

ESTOMATOQUISTES FÓSILES DE CRISOFÍCEAS DE EL ARENAL JALISCO, MÉXICO

L. Sánchez-P.¹; R. Rico-M.¹; Ma. del R. Fernández-B.¹; J. Cañetas²

¹Laboratorio de Geología y Paleontología, ENEP Iztacala, UNAM. D.F. México.

²Laboratorio de Microscopía Electrónica, Instituto de Física, UNAM. D.F. México.

RESUMEN

Es un hecho que la paleolimnología en México cada vez toma mayor importancia, esto se ve reflejado al encontrar numerosas publicaciones acerca de estudios paleolimnológicos con sedimentos lacustres en México. Dichos trabajos, realizados tanto por investigadores nacionales así como extranjeros, aportan valiosa información acerca de las condiciones pasadas que se presentaban en aquellos antiguos ambientes. Por otro lado, como en todo registro fósil también encontramos grandes huecos, por lo cual, cualquier interpretación debe ser realizada cautelosamente. Dentro de las herramientas paleolimnológicas utilizadas en estudios mexicanos, las más comunes, suelen ser las diatomeas, los ostracodos, algunas macrofitas acuáticas, granos de polen, espículas de esponja, etc., sin embargo, la información obtenida no siempre es suficiente para poder llegar a una conclusión satisfactoria, para lo cual se necesita de nuevas herramientas que apoyen a las ya conocidas.

Tal es el caso de los estomatoquistes fósiles de crisofíceas, estos microfósiles suelen ser comunes en depósitos de diatomita, sin embargo, por lo general no son tomados en cuenta. Cabe destacar que son comunes y muy diversos encontrando desde aquellos morfotipos con ornamentaciones que son simplemente esféricos con poro simple, hasta aquellos que son muy llamativos debido a sus ornamentaciones tales como espinas, verrugas y collares complejos. Es un hecho, que estos microfósiles silíceos son comunes en México, como también lo es el hecho de que son prácticamente desconocidos, por lo anterior, el presente documento pretende dar a conocer algunos de los estomatoquistes fósiles encontrados en los depósitos de diatomita del Arenal Jalisco, México, así como también dar a conocer algunas de sus implicaciones ecológicas. Lo anterior con la finalidad de despertar el interés hacia estos microfósiles, tal como se ha hecho en otras partes del mundo.

PALABRAS CLAVES: crisofíceas, stomatoquistes, diatomita, sedimentos lacustres, indicadores paleolimnológicos.

FOSIL STOMATOCYSTS OF CRYSOPHYCEAN FROM EL ARENAL, JALISCO, MÉXICO

SUMMARY

Interest in paleolimnology has been growing steadily in México, as evidenced by a series of review articles that have recently been published. Work done by many researchers has provided valuable information about conditions in ancient environments. Although diatoms continue to be the most common dominants in Mexican studies, research shows that a other few species, particularly ostracods and sponge spicules, among others, have become significant contributors as indicators of environmental change, or paleolimnological markers. Unfortunately, this evidence cannot provide a complete record, and it is necessary to find new implements.

Crysophycean cysts are common in diatomite deposits, but the lack of taxonomic detail and consistency offered by many of the earlier classification systems hindered the use of stomatocysts in paleolimnological studies, and they were simply lumped into one collective category and reported as a group. Although cyst morphology is very diverse, mature cysts may be smooth surfaced or ornamented with a variety of projecting or depressed structural elements. Consequently, fossil statospores or statocysts have been noted in many paleoecological studies, even though detailed investigations are currently rare in México. This paper is presented to establish a practical reference to the statocysts of El Arenal, Jalisco, México.

An outcome of this research will hopefully be intensified interest in the use of stomatocysts as paleolimnological markers.

KEY WORDS: crysophycean, stomatocysts, diatomite, lacustrine deposits, paleolimnological indicators.

INTRODUCCIÓN

Las crisofitas o crisofitos que suelen ser conocidos como algas de color café-dorado, son un complicado y extenso grupo de algas, las cuales suelen ser comunes en cuerpos de agua dulce templada. Su color es debido a la presencia de pigmentos carotenoides, principalmente la xantofila y fucoxantina que representan el 93 % de los carotenoides y el 75 % del total de los pigmentos contenidos (Bold y Wynne, 1978); son células flageladas que pueden vivir en forma solitaria o colonial; existen formas ameboideas, palmeloideas, filamentosas y cocoideas; pueden ser autotrófas, heterotrófas y fagotrófas (Bird y Kalf, 1986; Salonen y Jokinen, 1988).

Hay evidencias de que algunas crisofitas tienen bien definido su hábitat y que presentan una limitada tolerancia por un número de variables limnológicas, tales como pH, temperatura, salinidad, conductividad y nivel trófico (Roijackers y Kessels, 1986); debido a esto, es interesante el uso de fósiles de crisofitas como indicadores de cambios ambientales que reflejan su forma de vida.

Las crisofitas están representadas en el registro sedimentario por dos formas de restos silíceos: 1) escamas desarticuladas, cerdas y espinas producidas por miembros de las sinurofíceas y crisofíceas y, 2) restos quísticos (estomatoquistes, también llamados estatosporas o estatoquistes) que se supone son producidos por todas las crisofitas. Estos microfósiles son abundantes en sedimentos lacustres.

Las escamas de crisofitas se usan como marcadores paleolimnológicos, debido a que la forma, tamaño y estructura son específicas y, a que la composición silícea se preserva bien en los depósitos sedimentarios (Battarbee *et al.*, 1980, Munch, 1980, Smol, 1980). También, son usadas como biomonitores paleolimnológicos, aunque dichas escamas no proveen un registro completo (sólo un 20 %), para lo cual se necesita complementar con otro tipo de microfósiles.

Los estomatoquistes de crisofitas son estructuras de resistencia, conformadas por silicio, de forma más comúnmente globosa y hueca con un poro simple. Su morfología es muy diversa, pero se piensa que es específica para cada especie (Simola, 1991; Sandgren y Smol, 1991; Simola, 1993). Los quistes poseen un diámetro que va desde 2 μm hasta más de 30 μm ; en su estado maduro pueden tener una superficie lisa o con una variedad de proyecciones o elementos estructurales, dentro de los cuales puede haber o no un collar alrededor del poro.

Los estomatoquistes son producidos endógenamente con un sistema especial de membrana. La variación interespecífica en los detalles del mecanismo de

enquistamiento quizá puede indicar una divergencia en el camino evolutivo (Sheath *et al.*, 1975; Hibberd, 1977). Su reproducción puede ser tanto sexual como asexual y los quistes producidos son morfológicamente idénticos (Sandgren, 1989).

