lámina XIII, fotos 23 y 24). El contenido de esta estructura es semejante a la del Tipo 35.

TIPO 47. Lámina XII, foto 19.

Dos estructuras esferoides pedunculadas, una de 45 μm y la otra de 50 μm de diámetro. El pedúnculo es una pequeña proyección cónica que parte visiblemente de la estructura circular. Se encuentran embebidas junto con una especie de "masita" dentro de un pedazo de concha de bivalvo. El contorno es oscuro y remarcado, no presentan contenido, y tienen una fina capa externa engrosada que llega a verse granulosa. Se encuentran dentro del perímetro marcado por las valvas de un bivalvo.

TIPO 48. Lámina XII, fotos 20 y 21.

Dos esferas juntas, una sobre otra; una de ellas, la más pequeña, se encuentra dentro de una concavidad formada en el extremo de la célula más grande (como si se juntaran dos pelotas desinfladas y una "abollara" a la otra). Ninguna tiene contenido. La célula menor es de color pardo, la otra es hialina, gracias a lo cual puede apreciarse la "abolladura" en tercera dimensión. Los diámetros son de 70 y 75 μm respectivamente.

TIPO 49. Lámina XII, foto 22.

Dos células esféricas juntas pero en diferentes planos. Ambas tienen una pared gruesa, oscura y estratificada en finos círculos concéntricos. No hay contenido en ninguna. Miden 57 y 63 μm de diámetro respectivamente. El grosor de las paredes es en ambos casos de 7 μm . Son los únicos ejemplares con una pared de este tipo.

TIPO 50. (Cystos de dinoflagelado?). Lámina XII, fotos 23 y 24.

Posibles células esféricas, de textura reticulada y granular. Tienen una capa gruesa externa, homogénea, con las mismas características texturales antes mencionadas. En el interior de las células se observa un óvalo en ocasiones oscurecido, el cual se traslapa entre el límite interno y externo de las células. El diámetro total de todos los ejemplares encontrados es de 45 μm . El espesor del recubrimiento es de 7.5 μm . Se encuentran solitarias y nunca en la misma preparación.

TIPO 51. Lámina XII, foto 25.

Estructura circular con un diminuto pedúnculo. Al igual que las estructuras del Tipo 47, se encuentra asociadas a restos de conchas, sólo que ésta mide 415 μm de diámetro y presenta contenidos muy variados, desde grumos oscuros hasta lo que parecen ser envolturas hialinas plegadas. Tiene una cobertura externa afelpada, es decir con pequeños "pelos" que se extienden radialmente hacia fuera; esta cubierta es visible sólo en un plano, mientras que todo lo demás se encuentra en planos a profundidad variable.

TIPO 52. Lámina XII, foto 26.

Célula oblonga, de contorno remarcado y con gránulos. Tiene contenido también granulado y esparcido cerca de la periferia. La célula mide 30 μm en la parte más larga y 28 μm en la más corta. Es el único ejemplar encontrado con estas características.

TIPO 53. Lámina XII, fotos 27 y 28.

Dos posibles células juntas y en diferentes planos; en el contorno, una tiende a ser circular y la otra ovoidal; el contorno presenta irregularidades o roturas. Ambas son de pared simple, sin recubrimiento. Son hialinas; sólo una presenta contenido en forma de vesícula translúcida, ubicada periféricamente. Los diámetros son de 35 y 36 μm respectivamente.

TIPO 54. Lámina XII, foto 29.

Cuatro posibles células; un par está perpendicular al otro, formando una T. La forma celular es cuadrada, trapezoidal o reniforme. La forma real de la estructura en conjunto no es perfectamente distinguible. Las "células" se ven arrugadas y deformes. La estructura completa mide 55 μm de largo y 60 μm de ancho; las células de mayor tamaño van de 32 a 40 μm de diámetro, las más pequeñas miden de 20 a 25 μm .

TIPO 55. Lámina XII, fotos 30 a 33.

Estructuras circulares, a veces ovoidales, con pared externa delgada. Pueden o no tener contenido; de encontrarse éste, puede ser disperso en pequeños conjuntos (Lám. XII, 30) o tenue o semidisperso y muy marcado (Lám. XII, 31). Pueden encontrarse en pequeños grupos de 3 y 4 individuos o solitarias, pero

siempre cercanas unas de otras. En ocasiones los arreglos en grupo pueden ser de individuos en contacto directo. Las paredes externas son siempre circulares u ovoidales, mientras que el contorno interno puede estar invaginado a gran escala, tener irregularidades (abolladuras) locales o incluso presentar pliegues que se ajustan a la curvatura del contorno (Lám. XII, 33). Los diámetros varían de 115 a 125 μm ; el espesor de las paredes externas va de 6 a 10 μm . Se encuentran asociadas a zonas de pedernal en las que hay transición entre la laminación del estromatolito y zonas de mineralización homogénea, así como en zonas de fracturación del pedernal.

TIPO 56. Lámina XII, fotos 34 y 35.

Estructuras circulares bien delimitadas, sin pared o recubrimiento externo, aunque en ocasiones el contorno es remarcado y fino (delgado). Siempre con contenidos muy complejos, desde grumos hasta vesículas, y de gran extensión en el área interior. Los diámetros varían de 100 a 120 μm , razón por la cual, junto con el tipo de contenido, queda en duda su condición de célula. Se encuentran asociadas siempre a espacios blanquecinos de la roca, como halos circulares de hasta 500 μm de diámetro (Lám. XII, 35).

TIPO 57. (Polen?). Lámina XII, foto 36.

Dos posibles células pegadas, con pared externa remarcada y dos sacos laterales semicirculares, ubicados a la altura de la línea de sutura, uno de cada lado. Estos sacos están finamente reticulados y son más pequeños que las células, las cuales son hialinas y sin contenido, de forma redondeada hacia los extremos. La línea de sutura es perpendicular al eje longitudinal total, el cual es de 55 μm . Las células miden 32.5 y 40 μm de diámetro; los sacos miden aproximadamente 25 μm de diámetro. No hay ninguna asociación en particular a estructuras u otros organismos.

TIPO 58. (Estructura reproductora?). Lámina XIII, fotos 1-3.

Tres estructuras multicelulares conformadas por células esféricas y cilíndricas unidas entre sí. Algunas de las células esféricas pueden tener prolongaciones atenuadas a manera de pedúnculos (Lám. XIII, 2). Puede haber ramificaciones (Lám. XIII, 1). No se hallan en conexión orgánica, pero la cercanía física y la posición espacial radial que tienen unas con respecto a otras, además del parecido en forma y tamaño, sugieren que se trata del mismo tipo de estructuras. En una de las estructuras, la célula terminal presenta

contenido en forma de bandas delgadas equidistantes a la periferia y paralelas al "septo" o línea de sutura con la célula vecina (Lám. XIII, 1). Las células cilíndricas pueden medir de 12 a 15 μm de largo y 8 μm de ancho. Las células esféricas miden de 12 a 15 μm de diámetro.

TIPO 59. Lámina XIII, foto 4.

Sincenobios globulares de células regularmente esféricas. Los conjuntos están arreglados concatenadamente formando una "U". No se observa ningún recubrimiento individual o colectivo. El número de células por cenobio es indefinido e inapreciable. Las células más grandes miden 10 μm de diámetro, las más pequeñas miden de 5 a 7 μm de diámetro. Es el único ejemplar con estas características.

TIPO 60. Lámina XIII, fotos 5 a 7.

Células oblongas de contorno remarcado y sin contenido. Es raro el contacto entre ellas, pero se encuentran cercanas unas de otras. No presentan un arreglo en particular, miden de 5 a 6 μm de largo y 4 μm de ancho. Se encuentran sólo en una preparación.

TIPO 61. Lámina XIII, foto 8.

Célula esférica de 20 μm de diámetro. Tiene contenido compacto, esférico, de 7 μm de diámetro. El contorno celular es muy claro; no hay vaina externa. Junto a esta célula se encuentra una envoltura o resto celular colapsado, con forma de eritrocito de 22 μm de diámetro.

* Lámina XIII, foto 9: grano de polen actual.

TIPO 62. (Polen de dicotiledónea). Lámina XIII, fotos 10 y 11.

Grano de polen ovalado, con por lo menos 3 surcos longitudinales, discontinuos a la mitad. Estos surcos son anchos en la mitad del grano y van adelgazándose hacia los extremos; la parte más ancha de los surcos tiene una terminación semicircular o luniliforme remarcada (colpos transversales). Estos detalles se aprecian en planos distintos. Mide 32.5 μm de largo y 22.5 μm de ancho. Sólo un ejemplar fue encontrado.

TIPO 63. (Polen de dicotiledónea). Lámina XIII, foto 12.

Grano de polen periporado, hexagonal, de ángulos redondeados, con 9 poros visibles en dos planos diferentes: 6 en uno y 3 en otro. Mide 27.5 μm de diámetro; los poros miden de 4 a 5 μm de diámetro. La parte superficial del grano presenta diminutas perforaciones que le dan una apariencia rugosa y granulada. Sólo un ejemplar fue encontrado.

TIPO 64. (Conidio de *Alternaria*?). Lámina XIII, foto 13.

Conidio fúngico tipo dictiospora. Tiene 3 septos transversales y uno longitudinal. Mide 27.5 μm de largo por 15 μm de ancho.

TIPO 65. (Polen de conífera). Lámina XIII, fotos 14 a 16.

Granos de polen bisacados. Los cuerpos centrales miden de 17 a 20 μm de diámetro, de textura lisa; algunos son ovalados y llegan a tener 12 μm de ancho. Los sacos son reticulados o granulados; miden de 6 a 9 μm de diámetro y son más oscuros que el cuerpo central.

TIPO 66. (Palinomorfo?). Lámina XIII, foto 17.

Estructura con forma de yunque o de cruz, con tres prolongaciones. Mide 25 μm en la parte más larga y entre 23 y 25 μm de una punta a otra de los brazos.

TIPO 67. (Granos de polen?). Lámina XIII, fotos 18 a 20.

Estructuras regularmente esféricas, de superficie rugosa y pilosa. La superficie es tan densa que no se aprecia nada al interior. Miden de 15 a 17 μm de diámetro.

TIPO 68. Lámina XIII, foto 21.

Célula circular con pared externa. Tiene contenido semidisperso, granular y esparcido semicentralmente; el mismo tipo de gránulos se aprecian en una porción periférica pegada a la pared. La célula mide 150 μm de diámetro; la pared tiene 12.5 μm de espesor. Se encuentra asociada a un fragmento de concha.

TIPO 69. (Espora trilete?). Lámina XIII, foto 22.

Estructura regularmente esférica, con pared externa gruesa y semi-estratificada de 12 μm de espesor. La estructura completa mide 80 μm de diámetro. Pueden observarse 3 estrías que parten del centro

radialmente y equidistantes unas de otras, sin llegar al contorno interno, semejante a una espora trilete. Sólo se observó un ejemplar.

TIPO 70. Lámina XIII, fotos 23 y 24.

Estructuras luniliformes y arqueadas confinadas en un espacio circular; algunas pierden la forma luniliforme dependiendo del plano en que se miren, y adoptan una forma reniforme (Lám. XIII, 24). Casi en todas pueden observarse coberturas o paredes externas que acompañan a la curvatura de éstas, lo cual significa que la parte orgánica de las estructuras no corresponde a la parte circular que las rodea, aunque algunas estructuras están invaginadas y forman una concavidad (como una pelota desinflada). En ningún caso hay contenido. El diámetro de los círculos en que se encuentran miden de 110 a 115 μm . Los agregados se componen de por lo menos 10 individuos, cercanos siempre a restos vegetales y asociados a otras estructuras membranosas y plegadas, de forma indefinida.

TIPO 71. Lámina XIII, fotos 25 a 27.

Estructuras varias de forma sacada, atenuada u oblonga. Todas se encuentran juntas y embebidas en el mismo tipo de tejidos vegetales, pero separadas unas de otras. Varias parecen haber tenido un pequeño pedúnculo, evidencia del cual únicamente queda la sutura y la forma de rabillo en donde se ubicaba. Todas las estructuras están cubiertas por una vaina hialina de espesor variable. Puede o no haber contenidos; en el caso de que existan, ocupan toda la parte interna (Lám. XIII, 26), puede a su vez ser homogéneo o presentar distintas estructuras pequeñas y globulares o bandas remarcadas. El largo de las estructuras puede variar de 115 a 138 μm .

TIPO 72. Lámina XIII, foto 28.

Estructura conformada por 3 "gajos" unidos, de forma más o menos triangular, con vértices redondeados (como hojas de trébol) y bien delimitados unos de otros. Estos "gajos" pueden tener una pequeña constricción entre los dos vértices externos. No tiene contenido. El diámetro aproximado es de 23 μm .

TIPO 73. (Granos de polen?). Lámina XIII, fotos 29 a 32.

Estructuras básicamente esféricas, aunque pueden estar invaginadas, totalmente plegadas y/o rotas. Todas comparten una textura rugosa y ornamentada con estrias o surcos que pueden recorrer total o

parcialmente el diámetro de las mismas. En ninguna se observa contenido, aún en las que están rotas y/o muy plegadas. Todas entran en el rango diametral de las 25 y 30 μm . Pueden encontrarse en casi cualquier tipo de matriz rocosa y son muy frecuentes en las preparaciones.

TIPO 74. (Palinomorfos?). Lámina XIII, fotos 33 y 34.

Estructuras fusiformes, estriadas longitudinalmente. Estas estrías son siempre dos y parecen líneas de dehiscencia, ya que pueden encontrarse formando una abertura o tan sólo una línea, se agregan por conjuntos de 6 u 8 individuos (no es constante), y aunque algunas pueden estar aisladas, siempre hay algún conjunto cerca. Son hialinas, no presentan contenido, pero la pared puede tener tan remarcadas las estrías que hacen pensar lo contrario. Miden de 25 a 30 μm de largo y de 15 a 17 μm de ancho. Sólo observadas en una preparación.

TIPO 75. (Fragmento de *Hydrodictyon*?). Lámina XIII, foto 35.

Estructura en forma de "X" con un eje central alargado cuyos extremos se vuelven dicotómicos. En toda la estructura hay contenido en forma de pequeños grumos oscuros dispersos, al parecer pegados al interior de la pared. No hay recubrimiento en ninguno de los brazos. En la zona de dicotomía se observa una sutura en la base de cada brazo, y en los extremos de cada brazo se observan las mismas suturas pero sin dicotomías. El largo total es de 55 μm ; el largo de cada brazo es de 25 μm , y el ancho de los brazos es de 7.5 μm . Sólo se observó un fragmento.

TIPO 76. Lámina XIII, fotos 36 y 37.

Una estructura triangular y otra ovovada. Ambas tienen textura rugosa y plegadiza en la superficie, lo que ocasiona que los pliegues lleguen a oscurecerla en ciertas porciones (Lám. XIII, 37). Ambas miden 50 μm de largo y de 25 a 38.5 μm de ancho. No hay recubrimiento alguno. Aparecen sólo en una preparación.

TIPO 77. (Traqueidas). Lámina XIII, foto 38.

Traqueidas asociadas a restos vegetales (Gymnosperma?). El arreglo de las traqueidas es paralelo, longitudinal con respecto a las fibras vegetales y en varios planos. La espiral en la parte más ensanchada mide hasta 17 μm , en la más constreñida 12 μm . El espesor de cada traqueida no sobrepasa las 2 μm . Se encuentran asociadas únicamente a tejidos vegetales.

TIPO 78. (Células vegetales). Lámina XIV, foto 1.

Corte transversal incompleto de un estele (Angiosperma, Gymnosperma?) rodeado por un parénquima de células poligonales de 10 a 20 μm de diámetro aproximado.

TIPO 79. (Estructura reproductora?). Lámina XIV, foto 2.

Estructura en forma de gota de agua (ovovada) que se encuentra dentro de un halo hialino circular de 85 μm de diámetro, de contorno remarcado. Tiene dos corpúsculos internos, uno circular y otro alargado. El diámetro de la estructura es de 50 μm . En la parte externa al halo se observan cúmulos pilosos desorganizados y entramados pero perpendiculares al perímetro.

TIPO 80. (Tejido vegetal). Lámina XIV, foto 3.

Corte transversal incompleto de un tallo, con peridermis circular de 3 capas, rodeada de un parénquima de células que varían de las 10 a las 30 μm de diámetro. Algunas de las células son poligonales, otras son ovaladas y circulares. En la parte central se encuentra plegada y amorfa una estructura ennegrecida, granulosa y con algunas células globulares.

TIPO 81. (Grano de polen?). Lámina XIV, foto 4.

Posible grano de polen ovalado, de textura superficial rugosa y granulada. Se observa un plegamiento cóncavo semicircular cerca del perímetro. No hay contenido. Mide 45 μm de largo y 30 μm de ancho.

TIPO 82. (Raíz de monocotiledónea?). Lámina XIV, foto 5.

Corte transversal de una posible raíz de monocotiledónea, en donde el estele pudo ser sustituido por minerales. La médula es muy tenue, mide 80 μm de diámetro. Se observa un espacio entre la médula y la peridermis, que tiene un diámetro total de 120 μm ; ésta a su vez se encuentra rodeada de diminutos pelos que aparecen también en corte transversal, es decir que recorren longitudinalmente a la raíz; éstos no sobrepasan 1 μm de diámetro.

TIPO 83. (Fruto?). Lámina XIV, foto 6.

Corte transversal de un posible fruto. Tiene 600 μm de largo por 500 μm de ancho. El centro es un espacio vacío limitado por una membrana muy fina y tenue, alrededor de la cual parten radios muy marcados. Entre los radios se dejan ver células regularmente esféricas, de arreglo parenquimatoso.

TIPO 84. (Estructura reproductora?). Lámina XIV, foto 7.

Estructura vesicular reniforme conectada por un extremo a un pedúnculo zigzagueante de color más claro que la vesícula, la cual presenta contenido grumoso y disperso. La vesícula tiene 20 μm de largo y 10 μm de ancho.

TIPO 85. (Metazoario?). Lámina XIV, fotos 8 y 9.

