



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

ESCUELA DE BIOLOGÍA

TÍTULO DE LA TESIS

ESTOMATOQUISTES FÓSILES EN PIRITA SEDIMENTARIA DE LA FORMACIÓN AGUA NUEVA (CRETÁCICO SUPERIOR) EN XILITLA, SAN LUIS POTOSÍ Y SUS IMPLICACIONES PALEOAMBIENTALES.

Tesis que para obtener el título de

BIÓLOGO (A)

PRESENTA:

HERNÁN JUÁREZ FERNÁNDEZ

TUTOR:

ALBERTO BLANCO PIÑÓN



AGRADECIMIENTOS

La senda que he recorrido hasta la culminación del presente trabajo ha sido larga y dura. Durante todo ese tiempo he tenido la fortuna de ser dirigido por el Dr. Alberto Blanco Piñón. Su clara orientación y profundo análisis han sido parte fundamentales y determinante en la elaboración y culminación de la tesis. Nunca olvidaré su constante apoyo.

Quiero agradecer al M.C. Carlos Castañeda Posadas por sus consejos, dedicación y enseñanzas. Por ser el primero en mostrarme a los estomatoquistes y brindarme su apoyo para la realización de este trabajo.

Le agradezco con todo mi cariño a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) pero en especial a la Escuela de Biología por ser mi segundo hogar durante los años que estuve como alumno y por darme las herramientas para el futuro. Nunca olvidare los días en que vi amanecer y anochecer en sus instalaciones.

A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH) pero principalmente al Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales de esta institución, por abrirme las puertas para la realización de las observaciones al microscopio electrónico de barrido sin costo alguno.

Le agradezco al Dr. Juan Hernández Ávila responsable del Microscopio electrónico de la UAEH por su valiosa colaboración ya que sin su ayuda no se hubieran obtenido tan buenas imágenes.

Por último a todas aquellas personas que contribuyeron de alguna u otra manera en el desarrollo de este documento, quisiera brindarles mis más sinceros agradecimientos.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis principalmente a mi familia por apoyarme cuando lo necesite, y que siempre estuvo ahí ante cualquier situación.

A mis padres:

Porque cada instante de mi vida han estado presentes dándome amor y ejemplo. Por permitirme desarrollarme, sin su apoyo no lo hubiera logrado. Ha sido un privilegio ser su hijo. Especialmente esta tesis es para ustedes.

A mis Hermanos:

Aunque en la mayoría de las veces pareciera que estuviéramos peleando, siempre la guerra cesa para lograr nuestros objetivos. Les agradezco el cariño y el tiempo compartido.

A mis amigos que me apoyaron, me alentaron y estuvieron para mí, amigos que tengo desde el primer semestre y a los que fui conociendo en el trayecto de mi carrera, jamás olvidare nuestras aventuras tanto en la universidad como fuera de ella. Les deseo un éxito enorme, que sé que lo tendrán.

A mis todos mis profesores que durante mi formación inculcaron en mí sus mejores cualidades.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	7
1.1. Antecedentes.....	7
1.1.1. Definición de estomatoquistes.....	7
1.1.2 Características Morfológicas.....	9
Morfología del poro y collar	10
Ornamentación	12
1.1.3 TRABAJOS PREVIOS.....	14
II. HIPOTESIS	16
III. OBJETIVOS.....	16
3.1 Objetivos Generales.....	16
3.2 Objetivos Particulares.....	16
IV. Materiales y Métodos.....	17
4.1 Lugar de estudio	17
4.2 Materiales.....	18
4.2.1 Campo.....	18
4.2.2 Laboratorio.....	18
4.3 Métodos	18
4.3.1 Recolección y revisión bibliográfica	18
4.3.2 Etapa de Campo	19
4.3.3 Etapa de Laboratorio.....	19
4.3.4 Etapa de Gabinete	20
V. Resultados.....	21
5.1 Espécimen 1	21
5.2 Espécimen 2	22
5.3 Espécimen 3	24
5.4 Espécimen 4	26
5.5 Espécimen 5	27
5.6 Espécimen 6	29
5.7 Espécimen 7	30
5.8 Espécimen 8	32
5.9 Espécimen 9	33
5.10 Espécimen 10	35
5.11 Espécimen 11	36
5.12 Espécimen 12	37

VI. Discusión.....	39
6.1 Formas y Afinidad	39
6.1.1. Formas con poro	39
Esferas con ornamentación.....	39
Esferas sin ornamentación.....	39
Esferoide con ornamentación.....	41
Esferoides sin ornamentación	41
Oval sin ornamentación.....	41
6.1.2 Formas sin poro	42
6.2 Preservación.....	46
A) Permineralización.....	48
B) Capa mineral.....	48
C) Moldes	49
6.3 Importancia ecológica e Importancia paleogeográfica.....	49
VII. Conclusiones	52
VIII. REFERENCIAS	53

Resumen

En este trabajo se describen 12 especímenes pertenecientes a estomatoquistes fósiles. Los estomatoquistes son restos silíceos de algas de las clases Chrysophyceae y Synurophyceae referidas comúnmente como Chrysophytas o algas doradas. Las muestras proceden de las piritas sedimentarias de la Formación Agua Nueva del Cretácico Superior en la localidad de Xilitla, San Luis Potosí, México centro. Los estomatoquistes están representados por dos grandes grupos, el primero corresponde a los especímenes con poro visible en el cual se halla un ejemplar esférico con ornamentación, dos especímenes con forma esférica sin ornamentación, un individuo con forma esferoide con ornamentación, un espécimen con forma esferoide sin ornamentación, y un ejemplar con forma oval sin ornamentación. En el segundo grupo se incorporan aquellos quistes en los cuales el poro no es claramente visible por lo cual no se les puede asignar una forma, en este grupo se encuentran seis especímenes. Las formas descritas mostraron afinidad con estomatoquistes reportados en aguas salobres y dulces pero no para aguas marinas. La formación de la pirita se da en ambientes con deficiencia de oxígeno y de baja energía por lo que la presencia de especímenes de estomatoquistes en pirita sedimentaria sugieren que se conservaron bajo estas condiciones. Este evento de formación de pirita y conservación de los especímenes de estomatoquistes se dio en aguas marinas abiertas de la cuenca Tampico-Misantla a finales del Cenomaniano por lo que se sugiere que los ejemplares encontrados fueron trasladados de aguas continentales a la zona de depósito por ríos antiguos para su posterior conservación en pirita.

I. INTRODUCCIÓN

Los miembros de la Clase Chrysophyceae con recubrimientos celulares silíceas y las de la Clase Synurophyceae, denominados colectivamente como chrysophytes, son componentes comunes de la mayoría de los hábitats de agua dulce, como estanques, lagos, pantanos, humedales, arroyos y ríos (Siver, 1995), pertenecientes a altas latitudes, zonas templadas, regiones tropicales y subtropicales (Smol, 1994).

Como grupo, los Chrysophytes suelen florecer bajo condiciones ligeramente ácidas, bajas en sales y nutrientes. A pesar de esta generalización, en los últimos años a este grupo se les ha usado como indicadores ambientales, ya que poseen especies con estructuras silíceas específicas que permiten hacer comparaciones exactas entre floras fósiles y actuales, y por lo tanto hacen posible el estudio de corto y largo plazo de los cambios en ambos lapsos de tiempo (Kristiansen, 1986).

La pirita es un mineral diagenético y omnipresente en todos los tipos de roca sedimentaria. Existe evidencia potencial para la recuperación de microfósiles en pirita sedimentarias (Shieber, 2002). Ángeles-Trigueros *et al.* (2012) informa de esferas no identificadas, que se reconocen como estomatoquistes en el municipio de Xilitla San Luis Potosí y Castañeda *et al.* (2014) han confirmado la presencia de estomatoquistes en pirita sedimentaria en depósito salobre en el país.

1.1. Antecedentes

1.1.1. Definición de estomatoquistes

Los estomatoquistes son restos silíceos de algas de las clases Chrysophyceae y Synurophyceae referidas comúnmente como Chrysophytas o algas doradas. Estos organismos son generalmente flagelados, tanto unicelulares como coloniales y reciben el nombre de algas doradas debido al predominio de los pigmentos carotenoides como la xantofila y la fucoxantina, que pueden representar hasta el 93% del total de carotenoides presentes (Withers *et al.*, 1981). Estas algas obtienen su energía a través de procesos detritívoros y

fotosintéticos, aunque algunas especies son capaces de cambiar sus modos de nutrición en distintos tiempos (Sandgren, 1998).

Las más de mil especies conocidas de Chrysophytes presentan amplia tolerancia a gradientes ambientales, gracias a la producción de quistes silíceos (o estomatoquistes) que brindan resistencia a disoluciones y fragmentaciones causadas por factores físico-químicos ligados al ambiente (Smol, 1988; Duff *et al.*, 1995; Siver, 1995). Sin embargo, la formación de los quistes es en respuesta a una mínima densidad en la población (Sandgren y Flanagan 1986, Van den Hoek *et al.* 1999), más que a una respuesta a factores ambientales como ocurre en algunos otros grupos de algas (Betts-Piper *et al.*, 2001). Esta estrategia les permite aprovechar breves periodos de condiciones óptimas y asegurar su supervivencia en condiciones de estrés (Van den Hoek *et al.* 1999).

En el registro sedimentario, las Chrysophytas están presentes de dos formas: 1) como cerdas y espinas producidas por los miembros de Synurophyceae y algunos Chrysophyceae; y 2) como quistes de reposo, los cuales se creen son producidos por todos los miembros de Chrysophyta.

La mayoría de los estomatoquistes fósiles se han reportado en sedimentos continentales de agua dulce tales como lagos, ríos y arroyos (Duff *et al.* 1995; Kamerick, 2010) de diferentes partes del mundo; sin embargo, existen algunos reportes en ambientes salobres tales como manglares del Caribe y Polonia Central (Rull y Vegas-Vilarrubia, 2000; Piąterk y Piąterk, 2005). Por otra parte, reportes de estomatoquistes en ambientes marinos son pocos, entre los que se encuentran registros en sedimentos del Mar Caribe (Deflandre, 1993), del Cretácico tardío, Eoceno y Neógeno del Pacífico sur (Perch-Nielsen, 1975), el Cretácico temprano (Albiano) de Antártica (Harwood y Gersonde, 1990), el Eoceno y Plioceno del Mar de Noruega (Perch-Nielsen, 1975) y el Terciario del Atlántico Sur (Rull y Vegas-Vilarrubia, 2000, Piąterk y Piąterk, 2005, Perch-Nielsen, 1975). Algunos especímenes han sido reportados como componentes menores en sedimentos del Golfo de México, sin embargo, ellos han sido descritos como elementos alóctonos procedentes de agua dulce continental (Jendrzewski y Hart, 1978).

1.1.2 Características Morfológicas

Para describir y estudiar un espécimen de estomatoquistes es necesario conocer una serie de parámetros morfológicos tales como la forma del quiste, ubicación de la región anterior y posterior, longitud, anchura, morfología del poro, collar y ornamentación

La primera estructura que se debe reconocer en un estomatoquiste es el poro, el cual consiste en una perforación situada hacia la parte externa de la estructura. La longitud del estomatoquiste se define como la distancia entre el polo anterior y el polo posterior, mientras que la anchura es la dimensión máxima perpendicular a la longitud. Si más de una capa de sílice está presente, la capa más interna se llama la pared primaria, con la superposición de capas siendo la pared secundaria, pared terciaria, etc. La pared más externa se utiliza para definir la longitud y la anchura del quiste (Figura 1.1).

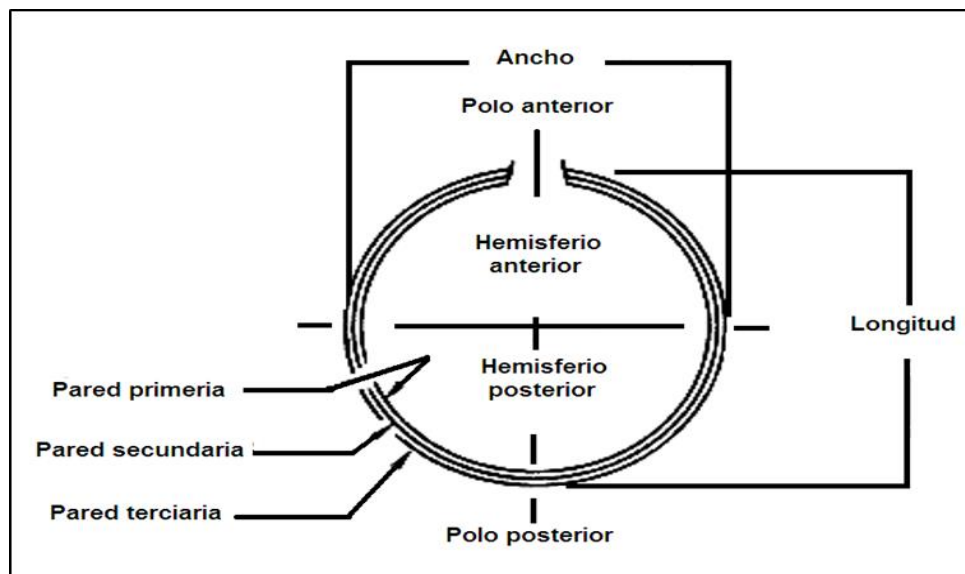


Figura 1.1: Esquema que ilustra parámetros morfológicos generales de los estomatoquistes (Modificada de Duff, *et al.* 1995).

Con base en estos parámetros, es posible definir la morfología del quiste, la cual es comúnmente esférica, pero puede ser oval o achatada. Estas categorías se definen de acuerdo a la relación longitud: anchura del quiste. Unos pocos quistes son de forma piramidal (Figura 1.2).

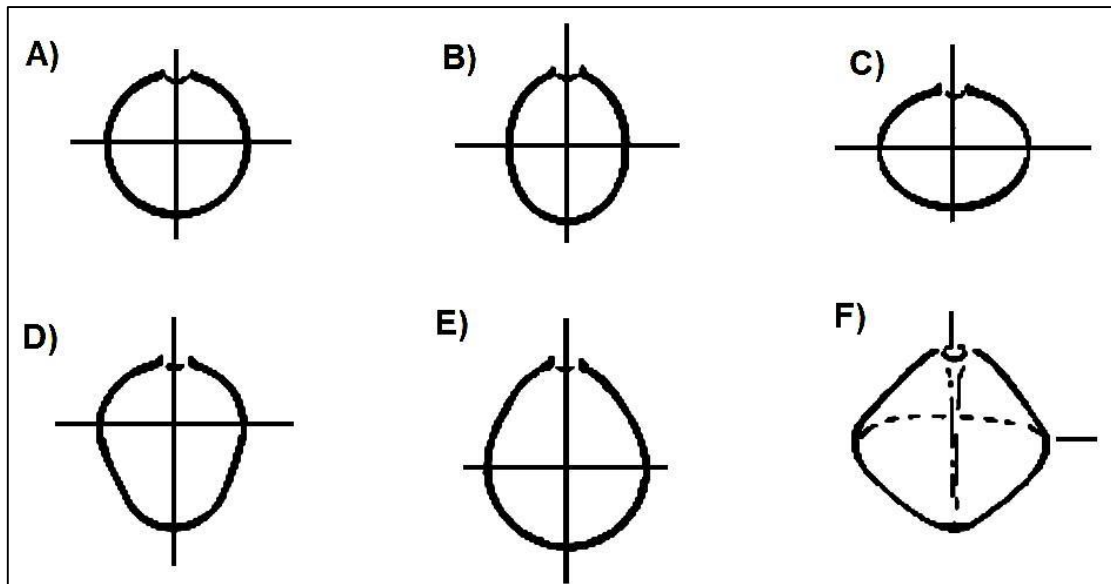


Figura 1.2: Forma del estomatoquiste según la proporción de largo y ancho. A) Esférica, proporción longitud (L) y anchura (A) ($L:A= 0.9 - 1.1$); B) Oval ($L:A \geq 1-2$); C) Esferoide ($L:A \leq 0.8$); D) Obovado (forma de huevo con el poro en la parte más ancha), E) Aovado; F) Piramidal. (Modificada de Duff *et al.* 1995).

Definida la morfología externa, otros parámetros deben ser definidos para la caracterización taxonómica, los cuales son los siguientes:

Morfología del poro y collar

Los poros son circulares en su contorno. Un poro ordinario se extiende perpendicularmente a través de la pared del quiste, es decir, que tiene márgenes de poro interior y exterior de igual diámetro. Los márgenes de poros pueden estar rigurosamente delineados o redondeados. Un poro con un margen exterior mayor que el margen interior es cónico (con los lados rectos) o cóncavo (con lados curvos) (Figura 1.3).

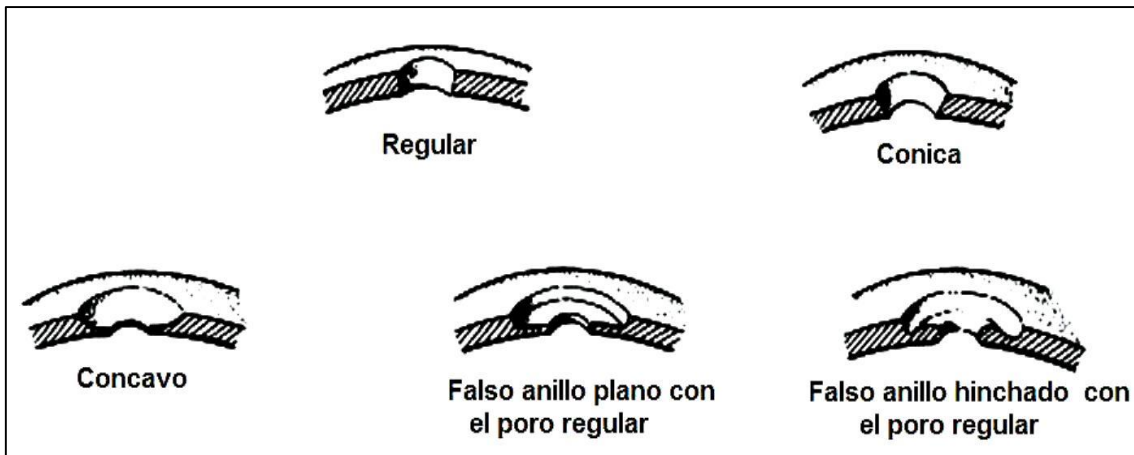


Figura 1.3: Morfología del poro de los estomatoquistes (Modificada de Duff, *et al.* 1995).

Un collar es un engrosamiento silíceo que rodea al poro. Algunos poros pueden estar rodeados por proyecciones anteriores que simulan un collar. Un collar verdadero es cilíndrico, cónico, u obconical. El margen interior puede ser separado desde el margen exterior del poro por una estructura a manera de repisa de sílice llamado anillo. El anillo puede estar inflamado, plano o inclinado (Figura 1.4).

