



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

FACULTAD DE CIENCIAS

CARACTERIZACIÓN DE LOS CRECIMIENTOS ALGALES CAUSANTES DEL
BIODETERIORO EN LA ZONA ARQUEOLÓGICA DE PALENQUE
(CHIAPAS, MÉXICO)

T E S I S

que para obtener el grado académico de

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(SISTEMÁTICA)**

P r e s e n t a

MÓNICA RAMÍREZ VÁZQUEZ

Director de Tesis
Dr. Eberto Novelo Maldonado



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

El presente trabajo fue dirigido por el Dr. Eberto Novelo Maldonado en el Departamento de Biología Comparada de la Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México y apoyado por la beca de Maestría otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y la Dirección General de Estudios de Posgrado (DGEP).

APOYO TÉCNICO

Dra. Silvia Espinosa: micrografías
(Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido. Facultad de Ciencias. UNAM)

Dr. Francisco Sour Tovar: cortes de material calcáreo
(Depto. Biología Evolutiva. Facultad de Ciencias. UNAM,)

Arq. Víctor M. Ramírez Vázquez y Arq. Jeffrey Bello: modelo tridimensional y gráfica solar
(Facultad de Arquitectura, UNAM y Escuela Digital)

M. en C. Víctor Ávila Akerber: imágenes satelitales
(Depto. Ecología y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias. UNAM.)

M. en C. Ernesto Velásquez: determinación de briofitas
(Depto. Biología Comparada. Facultad de Ciencias. UNAM.)

M. en C. Yenny Paola Beltrán Magos: muestreo y recolecta de material.
(Depto. Ecología y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias. UNAM.)

Dr. Michel Rosengaus Moshinsky: información climática
(Jefe de la Unidad del Servicio Meteorológico Nacional, CNA)

Ing. Alejandro González Serratos: información climática
(Proyecto de Bases de Datos Climatológicos, CNA)

A mi mami ...

fortaleza y amor

... mi ángel de la guarda

a mi papá ...

perseverancia y honestidad

... mi amigo

a mis hermanos ...

Víctor, Ricardo, Miguel, Manuel y Esperanza

... con cariño

AGRADECIMIENTOS

Al **Dr. Eberto Novelo** por su confianza, amistad y entusiasmo...

Al **Dr. Alejandro Villalobos**, por creer y ser parte de esta aventura académica.

Al **Dr. Gustavo Montejano** por los consejos y comentarios.

A la **Dra. Margarita E. Caballero Miranda** y **Dra. Ma. Esther A. Meave del Castillo** por la revisión al trabajo y sus valiosos comentarios para mejorarlo.

A **Dra. Rosaluz Tavera** y **Dr. Enrique Cantoral**, por sus enseñanzas y amistad ..., con cariño.

Al **Dr. Javier Carmona** por ser en estos años el amigo, confesor y consejero; y a quien le debo parte mi pasión por este grupo.

Al Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) a través de la (ex) Subdirección de Conservación Arqueológica y Acabados Arquitectónicos de la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural (CONACULTA-INAH) por facilidades otorgadas para realizar este trabajo, particularmente a la **Mtra. Dulce María Grimaldi**, **Mtra. Sandra Cruz**, **Rest. Haydee Orea**, **Rest. Xochiquetzal Rodríguez**, **D.G. Cuauhtémoc Rodríguez** y **Lic. Juan A. Ferrer**.

Sin importar el tiempo y distancia a ... **Laura, Florencia, Eva, Mayté, Temo, Erich, Irian, Alex y Miguel** ... por seguir juntos paso a paso.

Porque la Biología fué nuestro enlace ... **Karla, Larisa, Nicole, Margarita, Felipe y César.**

A ... **Edith, Virginia, Caro, Rocío y Mariana,** ... porque han sido un gran apoyo en todo momento.

Con afecto a ... **Claudia, Hilda y Michelle** y a los compañeros del laboratorio.

A quienes me enseñaron que el trabajo no lo es todo y la vida es hecha de momentos ... **Jime, Alex (Mini), Ángel, Thalía, Romeo, Cuauhtémoc, Gerardo, Luis, Paco, Ernesto, Fer Campos y Alexis**

Por ser los pilares más importantes en mi vida ... **Víctor y Betsabé** ...