Estructura multicelular de forma sacada. Tiene por lo menos dos prolongaciones externas segmentadas, que parten del extremo más estrecho del cuerpo principal. El contenido es complejo, compartimentalizado asimétricamente a lo largo del interior, la mayoría de un solo lado; éste se aprecia en forma de membranas plegadas que confinan espacios separados dentro de los cuales puede haber diminutos corpúsculos del mismo tamaño y organizados dentro de pequeños glóbulos transparentes (Lám. XIV, 8). El contorno externo es delgado pero bien definido; no hay cubiertas externas. El largo de la estructura sacada es de 175 μm y el ancho de 83 μm ; sus pedúnculos miden 88 μm de largo cada uno. Se encuentra asociado a colonias descritas como Tipo 4 y a las estructuras del Tipo 86.

TIPO 86. (Ostrácodo?). Lámina XIV, foto 10.

Corte sagital longitudinal de un par de valvas de un posible ostrácodo. El largo es de 1.2 mm y el ancho de 500 μm . Muchas preparaciones están llenas de este tipo de conchas o valvas, pero éste es el único ejemplar en donde se aprecia con detalle el límite entre ambas valvas.

TIPO 87. Lámina XIV, fotos 11 a 13.

Estructuras en forma de costillas transparentes, arregladas metaméricamente en secuencia (como un juego de costillas humanas). Pueden ser vistas en corte transversal (Lám. XIV, 11 y 13) o en vista longitudinal (Lám. XIV, 12). El arco de una punta a otra de las costillas es de aproximadamente 90 μm , y el ancho de cada costilla varía de 2 a 5 μm .

TIPO 88. Lámina XIV, foto 14.

Ejemplo de una estructura inorgánica que semeja a un filamento algal. Cada uno de los pequeños cuadrados en secuencia semejan a las células de un tricoma, sólo que en este caso no hay una pared que mantenga a las “células” ordenadas en su sitio. No hay septos ni detalles celulares que indiquen que se trata de una estructura orgánica, a diferencia de otras estructuras que se hallan en la misma preparación, con las cuales puede compararse para corroborar este hecho. De no haber en los alrededores estructuras evidentemente orgánicas, sería difícil definir el origen de este “pseudofilamento”.

TIPO 89. (Hifas). Lámina XIV, fotos 15 y 16.

Filamentos fúngicos (hifas) septados y ramificados sin un orden aparente. No presentan contenido ni están asociadas a estructuras que sugieran esporulación. No tienen coberturas externas. Pueden tener de 4 a 6 μm de ancho. La separación de un septo a otro puede ir de 10 a 12 μm . Pueden encontrarse en varias preparaciones, pero éste es el único ejemplar de contorno remarcado y ubicado en un solo plano, otras hifas encontradas son demasiado tenues y es preciso observarlas con profundidad de campo.

TIPO 90. (Resto de artrópodo). Lámina XIV, foto 17.

Posible fragmento de quela, tenaza o aparato mandibular de artrópodo, posiblemente de crustáceo. Se trata de una estructura curva, dentada en la parte cóncava con 5 puntas ordenadas de mayor a menor y que siguen la curvatura externa. La parte en la que se encuentran las puntas es más delgada que la parte curva que las sostiene, lo cual se aprecia por el engrosamiento de la parte opuesta a los dientes. En la parte basal de la curvatura se aprecia un tagma, del cual se ancla la que fuera la base para el movimiento de esta estructura. La parte más ancha tiene 20 μm y el largo total es de 60 μm .

TIPO 91. Lámina XIV, fotos 18 y 19.

Estructuras luniliformes, arqueadas y espiraladas confinadas a espacios circulares de 60 a 70 μm de diámetro. Algunas de estas estructuras espiraladas tienen parecido en forma con conchas de caracoles de jardín (*Helix*). Las que no comparten esta forma pueden observarse en 3D como esferas invaginadas cóncavamente. Estas estructuras son similares a las del Tipo 70, pero varían en tamaño y en la forma espiralada. No se encuentran asociadas a alguna otra estructura en particular. Se arreglan en pequeños conjuntos de varios miembros. Sólo fueron observadas en tres preparaciones.

TIPO 92. Lámina XIV, foto 20.

Tres células unidas que forman una sola unidad. La célula central es oblonga y la pared que la une a sus vecinas es plana, perpendicular al eje longitudinal total. Las células de los extremos tienen forma de "U", es decir que son más alargadas y redondeadas en la punta. No presentan recubrimiento externo o vainas. La membrana del contorno es delgada y tenue. En el interior de todas las células hay contenido disperso, ennegrecido y desordenado que ocupa gran parte del interior de cada una.

TIPO 93. (Formación de cristales). Lámina XIV, fotos 21 a 23.

Crecimientos cristalinos de carbonato de calcio. La forma es siempre esférica, con un núcleo central, marcado, del cual parten círculos concéntricos y radios, visibles en un microscopio petrográfico. Los anillos más externos suelen ser los más marcados. Al estar en corte transversal se aprecian los anillos en un solo plano, pero pueden encontrarse completos o en cortes oblicuos (Lám. XIV, 21, 23). Son muy comunes en las zonas fuera de la matriz rocosa del pedernal en la que se encuentran los microfósiles y los detritus.

TIPO 94. (Concreciones?). Lámina XIV, foto 24.

Agregados minerales de forma esférica o amorfas. En ocasiones varias concreciones se encuentran fusionadas formando cuerpos de forma indefinida, de colores vivos amarillos y anaranjados, de contorno indefinido, continuo o discontinuo, remarcado y granulado. No hay recubrimientos individuales o grupales. Miden de 7 a 15 μm de diámetro. Son fáciles de confundir con cianofitas cocoides, pero detalles como los colores, la textura, los contornos y el arreglo hacen evidente el origen inorgánico de estas estructuras.

ANÁLISIS TAXONÓMICO

Los Tipos presentados por separado a continuación son aquellos que pueden discutirse en cuanto a su clasificación taxonómica y que son útiles como referencia para la interpretación del ambiente.

TIPO 1: Las características encontradas en el Tipo 1 son muy semejantes a las observadas en el género *Tetraedron* del orden Chlorellales, Chlorophyta. Existen varias formas tetraédricas que tienen rasgos

TIPO 92. Lámina XIV, foto 20.

Tres células unidas que forman una sola unidad. La célula central es oblonga y la pared que la une a sus vecinas es plana, perpendicular al eje longitudinal total. Las células de los extremos tienen forma de "U", es decir que son más alargadas y redondeadas en la punta. No presentan recubrimiento externo o vainas. La membrana del contorno es delgada y tenue. En el interior de todas las células hay contenido disperso, ennegrecido y desordenado que ocupa gran parte del interior de cada una.

TIPO 93. (Formación de cristales). Lámina XIV, fotos 21 a 23.

Crecimientos cristalinos de carbonato de calcio. La forma es siempre esférica, con un núcleo central, marcado, del cual parten círculos concéntricos y radios, visibles en un microscopio petrográfico. Los anillos más externos suelen ser los más marcados. Al estar en corte transversal se aprecian los anillos en un solo plano, pero pueden encontrarse completos o en cortes oblicuos (Lám. XIV, 21, 23). Son muy comunes en las zonas fuera de la matriz rocosa del pedernal en la que se encuentran los microfósiles y los detritus.

TIPO 94. (Concreciones?). Lámina XIV, foto 24.

Agregados minerales de forma esférica o amorfas. En ocasiones varias concreciones se encuentran fusionadas formando cuerpos de forma indefinida, de colores vivos amarillos y anaranjados, de contorno indefinido, continuo o discontinuo, remarcado y granuloso. No hay recubrimientos individuales o grupales. Miden de 7 a 15 μm de diámetro. Son fáciles de confundir con cianofitas cocoides, pero detalles como los colores, la textura, los contornos y el arreglo hacen evidente el origen inorgánico de estas estructuras.

ANÁLISIS TAXONÓMICO

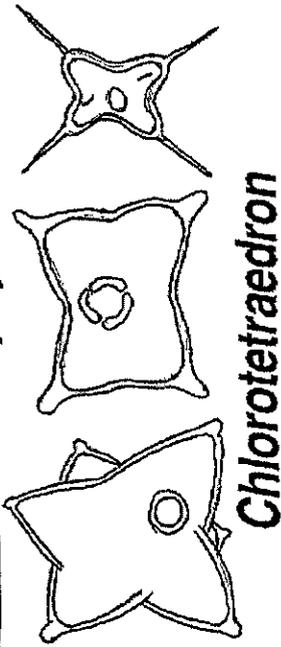
Los Tipos presentados por separado a continuación son aquellos que pueden discutirse en cuanto a su clasificación taxonómica y que son útiles como referencia para la interpretación del ambiente.

TIPO 1: Las características encontradas en el Tipo 1 son muy semejantes a las observadas en el género *Tetraedron* del orden Chlorellales, Chlorophyta. Existen varias formas tetraédricas que tienen rasgos

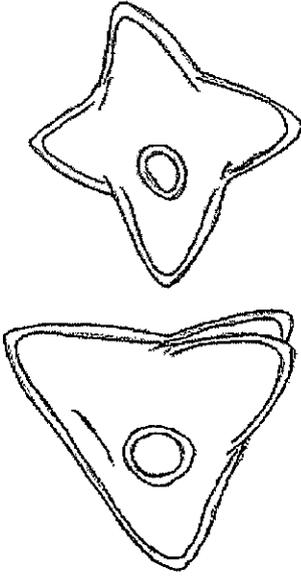
FIGURA 3

ALGAS TETRAEDRICAS Y TIPO TETRAEDRICAS

División Chlorophyta

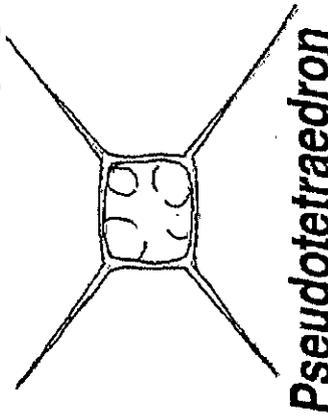


Chlorotetraedron



Tetraedron

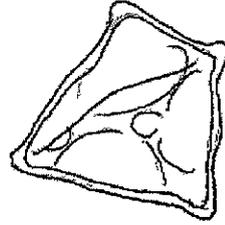
División Xantophyta



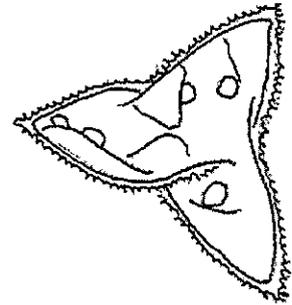
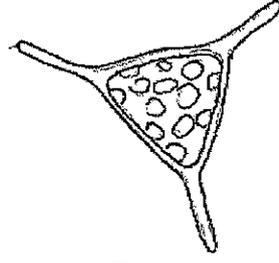
Pseudotetraedron



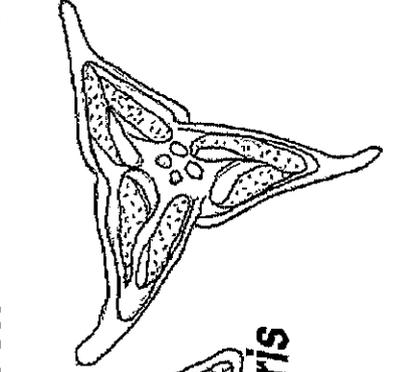
Tetraplektron



Tetradriella



Goniocloris



similares a *Tetraedron* (Fig. 3), pero ninguna comparte al 100% las características de los fósiles. Para este trabajo no se revisaron cultivos de estos tipos algales, pero por fotografías y esquemas de literatura especializada, la semejanza morfológica más cercana al fósil es la de *Tetraedron*.

La razón para descartar a las demás algas tetraédricas es la siguiente: *Chlorotetraedron* mide de 25 a 33 μm diámetro y en su forma madura presenta de 5 a 6 brazos, mientras que *Tetraedron* conserva siempre 4 en su forma madura. *Pseudotetraedron* tiene papilas o espículas demasiado agudas y largas (las células suelen ser de 7 a 12 μm y las espículas de 20 a 30 μm). *Goniochloris* mide de 12 a 45 μm de diámetro, llega a tener como máximo 3 brazos y son de forma triangular, no piramidal, así que del grupo de algas tetraédricas sólo quedan 2 géneros con semejanza morfológica al fósil: *Tetraplektron* y *Tetradriella*.

Se recurrió a un carácter morfológico para poder decir que se trata de *Tetraedron* y no de otro género: el ángulo de apertura en el vértice de los brazos. En el caso de *Tetraplektron*, que mide de 20 a 35 μm de diámetro, el ángulo es menor que el de *Tetraedron*, es decir que sus brazos son más delgados y la curvatura que se forma entre dos brazos es menos marcada en *Tetraedron*, que en ocasiones llega a formar casi una línea recta de una punta a otra (Lám. I, 4, 11-13). En el caso de *Tetradriella*, que mide de 8 a 32 μm de diámetro, las papilas son muy marcadas y, en el caso de las piramidales, la curvatura que hay entre las puntas de los brazos suele ser hacia afuera y no hacia el centro de la célula, siendo entonces más triangulares y poco redondeadas. Otras especies de *Tetradriella* presentan todos los brazos siempre en un mismo plano y tienen ornamentos (granulosidades) muy notorios. A pesar de las semejanzas, las especies de *Tetraplektron* y *Tetradriella* que se parecen a los fósiles, en ningún caso coinciden en tamaño.

Según Huber (1983) actualmente hay 5 especies de *Tetraedron*: *T. triangulare*, *T. regulare*, *T. minimum*, *T. caudatum* y *T. pentaedricum*. Otras antiguas especies se han cambiado a otros órdenes y divisiones por el tipo de pared, el número de núcleos, el tipo de sustancias de reserva y el tipo de reproducción (Kováčic, 1975). De las 5 especies actualmente consideradas, la que más coincide en forma y tamaño con el Tipo 1 es *Tetraedron regulare*, que se distingue por ser planctónico de agua dulce, mononucleado, de reproducción por autosporas y pared de esporopolenina (Huber, 1983, Kováčic, 1975), poseen normalmente 4 brazos en su forma madura y no tienen grandes papilas (Bourrelly, 1972).

TIPO 2: Los ejemplares del Tipo 2 tienen semejanza morfológica y diamétrica con una gran variedad de especies algales. Se han encontrado semejanzas con especies actuales de *Chlorella vulgaris* mediante

observación de cultivos. Al considerar el ciclo de vida de las algas, en todas las divisiones existen formas circulares de todos los tamaños, sin embargo las clorofitas son participantes activas en la construcción de estromatolitos (Cevallos Ferriz, 1981). Por otra parte, las características de *Chlorella vulgaris* en cultivo (Lám. III, 3-8) son perfectamente compatibles en forma, tamaño y arreglo con los fósiles del Tipo 2. Una característica compartida por estos microfósiles es el achatamiento que presentan en la "membrana" interna, que también es observable en células que han perdido sus flagelos.

Actualmente, reconocer especies o incluso géneros de *Chlorella* y *Chlorococcum* puede ser problemático, pues la forma no es, en ningún caso, representativa, a diferencia de la forma del cloroplasto, la posición del mismo, el tipo de esporas, el tipo de pigmentos, el tipo de reproducción o el tipo de sustancias de reserva, que son características necesarias para la determinación de especies e incluso géneros actuales (Starr, 1955), pero imposibles de encontrar en estos fósiles.

En los estromatolitos actuales pueden coexistir muchos tipos de algas que crecen sobre ellos, y aunque algunas no sean participantes activas en la construcción del estromatolito, sí pueden quedar sepultadas en los sedimentos junto con sus esporas, que por su forma podrían confundirse con clorofitas cocoides, en este caso *Chlorella* o *Chlorococcum* o alguna otra clorofita esférica. Además, estos últimos dos géneros tienen especies edáficas, planctónicas y bentónicas, así que si quedaron en el pedernal y eran planctónicas, también formas esféricas de otras especies pudieron depositarse en el sitio. Sólo si fueron bentónicas podríamos decir que estaban formando al estromatolito y por tanto se podría hablar de clorofitas, y dentro de las clorofitas la semejanza más aproximada es con *Chlorococcum* y *Chlorella*.

TIPO 3: En este Tipo existe una semejanza morfológica muy alta con especies de *Rivularia*, *Calothrix*, *Sacconema* y *Gloeotrichia* (Nostocales, Cyanoprokaryota), géneros todos con especies dulceacuícolas, mayormente bentónicas. Dentro de la familia Rivulariaceae (Nostocales, Cyanoprokaryota) existen muchos géneros con especies similares entre sí: filamentos de forma atenuada, con un heterocito terminal externo (fuera de la vaina mucilaginosa) y uno o más acinetos seguidos de células fotosintéticas en serie dentro de la vaina mucilaginosa. En los microfósiles del Tipo 3 pueden apreciarse células totalmente diferenciadas de las demás, dentro y fuera de la vaina; a las células diferenciadas externas podríamos llamarlas heterocitos, y a las internas acinetos, ambas presentes.

Entre los géneros antes mencionados pueden hacerse ciertas distinciones: *Sacconema* se caracteriza por contener más de un tricoma dentro de una sola vaina, generalmente estratificada, por lo cual sin duda se puede descartar, pues a pesar del parecido morfológico que tengan los filamentos individualmente, en

ningún caso los fósiles presentan dos o más tricomas en una sola vaina. *Calothrix* se arregla en colonias no muy compactas, incluso pueden encontrarse filamentos solitarios, no tienen arreglo paralelo y no todas las especies tienen heterocito (Prescott, 1970). Por otro lado *Calothrix* raramente crece en colonias profusas que forman tapetes, es más bien epifítica o bentónica, en manchones o "spots" coloniales de pocos individuos. En las especies que crecen colonialmente adheridas al sustrato es común encontrar vainas mucilaginosas vacías, con el arreglo original de los filamentos, lo cual es muy conspicuo en las preparaciones. *Gloeotrichia* es de arreglo radial y los acinetos son generalmente cilíndricos, de gran tamaño (por lo menos 4 veces el tamaño del heterocito). En los fósiles encontrados, el arreglo nunca es radial, sin embargo se aprecian acinetos cilíndricos y alargados en los fósiles, por lo que queda en duda el parentesco con *Gloeotrichia*. *Rivularia* se caracteriza por la ausencia de acinetos y porque todas sus especies crecen adheridas a un sustrato sumergido (bentónicas), con arreglo paralelo y estratificado, es decir que en las colonias maduras pueden encontrarse zonaciones de distintas generaciones (Prescott, 1970). Por ciertos rasgos se podría descartar la posibilidad de que sea *Rivularia*, pues carece de acinetos, sin embargo el arreglo de las colonias actuales es muy parecido al arreglo que presentan los fósiles, y en el caso de los filamentos pequeños la forma es muy similar.