Por otro lado, la taxonomía para los estomatoquistes no está bien desarrollada, lo que dificulta saber que especies de crisofitas producen determinado morfotipo de quistes, para lo cual en 1983 fue creado el I.S.W.G. Grupo Internacional de Trabajo para las Estatosporas, con la finalidad de establecer algunos lineamientos para la descripción y determinación de las estatosporas fósiles de acuerdo al código botánico internacional, y así poder agilizar el trabajo de los investigadores que, hasta esa fecha, tenían que hacerlo con una serie de claves taxonómicas de carácter artificial.

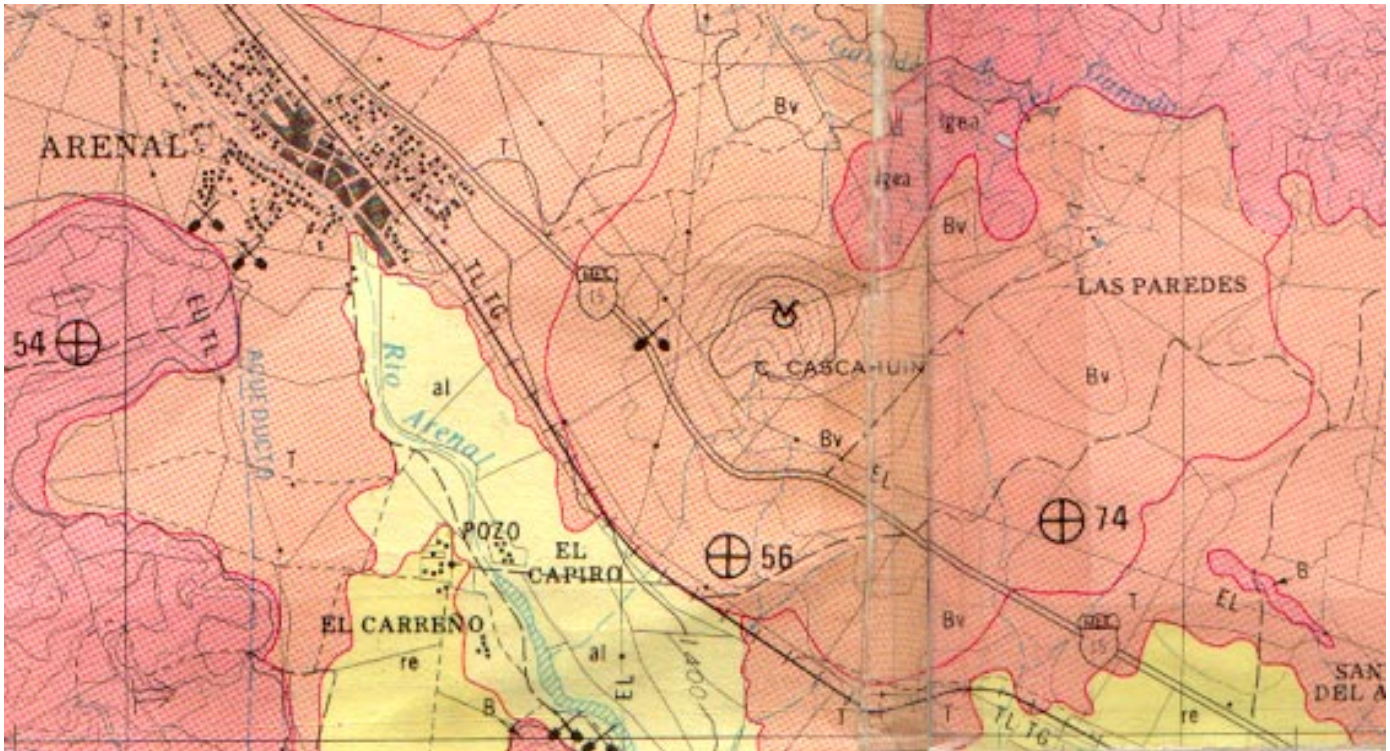
Uno de los grupos de trabajo más conocidos en el campo de los estomatoquistes de Crisofíceas dentro del I.S.W.G., es el de Katharine E. Duff, Barbara A. Zeeb y John P. Smol. Dicho grupo ha trabajado fuertemente con este grupo de microfósiles, así como también con otros investigadores para intercambiar información acerca de estos fósiles en distintas partes del mundo, lo que en 1995 los llevó a realizar un Atlas de Quistes de Crisofíceas, donde incluyen la descripción de alrededor de 250 estomatoquistes y algunas de sus implicaciones ecológicas, siendo un documento de gran importancia en el ámbito internacional.

Para México los estomatoquistes son prácticamente desconocidos, siendo uno de los objetivos primordiales del presente trabajo el darlos a conocer y demostrar que realmente pueden aportar datos importantes sobre cómo se comportaban los antiguos cuerpos de agua.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra localizada entre los 20° 45' de latitud Norte y los 103° 40' de longitud Oeste, al margen de la Carretera Federal # 15, cerca del poblado denominado El Arenal, Jalisco.

La zona se encuentra ubicada dentro de la provincia fisiográfica de la Faja Volcánica Transmexicana (Venegas *et al.*, 1985), anteriormente denominada Eje Neovolcánico (Mooser, 1972), la cual está constituida por afloramientos rocosos predominantemente andesíticos de edad Plio-Cuaternaria. El vulcanismo que les ha dado origen ha ocurrido tanto por fisuras como por aparatos volcánicos centrales, generalmente alineados en dirección E-O, formando así diversas sierras y cadenas con sus respectivos valles intermontañosos. La actividad volcánica que originó estas altiplanicies también dio forma a una serie de valles y lagos, algunos de ellos ya extintos.



MAPA DE LOCALIZACIÓN

La Faja Volcánica Transmexicana se encuentra dividida en diversos sectores por sus depósitos aluviales que se han acumulado en zonas donde la actividad volcánica ha sido más antigua o menos intensa (Venegas *et al.*, 1985). Las rocas sedimentarias de origen marino y las rocas ígneas extrusivas fueron cubiertas por derrames volcánicos y productos piroclásticos del Terciario; las rocas más recientes son del Cuaternario y están constituidas por areniscas, conglomerados, depósitos aluviales y algunos derrames de basalto.

Debido al relieve accidentado de la región, actualmente se aprecian algunos contrastes climáticos, predominando dentro del área de estudio el de tipo C (w1) (w) templado subhúmedo, con una precipitación media que se encuentra entre los 800 y los 1,200 mm y con una temperatura media anual de 22 °C. Dicho clima mantiene, en primer lugar, una vegetación de pastizal tanto natural como inducida y, en las partes altas no perturbadas, asociaciones de pino-encino (SPP, Síntesis Geográfica de Jalisco, 1981).

