



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**Comunidades algales asociadas a la formación de oncolitos  
en la Huasteca, San Luís Potosí.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL  
TÍTULO DE**

**BIÓLOGO**

**PRESENTA:**

**KARINA OSORIO SANTOS**



**Director de tesis: DR. GUSTAVO ALBERTO MONTEJANO  
ZURITA**

**2007**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

FACULTAD DE CIENCIAS

División de Estudios Profesionales



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ  
Jefe de la División de Estudios Profesionales  
Facultad de Ciencias  
P r e s e n t e .

Por este medio hacemos de su conocimiento que hemos revisado el trabajo escrito titulado:

**"Comunidades algales asociadas a la formación de oncolitos en la Huasteca, San Luis Potosí"**

realizado por **Osorio Santos Karina**, con número de cuenta **098341038**, quien opta por titularse en la opción **Tesis** en la licenciatura en **Biología**. Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Tutor(a)	Dr.	Gustavo Alberto Montejano Zurita	
Propietario	Dr.	Javier Carmona Jiménez	
Propietario	Dr.	Enrique Arturo Cantoral Uriza	
Suplente	M. en C.	Leonora Martín Medrano	
Suplente	Dr.	Victor Rivera Aguilar	

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Ciudad Univeritaria, D. F., a 20 de marzo del 2007  
COORDINADOR DE LA UNIDAD DE ENSEÑANZA DE BIOLOGÍA

DR. ZENÓN CANO SANTANA

FACULTAD DE CIENCIAS



UNIDAD DE ENSEÑANZA  
DE BIOLOGÍA

Señor sinodal: antes de firmar este documento, solicite al estudiante que le muestre la versión digital de su trabajo y verifique que la misma incluya todas las observaciones y correcciones que usted hizo sobre el mismo.

Para mis padres  
con mucho amor y cariño.

Por todo su apoyo,  
motivación y ejemplo.

A mis hermanos  
Berenice, Miguel  
y Abraham

## AGRADECIMIENTOS

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) por su apoyo económico en el proyecto No. IN213207-2.

A mis padres y hermanos que me brindan siempre su apoyo en todo lo que realizo y me motivan a ser mejor cada día. Por todo su amor y cariño y sobre todo por que me enseñan a ser mejor persona siempre.

A mi profe el Dr. Gustavo A. Montejano Zurita, por su motivación, tolerancia, apoyo en este trabajo, pero sobre todo por compartir sus conocimientos conmigo; por el tiempo dedicado a esta tesis, muchas gracias.

Al Dr. Javier Carmona Jiménez por los comentarios, sugerencias y orientación para la elaboración de esta tesis, por toda su ayuda y por el tiempo dedicado a este trabajo.

Al Dr. Enrique Cantoral Uriza, por los consejos, ayuda y orientación que me dio en la realización de la tesis.

Al Dr. Víctor Rivera por su apoyo y recomendaciones en este trabajo, por todo el tiempo dedicado en este trabajo.

A la M. en C. Leonora Martín Medrano por el interés, sugerencias y tiempo dedicado a este trabajo.

A Oscar por su gran ayuda y consejos, y sobre todo por ser un gran compañero y amigo, gracias.

A mis grandes amigos de Biología que me brindaron su apoyo y ayuda y sobre todo por su vibra positiva: Esther, Sandra V. Raúl, Ángeles, Sandra M., Miguel Ángel, Hunab, Liliana, Miguel, Jaime, Ángel, Marlem, Roberto, Miguel Cruz, Nadia, Vero, Felipe, Rebeca, Fernando, Israel, Juan Carlos, Mariano, Raúl, Víctor Hugo, Brenda, Cristian C., Abigail, Jorge Jesús, Maribel, Laura, Iván, Esther, Miguel Ángel, Mario.

Agradezco también a la M. en C. Beatriz Rodarte Murguía por su enseñanza, motivación, apoyo y consejos, muchas gracias Bety.

A Jesús por soportar tantos ratos de presión y enojos, por apoyarme en todo y sobre todo por su cariño, amor y paciencia.

A Bárbara Byer por su gran ayuda en los idiomas.

A todos los compañeros del Laboratorio de Ficológia Rocío, Mariana, Itzel, Jenny, Erica, Norma, Lupita, Miriam, Eberto, Rosy.

A aquellas personitas que han estado conmigo en los momentos que más lo necesito y que me han brindado su ayuda y apoyo.

## INDICE

	Página
RESUMEN	6
INTRODUCCION	7
1. Microbolitos	7
2. Oncolitos o nódulos calcáreos	9
3. Procesos relacionados con la formación de oncolitos	10
3.1 Precipitación de carbonato de calcio	10
3.2 Captura de partículas minerales	11
3.3 Cementación e incrustación de CaCO <sub>3</sub>	11
4. Organismos que participan en la formación de oncolitos	12
5. Laminación estacional de crecimiento y calcificación	13
OBJETIVOS	15
AREA DE ESTUDIO	16
ANTECEDENTES	21
METODOLOGÍA	22
RESULTADOS	23
6. Parámetros ambientales	23
7. Resultados florísticos	26
8. Especies algales asociadas a los oncolitos	28
DISCUSION	32
CONCLUSIONES	35
LITERATURA CITADA	36
ANEXO 1. Descripción de las Especies	39
Bacillariophyceae	39
Chlorophyceae	43
Cyanophyceae	44
Rhodophyceae	50
ANEXO 2 Gelatina Glicerizada	51
ANEXO 3. Limpieza de Diatomeas	52
LAMINAS	53

## RESUMEN

Los oncolitos son estructuras biosedimentarias mas o menos esféricas de 2- 5cm. de diámetro que se forman por el crecimiento e incrustación de tapetes de cianobacterias con carbonatos, se desarrollan en arroyos y manantiales con altas concentraciones de carbonato de calcio. La capacidad de las cianobacterias para incrustarse es específica y solo se ha reportado en especies de los géneros *Calothrix*, *Dichothrix*, *Homoeothrix*, *Phormidium*, *Rivularia* y *Schizothrix*. Durante estudios ficoflorísticos desarrollados en la región de la Huasteca, hemos encontrado que la formación de oncolitos es común en los ambientes lóticos, como arroyos, cascadas y manantiales. El área de estudio se encuentra ubicada en la porción Huasteca del estado de San Luis Potosí dentro de la cuenca del río Pánuco (21° 55.880' LN, 99°25.028' LW). En esta zona predominan las rocas calizas, por lo que hay altas concentraciones de CaCO<sub>3</sub> en el agua, con velocidad de corriente media e intensidades luminosas bajas. El desarrollo de oncolitos es menor en áreas con baja intensidad luminosa y baja velocidad de corriente, en donde no hay precipitación de carbonatos. Las comunidades algales asociadas con los oncolitos en el área de estudio, estuvieron dominadas por cianobacterias, rodofitas, clorofitas y diatomeas. Las cianobacterias más abundantes incluyeron a los géneros *Hyella*, *Leptolyngbya*, *Pleurocapsa* y *Chlorogloea*.

*Hildenbrandia angolensis* fue muy frecuente en zonas con velocidad de corriente e intensidad luminosa bajas, mientras que especies de diatomeas pertenecientes a los géneros *Nitzschia*, *Terpsinoë* y *Navicula* fueron menos frecuentes.

## INTRODUCCIÓN

### 1. Microbolito

El término Microbolito (Riding, 1991) se emplea para describir a las estructuras biosedimentarias relacionadas con comunidades microbianas bénticas. Se desarrollan en ambientes acuáticos con altas concentraciones de carbonato de calcio. Es un término muy amplio que incluye formas tanto laminadas como no laminadas. Estas estructuras se reconocen a partir del Paleozoico temprano. Riding (1991) clasifica a los microbolitos en 5 diferentes tipos (Fig. 1):

- Estromatolitos

Son depósitos microbianos laminares, bénticos, producidos por la construcción y captura de minerales, resultado de la actividad metabólica de microorganismos, principalmente de cianobacterias.

- Dendrolitos

Depósitos microbianos biomineralizados, no laminados. Se desarrollan en ambientes marinos. Probablemente son parte de la formación de los trombolitos.

- Trombolitos

Formaciones sedimentarias que tienen una estructura carbonatada espesa, de origen microbiano, más o menos compacto. Se presentan en ambientes marinos. Son columnares, no laminados.

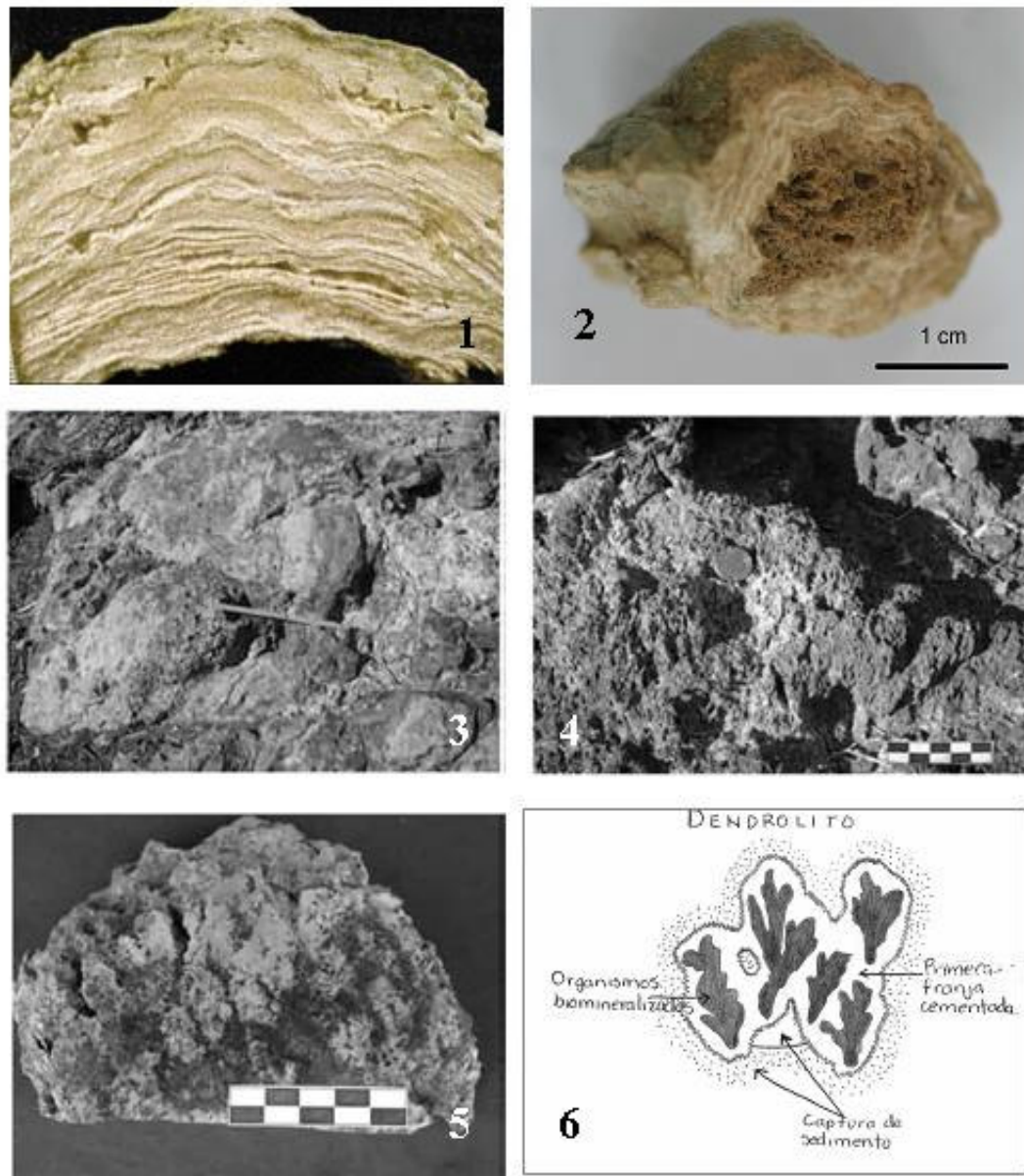
- Travertino

Depósito de capas de  $\text{CaCO}_3$ , producido por la precipitación, asociada con manantiales. La captura de carbonato tiende a ocurrir en el talo de las cianobacterias. La competencia entre la tasa de crecimiento algal y la captura de carbonatos resulta del desarrollo del sedimento poroso. Esta estructura es de ambiente dulceacuícola.

- Carbonatos Microbianos Crípticos

Son depósitos de roca carbonatada cuyo origen puede ser microbiano, pero que no es completamente seguro (como es el caso de las formaciones arrecifales).





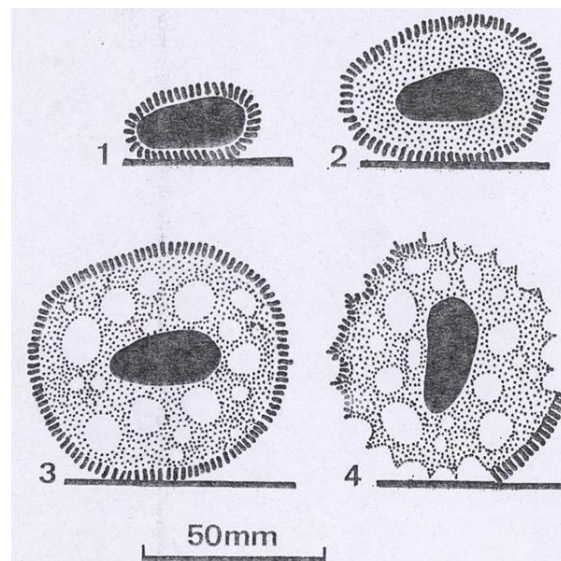
**Fig. 1:** Microbolitos: 1. Estromatolito de Bahamas (Reid, 2000) 2. Oncolito de la Huasteca Potosina (original) 3. Trombolito 4. Travertino y 5 y 6. Dendrolito de Baja California Sur (Miranda-Avilés, 2005).