Con esta información podemos hablar de un parecido entre los fósiles y estos géneros de Rivulariaceae, pero existe confusión a la hora de establecer una relación de parentesco, pues al tratar de hacerlo aparecen datos que se contraponen o no coinciden con lo observado. Para definir un parentesco entre los fósiles del Tipo 3 y los géneros actuales serían necesarias observaciones más detenidas, para poder considerar detalles más finos de la organización de las células, las distintas morfologías presentadas por las especies durante el ciclo de vida y las tallas en general, o pensar en que se trata de una especie distinta.

TIPO 4: Hay casos en los que no es difícil distinguir el grupo orgánico al que pertenece un microfósil, pero cuando se trata de simples estructuras esféricas de no más de 10 μm de diámetro, resulta más complicado. Para solucionar este problema hay que hacer uso de otros elementos que no impliquen únicamente la forma del fósil. Como ejemplo está el Tipo 4, el cual pudiera ser confundido con esporas de hongos o concreciones, así que para decidir si son o no algas se recurrió principalmente al tamaño, al arreglo, a las cubiertas hialinas que pueden encontrarse rodeando a las colonias (mucilago) y a la carencia de ornamentación en la pared. Para no confundirlas con esporas de hongos tenemos que tomar en cuenta que éstas suelen tener el mismo tamaño al momento de ser liberadas, que la pared es

ornamentada con punteaduras, granulidades o septos internos y que nunca se encuentran cubiertas de mucilago.

Formas microscópicas como las del Tipo 4 pueden encontrarse casi en cualquier ambiente acuático, pero por el tamaño, sólo puede pensarse en algas que se agreguen en colonias y que formen pseudofilamentos. Estas características las reúnen específicamente las cianofitas cocoides del orden Chroococcales (Cyanoprokaryota).

Dentro de las cianofitas Chroococcales hay actualmente 7 familias: Microcystaceae, Chroococcaceae, Entophysalidaceae, Chamaesiphonaceae, Dermocarpelaceae, Xenococcaceae e Hydrococcaceae, que se diferencian entre sí, básicamente por la forma de las paredes a lo largo del ciclo de vida, el arreglo, el tamaño y los planos de división (Komárek y Anagnostidis, 1986). De estas familias, las únicas que incluyen organismos cocoides coloniales y no adheridos al sustrato en colonias sésiles pseudoparenquimatosas son Microcystaceae y Chroococcaceae, que son las familias propuestas para el Tipo 4. Para identificar un género dentro de estas familias sería muy útil evidenciar los planos de división celular para complementar con la morfología.

En las colonias de este tipo no se han encontrado células en división, a pesar de que las colonias pueden llegar a ser extensas, y los planos en que se encuentran no tienen un patrón reconocible, están mas bien desorganizadas. Sin embargo, dentro de las colonias se encuentran células de distintos tamaños, sugiriendo que no todas corresponden a la misma etapa de vida. Por otro lado, es difícil hacer comparaciones satisfactorias únicamente revisando ilustraciones de literatura especializada, pues incluso los autores difieren en sus descripciones. Por ejemplo, Starmach (1966) establece el intervalo diamétrico de *Microcystis aeuruginosa* de 3 a 9.4 μm , mientras que Desikachary (1959) lo establece de 3 a 7 μm . Esta diferencia podría ser irrelevante para un taxónomo cuando tiene a su disposición muchos más elementos a considerar para la determinación, pero es primordial para quien cuenta con sólo 2 o 3 elementos reconocibles. Uno de ellos es la tendencia a formar pseudofilamentos, característica que es común encontrar en especies de *Microcystis* y *Aphanocapsa* (Komárek y Anagnostidis, 1986).

TIPOS 5, 6 y 7: Los filamentos Tipos 5, 6 y 7, tienen diferencias considerables en la forma y el tamaño, por lo cual son tomados como tipos distintos, pero a pesar de ello presentan un patrón repetitivo en la forma de la pared en corte transversal y traslapes entre los septos que semejan a valvas o frústulas en forma de H, así como una forma en corte transversal semejante a diatomeas del Orden Pennales, de la familia Fragilariaceae.

Las diferencias más pronunciadas entre los Tipos 5 y 6 son el diámetro y el número de ondulaciones por septo, pero ambos presentan contenido y distribución similar, pueden estar asociados, tienen septos ondulados y la misma forma de cruzeta en corte transversal. Se podría pensar en dos especies distintas, aún cuando dentro de un mismo tipo filamentoso pueda encontrarse una alta variabilidad, o en su defecto estar viendo distintos estadios de vida. En la foto 16 de la lámina VI, los filamentos Tipos 5 y 6 parecen ser el mismo; compárese con la foto 3 de la misma lámina: las diferencias entre ambas radica en la ondulación de los septos, pero guardan las mismas características, incluso en el arreglo.

Los Tipos 5 y 6 tienen parecido morfológico con algas del género *Tabellaria* (Heterokontophyta, Bacillariophyceae), que posee valvas de sílice y puede presentar ondulaciones en unión con las células vecinas (a lo que llamaríamos "septo"), sólo el 30% de las especies son planctónicas, casi todas las especies son lacustres y tienen la misma forma que los fósiles en vista valvar.

El Tipo 7 es un poco distinto, pues en corte transversal es fusiforme, alargado, y es más gregario que los anteriores. En este caso la vista puede variar dependiendo de si es longitudinal o lateral. En corte transversal, los filamentos Tipo 7 semejan a diatomeas del género *Fragilaria* y *Navicula*, diatomeas que en la naturaleza pueden encontrarse formando cadenas de células en serie, con la característica de dejar una pequeña separación entre las valvas de unas y otras células (Dra. Marta Ferrario, com. pers.). Este mismo patrón puede ser observado en los filamentos fósiles, en donde, además de existir esta separación (Lám. VII, 3, 10), puede apreciarse lo que podría ser un rafe en sólo una de las vistas transversales (Lám. VII, 18). Para poder decir que estos filamentos son diatomeas habría que evidenciar la ornamentación de la pared (rafes y estrías) en por lo menos uno de los ejemplares de cada tipo; de no aparecer éstos, habría que estudiar el tipo de fosilización para saber si las estrías y punteaduras pudieron ser rellenadas por el sedimento, o si realmente éstas no existían.

TIPO 8: Este Tipo se encuentra siempre asociado al Tipo 7. Su morfología es semejante a diatomeas del género *Melosira* (Bold y Wynne, 1985), aunque también pudiera tratarse de estructuras reproductoras de diatomeas Pennales, lo cual sería más coincidente en el caso de que el ambiente fuera de agua dulce.

TIPO 9: Pocos microorganismos en la naturaleza tienen forma helicoidal. Microorganismos caracterizados por esta forma son las cianobacterias filamentosas del género *Spirulina* y *Arthrospira* (ambos con especies planctónicas y bentónicas, salobres, marinas y dulceacuícolas). Algunos autores toman por separado estos géneros y otros los consideran uno mismo. En este trabajo se toman los géneros separados por la siguiente razón: las especies de *Arthrospira* poseen septos visibles sin

necesidad de tinciones, mientras que en las especies de *Spirulina* es necesaria la tinción para poder observarlos (Anagnostidis y Komárek, 1988). En los filamentos del Tipo 9 se cumplen todas las características descritas para el género *Spirulina* (Oscillatoriales, Cyanoprokaryota) y no para el género *Arthrospira*, ya que en ningún caso fueron observados septos y porque las especies de *Spirulina* son las que coinciden en talla con los fósiles. Existe una especie, *Spirulina subsalsa*, que puede tener compactación variable en sus tricomas. Es una especie de agua dulce que forma colonias masivas, características que pueden ser igualmente observadas en los fósiles. La ausencia de heterocitos se debe a que este género se multiplica por hormogonios o fragmentación de los tricomas (Drouet, 1938), lo cual podría ser una explicación a observar tantos fragmentos pequeños (que podrían ser producto de la multiplicación y dispersión), y encontrar sólo a los filamentos más largos formando a las colonias.

TIPO 10: En este caso se puede afirmar que se trata de cianofitas cocoides del orden Chroococcales dado el arreglo colonial cuadrado y cúbico y la forma celular circular envainada. Dentro de este Tipo pueden detectarse procesos de división por fisión binaria, dado que dentro de un cenobio pueden encontrarse dos pequeñas células en el espacio que ocuparía una sola célula madura, y por ende las colonias resultantes adquieren forma cúbica. En los procesos de división de especies actuales, esas pequeñas células, que han sido producto de una división, crecen antes de volverse a dividir, tal que los espacios dentro de la colonia vuelvan a ser ocupados por células maduras y así sucesivamente. En los fósiles se observan dos o más planos de división, donde la primera división es en un plano y la segunda en otro distinto: imaginando una sola célula, en la primera división habrá dos células en un mismo plano, en la segunda habrá 4 células en el mismo plano y en la tercera habrá 8 células en 2 planos paralelos (4 en un plano y 4 en otro). Esta forma de división se presenta en las familias Microcystaceae y Chroococcaceae (Komárek y Anagnostidis, 1986). Géneros representativos de colonias cuadradas y cúbicas son *Merismopedia*, *Chroococcus* y *Eucapsis*. De estos géneros, el más aproximado en forma a los microfósiles es *Chroococcus*, que forma colonias mucilaginosas en conjuntos de 2 a 16 células, separadas unas de otras y sin vainas estratificadas. Los agregados pueden ser cúbicos o amorfos cuando están conformados por células juveniles (Prescott, 1970).

TIPO 13: Este Tipo destaca por sus peculiares características morfológicas; son las únicas células con una o más estratificaciones en la vaina. Por el tamaño, el arreglo y las características del recubrimiento semejan a especies del género *Gloeocapsa* (Chroococcales, Cyanoprokaryota). Las especies de este género son coloniales, las células crecen envueltas en capas concéntricas de mucílago (vainas

estratificadas), que al juntarse con otros grupos de células forman masas gelatinosas, dentro de las cuales van multiplicándose por generaciones. Muchas de las especies suelen medir de 4 a 7 μm , lo cual es compatible con los fósiles, por lo que el Tipo 13 se propone como miembro del orden Chroococcales y posiblemente dentro del género *Gloeocapsa*.

Los filamentos del Tipo 24 no han sido identificados aún, pero podemos suponer que se trata de un tipo algal perteneciente a la división Chlorophyta o Xanthophyta, pues es una forma simple, uniseriada y no ramificada. Una característica notable son las concavidades que se forman en los extremos de cada célula, lo cual podría ser un carácter importante para la identificación, al igual que la forma redondeada de la célula terminal y la presencia de una envoltura. Se descarta de que sea un filamento fúngico, pues a pesar de que estos últimos pueden presentar concavidades en el extremo de las células, suelen ser de menor tamaño, con protuberancias y/o ramificaciones notorias.

El Tipo 11 junto con el Tipo 15 semejan a palinomorfos del tipo de la familia Leguminosae, así como a esporas fúngicas espiraladas y monoporadas del género *Involutisporonites* descritas para el Terciario (Kar y Saxena, 1983) y a clamidosporas fúngicas, designadas como pertenecientes de un cuerpo de agua eutrófico salobre, de donde se reportan también diatomeas, plantas dicotiledóneas y varios palinomorfos, también del Terciario (Pals, *et al.* 1980).

A la mayoría de los tipos no identificados con forma circular delimitada por una o varias capas o paredes, podríamos catalogarlos como acritarcos, categoría que engloba a todas aquellas estructuras orgánicas, circulares y con paredes simples o estratificadas de 5 a 240 μm de diámetro (Evitt, 1963), características compatibles con varios de los microfósiles no identificados, sin descartar que puedan ser algales, dado que compartían el mismo hábitat que los microorganismos sí identificados.

De estos acritarcos llama la atención que todos los que poseen contenido son mayores a 10 μm , no así los que son menores a esa talla. Estas características han sido tomadas en cuenta con anterioridad para diferenciar las condiciones de procarionte y eucarionte (Schopf, 1976). Considerando eucariontes a los organismos mayores a 10 μm que tengan contenido, pueden hacerse comparaciones entre los grupos que incluyan formas de vida microscópicas, acuáticas y esféricas, dentro de las cuales el primer grupo a considerar serían las algas.

Otras estructuras aquí descritas son fragmentos o cortes de organismos multicelulares (ostrácodos, plantas, artrópodos), que para ser identificados tendrían que ser encontradas las demás partes del

organismo, en una evidente conexión orgánica, lo cual muchas veces no es posible, ya que las técnicas de laminación no son selectivas. Tal vez con el avance de la tecnología se puedan hacer observaciones con rayos X antes de cortar las muestras, y así poder seleccionar los planos y secciones de corte, en donde los organismos queden completos.

En cuanto a la ubicación taxonómica, la limitante de los fósiles de no tener acceso a todas las características, impide precisar especies. En un momento dado sería necesario nombrar nuevas especies fósiles para reconocer a los microfósiles por sus particulares características y no por las de los géneros actuales. Una vez que se encuentran semejanzas que sugieren un parentesco entre fósiles y actuales, se puede involucrar al ambiente, ya que la ecología de los organismos es parte fundamental para su caracterización (Komárek, 1987), y los ambientes en el pasado pudieron ser semejantes a los que existen actualmente.

DISCUSIÓN

IMPORTANCIA DE LOS MICROFÓSILES.

Sólo un 30% de los microfósiles descritos han podido ser identificados hasta el momento (Gráfica 1); la mayoría de los no identificados son formas esféricas y masas amorfas sin ninguna característica distintiva que permita ubicarlos en algún grupo taxonómico. En algunos casos se hace evidente la condición unicelular, pero en otros casos es difícil determinar si son microorganismos independientes, organismos unicelulares incompletos o partes de organismos multicelulares, sin embargo dan idea de la diversidad y la abundancia. En este sentido los microfósiles de Huépac podrían ser punto de partida para discusiones y disertaciones sobre otros ambientes antiguos y sus microfloras.

A pesar de la buena conservación, los microfósiles tienen el inconveniente de no ser manipulables en cuanto a tinciones, cultivos o análisis bioquímicos convencionales; además por ser microscópicos, la resolución de los detalles y la observación en general es menos precisa que con macroorganismos. El hecho de que se encuentren embebidos en el pedernal representa también una dificultad, pues mientras que diatomeas u otros tipos algales actuales pueden observarse desde varios ángulos (girándolos, moviendo el cubreobjetos), en los microfósiles el ángulo de observación es inamovible. Cuando existen muchos representantes de un mismo tipo se puede reconstruir tridimensionalmente la forma, pero cuando se cuenta con dos o tres ejemplares, los elementos a considerar disminuyen. A esto hay que agregar que

organismo, en una evidente conexión orgánica, lo cual muchas veces no es posible, ya que las técnicas de laminación no son selectivas. Tal vez con el avance de la tecnología se puedan hacer observaciones con rayos X antes de cortar las muestras, y así poder seleccionar los planos y secciones de corte, en donde los organismos queden completos.

En cuanto a la ubicación taxonómica, la limitante de los fósiles de no tener acceso a todas las características, impide precisar especies. En un momento dado sería necesario nombrar nuevas especies fósiles para reconocer a los microfósiles por sus particulares características y no por las de los géneros actuales. Una vez que se encuentran semejanzas que sugieren un parentesco entre fósiles y actuales, se puede involucrar al ambiente, ya que la ecología de los organismos es parte fundamental para su caracterización (Komárek, 1987), y los ambientes en el pasado pudieron ser semejantes a los que existen actualmente.

DISCUSIÓN

IMPORTANCIA DE LOS MICROFÓSILES.

Sólo un 30% de los microfósiles descritos han podido ser identificados hasta el momento (Gráfica 1); la mayoría de los no identificados son formas esféricas y masas amorfas sin ninguna característica distintiva que permita ubicarlos en algún grupo taxonómico. En algunos casos se hace evidente la condición unicelular, pero en otros casos es difícil determinar si son microorganismos independientes, organismos unicelulares incompletos o partes de organismos multicelulares, sin embargo dan idea de la diversidad y la abundancia. En este sentido los microfósiles de Huépac podrían ser punto de partida para discusiones y disertaciones sobre otros ambientes antiguos y sus microfloras.

A pesar de la buena conservación, los microfósiles tienen el inconveniente de no ser manipulables en cuanto a tinciones, cultivos o análisis bioquímicos convencionales; además por ser microscópicos, la resolución de los detalles y la observación en general es menos precisa que con macroorganismos. El hecho de que se encuentren embebidos en el pedernal representa también una dificultad, pues mientras que diatomeas u otros tipos algales actuales pueden observarse desde varios ángulos (girándolos, moviendo el cubreobjetos), en los microfósiles el ángulo de observación es inamovible. Cuando existen muchos representantes de un mismo tipo se puede reconstruir tridimensionalmente la forma, pero cuando se cuenta con dos o tres ejemplares, los elementos a considerar disminuyen. A esto hay que agregar que

la representatividad numérica de los ejemplares no implica necesariamente que estén bien conservados, muchas veces están rotos, incompletos, borrosos o con silueta muy tenue.

Es importante mencionar que, a pesar de los inconvenientes que pueda haber en la observación e interpretación, el valor biológico, geológico, paleontológico y evolutivo representado por este material es enorme, entre otras cosas porque muchos microfósiles se encuentran muy bien conservados y permiten una apreciación detallada de sus estructuras, ayudando así a la determinación taxonómica, lo cual involucra que puedan ser más de un género los que comparten características con los fósiles. Una vez propuesto un parentesco, se puede hacer una relación entre la biología de ambos y así agrandar el rompecabezas, extrapolando la información del presente hacia el pasado.

DIVERSIDAD Y REPRESENTATIVIDAD.