Sam ... gracias por haber sido una estrella fugaz ...

Vic ... por tus palabras a la distancia que son motivo de inspiración ...

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

Causas de deterioro en monumentos históricos

Zona arqueológica de Palenque

Exploraciones en Palenque y la problemática de los microorganismos

ANTECEDENTES

OBJETIVOS

ÁREA DE ESTUDIO

MATERIAL Y MÉTODO

Recolección de material biológico

Determinación

Cultivos

Patrones de iluminación y distribución

RESULTADOS

Caracterización de los crecimientos algales

Composición de los crecimientos y distribución en Palacio

Descripción de las especies

DISCUSIÓN

REFLEXIONES Y PROPOSICIONES FINALES

LITERATURA CITADA

ANEXO I

ANEXO II

RESUMEN

Las zonas arqueológicas son parte del legado cultural de una civilización. México cuenta con un gran número de edificaciones de carácter histórico los cuales forman parte del patrimonio de la humanidad (UNESCO). Muchos de estos monumentos han sido alterados o dañados por factores ambientales, mecánicos y/o biológicos; este último proceso conocido como biodeterioro causado principalmente por el metabolismo de ciertos organismos como bacterias, cianobacterias, microalgas y hongos, los cuales forman películas biológicas que producen daños estéticos y estructurales en los monumentos históricos.

La zona Arqueológica de Palenque se encuentra en el estado de Chiapas, en el sureste mexicano, inmersa en la selva Lacandona; el clima es cálido y húmedo con lluvias durante los meses de junio a noviembre. La temperatura oscila entre los 25 - 45 °C y humedad relativa entre los 42 - 84%. En la construcción de los edificios Mayas se empleó piedra calcárea porosa y por lo tanto mecánicamente débil, con lo cual favorece el crecimiento de las comunidades algales.

Los crecimientos algales son abundantes y diversos; formados por especies subaéreas resistentes a cambios drásticos en el medio ambiente, como largos periodos de desecación, temperatura elevada y exposición prolongada al sol. Para la mejor caracterización de esas condiciones se utilizó un patrón de incidencia solar derivado del transcurso anual del sol. Se encontraron 5 formas básicas de crecimiento (mucilaginoso, costroso, rugoso, terso y pulverulento) cada crecimiento está compuesto por conjuntos de diferentes especies de los géneros *Trentepohlia* (Chlorophyta); *Cyanothece*, *Aphanothece*, *Gloeothece*, *Aphanocapsa*, *Gloeocapsa*, *Asterocapsa*, *Chroococcus*, *Leptolyngbya*, *Schizothrix*, *Scytonema* y *Nostoc* (Cyanoprokaryota). Las especies más abundantes y ampliamente distribuidas en el sitio de estudio fueron *Scytonema guyanense*, *Asterocapsa* sp y *Trentepohlia aurea*. La distribución de estas especies muestra un patrón principalmente relacionado con las condiciones lumínicas generales y el sustrato. Mediante la evaluación de las épocas de desarrollo algal y los tipos de estructuras de resistencia y reproducción pueden ayudar al control de los crecimientos sin la utilización de biocidas y sustancias tóxicas que podrían dañar la constitución y apariencia de algunos materiales calizos.

ABSTRACT

Archeological sites are part of the cultural heritage of any civilization. Mexico has a great number of buildings of historic character which form part of the heritage of humanity (UNESCO). Many of these monuments have been altered or damaged by environmental, mechanical and/or biological factors; the latter process known as biodeterioration is caused mainly by the metabolism of certain organisms, mainly bacteria, cyanobacteria, microalgae and fungi, ones which form biological films that cause esthetic and structural damage to historical monuments.

The Palenque archeological site is found in the State of Chiapas, in southeast Mexico, immersed in the Lacandona Jungle; the climate is warm and humid with rain during the months of June to November. The temperature oscilates between 25 – 45 °C, and the relative humidity between 42 -84%. During the construction of the Mayan buildings porous limestones was employed and as a consequence this makes them mechanically weak, favoring the growth of algal communities.