## 2. Oncolitos o Nódulos Calcáreos

Los oncolitos son estructuras estromatolíticas, esféricas, laminadas, que se desarrollan en ambientes dulceacuícolas con altas concentraciones de carbonatos (Golubić 1973). Se forman por la actividad de comunidades de cianobacterias que colonizan guijarros y conchas. Estas comunidades calcifican una corteza creciendo concéntricamente a partir de un núcleo. Estas estructuras son más o menos esféricas de 2 a 5 cm de diámetro, lo que se debe al crecimiento e incrustación de las colonias de cianobacterias con carbonatos, formando laminaciones (Golubić 1973). La textura de la superficie de los oncolitos es áspera, dura, rugosa y con una alta porosidad. Los oncolitos se desarrollan en arroyos y manantiales calcáreos. La capacidad de las cianobacterias para incrustarse es específica y solo se ha reportado que la realizan especies de los géneros *Calothrix*, *Dichothrix*, *Homoeothrix*, *Phormidium*, *Rivularia*, *Schizothrix*, *Lyngbya*, *Pleurocapsa*, y *Hyella* y especies de clorofitas de los géneros *Eucladium*, *Gongrosira* (Golubic 1973 y Root 1991).

Los oncolitos llegan a ser estacionarios cuando su tamaño y peso excluye su movimiento por corrientes. El crecimiento de la comunidad algal y de la corteza es entonces inhibida en la base del nódulo por la deficiencia de luz.

La superficie de los oncolitos esta periódicamente rota o desgastada y los poros expuestos son colonizados subsecuentemente por cianobacterias (Fig. 2).



**Fig. 2.** Etapas del desarrollo del oncolito (1) colonización inicial de un guijarro por algas (2) formación de la corteza calcárea (3) incrustación de cristales (4) recolonización de la superficie por algas (Golubić, 1973).

### 3. Procesos relacionados con la formación de oncolitos

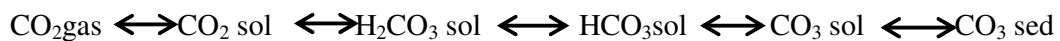
La comprensión de los mecanismos que se llevan a cabo en la formación de estromatolitos recientes es muy importante para la interpretación de los estromatolitos fósiles. Actualmente se considera que los estromatolitos fósiles fueron resultado de actividad biológica y no solo de procesos abióticos.

En la formación de los oncolitos se pueden reconocer tres procesos básicos:

- Precipitación de carbonato de calcio
- Captura de partículas
- Incrustación y cementación (mineralización)

#### 3.1 Precipitación de carbonato de calcio

La precipitación de carbonatos en medio natural es un proceso el cual esta estrechamente relacionado con el sistema buffer de carbonatos en el agua. La siguiente reacción muestra la dinámica iónica en la cual hay un estado de equilibrio dinámico: (Buch 1960, citado por Golubić 1973):



CO <sub>2</sub> gas: bioxido de carbono gaseoso	CO <sub>2</sub> sol: bioxido de carbono en solución
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> sol: ácido carbonico solución	HCO <sub>3</sub> sol: dióxido de carbono en solución
CO <sub>3</sub> sol: carbonatos en solución	CO <sub>3</sub> sed: carbonatos en sedimento

El factor crítico que determina la precipitación de carbonatos en el agua es el balance entre el CO<sub>2</sub> y el O<sub>2</sub> disuelto. Entre mayor concentración de CO<sub>2</sub> disuelto en el agua se presente, mayor será la capacidad de disolución de carbonatos (pues se incrementará la concentración de H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Por el contrario, si se incrementa la concentración de oxígeno, provocara la salida de CO<sub>2</sub>, reduciendo la capacidad de disolución de carbonatos y provocando su precipitación.

Los factores que pueden alterar el balance O<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> pueden ser abióticos o bióticos. Entre los abióticos mas importantes en corrientes naturales está la oxigenación provocada por la presencia de rápidos o caídas de agua. La actividad biológica también

puede alterar el balance  $O_2$ - $CO_2$ , ya que durante la fotosíntesis y la respiración oxidativa también se puede alterar el balance de  $O_2$  /  $CO_2$  disuelto. La fotosíntesis incrementa localmente la concentración de  $O_2$ , provocando precipitación, mientras que la respiración, al producir  $CO_2$  incrementa localmente la capacidad de disolución.

### 3.2 Captura de partículas minerales

La captura de minerales es el proceso mediante el cual las partículas sedimentarias se adhieren a una superficie, ya sea adherida mecánicamente o adheridas a la vaina de las algas y otros microorganismos microbianos. Esta adhesión se relaciona con la producción de mucílago que realizan algunos microorganismos como las cianobacterias. Las colonias o filamentos de estos microorganismos forman superficies blandas, en las cuales, las partículas minerales quedan atrapadas en el mucílago, formando así la superficie de la estructura sedimentaria. Esta captura de sedimentos se le conoce como cristalización. El tamaño de las partículas capturadas depende principalmente de la abundancia de estas partículas, la fuerza de las corrientes, la superficie mucilaginosa y el relieve sobre la superficie.

Esta relación entre el tamaño de partículas y el potencial de captura de la comunidad, permiten la unión y la formación de los oncolitos. Si las partículas fueran grandes, el depósito sería relativamente rápido, aunque los organismos pequeños tuvieran un crecimiento lento, la supervivencia de la comunidad estaría amenazada.

Las cianobacterias, clorofilas y hongos pueden incrustar sus filamentos e hifas con  $CaCO_3$ . La incrustación consiste de calcita, cuyos cristales crecen junto con la vaina.

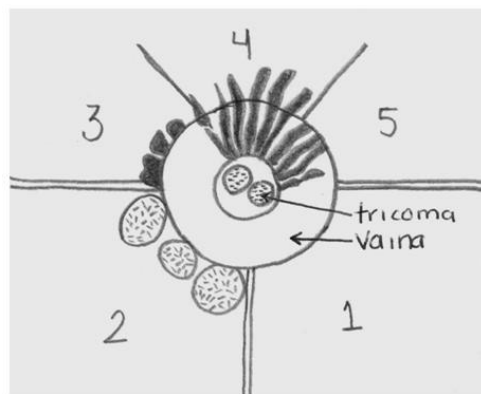
### 3.3 Cementación e incrustación de $CaCO_3$

El  $CaCO_3$  precipitado puede cristalizarse directamente y formar un sedimento en el ambiente inmediato, o bien, puede ser transportado. Grandes cantidades son capturadas y cementadas en el talo de las algas. Pentecost y Riding (1986) definieron la calcificación en cianobacterias como “la nucleación de carbonato de calcio en o dentro de la vaina mucilaginosa”. El  $CaCO_3$  encontrado en el talo de las cianobacterias no necesariamente es exclusivo de su precipitación biogénica.

La incrustación de cristales en cada organismo varía con respecto a cada especie ya que depende de las propiedades biológicas específicas de cada organismo. La incrustación de calcita se lleva a cabo en el exterior de la vaina en un patrón más o menos orientado. Sin embargo, los procesos fisiológicos que llevan a la precipitación de calcita no son conocidos a detalle.

La envoltura celular es muy importante para la calcificación, ya que sirve como un espacio limitante para la difusión, por lo que el alto grado de saturación ayuda en la construcción del sedimento (Riding y Awramik 2000), lo que facilita la compactación de los cristales. Las especies que calcifican secretan material de la vaina cuando crecen en condiciones naturales.

El sedimento que se forma, funciona previniendo o protegiendo a los sedimentos de la erosión. En la figura 3 se observa como se lleva a cabo las incrustaciones de los cristales en la vaina de las cianobacterias.



**Fig. 3:** Filamento de cianobacteria en sección transversal: (1) filamento: tricoma y vaina (2) aglutinamiento de los granos de sedimento. (3) La calcificación puede ser por incrustación externa (4) o por impregnación interna de la vaina (5) o por la combinación de ambos (Riding, 1991).

#### 4. Organismos que participan en la formación de oncolitos

De acuerdo con Rott, (1991) la cobertura algal de los oncolitos en el río Alz (Bavaria) incluye varios grupos taxonómicos como las cyanophyceae, rhodophyceae, chlorophyceae y bacillaryophyceae. Las especies de cyanophyceae y chlorophyceae más frecuentes son que el menciona son mostrados en la Fig. 4.

---

Cyanophyceae  
*Aphanothece saxicola* NÄGELI  
*Calothrix gypsophila* THURET  
*Chamaesiphon polymorphus* GEITLER  
*Homoeothrix crustacea* WORONICHIN  
*Homoeothrix juliana* (BORNET et FLAHAULT) KIRCHN.  
*Homoeothrix varians* GEITLER  
*Microcystis anodontae* (HANSGIRG) ELENKIN  
*Phormidium autumnale* (AGARDH) GOMONT  
*Pleurocapsa minor* (HANSGIRG) GEITLER  
*Schizothrix calcicola* (AGARDH) GOMONT  
*Schizothrix fasciculata* (NÄGELI) GOMONT

Chlorophyceae  
*Cladophora glomerata* (L.) KÜTZ. var. *glomerata* HOEK  
*Gongrosira incrustans* (REINSCH) SCHMIDLE  
*Ulothrix zonata* (WEBB. et MOHR) KÜTZING

---

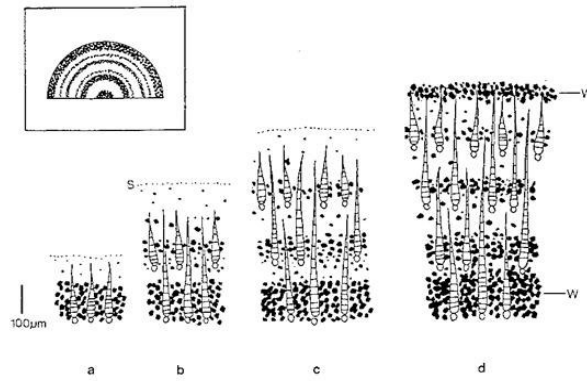
**Fig. 4.** Algas dominante en oncolitos del río Alz (Rott, 1991)

Los depósitos calcáreos, como los oncolitos, contienen abundancia de carbonato incrustado en los filamentos de las cianobacterias (Golubić 1973). Golubić y Campbell (1981) describieron la calcificación de *Rivularia* de un sitio marino y observaron que la calcificación en las cianobacterias es extracelular, lo cual asocia la calcificación con las macromoléculas orgánicas de la envoltura celular (Pentecost y Riding 1986; Riding 1991).

##### 5. Laminación estacional de crecimiento y calcificación

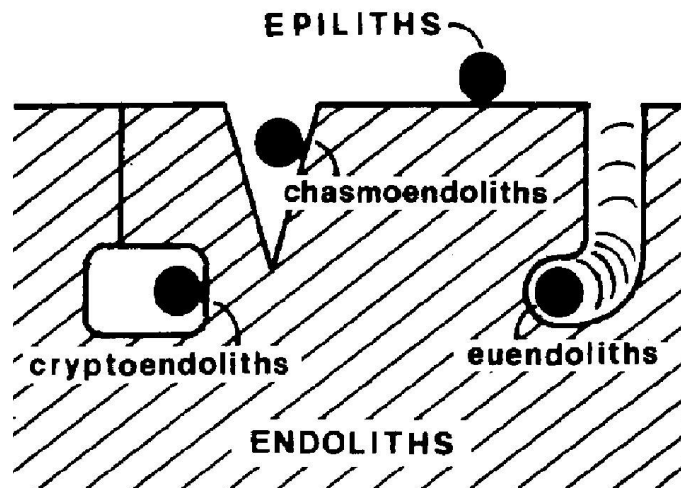
Especies de cianobacterias, como *Rivularia haematites* estudiada en Inglaterra, muestran una marcada estacionalidad en crecimiento y depositación de carbonatos (Pentecost, 1991; Pentecost & Whitton 2000).

Durante el invierno, el crecimiento de *Rivularia haematites* es menor que en primavera. En las colonias hemisféricas se forma un precipitado de calcita y la cristalización se lleva en el interior de la colonia. En la primavera, el crecimiento es más rápido y llega a un máximo a mediados del verano, cuando los tricomas sobrecrecen la capa de invierno. Inicialmente presentan una reducida calcificación pero a medida que el crecimiento continua, aparecen capas calcificadas estrechas, a las que denominan capas de verano (Fig. 5).



**Fig. 5.** Diagrama del crecimiento progresivo y calcificación en colonias de *Rivularia*. **a)** Primavera, **b)** a principios del verano, **c)** a mediados del verano **d)** invierno (Riding 1991)

Las comunidades algales que se desarrollan en los oncolitos pueden ser epilíticas, epifíticas, metafíticas o endolíticas. Las especies epilíticas son aquellas que viven sobre la superficie de las rocas, las especies epifíticas son las que viven sobre otras algas o plantas y las metafíticas son las que viven entremezcladas entre otras algas, pero no están adheridas. Las especies endolíticas (Fig. 6) son aquellas que viven dentro de las rocas y han sido divididas en euendolíticas, caesmolíticas y criptoendolíticas. Las especies euendolíticas son aquellas que disuelven y perforan activamente el sustrato carbonatado. Las especies caesmolíticas son organismos que colonizan las fisuras existentes en las rocas, pero no perforan al sustrato, y las especies criptoendolíticas crecen dentro de los poros de la roca (Golubić, Friedmann y Schneider, 1981).



**Fig. 6.** Esquema de los tipos de organismos endolíticos (Tomado de Golubic, Friedmann y Schneider, 1981).

## OBJETIVOS

### General:

Identificar las especies relacionadas con la formación de los oncolitos en la localidad de estudio y establecer los factores ambientales que afectan su formación.

### Particular:

- Determinar la riqueza de especies algales asociadas con la formación de los oncolitos.
- Explicar cuales especies participan en los procesos de construcción de los oncolitos.
- Estudiar los factores ambientales que influyen en la formación de oncolitos y establecer el papel de las diferentes especies de algas en la dinámica del oncolito.