MÉTODOS

De los afloramientos de diatomita del Arenal Jalisco, Méx., se determinó una sección compuesta de 10.43 metros, muestreando a distintos intervalos dependiendo de la variación observada de los sedimentos tanto en color como en textura. Una vez en el Laboratorio de Geología y

Paleontología de la ENEP Iztacala, UNAM, se procedió a procesar las muestras de acuerdo al método de Schrader (1973), el cual emplea técnicas digestivas para eliminar materia orgánica y es empleado para la limpieza de frústulas de diatomeas y debido a que los estomatoquistes también son síliceos y resistentes a la disolución química se tomó la decisión de emplear dicho método.

Después del procesado, se hicieron cinco preparaciones por cada muestra, colocando una gota de ésta sobre un cubreobjetos de 22 x 22 mm que se secó sobre una parrilla eléctrica, con el fin de evaporar.

Una vez seca la muestra, se colocó una gota de Hyrax como medio de montaje y el cubre-objetos en forma invertida sobre un porta-objetos de 26 x 76 mm previamente etiquetado con los datos de la localidad y el estrato correspondiente, dejando secar a temperatura ambiente.

Las muestras fueron analizadas con ayuda de un microscopio óptico Nikon, determinando así la abundancia relativa de los diferentes morfotipos. La observación detallada se realizó con ayuda de un microscopio electrónico de barrido JEOL del Instituto de Física de la UNAM modelo JSM-5300 con distancia de foco de 10 mm, según las técnicas usuales de preparación y montaje (donde las muestras son tratadas con plata pura y colocadas en un cilindro de aluminio) (Round, *et al.*, 1990).

La determinación de los estomatoquistes se realizó con ayuda del Atlas de crisofitas fósiles Duff, *et al.* (1995), que es una recopilación de los trabajos más significativos acerca de las distintas crisofitas fósiles a nivel mundial.

RESULTADOS

Dentro de los afloramientos de diatomita de El Arenal Jalisco, México se encontraron diversos morfotipos de estomatoquistes fósiles de Crisofíceas, siendo los más comunes y abundantes los que se describen a continuación.

Chrysosphaerella longispina # 49.

Descrito por Duff y Smol (1991) y Zeeb y Smol (1993a).

DESCRIPCIÓN M.O.: Se observa simplemente como un quiste circular.

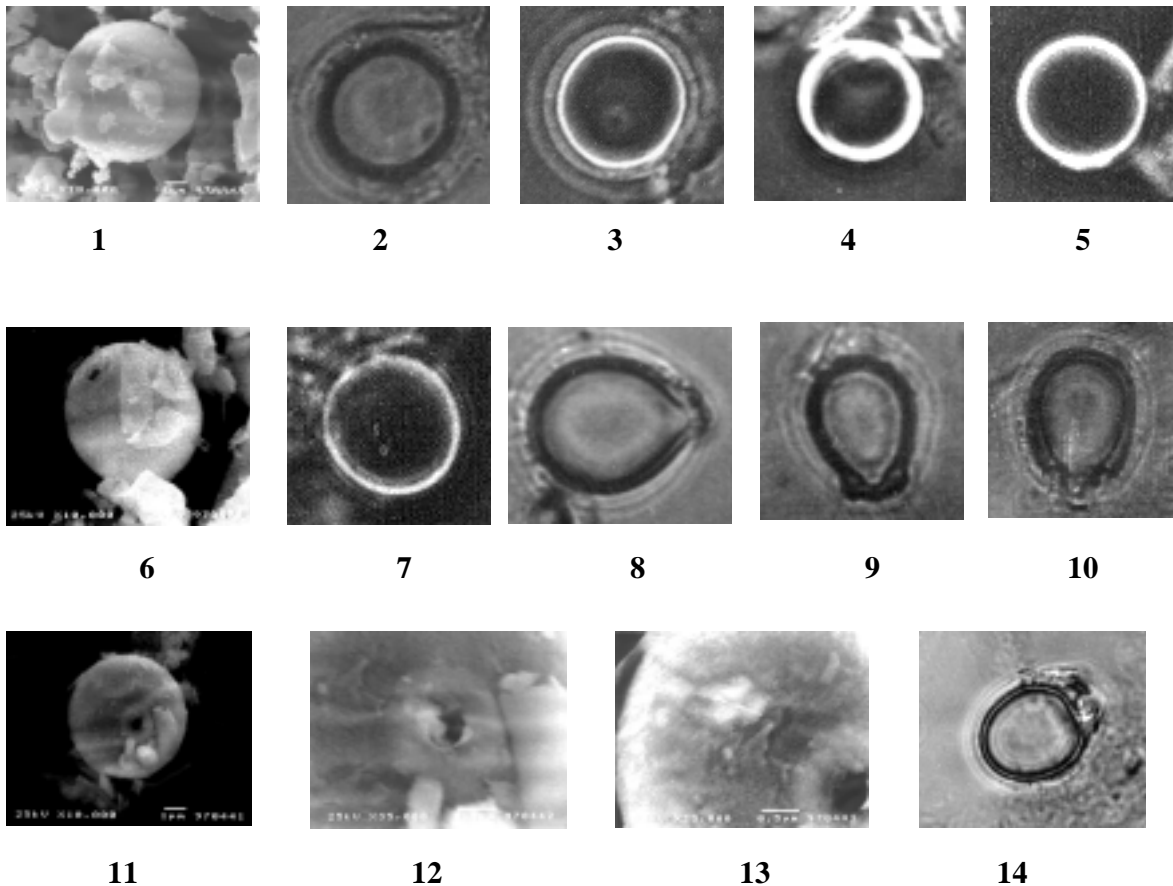
DESCRIPCIÓN M.E.B.: Este tipo de quistes presenta una forma esférica con un diámetro entre 7-10.7 μm y un

poro bien definido, su superficie es regular y lisa, sin ninguna ornamentación llamativa.

Es de los más abundantes dentro de los sedimentos lacustres de El Arenal Jalisco, México; es relativamente fácil de identificar debido a su morfología y dimensiones, aunque puede ser confundido con quistes de morfología similar como puede ser el # 42 y # 120 descritos en el Atlas de Quistes de Crisofíceas Duff *et al.* (1995).

AFINIDAD BIOLÓGICA: Parecido a un quiste maduro de *Chrysosphaerella longispina*. Los quistes menos maduros son idénticos al estomatoquiste # 120 y # 42 dependiendo del tamaño.