Algal growth is abundant and diverse; formed by suaerial species resistant to drastic changes in the environment, like long periods of dryness, elevated temperature and prolonged exposure to the sun. For a more efficient characterization of these conditions we used the solar incidence pattern derived from the yearly duration of the sun. Five basic forms of growth were found (mucilaginous, scabby, rugged, soft and dusty) each growth is composed of groups of different species of the *Trentepohlia* (Chlorophyta); *Cyanothece*, *Aphanothece*, *Gloeothece*, *Aphanocapsa*, *Gloeocapsa*, *Asterocapsa*, *Chroococcus*, *Leptolyngbya*, *Schizothrix*, *Scytonema* y *Nostoc* (Cyanoprokaryota) genus. The most abundant and widely distributed species in the research area were *Scytonema guyanense*, *Asterocapsa* sp and *Trentepohlia aurea*. The distribution of these species show a pattern specially related with overall luminescence and substrate conditions. The evaluation of algal development periods and the types of resistance and reproduction structures can help control growth without the use of biocides and toxic substances that could damage the constitution and appearance of some calcareous materials.

INTRODUCCIÓN

El Patrimonio arqueológico nacional se conforma por las construcciones de nuestros antepasados hechas antes del establecimiento español en el siglo XVI. Las zonas arqueológicas comprenden los vestigios que se conservan desde los primeros asentamientos de los grupos de cazadores-recolectores (existencia anterior a los quince mil años antes de nuestra era), hasta las ciudades de las culturas que florecían en el territorio mexicano al momento de la llegada de los españoles. Todo tipo de elementos materiales producidos por esas culturas mesoamericanas o asociados a estas, forman parte del patrimonio arqueológico.

En la República Mexicana existen alrededor de 110 mil sitios arqueológicos registrados de los cuales 176 están abiertos al público, en la mayoría se realizan trabajos de exploración, rescate y mantenimiento para la conservación de ese patrimonio.

En lo que respecta a la cultura maya ésta se desarrolló en un área de más de 350 mil kilómetros de largo, desde Chiapas y Yucatán hasta Honduras; como ejemplos de esta cultura tenemos las ciudades de Chichen Itzá, Kabah y Uxmal, en Yucatán; Calakmul y Edzná en Campeche; Bonampak, Piedras Negras, Yaxchilán y Palenque en Chiapas.

CAUSAS DEL DETERIORO EN MONUMENTOS HISTÓRICOS

El deterioro puede ser causado por varios factores de tipo intrínseco y extrínsecos, que combinados y de manera simultánea provocan cambios o alteraciones sobre un monumento. Para su estudio y para las actividades de restauración y conservación es necesario identificarlos y caracterizar los efectos directos e indirectos que producen. Los factores intrínsecos son los que están estrictamente relacionadas con el origen y naturaleza del edificio y los factores extrínsecos generalmente se derivan de factores externos (De Angelis, 1982) (Tabla 1)

Tabla 1. Factores relacionados a las causas del deterioro

Causas del deterioro	Factores intrínsecos	Posición del edificio	Clima, geo-topografica y orientación
			Tipo de suelo sobre la cual se desplanta la cimentación
		Relacionada a la estructura	Materiales del edificio
			Sistema del edificio (proyecto de ejecución)
	Factores extrínsecos	Agentes naturales (acción prolongada)	Factores físicas, químicas, biológicas y antropológicas
		Agentes naturales (acción ocasional)	Desastres naturales (huracanes, erupciones volcánicas)
Causas provocadas por actividad humana		Vandalismo, saqueo	

Tomado de De Angelis, 1982.
(Modificado)

Factores intrínsecos

Los factores intrínsecos incluyen la posición en el terreno; la geo-topografía, el tipo de suelo donde fue construido el edificio y las condiciones climáticas a las cuales el edificio está expuesto. La situación topográfica puede actuar de manera importante sobre las condiciones climáticas. La orientación del edificio también puede tener influencia directa en el deterioro, especialmente por el grado de insolación y la dirección de los vientos. (De Angelis, 1982)

La insolación está relacionada con la radiación solar y depende de la latitud, la estación del año, la hora del día, el clima local, las características atmosféricas y la orientación de la superficie que recibe la radiación. La influencia de las estaciones (en cuanto a cantidad de luz diaria) a su vez, son modificadas por las condiciones climáticas (como días nublados o despejados). En gran medida, las diferencias de temperatura causadas por la variación en la cantidad de energía solar que llega a la Tierra en diferentes lugares, impulsan la circulación de los vientos y tiene efecto sobre la humedad del aire (Ferreiro, 1991).