## AREA DE ESTUDIO

La región de la Huasteca esta localizada en la parte NE de México, en el estado de San Luis Potosí (Fig. 7), la cual ha sido delimitada por Puig (1976), desde el punto de vista florístico, entre los 20° y los 24° N. Rzedowski (en Puig, 1976) menciona que la Huasteca es sin duda una de las regiones más interesantes de México ya que, en ella se establece el límite norte de la zona cálido húmeda del continente americano y el inicio de la región boreal, lo cual aunado a la variada topografía de la región, produce una amplia gama de condiciones climáticas, así como la existencia de una gran diversidad de especies tanto terrestres como acuáticas.

Fisiográficamente se encuentra ubicada en el límite de la provincia de la Llanura Costera del Golfo Norte y de la Sierra Madre Oriental (subprovincia del Carso-Huasteco).

Es una región cárstica donde la roca predominante es caliza, por lo que el agua contiene altas concentraciones de carbonato de calcio. El agua al disolver la roca calcárea, produce numerosas grutas y manantiales, ya que presenta una complicada red hidrográfica subterránea permanente, que produce un afloramiento de manantiales cársticos (como la localidad Puente de Dios) y nacimientos de arroyos de la región. Las corrientes atraviesan topografías muy variadas, provocando la formación de una gran variedad de ambientes como rápidos y cascadas.

Los climas predominantes en la zona de estudio son cálidos subhúmedos: AW (AW<sub>0</sub>, AW<sub>1</sub>, AW<sub>2</sub>), de acuerdo a la clasificación Köppen (modificado por Enriqueta García, 1988), con precipitaciones de hasta 1800 mm anuales, en las inmediaciones de la sierra. La predominancia de la roca caliza como substrato influye en la existencia de aguas alcalinas, en las cuales se precipitan con facilidad los carbonatos debido a la alta velocidad de las corrientes en las cercanías de rápidos y cascadas.

El manantial Puente de Dios se ubica cerca del poblado el Cafetal, en el municipio de Tamasopo: LN 21 55.880'', LW 99 25.028''.

En esta zona la montaña conforma un puente natural sobre el río Tamasopo. Este sufre un fuerte desnivel y vira su cause originándose una gran cascada que cae en una poza y después choca con la montaña, a la cual le ha formado una caverna por erosión, cuya entrada en época de lluvia queda bajo el agua.

Después de esta gruta el río corre nuevamente en un plano más horizontal pero todavía con corriente alta. Sobre el puente nace un manantial que desciende hacia el río Tamasopo a través de un arroyo pequeño y somero (5 – 6 cm. de profundidad) sumamente soleado. En la parte final, se forman una serie de pequeñas pozas en repisas, comunicadas entre si. En este punto el agua cae sobre una poza, formando una cascada de cerca de 25 m de altura (Fig. 9). En la parte alta, el río Tamasopo tiene un cause de aproximadamente 4 m y una profundidad de 1 m. La intensidad luminosa es alta debido a que el cañón, por el que corre el río es mucho mas ancho que el cause del mismo. En esta localidad, el río Tamasopo es turbulento y los ambientes subaéreos son importantes, debido a la ocurrencia de grandes conglomerados de roca madre en medio del cause y en las orillas, donde el agua se estrella produciendo una importante salpicadura.

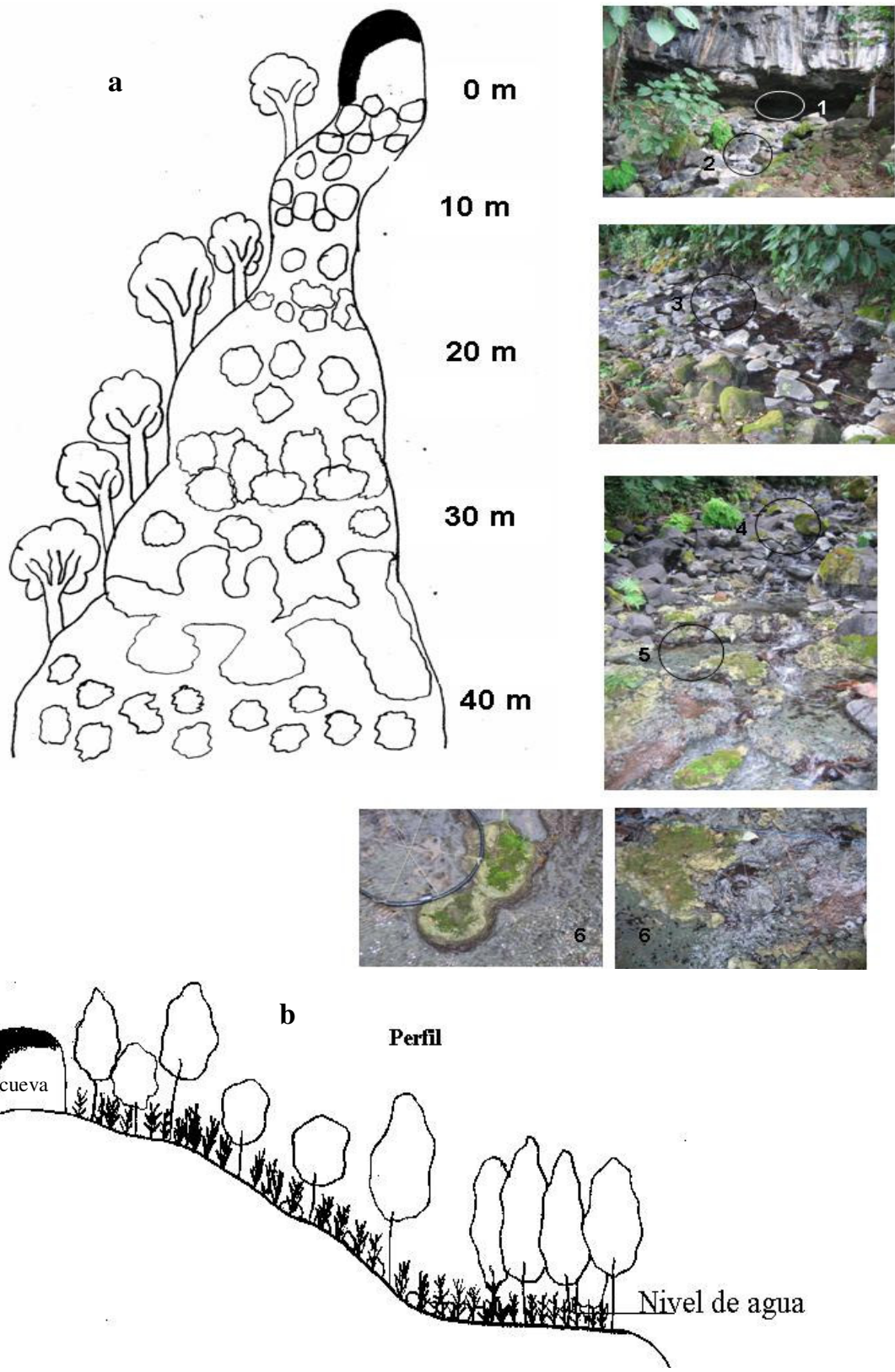
El agua de Puente de Dios presenta un pH neutro a ligeramente alcalino (7 -7.8), una temperatura media constante (22.6-23.5 ° C), oxígeno disuelto alto (8.2-8.8 mg<sup>l</sup><sup>-1</sup>), alcalinidad total (Talk, 3.6-4.1 meq l<sup>-1</sup>) y una dominancia de calcio y sulfato.

Tabla 1. Composición química del agua en Puente de Dios (Beltrán-Magos, 2005).

	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg l <sup>-1</sup> ]	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> [mg l <sup>-1</sup> ]	Cl <sup>-</sup> [mg l <sup>-1</sup> ]	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> [mg l <sup>-1</sup> ]	Ca <sup>++</sup> [mg l <sup>-1</sup> ]	Mg <sup>++</sup> [mg l <sup>-1</sup> ]	Na <sup>+</sup> [mg l <sup>-1</sup> ]	K <sup>+</sup> [mg l <sup>-1</sup> ]
Rango	183-248	11-203	17-46	327-828	385-780	28-85	21-53	2-5
Promedio ± des. Est.	209±34	78±108	32±20	654±283	625±211	61±29	37±22	4±1



**Fig. 7:** Ubicación geográfica de Puente de Dios, en el estado de San Luis Potosí.



**Fig. 8. a:** Esquema detallado de los puntos de colecta a lo largo del transecto en la localidad Puente de Dios. **b:** Perfil del transecto.



**Fig. 9:** Lugar donde desemboca el arroyo Puente de Dios.

## **ANTECEDENTES**

Desde 1933 se tienen registros (Golubic 1973) sobre trabajos en los cuales se describen a los oncolitos, sin embargo, a partir de este descubrimiento se han realizado numerosos trabajos en los cuales incluyen a los oncolitos como estructuras biosedimentarias y a las cianobacterias como grupo principal de su formación.

En México durante los últimos años, los estudios de la región central de México, en específico en la Huasteca Potosina (cuenca baja del río Pánuco) se han incrementado. Se han hecho varios trabajos con un enfoque florístico y tesis de licenciatura. Sin embargo, en general no se ha realizado ningún trabajo en el cual se trabaje en específico con la formación de oncolitos en Puente de Dios.

Los trabajos realizados en la Huasteca Potosina se han llevado a cabo por: Cantoral-Uriza (1990, 1993, 1997), Carmona (1990), Cartagena (2004), entre otros.

A nivel mundial podemos hacer referencia a trabajos realizados en Río Alz (Bavaria) por Rott en 1991, en arroyos Británicos por Fritsch en 1950, en USA por Roddy en 1915 (Golubić en 1973).

## METODOLOGÍA

Se realizó una colecta durante los meses de noviembre 2004 y enero 2006 en la zona de Puente de Dios, de las cuales la primera colecta fue realizada para hacer una revisión general y toma de datos para el anteproyecto de este trabajo.

Se hizo un transecto a lo largo del cauce del arroyo el cual midió aproximadamente 40 metros, se marco el transecto cada 5 metros y se tomaron muestras en los puntos donde era más evidente los cambios ambientales. Se colectó un total de 6 puntos (Fig. 8).

Se tomaron los parámetros ambientales mas comunes, incluyendo temperatura, conductividad y pH, los cuales se midieron con un medidor de conductividad marca Conductronic PC-18 ( $\pm 1\%$ ); la velocidad de corriente y PAR (Radiación fotosintéticamente activa).

Se colectaron muestras con martillo y cincel con los cuales se trato de cortar al oncolito completo. Posteriormente se guardaron por separado y se fijaron en formol al 4% y se incorporaron a la colección del río Pánuco con la clave PA y con la numeración correspondiente de las colectas realizadas con anterioridad en el Laboratorio de Ficología de la Facultad de Ciencias, UNAM

Se utilizo solución descalcificadora (ácido acético 6%) para disolver el sedimento del oncolito y que las algas quedaran lo mas limpias posibles. Se hicieron preparaciones semipermanentes, montadas en gelatina glicerizada. Las observaciones se llevaron a cabo en un microscopio óptico Olympus BX 51, y una cámara digital Olympus DP 12. Para el análisis de las fotografías digitales se empleo el software de análisis de imagen Sigma Scan Pro v5.

Con la colaboración del Taller de Ciencias de la Tierra se realizaron láminas delgadas, las cuales se observaron al microscopio estereoscópico Olympus SZX7 y se tomaron fotografías de las laminaciones.

Para la limpieza de diatomeas, se empleo la técnica de oxidación ácida. Las muestras se montaron en resina Sigma (St. Clair & Rushforth, 1976).

La identificación de las especies se realizó siguiendo los siguientes esquemas taxonómicos, para Bacillariophyceae: Kramer & Lange-Bertalot, (1986, 1988, 1991b) y Germain, (1981); Cyanophyceae: Komárek & Anagnostidis (1998, 2005); Chlorophyceae: Mrozinska, (1985).

## RESULTADOS

### 7.1 Parámetros ambientales

A lo largo del transecto, realizado durante el mes de Enero, encontramos diferencias importantes, tanto en los crecimientos algales visibles, como en la intensidad luminosa, la velocidad de corriente y el sustrato (Tabla 2). La temperatura, la conductividad y el pH se midieron en los puntos inicial y terminal ya que no presentaron cambios significativos. En los crecimientos algales encontramos diferentes formas de crecimiento las cuales incluyeron formas costrosas (rojizas y azul verdosas), formas filamentosas, colonias mucilaginosas y formas incrustantes. Sólo se observaron oncolitos en la parte final del transecto.

Tabla 2. Descripción del tipo de sustrato, comunidades predominantes y parámetros ambientales del transecto.

Transecto	T ° C	Conductividad $\mu\text{S cm}^{-1}$	pH	PAR <sup>1</sup> $\mu\text{mol fotones m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Velocidad de corriente <sup>2</sup> $\text{cm s}^{-1}$	Sustrato	Comunidad algal predominante
Punto 1 (0 m)	23.5	1730	7	1.4	0.32	Roca calcárea	Costras epilíticas; endolíticas.
Punto 2 (5 m)	–	–	–	9.0	0.39	Roca calcárea	Endolíticas
Punto 3 (10 m)	–	–	–	13.4	0.50	Roca calcárea	Endolíticas
Punto 4 (20 m)	–	–	–	38.7	0.61	Concreciones de $\text{CaCO}_3$	Incrustantes, epilíticas, epifíticas
Punto 5 (30 m)	–	–	–	36.7	0.37	Travertino	Incrustantes, epilíticas
Punto 6 (40 m)	22.6	1697	7.8	24.9	0.11	Travertino, Oncolitos	Incrustantes Epilíticas, epifíticas.

<sup>1</sup>PAR: alta 38.7-36.7; media 24.9, 13.4, 9.0; baja 1.4 en el transecto

<sup>2</sup>Velocidad de corriente: alta 0.61-0.50; media 0.39, 0.37, 0.32, baja 0.11 en el transecto

En el interior de la cueva, donde surge el manantial (punto 1) los crecimientos algales más visibles, fueron de tipo costroso, de coloración rojiza y azul verdosa, siendo más abundantes la coloración rojiza. Sólo se encontraron algunos talos filamentosos. La intensidad luminosa en esta zona fue baja, lo que se refleja bajo el registro del PAR (radiación fotosintéticamente activa) el sustrato dominante fueron rocas grandes calcáreas, con bordes muy afilados. La velocidad de corriente fue baja. Fig. 10.