ECOLOGÍA: *Chrysosphaerella longispina* es un *taxa* ampliamente distribuido, encontrado principalmente en cuerpos de agua ácidos y alrededor de pH 7, con un pH óptimo estimado de 5.4-6.3 (Dixit *et al.*, 1988, 1989a; Eloranta, 1989; Siver y Hamer, 1990, 1992). Éste es más abundante en zonas templadas (Davis, 1973; Siver y



Figuras 1, 2, 3. Estomatoquiste 49 1) M.E.B. 8 μm (X 10, 000). 2) y 3) M.O. 7.6 y 8.1 μm respectivamente (X 100). Figuras 5, 7. Estomatoquiste 110 M.O. 3.5 y 4.2 μm respectivamente (X 100). Figura 6 Estomatoquiste # 46 M.E.B.5 μm (X 10, 000). Figura 4. *Chrysolepidomonas dendrolepidota* #9 M.O. 7 μm (X 100). Figuras 8,9. Estomatoquiste # 154 M.O. 10.7 y 8.0 μm respectivamente (X 100). Figura 10. Estomatoquiste #133 M.O. 10.2 μm (X 100). Figuras 11, 12, 13. *Paraphysomonas antarctica* # 125 M.E.B. 11) 6.8 μm (X 10,000) 12) y 13) acercamientos al poro y collar. Figura 14. Estomatoquiste # 135 M.O. 8.4 μm (X 100).

Hamer, 1992). El estomatoquiste 49 ha sido encontrado tanto en locaciones ácidas y alcalinas y ha sido clasificado como pH indiferente por Rybak *et al.* (1991).

Estomatoquiste #110.

Descrito en Duff *et al.* (1995).

DESCRIPCIÓN M.O.: Bajo el microscopio óptico este quiste no puede ser diferenciado de los estomatoquistes # 50, # 52 (descritos en Duff *et al.*, 1995), y otros pequeños quistes esféricos.

DESCRIPCIÓN M.E.B.: Esférico y muy pequeño con un diámetro entre 2.6-4.8 mm siempre menor a 5 mm. El collar es cónico con un diámetro de 0.7-1.4 mm y el poro es regular con un diámetro de 0.3-0.5 μm . Presenta una superficie lisa sin ornamentaciones.

AFINIDAD BIOLÓGICA: La morfología del collar indica que este estomatoquiste quizá es producido por más de una especie de Crisofíceas.

ECOLOGÍA: La limitada evidencia paleolimnológica sugiere que es un indicador de oligotrofia (Rybak *et al.*, 1987; Zeeb *et al.*, 1990). Sin embargo, este es más común en lagos productivos Duff's (1994), presenta una clara

afinidad por lagos ácidos y con baja conductividad (Duff, 1994). Es producido por taxa tolerantes al frío (Duff *et al.*, 1992).

Estomatoquiste # 46.

Estomatoquiste similar al # 46 (Duff *et al.*, 1995).

DESCRIPCIÓN M.O.: Es un pequeño estomatoquiste esférico (diámetro 3.0-5.9mm) muy parecido al # 1, # 29 y # 189 (Duff *et al.*, 1995), pero es diferenciado basándose en la morfología del poro y basándose en su tamaño. No presenta ornamentaciones en su superficie.

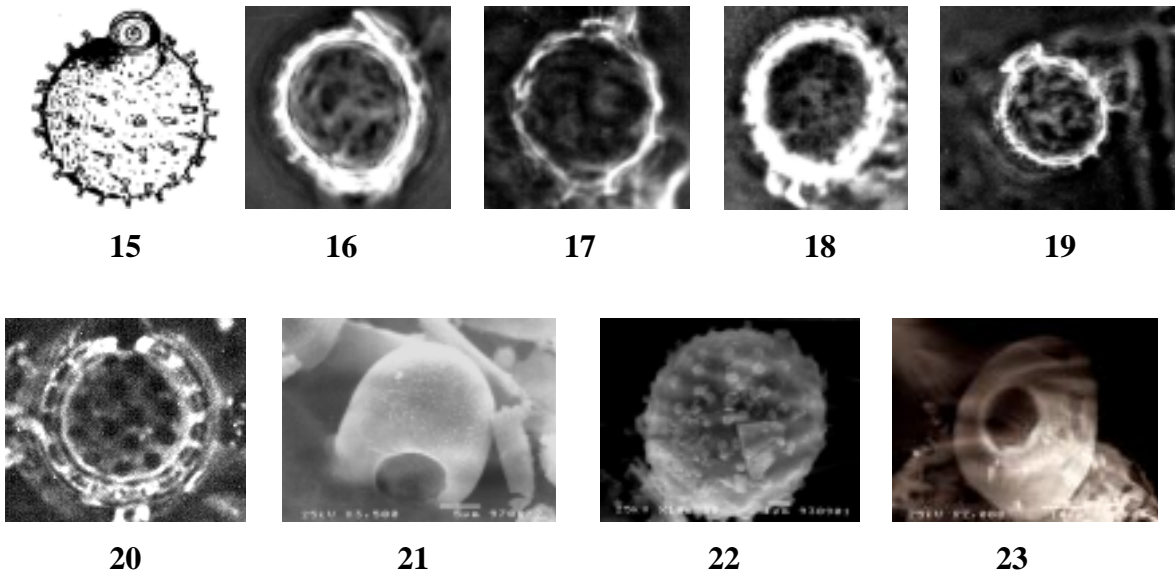
DESCRIPCIÓN M.E.B.: Sin ornamentaciones, pero con un poro cónico profundo (diámetro del poro 0.6-0.7 μm).

AFINIDAD BIOLÓGICA: Desconocida.

ECOLOGÍA: Es producido por especies tolerantes a altas salinidades (>10 mg/l) (Pienitz *et al.*, 1992).

Estomatoquiste # 154

Estomatoquiste que presenta una morfología similar al # 154 (Duff *et al.*, 1995) basándose en la descripción de



Figuras 15, 16, 17, 18, 19. Estomatoquiste 72. 15) Bosquejo donde se observa su llamativa ornamentación y su tradicional forma de botella. 16), 17), 18) y 19) fotografías en M.O. de distintas morfologías del estomatoquiste # 72. Figura 20. Estomatoquiste # 231 M.O. 7.8 μm (X 100). Figura 21. Estomatoquiste similar al # 235 M.E.B. 31.2 μm (X 3, 500). Figura 22. Estomatoquiste # 206 M.E.B. 7.9 μm (X 10, 000). Figura 23. Estomatoquiste desconocido M.E.B. 41.8 μm (X 2000).

M.O., sin embargo presenta una cubierta alrededor del cuerpo del quiste no observada en el quiste 154.

DESCRIPCIÓN M.E.B.: Ovalado con un diámetro de 10.75 μm . El collar del poro no presenta ornamentaciones.

AFINIDAD BIOLÓGICA: Desconocida.

ECOLOGÍA: Se sabe muy poco sobre su ecología, pero se tienen registros de que es muy abundante durante inviernos húmedos en algunos lagos de Minnesota U.S.A. (Zeeb y Smol, 1993b).

Estomatoquiste # 231.

Similar al # 231 (Duff *et al.*, 1995).

DESCRIPCIÓN M.O.: Presenta un collar pequeño y un retículo, en lo que respecta a la superficie presenta una serie de ornamentaciones a manera de lagunas continuas, es un estomatoquiste esférico y fácil de identificar debido a su ornamentación, tiene un diámetro de 7.8 μm .