Las causas relacionadas a la estructura del edificio están principalmente relacionadas a la naturaleza y composición del suelo donde fue construido el edificio así como los materiales utilizados en la construcción del mismo (mármol, morteros, madera, ladrillo, estuco, calizas, entre otros), algunos de estos elementos pueden ser un factor importante en el deterioro de la edificación ya que pueden existir defectos en los materiales utilizados o bien defectos reales en el momento de la construcción (De Angelis, 1982).

Factores extrínsecos

Estos pueden ser de tres tipos: agentes naturales de acción prolongada, agentes naturales de acción ocasional y causas provocadas por actividades humanas. En los primeros podemos incluir aquellos factores que afectan las condiciones de la naturaleza del edificio (causas físicas, químicas y electroquímicas y causas biológicas).

AGENTES DE ACCIÓN PROLONGADA

Factores físicos: actúan sobre el interior o exterior del edificio y prácticamente conciernen a la acción del calor y frío y especialmente de las temperaturas extremas. La acción del agua, en todas sus manifestaciones, causa deterioro cuando se combina con factores como la temperatura, el agua, el viento y el sustrato, esta acción siempre es dinámica.

Factores químicos: los agentes químicos en los materiales se pueden determinar en el laboratorio obteniendo la alteración y transformaciones que algunas veces ocurren. La atmósfera y el agua son los vehículos para el transporte de los agentes químicos. Uno de los más comunes fenómenos atmosféricos es la oxidación. Y en general ésta no es una causa directa de daño a los edificios excepto cuando el hierro u otros metales están presentes. Por otro lado los productos derivados de la combustión de combustibles fósiles y el carbón emitido en la atmósfera actúan en los procesos de desintegración. La lluvia es también químicamente activa porque contiene dióxido de carbono y agentes oxidantes.

Factores biológicos: son fácilmente reconocibles por el tipo de daño causado por las plantas, los animales o los microorganismos. Durante el crecimiento de vegetales, estos crecen depositando horizontalmente nudos y proyecciones. Las finas raíces penetran hacia el interior y crecen lentamente, actuando entre las juntas, separando y desprendiendo elementos de la estructura de las paredes. En el caso de los microorganismos (bacterias, algas y hongos), los procesos son similares a las acciones químicas, sin embargo, éstas transforman la composición original de los materiales. El daño generado por la acción de microorganismos es acompañado de transformaciones bioquímicas, mediante la modificación de los materiales por la acción de los ácidos orgánicos producto del metabolismo.

Causas ocasionales: dentro de esta categoría se presentan eventos que ocurren violentamente como el caso de desastres naturales como huracanes, erupciones volcánicas, entre otros. Y finalmente las causas provocadas por actividad humana, incluyen modificaciones y transformaciones que alteran la estructura original del edificio. (De Angelis, 1982)

ZONA ARQUEOLÓGICA DE PALENQUE

Palenque se destaca, junto con otros sitios arqueológicos de la cultura maya tales como Piedras Negras, Yaxchilán y Bonampak, porque todos se sitúan en la cuenca del Usumacinta y permanecieron ocultas por la exuberante selva Lacandona, además de ser de las más grandes e importantes metrópolis político-religiosas que muestran alguna faceta de la civilización maya (Marquina, 1951).

La primera evidencia de la ocupación de Palenque data del año 100 a.e. y su esplendor puede situarse entre los años 600-900 d.e. Fue abandonada como otras ciudades del área maya después del año 900 d.e. como parte del "Colapso Maya".

Arquitectura

La mayoría de los monumentos arqueológicos de esta civilización se levantan sobre basamentos escalonados y tienen acceso por amplias escalinatas. Muchos de los edificios en Palenque se componen de dos crujías divididas por un muro central y paralelo a la fachada, dichas crujías se encuentra cubiertas por medio de una bóveda maya, construida con base en piedras cortadas