En los puntos 2 y 3 (Fig. 10) justo afuera de la cueva, la intensidad luminosa fue mayor (9.0 y 13.4  $\mu\text{mol fotones m}^{-2}\text{s}^{-1}$  respectivamente) que en el interior de la cueva (1.4  $\mu\text{mol fotones m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) a pesar de presentar una alta cobertura por la vegetación. La velocidad de corriente fue más alta que en el interior de la cueva debido a un incremento considerable en la pendiente del cauce. El sustrato fue similar al encontrado en el interior de la cueva, constituido por rocas grandes afiladas. La forma de crecimiento predominante fueron costrosas, con un incremento en la proporción de las costras azul-verdes con respecto a las rojizas.

Los puntos 4 y 5 (Fig. 10) fueron los de mayor intensidad luminosa (38.7, 36.7  $\mu\text{mol fotones m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), encontrándose la velocidad de corriente más alta en el punto 4, debido a la pendiente y a la presencia de un canal de corriente. En este punto se presentaron concreciones de  $\text{CaCO}_3$ , relacionada con especies incrustantes, epilíticas, filamentosas y colonias mucilaginosas. En el punto 5 se redujo la velocidad por una disminución en la pendiente. En esta zona se presentaron concreciones calcáreas más extensas y en las orillas se presenta travertino y solo se observan algunas partes con cantos rodados con formas costrosas.

El punto 6 (Fig. 10) se presentó completamente cubierto por oncolitos. En esta zona se reduce la pendiente y se presenta una zona de terrazas y la velocidad de corriente es muy baja. La forma de crecimiento predominante fue incrustante aunque también se encuentran formas filamentosas y colonias mucilaginosas. La velocidad de corriente fue baja.



**Fig. 10:** Puntos del transecto: punto 1 y 2 la intensidad luminosa y la velocidad de corriente fueron bajos, conforme el largo del transecto fue aumentando estos dos parámetros ambientales, en los puntos 4 y 5 la velocidad de corriente aumento con respecto a los demás puntos y en el punto la velocidad e intensidad fueron medias y en el punto 6 la velocidad de corriente y la intensidad luminosa fueron bajas.

## 7.2 Resultados Florísticos

Se identificaron un total de 29 especies a lo largo del transecto, 10 pertenecientes a la clase Bacillariophyceae, 15 correspondientes a la clase Cyanophyceae, 1 a la clase Chlorophyceae y 2 a la clase Rhodophyceae. La distribución y abundancia relativa de las especies se presenta en la Tabla 3.

Las especies mas importantes que formaron los crecimientos algales visibles incluyeron: *Hildenbrandia angolensis* (costra rojiza), *Hyella kalligrammos* (costra azul verde), *Blennothrix ganeshii* (filamentosa), *Chlorogloea lithogenes* (colonias mucilaginosas), *Audouinella* sp., *Phormidium incrustatum*, *Oedogonium* sp, *Leptolyngbya perforans*, *Pleurocapsa* cf. *minor* y *Romeria* sp., las cuales forman parte de la comunidad incrustante. También se encontraron formas epifitas como *Leibleinia epiphytica*, *Xenococcus* cf. *willei*, *Chamaecalix swirenkoi*. *Cocconeis placentula* y *Heteroleibleinia fontana* y metafíticas como *Terpsioë musica*, *Cocconeis placentula*, *Amphora pediculus*, *Cymbella gracilis*, *Nitzschia clausii*, *Nitzschia hantzschiana*, *Nitzschia intermedia*, *Nitzschia dissipata* y *Gyrosigma spencerii*, asociadas con esta comunidad. La lista de especies su distribución y abundancia relativa se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Distribución y abundancia relativa en el cuadrante de las especies encontradas a lo largo del transecto.

Abundancia:

	Muy abundante	Abundante	Común	Frecuente	Poco abundante	
	*****	****	***	**	*	
Especies	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
<b>Bacillaryophyceae</b>						
<i>Amphora pediculus</i>				**	**	*
<b>Metafítica</b>						
<i>Cocconeis placentula</i>				***	**	**
<b>Metafítica y epifita</b>						
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i>				***	**	**
<b>Metafítica y epifita</b>						
<i>Cymbella gracilis</i>				**	*	
<b>Metafítica</b>						
<i>Gyrosigma spencerii</i>				*	*	**
<b>Metafítica</b>						
<i>Nitzschia clausii</i>				***	*	**
<b>Metafítica</b>						
<i>Nitzschia dissipata</i>		**		**	*	*
<b>Metafítica</b>						

<i>Nitzschia hantzschiana</i>	**			***	*	
<b>Metafítica</b>						
<i>Nitzschia intermedia</i>				***	**	**
<b>Metafítica</b>						
<i>Terpsinoë musica</i>				*****		
<b>Metafítica</b>						
<b>Chlorophyceae</b>						
<i>Oedogonium</i> sp				****		****
<b>Epilítica</b>						
<b>Cyanophyceae</b>						
<i>Blennothrix ganeshii</i>				***	**	*****
<b>Epilítica, incrustante</b>						
<i>Chamaecalis</i> sp.				****		****
<b>Epifita</b>						
<i>Chlorogloea lithogenes</i>				****		**
<b>Epilítica e Incrustante</b>						
<i>Cyanodermatium</i> sp				**	***	**
<b>Epilítica</b>						
<i>Heteroleiblenia fontana</i>				**	***	**
<b>Epifita</b>						
<i>Homoeothrix juliana</i>					***	**
<b>Epilítica</b>						
<i>Hyella kalligrammos</i>	*****	*****	***	***	****	*****
<b>Endolítica</b>						
<i>Leibleinia epiphytica</i>			**	****		
<b>Epifita</b>						
<i>Leptolyngbya pseudavalderiana</i>			*	****	****	****
<b>Epilítica e incrustante</b>						
<i>Oscillatoria</i> sp				***	***	**
<b>Epilítica</b>						
<i>Phormidium</i> sp				****	***	****
<b>Epilítica e incrustante</b>						
<i>Pleurocapsa</i> cf. <i>minor</i>			*	***	**	**
<b>Incrustante</b>						
<i>Pseudanabaena</i> sp				****	***	**
<b>Epilítica</b>						
<i>Romeria</i> sp	***		**	***	***	**
<b>Incrustante</b>						
<i>Xenococcus</i> cf. <i>willei</i>				***	**	**
<b>Epifita</b>						
<b>Rhodophyceae</b>						
<i>Audouinella</i> sp.				****	****	****
<b>Epilítica</b>						
<i>Hildenbrandia angolensis</i>	*****	****	**	**		
<b>Epilítica</b>						

La distribución, riqueza y abundancia de las especies varió considerablemente a lo largo del transecto.

En los puntos 1 y 2 la abundancia de especies fue baja y las especies dominantes fueron *Hildenbrandia angolensis*, *Hyella kalligrammos* y *Romeria* sp. En estos puntos no se observaron concreciones de carbonato.

A partir del punto 3, se redujo considerablemente la presencia de *Hildenbrandia angolensis* mientras que *Hyella kalligrammos* y *Romeria* sp. permanecieron presentes. El número de especies presentes fue bajo.

En el punto 4 se incrementó considerablemente la riqueza de especies. Las especies dominantes en este punto incluyeron a *Phormidium* sp., *Leptolyngbya pseudovalderiana*, *Chlorogloea lithogenes*. Varias especies de diatomeas fueron abundantes, como *Terpsinoë musica*, *Cocconeis placentula*, *Amphora pediculus*, *Cymbella gracilis*, *Nitzschia clausii*, *Nitzschia hantzschiana*, *Nitzschia intermedia*, *Nitzschia dissipata* y *Gyrosigma spencerii*. Este incremento estuvo relacionado con un aumento en la intensidad luminosa y es el punto donde la velocidad de corriente fue más alta en todo el transecto. Las concreciones de CaCO<sub>3</sub> fueron mas abundantes ya que las especie predominantes fueron las incrustantes, epilíticas y epifíticas.

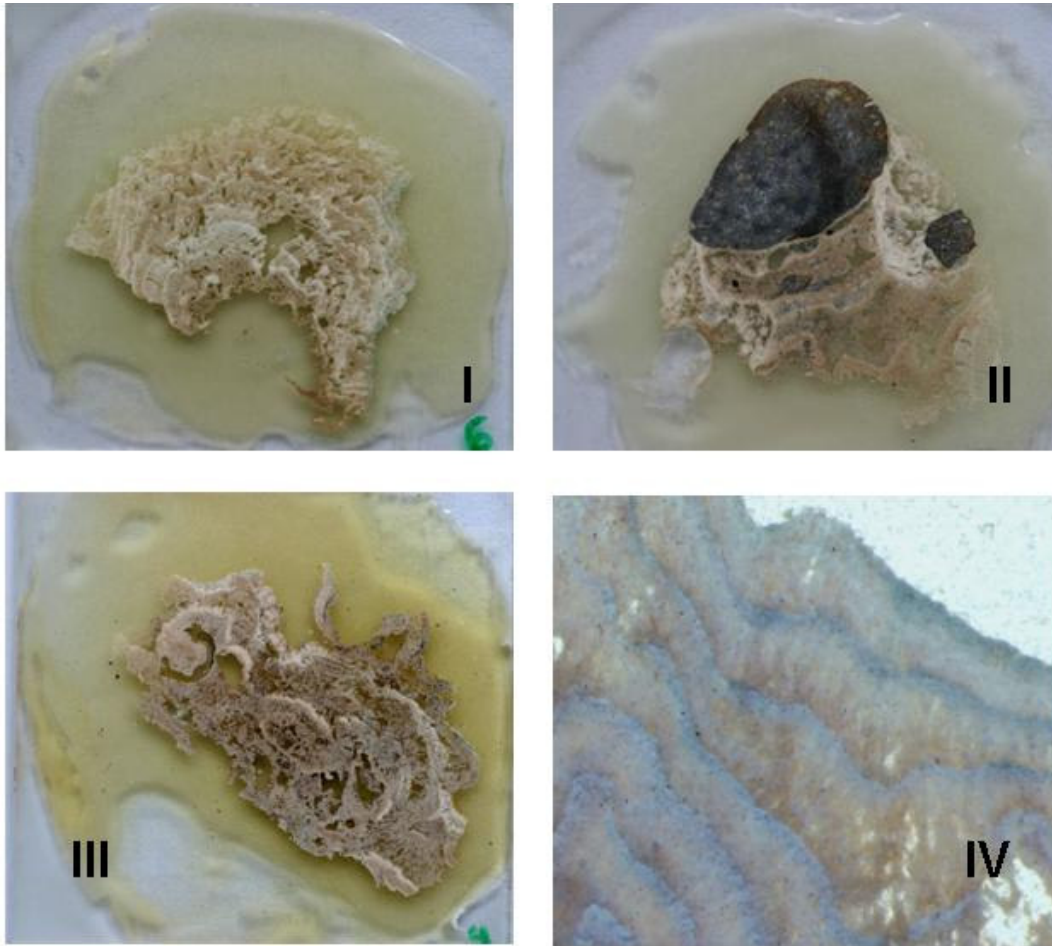
En el punto 5 se mantuvo constante la abundancia de especies, la intensidad luminosa y la velocidad de corriente disminuyeron poco y dominó travertino con especies incrustantes. Las especies dominantes fueron *Oedogonium* sp., *Audouinella* sp., *Hyella kalligrammos*, *Pseudanabaena* sp., *Phormidium* sp., *Heteroleiblenia fontana*, *Oscillatoria* sp., *Homoeothrix juliana* y *Romeria* sp.

En el punto 6 se ubicaron los oncolitos y la comunidad predominante fue incrustante y epilítica. En esta zona la intensidad luminosa disminuyó ya que la cobertura vegetal aumentó y la velocidad de corriente disminuyó considerablemente. La abundancia de esta comunidad fue compleja, conformada por varias especies que incluyeron a *Oedogonium* sp., *Audouinella* sp., *Phormidium* sp., *Hyella kalligrammos*, *Blennothrix ganeshii*, *Leptolyngbya pseudavalderiana* y *Romeria* sp.

### **7.3 Especies algales asociadas a los oncolitos**

Los oncolitos de Puente de Dios tuvieron una apariencia porosa, de color verde la cual fue debido a la incrustación y colonización de cianobacterias (Fig.12). Los oncolitos presentaron una laminación evidente a partir de un nodo. Las laminas presentaron un espesor de aproximadamente 0.46 – 1.53 mm de color café, en la parte superior de cada lamina se observó una coloración azul- verde, la cual estuvo asociada a la presencia de cianobacterias (Fig. 11).