AFINIDAD BIOLÓGICA: Desconocida.

ECOLOGÍA: Se presenta en lagos ligeramente ácidos y alrededor de pH 7, con valores bajos de conductividad en la Columbia Británica, Canadá (Duff, 1994).

Estomatoquiste # 72.

La morfología de estos estomatoquistes es similar al estomatoquiste 72 (Duff *et al.*, 1995).

DESCRIPCIÓN M.O.: Es claramente diferenciado de otros quistes debido a sus dimensiones, pero principalmente a su forma de botella y a sus espinas.

DESCRIPCIÓN M.E.B.: El estomatoquiste 72 es un quiste esférico con un diámetro alrededor de 12.25 μm , su superficie es muy ornamentada con espinas claramente distinguibles.

AFINIDAD BIOLÓGICA: Quizá es producido por una Crisofita rizopodial no descrita. Las formas a) y b) son muy parecidas al estomatoquiste 72, fácilmente identificables debido a la morfología del collar, las espinas en su superficie y su tamaño; la forma c) también presenta espinas en la superficie pero su forma es ovalada y no se distingue el collar a diferencia de las formas a) y b).

ECOLOGÍA: Es probablemente producido tanto por especies acidobiónicas como acidófilicas. Por otro lado ha sido encontrado en locaciones oligotróficas (Rybak *et al.*, 1991), e incrementa su abundancia relativa en lagos eutroficados artificialmente (Zeeb *et al.*, 1994).

Estomatoquiste # 133.

Similar al quiste 133 forma E de M.O., (Duff *et al.*, 1995).

DESCRIPCIÓN M.O.: La morfología es similar a la forma E del quiste 133, presentan un collar complejo y una superficie relativamente lisa su diámetro es de entre 6.86 mm y 10.78 mm.

AFINIDAD BIOLÓGICA: Estos quistes posiblemente son producidos por algunas especies de *Ochromonas*, ya que se asemejan al quiste *O. sphaerocystis* descrito por Matvienko (Andersen, 1982), sin embargo, es mucho más pequeño.

ECOLOGÍA: Desconocida.

***Chrysolepidomonas dendrolepidota* # 9.**

Correspondiente al estomatoquiste # 9 (Duff *et al.*, 1995).

DESCRIPCIÓN M.O.: En cuanto a la morfología y tamaño del cuerpo del quiste es muy parecido a los estomatoquistes 129, 189 y 15, pero el poro es diferente.

DESCRIPCIÓN M.E.B.: Esféricos, son idénticos al estomatoquiste # 1 (Duff *et al.*, 1995), pero su tamaño es más grande con un diámetro entre 6.0-8.9 μm y con un diámetro del poro entre 0.5-0.8 μm , su superficie es lisa.

AFINIDAD BIOLÓGICA: Probablemente producido por varias especies incluyendo *Chrysolepidomonas dendrolepidota* (Peters y Andersen, 1993).

ECOLOGÍA: Este quiste parece ser tolerante a un amplio rango de variables ambientales, incluyendo pH (Duff y Smol, 1988; Duff *et al.*, 1992; Carney *et al.*, 1992; Duff, 1994), temperatura (Duff y Smol, 1988; Duff *et al.*, 1992; Zeeb y Smol, 1993a), y salinidad (Pienitz *et al.*, 1992). El estomatoquiste 9 es el más común en sedimentos de hasta tres millones de años de antigüedad.

Estomatoquiste # 206.

Descrito por (Duff *et al.*, 1995).

DESCRIPCIÓN M.O.: Las verrugas son tenues pero se pueden observar con M.O. Este quiste es similar en tamaño, forma y ornamentación a los estomatoquistes # 140 y # 141 (Duff *et al.*, 1995), y posiblemente puede ser confundido con estos dos, sin embargo, estos últimos dos poseen múltiples paredes y un poro profundo. El estomatoquiste 206 puede ser también confundido con el # 207 (Duff *et al.*, 1995), pero es más pequeño.

DESCRIPCIÓN M.E.B.: Esférico, la superficie es marcadamente ornamentada con una serie continua de verrugas. Su diámetro es de 7-8.9 μm , desafortunadamente el poro no pudo ser observado.

AFINIDAD BIOLÓGICA: Desconocida.

ECOLOGÍA: Desconocida.

Estomatoquiste # 235.

Similar al # 235 (Duff *et al.*, 1995), pero de dimensiones mucho mayores.

DESCRIPCIÓN M.O.: Debido a sus dimensiones, es fácilmente distinguible bajo el M.O., denotándose claramente su poro.

DESCRIPCIÓN M.E.B.: De forma ovalada, su tamaño es poco usual para los datos que se tienen sobre el tamaño de los quistes de Crisofíceas, tiene un diámetro de 31.2 μm y también posee un poro simple de un gran diámetro 12.0-14.4 μm . La superficie presenta un patrón continuo de pequeños lunares que la cubren en su totalidad.

AFINIDAD BIOLÓGICA: Desconocida.

ECOLOGÍA: Desconocida, es un quiste muy poco frecuente y no descrito anteriormente.

***Paraphysomonas antartica* # 125.**

Descrito por (Duff *et al.*, 1995)

DESCRIPCIÓN M.O.: Puede ser distinguido de otros quistes similares gracias a que es fácil de diferenciar con base en la morfología de su collar, dicho collar es poco común en los estomatoquistes esféricos; sin embargo, es difícilmente distinguible de los quistes 181 y 182 (Duff *et al.*, 1995); para lo cual es necesaria la confirmación con el M.E.B., principalmente cuando dentro de la muestra hay dos o más de estas formas.

DESCRIPCIÓN M.E.B. : Esférico, de superficie lisa con un diámetro entre 6.0-7.2 μm , con un collar bien definido alrededor del poro con un diámetro de 1.3-1.8 μm , el poro es de forma regular con una abertura de 0.5-0.8 μm .

AFINIDAD BIOLÓGICA: Es un quiste producido por *Paraphysomonas antartica* (Takahashi, 1987).

ECOLOGÍA: Este tipo de quiste ha sido encontrado dentro de locaciones alcalinas (Duff *et al.*, 1992; Pienitz *et al.*, 1992), y tal vez es producido por alguna Crisofita tolerante a altas salinidades (Pienitz *et al.*, 1992; Takahashi, 1987). De acuerdo con Duff *et al.* (1992), puede ser producido por especies perifíticas.

Estomatoquiste # 135.

Descrito por (Duff *et al.*, 1995).

DESCRIPCIÓN M.O.: Este morfotipo puede ser identificado gracias a que posee un collar complejo muy llamativo. Es un quiste que varía en su forma, algunos son ligeramente ovalados y otros son más esféricos, su tamaño también es variable entre 5.7 - 15.0 μm .