El contenido del pedernal demuestra que la ficoflora fósil de Huépac era bastante avanzada evolutivamente, en cuanto a diversidad y riqueza se refiere, a diferencia de ficofloras Precámbricas en donde el registro fósil es solamente algal. En el Cretácico ya existían todos los grupos taxonómicos hoy conocidos, con muchos organismos muy parecidos a los actuales, claramente emparentados, si no por especies en particular, sí con alcances de orden, familia y género. Sin embargo, en términos de microorganismos fotosintéticos, no se puede asegurar que las especies que vivieron en esa época sean iguales a las especies actuales. Posiblemente algunas especies se hayan extinguido o hayan ido modificándose morfológicamente a través del tiempo, lo cual resulta en un paradigma para la interpretación ecológica de los organismos, pues la morfología, que puede ser constante en el tiempo, quizá no sea relativa a cambios fisiológicos, y hasta ahora no se ha comprobado que organismos que conservan la misma forma a través del tiempo, hayan modificado su fisiología (Pennisi, 1994). Si hubo cambios bioquímicos y metabólicos en las especies no podemos saberlo, pero si tales cambios ocurrieron, puede ser que el nicho ecológico que ocuparan también haya cambiado, así que dentro de este planteamiento no podríamos asegurar que los organismos que actualmente son estrictamente de agua dulce, en el pasado también lo hayan sido.

Para salir de este dilema y tener la certeza de que los hábitos de los organismos actuales tomados para la comparación con los microfósiles de Huépac siguen siendo los mismos, habría que revisar el registro fósil de microorganismos que no hayan tenido grandes variaciones morfológicas, pero que los ambientes globales por los que han pasado sí hayan cambiado sustancialmente. Un ejemplo de ello son filamentos

de cianofitas o cianobacterias Oscillatoriales, que aparecen desde el Precámbrico y que han mantenido casi intacta su forma hasta hoy (Pennisi, 1994; Schopf, 1971).

Se sabe que las condiciones ambientales y atmosféricas del Precámbrico (oxígeno, luz, nutrientes, salinidad, % de óxido-reducción, cantidad de rayos UV, etc.) fueron totalmente distintas a las del Mesozoico y más aún a las actuales (Zubakov y Borzenkova, 1990), por lo tanto, es casi seguro que estos organismos tuvieron que modificarse fisiológicamente para irse adaptando a las condiciones cambiantes y subsistir hasta la actualidad.

Contrariamente al Precámbrico, en el Cretácico las condiciones atmosféricas y ambientales eran presumiblemente más parecidas a las actuales, aunque no con la misma distribución climática y geográfica (Barash, 1985, Zubakov y Borzenkova, 1990). Siendo condiciones similares las del Cretácico a las actuales, hay mayores probabilidades de que los hábitos que tuvieron los organismos algales, sigan siendo los mismos.

A pesar de no contar con identificaciones satisfactorias para todos los ejemplares encontrados, es evidente que el cuerpo de agua estaba habitado por un gran número de organismos, dentro de los cuales las cianofitas o cianobacterias parecen ser dominantes en número, ya que en el 95% de las preparaciones aparecen microorganismos de este tipo. Por ejemplo, *Spirulina*, *Gloeocapsa*, *Microcystis*, *Rivularia* y Chlorococcales como *Chlorella* y *Chlorococcum* (por mencionar algunos), tienen especies dulceacuícolas, y entre éstas las puede haber bentónicas o planctónicas, lo cual no representa un obstáculo al pensar en una zona dulceacuícola.

Algunos microfósiles, por las características particulares que poseen, pueden tomarse como especies clave o indicadoras, como es el caso del Tipo 1, parecido a *Tetraedron*, que actualmente es estrictamente planctónico y de agua dulce, y que plantea la imagen de una zona continental, lacustre, con muy poca o nula influencia salina, con cuerpos de agua someros posiblemente muy extendidos. Cabe mencionar que este género ha sido reportado como parte integral de microfloras fósiles planctónicas dulceacuícolas del Cretácico temprano (Hauteriviano-Barremiano) (Batten y Lister, 1988). Las particulares características del género y la semejanza que tienen con los fósiles, hablan de la importancia de los microfósiles Tipo 1 para la reconstrucción del paleoambiente como un cuerpo de agua dulce.

Otras especies indicadoras pudieran ser los filamentos Tipos 5, 6 y 7 (que pudieran estar emparentados entre sí) tienen formas semejantes a diatomeas del orden Pennales (Fragilariaceae), que son casualmente las dominantes en cuerpos de agua dulce (Patrick, 1977). Las diatomeas fósiles más

antiguas datan del Cretácico temprano (120 m.a.), son de origen marino y del orden Centrales, mientras que las dulceacuícolas aparecen en el Cretácico tardío (60 m.a.) y son del orden Pennales (Van den Hoek *et al.*, 1995) y las Pennales más antiguas son marinas, del Cretácico tardío (70 m.a.) (Tappan, 1980).

Esto abre tres posibilidades: a) que no sean diatomeas y el cuerpo haya sido dulceacuícola, b) que el ambiente no haya sido dulceacuícola y se trate de diatomeas marinas, c) que se trate de diatomeas dulceacuícolas. En cualquier caso, por la edad de la Formación, estaríamos hablando de las diatomeas Pennales fósiles más antiguas (entre 70 y 90 m.a.), sin importar el origen marino o dulceacuícola. Para resolver esto, podrían hacerse pruebas de microscopía electrónica para observar rasgos distintivos y únicos de las diatomeas (rafes, estrías, punteaduras, etc.), lo que implica deshacer al pedernal (que es 90% sílice) con HF (ácido fluorhídrico) para separar a los organismos de la matriz, aunque de esta manera se corre el riesgo de que las posibles valvas de sílice queden también destruidas.

Cabe mencionar que de las diatomeas Pennales, sólo las que tienen rafe son móviles; las que carecen de esta característica suelen dispersarse por arrastre (Van den Hoek *et al.*, 1995) Ya que en los ejemplares encontrados no hay rafes bien evidenciados, se puede pensar que, de ser diatomeas, éstas estaban necesariamente vinculadas a humedad constante (un cuerpo de agua), pues las que son subaéreas o viven en suelos, necesitan desplazarse hacia sitios con humedad cuando hay desecación, y esto evitaría una discusión sobre el hábitat de estos organismos.

Como una reflexión, vale considerar que ciertas asociaciones de diatomeas y cianobacterias construyen actualmente estromatolitos en cuerpos de agua dulce (Lee, 1989; Winsborough y Golubbic, 1987), y aunque no se conocen estas asociaciones en el Cretácico, pudiera tratarse de la evidencia más antigua de diatomeas formadoras de estromatolitos.

Un paso importante para la descripción ecológica, y por tanto ambiental, reside en conocer cuáles organismos eran parte constitutiva del estromatolito y cuáles no. Se sabe que, de los microorganismos constructores de estromatolitos, las cianofitas son siempre dominantes (Golubbic y Campbell, 1981) y representan al motor constructor principal de dichas estructuras. Conociendo a los organismos bentónicos de este tipo representados en Huépac, se puede sugerir que éstos participaron en la construcción del estromatolito.

La primera aproximación a este problema es la diferenciación entre los organismos bentónicos y los planctónicos, para lo cual es necesaria la identificación taxonómica de los tipos.

Partiendo de que los organismos que construyeron al estromatolito tuvieron que ser estrictamente bentónicos, se espera que al ser sepultados guardaran una relación espacial con respecto a la superficie del estromatolito, similar a la que tuvieron cuando vivían, por lo tanto, deberían encontrarse en la parte que limita al estromatolito del pedernal que los embebe y ser además la mayoría representada. Dentro de la diversidad que pueda encontrarse en esta parte del pedernal, habrá organismos que tuvieran también hábitos planctónicos, que hayan sido facultativos (bentónicos y planctónicos) o que hayan quedado sepultados en ese sitio.

Muchas especies de cianobacterias pueden encontrarse en muy variados ambientes acuáticos (marinos, salobres, dulceacuícolas, hidrotermales, superficiales, profundos, etc.) y en hábitos bentónicos y planctónicos, incluso algunas (por ejemplo de *Spirulina*) tienen vacuolas de gas que las hacen subir y bajar en la columna de agua, o flotan por el mismo O₂ que desprenden de la fotosíntesis (Drouet, 1980; Fott y Karim, 1973), lo cual hace imprecisa la descripción de un hábito fijo. En este caso, la participación de este tipo de organismos en la construcción del estromatolito tendría que ser considerada bajo criterios definidos y comparativos de abundancia y representatividad, sin que haya obstáculos en pensar que eran parte complementaria de la microfiora circundante.

Algunos de los microfósiles a los que se adjudican hábitos estrictamente bentónicos, y que por lo tanto se proponen como participantes en la construcción del estromatolitos son el Tipo 3 (Rivulariaceae) y los Tipos 5, 6, 7 y 8 (Heterokontophyta, Bacillariophyceae). Los que se proponen como facultativos son el Tipo 2 (Chlorophyta), el Tipo 4 (Chroococcales), el Tipo 9 (Nostocales), el Tipo 10 (Chroococcales) y el Tipo 13 (Chroococcales).

AMBIENTE Y ECOLOGÍA.

Otro aspecto ecológico importante, además del de conocer a los organismos constructores del estromatolito, reside en saber si el cuerpo de agua en donde crecían los estromatolitos era continental o marino. De ser marino, todos los organismos encontrados debieron estar, por ende, adaptados a un ambiente salino. De ser continental, el cuerpo de agua pudo tener gradientes de salinidad variables (de salino a dulceacuícola), lo cual no ha sido definido todavía.

De tener un cuerpo acuático continental, la diversidad de organismos que puedan encontrarse aumenta considerablemente en proporción al área, pues no sólo se tendrán a los que son "salinos" y a los que son

"dulceacuícolas", sino también a toda una gama transitoria, a la que podríamos llamar "facultativa" o "transitoria", que estaría poblando las zonas de transición entre el agua salada y el agua dulce.

Las características ambientales y ecológicas de los cuerpos de agua en donde viven actualmente los estromatolitos son tan variadas como las del pasado (de hipersalinas a dulceacuícolas, marinos, continentales, tropicales, boreales, polares. etc.) (Pratt, 1979), sólo que en el pasado la incidencia de éstos era más común y grandes extensiones de estromatolitos podían poblar muchos tipos de ambientes diferentes (Monty, 1977). Una amplia gama de ambientes pudieran pensarse entonces para los estromatolitos de Huépac, tal como variados son los ambientes en donde viven hoy las algas, sin embargo ciertas características geológicas, geofísicas y paleontológicas (como la posición continental de Sonora en aquella época, la salinidad del mar, la tasa de depositación de carbonatos, el tipo de fósiles, etc.), ayudan a precisar ciertos parámetros ecológicos, limnológicos, climatológicos, etc., que restringen un poco más la idea del ambiente. Por ejemplo: dada la cantidad de materia orgánica o detritus presente en el pedernal, se puede pensar que en algunas épocas del año el cuerpo de agua se volvía eutrófico, propiciando rápidos incrementos en las poblaciones planctónicas, simultáneamente en que los fondos se volvían anóxicos, propiciando que muchos minerales del sedimento se disolvieran en el agua y fueran incorporándose al estromatolito junto con la materia orgánica.

El hecho de encontrar restos vegetales, como tallos, frutos y granos de polen, no indica con certeza que el ambiente sedimentario haya sido continental, ya que pudieron llegar al mar por arrastre, pero la presencia de raíces asociadas al mismo pedernal, que tuvieron que estar bajo tierra o adheridas a un sustrato firme y por probabilidad sepultadas *in situ*, apoya la idea de que los estromatolitos de Huépac crecieron en un sistema hidrológico continental.

Otro aspecto interesante que puede complementar las reconstrucciones es la altura de los estromatolitos, pues a mayor tamaño, mayor viabilidad de crecimiento, y eso indica circunstancias favorables para los microorganismos. A simple vista resalta que en algunos estratos de Huépac, los estromatolitos superan los 2 m de altura. Para tener una idea del tiempo que tarda en formarse un estromatolito basta con tomar de ejemplo a los estromatolitos columnares de las Bahamas y a los estromatolitos domales de Shark Bay en Australia (ambos actualmente creciendo), que tienen una edad en la base de entre 1.8 y 2 millones de años, en una altura máxima de 1 m (Read, 1976); es decir que su tasa de crecimiento no llega a 1 mm por año, y aunque en general las tasas de sedimentación de todos los estromatolitos son ínfimas, este dato no es una norma, pues existen muchos factores que determinan la velocidad de crecimiento de un

estromatolito, como son: el tipo de algas que lo forman, las condiciones de luz, nutrientes, el espacio que tengan para crecer, la turbulencia de la zona en donde están creciendo, la cantidad de organismos que lo erosionan (moluscos, equinodermos, crustáceos, etc.) y la frecuencia con que lo hacen, por mencionar sólo algunos.

Se ha visto que tapetes algales de cianobacterias pueden crecer a profundidades de hasta 100 m (Drouet, 1963), en donde la luz que llega es muy escasa, y se han hecho observaciones de la velocidad de crecimiento en relación a la profundidad, concluyendo que las zonas de mayor velocidad de crecimiento se dan a partir de los 10 m de profundidad de la zona supermareal (Gebelein, 1969). Para que un estromatolito tenga un crecimiento que supere los 2 m de altura (como en Huépac), se requieren sin duda condiciones de alta concentración de sales, tal que la precipitación de carbonatos se esté llevando a cabo continuamente y en grandes proporciones, y para que esto ocurra es necesaria mucha actividad fotosintética que desprenda el oxígeno suficiente que propicie tales reacciones químicas en el agua, que a su vez requiere de la luz solar, la cual es mejor recibida por las algas en aguas que no sobrepasen los 10 m de profundidad. Si a esto sumamos un aporte de sedimentos fluviales o de remoción por agitación, que caen sobre los tapetes algales, la velocidad de crecimiento aumentaría sustancialmente.

Entre más crece un estromatolito, mayor velocidad de crecimiento va adquiriendo, y va proveyendo mayor superficie de establecimiento para las colonias algales, las cuales al multiplicarse, automáticamente aumentan la velocidad de sedimentación de las partículas y consecuentemente el área de crecimiento, convirtiendo el proceso en un ciclo de velocidad creciente.

Finalmente, al irse compactando los sedimentos, hacen del estromatolito una estructura cada vez más resistente ante los factores erosivos antes mencionados, y entre más sedimentos haya, mayor y más rápida es la compactación. Es como una reacción en cadena, aplicable también en sentido inverso. Por ejemplo: los tapetes algales que no logran adherirse a un sustrato sólido y comienzan a crecer en un sustrato blando cercano a la costa (fango, arena, etc.), serán fácilmente removidos por el embate de las olas o la corriente, y la erosión causada por los depredadores tendrá efectos más perjudiciales en la subsistencia de las colonias, a diferencia de aquellas que hayan logrado crecer hasta lograr el soporte de un mayor número de factores erosivos y la ventaja de tener un sustrato más sólido.

Actualmente se sabe que en el pasado, los estromatolitos tenían un rango de distribución mucho mayor al actual. Se sabe de estromatolitos que crecieron a profundidades de 50 a 100m (George, 1999; Monty,

1977) en varios lugares del mundo, e incluso se sabe de crecimientos especiales estromatolíticos llamados "geyseritas", en los cuales la mineralización corre a cargo de bacterias más que de cianobacterias y que fueron tomados como abiogénicos (Walter, 1976a) hasta su posterior confirmación de origen orgánico (Monty, 1977). En principio se podrían considerar a los estromatolitos de Huépac tanto de origen profundo como somero, pero por los fósiles encontrados y por las características antes mencionadas podemos suponer que los estromatolitos de Huépac crecieron en aguas someras con condiciones de luz, nutrientes, sales y aporte de sedimentos especialmente favorables para las algas que ahí vivían, sin excluir que pudieran presentarse factores adversos erosivos, los cuales debieron ser proporcionalmente menores a las tasas de crecimiento de los estromatolitos.

Una característica muy singular de los estromatolitos es que su crecimiento es heliotrópico (se orientan hacia el sol) y la inclinación puede medirse anualmente (Awramik y Vanyo, 1986), por tanto se puede conocer la posición espacial de los estromatolitos en aquella época, lo que ayudaría a imaginar y conocer la paleotopografía, ayudándonos de eventos geológicos como el volcanismo, dados los escurrimientos de lava, el sentido del arrastre de corrientes o cualquier otro fenómeno representado en las rocas que pueda relacionarse con los estromatolitos y que tenga validez como evidencia para la reconstrucción del ambiente.

RECONSTRUCCIÓN DEL AMBIENTE

Una explicación que concilie a un ambiente marino con uno dulceacuícola y permita la coexistencia de organismos dulceacuícolas y marinos, es pensar en un estuario, en donde hay condiciones de salinidad variables, dependiendo de la época del año y del volumen del aporte de agua dulce. Las colonias algales pudieron estar sujetas a distintos grados de salinidad dependiendo de la ubicación espacial dentro del cuerpo de agua (profundidad, distancia a la afluencia de agua dulce y distancia a la orilla). De ser así, tanto especies salobres o marinas (como las diatomeas) como especies de agua dulce, podrían estar representadas en el pedernal, lo cual también es viable, y sólo sería necesario reconocer el cambio de un ambiente a otro para ubicar a los organismos, no sólo por el tipo de hábito, sino también por el tipo de litofacies y todo lo que ello involucra (tipo de minerales, ambientes de depósito, cambios estacionales, etc.). Una diferencia entre los paleoambientes y los ambientes actuales radica en que las características que determinan a los ambientes actuales pueden medirse directamente, las de los paleoambientes tienen que inferirse.

Para hablar de diferentes paleoambientes acuáticos dentro de la Formación Tarahumara, hay que aclarar que existe una variación temporal y espacial entre los estratos de pedernal y por lo tanto entre sus microfioras. Esto significa que pudieron existir "x" condiciones en distintos lugares geográficos al mismo tiempo, y condiciones distintas o iguales pero en diferentes periodos de tiempo.