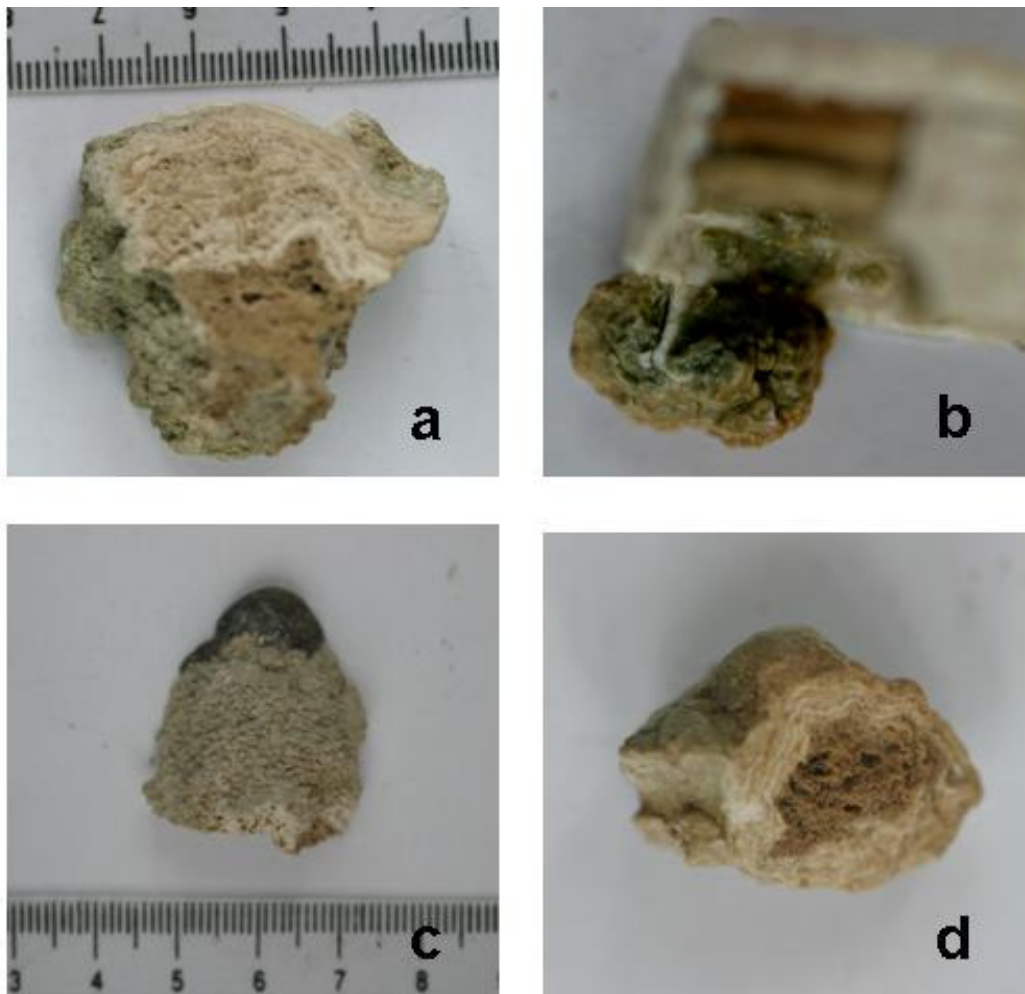


**Fig. 11.** Láminas delgadas de los oncolitos de Puente de Dios (**I, II, III, IV**): Observándose las laminaciones del oncolito, tanto las de carbonatos, como las láminas de las comunidades de algas.

Las especies de algas que crecen sobre el oncolito fueron muy diversas e incluyeron especies de rhodophyceae, cyanophyceae, chlorophyceae y bacillariophyceae, de las cuales las más abundantes fueron las especies de cianobacterias. Especies como *Hyella kalligrammos*, *Leptolyngbya perforans*, *Romeria* sp., *Blennothrix ganeshii*, *Pseudanabaena* sp., *Phormidium* sp., *Pleurocapsa minor*, *Chlorogloea lithogenes*, *Oscillatoria* sp., se encontraron en mayor abundancia y formaron al oncolito. Por el contrario, las bacillariophyceae, chlorophyceae y rhodophyceae se encontraron epifitas y metafíticas en el oncolito. En la tabla 4 se enlistan las especies que construyen y destruyen a los oncolitos de la localidad de estudio. De las especies estudiadas sólo se observó cristalización de carbonatos, en *Blennothrix ganeshii*, *Pseudoanabaena* sp., *Chlorogloea lithogenes*, *Phormidium* sp.,

por lo que consideramos que estas especies son las responsables de la cementación del oncolito.

En la parte interna del oncolito se pudo apreciar una estructura laminar estratificada con un nodo basal, generalmente un canto rodado, aunque también encontramos conchas. Las laminas que se forman sobre guijarros y conchas de color café, están formada por procesos orgánicos y las condiciones químicas del agua. En la superficie van creciendo especies epilíticas, epifíticas y endolíticas de las algas, de esta forma el oncolito va aumentando de tamaño atrapando carbonatos y quedando toda la comunidad enterrada formando láminas. El oncolito llega a medir de 2 a 5 cm. de espesor.



**Fig. 12.** Estructura interna de los oncolitos de Puente de Dios (a y d) estructura interna de un oncolito de Puente de Dios, (b) oncolito formándose sobre una ficha, (c) apariencia del oncolito.

Tabla 4. Formas de vida y especies que se encargan de la construcción y destrucción del oncolito, de los puntos 4 y 6, ya que estos dos puntos son los que presentan formación de oncolitos (\*, +, ‡: Construcción de oncolitos. ×, •: Destrucción de carbonatos).

Transecto	Forma de vida	Especies
Punto 4	• Especies incrustantes	<i>Blennothrix ganeshii</i> , <i>Chlorogloea lithogenes</i> , <i>Leptolyngbya pseudavalderiana</i> , <i>Phormidium</i> sp., <i>Pleurocapsa</i> cf. <i>minor</i> , <i>Romeria</i> sp.
	* Especies epilíticas	<i>Oedogonium</i> sp. <i>Blennothrix ganeshii</i> , <i>Chlorogloea lithogenes</i> , <i>Cyanodermatium</i> sp., <i>Homoeothrix juliana</i> , <i>Leptolyngbya pseudavalderiana</i> , <i>Oscillatoria</i> sp., <i>Phormidium</i> sp., <i>Pseudanabaena</i> sp., <i>Audouinella</i> sp., <i>Hildenbrandia angolensis</i> .
	‡ Especies epifitas	<i>Chamaecalis</i> sp., <i>Heteroleiblenia fontana</i> , <i>Leibleinia epiphytica</i> , <i>Xenococcus</i> cf. <i>willei</i>
	+Especies metafiticas	<i>Amphora pediculus</i> , <i>Cocconeis placentula</i> , <i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i> , <i>Cymbella gracilis</i> , <i>Gyrosigma spencerii</i> , <i>Nitzschia clausii</i> , <i>Nitzschia dissipata</i> , <i>Nitzschia hantzschiana</i> , <i>Nitzschia intermedia</i> , <i>Terpsinoë musica</i> .
	× Especies endolíticas	<i>Hyella kalliogrammos</i>
Punto 6	Especies incrustantes	<i>Leptolyngbya pseudavalderiana</i> , <i>Pleurocapsa</i> cf. <i>minor</i> , <i>Phormidium</i> sp., <i>Romeria</i> sp.
	Especies epilíticas	<i>Oedogonium</i> sp. <i>Blennothrix ganeshii</i> , <i>Chlorogloea lithogenes</i> , <i>Cyanodermatium</i> sp., <i>Homoeothrix juliana</i> , <i>Leptolyngbya pseudavalderiana</i> , <i>Oscillatoria</i> sp., <i>Phormidium</i> sp., <i>Pseudanabaena</i> sp., <i>Audouinella</i> sp.
	Especies epifitas	<i>Heteroleiblenia fontana</i> , <i>Xenococcus</i> cf. <i>willei</i> .
	Especies metafiticas	<i>Amphora pediculus</i> , <i>Cocconeis placentula</i> , <i>Gyrosigma spencerii</i> , <i>Nitzschia clausii</i> , <i>Nitzschia dissipata</i> , <i>Nitzschia intermedia</i> .
	Especies endolíticas	<i>Hyella kalliogrammos</i>



## DISCUSIÓN

La flora algal de la localidad de estudio presentó una marcada variación a lo largo del transecto, relacionada con cambios en la intensidad luminosa, la velocidad de corriente y el tipo de sustrato. La mayor riqueza de especies se presentó en zonas con intensidad luminosa alta y media. En el interior de la cueva, fueron dominantes *Hildenbrandia angolensis* y *Hyella kalliogrammos* y no se observaron concreciones de carbonato. Aunque *Hildenbrandia angolensis* se presentó afuera de la cueva, incluso en zonas con velocidad de corriente elevada, siempre la encontramos en zonas sombreadas por vegetación riparia. Nunca se presentó en zonas con intensidad luminosa elevada o sobre concreciones de carbonato. Por esta razón consideramos que la distribución de *Hildenbrandia angolensis* y *Hyella kalliogrammos* estuvo limitada por la intensidad luminosa y al parecer existe competencia entre ambas. Los oncolitos, las concreciones calcáreas y las comunidades algales asociadas se presentaron en intensidades luminosas media y alta en diferentes velocidades de corriente y en condiciones de precipitación de carbonato. Cuando la intensidad luminosa y la velocidad de corriente fueron altas, se presentaron concreciones de carbonato y la riqueza de especies aumentó. Por su porosidad, las concreciones y la superficie de los oncolitos son un buen sustrato para las algas.

Sólo algunas de las especies de cianobacterias mostraron procesos de cristalización en la superficie de la vaina, estas incluyeron a *Blennothrix ganeshii*, *Chlorogloea lithogenes*, *Leptolyngbya pseudovalderiana*, *Phormidium* sp., *Pleurocapsa* cf. *minor* y *Romeria* sp. Por esta razón consideramos que estas especies son las principales responsables en la construcción del oncolito. Si bien, la comunidad algal en su conjunto puede afectar la precipitación biótica de carbonatos, solo algunas de ellas tienen capacidad de capturarlos y cementarlos.

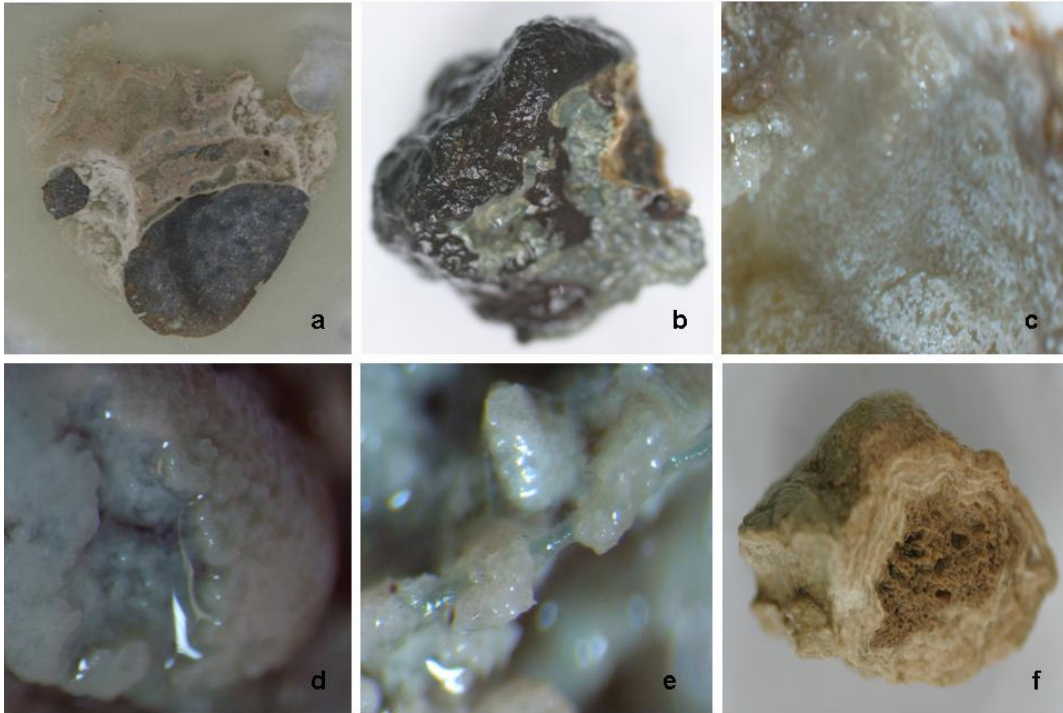
La presencia de oncolitos solamente en una parte del transecto, parece estar relacionado con varios factores como la intensidad luminosa y la velocidad de corriente, ya que las especies reconocidas por su capacidad de cristalización sólo se presentaron de manera conspicua en condiciones de iluminación media y alta. Por el contrario en el interior de la cueva las especies dominantes fueron *Hyella kalliogrammos* e *Hildenbrandia angolensis*, pero ninguna de las dos presentó cristalización de carbonatos.

Las concreciones de carbonato y los oncolitos se presentaron en condiciones de iluminación media y alta y en condiciones de alta precipitación como zonas de turbulencia. Por ello la coincidencia de altas tasas de precipitación y especies capaces de capturar y cementar el sedimento parecen explicar esta distribución. Esta interpretación es apoyada por la presencia de *Hildenbrandia angolensis* sobre el núcleo de un oncolito y por observaciones previas no publicadas. *H. angolensis* presenta un crecimiento abundante dentro de la cueva, donde la intensidad luminosa es baja. Cuando la cobertura por vegetación riparia es elevada (por ejemplo en época de lluvias) la distribución de *H. angolensis* se extiende varios metros afuera de la cueva y hasta cerca de la zona de las terrazas. Sin embargo cuando disminuye la cobertura por la vegetación riparia (por ejemplo por tala de la vegetación), se reduce su distribución a las zonas sombreadas. La presencia de *H. angolensis* en la zona de oncolitos puede ser explicada de esta manera. En condiciones de baja iluminación *H. angolensis* amplía su distribución, pero cuando queda expuesta a intensidades luminosas altas es cubierta por una cianobacteria (quizá *Pseudanabaena* sp.) que inicia el proceso de calcificación.

De acuerdo con esta idea podemos explicar el proceso de construcción del oncolito de la siguiente manera:

- Colonización de un canto rodado por cianobacterias epilíticas con capacidad de cementación (incrustantes), como *Leptolyngbya pseudovalderiana*, *Romeria* sp., *Pseudanabaena* sp., entre otras (Fig. 13a).
- Establecimiento de una comunidad diversa y compleja (especies Epilíticas epifíticas, metafíticas y Endolíticas) sobre las concreciones. Estas especies pueden incluir especies que cementan y especies que no cementan. Las especies metafíticas por lo general incluye a todas las diatomeas como *Terpsinoë musica*, *Cocconeis placentula* var. *euglypta*, *C. placentula*, *Amphora pediculus*, *Cymbella gracilis*, *Nitzschia clausii*, *N. hantzschiana*, *N. intermedia*, *N. dissipata*, *Gyrosigma spencerii*, y las especies epifíticas incluyen a *Chamaecalix* sp., *Heteroleibleinia fontana*, *Leibleinia epiphytica*, *Xenococcus* cf. *willei* (Fig. 13b).
- Incrustación de la comunidad con carbonato. La comunidad queda cubierta por la capturar los cristales de carbonato, quedando enterradas (cementadas) (Fig. 13c, d y e).

- Recolonización de la comunidad algal y cementación. La repetición de este proceso produce la laminación del oncolito (Fig. 13f).