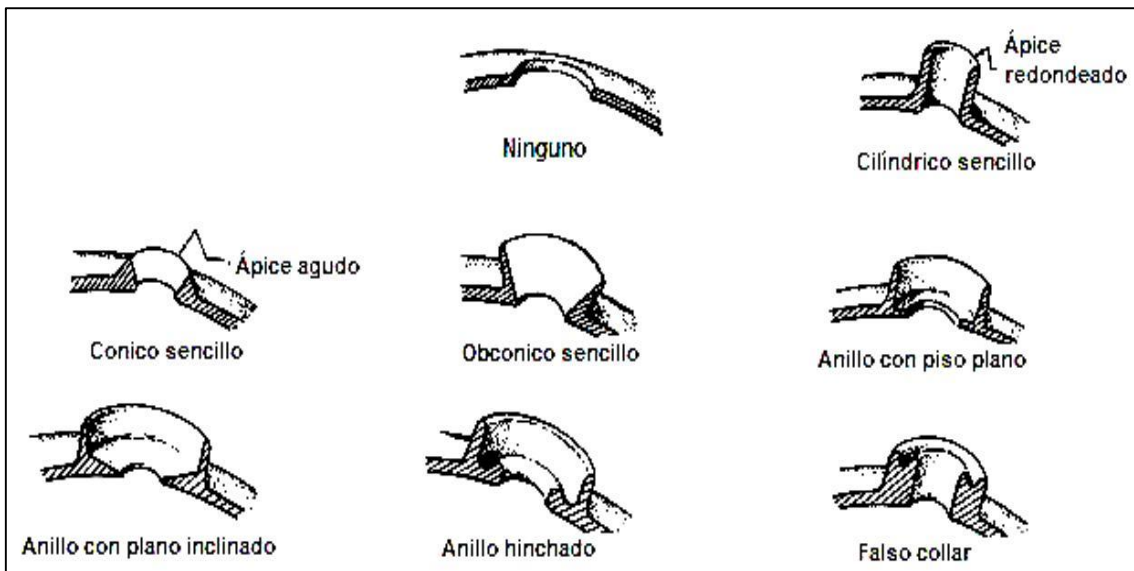


Figura 1.4: Morfología del collar y anillo de los estomatoquistes (Modificada de Duff, *et al.* 1995).

Un collar verdadero consta de más de un collarín separado que rodea al poro. Cada collar debe sobresalir de la pared más externa del quiste. El collar más

cercano al poro se conoce como el collar primario, con los collares sucesivos siendo secundaria, terciaria, y así sucesivamente (Figura 1.5).

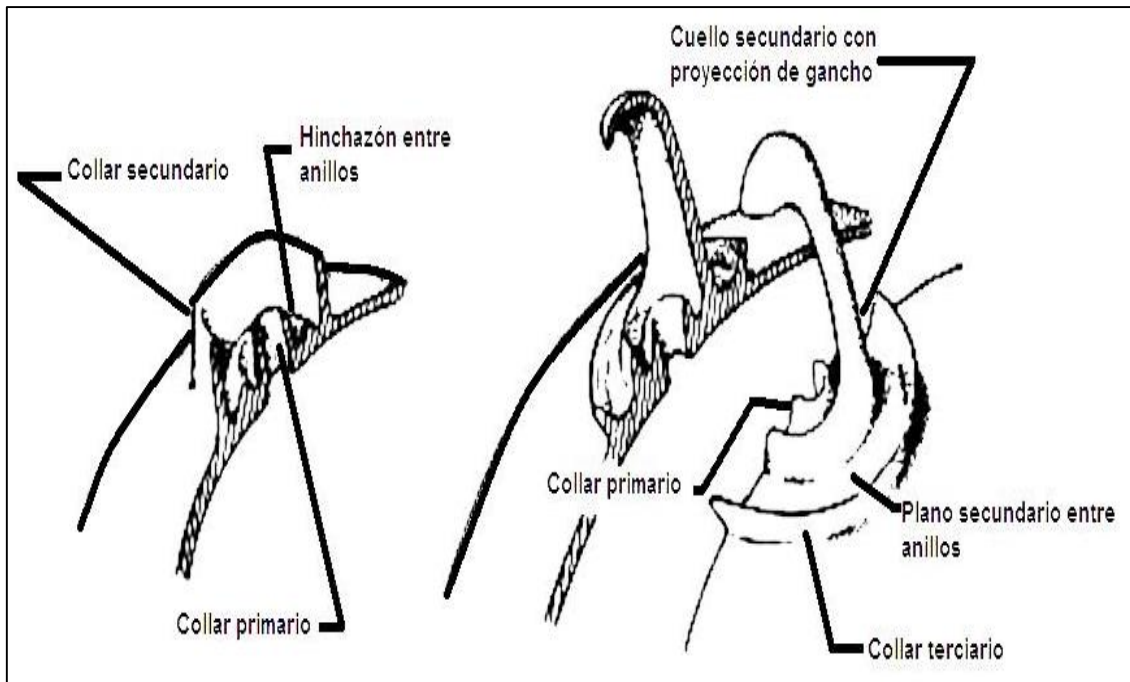


Figura 1.5: Collares complejos de estomatoquistes con más de un collar (Modificada de Duff, *et al.* 1995).

Ornamentación

El cuerpo del quiste puede estar ornamentado con una variedad de elementos salientes. Los elementos con una base más o menos circular incluyen “scabrae”, verrugas, “conula”, y espinas. Los elementos con una base alargada se llaman crestas, “circuli”, o retículos. Los huecos consisten tanto en puntos, depresiones (cráteres), o fosas (ranuras). Un quiste con ornamentación compuesto posee más de un tipo de ornamentación (Figura 1.6).

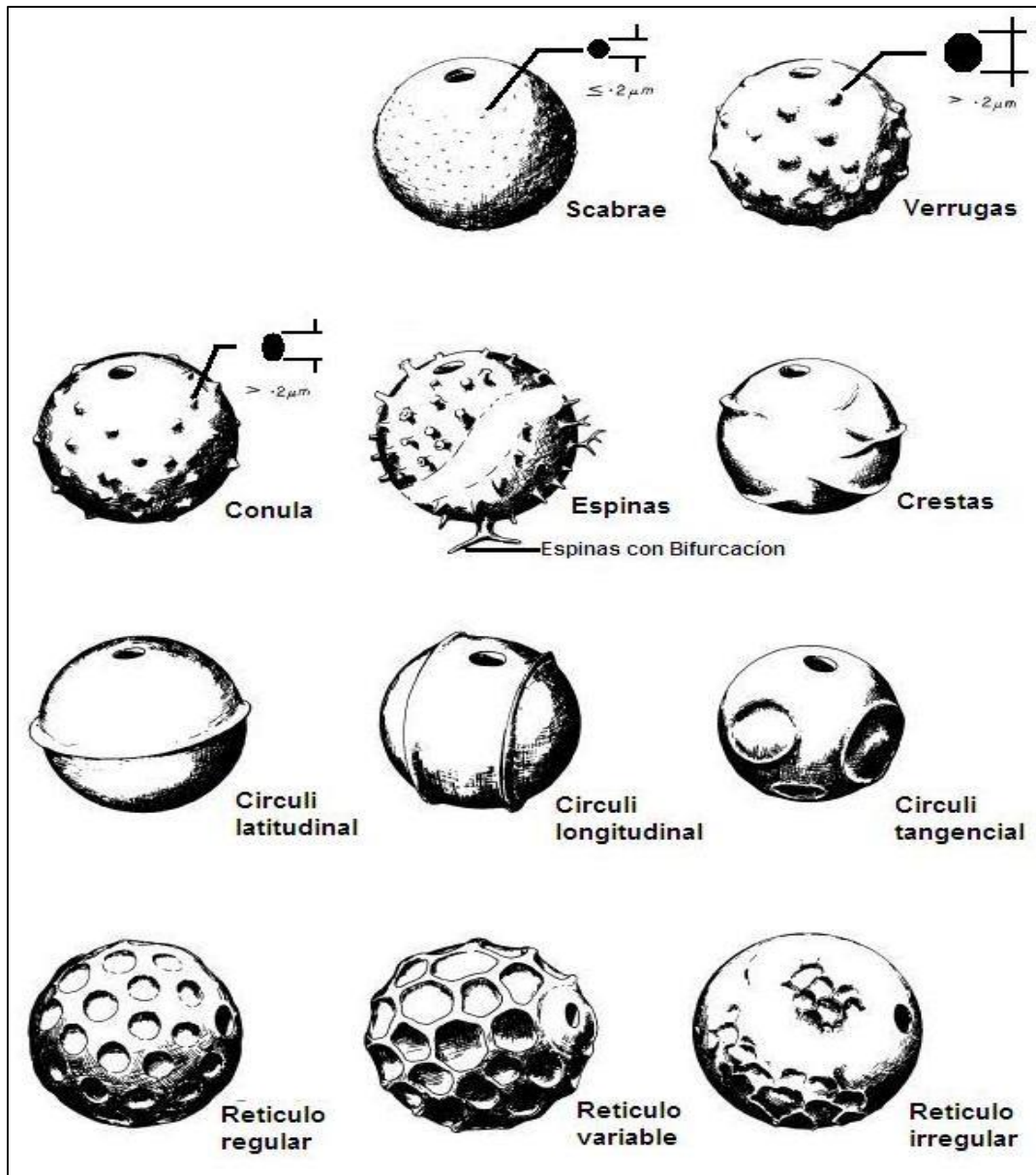


Figura 1.6: Distintos tipos de ornamentación que presentan los estomatoquistes (Modificada de Duff, *et al.* 1995).

La identificación de los elementos de ornamentación están en base al tamaño, en el caso de los huecos la forma que pertenece a los puntos es $\leq 2 \mu m$, en las depresiones (cráteres) es $\geq 2 \mu m$ y las fosas (ranuras) solo se identifican por el aspecto que presentan. Los elementos de ornamentación con base circular son identificados por el diámetro de la base siendo las scabrae $\leq 2 \mu m$, las verrugas y conula $> 2 \mu m$, y las espinae se identifican por presentar elementos salientes mayor a su diámetro de base y con una o varias bifurcaciones.

Una vez reconocidos estos parámetros se puede realizar la comparación de las afinidades las especies estudiadas.

1.1.3 TRABAJOS PREVIOS

Los diversos estudios en fósiles en pirita sedimentaria consisten en macrobiota (principalmente vertebrados y ammonites) de varias partes del mundo. Sin embargo los trabajos con formas microscópicas han sido menos abundantes. Los primeros registros los tenemos por parte de Schopf *et al.* (1965) y posteriormente por Folk (2005) y Schieber (2002). Estos trabajos trataron de describir estructuras biomórficas asociadas a bacterias aunque algunas formas de estas difieren a estructuras comúnmente descritas, por lo que también se hace hincapié en las diferencias que presentan.

Los primeros trabajos en México fueron realizados por Blanco *et al.* (2010) en pirita sedimentaria de la Formación Agua Nueva, el cual reportan microorganismos consistente a bacterias cocoides reportadas también por Schieber (2002). Trabajos posteriores demuestran que la pirita contiene una mayor cantidad de formas dentro de las cuales se encuentran cocoides, bastones, polen, esferas sin determinar, entre otras estructuras (Ángeles-Trigueros *et al.* 2012; Blanco *et al.* 2013).

En cuanto a las algas Crhysophytas, especialmente sus estomatoquistes, han sido estudiadas desde la década de los 19660 teniendo hasta la decada de los 1980 una mayor aceptación académica. Los principales estudios han sido llevados a cabo en sedimentos continentales de ambientes lacustres (Kamerick, 2010), así como salobres y transicionales (Piąterk y Piąterk, 2005) y en menor grado, marinos. Sin embargo, sedimentos marinos del Cretácico han sido fuente de hallazgos importantes de estas estructuras (Harwood y Gersonde, 1990), tanto de formas marinas tanto como de agua dulce, lo que da a estos descubrimientos una gran importancia paleogeográfica y paleobiogeográfica. En el ambiente marino, la mayoría de los hallazgos han sido llevados a cabo en sedimentos clásticos, como arcillas; siendo el registro de estas estructuras en pirita sedimentaria muy escasos.

En México, existen dos reportes de estomatoquistes fósiles en pirita sedimentaria. El primero fue realizado por Ángeles-Triguero (2012) quien reporta un ejemplar globoso sin ornamentación y collar como esfera no determinada. Posteriormente, Castañeda-Posadas *et al.* (2014) reportan 6 formas de estomatoquistes ubicados en horizontes centimétricos de pirita sedimentaria embebidos en caliza de la Formación Agua Nueva del Cretácico Superior en Xilitla, San Luis Potosí. Éste, podría representar el único reporte de estomatoquistes determinados taxonómicamente para una pirita sedimentaria a nivel mundial. Las formas corresponden a estructuras ovales y esféricas que muestran más afinidad con especímenes salobres y de aguas dulces que con especímenes marinos por lo que los autores sugieren que ríos antiguos suministraban material con estomatoquistes al ambiente marino.

Con lo antes dicho, la justificación de este trabajo se basa en que hasta la fecha existen muy pocos antecedentes de estomatoquistes en sedimentos marinos y principalmente en pirita sedimentaria. Por lo tanto este trabajo servirá para aumentar el conocimiento y diversidad de formas de estomatoquistes en ambientes marinos establecidos en la Cuenca Tampico-Misantla durante el Turoniano en el centro de México.

II. HIPOTESIS

El análisis de las estructuras biomórficas microscópicas y en base a su tamaño y presencia o ausencia de ornamentación, corresponden a estomatoquistes fósiles, acumulados y preservados dentro de la pirita sedimentaria en piedra caliza del Cretácico tardío de la Formación Agua Nueva en la cuenca Tampico-Misantla.

III. OBJETIVOS

3.1 Objetivos Generales

Describir, identificar y documentar estructuras biomórficas que corresponden a estomatoquistes fósiles acumulados y preservados dentro de la pirita sedimentaria en piedra caliza del Cretácico tardío de la Formación Agua Nueva en la localidad de Xilitla, San Luis Potosí, México.

3.2 Objetivos Particulares

- Descripción de la sección de la Formación Agua Nueva mediante un levantamiento estratigráfico.
- Muestrear capas de pirita sedimentaria.
- Observar estructuras biomórficas mediante Microscopio Electrónico de Barrido (SEM por sus siglas en inglés)
- Identificar y describir estructuras biomórficas observadas en el Microscopio Electrónico de Barrido (SEM por sus siglas en inglés)
- Discutir la procedencia de las estructuras observadas.

IV. Materiales y Métodos

4.1 Lugar de estudio

El municipio de Xilitla se encuentra localizado en la parte sureste a 350 kilómetros de la capital del estado de San Luis Potosí, México, en la zona huasteca, con las siguientes coordenadas: 21°23'08" de latitud norte, y 98°59'25" de longitud oeste.

Sus límites son: al norte con Aquismón y Huehuetlán; al este, Axtla de Terrazas, Matlapa y Tamazunchale, al sur, el Estado de Hidalgo, al oeste, el estado de Querétaro. La distancia aproximada a la capital del estado es de 350 kilómetros.

La principal vía de acceso desde Puebla es por medio de la autopista No. 150 a México con dirección a San Martín Texmelucan hasta llegar 3 km más adelante a la desviación a Tlaxcala e incorporarse al Arco Norte que lleva directo a Pachuca. Desde Pachuca se toma la carretera 85 México-Nuevo Laredo, pasando por los municipios de Actopan, Ixmiquilpan, Zimapan y Jacala, en el estado de Hidalgo, para continuar hasta la ciudad de Tamazunchale, San Luis Potosí. En esta ciudad, se accede a la carretera federal No. 85 en dirección con Ciudad Valle, San Luis Potosí, y en el km 40 se toma la desviación al noroeste por la carretera federal No. 120 para continuar hasta Xilitla. El área de las canteras se encuentra a aproximadamente 3 km de la cabecera municipal.

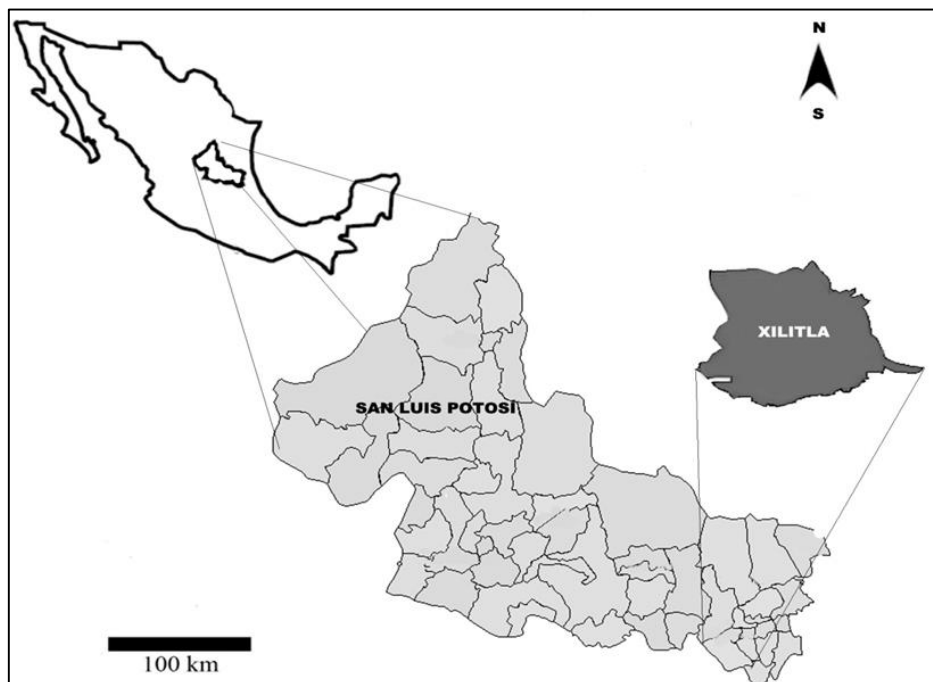


Figura 4.1. Mapa de localización de Xilitla, estado de San Luis Potosí, México Central.

4.2 Materiales

Los materiales empleados se dividen en dos apartados, los utilizados en la etapa de campo y los empleados para la etapa de laboratorio.

4.2.1 Campo

Flexometro.

Libreta de campo.

Bolsas de polietileno.

Pluma.

Lupa.

Martillo estratigráfico.

4.2.2 Laboratorio

Lupa

Microscopio Electrónico de Barrido (SEM por sus siglas en ingles) de modelo y marca JEOL JSM-6300 con una resolución de 300 000 X y 35 KV.

Acido Nítrico

4.3 Métodos

La metodología consta en 4 etapas.

4.3.1 Recolección y revisión bibliográfica

Se realizó una recopilación bibliográfica sobre los reportes de estomatoquistes haciendo hincapié en los reportes con un interés similar al del presente trabajo, así también se recopiló información sobre microfósiles en piritita sedimentaria, información sobre la Formación Agua Nueva, su ubicación en la zona de estudio, las metodologías utilizadas para la recolección de las muestras y observación de las mismas e información sobre clasificación de los estomatoquistes para la identificación de estos mismos en nuestras muestras.

4.3.2 Etapa de Campo

Para la recolección de la pirita sedimentaria, se realizó un levantamiento estratigráfico de la Formación Agua Nueva, que se encuentra en las cercanías al municipio de Xilitla siguiendo la metodología establecida por Compton (1985), por lo cual se procedió a realizar la medición de las capas del corte con un flexometro, para luego describir el corte y posteriormente se realizó la identificación del tipo de roca del que está formado.

Una vez realizado lo anterior, se procedió a realizar un muestreo, tomando fragmentos de roca con la ayuda del martillo estratigráfico a un intervalo de 10 cm como máximo. Se recolectó un aproximado de 500 g de roca por muestra. Cada muestra fue rotulada para determinar la posición original en la sección y posteriormente fueron colocadas en bolsas de polietileno igualmente rotuladas para su transporte e identificación en el laboratorio.

4.3.3 Etapa de Laboratorio

Esta etapa se llevó a cabo en el laboratorio de Materiales no Metálicos y en el laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido, pertenecientes al Área Académica de Ciencias de la Tierra de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, ubicada en la ciudad de Pachuca.