El panorama que se genera con la información que se tiene no es sólo de un sitio en donde habitaban algas constructoras de estromatolitos, sino de todo un complejo ecosistema ahora extinto, en donde es evidente la presencia de varios grupos orgánicos que coexistían e interactuaban simultáneamente en el mismo ambiente, el cual iba siendo modificado, mucho o poco, dependiendo del tipo y grado de los factores físicos (atmósfera, volcanismo, precipitación, desecación, erosión, transgresiones, regresiones, etc.) y biológicos (cambios geográficos de las comunidades vegetales, zonas arrecifales crecientes, etc.) involucrados en el proceso.

La presencia de áreas arrecifales extensas de gran amplitud estratigráfica como las de Huépac, habla de que los estromatolitos tardaron en construirse mucho tiempo y fueron sepultados varias veces durante varios millones de años, en una Era y en una zona que tuvo un volcanismo intensamente activo, con aportes de sílice de miles de metros cúbicos, que después formarían al pedernal, dejando a los estromatolitos embebidos junto con todos los organismos que allí vivían. Estudios paleobotánicos de muestras que incluyen plantas, semillas, frutos, polen y otras muchas estructuras, junto con las espesas bandas del pedernal que las incluye, hacen evidente este hecho, y aunque no se conoce a fondo la geología de la formación, sí se sabe de la gran extensión que estuvo sometida a volcanismo, con ambientes de depósito constituidos por pequeñas cuencas hidrológicas continentales, zonas transicionales y ambientes netamente marinos (Amaya-Martínez y González, 1993).

Recordemos que en la localidad hay 11 estratos estromatolíticos distanciados en el tiempo, durante el cual las condiciones pudieron ser altamente cambiantes o estables, pero ¿cuáles son los intervalos en los que puede evidenciarse un cambio en el ambiente? ¿con base en qué? En un mismo periodo de tiempo, *eran iguales las condiciones en todo el cuerpo de agua?* ¿qué extensión tuvieron los cuerpos de agua en cada uno de los periodos? ¿era un solo cuerpo de agua en cada periodo o eran varios? ¿estaban comunicados los cuerpos de agua? ¿son iguales los estromatolitos dentro de un mismo estrato? ¿son iguales los estromatolitos de los diferentes estratos? ¿es cambiante la microflora en cada uno de ellos o hay alguna relación generacional?. Para ser respondidas, estas preguntas requieren de un estudio más profundo y sistemático, en el que se tengan registrados cartográficamente todos los afloramientos

estromatolíticos, con un mayor control de la disposición estratigráfica vertical y horizontal de cada una de las muestras, al mismo tiempo en que se ahonde más en aspectos limnológicos, climáticos, evolutivos, taxonómicos, biogeográficos y ecológicos en general, pues de tener estos datos, el entendimiento de la zona sería mucho más completo.

La riqueza paleobiológica y geológica dentro de la Formación Tarahumara es tan alta, que invita a seguir observando y estudiando detalladamente estructuras que aporten más información y que puedan ser más claramente identificadas. A medida que se vayan encontrando nuevas evidencias que complementen más el panorama paleontológico, simultáneamente a los estudios geológicos que vayan avanzando en este ámbito, se podrán hacer reconstrucciones más precisas y convincentes de los ambientes en el pasado.

LITERATURA CITADA

- **Aitken, J.D.** 1967. *Classification and environmental significance of cryptalgal limestones and dolomites*. Jour. Sediment. Petrol. **37**: 1163-1178.
- **Amaya-Martínez, R. y González, M.M.** 1993. *Las rocas volcánicas de la Formación Tarahumara y su relación con las secuencias volcano sedimentarias en la porción centro-oriental del Estado de Sonora*. Memorias del II Simposio de la Geología de Sonora y Áreas adyacentes, Sonora 1993. Hermosillo, Sonora.
- **Anagnostidis, K. y Komárek, J.** 1988. *Modern approach to the classification system of Cyanophytes. 3, Oscillatoriales*. Arch. Hydrobiol. Suppl. **71**, Algological Studies 50/53. Stuttgart, 327-472.
- **Awramik, S.M.** 1971. *Time-Stratigraphic significance of stromatolites: reflection of blue-green algal evolution*. Geol. Soc. Am., Abstract program **3(7)**: 496.
- **Awramik, S.M. y Vanyo, J.P.** 1986. *Heliotropism in modern stromatolites*. Science **231**: 1279-1281.
- **Barash, M. S.** 1985. *Reconstrucción de las paleotemperaturas oceánicas en el cuaternario sobre la base de los foraminíferos del plancton*. Métodos de reconstrucción de los paleoclimas. Nauka, Moscú.
- **Barghoorn, E.S.** 1974. *Two billion years of prokaryotes and the emergence of eucaryotes*. Taxon **23**: 259.
- **Batten, D.J. y Lister, J.K.** 1988. *Early Cretaceous dinoflagellate cysts and chlorococcalean algae from freshwater and low salinity palynofacies in the English Wealden*. Cretaceous Research, **9**: 337-367.
- **Beraldi-Campesi, H., Chacón-Baca, E. y Cevallos Ferriz, S.R.S.** 1997. *Microfossils of an Upper Cretaceous (Campanian) volcano-sedimentary sequence in Sonora, Mexico*. American Journal of Botany, **86**: 4 (Abstract).
- **Beraldi-Campesi, H. y Cevallos-Ferriz S.R.S.** 1998. *Microalgas fósiles de Sonora*. VII Congreso Latinoamericano de Botánica; XIV Congreso Mexicano de Botánica. Libro de Resúmenes. Asociación Latinoamericana de Botánica, RLB, Sociedad Botánica de México.
- **Bold, H. y Wynne, M.** 1985. *Introduction to the algae*. Prentice Hall, New Jersey.
- **Bourelly, P.** 1972. *Les Algues d'eau douce. Les algues vertes*. Éditions N. Boubée & Cie, Paris.

- **Branco C.W. y Senna, P.A.** 1996. *Phytoplankton composition, community structure and seasonal changes in a tropical reservoir (Paranao Reservoir, Brazil)*. Archiv Fuer Hydrobiologie Supplementband, **114**: 69-84.
- **Brock, T.D.** 1973. *Lower pH limit for the existence of blue-green algae: Evolutionary and ecological implications*. Science, **179**. 480-483.
- **Brock, T.D.** 1976. *Environmental microbiology of living stromatolites*, en: **Walter, M.R.** 1976. *Stromatolites*. Eisevier Scientific Publishing Co. New York.
- **Budyko, M.I., Ronov, A.B. y Yanshin, A.L.** 1985. *Istoria Atmosfery (Historia de la Atmósfera)*. Gidrometeoizdat, Leningrado.
- **Caudwell, C., Delcourt A., Lang, J. y Pascal, A.** 1997. *Biocenosis and induration of freshwater Rivularia stromatolites in a temperate climate*. Geomicrobiol. J. **14**: 285-298.
- **Cevallos-Ferriz, S.R.S.** 1981. *Observaciones preliminares de estromatolitos Precámbricos de la zona de Caborca, Sonora, México*. Tesis Licenciatura. UNAM.
- **Chacón-Baca, E. y Cevallos-Ferriz, S.R.S.** 1995. *Microbial sediments and their biological contents of the Tarahumara Formation, Sonora, Mexico*. American Journal of Botany, **82** (6): 84 (Abstract).
- **Cloud, P.E.** 1968. *Atmospheric and hydrospheric evolution on the primitive earth*. Science, **160**: 729-736.
- **Desikachary, T.V.** 1959. *Cyanophyta*. Indian Council of Agricultural Research. New Delhi.
- **Drouet, F.** 1938. *The Oscillatoriaceae of southern Massachusetts*. Reprinted from Rhodora, **40**: 221-273.
- **Drouet, F.** 1963. *Ecophenes of Schizothrix calcicola*. Proc. Acad. Nat. Sci. Philadelphia, **115(9)**: 261-281.
- **Evitt, W.R.** 1963. *A discussion and proposals concerning fossil dinoflagellates, hystrichospheres and acritarcs*. I. Proc. Nat. Acad. Sci. **49**: 158-164.
- **Ferrusquía-Villafranca, I.** 1997. *Geología de México: una sinopsis*, en: **Ramamoorthy, T.P., Bye, R., Lot, A. y Fa, J.** 1997. *Biodiversidad Biológica de México, orígenes y distribución*. Instituto de Biología, UNAM. México.
- **Flügel, E.** 1977. *Fossil Algae, recent results and developments*. Springer-Verlang, Berlin.
- **Fott, B. y Karim, M.** 1973. *Spirulina plankton community in a lake in Sudan*. Arch. Protistenk, **43**: 228-245.

- **Francis, S., Margulis, L., Caldwell, W. y Barghoorn, E.S.** 1976. *Laboratory silicified blue-green algae compared with Precambrian microfossils*. Botanical Museum Leaflets, Vol. **25**. Harvard Univ. Press. Harvard.
- **Gebelein, C.D.** 1967. *Origin and growth rate of subtidal algal stromatolites, Bermuda*. Geol. Soc. Am. Special paper, **115**: 75-76.
- **Gebelein, C.D.** 1969. *Distribution, morphology and accretion rate of Recent subtidal algal stromatolites, Bermuda*. Jour. Sed. Petrology, **39**: 49-69.
- **George, A.** 1999. *Deep water stromatolites, Canning Basin, Northwestern Australia*. Palaios, **14**: 493-505.
- **Glaessner, M.F.** 1968. *Biological events and the Precambrian time scale*. Canad. Jour. Earth Sci., **5**: 585-590.
- **Golubic, S.** 1976a. *Organisms that build stromatolites*, en: **Walter, M.R.** 1976. *Stromatolites*. Elsevier Scientific Publishing Co. New York.
- **Golubic, S.** 1976b. *Taxonomy of extant stromatolite-building Cyanophytes*, en **Walter, M.R.** 1976. *Stromatolites*. Elsevier Scientific Publishing Co. New York.
- **Harold, H.** 1980. *Introduction and guide to the marine blue-green algae*. Prentice Hall, New Jersey.
- **Hernández-Castillo, G.R.** 1998. *Plantas fósiles permineralizadas del Cretácico Superior de Sonora, México*. Tesis Maestría. UNAM.
- **Hoffman, H.J.** 1973. *Stromatolites: characteristics and utility*. Earth Science Review, **9(4)**: 339-373.
- **Huber-Pestalozz, G.** 1983. *Das Phytoplankton des Süßwassers, Systematik und Biologie*. Die Binnengewässer, vol. XVI. Stuttgart.
- **Kar, R.K. y Saxena, R.K.** 1976. *Algal and Fungal microfossils from Matanomadh Formation (Paleocene), Kutch, India*. The Paleobotanist, vol. **43**: 1-19.
- **Komárek, J.** 1987. *Species concept in coccal green algae*. Algological Studies, **45**: 437-471.
- **Komárek, J. y Anagnostidis, K.** 1986. *Modern approach to the classification systematics of Cyanophyta. 2, Chroococcales*. Arch. Hydrobiol. Suppl. 73, 2. Algological Studies **43**: 157-226.
- **Kováčik, L.** 1975. *Taxonomic review of the genus Tetraedron (Chlorococcales)*. Arch. Hydrobiol. Suppl. 46, Algological Studies, **23**. Stuttgart, 354-391.
- **Lee, R.E.** 1989. *Phycology*, 2nd Edition. Cambridge University Press, Cambridge.

- **McDowell, F.W., Roldán-Quintana, J., Amaya, M.C. y González, C.M.** 1994. *The Tarahumara Formation, a neglected component of the Laramide magmatic arc in Sonora*. *Geos*, **14**: 76-77 (Abstract)
- **McMenamin, M., Awramik, S. y J.H. Stewart.** 1983. *Precambrian-Cambrian transition problem in western North America: Part II. Early Cambrian skeletonized fauna and associated fossils from Sonora, Mexico*. *Geology*, **11**: 227-230.
- **Monty, C.** 1977. *Evolving concepts on the nature and the ecological significance of stromatolites*, en: **Flügel, E.** 1977. *Fossil Algae, recent results and developments*. Springer-Verlag, Berlin.
- **Monty, C.** 1981. *Phanerozoic Stromatolites, case histories*. Springer-Verlag, New York.
- **Norris, K. R.** 1991. *General biology*, en: **Commonwealth Scientific & Industrial Research Organization.** 1991. *The insects of Australia*. 2nd Edition, Vol. 1. Melbourne Univ. Press, Melbourne.
- **Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L. M., Alaniz-Alvarez, S. A., Roldán-Quintana, J., Aranda-Gómez, J.J., y Morán-Zenteno, D. J.** 1991. *Geologic provinces of Mexico – A new proposal and bases for their definition*. Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma de Hidalgo, Sociedad Mexicana de Mineralogía y Secretaría de Educación Pública. Convención sobre la evolución geológica de México y Primer Congreso Mexicano de Mineralogía, Pachuca, Hgo. Memorias: 143-144.
- **Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L. M., Roldán-Quintana, J., Aranda-Gómez, J.J., Morán-Zenteno, D. J., Alaniz-Alvarez, S. A., y Nieto-Samaniego, A. F.** 1992. *Texto explicativo de la quinta edición de la Carta Geológica de la República Mexicana escala 1:2'000,000*. Instituto de Geología-Instituto de Geofísica-Consejo de Recursos Minerales. México.
- **Pals, J.P., Van Geel, B. y Delfos, A.** 1980. *Paleoecological studies in the Klokkeweel bog, near Hoogkarspel (Prov. Of Noord-Holland)*. *Review of Paleobotany and Palynology*, **30**: 371-418.
- **Patrick, R.** 1977. *The ecology of freshwater diatoms and diatom communities*, en: **Werner, D.** 1977. *The Biology of Diatoms*. University of California Press, Berkeley.
- **Pennisi, E.** 1994. *Static Evolution. Is pond scum the same now as billions of years ago?*. *Science News*, vol. **145**.
- **Pratt, B.R.** 1979. *Early cementation and lithification in intertidal cryptalgal structures, Boca Jewfish, Bonaire, Netherlands Antilles*. *Journal of Sedimentary Petrology*, **49** (2): 379-386.
- **Prescott, G.W.** 1970. *The freshwater algae*. 2nd Ed. C. Brown Co. Pu. USA.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

- **Read, J.F.** 1976. *Calcretes and their distinction from stromatolites*, en: **Walter, M.R.** 1976. *Stromatolites*. Elsevier Scientific Publishing Co. New York.
- **Ricalde-Moreno, O.S.** 1994. *Anatomía de ejes vegetativos de palmeras fósiles del norte de México*. Tesis Licenciatura. UNAM.
- **Riding, R.** 1977. *Skeletal Stromatolites*, en: **Flügel, E.** 1977. *Fossil Algae, recent results and developments*. Springer-Verlang, Berlin.
- **Schopf, J.W. y Blacic, J.M.** 1971. *New microorganisms from the Bitter Springs Formation (Late Precambrian) of the North-Central Amadeus Basin, Australia*. Jour. Of Paleontology. 45, 6: 925-961.
- **Schopf, J.W.** 1976. *How old are the Eukaryotes?*. Science, **193**: 47-49.
- **Schopf, J.W.** 1983. *Earth's earliest biosphere. It's orogin and evolution*. Princeton Univ. Press. New Jersey.
- **Starmach, K.** 1966. *Cyanophyta-since, Glaucophyta-glaukofity, Flora slodkow*. Polski **2**: 1-808, PWN Warszawa.
- **Starr, R.G.** 1955. *A comparative study of Chlorococcum meneghini and other spherical, Zoospore-Producing genera of the Chlorococcales*. Indiana University Publications, Science Series, **20**.
- **Tappan, H.** 1980 *The Paleobiology of Plant Protists*. Freeman. San Francisco.
- **Van den Hoek, C., Mann, D.G. y Jahns, H.M.** 1995. *Algae, an introduction to phycology*. Cambridge University Press. Cambridge.
- **Walter, M.R.** 1976. *Stromatolites*. Elsevier Scientific Publishing Co. New York.
- **Winsborough, B.M. y Golubic, S.** 1987. *The role of diatoms in stromatolite growth: two examples from modern freshwater settings*. Jour. Phycol. **23**: 195-201.
- **Zubakov, V.A. y Borzenkova, I.I.** 1990. *Global Climate during the Cenozoic*. Elsevier Publ. comp. New York.

Lámina I

TIPO 1

1. célula con poros o discontinuidades (flechas).
x 1333

2-3. dos células juntas (en diferentes planos),
ambas con contenido. x 1666

4-5. células en donde se aprecia la curvatura y
el ancho de los brazos (nótese el ancho de la
base). x 1800

6. corte transversal de uno de los brazos con
granulosidad en el espesor de la pared. x 3333

7. posibles papilas (flechas). x 1760

8. se muestra el grado de alteración máximo
observado en los ejemplares. x 1769

9-10. los únicos ejemplares que presentan los
brazos en un solo plano (etapa juvenil?). En
ambos se aprecian pequeñas papilas. x 2000
(9); x 1333 (10)

11. célula con dos de los brazos deformes y
contenido compacto bien definido. x 1857

12-14. distintos ángulos de apreciación de la
base triangular de las células; en las fotos 13 y
14 se aprecia el cuarto brazo, como una
protuberancia en la parte central del triángulo. x
2000 (12); x 1657 (13); x 2457 (14)

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

- **Read, J.F.** 1976. *Calcretes and their distinction from stromatolites*, en: **Walter, M.R.** 1976. *Stromatolites*. Elsevier Scientific Publishing Co. New York.
- **Ricalde-Moreno, O.S.** 1994. *Anatomía de ejes vegetativos de palmeras fósiles del norte de México*. Tesis Licenciatura. UNAM.
- **Riding, R.** 1977. *Skeletal Stromatolites*, en: **Flügel, E.** 1977. *Fossil Algae, recent results and developments*. Springer-Verlang, Berlin.
- **Schopf, J.W. y Blacic, J.M.** 1971. *New microorganisms from the Bitter Springs Formation (Late Precambrian) of the North-Central Amadeus Basin, Australia*. Jour. Of Paleontology. 45, 6: 925-961.
- **Schopf, J.W.** 1976. *How old are the Eukaryotes?*. Science, **193**: 47-49.
- **Schopf, J.W.** 1983. *Earth's earliest biosphere. It's orogin and evolution*. Princeton Univ. Press. New Jersey.
- **Starmach, K.** 1966. *Cyanophyta-since, Glaucophyta-glaukofity, Flora slodkow*. Polski **2**: 1-808, PWN Warszawa.
- **Starr, R.G.** 1955. *A comparative study of Chlorococcum meneghini and other spherical, Zoospore-Producing genera of the Chlorococcales*. Indiana University Publications, Science Series, **20**.
- **Tappan, H.** 1980. *The Paleobiology of Plant Protists*. Freeman. San Francisco.
- **Van den Hoek, C., Mann, D.G. y Jahns, H.M.** 1995. *Algae, an introduction to phycology*. Cambridge University Press. Cambridge.
- **Walter, M.R.** 1976. *Stromatolites*. Elsevier Scientific Publishing Co. New York.
- **Winsborough, B.M. y Golubic, S.** 1987. *The role of diatoms in stromatolite growth: two examples from modern freshwater settings*. Jour. Phycol. **23**: 195-201.
- **Zubakov, V.A. y Borzenkova, I.I.** 1990. *Global Climate during the Cenozoic*. Elsevier Publ. comp. New York.