DESCRIPCIÓN M.E.B.: Como ya se mencionó este quiste puede ser fácilmente identificado, gracias a su collar complejo. Alrededor del poro regular de 5 μm de diámetro, esta un collar primario cónico de 1.1-3.8 μm de diámetro, y un collar secundario con proyecciones a manera de ganchos, las cuales varían de acuerdo al tamaño del quiste, y finalmente presenta un tercer collar ligeramente cilíndrico. En lo que respecta a la superficie del quiste esta resulta ser lisa sin ornamentaciones.

AFINIDAD BIOLÓGICA: Resulta desconocida, pero varias especies de *Uroglena* producen quistes con collares con proyecciones en forma de ganchos (p.e. *U. notabilis* Mack (Bourrelly, 1957); *U. lindiae* Bourrelly (Bourrelly, 1957; Nygaard, 1977); *U. soniaca* Conrad (Conrad, 1938), aunque estos quistes están típicamente ornamentados con espinas cortas o verrugas.

ECOLOGÍA: Ha sido observado en locaciones poco profundas, y durante periodos en donde el nivel de los cuerpos de agua disminuye, probablemente producido por alguna especie tolerante al agua fría, de igual forma resulta tolerante a un amplio intervalo de valores de pH (Adam, 1980; Duff *et al.*, 1992), aunque es más común en cuerpos de agua alcalinos (Duff, 1994).

Estomatoquiste no identificado.

Este quiste es el de mayor tamaño encontrado hasta el momento 41.8 μm de largo por 31.8 μm de ancho, la morfología del collar es simple, pero el diámetro del poro es de 10 a 15.5 μm y su superficie es lisa.

Con la observación de M.O. es fácilmente distinguible, debido a sus dimensiones.

Su ecología y afinidad biológica se desconocen.

DISCUSIÓN

Dentro de los afloramientos de diatomita de El Arenal Jal., México, las estatosporas fósiles de Crisofíceas son comunes, presentando variadas morfologías. Obviamente la cantidad es mucho menor con respecto a las diatomeas, debido a sus preferencias ecológicas (pH, temperatura, conductividad y nivel trófico principalmente) sin embargo,

las estatosporas también son silíceas y son relativamente resistentes a la descomposición bacteriana y a la disolución química, encontrándolas perfectamente preservadas en los sedimentos lacustres, y de igual forma pueden ser estudiadas utilizando algunas de las técnicas empleadas para otros microfósiles como las diatomeas, tal como se hizo en el presente trabajo.

La determinación presentó algunas complicaciones, ya que la bibliografía es bastante restringida, sin embargo, la mayoría de los morfotipos encontrados pudo relacionarse con algunos de los quistes ya antes descritos por Duff *et al.*, 1995, cuyas descripciones coincidieron con las obtenidas en este estudio. Dentro de los afloramientos se encuentran diversos quistes no observados anteriormente, presentando la morfología básica de algunos morfotipos descritos anteriormente, pero con ciertas diferencias como el tamaño, resultando ser mucho más grandes, excediendo las 40 μm de diámetro y con poros de hasta 15.5 μm de diámetro, tal como se presenta en el estudio Figura 23.

La problemática anterior es común cuando se trabaja con este grupo de microfósiles silíceos debido a que la taxonomía de los quistes de Crisofíceas realmente está poco desarrollada, de tal forma una variedad de clasificaciones temporales ha sido creada para proveer una nomenclatura para las estatosporas (Conrad, 1939; Deflandre, 1952; Nygaard, 1956). Otro de los problemas que se presentan para la identificación de las estatosporas, es que muchas de ellas se parecen, y un análisis de microscopía óptica no nos permite diferenciarlos.

Afortunadamente con la llegada de la microscopía electrónica de barrido la identificación de los quistes puede ser más sencilla (Gritten, 1977; Adam y Mahood, 1981; Sandgren y Carney, 1983), de tal forma que algunos de estos quistes pueden ser relacionados con las algas que las producen (Cronberg, 1980; Andersen, 1982; Smol, 1984). Ciertas características, tales como la complejidad del poro y collar (Sandgren y Carney, 1983) pueden ser claramente detalladas con ayuda del microscopio electrónico, mismas que son reconocidas como importantes elementos taxonómicos para la determinación.

Durante el Primer Simposium Internacional de Crisofitas llevado a cabo en la Universidad del Norte de Dakota en agosto de 1983, se formó el Grupo Internacional de Trabajo sobre Estatosporas (I.S.W.G.). Para dicha agrupación, uno de los objetivos más importantes es el desarrollar procedimientos para la designación, descripción y publicación de nuevos morfotipos de estatosporas de acuerdo con el Código Botánico (Cronberg y Sandgren, 1986). El trabajo de este grupo puede acelerar ampliamente las investigaciones sobre las estatosporas.

Ahora bien, es un hecho que las estatosporas fósiles han sido empleadas en algunos estudios paleolimnológicos,

sin embargo, las investigaciones detalladas son escasas y una de las causas para que estos microfósiles no sean utilizados ampliamente, es el hecho de que sólo una pequeña proporción (<5 %) de estos microfósiles ha sido relacionada con las especies que los producen. No obstante, una simple enumeración de las estatosporas puede proveer una estimación del pasado de las poblaciones de Crisofitas (Brugam, 1978; Smol, 1983). De tal forma que una vía adecuada para expresar este tipo de datos en los estudios paleolimnológicos es el comparar la abundancia de las frústulas de diatomeas con la abundancia de las estatosporas de crisofíceas (Smol, 1985).

Lo anterior puede ser aplicado a los depósitos lacustres de El Arenal Jalisco, México, de hecho contamos ya con algunos avances en donde hemos comparado los datos obtenidos por medio de las diatomeas fósiles, con los aportados por los estomatoquistes estratigráficamente, obteniendo así, una serie de datos muy importantes de las condiciones pasadas de este antiguo paleolago como: cambios en el nivel trófico y de las aguas, salinidad, así como también, el cómo afectaba la actividad volcánica de la zona a este antiguo cuerpo de agua.

CONCLUSIÓN

Actualmente las investigaciones paleolimnológicas comienzan a tomar mayor importancia a nivel mundial, sin embargo, muchas veces las herramientas empleadas para dichos estudios son escasas. Particularmente dentro del campo de la paleolimnología algunas de las herramientas más usadas son: las diatomeas, espículas de esponja, ostracodos, restos de macrofitas acuáticas, entre otras, cada una con sus limitaciones, para lo cual resulta de vital importancia el conocer nuevas alternativas que apoyen o complementen la investigación paleolimnológica. Tal es el caso de los estomatoquistes fósiles de Crisofíceas, que han sido poco estudiados a nivel mundial y de los cuales se conoce muy poco, siendo prácticamente desconocidos en México.