Para la preparación de las muestras de pirita sedimentaria, se obtuvieron fragmentos de 1cc (centímetro cúbico) de la parte más interna de la muestra para evitar contaminación, posteriormente a la muestra se le colocó ácido nítrico con el propósito de eliminar toda contaminación de ella. La muestra fue cubierta por una capa de oro durante 3 minutos para mejorar la conductibilidad y poder tener una mejor calidad de la imagen. Una vez montada la muestra en el porta muestras, se observó al SEM a diferentes magnitudes, teniendo en cuenta que el principio del SEM en el barrido de la muestra en las direcciones X-Y por medio de un haz de electrones lo que produce una serie de puntos en la pantalla que corresponde a un punto en la muestra y por tanto la imagen se forma de la unión de todos esos puntos.

Las muestras de interés fueron sometidas al estudio de Espectroscopia de Energía Dispersiva (EDS por sus siglas en ingles) para saber su composición elemental. El procedimiento de este análisis es de manera similar a la del SEM.

4.3.4 Etapa de Gabinete

La etapa de gabinete consta en la identificación de las bioestructuras obtenidas por medio de las imágenes de las muestras de pirita sedimentaria al SEM y así describir y compara las correspondientes a estomatoquistes. La descripción de los quistes se hace en base a las características morfológicas, siguiendo los criterios establecidos por Atlas of ChrysophyceanCysts (Duff *et al*, 1995).

V. Resultados

Un total de 12 formas de estomatoquistes fueron descritas en observaciones bajo SEM en pirita sedimentaria procedente de capas calcáreas de la Formación Agua Nueva en Xilitla, San Luis Potosí. Los especímenes reportados se describen a continuación según las bases de sus características morfológicas siguiendo los criterios establecidos por el Atlas of Chrysophycean Cysts (Duff *et al.* 1995).

5.1 Espécimen 1: (Figura 5.1)

Descripción SEM: El espécimen 1 consiste en una estructura esférica, siendo tanto su ancho o longitud ecuatorial como su longitud total de 6.8 μm , teniendo una relación de 1:1, lo que corresponde a una forma esférica. La estructura presenta una superficie lisa, careciendo de cualquier tipo de ornamentación, textura rugosa o proyecciones. Hacia el hemisferio anterior del quiste que está en la parte derecha de la imagen SEM (Figuras 5.1 y 5.1.1.), se observa una ligera depresión en el contorno de la estructura, la cual revela la posición del poro, lo que permite diferenciar la parte anterior y posterior del quiste. Dicha depresión presenta, vista lateralmente, una longitud de 0.85 μm . No cuenta con ningún desarrollo de collar.

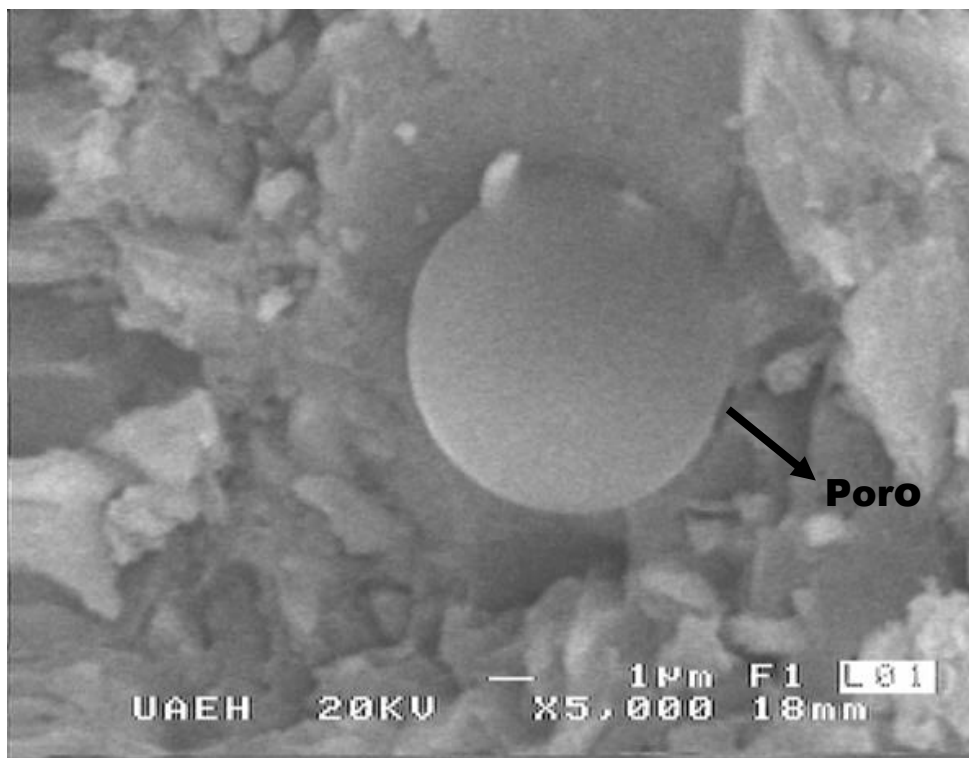


Figura 5.1: Espécimen 1, el cual presenta una morfología esférica y superficie lisa.

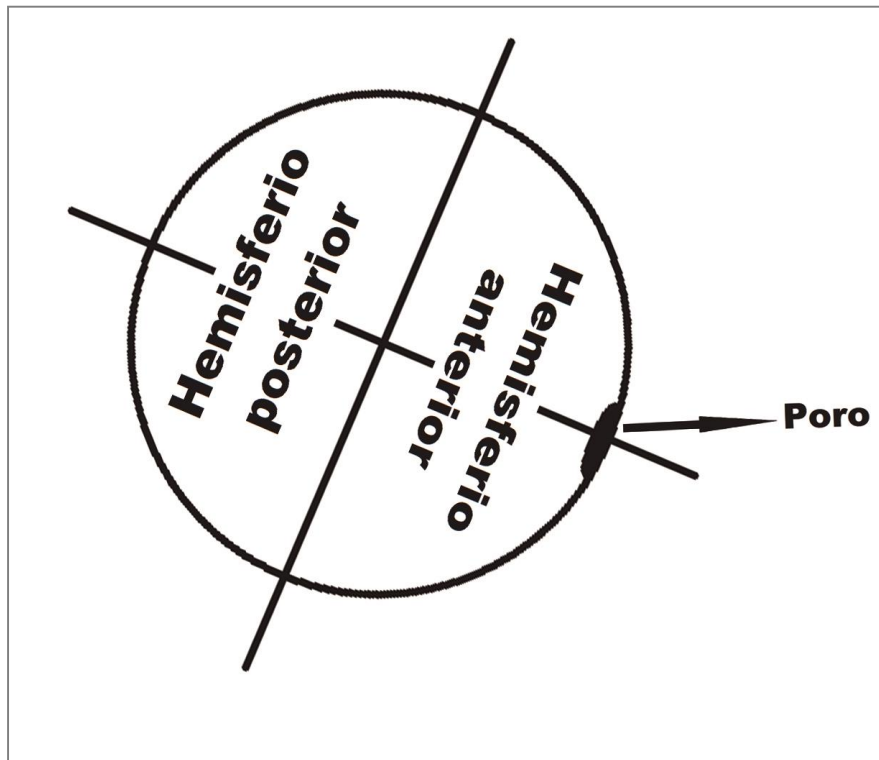


Figura 5.1.1: Orientación del espécimen 1 y localización del poro en la imagen SEM

5.2 Espécimen 2: (Figura 5.2)

Descripción SEM: El espécimen 2 corresponde con una estructura incompleta y parcialmente embebida en la matriz, por lo que las medidas totales de su estructura no pueden ser estimadas con exactitud, sin embargo, mediante el uso de extrapolaciones, basadas en la parte expuesta de la estructura, así como en la posición de collar (que revela la posición del poro), se pudo determinar que la estructura tiene una forma esferoide de acuerdo a los criterios de Duff et al. (1995). La parte expuesta del espécimen 2 tiene una longitud de 5.5 μm , determinada por la distancia entre la base del collar y su extremo opuesto de la estructura, mientras que presenta un ancho de 5.0 μm , lo que sugiere que su ancho total es de aproximadamente 10 μm , correspondiendo a una relación de 0.5, lo que corresponde con la forma asignada.

La estructura no parece contar con ningún tipo de ornamentación, proyección o textura rugosa siendo completamente liso. El poro no es visible, cuenta con un collar que se ubica en el hemisferio anterior del quiste, en la parte superior izquierda de la imagen SEM (Figuras 5.2 y 5.2.1.. Por la posición en la que se encuentra el quiste solo se puede observar el borde del collar de forma lateral con una longitud de $1.3\ \mu\text{m}$ y una altura de $0.3\ \mu\text{m}$. No se mostraron más detalles.

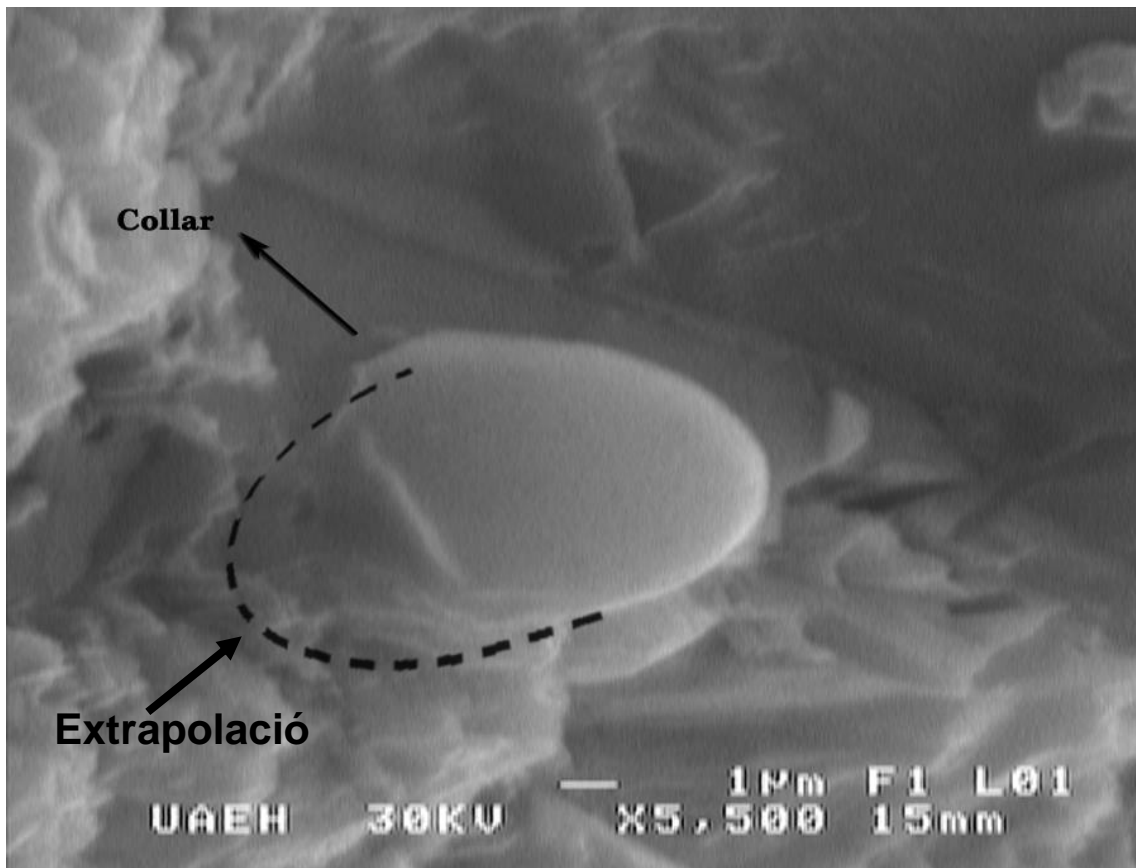


Figura 5.2: Especimen con collar, forma esferoide y superficie lisa.

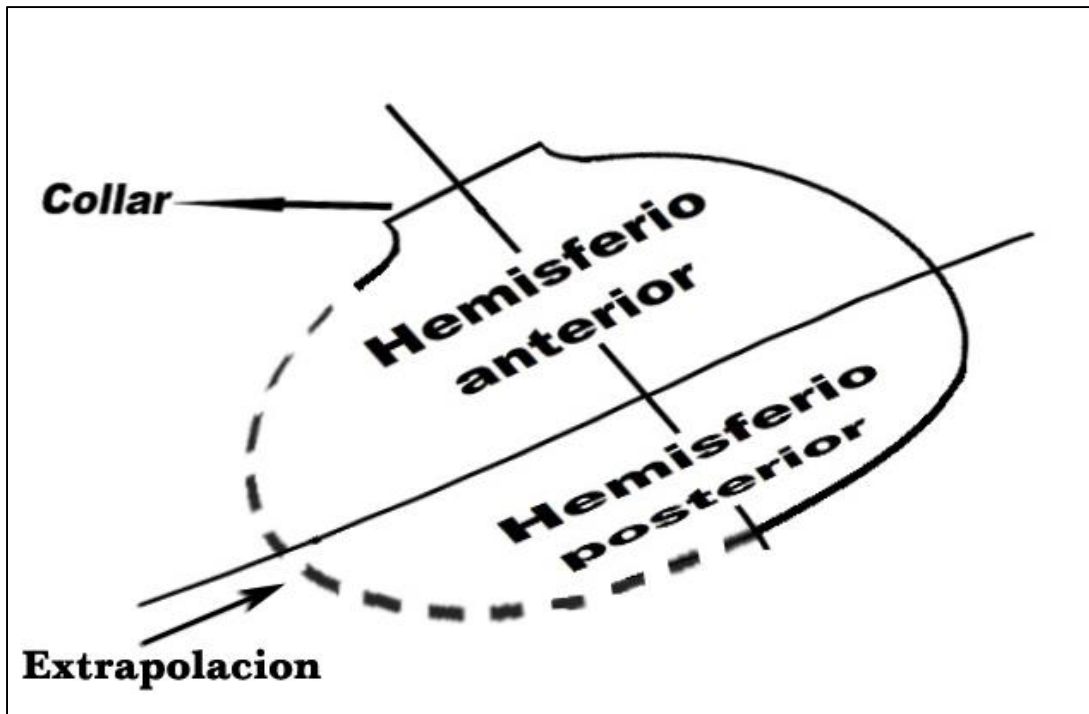


Figura 5.2.1: Orientación y extrapolación del espécimen 2 dentro de la imagen SEM.

5.3 Especimen 3: (Figura 5.3)

Descripción SEM: El espécimen 3 muestra una estructura en forma aparentemente oval. Está parcialmente cubierto por material no determinado y se encuentra expuesto de manera oblicua al plano de la fotografía, por lo que sus longitudes reales no fueron estimadas con exactitud. El poro no es visible en toda la superficie expuesta del espécimen 3, lo que indica la ausencia de éste y al mismo tiempo sugiere que debe estar colocado en el extremo de la parte no expuesta, que correspondería a la parte anterior (Figura 5.3.1). La relación de largo/ancho aparente del espécimen es de aproximadamente 1.5. Su ancho aproximado es de $19.5 \mu\text{m}$, mientras que su longitud es de un aproximado de $30.7 \mu\text{m}$. Su superficie no es lisa, presenta un tipo de textura rugosa, que se extiende desde la parte anterior hasta la parte posterior. El espécimen carece de cualquier tipo de ornamentación conocida o estructuras sobresalientes. En la parte central del quiste es posible observar una fractura que recorre el ancho del espécimen.

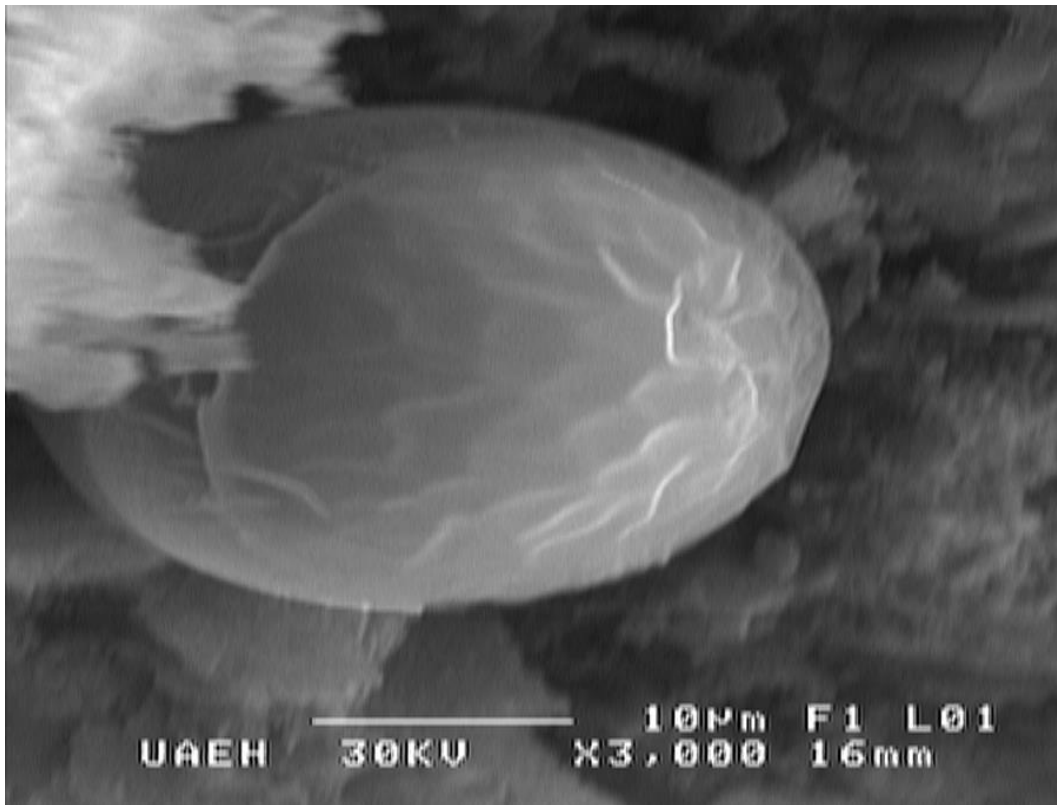


Figura 5.3: Espécimen oval exponiendo una superficie rugosa con una fractura en la región ecuatorial del quiste.

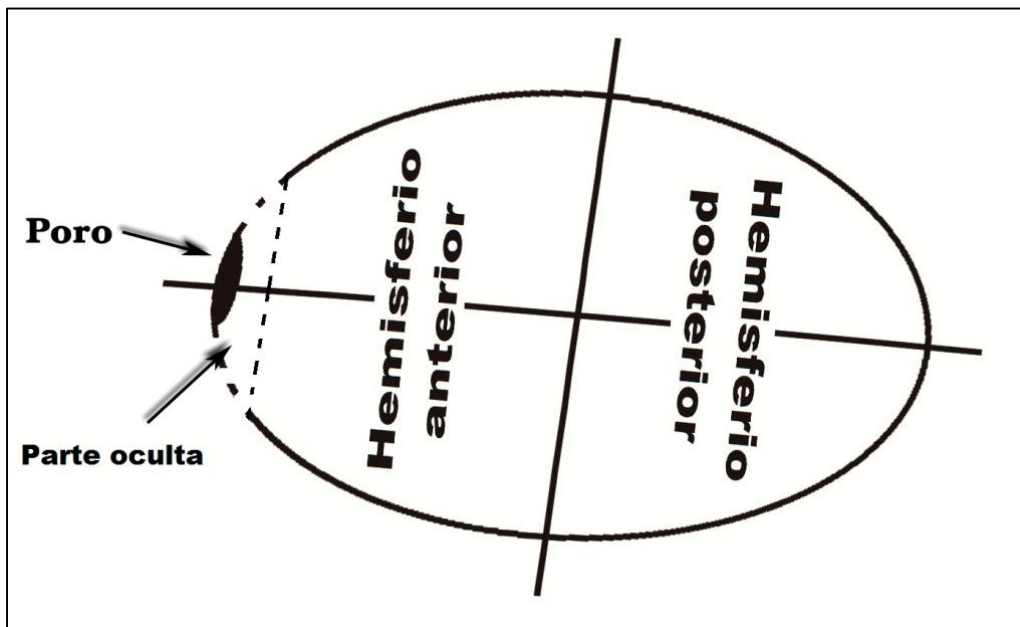


Figura 5.3.1: Orientación del espécimen 3 en la imagen SEM.