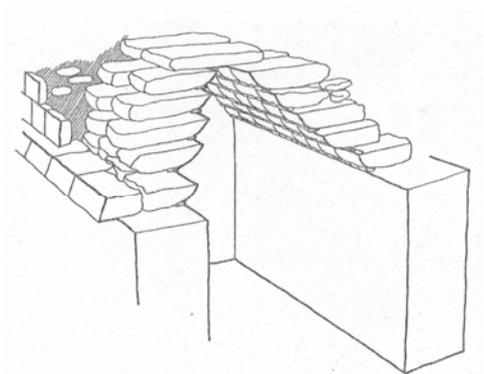


Figura 1. Detalle de la bóveda maya

en forma de cuña; se construye colocando las piedras ligeramente salientes con relación a las de la hilada inferior, de manera que los dos lados casi se tocan en su parte alta, sobre la que se apoya una losa; así que cada lado se sostiene independientemente como ménsula, por lo que muchas veces en los edificios destruidos se conserva la mitad de la bóveda (Marquina, 1951).

Las fachadas de los numerosos edificios, así como las rampas que acompañan a las distintas escaleras, estaban ricamente adornadas y las bóvedas aún presentan restos de elegantes relieves en estuco. En cuanto a la decoración de la zona, ésta es muy sencilla; sin embargo la ornamentación es abundante, la mayoría de las ornamentaciones se componen de grandes jeroglíficos, figuras humanas y algún tipo de estilización de animales, en otros casos se llegó a dejar desprendida del muro una buena porción de la figura; también se usaron diferentes motivos, como medallones y ornatos que enmarcaban las ventanas. Algunas figuras están labradas en piedra, pero lo característico de Palenque, es la habilidad en el manejo del estuco, formado por una fina pasta de cal y una proporción pequeña de arena, y al que servían de núcleo piedras empotradas en el muro, que venían a ser el esqueleto o bulto general de la figura. En cuanto a la decoración pintada, es también muy abundante y probablemente todas las esculturas y ornatos tuvieron color. Los colores usados fueron: rojo oscuro, rojo claro, verde, amarillo, azul, negro y blanco (Hohmann-Vogrin, 2001).

Conjunto Palacio

Los edificios en Palenque se distribuyen en todo el espacio a los lados del estrecho arroyo Otulum, siguiendo la topografía del lugar, la cual determina la colocación y orientación de los edificios. Una de las construcciones que sobresale por su magnitud y ubicación es el Conjunto Palacio que se encuentra al centro de zona y en la parte más plana de la ciudad; este complejo arquitectónico está apoyado en una plataforma trapezoidal de 100 m de largo por 80 m de ancho. El Conjunto Palacio está estructurado alrededor de cuatro patios, con construcciones llamadas "casas" y una Torre, única en la arquitectura maya.

El material usado en la construcción del Palacio fue principalmente la roca caliza y en los rellenos están unidas con lodo; el estuco era el principal material con el que se formaban relieves y esculturas en la parte exterior de los edificios (Hohmann-Vogrin, 2001).

Calizas

Las calizas son rocas sedimentarias, que contienen más del 80% de carbonato de calcio y magnesio. Constituidas por CaO y CO₂. Otros componentes que se pueden encontrar son MgO el cual si excede 1 o 2% probablemente indique la presencia de dolomita. La mayoría de ellas son altamente porosas y combinadas con agua disuelven y producen HCO₃. (Pettijohn, 1975)

Exploraciones en Palenque y la problemática de los microorganismos

La zona arqueológica de Palenque es, desde finales del siglo XVIII, uno de los principales centros de interés en la investigación de las disciplinas antropológicas, por elementos tales como la arquitectura, la decoración con pintura mural, los personajes de bajo relieve, los mascarones en estucado y la epigrafía. A la llegada de los primeros exploradores, estos elementos ya se encontraban invadidos por una flora muy diversa y desde entonces se le ha considerado un problema difícil de controlar.

Ruz Lhuillier dice lo siguiente cuando se encontró en Palenque: "Ha sido de gran dolor el que enteramente no se pudieron copiar los jeroglíficos del Templo de las Inscripciones a causa de las aguas introducidas o filtradas, las han cubierto una lama o porquería que las cubre y las ha deshecho, pues se hizo limpiar un pedazo para que se aclarara algo y al instante se desbarató como si estuviera sobrepuesto" (Ruz, 1997)

ANTECEDENTES

Los organismos vivos que son considerados como causantes de cambios indeseables en las propiedades de un material estructural por su actividad fisiológica son de una diversidad muy amplia. La mayoría de estos organismos están involucrados en el proceso llamado biodeterioro, porque llegan a formar películas biológicas (biofilms) sobre la superficie de las edificaciones causando daños en la ornamentación y estructura de los edificios; las películas biológicas están constituidas principalmente por bacterias, algas y hongos (Allisop, *et al.* 2004).