El Arenal Jalisco, México, resulta ser una zona de gran potencial para la realización de investigaciones paleolimnológicas, tal como se ha podido constatar en investigaciones anteriores así como en el presente trabajo. Particularmente en lo que concierne a la presente investigación, resalta el potencial de esta zona, al haber trabajado con otro tipo de microfósiles silíceos. Los estomatoquistes fósiles de Crisofíceas han sido estudiados en antiguos depósitos lacustres, principalmente de Canadá y los Estados Unidos de Norteamérica, sin embargo, en México no existía ninguna investigación detallada acerca de este grupo de microfósiles.

Dentro de la sección estudiada de los afloramientos de diatomita de El Arenal Jalisco, México, se encontraron

diversas morfologías de estomatoquistes, entre ellos *Chryso-sphaerella longispina*, *Paraphysomonas antartica* y *Chrysolepidomonas dendrolepidota* que son algunos de los quistes que aparecen con más frecuencia en estudios paleolimnológicos. Resalta la presencia de quistes no observados anteriormente, o al menos en los trabajos que hasta la fecha se tienen de este tipo de microfósiles. Dichos quistes son muy llamativos, debido principalmente a sus dimensiones, ya que son de los más grandes que hayan sido observados presentando una ornamentación muy llamativa.

En cuanto a los que pudieron ser identificados, cabe señalar que su determinación resultó ser complicada, debido a que no existen claves como las que se utilizan para la determinación de diatomeas u otro tipo de microfósiles, esperando que la presente investigación complementa la información con la que se cuenta hasta el momento.

Por otro lado, es un hecho que los estomatoquistes fósiles de Crisofíceas poseen el potencial necesario para llegar a ser una herramienta muy útil dentro de los estudios paleolimnológicos, sin embargo, se necesitan más investigaciones que complementen la información actual, trabajos no sólo descriptivos, sino trabajos de laboratorio con los organismos vivos para poder identificar qué tipos de quiste producen, lo cual será uno de los mayores retos para que este tipo de microfósiles silíceos se consoliden como uno de los paleomarcadores de mayor utilidad dentro de las investigaciones paleolimnológicas.

AGRADECIMIENTOS

A todos los integrantes del Laboratorio de Geología y Paleontología de la ENEP Iztacala, UNAM, por las facilidades brindadas para la realización del presente trabajo.

LITERATURA CITADA

- ADAM, D. P. 1980. Scanning Electron Micrographs of Upper Pleistocene Chrysonomad cysts from Flagpole Peak, Eldorado County, California. *U.S. Geol. Surv. Open-file Rep.* 80-1239.
- ADAM, D. P.; MAHOOD A., D. 1981. Chrysophyte cysts as potential environmental indicators. *Geol. Soc. Am. Bull.* 92: 839-844.
- ANDERSEN, R. A. 1982. A light and electron microscopical investigation of *Ochromonas sphaerocystis* Matvienko (Chrysophyceae): the statospore, vegetative cell and its peripheral vesicles. *Phycology* 21: 390-398.
- BATTARBEE, R.W.; CRONBERG G.; LOWRY, S. 1980. Observations on the occurrence of scales and bristles of *Mallomonas* spp. (Chrysophyceae) in the micro-laminated sediments of a small lake in Finnish North Karelia. *Hidrobiología* 71: 225-232.
- BIRD, D. F.; KALFF, J. 1986. Bacterial grazing by planktonic lake algae. *Science* 231: 493-495.
- BOLD, H. C.; WYNNE, M. J. 1978. *Introduction to the algae, Structure and Reproduction*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey: 706pp.
- BOURRELLY, P. 1957. Recherches sur les Chrysophycées. Morphologie, phylogénie, systématique. *Rev. Algol. Mém. Hors-Serie* 1: 1-412.
- BRUGAM, R. B. 1978. Human disturbance and the historical development of Linsley Pond *Ecology* 59: 19-36.
- CARNEY, H. J.; WHITING, M. C.; DUFF, K.E.; WHITEHEAD, D. R. 1992. Chrysophyte cysts in Sierra Nevada (California) lake sediments: paleoecological potential. *J. Paleolimnol.* 7: 73-94.
- CONRAD, W. 1938. Notes protistologiques. V. Observations sur *Uroglena soniaca* n. sp. et remarques sur le genre *Uroglena* Ehr. (incl. *Uroglenopsis* Lemm.). *Bull. Mus. Roy. Hist. Nat. Belg.* 14: 1-27.
- CONRAD, W. 1939. Notes protistologiques. VI. Kystes de Chrysonomades ou Chrysostomatacus. *Bull. Mus. R. Hist. Nat. Belg.* 14: 1-6.
- CRONBERG, G., 1980. Cyst development in different species of *Mallomonas* (Chrysophyceae) studied by scanning electron microscopy. *Algol. Stud.* 25: 421-434.
- CRONBERG, G.; SANDGREN, C. D. 1986. A proposal for the development of standardized nomenclature and descriptive terminology for chrysophyte statospores pp. 317-328. In: J. Kristiansen and R. Andersen (Eds), *Chrysophytes Aspects and Problems*. Cambridge Univ. Press.
- DAVIS, C. C. 1973. A seasonal quantitative study of the plankton of Bauline Long Pond, a Newfoundland lake. *Nat. Can.* 100: 85-105.
- DEFLANDRE, G., 1952. Chrysonomades fossils. pp. 560-570. In: P. Grassé (Ed.), *Traité de Zoologie*. Masson, Paris.
- DIXIT, S. S.; DIXIT, A. S.; SMOL, J. P. 1988. Scaled chrysophytes (Chrysophyceae) as indicator of pH in Sudbury, Ontario, lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45: 1411-1421.
- DIXIT, S. S.; DIXIT, A. S.; SMOL, J. P. 1989a. Relationship between chrysophyte assemblages and environmental variables in 72 Sudbury lakes as examined by Canonical Correspondence Analysis (CCA). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46: 1667-1676.
- DUFF, K. E. 1994. Relationships of sedimentary chrysophyte stomatocyst assemblages in lake sediments to environmental gradients. *Ph. Doctoral. Thesis*, Queen's University. 85pp.
- DUFF, K. E.; ZEEB, A. B.; SMOL, J. P. 1988. Chrysophyte stomatocysts from the postglacial sediments of a High Arctic lake. *Can. J. Bot.* 66: 1117-1128.
- DUFF, K. E.; DOUGLAS M., S. V.; SMOL, J. P. 1992. Chrysophyte cysts in 36 Canadian high arctic ponds. *Nord J. Bot.* 12: 471-499.
- DUFF, K. E.; ZEEB, A. B.; SMOL, J. P. 1995. *Atlas of Chrysophyte Cysts*. Kluwer Academic Publishers. London. 189 pp.
- ELORANTA, P. 1989. Scaled chrysophytes (Chrysophyceae and Synurophyceae) from national park lakes in southern and central Finland. *Nord. J. Bot.* 8: 671-681.
- GRITTEN, M. M. 1977. On the fine structure of some chrysophyte cyst. *Hydrobiology* 53: 239-252.
- HIBBERD, D. J. 1977. Ultrastructure of cyst formation in *Ochromonas tuberculata* (Chrysophyceae). *J. Phycol.* 13: 309-320.
- MOOSER, F. 1972. The Mexican Volcanic Belt: structure and tectonics. *Geof. Inst.* 12: 55-70.