5.4 Espécimen 4: (Figura 5.4)

Descripción SEM: El espécimen muestra una forma elipsoidal. Debido a que su poro no está expuesto, no es posible determinar su forma, sin embargo, este espécimen presenta afinidad con la forma reportada como “Stomatocyst Specimen IV” por Castañeda-Posadas et al. (2014) para estomatoquistes de forma oval. El eje mayor de la estructura tiene una longitud de 9.5 μm , mientras que su eje menor de 6 μm (Figura 5.4.1). Este espécimen presenta una textura lisa y carece de ornamentación y proyecciones.

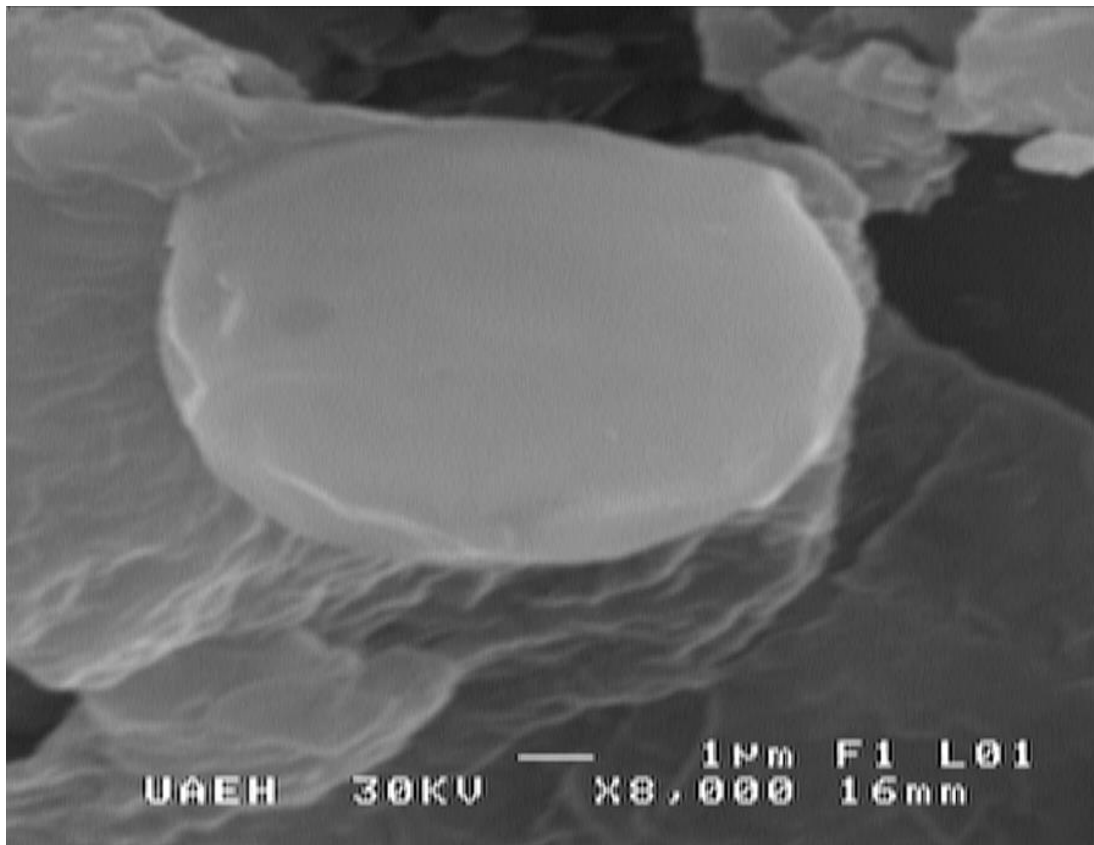


Figura 5.4: Espécimen 4

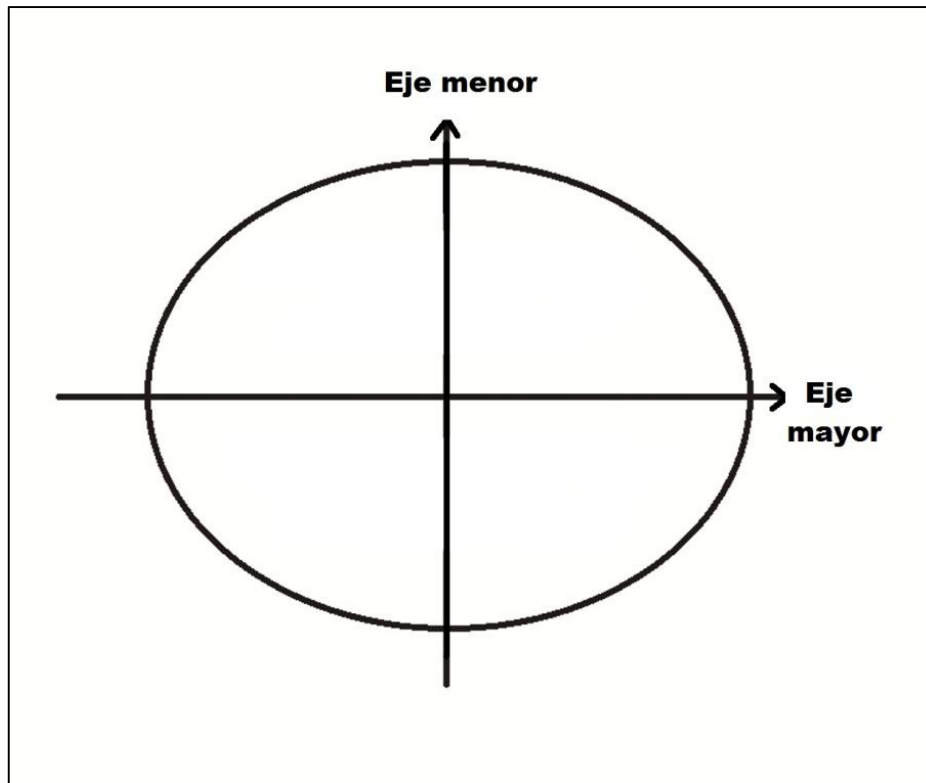


Figura 5.4.1: Longitud de los ejes del espécimen 4 dentro de la imagen SEM

5.5 Espécimen 5: (Figura 5.5)

Descripción SEM: La forma que muestra este espécimen es esférica según la ubicación del poro y la relación largo/ancho, la cual es de 1. El ancho es de aproximadamente de $4.6 \mu\text{m}$ mientras que su longitud total es de $4.7 \mu\text{m}$. La superficie no presenta ninguna clase de ornamentación, proyecciones o textura rugosa. El poro se encuentra en el hemisferio anterior del quiste ubicada en la parte derecha superior de la imagen SEM y está expuesto como una depresión de $0.7 \mu\text{m}$ de longitud en vista lateral (figuras 5.5 y 5.5.1). Éste no cuenta con un collar.

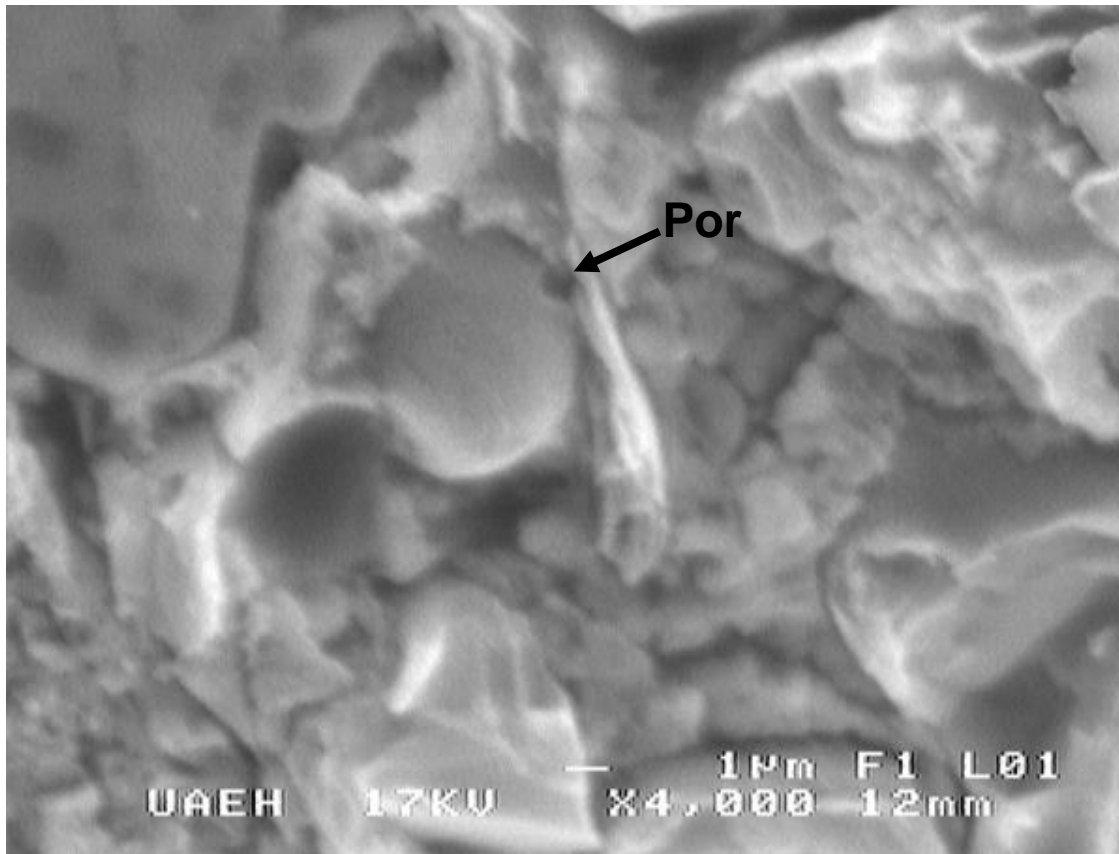


Figura 5.5: Espécimen de forma esférica con superficie lisa.

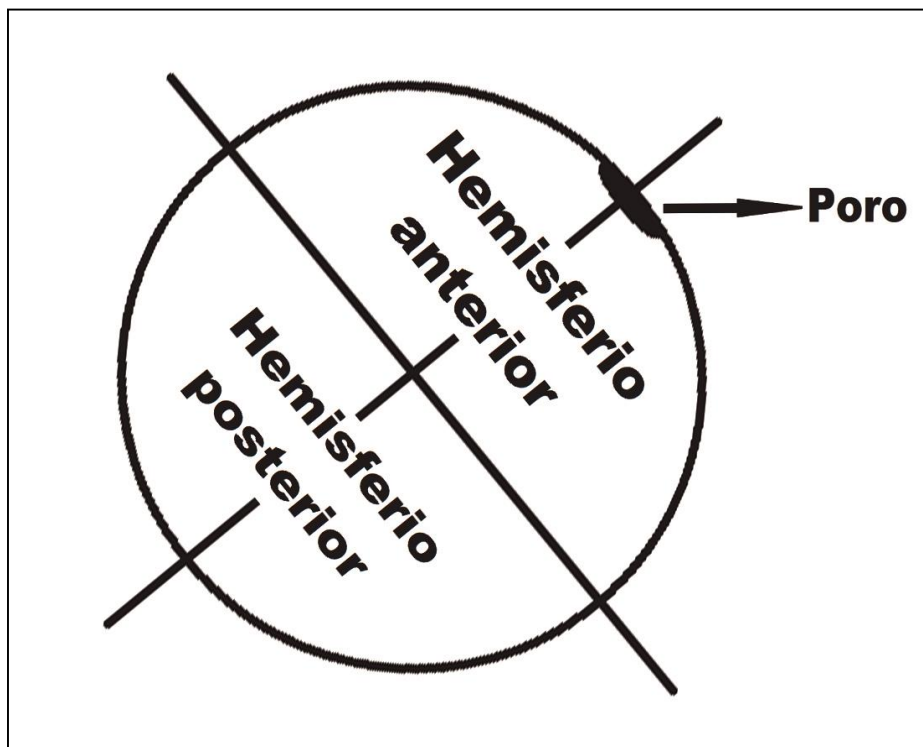


Figura 5.5.1: Orientación del espécimen 5 y ubicación del poro en la imagen SEM

5.6 Espécimen 6: (Figura 5.6)

Descripción SEM: El espécimen se encuentra parcialmente cubierto, sin embargo la presencia de poro en la parte expuesta indica que ésta corresponda a la sección anterior del quiste. Éste presenta una forma esférica según la posición del poro y haciendo una extrapolación de sus dimensiones basado en las dimensiones expuestas, la relación de largo/ancho es de 1.1. Sus dimensiones estimadas corresponden a un ancho de $4.4\ \mu\text{m}$ y un largo de una $5.1\ \mu\text{m}$ aproximadamente. En su superficie se puede observar que gran parte de su textura es ligeramente rugosa. El poro se encuentra en el hemisferio anterior del quiste (Figura 5.6.1) y es observado mediante una depresión lateral que ocupa una extensión de $0.6\ \mu\text{m}$. El poro no muestra algún collar. Más detalles no fueron observados en este espécimen.

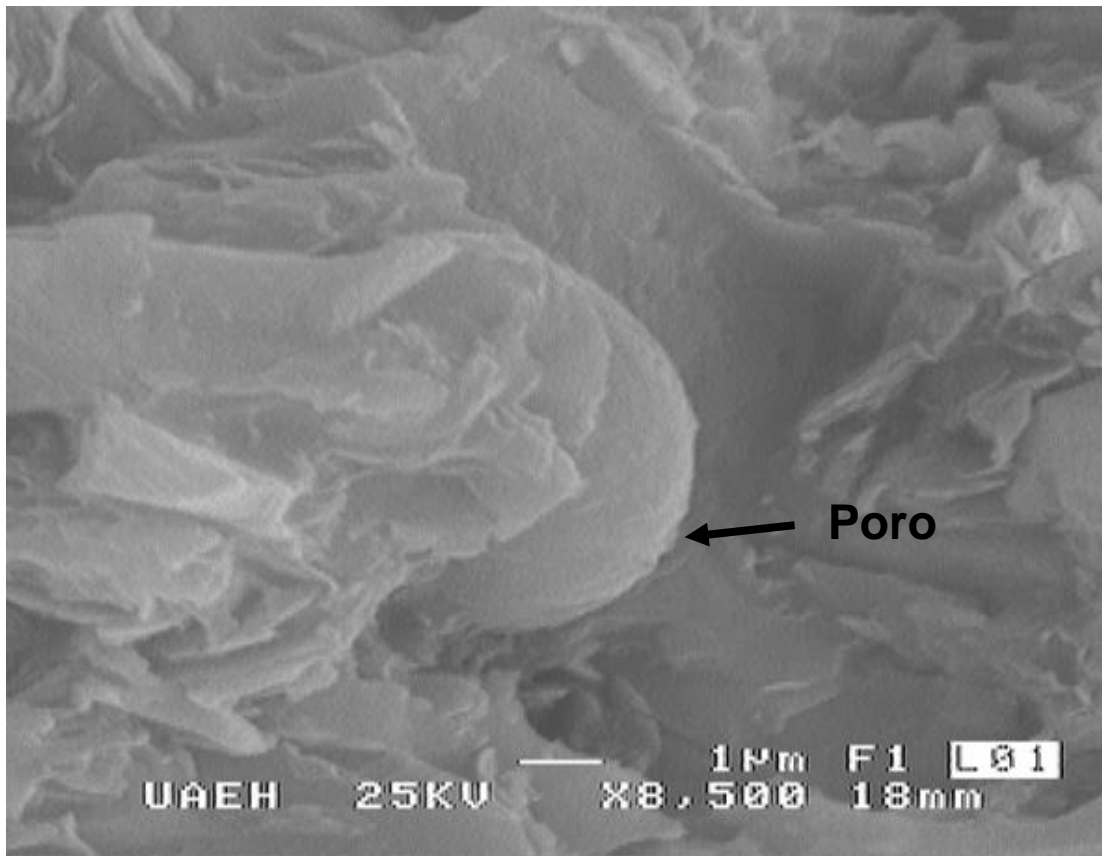


Figura 5.6: Especimen con forma esférica y superficie rugosa.

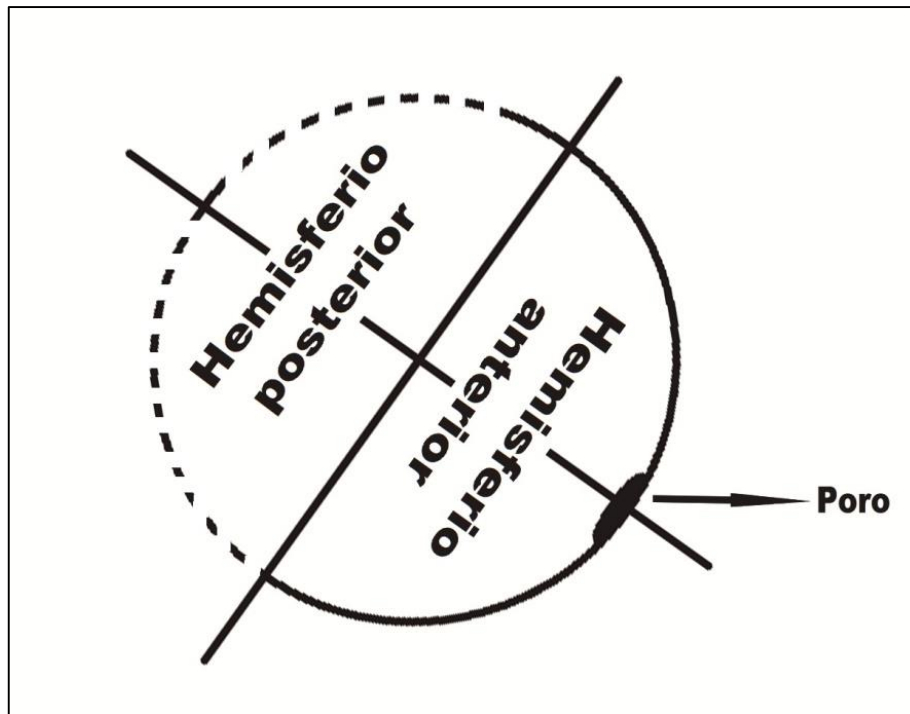


Figura 5.6.1: orientación del espécimen 6 y ubicación del poro en la imagen SEM.

5.7 Especimen 7: (Figura 5.7)

Descripción SEM: el espécimen 7 muestra una forma elipsoidal. Debido a la ausencia del poro, una morfología de acuerdo a los criterios de Duff et al. (1995) no puede ser determinada. Hacia la parte derecha superior de la imagen, se observa una depresión de 11.6 μm , sin embargo su relación con un posible anillo relacionado con el poro no puede ser establecido por lo irregular de la forma que tendría el quiste en general. El eje mayor de la estructura se extiende a lo largo de 30 μm mientras que el eje menor alcanza 26 μm de longitud (Figura 5.7.1). La superficie se observa muy rugosa con apariencia a tener una ornamentación de tipo Verruga, como lo reporta Duff et al. (1995).