**Fig. 13.** **a:** Colonización de un canto rodado. **b:** Especies epilíticas colonizando al canto rodado. **c:** Carbonato incrustado en el mucílago de *Chlorogloea lithogenes*. **d:** Incrustación de la comunidad con carbonato. **e:** *Blennothrix ganeshii* enterrada (cementada) en el carbonato. **f:** Recolonización de la comunidad algal y repetición de este proceso produciendo la laminación del oncolito.

## CONCLUSIONES

- ✚ Los oncolitos de puente de Dios presentaron características similares a los de otros estromatolitos reportados.
- ✚ La formación de oncolitos se debe a 2 factores determinantes: la precipitación de CO<sub>2</sub> y la presencia de especies capaces de cristalizar
- ✚ Las cyanophyceae son el grupo principal en los oncolitos ya que se incrustan, destruyen y construyen al oncolito. Sin embargo se presentan bacillariophyceae, chlorophyceae y rhodophyceae, pero estas especies solo se encuentran epifitas y Metafíticas en el oncolito, por lo que no participan en los procesos de formación del oncolito.
- ✚ Las especies de cyanophyceae que participan en la formación del oncolito pueden variar regionalmente, por lo que las especies de Puente de Dios difieren de las reportadas en la literatura. Solo son similares géneros como *Homoeothrix*, *Phormidium*, *Rivularia*, *Pleurocapsa*.
- ✚ Las especies endolíticas, como *Hyella*, no participan en la formación del oncolito, sino que pueden considerarse como “destructoras”, ya que perforan y penetras el oncolito

## LITERATURA CITADA

Cantoral U. E. 1990. Ficoflora de ambientes lénticos de la localidad El Salto, en la región de la huasteca potosina. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México. pp. 139.

Cantoral U. E. 1993. Ecología de comunidades algales del sistema hidrológico El Salto, en la huasteca potosina. Tesis de Maestría en Ciencias (Biología de sistemas y recursos acuáticos). Facultad de Ciencias, UNAM. México. pp. 97.

Cantoral U. E. 1997. Diatomeas (Bacillariophyceae) de ambientes lóxicos en la cuenca baja de la Huasteca Potosina. Tesis de Doctorado en Ciencias (Biología). Facultad de Ciencias, UNAM. México. pp. 201

Carmona, J. J. 1990. Ficoflora de Manantiales de la Huasteca Potosina. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México. pp. 105

Cartagena, A. M. 2004. Taxonomía y distribución de cianofitas filamentosas de la Huasteca, México. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México. Pp.211

Golubic S. 1973. The relationship between blue-green algae and carbonate deposit. In: Carr NG, Whitton BA (eds). The biology of blue-green algae. Blackwell. London, pp 434-472

Golubic, S. Friedmann I., and Schneider J. 1981. The lithobiontic Ecological niche, with special reference to microorganisms. Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 51, No. 2. p.p. 475-478.

Komárek, J. & K. Anagnostidis. 1998. 19/1. *Cyanoprokariota*. 1. Teil: *Chroococcales*. En: Ettl, H., G. Gärtner, H. Heynig & D. Mollenhauer (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fischer. Germany. 643 Figures. 548 pp.

Komárek, J. & K. Anagnostidis. 2005. 19/2. *Cyanoprokariota*. 2. Teil: *Oscillatoriales*. En: Bedel, B., G. Gärtner, L. Krienitz & M. Schagerl (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. ELSEVIER. Italy. 1010 Figures. 759 pp.

Krammer, K & H. Lange-Bertalot. 1986. 2/1 *Bacillariophyceae*. 1 Teil: *Naviculaceae*. En: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Germany. 206 Tafeln mit 2976 Figuren. 876 pp.

Krammer, K & H. Lange-Bertalot. 1988. 2/2 *Bacillariophyceae*. 2 Teil: *Bacillariaceae*, *Epithemiaceae*, *Surirellaceae*. En: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Germany. 184 Tafeln mit 1914 Figuren. 596 pp.

Krammer, K & H. Lange-Bertalot. 1991b. 2/4 *Bacillariophyceae*. 4 Teil: *Achnantheaceae*. Kritische Ergänzungen zu *Navicula* (Lineolatae) und *Gomphonema*. In: Ettl, H., G. Gärtner, J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. G. Fischer Verlag, Stuttgart, 88 Tafeln mit 2048 Figuren. 437 pp.

Magos-Beltrán Y., Carmona J., Vilaclara G. 2005. Microhabitat and morphological variation in fresh water *Blennothrix ganeshii* (Oscillatoriaceae, Cyanophyceae) populations in streams of central Mexico. *Algological Studies* 117. pp 133-146.

Maurin AF. 1987. microbial micrites. In: 4<sup>th</sup> Int Symp Fossil algae, Cardiff, Abstr, pp 24-25.

Miranda-Avilés Raúl, Beraldi-Campesi Hugo, Puy-Alquiza María Jesús y Carreño Ana Luisa. 2005. Estromatolitos, tufas y travertinos de la sección El Morro: Depósitos relacionados con la primera incursión marina en la Cuenca de Santa Rosalía, Baja California Sur. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. Vol. 22, núm. 2. p.p. 148-158

Pentecost Allan & Whitton Brian. 2000. *Limestones*. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. Pp. 257-279

Pentecost A, Riding R. 1986. Calcification in Cyanobacteria. In: Leadbeater BSC, Riding R (eds). Biomineralization of lower plants and animals. Clarendon, Oxford. pp 73-90

Reid R., Visscher P. and Decho, A. 2000. The role of microbes in accretion, lamination and early lithification of modern marine stromatolites. Nature, vol. 406. p.p. 989-992

Riding R. 1991. Calcareous algae and stromatolites. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Printed in Germany. Pp 571

Rott Eugen. 1991. Oncoids from the summer-warm River Alz (Bavaria)- morphology and dominant cyanophytes. Algological Studies 9: 450-481

## ANEXO 1 Descripción de las especies

### Bacillariophyceae

#### *Amphora pediculus* (Kützing) Grunow 1880. Fig. 14

Valvas con margen dorsal liso y arqueado, margen ventral ligeramente cóncavo, extremos redondeados; área axial estrecha, lineal, rafe filiforme; estrías punteadas, largo 13-16  $\mu\text{m}$ , ancho 7  $\mu\text{m}$ ; estrías 24-26/10  $\mu\text{m}$ . Estrías dorsales paralelas, delgadas y radiales.

**Datos Ecológicos:** Agua dulce, ubicada en corrientes rápidas e intensidad luminosa alta. Especie metafítica.

**Distribución:** Está reportada para zonas de USA, India, Holanda, África, México, posiblemente cosmopolita.

**Referencia de Herbario:** PA4299, PA4300, PA4301, PA4302, PA4303, PA4307, PA4308

#### *Cocconeis placentula* Ehrenberg 1838 var. *placentula*. Fig. 15

Valva elíptica, bandas intercalares con extensiones cortas dentro de la cavidad valvar, rafe filiforme, estrías curvadas radialmente finamente punteadas, las cuales se interrumpen cerca del margen por un área hialina, con una segunda área hialina a lo largo de la valva hacia el margen, aislando así un área submarginal estriada. Estrías punteadas de 5 – 7 poroides. Largo 18-18.8  $\mu\text{m}$ , ancho 10.5 - 11.2  $\mu\text{m}$ .

**Datos Ecológicos:** Agua dulce, ubicada en corrientes rápidas e intensidad luminosa alta. Especie metafítica.

**Distribución:** Está reportada para zonas de USA y México.

**Referencia de Herbario:** PA4299, PA4300, PA4301, PA4302, PA4303, PA4307, PA4308

#### *Cocconeis placentula* var. *euglypta* (Ehrenberg 1854) Grunow 1884. Fig. 16

Valva elíptica con bandas intercalares con extensiones cortas dentro de la cavidad valvar, área central pequeña, estrías finamente punteadas compuestas como máximo por 5 poroides elongados. Largo 12.5  $\mu\text{m}$ , ancho 7.3  $\mu\text{m}$ . estrías 22-25/10  $\mu\text{m}$ .

**Datos Ecológicos:** Agua dulce, ubicada en corrientes rápidas e intensidad luminosa alta. Especie metafítica.



**Distribución:** Especie metafítica y epifita en cianobacterias. Está reportada para Argentina, USA y México (Huatega Potosina: Cantoral 1993).

**Referencia de Herbario:** PA4299, PA4300, PA4301, PA4302, PA4303, PA4307, PA4308

*Cymbella gracilis* (Ehrenberg 1843) Kützing 1844. Fig. 17

Valva dorsal ligeramente arqueada y valva ventral recta con extremos redondeados, área axial estrecha, lineal con una ligera curvatura en los extremos; rafe lateral, cargado hacia la región dorsal, arqueado en los extremos hacia la región ventral; estrías lineales, ligeramente radiales a lo largo de la valva, excepto en los extremos, donde son ligeramente convergentes. Largo 18.9-23  $\mu\text{m}$ , ancho 4.3-5  $\mu\text{m}$ . Estrías 15-17/10  $\mu\text{m}$ .

**Datos Ecológicos:** Agua dulce, ubicada en corrientes rápidas e intensidad luminosa alta. Especie metafítica.

**Distribución:** Está reportada para México (Huatega Potosina: Cantoral 1993), Argentina, USA, India, Alemania, Holanda, Cosmopolita.

**Referencia de Herbario:** PA4299, PA4300, PA4301, PA4302, PA4303

*Gyrosigma spencerii* (Quekett) Griffith & Henfrey 1856. Fig. 18

Valvas lanceoladas con extremos redondeados, angostos; área axial y rafe ondulados; extremos proximales del rafe opuestos; área central elíptica. Largo 84-91.5  $\mu\text{m}$ , ancho 11.4 – 12  $\mu\text{m}$ ; estrías longitudinales 22-24/10  $\mu\text{m}$ , estrías transversales 20-22/10  $\mu\text{m}$ .

**Datos Ecológicos:** Agua dulce, ubicada en corrientes rápidas e intensidad luminosa alta. Especie metafítica.

**Distribución:** Está reportada para México (Huatega Potosina: Cantoral 1993), Argentina, USA, Cosmopolita.

**Referencia de Herbario:** PA4299, PA4300, PA4301, PA4302, PA4303, PA4307, PA4308

*Nitzschia clausii* Hantzsch 1860. Fig. 19

Valva lanceolada sigmoide, extremos ligeramente rostrado capitados; carina visible; estrías muy finas. Largo 20 – 30  $\mu\text{m}$ , ancho 3-5  $\mu\text{m}$ , fibulas 10-13/10  $\mu\text{m}$ .

**Datos Ecológicos:** Agua dulce, ubicada en corrientes rápidas e intensidad luminosa alta. Especie metafítica.

**Distribución:** reportada para México (Huatega Potosina: Cantoral 1993), India, África, Holanda, Cosmopolita.

**Referencia de Herbario:** PA4299, PA4300, PA4301, PA4302, PA4303, PA4307, PA4308

*Nitzschia dissipata* Grunow 1981. Fig. 20

Valva lanceolada, extremos agudos ligeramente rostrados; carina marginal visible; estrías muy finas. Largo 27-30  $\mu\text{m}$ , ancho 3-4  $\mu\text{m}$ ; costillas 10/10  $\mu\text{m}$ .

**Datos Ecológicos:** Agua dulce, ubicada en corrientes lentas y rápidas e intensidad luminosa alta. Especie metafítica.

**Distribución:** Está reportada para México (Huatega Potosina: Cantoral 1993), Holanda, África, Cosmopolita.

**Referencia de Herbario:** PA4296, PA4299, PA4300, PA4301, PA4302, PA4303, PA4307, PA4308

*Nitzschia hantzschiana* Rabenhorst 1860. Fig. 21

Valvas lanceoladas, con bordes paralelos; estrías punteadas, que forman líneas transversales que se bifurcan regularmente cerca del rafe. Largo 7.8-20m, ancho 6-6.6m, estrías 13-14/10m. Fibulas a veces bastante gruesas, las dos del centro están mas distanciadas.

**Datos Ecológicos:** Agua dulce, ubicada en corrientes lentas y rápidas e intensidad luminosa alta. Especie metafítica.

**Distribución:** Especie metafítica, reportada para México (Huatega Potosina: Cantoral 1993).

**Referencia de herbario:** PA4296, PA4299, PA4300, PA4301, PA4302, PA4303, PA4307, PA4308

*Nitzschia intermedia* Hantzsch ex Cleve & Grunow 1880. Fig. 22

Valva lineal lanceolada, con una ligera depresión en la región media; carina marginal; estrías finas paralelas. Largo 30-40  $\mu\text{m}$ , ancho 5 – 7  $\mu\text{m}$ , estrías 16/10m.

**Datos Ecológicos:** Agua dulce, ubicada en corrientes rápidas e intensidad luminosa alta. Especie metafítica.

**Distribución:** Reportada para México (Huatega Potosina: Cantoral 1993), India, Holanda, África, cosmopolita.

**Referencia de Herbario:** PA4299, PA4300, PA4301, PA4302, PA4303, PA4307, PA4308

*Terpsinoë musica* Ehrenberg 1841. Fig. 23

La vista valvar es alargada con márgenes ondulados. Vista cingular ancha, cuadrangular. Forma verdaderos tabiques que se curvan y engrosan con su borde. Las células forman cadenas de filamentos unidos por los vértices o solitarias. La vista conectiva es larga, cuadrangular y muestra dos costillas salientes internas de la valva, perpendiculares al plano valvar. La vista valvar esta ornamentada de poros. Largo 112.7 - 117.6  $\mu\text{m}$ , ancho 114.5 - 116.1  $\mu\text{m}$ .