Lámina I

TIPO 1

1. célula con poros o discontinuidades (flechas).
x 1333

2-3. dos células juntas (en diferentes planos),
ambas con contenido. x 1666

4-5. células en donde se aprecia la curvatura y
el ancho de los brazos (nótese el ancho de la
base). x 1800

6. corte transversal de uno de los brazos con
granulosidad en el espesor de la pared. x 3333

7. posibles papilas (flechas). x 1760

8. se muestra el grado de alteración máximo
observado en los ejemplares. x 1769

9-10. los únicos ejemplares que presentan los
brazos en un solo plano (etapa juvenil?). En
ambos se aprecian pequeñas papilas. x 2000
(9); x 1333 (10)

11. célula con dos de los brazos deformes y
contenido compacto bien definido. x 1857

12-14. distintos ángulos de apreciación de la
base triangular de las células; en las fotos 13 y
14 se aprecia el cuarto brazo, como una
protuberancia en la parte central del triángulo. x
2000 (12); x 1657 (13); x 2457 (14)

LAMINA I

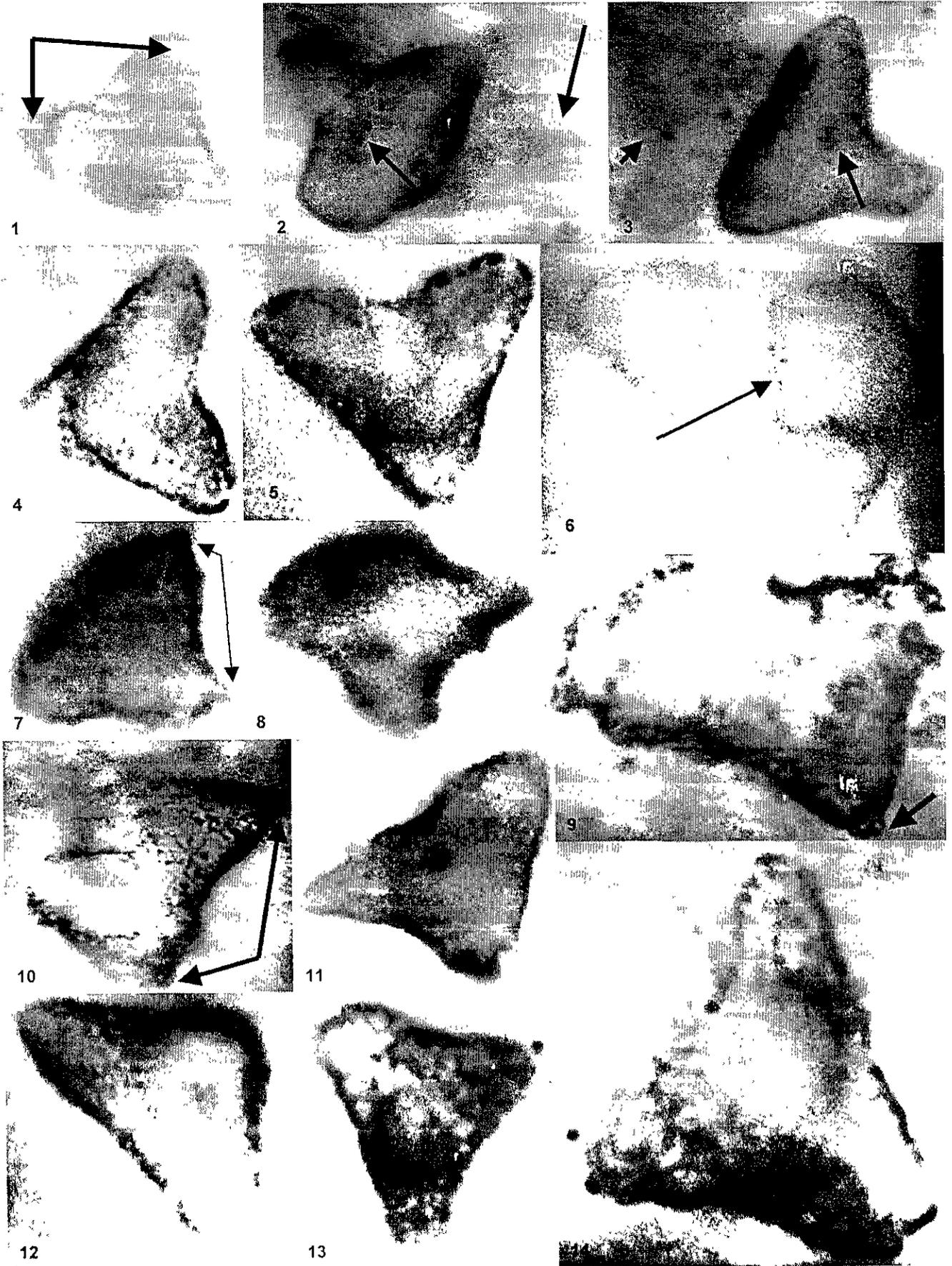


Lámina II

TIPO 1

1. célula tetraédrica con contenido compacto cercano a la pared y central con respecto al extremo de un par de brazos. x 2000

2-3. células tetraédricas con contenido compacto. x 1400

TIPO 2

4-5. células con espesor variable en la pared, así como contenidos compactos de distinto diámetro. x 2650

6. grupo de 8 células distinguibles, con el mismo diámetro todas (20 μm), contenido disperso y sin arreglo consistente. x 900

7-8. células con hendidura en la pared interna, con contenido semidisperso y sin contenido respectivamente. x 1600

9-12. células con contenido compacto, sin hendidura pero con espesor variable en la pared. x 1850 (9 y 10); x 2600 (11 y 12)

13-15. diferentes agregados de células con el mismo diámetro y arreglo inconsistente. x 1150

16. célula con contenido compacto y espesor variable en la pared. x 1842

LAMINA II

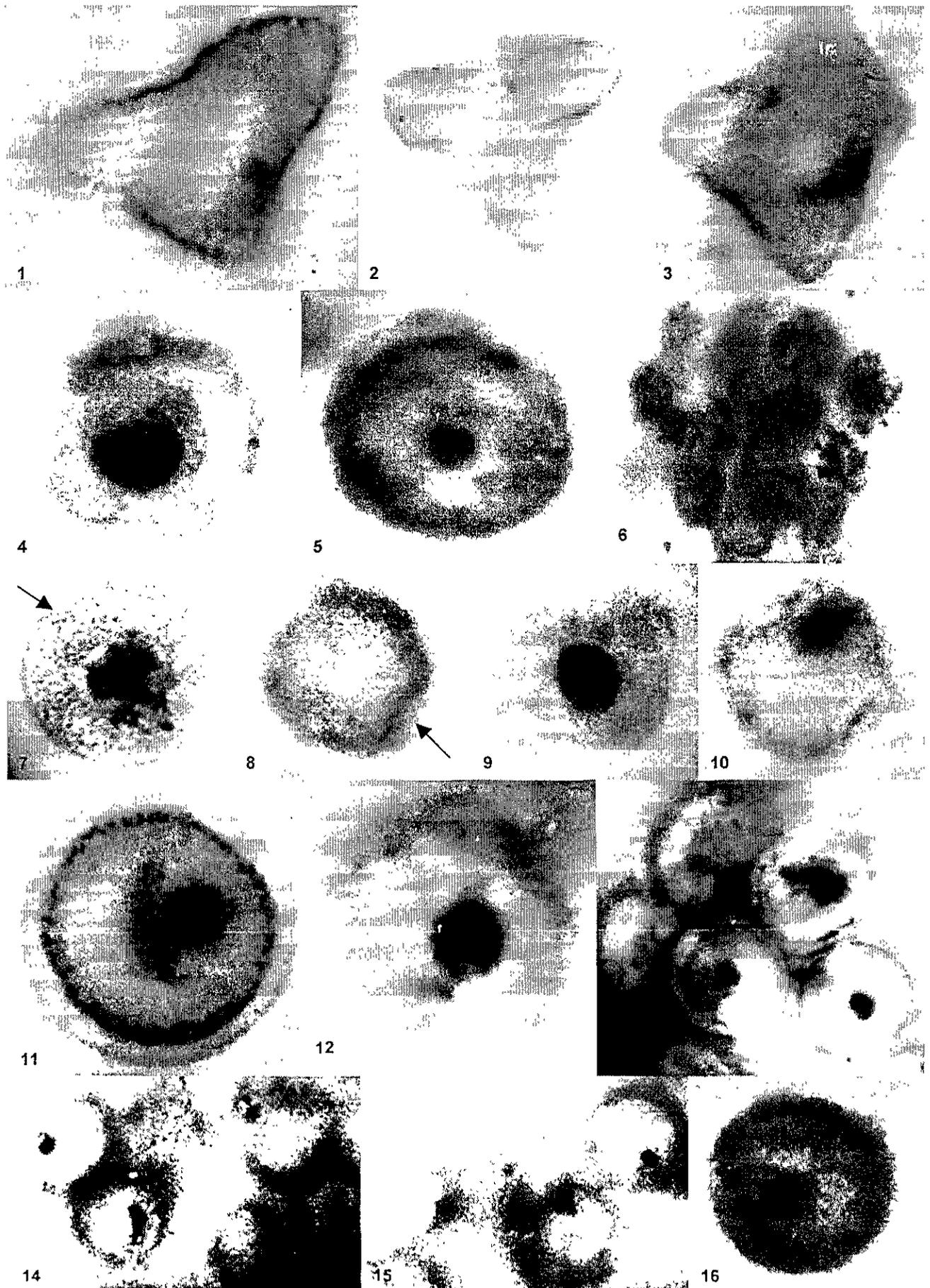


Lámina III

TIPO 2

1. célula con contenido central compacto y hendidura en la pared interna. x 2250
2. célula con "citoplasma" ennegrecido y espesor variable en la pared. x 2200
- 3-8. células de *Chlorella vulgaris* en cultivo:
 3. células de distinto diámetro (22 y 14 μm). En la célula más grande se aprecia un pirenoide compacto y bien definido en posición casi central. x 1280
 4. algunas células presentan una hendidura (flechas), contenidos compactos y dispersos. x 1200
 5. célula con espesor variable en la pared. x 750
 6. célula con espesor uniforme en la pared. x 745
 7. nótese la hendidura en el extremo derecho del citoplasma. x 740
 8. células de 10 μm cada una con contenidos de volumen variable. x 750

TIPO 3

9. zona polar de un filamento con heterocito (flecha negra) y acineto (flecha blanca). x 4000
10. tricoma con vaina de gran espesor. x 3000
- 11-12. filamentos con heterocito en vista cónica y reniforme respectivamente. x 4000
13. filamento con heterocito y las que fueran células fotosintéticas. x 2143
- 14-16. distintas vistas de heterocitos y acinetos (14: las flechas de arriba señalan heterocitos, la flecha de abajo señala un acineto. 15 y 16: ambas flechas señalan heterocitos). x 2812 (14); x 1466 (15 y 16)

LAMINA III

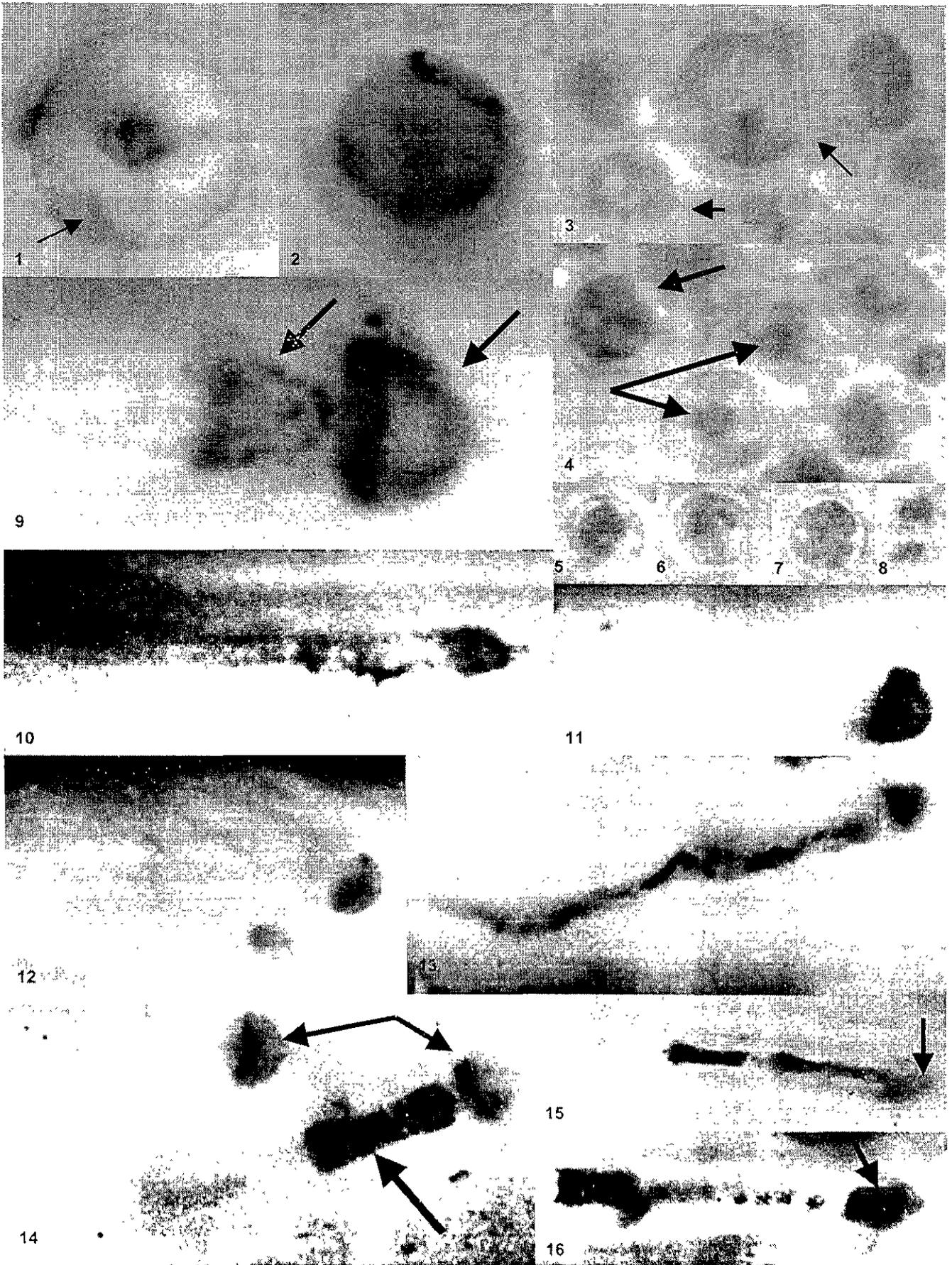


Lámina IV

TIPO 3

1-2. heterocitos cónicos con reminiscencia de las células del tricoma envueltas por una vaina transparente. x 2428 (1); x 2941 (2)

3. acineto y células fotosintéticas. x 1875

4-5. heterocitos cónicos con células fotosintéticas colapsadas, solo un filamento posee acineto (flecha). x 1700 (4); 2700 (5)

6. filamento curvo con heterocito circular. x 1500

7. en el filamento pequeño se aprecia un heterocito redondeado. x 1571

8. conjunto de vainas vacías con restos celulares colapsados. x 888

9. estructura incluida dentro de la colonia filamentosa, al parecer conteniendo esporas. Las flechas muestran vainas transparentes de los filamentos que la rodean. x 2100

10. vista parcial del arreglo paralelo y no estratificado de la colonia. x 100

11. se aprecian las células fotosintéticas en forma de monedas. x 2200

LAMINA IV



Lámina V

TIPO 3

1. vista parcial de la colonia con filamentos maduros de heterocitos y acinetos grandes. x 142

TIPO 4

2-4. arreglos semicompactos y compactos de las colonias. x 300 (2); x 1142 (3 y 4)

5. pseudofilamento. x 1666

6-8. distintos arreglos coloniales con células de diferentes tamaños. x 1250 (6 y 7); x 700 (8)

9. vista parcial de un pseudofilamento. x 2111

10. colonia circular con envoltura de mucilago. x 166

TIPO 5

11-12. filamentos con células rectangulares y cuadradas con septos ondulados. x 500

13. algunos septos onduiados, otros perpendiculares y traslapes en forma de H. x 250

14. cortes transversales del Tipo 5 (izquierda) y del Tipo 7 (derecha). x 1033

15. células de largo variable y septos perpendiculares. x 937

16-17. filamentos con separación intercelular. x 800 (16); x 678 (17)

18. corte transversal en forma de cruceña. x 1000

LAMINA V



Lámina VI

TIPO 5

1-3. diferentes vistas, algunas células con contenido y separación entre las células (flechas). x 450 (1); x 562 (2); x 432 (3)

4. un filamento del Tipo 5, con traslapes en forma de H (abajo) y uno del Tipo 7 en vista lateral (arriba). x 266

5. se muestran septos remarcados y células de distinto tamaño. x 566

6. contenidos celulares, la mayoría de tamaño constante. x 593

7. filamentos perpendiculares de distinto tamaño y distinto tipo de ondulación en los septos. x 333

8-9. se aprecian contenidos colapsados y traslapes en forma de H. x 681

10. células que parecen estar divididas por un septo. las flechas indican la extensión de cada célula. x 666