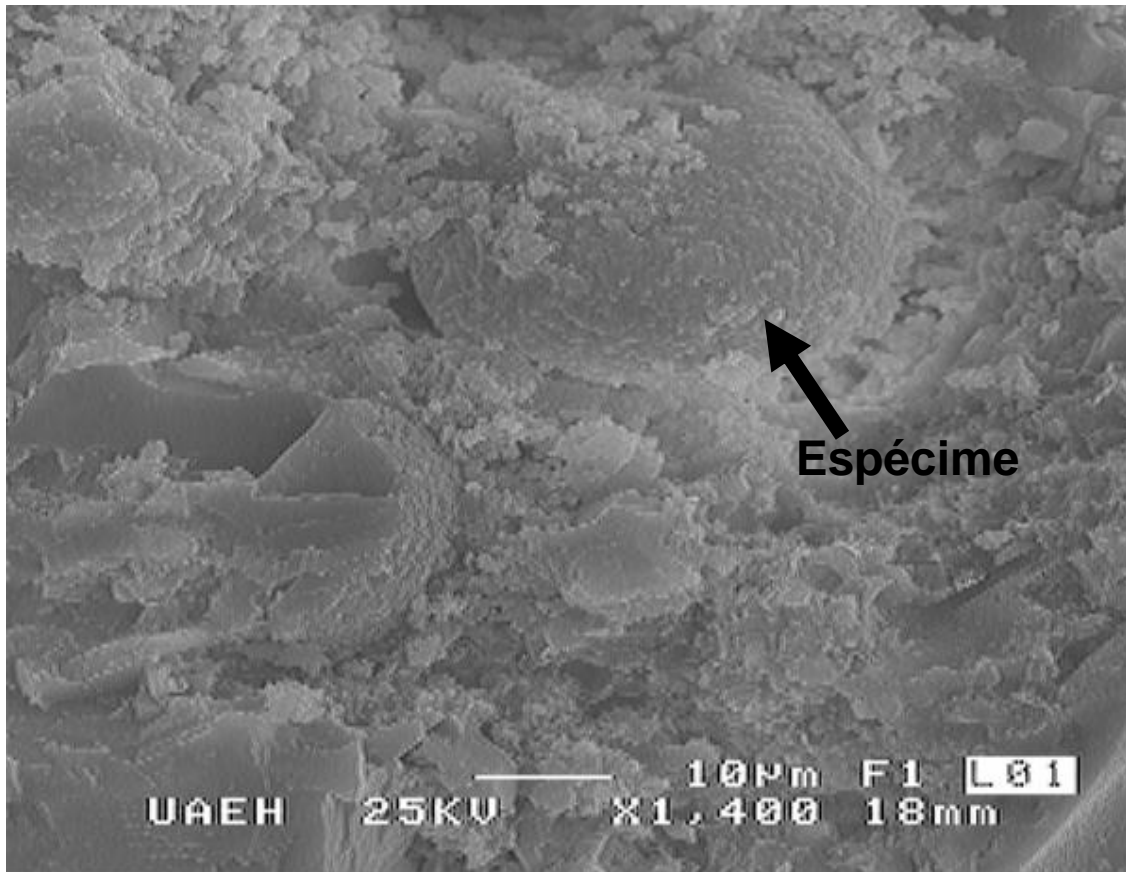


Figura 5.7: Espécimen con ornamentación de Scabrae.

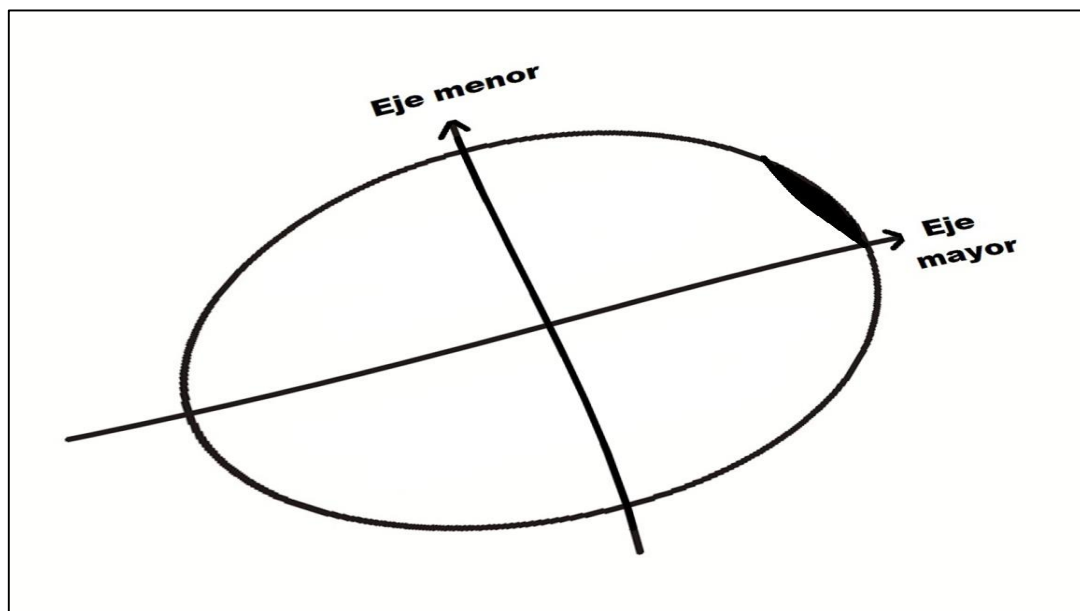


Figura 5.7.1: longitud de los ejes del espécimen 7 dentro de la imagen SEM.

5.8 Espécimen 8: (Figura 5.8)

Descripción SEM: El espécimen 8 presenta una forma oval, según la proporción del largo/ancho que es de 1.5 con respecto a la posición del poro, aunque una parte del estomatoquiste no esté visible, es posible tener una aproximación de sus medidas. Tiene un ancho de 19.5 μm y un largo de 30 μm . La superficie presenta una textura ligeramente rugosa en la parte más cercana al poro, aunque en la demás se encuentran restos de materia ajena al espécimen, se puede ver que predomina una textura lisa. El poro se encuentra en el hemisferio anterior del quiste (Figura 5.8.1) ubicado en la parte superior izquierda de la imagen SEM, no muestra algún collar, se le pudo observar una morfología cóncava. Su diámetro estimado es de 6.2 μm . No se encontraron más detalles que se puedan apreciar en este espécimen.

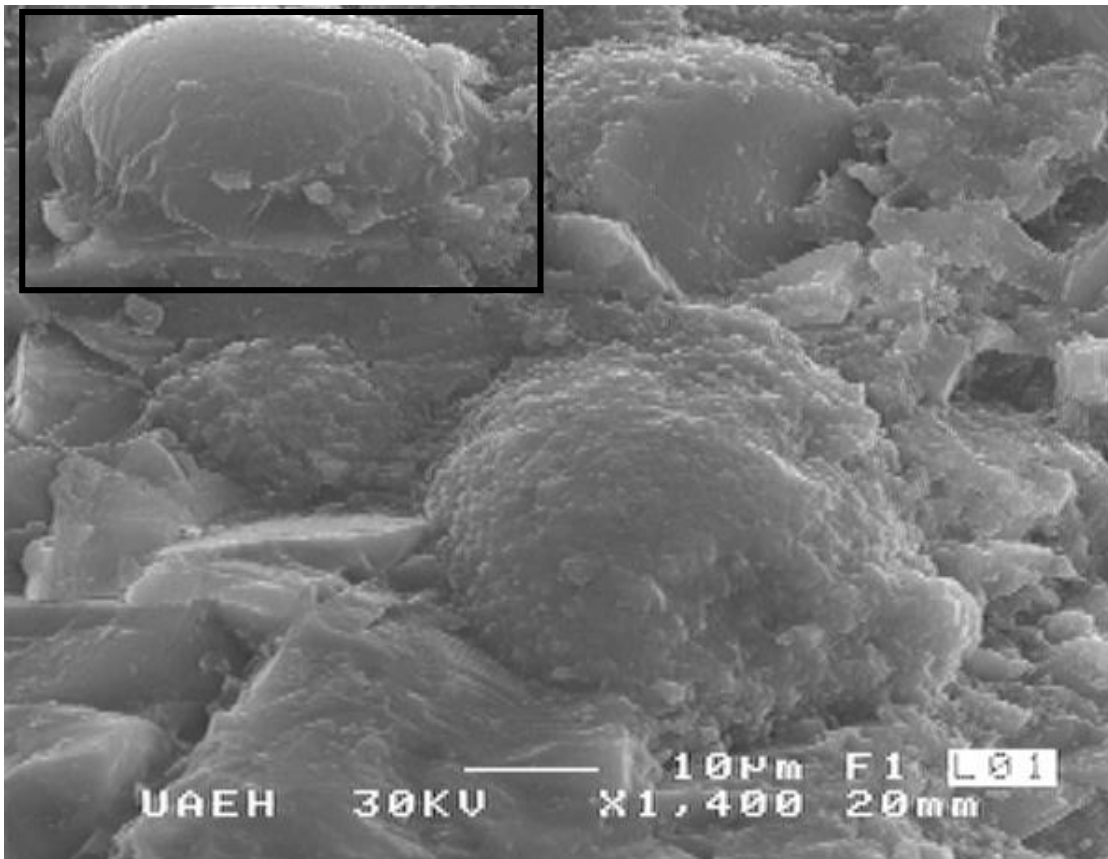


Figura 5.8: Espécimen con forma oval que presenta una superficie lisa.

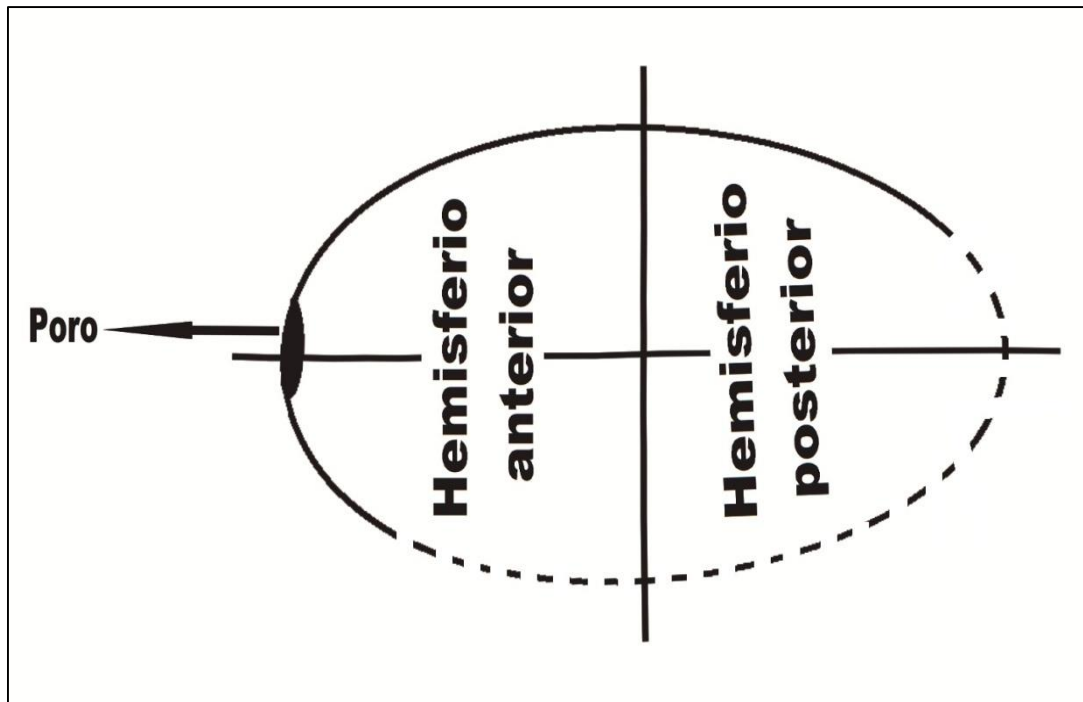


Figura 5.8.1: Orientación del espécimen 8 en la imagen SEM.

5.9 Espécimen 9: (figura 5.9)

Descripción SEM: Este espécimen se encuentra parcialmente oculto, sin embargo la parte expuesta permite observar que dicho espécimen presenta una morfología tipo “pera”. Debido a que el poro no está expuesto, la morfología de acuerdo a los criterio de Duff et al. (1995) no puede ser estimada, sin embargo, este espécimen es muy similar a las reportados por estos autores para estomatoquistes abovados o aovados. La parte más ancha del espécimen 9 está expuesta hacia la base del mismo y alcanza una longitud de 10.8 μm , mientras que el eje mayor de la estructura tiene una longitud de 14.2 μm (Figura 5.9.1). La superficie que presenta es lisa sin ninguna ornamentación o proyección visible. No se encontraron más detalles.

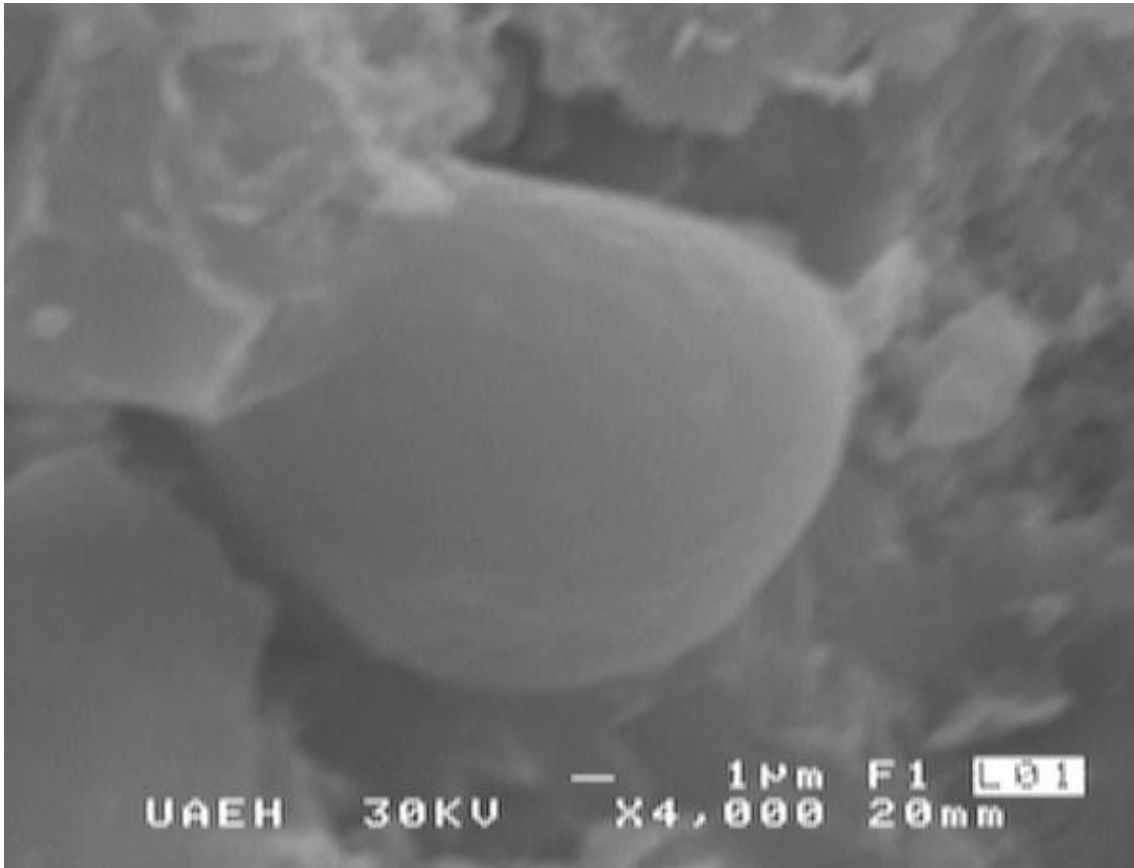


Figura 5.9: Espécimen con superficie lisa.

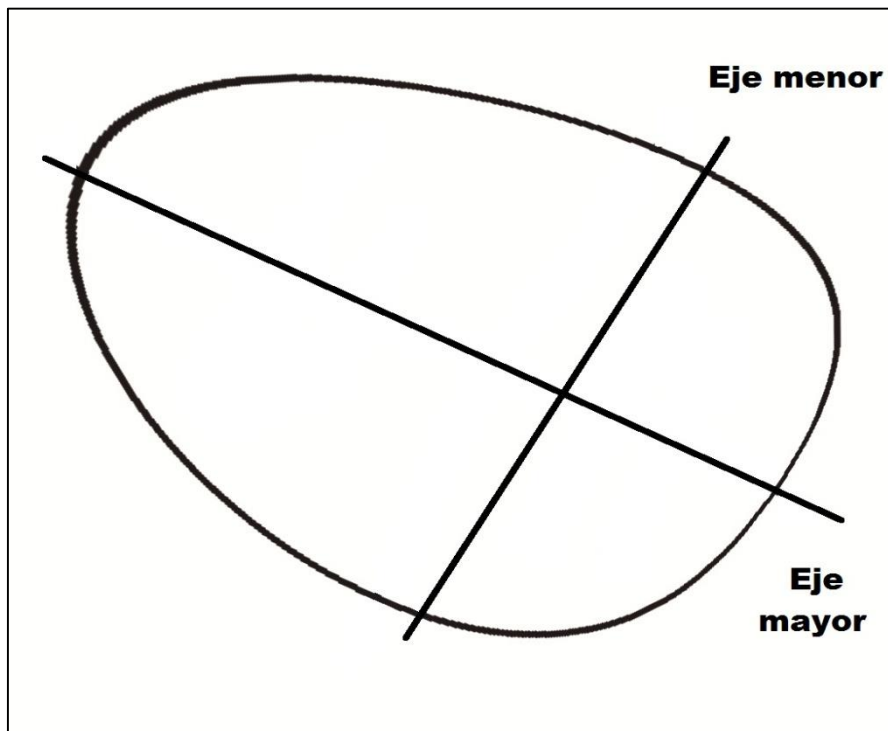


Figura 5.9.1: Orientación del espécimen 9 dentro de la imagen SEM.

5.10 Espécimen 10: (figura 5.10)

Descripción SEM: Este espécimen se encuentra parcialmente cubierto, pero de acuerdo a su parte expuesta es posible determinar un contorno elipsoidal (Figura 5.10.1). De acuerdo a la posición de su poro, éste puede ser considerado como un elemento esferoide con base a la propuesta de Duff et al. (1995). Su longitud ecuatorial estimada es de 28 μm , mientras que su longitud es de 21.6 μm , teniendo una relación de 0.7, lo cual es consistente para la forma antes mencionada. El espécimen presenta una superficie rugosa. En la parte posterior del quiste (lado izquierdo), se presentan unas proyecciones en forma de tentáculo que se proyectan de izquierda a derecha sobre el ejemplar. En la parte derecha del espécimen se observa un poro con diámetro aproximado de 4.4 μm . Éste no presenta collar, anillo u otra estructura.