**Datos Ecológicos:** Agua dulce, ubicada en corrientes rapidas e intensidad luminosa alta. Especie metafítica.

**Distribución:** Está reportada para Argentina, USA, Europa, México (Huatega Potosina: Cantoral 1993).

**Referencia de Herbario:** PA4299, PA4300, PA4301

## Chlorophyceae

### *Oedogonium* sp. Fig. 24

Talo filamentosos no ramificados, uniseriados, epifitos sobre el mismo

*Oedogonium* sp., con células siempre dispuestas en hileras, tienen forma globosa, más largas que anchas. La célula apical generalmente es redondeada, algunas veces termina en punta. Células vegetativas cilíndricas, generalmente hialinas. Célula basal redondeada, sin llegar a ser esférica. Presencia de oogonios casi esféricos con pared celular multilaminada. Las células basales miden de 10-14.5 μm de ancho y de 18.7-26.4 μm de largo; las células vegetativas de 7.5-22.5 μm de ancho y de 14-30.3 μm de largo y los oogonios de 18.7-28.4 μm de ancho y de 17-27 μm de largo.

**Datos Ecológicos:** Agua dulce, especie epilítica, ubicada en corrientes rápidas con intensidad luminosa alta.

**Distribución:** Cosmopolita

**Referencia de Herbario:** PA4299, PA4300, PA4307, PA4308

## Cyanophyceae

*Blennothrix ganeshii* M. Watanabe et Komárek 1989. Fig. 25

Talo fasciculado, hasta 6 cm de largo; filamentos de 32.6 – 67  $\mu\text{m}$  de ancho, fasciculado; vaina firme, mas o menos gruesa, menos coloreada, tricomas discoidales verde-azul brillante, 32 – 40  $\mu\text{m}$ ; células de 1.3 – 4 mm de largo, la célula apical aplanada, con caliptra. Presencia de necridios.

**Datos Ecológicos:** agua dulce, se ubica en corrientes rápidas, con intensidad luminosa alta, creciendo de forma Epilítica e incrustada en concreciones de carbonatos

**Distribución:** Esta especie es reportada para Nepal y parte central de México

**Referencia de herbario:** PA4299, PA4300, PA4301, PA4302, PA4303, PA4307, PA4308

*Chamaecalis swirenkoi* (Širšov) Komárek et Anagnostidis 1986. Fig. 26

Células heteropolares, ligeramente alargadas, epifitas en otras cianobacterias como *Blennothrix*. Siempre envuelta en una vaina. Las células miden de 7.6 – 12.4  $\mu\text{m}$  de diámetro, con terminaciones delgadas en la parte basal de la vaina.

**Datos ecológicos:** Agua dulce, epifitas en cianobacterias (*Blennothrix ganeshii*), se localiza en áreas calizas. Se localizan en corrientes rápidas con intensidad luminosa alta

**Distribución:** Reportada para Austria, Finlandia, Indonesia, Japón, Eslovaquia, Ucrania. Probablemente cosmopolita.

**Referencia de herbario:** PA4299, PA4300, PA4301, PA4307, PA4308

*Chlorogloea lithogenes* Komárek et Montejano 1994. Fig. 27

Colonias mucilaginosas, multicelulares, más o menos esféricas, atadas a un sustrato, formando una gelatina mucilaginosa, con crecimiento radial. Células irregulares de 2.16-5.7  $\mu\text{m}$  diámetro

**Datos Ecológicos:** Agua dulce, se encuentra Epilítica e incrustante en travertinos en arroyos, en corrientes rápidas y con intensidad luminosa alta.

**Distribución:** reportada para la región de San Luis Potosí, México.

**Referencia de Herbario:** PA4299, PA4307, PA4308

*Cyanodermatium gelatinosum* Gleitler 1933. Fig. 28

Colonias microscópicas, laminadas sobre un sustrato, compuesto de pseudofilamentos paralelamente ordenados en hileras de células, orientado generalmente perpendicular al sustrato. Gelatinoso, irregularmente hemisférico. Las células son de color azul-verde de 1.6-3.5  $\mu\text{m}$  de diámetro. El primer crecimiento es radial, pero visto desde arriba se observa pseudoparenquimatoso. Las células son irregularmente poligonales-redondeadas, envueltas por una vaina, la cual finalmente se fusiona.

**Datos Ecológicos:** Agua dulce, especie epilítica, ubicada en corrientes rápidas e intensidad luminosa alta

**Distribución:** Descrita para lagos de Indonesia, en regiones calcáreas en México.

**Referencia del Herbario:** PA4299, PA4300, PA4301, PA4302, PA4303, PA4307, 4308

*Heteroleibleinia fontana* (Hansgirg) Anagnostidis et Komárek 1988. Fig. 29

Filamentos individualmente atados por una terminación al sustrato, enmarañados de 1.1-2.5  $\mu\text{m}$  de ancho, color azul-verde oscuro, vainas delgadas, menos coloreadas. Células más o menos isodiamétricas o algo cortas. Célula apical redondeada.

**Datos Ecológicos:** Agua dulce, creciendo sobre rocas, en corrientes rápidas e intensidad luminosa alta.

**Distribución:** Descrita para República Checa (Bohemia), probablemente distribuida mundialmente.

**Referencia de herbario:** PA4299, PA4300, PA4301, PA4302, PA4303, PA4307, 4308

*Homoeothrix juliana* (Bornet et Flahault) Kirchner 1898. Fig. 30

Filamentos más o menos erectos o creciendo sobre el sustrato, algunas veces arreglados paralelamente, en pequeños grupos densos, de color azul-verde, ligeramente curvados, generalmente esta más ancho en la base de 5.5-20  $\mu\text{m}$  de ancho. Vainas delgadas, tricomas más pálidos de 5.4-12.5  $\mu\text{m}$  de ancho. Células discoidales, siempre más cortas que anchas, 1-6 (7)  $\mu\text{m}$  de largo.

**Datos Ecológicos:** Agua dulce, especie Epilítica creciendo sobre guijarros, sobre todo en sustratos calcáreos y conchas, creciendo donde se ubican las corrientes rápidas e intensidades luminosas altas.

**Distribución:** Probablemente cosmopolita.

**Referencia de herbario:** PA4302, PA4303, PA4307, PA4308

*Hyella kalligrammos* Anagnostidis et Pantazidou 1988. Fig. 31

Talo euendolítico, color verde, perforando sustratos carbonatados. Los pseudofilamentos penetran en línea recta o ligeramente curvados, crecen perpendicularmente en el sustrato, 1.53 – 5.29  $\mu\text{m}$  de diámetro. Vaina firme, menos coloreada. Forman células alargadas. Largo 2.14 – 11.58  $\mu\text{m}$ . Generalmente forman filamentos irregulares pareciéndose a tricomas, a veces formando estructuras filamentosas. Presentan baeocitos esféricos.

**Datos Ecológicos:** Agua dulce. Esta especie se encontró creciendo tanto en corrientes lentas e intensidad luminosa baja y corrientes rápidas e intensidad luminosa alta en este caso crece perpendicular al sustrato, ya que esta especie es poco tolerante a la luz.

**Distribución:** Agua dulce descrita para Grecia. Distribuida ampliamente en regiones calcáreas tropicales (México, San Luis Potosí).

**Referencia de Herbario:** PA4296, PA4297, PA4298, PA4299, PA4300, PA4301, PA4302, PA4303, PA4307, PA 4308.

*Leiblemia epiphytica* (Hieronymus) Compère 1985. Fig. 32

Filamento epifítico, atado a lo largo de todo el filamento de otras cyanophyceae. Presentan vaina firme, delgada, menos coloreada que el tricoma, tricomas azul-verde, Células isodiamétricas de 0.84 – 2.20  $\mu\text{m}$  de diámetro. Célula apical redondeada.

**Datos Ecológicos:** Agua dulce, especie epifítica encontrada en corrientes rápidas e intensidad luminosa media.

**Distribución:** Registrada para zonas tropicales, posiblemente cosmopolita.

**Referencia del Herbario:** PA4298, PA4299, PA4300, PA4301.

*Leptolyngbya pseudovalderiana* (Voronichin) Anagnostidis et Komárek 1988. Fig. 33

Filamentos delgados, agregados, atados al sustrato, participando en la formación de corteza. Presenta vaina firme, hialina y delgada. Tricomas de 1.42 – 2.07  $\mu\text{m}$  de

diámetro. Células cilíndricas, isodiamétricas, mas largas que anchas, 3.92 – 6.41  $\mu\text{m}$  de largo, con 1 – 2 gránulos en cada célula. Células apicales ligeramente redondeadas.

**Datos Ecológicos:** Agua dulce, especie epilítica e incrustante encontrada en corriente rápida e intensidad luminosa alta

**Distribución:** Descrita para Polonia.

**Referencia del Herbario:** PA4299, PA4300, PA4301, PA4302, PA4303, PA4307, PA4308.

*Oscillatoria* sp. Vaucher ex Gomont 1892. Fig. 34

Talo macroscópico, raramente en tricomas solitarios. Tricomas cilíndricos, de 5.1  $\mu\text{m}$  de diámetro. Células cortas, discoidales, más cortas que anchas, células con contenido homogéneo o algunas con largos gránulos prominentes. Las células con división transversal. Reproducción por desintegración. Presencia de caliptra,

**Datos Ecológicos:** agua dulce, Epilítica, en corrientes rápidas e intensidad luminosa alta.

**Referencia de herbario:** PA4299, PA4300, PA4301, PA4302, PA4303, PA4307, PA4308

*Phormidium* sp. Kützing ex Gomont 1892. Fig. 35

Talo generalmente expandido, atado al sustrato, filamentos enmarañados y curvados, firmes, generalmente menos coloreados. Tricomas cilíndricos. Células mas o menos isodiametricos mas cortos o largos que anchos, con aerotopos.

**Datos Ecológicos:** Agua dulce, especie epilítica e incrustante. En corrientes rápidas e intensidad luminosa alta.

**Distribución:**

**Referencia de herbario:** PA4299, PA4300, PA4301, PA4302, PA4303, PA4307, PA4308

*Pleurocapsa* cf. *minor* Hansgirg 1891. fig. 36

Colonias compuestas de células irregulares, formando pseudofilamentos cortos. Forma capas pseudoparenquimatosas; las colonias bien desarrolladas son cortas e irregulares, las cuales están unidas lateralmente por su vaina gelatinosa, algunas veces con terminaciones morfológicas diferentes. Las células varían de forma, son asimétricas



de 1.93-10.7  $\mu\text{m}$  de diámetro. La vaina es firme, por lo general gruesa. Las células se dividen en baecitos.

**Datos Ecológicos:** Agua dulce, esta especie se encontró en corrientes rápidas e intensidad luminosa alta. Especie incrustante.

**Distribución:** Áreas montañosas de Europa comúnmente sobre piedras calcáreas, rocas y sobre conchas en montañas, ríos, arroyos. En regiones calcáreas de México, San Luis Potosí.

**Referencia del Herbario:** PA4298, PA4299, PA4300, PA4301, PA4302, PA4303, PA4307 y PA4308.

*Pseudanabaena* sp. Lauterborn 1915. Fig. 37

Tricomas agregados, generalmente arqueados, con vaina a veces no visible al microscopio óptico, de color verde-azul brillante. Células constreñidas generalmente más largas que anchas, de 3.4-5.7  $\mu\text{m}$  de largo por 1.5-2.1  $\mu\text{m}$  de ancho, con contenido celular homogéneo. Presenta un granulo polar.

**Datos Ecológicos:** agua dulce, esta especie se encontró en corrientes rápidas e intensidad luminosa alta.

**Distribución:** Descrita para zonas tropicales.

**Referencia de Herbario:** PA4299, PA4300, PA4301, PA4302, PA4303, PA4307 y PA4308.

*Romeria* sp. Koczwara in Geitler 1932. Fig. 38

Tricomas cortos, curvados y a veces enrollados, con pocas células, vaina menos coloreada que los tricomas. Tricomas color verde azul, de forma cilíndrica, algunas veces ligeramente curvada, célula apical redondeada. 2.75- 7.99  $\mu\text{m}$  de largo y 0.79-1.61  $\mu\text{m}$  de diámetro. Células cilíndricas siempre más largas que anchas.

**Datos Ecológicos:** Agua dulce, reencuentra en lugares con alta y baja intensidad luminosa y velocidad de corriente, con una forma de crecimiento incrustante.

**Distribución:**

**Referencia de Herbario:** PA4296, PA4297, PA4298, PA4299, PA4300, PA4301, PA4302, PA4303, PA4307, PA 4308

*Xenococcus* cf. *willei* Gardner 1927. Fig. 39

Células esféricas, agregadas en colonias densas sobre un sustrato, generalmente se encuentra epifita en otras cyanophyceae, diámetro de aproximadamente 3-5µm. Células color azul-verde.

**Datos Ecológicos:** agua dulce, epifita en otras cianobacterias. En corrientes rápidas e intensidad luminosa alta.

**Distribución:** Se ha descrito para arroyos de la India, Japón, México y Puerto Rico.

**Referencia de herbario:** PA4299, PA4300, PA4301, PA4302, PA4303, PA4307 y PA4308.

## Rhodophyceae

*Audouinella* sp. (Kützing) Weber-Van Bosse, Siboga-Exped. Fig. 40

Talos en forma de pelos largos de color azul. Eje del filamento principal con ramas diferenciadas. Ramas de primer orden alternas. Célula apical redondeada. Células vegetativas en su parte media 3- 20.4  $\mu\text{m}$  de diámetro, 11.5-66.7  $\mu\text{m}$  de largo. Monosporas 6.6-30.7  $\mu\text{m}$  de diámetro. Propágulos 15.0-42.4  $\mu\text{m}$  de diámetro.

**Datos Ecológicos:** Agua dulce, crece en manantiales, ríos y cascadas calcáreas; en rápidos; especie Epilítica o epifita.

**Distribución:** regiones frías, templadas y tropicales de Europa y América.

**Referencia de Herbario:** PA4299, PA4300, PA4301, PA4302, PA4303, PA4307, PA 4308

*Hildenbrandia angolensis* Welwitsch ex West et West 1897. Fig. 41

Talo costroso, compuesto por una capa de células postradas y una organización filamentosa que forma un pseudoparénquima polistromático, presenta de 2 a 9 células por filamento y la altura del talo es de 19.8 – 92.2  $\mu\text{m}$ . En vista superior la forma de las células es rectangular y en vista transversal las células son cuadradas y poligonales. El color de las células es guinda, el promedio del diámetro celular es de 4.5  $\mu\text{m}$  y un promedio de largo celular de 5.6  $\mu\text{m}$ .