- MUNCH, C. S. 1980. Fossil diatoms and scales of Chrysophyceae in the recent history of Hall Lake, Washington, U.S.A. *Nord. J. Bot.* 5: 505-510.
- NYGAARD, G. 1956. Ancient and recent flora of diatoms and Chrysophyceae in Lake Gribso. *Folia Limnol. Scand.* 8: 32-94.
- NYGAARD, G. 1977. New or interesting plankton algae with a contribution on their ecology. *Klong. Danske Vidensk. Selskab, Biol. Skr.* 21: 1-107.
- PETERS M. C.; ANDERSEN, R. A. 1993. The fine structure and scale formation of *Chrysolepidomonas dendroepidota gen. et sp. nov.* (Chrysolepidomonadaceae fam. Nov., Chrysophyceae). *J. Phycol.* 29: 469-475.
- PIENITZ, R.; WALKER, I. R.; ZEEB, B. A.; SMOL, J. P.; LEAVITT, P. R. 1992. Biomonitoring past salinity changes in an athalassic subarctic lake. *Int. J. Salt Lake Res.* 1: 91-123.
- ROIJACKERS R., M. M.; KESSELS, H. 1986. Ecological characteristics of scale-bearing Chrysophyceae from the Netherlands. *Nord. J. Bot.* 6: 373-385.
- ROUND, F. E.; CRAWFORD R., M.; MANN, D. G. 1990. The Diatoms: Biology and Morphology of the genera. Cambridge University Press. 747 pp.
- RYBAK, M.; RYBAK, I.; DICKMAN, M. 1987. Fossil chrysophycean cyst flora in a small meromictic lake in southern Ontario, and its paleoecological interpretation. *Can. J. Bot.* 65: 2425-2440.
- RYBAK, M.; RYBAK, I.; NICHOLLS, K. 1991. Sedimentary chrysophycean cyst assemblages as paleoindicators in acid sensitive lakes. *J. Paleolimnol.* 5: 19-72.
- SALONEN, K.; JOKINEN, S. 1988. Flagellate grazing on bacteria in a small dystrophic lake. *Hydrobiology* 161: 203-209.
- SANDGREN, C. D., 1989. SEM investigations of statospore (stomatocyst) development in diverse members of the Chrysophyceae and Synurophyceae. *Beih. Nova Hedwigia* 95: 45-69.
- SANDGREN, C. D.; CARNEY, H. J. 1983. A flora of fossil chrysophycean cysts from the recent sediments of Frains Lake Michigan, U.S.A. *Nova Hedwigia* 38: 129-160.
- SANDGREN, C. D.; SMOL, J. P. 1991. Reply to Dr. Simola's comment on the taxonomy of snowflakes (chrysophyte cysts). *J. Paleolimnol.* 6: 261-263.
- SCHRADER, H. J., 1973. Proposal for a Standardized Method of Cleaning Diatom-Bearing Deep-Sea and Land-Exposed Marine Sediments. *Nova Hedwigia* 403-409 pp.
- SHEATH, R. G.; HELLEBUST, J. A.; SAWA, T. 1975. The statospore of *Dinobryon divergens* Imhof. Formation and germination in a subarctic lake. *J. Phycol.* 11: 131-138.
- SECRETARÍA DE PROGRAMACIÓN Y PRESUPUESTO. 1981. Síntesis Geográfica del estado de Jalisco.
- SIMOLA, H., 1991. Chrysophyte stomatocyst taxonomy - classification of snowflakes. *J. Paleolimnol.* 6: 261-263.
- SIMOLA, H., 1993. Reply to Sandgren and Smol: further discussion on chrysophyte cyst taxonomy. *J. Paleolimnol.* 9: 63-68.
- SIVER, P. A.; HAMER, J. S. 1990. Use of extant populations of scaled chrysophytes for the inference of lakewater pH. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47: 1339-1347.
- SIVER, P. A.; HAMER, J. S. 1992. Seasonal periodicity of Chrysophyceae and Synurophyceae in a small New England lake: implications for paleolimnological research. *J. Phycol.* 28: 186-198.
- SMOL, J. P., 1980. Fossil Synurocean (Chrysophyceae) scales in lake sediments: a new group of paleoindicators. *Can. J. Bot.* 58: 458-465.
- SMOL, J. P., 1983. Paleophycology of a high arctic lake near Cape Herschel, Ellesmere Island. *Can. J. Bot.* 61: 2195-2204.
- SMOL, J. P., 1984. The statospore of *Mallomonas pseudocoronata* Prescott (Mallomonadaceae, Chrysophyceae). *Nord. J. Bot.* 4: 827-831.
- SMOL, J. P., 1985. The ratio of diatom frustules chrysophycean statospores: A useful paleolimnological index. *Hydrobiology* 123: 199-208.
- TAKAHASHI, E., 1987. Loricata and scale-bearing protists from Lützow-Holm Bay, Antarctica II. Four marine species of *Paraphysomonas* (Chrysophyceae) including two new species from the fast-ice covered coastal area. *Jpn. J. Phycol.* 35: 155-166.
- VENEGAS, S.; HERRERA, J. J.; MACIEL, R. 1985. Algunas características de la Faja Volcánica Mexicana y sus recursos geotérmicos. Geofis. Int. Special Volume, in Mexican Volcanic Belt- Part 1. 24 -1: 47-82.
- ZEEB, B. A.; DUFF, K. E.; SMOL, P. J. 1990. Morphological descriptions and stratigraphic profiles of chrysophycean stomatocysts from the recent sediments of Little Round Lake, Ontario. *Nova Hedwigia* 51: 361-380.
- ZEEB, B. A.; SMOL, J. P. 1993a. Chrysophycean stomatocyst flora from Elk Lake, Clearwater County, Minnesota. *Can. J. Bot.* 71: 737-756.
- ZEEB, B. A.; SMOL, J. P. 1993b. Postglacial chrysophycean cyst record from Elk Lake, Minnesota. In J. P. Bradbury y W.E. Dean (eds), Elk Lake, Minnesota: evidence for a rapid climate change in the north-central United States. Geological Society of America Special Paper 276, Boulder: 239-249.
- ZEEB, B. A.; CHRISTIE, C. E.; SMOL, J. P.; FINDLAY, D.; KLING, H.; BIRKS H., J. B. 1994. Responses of diatom and chrysophyte assemblages in Lake 227 to experimental eutrophication. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54-73.