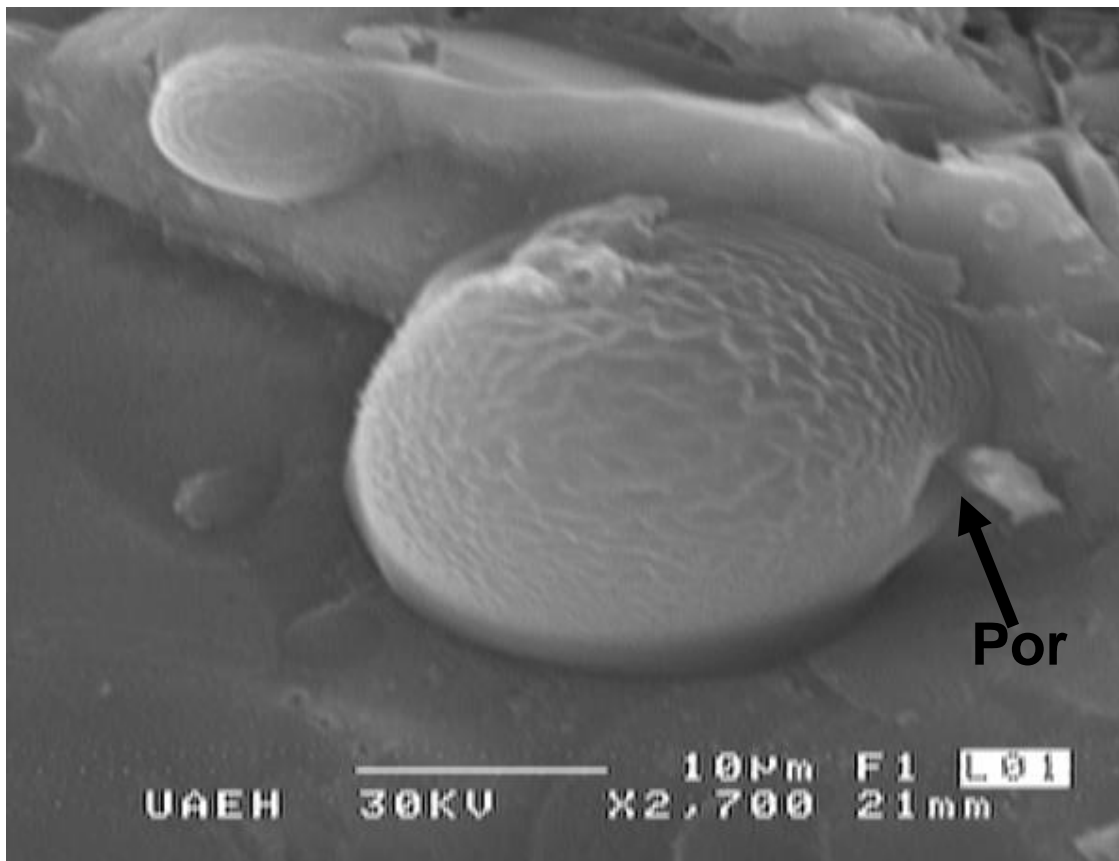


Figura 5.10: Espécimen 10 de estomatoquiste observado al SEM en pirita sedimentaria.

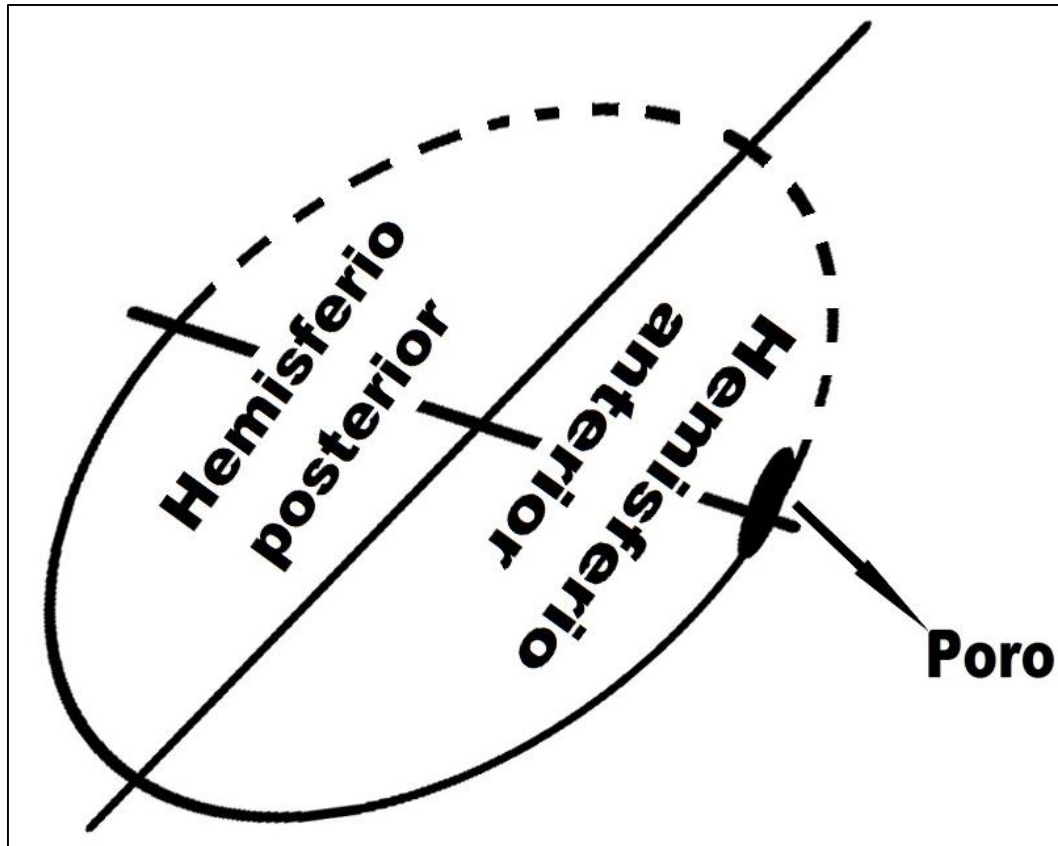


Figura 5.10.1: Orientación del espécimen 10.

5.11 Especimen 11: (Figura 5.11)

Descripción SEM: Parte del espécimen se encuentra cubierto por material no determinado, por ello no se puede observar el poro. Sin embargo, la parte expuesta permite determinar que este espécimen presenta una morfología esférica, por lo que su ancho y longitud estimados son de 10 μm , mostrando una relación de 1. La superficie es lisa, no presenta ningún tipo de ornamentación y no se observa ninguna proyección. En este ejemplar no se detectaron más detalles.

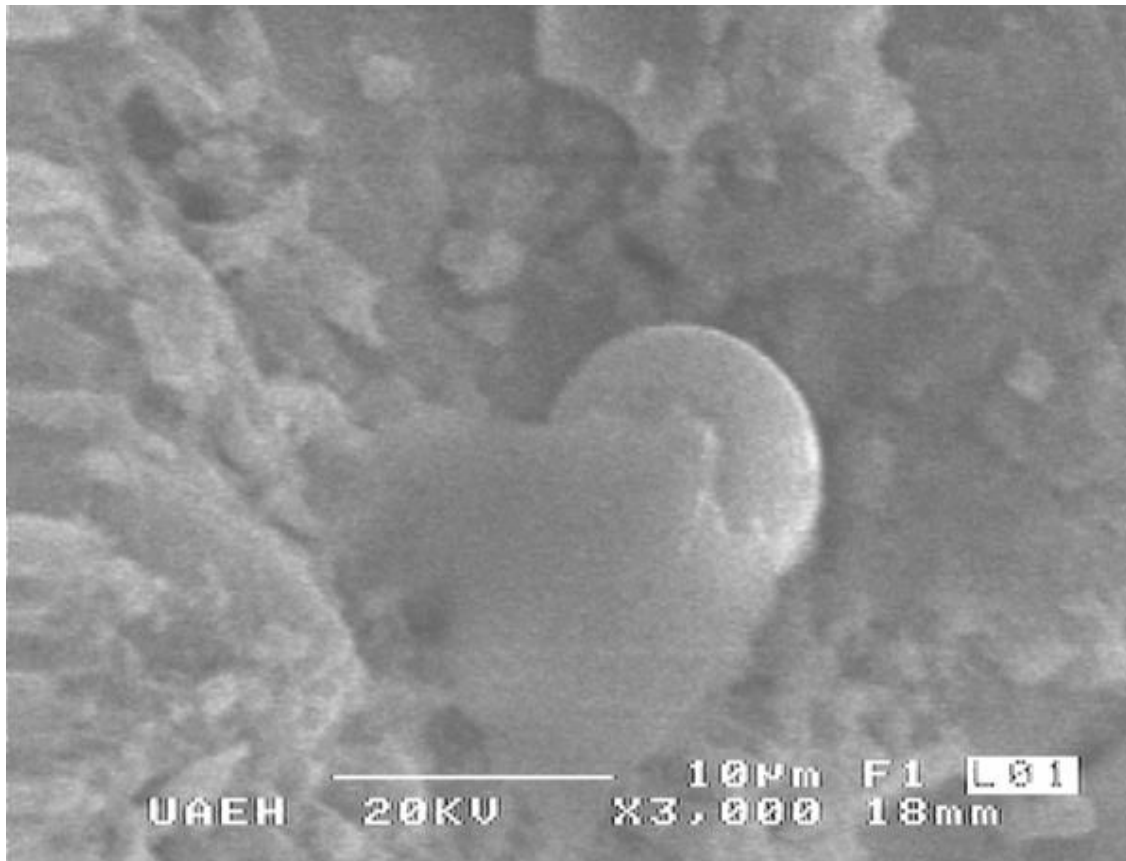


Figura 5.11: Espécimen esférico con superficie lisa.

5.12 Espécimen 12: (Figura 5.12)

Descripción SEM: Se observa un espécimen de contorno elipsoidal, al cual no se le observa el poro, por lo tanto, la morfología de acuerdo a los criterios establecidos no puede ser estimada; sin embargo el espécimen 12 presenta afinidad con la estructura reportada como Stomatocyst Specimen VI por Castañeda-Posadas et al (2014) interpretado como un estomatoquiste de forma oval. El espécimen presenta un eje mayor de 7.1 μm y un eje menor de 5.1 μm (Figura 5.12.1). La textura es rugosa y carece de cualquier tipo de ornamentación o estructura sobresaliente.

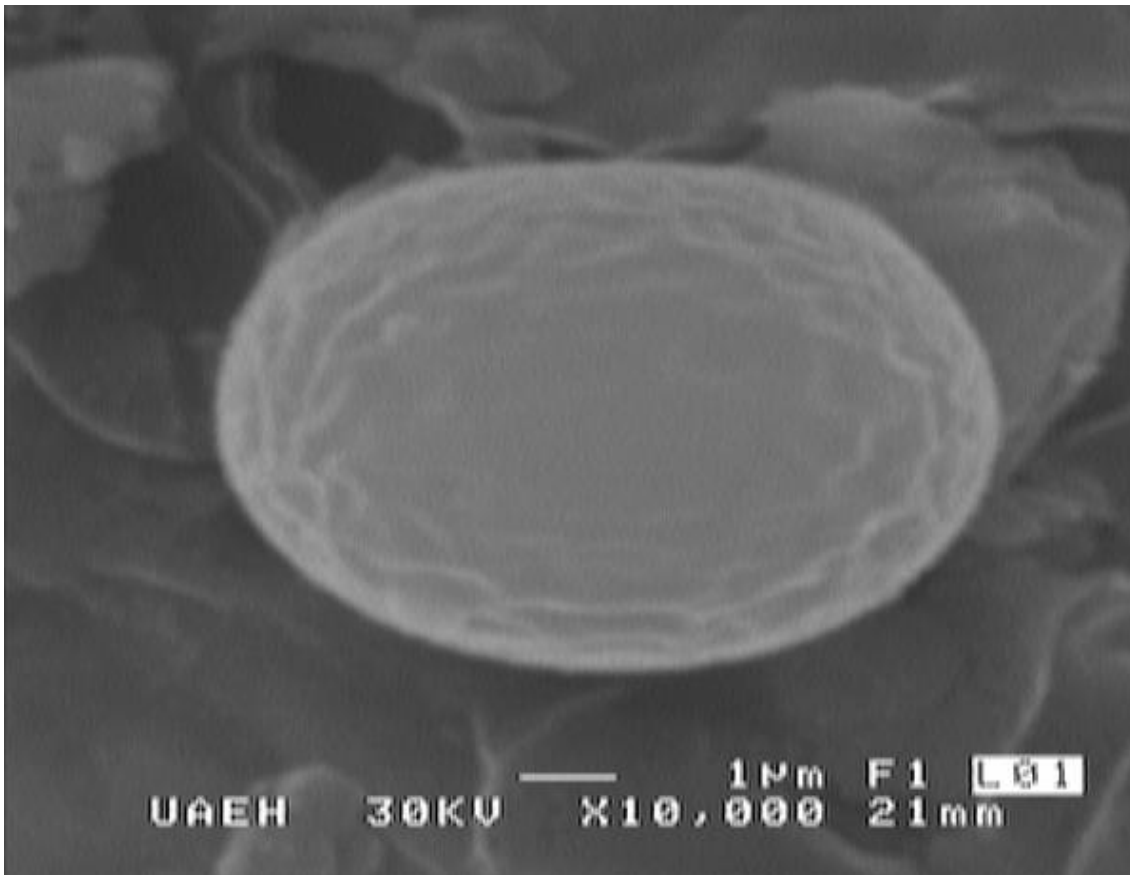


Figura 5.12: Espécimen 12 con textura rugosa

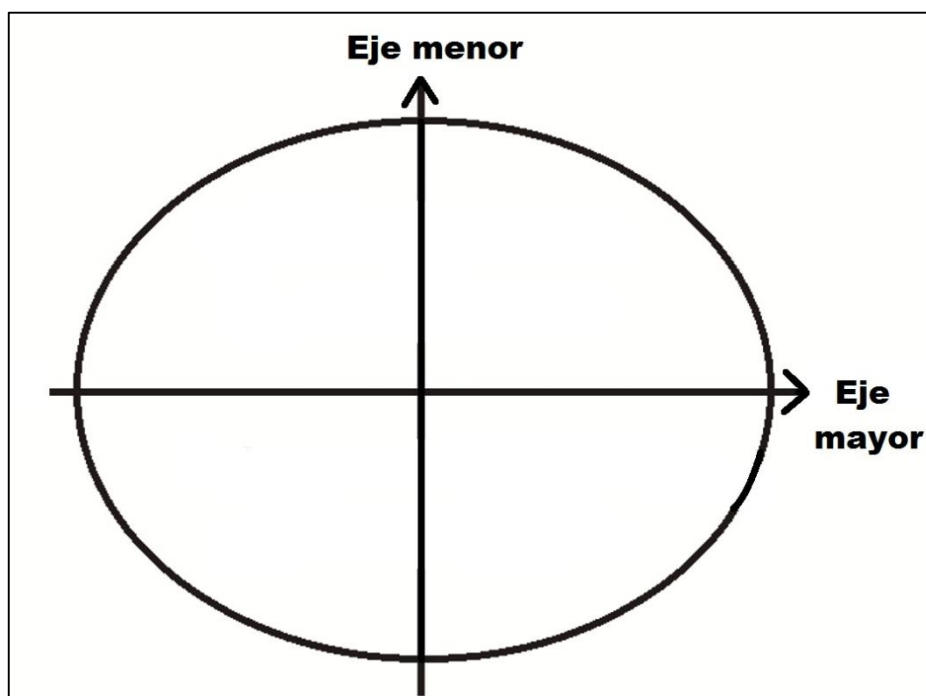


Figura 5.12.1: Longitud de los ejes del espécimen 12.

VI. Discusión

6.1 Formas y Afinidad

Los estomatoquistes descritos en el presente trabajo consisten en 12 especímenes con diferentes grados de preservación. A continuación se discuten los principales rasgos morfológicos y afinidades presentes en los grupos analizados.

6.1.1. Formas con poro

En este trabajo se asigna el término de “formas con poro” a todos aquellos especímenes en los cuales el poro es claramente visible, entre estos se distinguen formas esféricas y esferoides tanto ornamentadas como no ornamentadas.

Esferas con ornamentación: Dentro de esta categoría se reconoce únicamente el espécimen 6.

El espécimen 6 presenta una superficie rugosa con patrones de ornamentación, similar a los retículos irregulares reportados por Duff *et al.* (1995) para especímenes de morfologías esferoides y ovoides; sin embargo, hasta la fecha, dicho tipo de ornamentación no se ha reportado en formas esféricas. Por lo tanto, el espécimen 6 podría representar el primer reporte de la presencia de este tipo de ornamentación en estomatoquistes esféricos; no obstante, dicho patrón deberá ser observado en más especímenes para confirmar esta hipótesis.

Esferas sin ornamentación: Dentro de los ejemplares asignados en esta categoría se incluyen los individuos 1 y 5, los cuales difieren entre sí de acuerdo a su tamaño.

El espécimen 1 (Figura 6.1 A) presenta una similitud con el estomatoquiste 9 (Figura 6.1 B) de Duff *et al.* (1995); este estomatoquiste cuenta con una forma esférica, superficie lisa y no presenta desarrollo de cuello. El diámetro del espécimen 1 entra dentro del rango establecido para el estomatoquiste 9 que va de 6.0 a 8.9 μm .

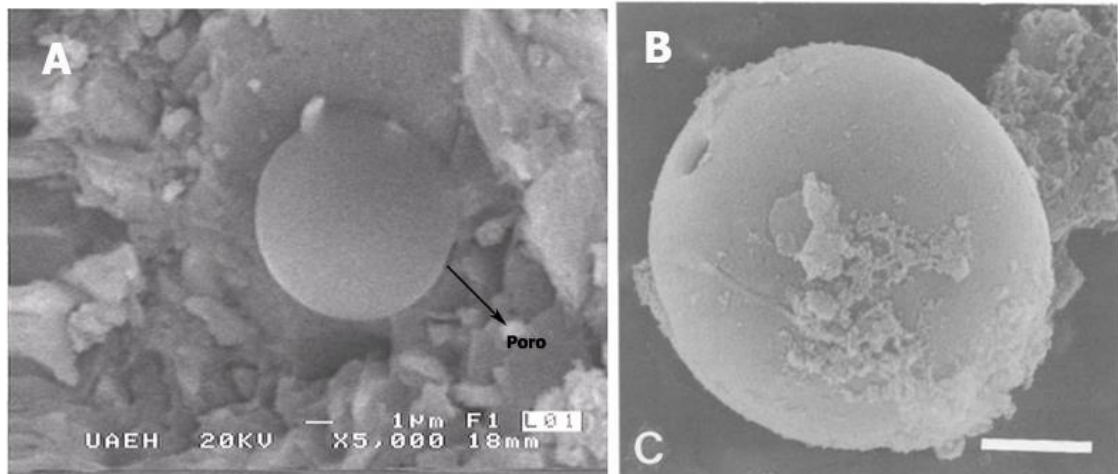


Figura 6.1: A) espécimen 1; B) Estomatoquiste 9, Duff *et al.* (1995) escala = 2 μm .

El espécimen 5 (Figura 6.2 A) muestra un contorno esférico siendo similar al estomatoquiste 1 reportado por Duff *et al.* (1995) el cual, según estos autores presenta una forma esférica con una superficie lisa, en el poro no se presenta ningún tipo de adorno (Figura 6.2. B). El diámetro del espécimen 5 es de 4.7 μm coincidiendo dentro del rango del estomatoquiste 9, siendo este $\leq 5.9 \mu\text{m}$.