**Datos Ecológicos:** Agua dulce, especie Epilítica, localizada en zonas con baja intensidad luminosa y baja velocidad de corriente.

**Distribución:** África (West y West, 1897). Norteamérica (Sheath et al., 1993; Sherwoos y Sheath, 1999) y Sudamérica (Necchi, 1987; Necchi et al., 1999). México (Puente de Dios)

**Referencia de Herbario:** PA4296, PA4297, PA4298, PA4299, PA4300, PA4301, PA4302, PA4303, PA4307, PA 4308

## ANEXO 2

### Gelatina glicerizada

Preparación de la gelatina glicerizada:

1. Agregar 100 ml de agua en un recipiente, calentando a baño maría.
2. Pesar 15 gr. de gelatina y agregarlos al agua.
3. Agitar hasta que se disuelva la gelatina.
4. una vez disuelta la gelatina, agregar 34.5 ml de glicerina.
5. Por último agregar 1.5 gr. de fenol y mezclar perfectamente.
6. Una vez hecha la mezcla, filtrar y dejar enfriar.

Preparaciones semipermanentes

Para hacer las preparaciones, se pone una pequeña parte de la muestra en un portaobjetos, tratando de que no tenga mucha agua, sin dejar que se seque. Después, con la gelatina en estado líquido, sin que se sobrecaliente, se le agregan dos gotas a la muestra. A continuación se le pone el cubreobjetos y se deja enfriar y que solidifique la gelatina por 24 horas. Terminado este proceso, se sellan las preparaciones con barniz de uñas transparente para evitar que se reseque la gelatina y dar mayor vida, aplicándolo en el margen del cubreobjetos.

## ANEXO 3

### Limpieza de diatomeas

Técnica de limpieza utilizada para diatomeas (St. Clair & Rushforth, 1976).

1. Pesar y/o medir las muestras.
2. Colocar en matraces de 100 ml.
3. Añadir 20 ml de agua destilada.
4. Añadir 10 ml de ácido nítrico.
5. Calentar lentamente y hervir hasta que disminuya el líquido a 20 ml, pero evitar un calentamiento que salpique la muestra.
6. Añadir un poco de dicromato de potasio y hervir 5 minutos más.
7. Enfriar a temperatura ambiente.
8. Colocar las muestras en tubos de centrifuga hasta los 14 ml. Centrifugar cada vez por 10 minutos.
9. Resuspender la muestra hasta que se vea homogénea.
10. Centrifugar y decantar 6 veces y después de la última, llenar a 10 ml. En vez de 14 ml.
11. Hacer las preparaciones (poner las diatomeas en cubreobjetos y secar en parrilla)
12. Colocar Naphrax® en un portaobjetos (añadir un poco de tolueno como solvente a la resina).
13. Calentar hasta que el Naphrax® se licue por 3 segundos. Cuidar que salgan los vapores del portaobjetos.
14. Inmediatamente después de remover el portaobjetos del calor, colocar un cubreobjetos con las diatomeas en la resina caliente. El Naphrax® hervirá un poco mas. Colocar el portaobjetos en la parrilla para que la resina hierva nuevamente y remover tan pronto ocurra.
15. Eliminar las burbujas.

LAMINAS  
Bacillariophyceae



Fig. 14 *Amphora pediculus*



Fig. 15 *Cocconeis placentula*  
var. *placentula*



Fig. 16 *Cocconeis placentula*  
var. *euglypta*



Fig. 17 *Cymbella gracilis*



Fig. 18 *Gyrosigma spencerii*



Fig. 19 *Nitzschia clausii*



Fig. 20 *Nitzschia dissipata*



Fig. 21 *Nitzschia hantzchiana*



Fig. 22 *Nitzschia intermedia*

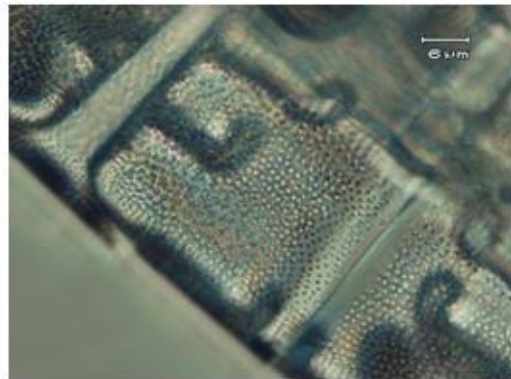


Fig. 23 *Terpsinoë musica*

Chlorophyceae

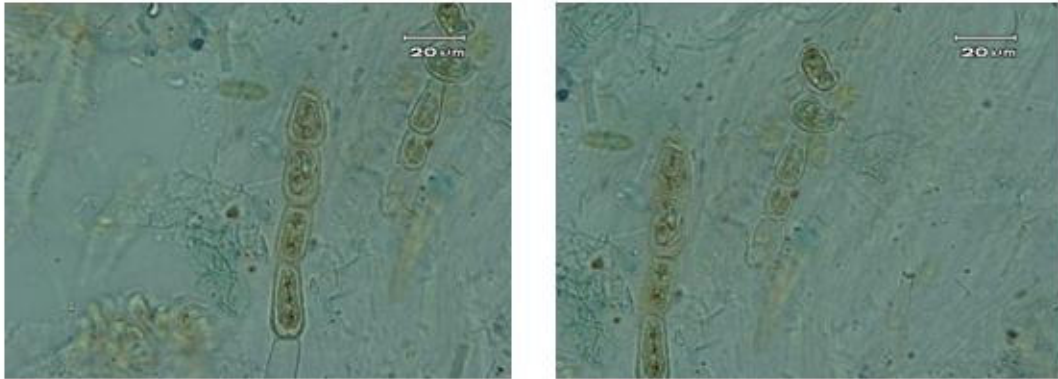


Fig. 24 *Oedogonium* sp.



## Cyanophyceae



Fig. 25 *Blennothrix ganeshii*

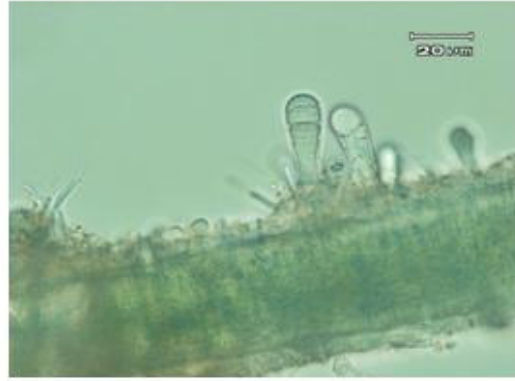


Fig. 26 *Chamaecalix calyculatus*

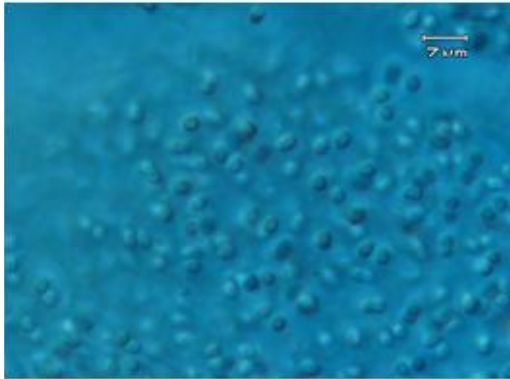


Fig. 27 *Chlorogloea lithogenes*



Fig. 28 *Cyanodermatium gelatinosum*

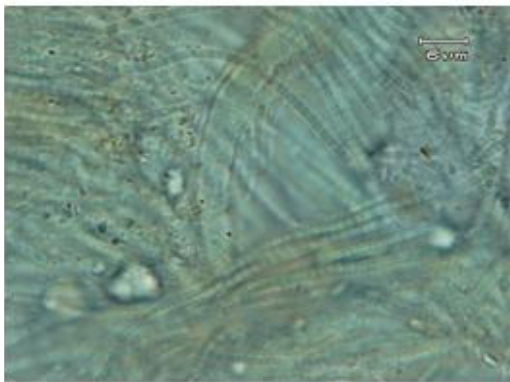


Fig. 29 *Heteroleibleinia fontana*



Fig. 30 *Homoeothrix juliana*

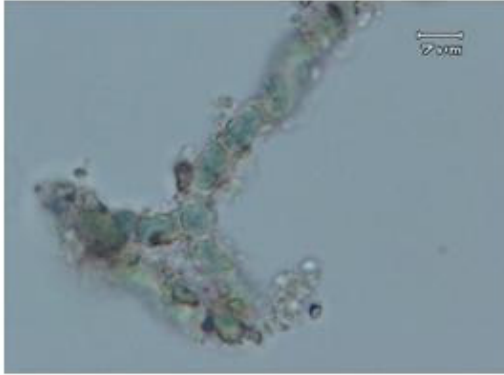


Fig. 31 *Hyella kalligrammos*



Fig. 32 *Leibleinia epiphytica*



Fig. 33 *Leptolyngbya pseudavalderiana*



Fig. 34 *Oscillatoria* sp.



Fig. 35 *Phormidium* sp.



Fig. 36 *Pleurocapsa* cf. *minor*



Fig. 37 *Pseudanabaena* sp.



Fig. 38 *Romeria* sp.

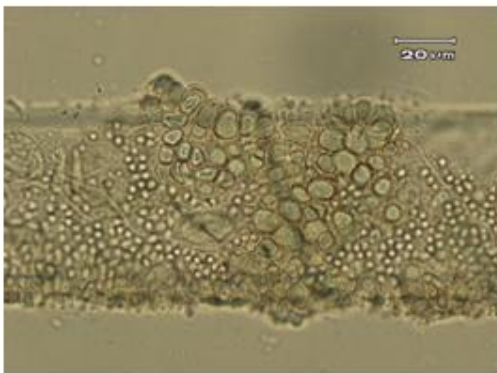


Fig. 39 *Xenococcus* cf. *willei*

**Rhodophyceae**

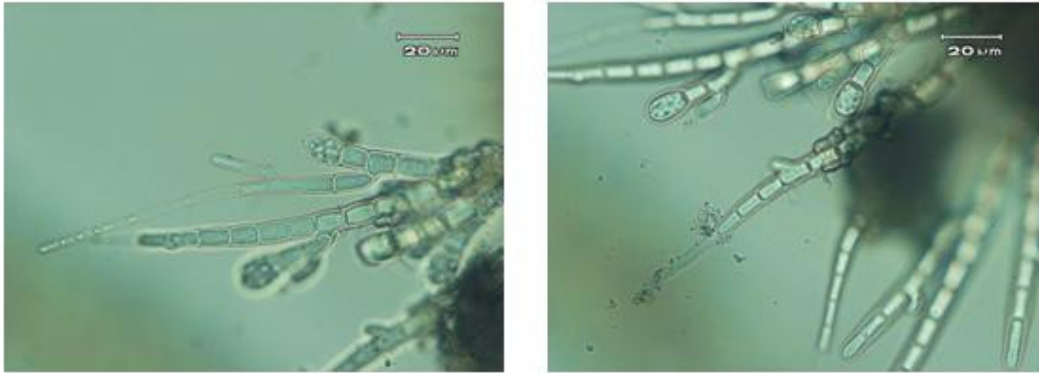


Fig. 40 *Auduinella* sp.

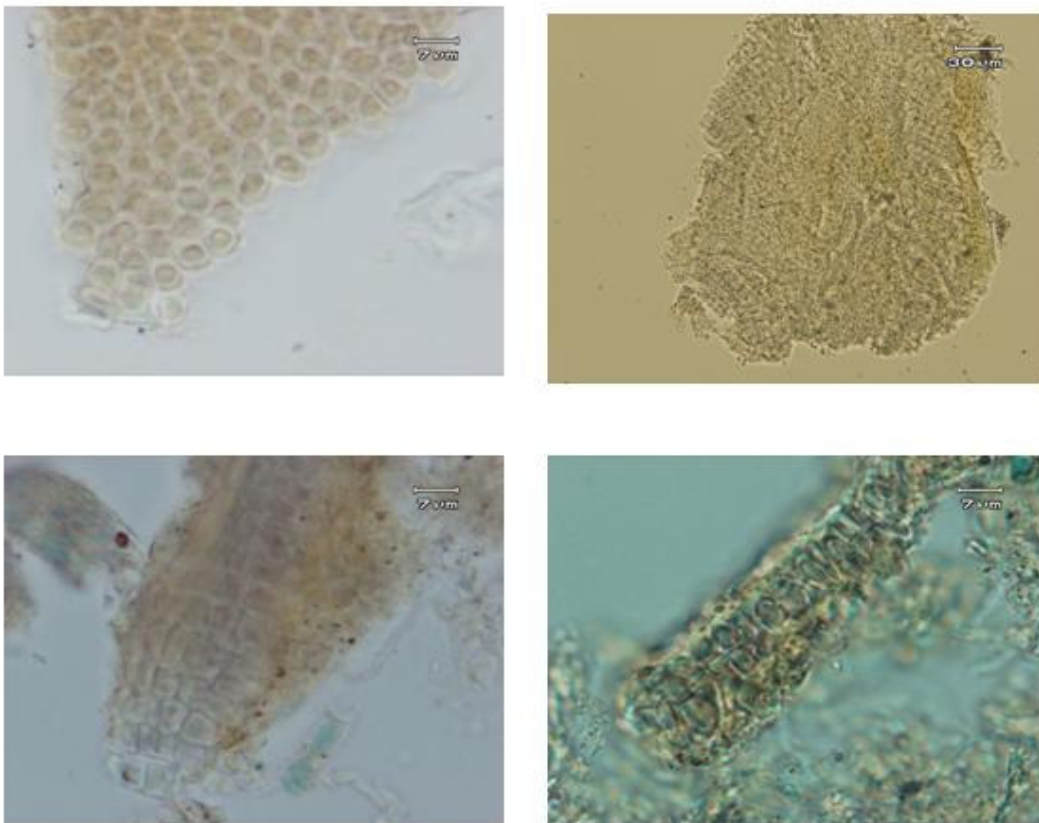


Fig. 41 *Hildenbrandia angolensis*