Las algas presentes en edificios son subaéreas o aerofíticas, son organismos que llegan a formar un tipo de vegetación muy particular por su capacidad de habitar cualquier sustrato (paredes de edificios, pisos, barcos, árboles, rocas, etc.) Es claro que las condiciones subaéreas no son favorables para el crecimiento de todas las algas, si se parte de que el agua es un factor limitante para el crecimiento y multiplicación de estos organismos. Muchas especies de estos hábitats han desarrollado o adquirido características tanto morfológicas y fisiológicas como mecanismos de resistencia contra la desecación producida por las corrientes de aire, exceso de calor o por los producidos por los periodos prolongados de lluvia. Algunas de estas características son la secreción de vainas mucilaginosas copiosas o papiráceas o el desarrollo de células especiales como acinetos, esporangios o gametangios. (Kumar & Kumar, 1999; Nurul, 1972).

Las algas son organismos que pueden vivir en casi cualquier tipo de sustrato de los que obtienen una los nutrientes necesarios para su desarrollo y crecimiento. En especial, las Cyanoprokaryota y las Chlorophyta son las que podemos encontrar en estas condiciones y se manifiestan de diferente maneras, lo que ocasiona que dichos crecimientos puedan generar daños en distintos grados (Allisop, *et al.*, 2004).

Los estudios sobre el crecimiento de algas en construcciones con carácter histórico se han realizado en todo el mundo: Italia (Grilli-Caiola, *et al.*, 1987; Caneva, *et al.*, 1991; Albertano & Congestri, 1999; Albertano & Bruno, 2001), España (Ortega-Calvo *et al.*, 1993; Ariño *et al.*, 1997; Hernández-Marine *et al.*, 1999), India y Nepal (Triparthy *et al.*, 1997; Roy *et al.*, 1997; Adhikary, 2002 a y b), Israel (Dor & Dor, 1999), entre otros.

En los últimos años ha surgido gran interés hacia el rescate y la conservación de los monumentos históricos y existen posgrados enfocados al biodeterioro y bioremedación como es el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) y el ICCROM-UNESCO (International Centre for the Study of the

Preservation and Restoration of Cultural Property) con sede en Italia; estas organizaciones están dedicadas a la preservación de los monumentos arqueológicos y de valor artístico y cultural para el mundo.

Algunos de los estudios sobre biodeterioro que se han desarrollado en México se han enfocado a Palenque (Torres, 1991, Villaseñor, 2005). Torres (1991), hizo un estudio de las algas que crecen sobre los materiales arquitectónicos de la zona arqueológica de Palenque y propone métodos de control con una mezcla de diurón y bromacil disueltos en agua con detergente neutro y alcohol etílico; sin embargo este tipo de soluciones en uso prolongado provoca blanqueamientos en las edificaciones y por lo tanto un deterioro estético.

Otros trabajos realizados en monumentos en México, involucran a los metabolismos de microorganismos como causantes del deterioro, debido a la secreción de ácidos orgánicos (oxálico, cítrico y urónico) e inorgánicos (ácido sulfúrico y el nítrico), que conducen a una acidificación y/o quelación de cationes, promoviendo así la disolución de ciertos minerales y deterioro de la roca. Los exopolisacáridos de estas películas biológicas permiten a los organismos adherirse a las superficies; con lo que incrementan la degradación de la roca, interactuando químicamente con los minerales y conduciendo a su disolución (Ortega y Hernández, 1998).