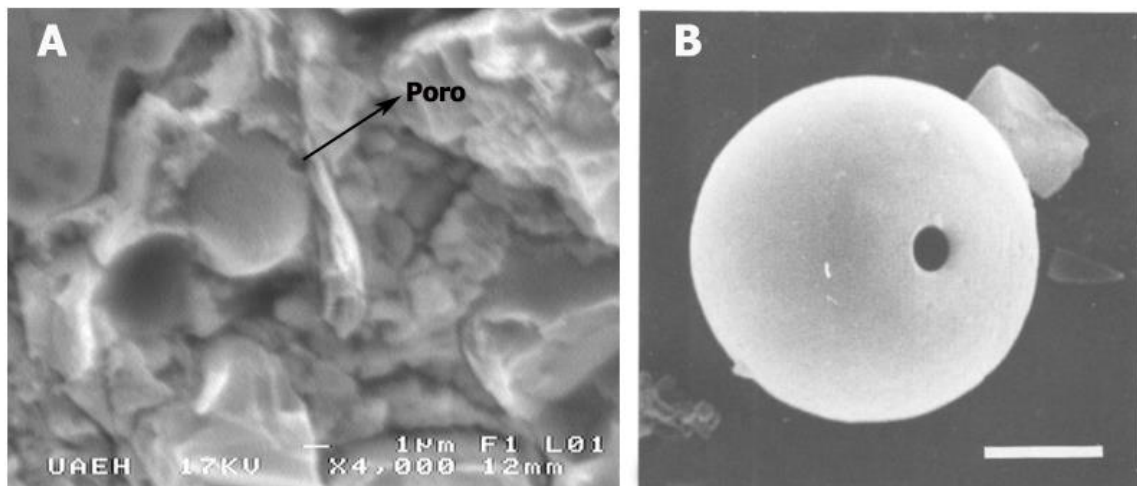


Figura 6.2: A) Especimen 5; B) Estomatoquiste 1, Duff *et al.* (1995) escala = 2 μm .

Esferoide con ornamentación: Dentro de esta categoría se reconoce solo el ejemplar 10.

El espécimen 10 muestra una superficie rugosa similar a retículos variable reportados por Duff *et al.* (1995) para especímenes con morfología esférica, sin embargo no se tiene registro de algún espécimen con forma esferoide y ornamentación similar. Esto nos podría indicar que este espécimen, sea el primer reporte para formas esferoides con este tipo de ornamentación; no obstante más especímenes con características similares deben ser reportados y revisados para validar este argumento

Esferoides sin ornamentación: Dentro de esta categoría se reconoce solo el espécimen 2.

El espécimen 2 tiene una forma esferoide parcialmente embebida en la matriz, sin ornamentación y con presencia de collar. El espécimen con mas similitud es el estomatoquiste 49 reportado por Duff *et al.* (1995) el cual puede tener una forma esférica y esferoide y superficie lisa pero teniendo dimensiones diferentes en relación al cuerpo y al collar. Ningún reporte nuestra un espécimen con las características iguales al espécimen 2.

Oval sin ornamentación: El espécimen 8 es el único que reconoce dentro de esta categoría.

El espécimen 8 (Figura 6.3 B) presenta una forma oval con una superficie rugosa en la parte más cercana al poro pero predominando la superficie lisa. Castañeda-Posadas *et al.* (2014) reportan la forma oval en el Stomatocyst specimen V (Figura 6.3 A) siendo similares en forma, textura y tamaño. Los demás reportes solo muestran características aisladas en cada espécimen.

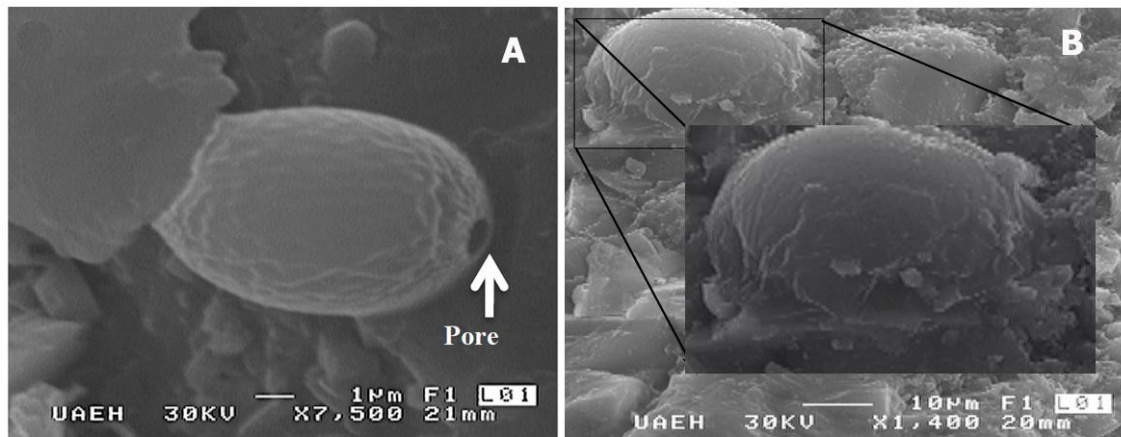


Figura 6.3: A) Stomatocyst specimen V, Castañeda-Posada *et al.* (2014); B) Espécimen 8.

6.1.2 Formas sin poro

En este apartado se asigna el término de “formas sin poro” a todos aquellos ejemplares en los cuales el poro no es claramente visible. En esta categoría se incluyen los especímenes 3, 4, 7, 9, 11 y 12.

El espécimen 3 (Figura 6.4 B) no muestra un poro visible lo que sugiere que el poro se encuentra en el área no expuesta, pero debido a sus dimensiones se puede sugerir que su forma es oval y debido a la similitud que tiene con Stomatocyst Specimen V (Figura 6.4 A) reportado por Castañeda-Posada *et al.* (2014) se podría tratar del mismo estomatoquiste.

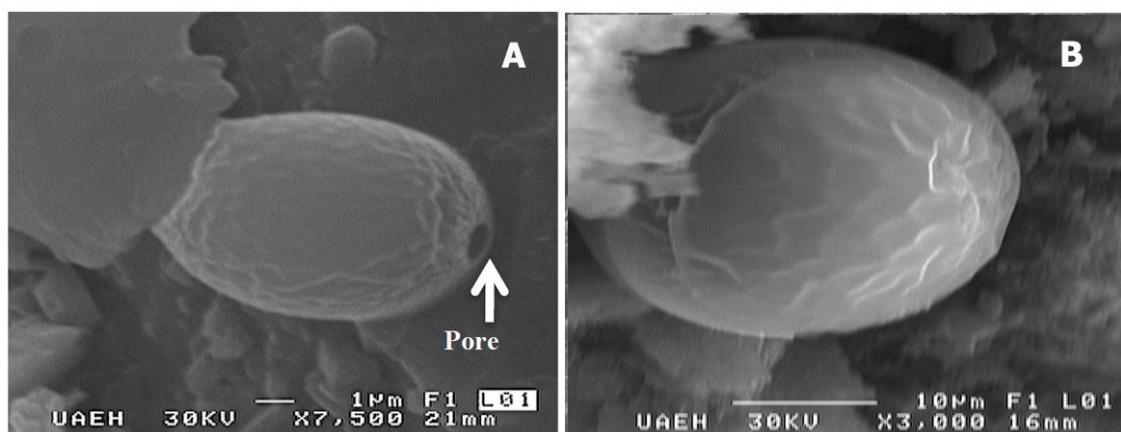


Figura 6.4: A) Stomatocyst specimen V, Castañeda-Posada *et al.* (2014); B) Espécimen 3.

El espécimen 4 (figura 6.5 B), aunque no presenta un poro visible, exhibe afinidad morfológica con el “Stomatocyst Specimen IV” (Figura 6.5 A) reportado por Castañeda *et al.* (2014), por lo que se le puede atribuir una morfología de tipo oval, además de tener una textura y dimensiones similares.

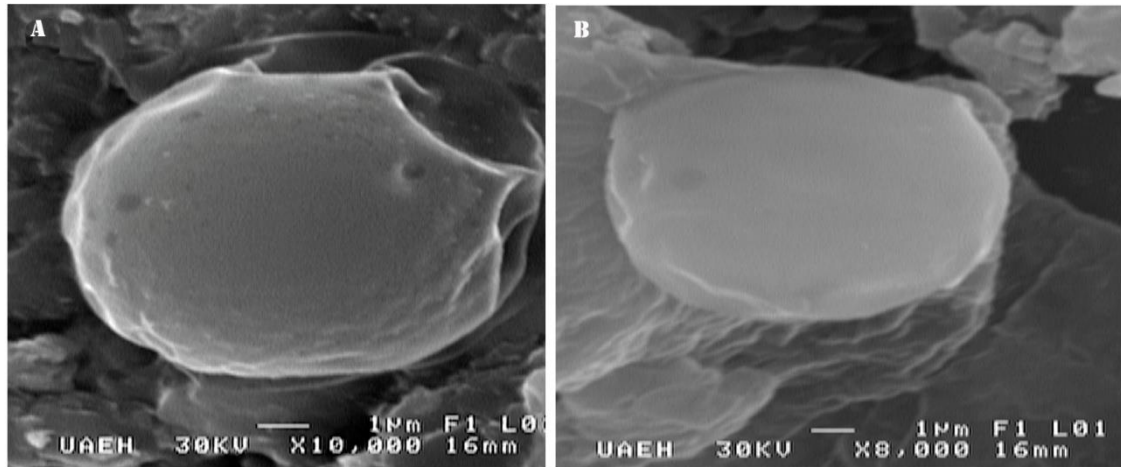


Figura 6.5: A) Stomatocyst Specimen IV, Castañeda *et al.* (2014); B) Especimen 4.

En cambio, el espécimen 7 (Figura 6.6 A) no puede asignarse una forma, ya que el poro no se encuentra visible y al no tenerlo presente es imposible orientar el quiste. La textura que presenta en toda la parte visible es afín con la ornamentación de verrugas que presenta el estomatoquiste 75 de Duff *et al.* (1995) (Figura 6.6 B) siendo su forma de tipo esférico y también esferoide. Las dimensiones del espécimen 7 son correspondientes a una morfología de tipo oval o esferoide según la localización del poro, pero de mayor tamaño en comparación con los parámetros del estomatoquiste 75 (5.8-8.3 μm). Los demás quistes reportados por Duff *et al.* (1995) con esta te tipo de ornamentación son para formas esféricas. Al no tener el poro presente en el espécimen 7, es difícil asignarle una relación con estomatoquistes reportados.

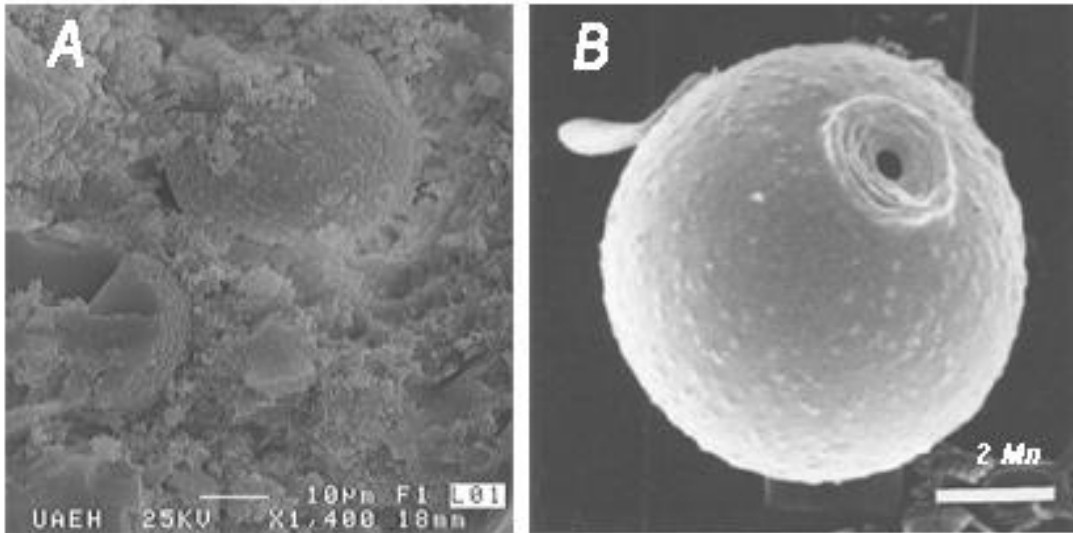


Figura 6.6: A) Especimen 7; B) Estomatoquiste 75, Duff et al. (1995).

El espécimen 9 (Figura 6.7 A) muestra una morfología de tipo “pera” similar a la morfología obovada o aovada de Duff et al. (1995); pero al no contar con un poro visible es imposible definir la forma. El estomatoquiste con mayor afinidad es el estomatoquiste 121 (Figura 6.7 B) reportado por Duff *et al.* (1995), el cual presenta una morfología de tipo obovado con el poro ubicado en la región anterior que es más ancha a la posterior. La textura es lisa para los dos especímenes, sin embargo las dimensiones en el estomatoquiste 121 son menores a las del espécimen 9.

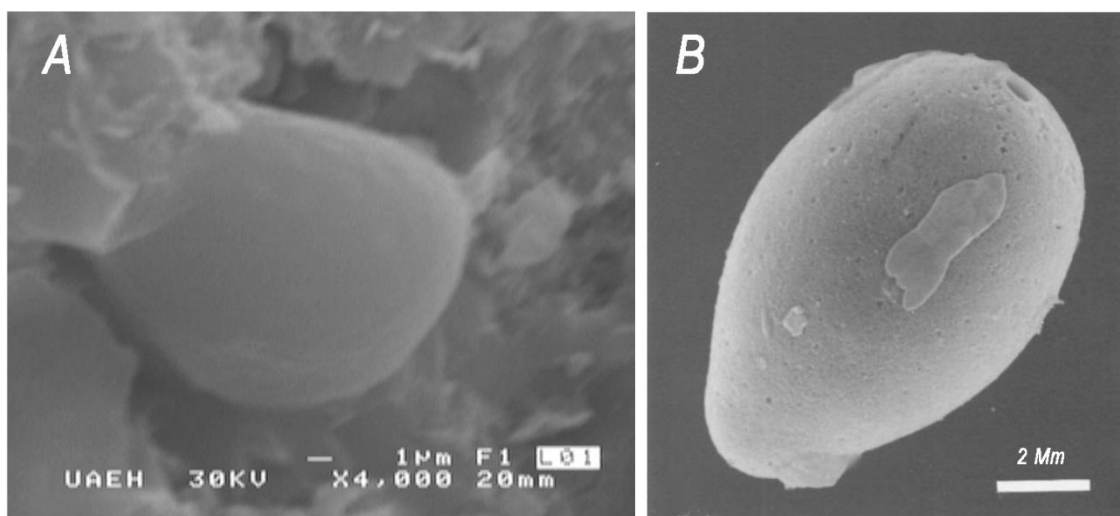


Figura 6.7: A) Especimen 9; B) Estomatoquiste 121, Duff *et al.* (1995).

El espécimen 11 no muestra un poro visible (Figura 6.8 A). La parte expuesta del espécimen muestra una forma esférica siendo su diámetro igual a $10\ \mu\text{m}$ en todos sus lados. La forma, diámetro y textura que presenta es similar a las del espécimen 15 (Figura 6.8 B) reportado por Duffet *al.* (1995) que presenta un diámetro $\geq 9.0\ \mu\text{m}$ con una textura lisa. La ausencia de ornamentación en el cuerpo y poro se presenta tanto en el espécimen 11 como en el estomatoquiste 15.

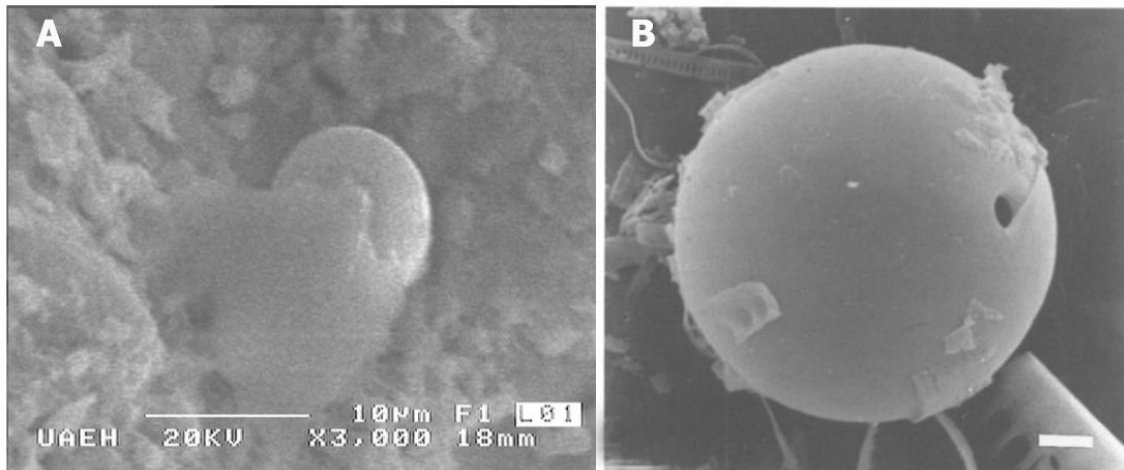


Figura 6.8: A) Especimen 11; B) Estomatoquiste 15, Duffet *al.* (1995), escala = $2\ \mu\text{m}$.

El espécimen 12 (Figura 6.9 A) muestra un contorno elipsoide pero al no encontrar un poro visible la forma no puede ser establecida, sin embargo la afinidad que tiene con el Stomatocyst Specimen VI (figura 6.9 B) reportado por Castañeda-Posadas *et al.* (2014) es alta. El quiste reportado por Castañeda-Posadas *et al.* (2004) es de forma oval, con una superficie que expone un tipo de aspecto rugoso que cubre toda su superficie similar al del espécimen 12 y carece de estructuras sobresalientes.

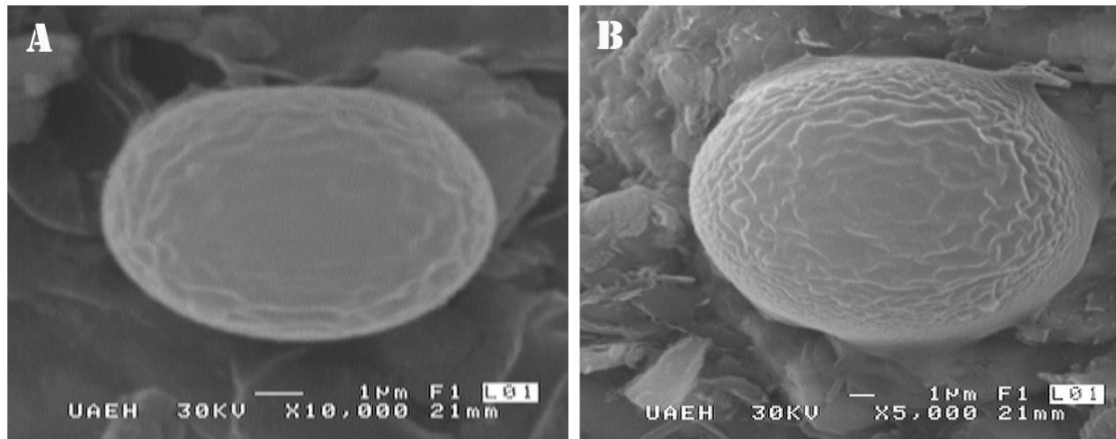


Figura 6.9: A) Espécimen 12; B) Stomatocyst Specimen VI, Castañeda-Posadas *et al* (2014).

6.2 Preservación

Los estomatoquistes analizados y reportados en el presente trabajo se encuentran preservados en laminas milimétricas y lentes de pirita sedimentaria en la Formación Agua Nueva en Xilitla, San Luis Potosí.

Las fotografías realizadas mediante SEM muestran que algunos especímenes revisados se encuentran parcialmente embebidos dentro de la matriz piritica, lo cual indica que estos son materiales primarios preservados en este mineral y no producto de contaminación posterior por manipulación.