11. septos remarcados que indican la independencia de las células (flechas). x 611

12-13. cortes transversales de distinto diámetro y algunos con contenido. x 638

14. vista oblicua de un filamento curvo, junto a un corte transversal. x 461

15. cortes transversales con contenido disperso (flecha) y un filamento Tipo 7 apenas visible (flecha). x 625

TIPO 6

16. filamento que pareciera girar hacia un extremo y sobre su propio eje. x 320

17-18. se aprecia la ondulación de los septos. x 538

19. corte transversal con un par de polos más agudos que los otros. x 937

LAMINA VI



Lámina VII

TIPO 6

1. diferencia de tamaños entre un filamento Tipo 5 (derecha) y uno Tipo 6 (izquierda). x 333
2. corte transversal de un filamento con contenido periférico (flecha). x 757

TIPO 7

3. células con contenido y separación entre septos, vista lateral. x 166
4. cortes transversales con contenido (flechas) junto a un filamento Tipo 5. x 555
5. células con contenido y separación entre septos, vista longitudinal. x 1000
6. cortes transversales del Tipo 5 (abajo) y Tipo 7 (flecha). x 758
7. pocas células con contenido, separación intercelular en vista longitudinal. x 1000
8. asociación de los Tipos 5 y 7. x 466
9. corte transversal, con contenido y buena definición del contorno. x 2000
10. vista lateral de una porción irregular. x 1428
11. cortes transversales (flecha delgada) y laterales junto a un conjunto de cortes transversales del Tipo 5. x 357
- 12-13. vistas laterales con traslapes en forma de H. x 2166 (12); x 1500 (13)
14. vistas longitudinal y lateral de varios filamentos. x 714
15. filamento con muy buena conservación, vista lateral. x 1571
- 16-17. fragmentos mal conservados en vista lateral y longitudinal respectivamente. x 1500 (16); x 1120 (17)
18. corte transversal con un posible rafe. x 2037
- 19-20. cortes transversales con contenido. x 1833

TIPO 8

21. cilindro que contiene a 3 células. x 1000
- 22-23. secuencia de fotos que muestran planos distintos de la misma estructura; la célula de arriba presenta un constricción central. x 1222 (22); x 1250 (23)
24. algunas células pueden estar fuera de las estructuras cilíndricas. x 846

LAMINA VII

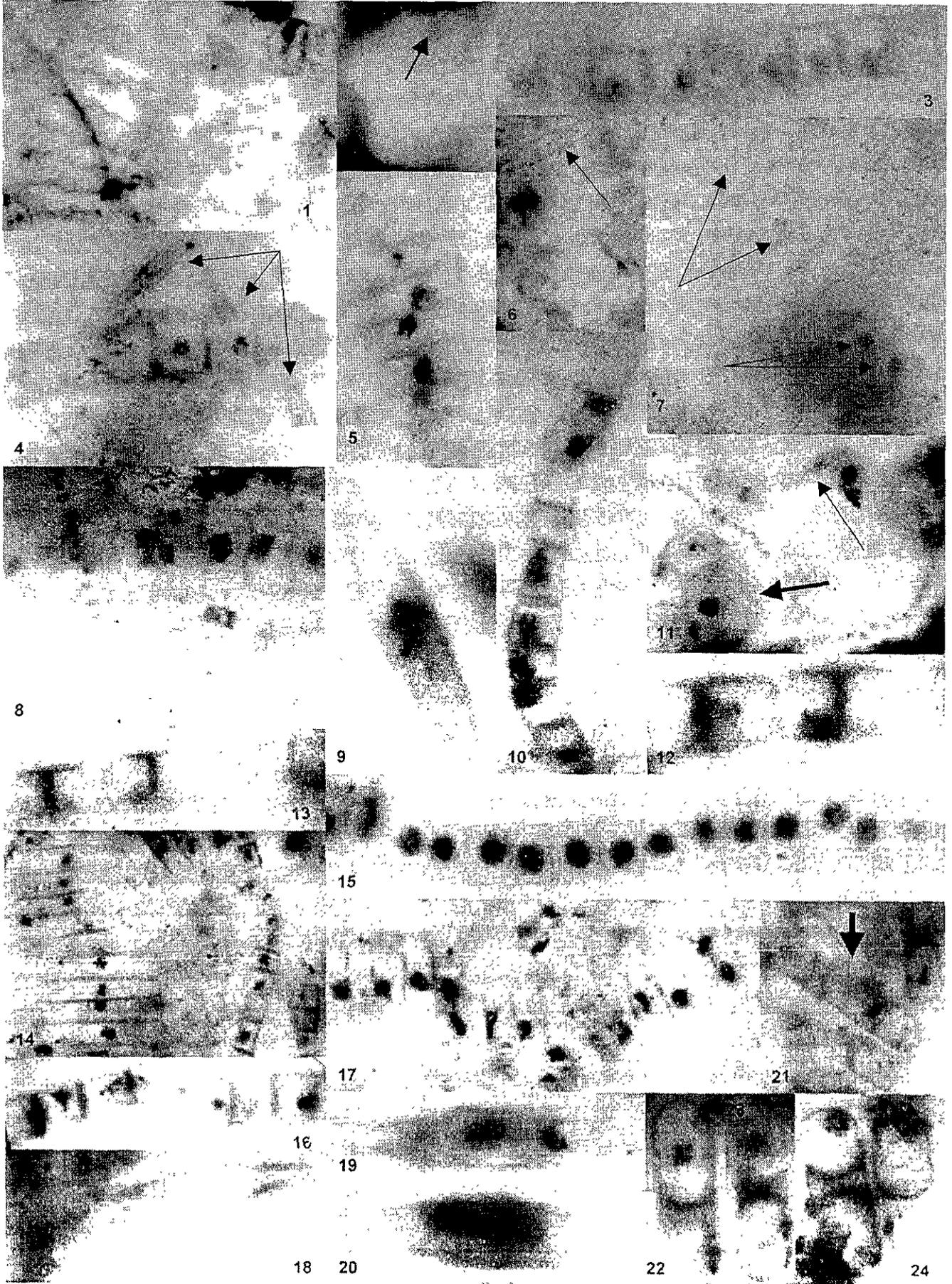


Lámina VIII

TIPO 9

1-4. distintas vistas que muestran la compactación variable en la espiral. x 2000 (1 y 2); x 1000 (3); x 3333 (4)

5. compactación estrecha. x 1500

6. compactación suelta. x 2000

7. compactación variable. x 1333

8-10. arreglos coloniales. x 1333 (8 y 9); x 666 (10)

11. filamento semi conservado. x 1000

12. filamento super enrollado. x 1333

13-14. filamentos semi carbonizados. x 2666 (13); x 2000 (14)

LAMINA VIII

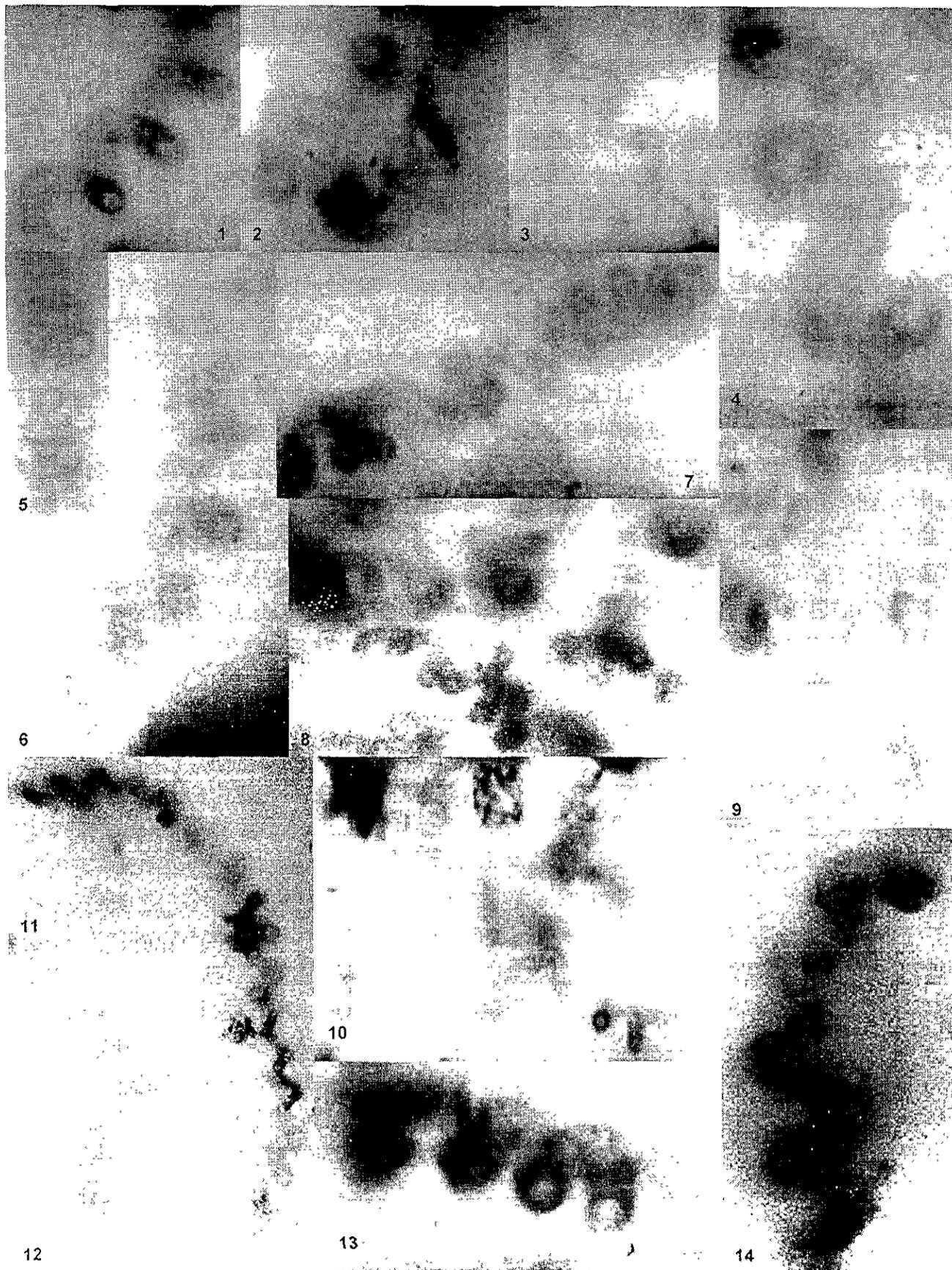


Lámina IX

TIPO 10

1. colonias cúbicas con algunas células en división. x 4615
- 2-4. distintos tipos de arreglo colonial. x 200 (2 y 3); x 266 (4)
- 5-14. arreglos en solitario, por pares y por tétradas. x 1500 (5 a 6); x 1000 (7); 1600 (8); x 4600 (9); x 1000 (10); x 1200 (11 a 13); x 1500 (14)
15. arreglo colonial amorfo. x 428
16. célula con contenido disperso. x 2000
- 17-18. distintos arreglos de células con poco contenido. x 1200
19. células pareadas dentro de una vaina. x 1125
20. células pareadas sin vaina. x 1500
21. células solitarias sin vaina. x 1200
- 22-26. diferentes vistas de la agregación del contenido. x 1220 (22 y 23); 715 (24 a 26)
27. células en planos perpendiculares. x 1000
28. agregado colonial amorfo. x 1130
29. colonia cuadrada con células en división (flecha). x 1215
- 30-31. colonias con tendencia circular. x 1666 (30); x 930 (31)

TIPO 11

32. grupo de células unidas (flechas) con un pseudofilamento. x 1500
33. células arregladas circularmente. x 1800
34. células arregladas en espiral. x 1666
35. polinio actual de Mimosaceae. x 1000

TIPO 12

36. arreglo colonial con contenidos porosos. x 700

LAMINA IX

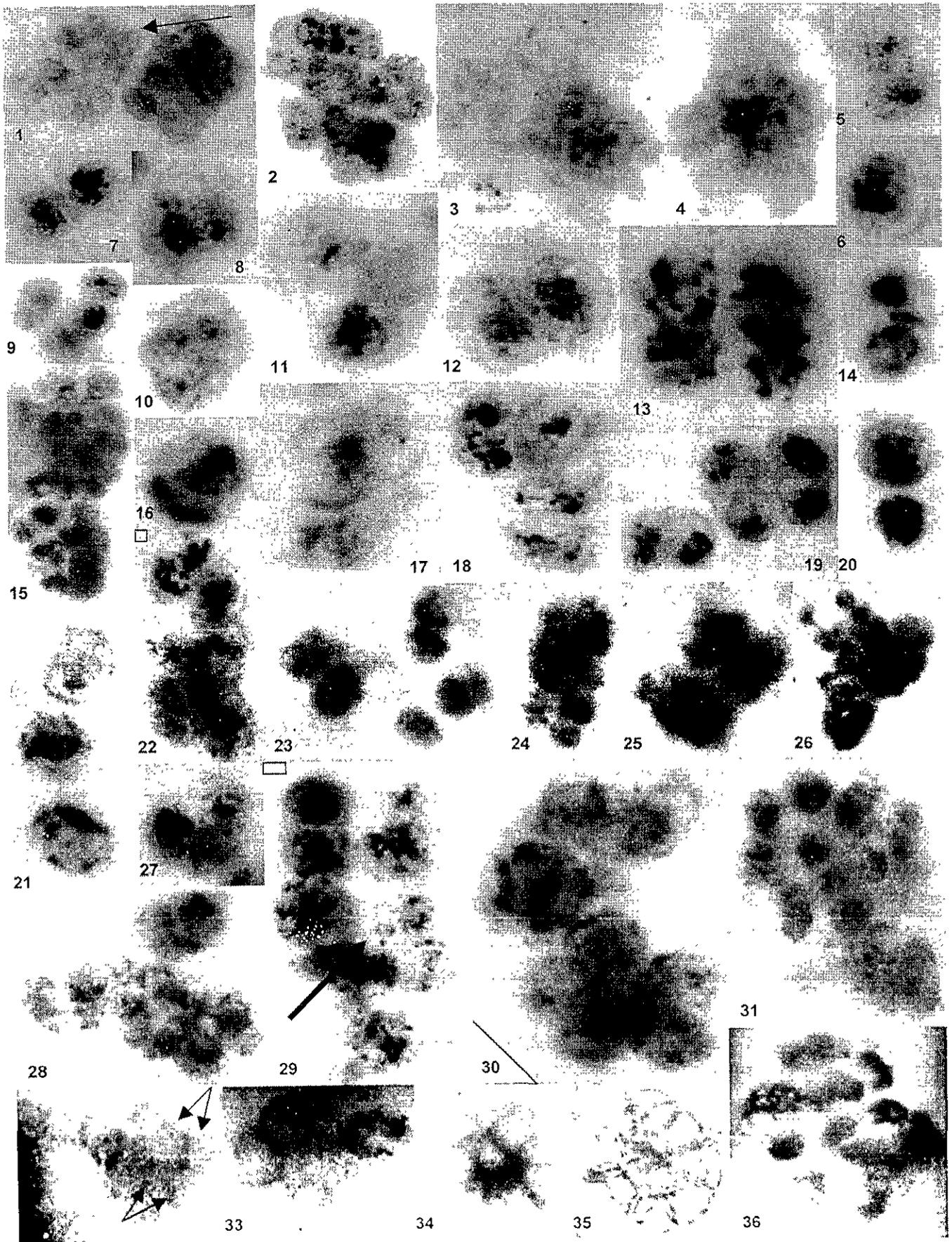


Lámina XII

TIPO 38

1. célula circular con contenido compacto y oscuro. x 666

TIPO 39

2. se aprecia la pared externa y el contenido en forma de dona. x 1000

TIPO 40

3-5. estructuras de pared remarcada y forma variable. x 775

TIPO 41

6-10. células con pared externa en ocasiones visible, sin contenido y de contorno fino. x 428

TIPO 42

11-12. secuencia de fotos en donde se aprecia una célula con contenido compacto y con pared poco marcada (abajo), otra con contenido disperso y pared bien marcada (arriba). x 1080

TIPO 43

13-15. células con superficie rugosa. x 933

TIPO 44

16. célula con contenido en forma de fibras o bandas. x 625

TIPO 45

17. estructura con contenido complejo. x 372

TIPO 46

18. estructura colapsada dentro de un espacio circular. x 608

TIPO 47

19. estructuras pedunculadas (flechas), dentro de un bivalvo. x 440

TIPO 48

20-21. secuencia de fotos en donde se aprecia que una esfera está dentro de la abolladura de la otra. x 285

TIPO 49

22. células esféricas con pared remarcada en diferentes planos. x 320

TIPO 50

23-24. posibles quistes de dinoflagelado. x 622

TIPO 51

25. estructura circular con contenido complejo y un pequeño pedúnculo (flecha). x 72

TIPO 52

26. célula con contenido granulado. x 1033

TIPO 53

27-28. secuencia de fotos de células de contorno fino e irregular, sin contenido. x 680

TIPO 54

29. células formando un conjunto amorfo. x 342

TIPO 55

30-31. estructuras con y sin contenido, con pared externa. x 256 (30); x 224 (31)