Uno de los problemas principales a los que se enfrentan los estudios sobre el biodeterioro producido por las algas es la falta de información sobre la biología de los organismos que lo causan. En la mayoría de los estudios realizados se registran los crecimientos algales y sus componentes de manera muy superficial o sólo al nivel de género. Estas deficiencias no permite diseñar estrategias adecuadas para el control de los crecimientos algales por dos razones: primero, porque supone cierta homogeneidad en la composición y segundo por que no considera los ciclos de desarrollo de las algas y su capacidad de dispersión en condiciones "desfavorables". Por ello se hace necesario primero caracterizar los crecimientos algales, después identificar las especies, luego caracterizar el desarrollo de las especies en cultivos para tratar de reconstruir sus ciclos de vida. Estos elementos son parte de una estrategia que permita, a mediano plazo, diseñar los mecanismos de control del crecimiento de las especies dominantes y en consecuencia las acciones a tomar para la conservación de los monumentos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Caracterizar los crecimientos algales presentes en el conjunto "Palacio" de la zona arqueológica de Palenque.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar las especies presentes en los diferentes crecimientos.
- Describir las características morfológicas de las especies dominantes en condiciones particulares.
- Describir las características ambientales que pueden influenciar en el desarrollo de los crecimientos presentes en el sitio de estudio
- Crear un patrón de iluminación y la influencia de la luz sobre la distribución de los crecimientos algales

ÁREA DE ESTUDIO

La zona arqueológica de Palenque se encuentra en el norte del Estado de Chiapas, casi en sus límites con el de Tabasco, sus coordenadas son 17°29'30'' N y 92°50'20'' O, la población más cercana se ubica a ocho kilómetros de la zona arqueológica (Santo Domingo de Palenque). Se trata de la región más húmeda de México y una de las de mayor precipitación pluvial del mundo. El clima es semicálido húmedo con lluvias todo el año (INEGI, 2005). Palenque presenta lluvias de junio a octubre (553.3-925 mm³, promedio mensual). La temperatura más baja se presenta entre los meses de octubre a febrero (>32 °C) y de marzo a junio se presentan las temperaturas más elevadas (<40 °C); la evaporación es elevada durante los meses de marzo a agosto (SMN-CNA, 2005).



Figura 2. Área de estudio. Palenque, Chiapas



Figura 3. Vista general de Zona Arqueológica Palenque



Figura 4. Vista general de Palacio

MATERIAL Y MÉTODO

RECOLECCIÓN DE MATERIAL BIOLÓGICO

Se realizaron 4 recolecciones de los crecimientos algales en el conjunto Palacio a lo largo de dos años (junio y noviembre 2003; abril y noviembre 2004); se recolectaron aquellos crecimientos de diferentes texturas y coloraciones tanto en interiores como en exteriores del conjunto.

Se obtuvieron 2 réplicas de cada uno de los crecimientos recolectados. Una fue preservada en formol al 3% en frascos de polietileno mientras la otra fue guardada en sobres de papel manila (seco) para la realización de cultivos. En total fueron 16 los sitios muestreados (Tabla 2, Figura 5). Las muestras fueron recolectadas bajo el siguiente criterio:

- Crecimientos evidentes a simple vista.
- Crecimientos que afectan a los materiales de construcción.
- Crecimientos que afectan elementos decorativos (acabados, recubrimientos, estucos).
- Crecimientos que alteran o deforman los aplanados.

Para cada sitio de recolección se registraron los siguientes datos ambientales: temperatura (°C), humedad relativa (HR%) con un higrómetro Taylor, modelo 5565 y la intensidad luminosa con un sensor de irradiancia plano LI-COR (-205.34 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Tabla 2. Sitios muestreados

Sitios de muestreo	jun'03	nov'03	abr'04	nov'04
(1) Pilares (medallones) (O)	o	o	o	o
(2) Medallones (O)	o	o	o	o
(3) Crujía atrás de medallones (O)	o	o	o	
(4) Muro atrás de medallones (O)			o	
(5) Crujía posterior a los medallones (S)		o	o	
(6) Techo crujía parte alta (S)				o
(7) Basamento (S)	o	o	o	
(8) Pasillos subterráneos (S)	o	o		o
(9) Escaleras subterráneos			o	
(10) Subterráneos (ventana E)			o	
(11) Pilares (E)			o	o
(12) Crujía escurrimiento (E)	o	o	o	o
(13) Crujía basamento (E)	o	o	o	o
(14) Basamento (N)			o	
(15) Crujía (entre fachada N/E)				o
(16) Pasillo Torre (N)	o	o	o	o