Hasta la fecha, organismos piritizados han sido ampliamente documentados, siendo las plantas (Griem *et al.* 2009 y Bernard *et al.* 2010) y los metazoarios (Briggs *et al.* 1996) los más comunes; mientras que los reportes de microorganismos preservados en este mineral son menos frecuentes (Blanco *et al.* 2010, 2013). Entre los microorganismos preservados en pirita destacan estructuras biomórficas a nivel microscópico reportados por Shopf *et al.* (1965); Schieber, (2002); Blanco *et al.* (2010); Ángeles-Trigueros *et al.* (2012) quienes describen diferentes formas interpretadas como cocoides, bastones entre otras estructuras.

Por su parte, el primer y tal vez el único reporte de estomatoquistes piritizados en México lo realizaron Castañeda-Posadas *et al.* (2014), quienes describe preliminarmente formas en pirita sedimentaria de la Formación Agua Nueva en Xilitla, San Luis Potosí. Algunas de las formas presentadas por estos autores presentan similitudes en la preservación con las reportadas en este trabajo.

¿A que nivel ocurrió la preservación de pirita en los estomatoquistes en la Formación Agua Nueva? Piritización a nivel de pared celular ha sido observada en células de vegetales fósiles de Eoceno de Inglaterra (Griem *et al.* 2009) lo que indica un nivel de remplazo a nivel macromolecular.

La pirita sedimentaria es un mineral autigénico cuya fórmula es FeS_2 . Para la formación de este mineral se requieren condiciones muy particulares, tales como ambientes anóxicos o deficientes en oxígeno libre disuelto, presencia de materia orgánica, presencia de sulfatos, hierro detrítico reactivo, así como bacterias sulfato y sulfo-reductoras (Berner, 1970, 1984).

Es conocido que la génesis de pirita sedimentaria comienza durante la diagénesis temprana (Schieber, 2002). La figura 6.10 ilustra los pasos que intervienen en la formación de este mineral.

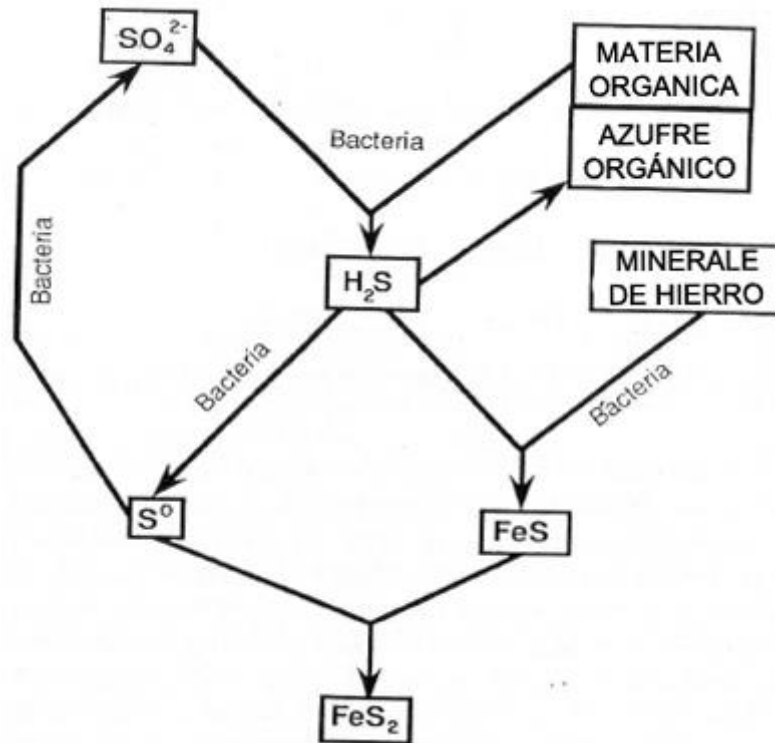


Figura 6.10: Representación esquemática de las vías y procesos de reducción de sulfato y la formación de pirita (Modificada de Canfield y Raiswell, 1991).

Como se menciona anteriormente, cuando la materia orgánica se descompone en un ambiente carente de oxígeno se produce ácido sulfhídrico, el cual reacciona con las sales de hierro del agua marina produciendo sulfuros de hierro, generalmente pirita, que sustituyen a la materia de origen orgánico. Los tres modos de conservación por pirita según Allison (1988, 1990) son:

- A) Permineralización.** Tejidos refractarios tales como la quitina y la celulosa puede ser preservado por la precipitación de la pirita en los espacios de sus poros. Además, la pirita puede preferentemente reemplazar los componentes más degradables tales como paredes celulares.
- B) Capa mineral.** La preservación de partes blandas más degradables se da por este medio que rara vez conserva estructuras internas. Se define como capas minerales a aquellas que tienen un espesor limitado y claramente definido. Estas capas pueden formarse por piritización (es decir, permineralización) de una capa de bacterias.

C) Moldes. Este estilo de preservación implica e lmayor grado de pérdida de información, ya que sólo se conserva el contorno fósil.

En el tejido permineralizados, la piritización ocurre dentro de la frontera, en los espacios porosos. En capas minerales la pirita se produce en una zona delgada bien definida inmediatamente fuera de los límites. En los moldes la piritización se produce en una difusazona fuera de los límites

Según Duff (1995), los estomatoquistes están formados por una pared externa así como una serie de paredes, la más interna se llama pared primaria, siguiendo la pared secundaria, pared terciaria y así hasta llegar a la pared externa.

Es probable que en el ambiente de depósito, durante la diagénesis temprana, los estomatoquistes en el sedimento comenzaran a ser reemplazados por pirita mediante el proceso de permineralización sustituyendo las paredes que los componen, ya que los otros procesos no muestran el grado de conservación que se observa y no serían adecuados para la identificación de estomatoquistes.

6.3 Importancia ecológica e Importancia paleogeográfica.

El interés científico en los estomatoquistes ha ido creciendo de manera constante, por lo que aspectos sobre su ecología ha cobrado mayor importancia (Siver y Smol, 1993); esto se ve reflejado en la abundancia con relación a trabajos que tratan de entender su relación hacia parámetros abióticos tales como pH, temperatura, salinidad y conductividad, entre otros. El conocimientos de los parámetros tanto abióticos como bióticos que controlan la presencia de estomatoquistes en diferentes escenarios, ha permitido que éstos sean usados como indicadores ambientales, no sólo para formas actuales, sino también para representantes fósiles (Duff *et al.*, 1995). Un ejemplo de esto lo pueden representar las formas de estomatoquistes fósiles reportadas en este trabajo en pirita sedimentaria presente en la caliza marina de la Formación Agua Nueva, depositada en ambiente de cuenca profunda dentro de la Cuenca Tampico-Misantla hace aproximadamente 90 millones de años, a inicios del Cretácico Tardío.

Los estomatoquistes reportados en este trabajo, a pesar de estar presentes en rocas de ambientes marinos, como se mencionó anteriormente, muestran similitud con formas reportadas en ambientes de agua dulce, tales como estanques (Zeeb, 1994), lagos (Rott, 1988), pantanos (Cronberg, 1988), humedales (Duff y Smol, 1994), arroyos y ríos (Duff, 1994). Hasta la fecha, las únicas formas marinas reportadas en ambientes marinos, corresponden a la especie *Archaeomonas cf speciosa*, la cual es una forma consistente en un cuerpo esférico con un collarín agrandado claramente extendido hacia fuera, más o menos cónica o aplanado, con presencia de crestas en el cuello con una posición irradial. Su pared externa está adornada con una red de crestas elevadas y estrechas, delineando pequeños campos poligonales irregulares. Este exhibe un alto grado de polimorfismo (que puede indicar diferentes variedades) o variación vinculados a las etapas de madurez. La descripción de *A. cf speciosa* no presenta afinidad morfológica con ninguna de las formas de estomatoquistes presentes en la pirita sedimentaria de la Formación Agua Nueva en Xilitla. Por lo tanto, esto lleva a una pregunta obligatoria: ¿Cómo estructuras biomórficas aparentemente de agua dulce pueden estar presentes en sedimentos marinos? Hasta la fecha, el único antecedente de formas de agua dulce en escenarios de cuenca profunda lo representan especímenes reportados por Jendrzewski y Hart (1978), quienes sugieren que dichas formas pudieron ser transportadas desde ambientes continentales a través de sistemas deltaicos ancestrales.

la Formación Agua Nueva en fue acumulada en escenarios marinos profundos (más de 3000 m de profundidad) dentro de la Cuenca Tampico-Misantla, una unidad morfotectónica que existió en la parte este del país durante el Cretácico.

De acuerdo a Sohl et al., (1991), aunque durante el Turoniano, tanto el noreste de México, así como el área de estudio se encontraba sumergida bajo mares epicontinentales y cuencas respectivamente, existieron masas continentales emergidas tales como el Levantamiento de Sabine a aproximadamente 1000 km al norte del área de depósito. En las zonas intermareales de dichos márgenes, se desarrollaron complejos sistemas deltaicos, que contribuyeron al gran aporte de terrígenos de origen continental a zonas de plataforma y de cuencas

profundas. Es sabido que material terrígeno de grano fino puede ser transportado cientos e incluso miles de kilómetros desde la fuente antes de su depositación final (Sohl *et al.*, 1991), lo que sugiere que partículas de cuyo tamaño tiene la fracción del limo y/o la arcilla, tales como polen, estomatoquistes, etc, pueden tener el mismo destino. Es muy probable que los estomatoquistes presentes en la Formación Agua Nueva hayan pertenecido a algas *crysophytas* de agua dulce, en donde éstas completaron su ciclo biológico, y que posteriormente fueron transportados a través de ríos y llevados a aguas marinas a través de los deltas existentes. Una vez en el mar, dichos componentes pudieron ser transportados por deriva necroplanctónica hasta llegar a cuencas profundas en donde finalmente sufrieron el proceso de acumulación y preservación. Posteriormente, estos especímenes fueron reemplazados por pirita durante la diagénesis temprana.

VII. Conclusiones

1.- Las capas de la Formación Agua Nueva en el área de estudio consisten en caliza gris con pedernal y lentes de piritita la cual alterna con horizontes de arcilla y bentonita depositadas en un ambiente marino de cuenca profunda durante el Cenomaniano/Turoniano, Cretácico Tardío.

2.-Dentro de las muestras analizadas, los estomatoquistes se encuentran totalmente piritizados y fueron preservados mediante el proceso de permineralización a nivel de pared celular.

3.-Los especímenes descritos presentan afinidades con formas de agua dulce o salobre, más que a formas marinas.

4.-La presencia de formas continentales de estomatoquistes en escenarios marinos podría ser el resultado de transporte a través de sistemas deltaicos, que contribuyeron al gran aporte de terrígenos de origen continental a zonas de plataforma y de cuencas profundas dentro del Cretácico en el actual noreste y centro de México.

VIII. REFERENCIAS

- Allison, A. A. (1990). Decay Processes (in): Paalebiology-A synthesis: Derek E.G. Briggs and Peter Crowther (Eds). Blackwell Scientific Publications. 227-229.
- Allison, P. A. (1988). The role of anoxia in the decay and mineralization of proteinaceous microfossils. *Paleobiology*. 14:139-154.
- Ángeles-Trigueros, S. A., Blanco-Piñón, A., Hernández-Ávila, J., & Zavala-Díaz de la Serna, F. J. (2012). Bioformas Microscópicas en Pirita Sedimentaria y sus Implicaciones Astrobiológicas”. *Memorias de la VIII Reunión de la Sociedad Mexicana de Astrobiología, Cuernavaca, 4th August*. pp. 59-62.
- Bernard, A., Lecuyer, C., Vincent, P., Amiot, R., Bardet, N., Buffetaut, E., Cuny, G., Fourel, F., Martineau, F., Mazin, J.M., & Prieur A. (2010). Regulation of Body Temperature by Some Mesozoic Marine Reptiles. *Science*. 328(5984):1379-1382. DOI: 10.1126/science.1187443
- Berner, R. A. (1970). Sedimentary Pyrite Formation, *Am. J. Sci.* 268:1-23.
- Berner, R. A., (1984). Sedimentary pyrite Formation: an update: *Geochimica et Cosmochimica*. 48:605-615.
- Betts-Piper, A.A., Zeeb B.A. & Smol J. P. (2001). Chrysophyte cyst flora from high arctic Svalbard lakes: descriptions of new morphotypes and evidence of recent environmental change.
- Blanco, A., Ángeles-Triguero, S.A., Castañeda-Posadas, C., Ambrocio-Cruz, S.P. (2013). Fossilized pollen grains in sedimentary pyrite and its significance for life propection in Mars. *Lunar and Planetary Science Conference*. 3060. pdf
- Blanco, A., Zavala, F.J., Hernández-Ávila, J., Maurasse, F., Duque-Botero, F., Ramírez-Cardona, M. (2010). Microbial preservation in sedimentary pyrite from Cretaceous organic matter-rich carbonate mudstone: a preliminary report. *Lunar and Planetary Science Conference*. 2487. Pdf
- Briggs, D.E.G., Raiwell, R., Bottrell, S.H., Hatfield, D., Bartels, C. (1996). Controls on the pyritization of exceptionally preserved fossils: an analysis

- of the Lower Devonian Hunsrück Slate of Germany. *American Journal of Science* 296: 633-663.
- Canfield, D.E., Raiswell, R. (1991) Pyrite Formation and Fossil Preservation. In: Allison, P. A., Briggs, D. E. G. (Eds.) *Taphonomy: Releasing the Data Locked in the Fossil Record*. New York, Plenum. 337-387.
 - Castañeda-Posadas, C., Blanco-Piñón, A., Hernández-Ávila, J., Ambrocio-Cruz, S.P., Lizárraga-Mendiola, L., Ángeles-Trigueros, S.A. (2014). Fossil stomatocysts in Upper Cretaceous sedimentary pyrite from Central Mexico. *International Journal of Geosciences* 5: 214-221.
 - Compton R. A. (1985). *Geology in the Field*. John Wiley & Sons, 398 pp, (comprehensive but dense black and white book on basic geology and field techniques. Replacement of Compton's Manual of Field Geology, 1962)
 - Cronberg, G. (1988). Variability in size and ultrastructure of the statospore of *Mallomonas caudata*. *Hydrobiologia* 161: 31-39.
 - Deflandre, G. (1993) Seconde Note sur les Archaeomonadaceés. *Bulletin de la Société Botanique de France*. 80:79-90.
 - Duff, K. E., Zeeb, B. A., Smol, J.P., & Glew, J.R. (1995) "Atlas of Chrysophycean Cysts (Developments in Hydrobiology)" Vol. 1. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. ISBN-10: 0792330390.
 - Duff, K.E. & J.P. Smol, (1994). Chrysophycean cyst flora from British Columbia (Canada) lakes. *Nova Hedwigia* 58:353-389.
 - Duff, K.E. (1994). Relationships of sedimentary chrysophycean stomatocyst assemblages in lake sediments to environmental gradients. Ph.D. Thesis, Queen's University.
 - Folk, R. L. (2005). Nannobacteria and the Formation of Framboidal Pyrite: Textural Evidence". *Journal of Earth System Science*, Vol. 114, No. 3, 2005, pp. 369-374. DOI: 10.1007/BF02702955.
 - Grimes, S. T., Brock, F., Rickard, D., Davies, K.L., Edwards, D., Briggs, D.E.G., Parkes, R. J. (2009). Understanding fossilization: Experimental pyritization of plants. *Geology*, 29(2): 123-126

- Harwood D. M., & Gersonde, R. (1990). Lower Cretaceous Diatoms From Odp Leg 113 Site 693 (Weddell Sea). Part 2: Resting Spores, Chrysophycean Cysts, An Endoskeletal Dinoflagellate, and Notes on the Origin Of Diatoms. *Proceedings of the Ocean Drilling Program. Scientific Results.* 113:403-425.
- Jendrzejewski J.P. & Hart, G.F. (1978). Distribution of Siliceous Microfossils in Superficial Bottom Sediments of the Gulf of Mexico". *Palynology.* 2 :(1)159-166. DOI: 10.1080/01916122.1978.9989170.
- Kamerick, C. (2010) "Stom@ocysts & Co.-web Application to Bring the Research Community Together Via the Internet". *Nova Hedwigia, Beiheft* 136. 311-323.
- Kristiansen, J. (1986). Silica-scale bearing chrysophytes as environmental indicators. *Br. Phycol. J.* 21: 425-436.
- Perch-Nielsen, K. (1975) Eocene to Pliocene Archaeomonads, Ebridians and Endoskeletal Dinoflagellates from the Norwegian Sea, DSDP Leg 38". *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project.* 38:147-175
- Piątek, J., & Piątek, M. (2005). Chrysophyte Stomatocyst of the Sulphuric Salt Marsh in the Owczary Reserve (Central Poland). *Polish Botanical Journal.* 50(1):97-106.
- Rott, E. (1988). Some aspects of the seasonal distribution of flagellates in mountain lakes. *Hydrobiologia* 161: 159-170.
- Rull V. & Vegas -Vilarrúbia T. (2000). Chrysophycean stomatocysts en un manglar del Caribe. *Hydrobiologia* 428: 145-150.
- Sandgren, C. D., (1988). The ecology of chrysophyte flagellates: their growth and perennation strategies as freshwater phytoplankton. In C.D. Sandgren (ed), *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton.* Cambridge University Press, Cambridge: 9-104.
- Sandgren, CD. & Flanagan J. (1986). Heterothallic sexuality and density dependent encystment in the chrysophycean alga *Synura petersenii* Korsh. *Journal of Phycology* 22: 206-216.
- Schieber, J. (2002). Sedimentary pyrite: A window into the Microbial Past. *Geology.* 30(6): 531-534.

- Schopf, J. M., Ehlers, E. G., Stiles, D. V., Birle, J.D. (1965). Fossil iron bacteria preserved in pyrite. *Proceedings of the American Philosophical Society*. 109: 288-308.
- Siver, P.A. & Smol, J.P. (1993). The use of scaled chrysophytes in long term monitoring programs for the detection of changes in lakewater acidity. *Water, Air & Soil Pollution* 71: 357-376.
- Siver, PA. (1995). The distribution of chrysophytes along environmental gradients: their use as biological indicators. In: Sandgren, CD., J.P. Smol & J. Kristiansen (eds.), *Chrysophyte Algae: Ecology, Phylogeny & Development*. Cambridge University Press, Cambridge, U.S.A. 232-268.
- Smol, J.P. (1988). Chrysophycean microfossils in paleolimnological studies. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 62: 287-297.
- Smol, J.P. (1994). Application of chrysophytes to problems in paleoecology. In C.D. Sandgren, J.P. Smol & J. Kristiansen (eds), *Chrysophyte algae: ecology, phylogeny and development*. Cambridge University Press, Cambridge: in press.
- Sohl, N. F., Martínez, E., Salmerón-Ureña, P. & Soto-Jaramillo, F. (1991). Upper Cretaceous. In: Salvador A. Ed., *The Gulf of Mexico Basin*. The Geological Society of North America, Austin. 205-242.
- Van den Hoek, C. D., Mann G. & Jahns H. M. (1999). *Algae: An Introduction to Phycology*. Pp.101-123.
- Withers, N.W., Fiksdahl, A., Tuttle R.C. & Liaaen-Jensen, S. (1981). Carotenoids of the Chrysophyceae. *Comp. Biochem. Physiol. B Comp. Biochem.* 68: 345-349.
- Zeeb, B.A. (1994). Assessment of chrysophycean stomatocysts as paleolimnological markers of environmental change. Ph.D. Thesis, Queen's University.