32. estructura con pared externa y abolladura. x 230

33. conjunto del mismo tipo de estructuras. x 108

TIPO 56

34. estructura circular con contenido complejo. x 275

35. se aprecia el halo en donde se encuentran este tipo de estructuras. x 180

TIPO 57

36. posible grano de polen con 4 compartimentos. x 425

LAMINA XII

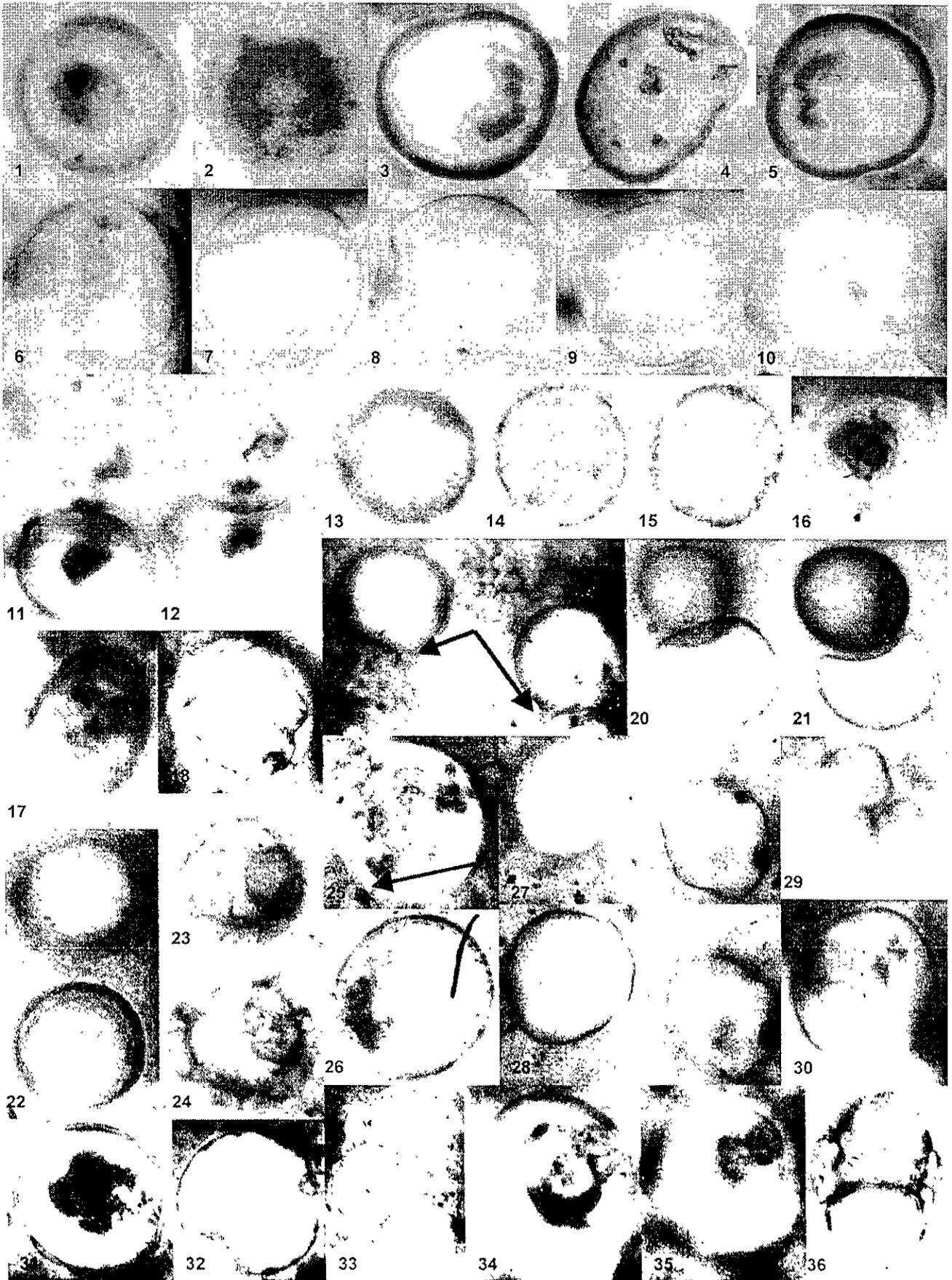


Lámina XIII

TIPO 58

1. posible estructura reproductora en su parte terminal, con contenido y ramificación en la base. x 1416

2-3. porciones del mismo tipo, pero sin contenido y células más alargadas hacia uno de los extremos. x 1266 (2); x 833 (3)

TIPO 59

4. sincenobio con células esféricas. x 900

TIPO 60

5-7. células oblongas de contorno remarcado. x 2666 (5); x 3333 (6); x 2833 (7)

TIPO 61

8. células con y sin contenido, una de ellas colapsada. x 750

TIPO 62

9. grano de polen actual de Anacardiaceae. x 744

10-11. secuencia de fotos en donde se muestran las estrias del grano de polen fósil. x 1138

TIPO 63

12. grano de polen, posiblemente de Chenopodiaceae o Amarantaceae. x 945

TIPO 64

13. conidio de *Alternaria*. x 1418

TIPO 65

14-16. granos de polen bisacados de conifera. x 1764 (14); x 1600 (15 y 16)

TIPO 66

17. estructura indefinida en forma de yunque. x 1080

TIPO 67

18-20. posibles granos de polen, de superficie rugosa. x 1647

TIPO 68

21. célula con contenido semidisperso, ubicada cerca de un bivalvo. x 113

TIPO 69

22. espora trilete con recubrimiento externo. x 412

TIPO 70

23-24. estructuras luniliformes dentro de espacios circulares. x 130

TIPO 71

25. estructura de forma sacada, con contenido ocupando casi todo el interior. x 200

26. dos formas sacadas, una con pedúnculo (arriba) y otra con contenido heterogéneo. x 181

27. mismo tipo de estructura, mostrando sólo el contorno. x 226

TIPO 72

28. estructura en forma de "gajos", sin contenido. x 956

TIPO 73

29-30. Palinomorfos de textura rugosa, colapsados. x 666 (29); x 680 (30)

31. Palinomorfo colapsado y roto. x 640

32. se aprecia lo que pudieran ser estrias. x 933

TIPO 74

33-34. Palinomorfos estriados longitudinalmente. x 444 (33); x 666 (34)

TIPO 75

35. estructura dicotomizada en los extremos. x 418

TIPO 76

36-37. posibles palinomorfos con pared rugosa y parcialmente reticulada. x 600 (36); x 618 (37)

TIPO 77

38. traqueidas, posiblemente de conifera. x 470

LAMINA XIII

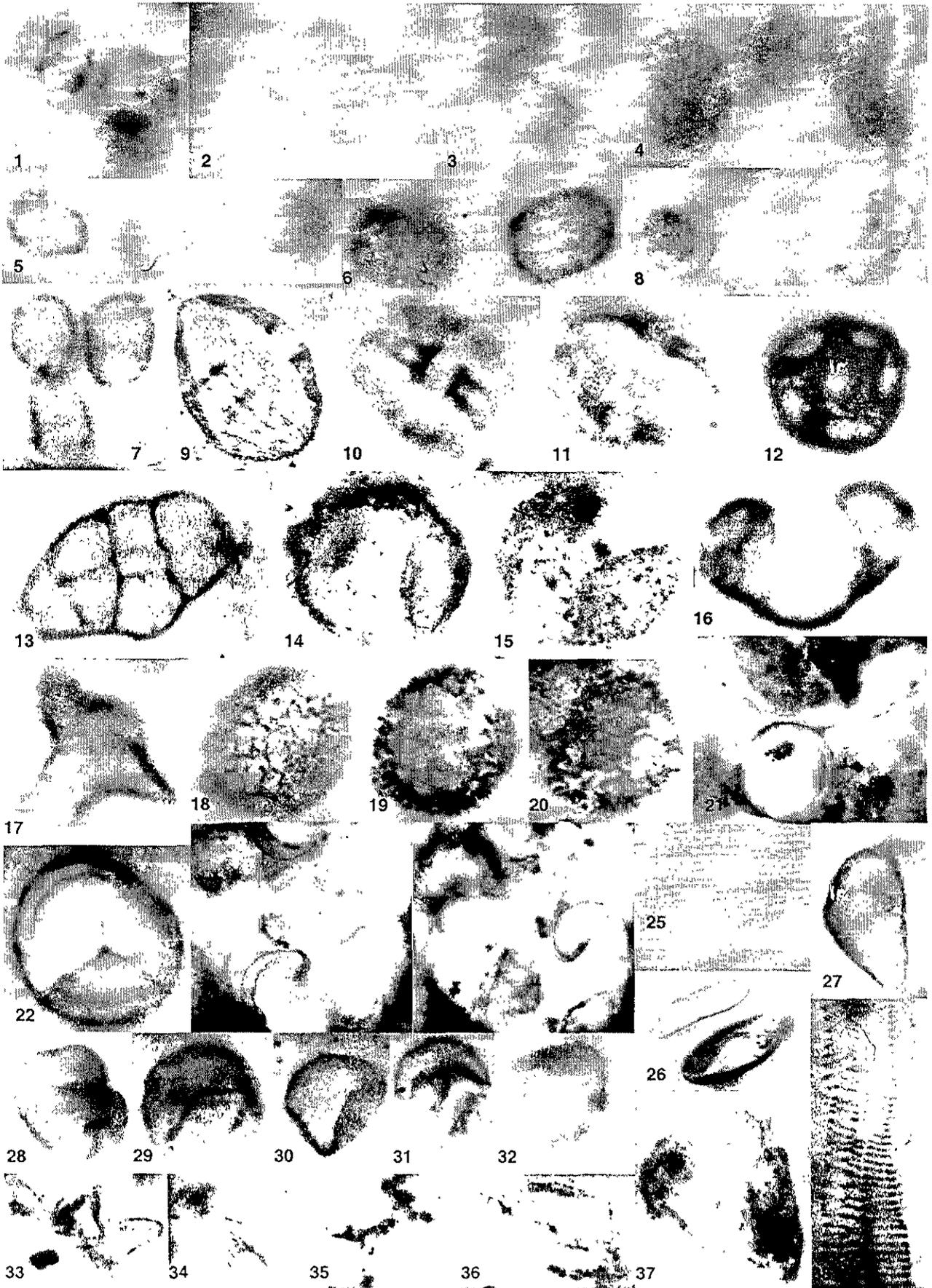


Lámina XIV

TIPO 78

1. parénquima vegetal en la periferia de un estele. x 100

TIPO 79

2. posible estructura reproductora algal o fúngica, con un halo hialino. x 294

TIPO 80

3. corte transversal de estele (colapsado al centro) y células parenquimatosas alrededor. x 33

TIPO 81

4. posible grano de polen semi colapsado. x 444

TIPO 82

5. corte transversal de raíz de monocotiledónea, rodeado por pelos radiculares (también en corte transversal). x 141

TIPO 83

6. corte transversal de un fruto. x 66

TIPO 84

7. posible estructura reproductora pedunculada. x 950

TIPO 85

8-9. microorganismo multicelular, con contenido complejo y pedúnculos segmentados. x 240 (8); x 268 (9)

TIPO 86

10. corte de un bivalvo con la junta de ambas valvas. x 24

TIPO 87

11-13. diferentes vistas del arreglo metamérico de estructuras alargadas y hialinas. x 355

TIPO 88

14. pseudofilamento formado por concreciones. x 1100

TIPO 89

15-16. hifas ramificadas. x 700

TIPO 90

17. fragmento mandibular o de una quela de artrópodo. x 750

TIPO 91

18-19. estructuras luniliformes contenidas en espacios circulares. x 250

TIPO 92

20. tres células unidas, de contorno fino y contenido semidisperso. x 666

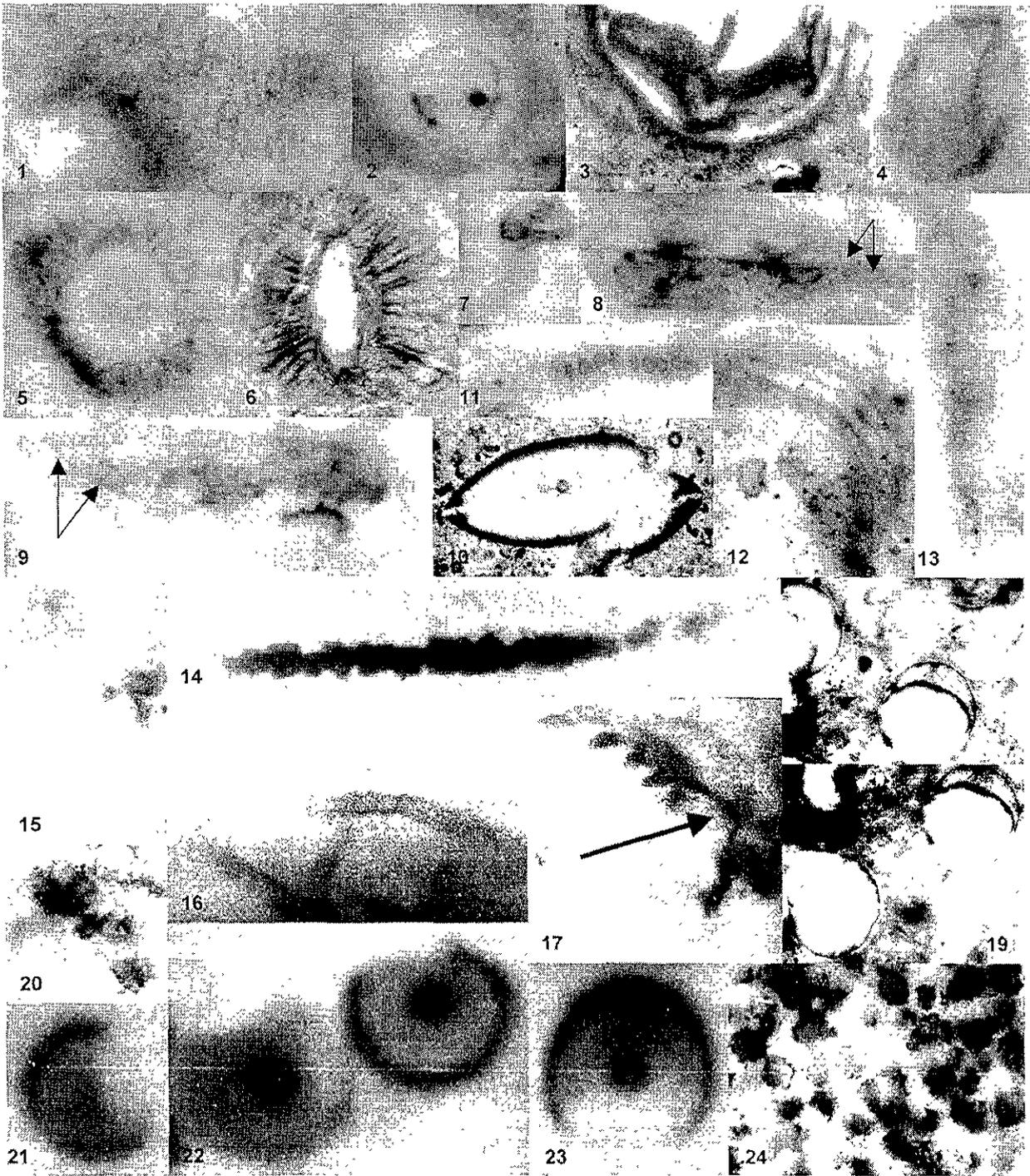
TIPO 93

21-23. crecimientos esféricos de cristales de carbonato. x 628 (21); x 371 (22 y 23)

TIPO 94

24. concreciones con forma de colonia algal. x 500

LAMINA XIV



AGRADECIMIENTOS

Agradezco de corazón a mi asesor Sergio Cevallos por el interés en formarme como investigador y todo lo que ello implica. A José Luis Ramírez, Elíizabeth Chacón, Laura Canadell, Genaro Hernández, Balam Pérez, Patricia Velasco, Marcela Martínez y Rubén Rodríguez, del laboratorio de paleobotánica, por sus comentarios, consejos, salidas y opiniones, pero sobre todo por su amistad.

A Ana Luisa Carreño, por su apoyo, atenciones, risas, regaños y amistad. A Marisol Montellano y Enrique Martínez, por su disposición y ayuda. A Antonio Altamira, por su invaluable trabajo fotográfico, sus atenciones y buenas intervenciones. A los trabajadores de los talleres del Instituto de Geología, por el excelente procesamiento de las muestras.

A José Luis Godínez, por su tiempo, sus cultivos, su disposición, ayuda y amistad, igualmente a la Dra. Martha González. A Demián Hinojosa, por las bellísimas muestras de estromatolitos que recogió pensando en mi.

A Eberto Novelo, por ser siempre tan sincero y buen amigo, por sus críticas que me abren los ojos, por su risa y por su amistad. A Rosa Luz Tavera, Gustavo Montejano, Javier Carmona, Francisco Valadéz y Michel Gold, por siempre recibirme de buenas, por su tiempo, su experiencia y gran ayuda. Al Dr. Fred McDowell, por compartirme sus conocimientos a distancia y por su gran contribución en el trabajo geológico.

A Guadalupe Barajas, por su amistad tan apreciada y por darme otra visión de las cosas. A Enrique González, por sus excelentes clases de Geología, compartir conocimientos tan valiosos con un entusiasmo que contagia y por su amistad. A Joaquín Cifuentes, por ser mi amigo, por ser quien es y compartirlo. A Jesús Alarcón, por su invaluable amistad, su apoyo, opiniones, consejos, ayuda, alimentación balanceada y más. A Felipe Alcántara, por criticarme de buena gana sin importar en qué lugar se encuentre.

A Martha Ferrario, por sus acertadas observaciones y entusiasmo. A los geólogos de la Estación Regional del Noroeste, por el importante trabajo que han hecho en Sonora. A Jorge Ramírez, por sus enseñanzas y su ayuda técnica. A Lucía García, por ser mi amiga y ayudarme en todo lo que puede. A Reinhard Weber, por haber compartido conmigo ratos muy agradables y con enseñanza. A Claudia Armella, por ayudarme en un país lejano, por su tiempo, amabilidad y disposición. A Daniel Poirè, por trabajar con estromatolitos, por contagiarme su jovialidad tan vital y por su amistad.

A Cristina Martínez, por su amistad y revisión de un texto que pudo ser muy pesado. A Ofelia Barrientos, por todas las facilidades que me ha dado y que abre a todo el que quiera, por sus tips y su amistad. A Ma. Antonieta Aladro y Ma. Esther Murillo, mis protozoólogas favoritas, por su ayuda incondicional y amistad. A Roberto Rico, por sus enseñanzas sobre diatomeas fósiles.

A mi queridísima familia: Cristina, Maru y Mariana, porque sin ellas, la tesis hubiera sido muy cortita. A mi queridísimo padre, porque ya está tranquilo de que terminé.

Agradezco a todos los que han tenido que escuchar mis teorías e hipótesis acerca de los estromatolitos y todo lo referente a ellos, por su comprensión, compasión, paciencia y tolerancia.

Muchas personas han intervenido directa o indirectamente en la tesis, pero más importante es la intervención que han tenido en mi vida. A todas ellas las llevo en el corazón, y no las olvido aunque esté lejos y haciendo otras cosas.