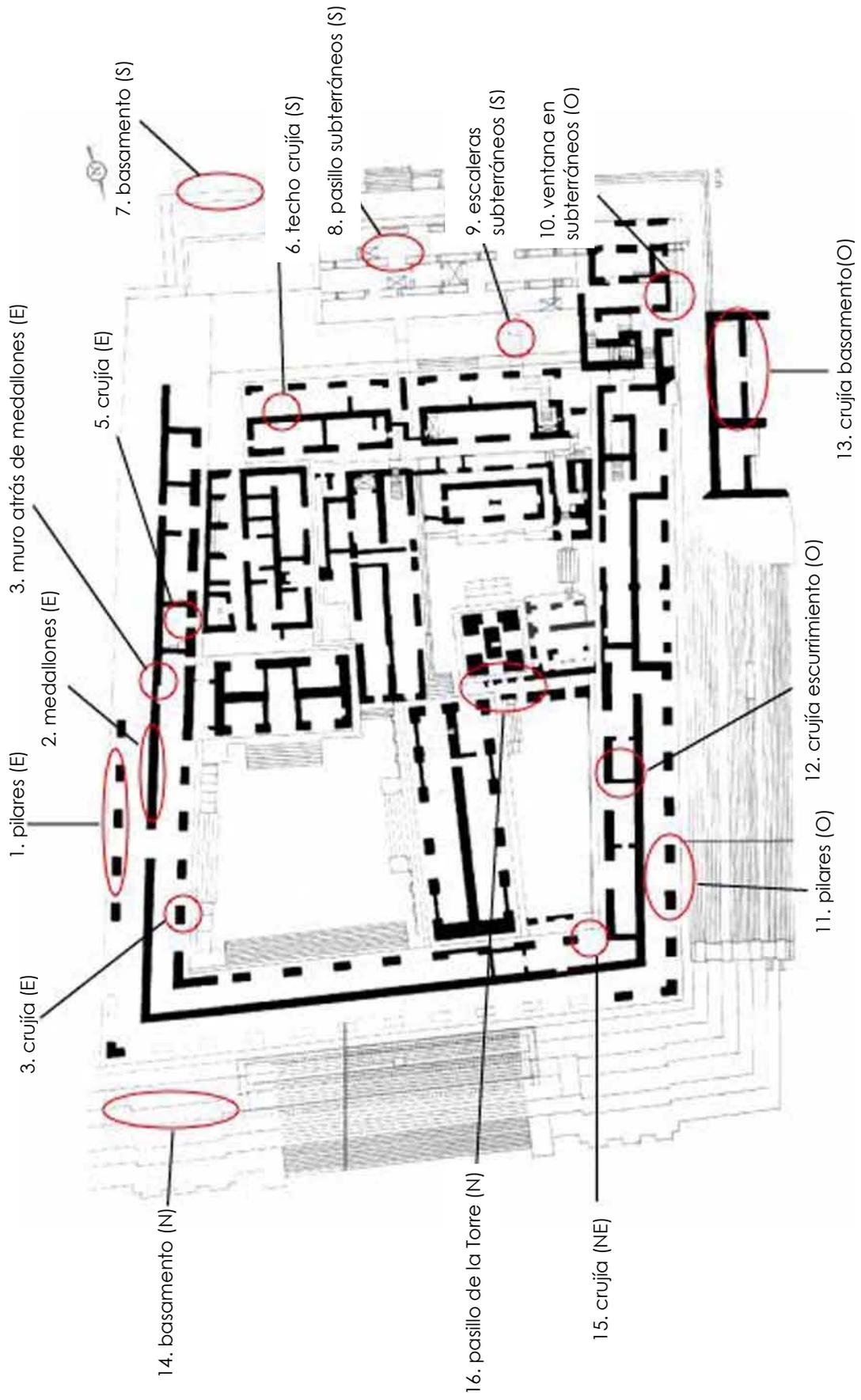


Figura 5. Sitios muestreados en Palacio

DETERMINACIÓN

Se realizaron preparaciones semipermanentes con gelatina glicerizada (González y Novelo, 1986 modificada) del material preservado en formol por triplicado. Las observaciones se realizaron en un microscopio NIKON E600 equipado con contraste interferencial y en un microscopio Olympus BX51 equipado con contraste interferencial. Las fotografías se obtuvieron con una cámara digital Olympus Dp-12.

Se determinaron las especies utilizando las siguientes revisiones y manuales taxonómicos: Cyanoprokaryota: Geitler (1930-1932), Desikachary (1959), Anagnostidis *et al.* (1983), Anagnostidis y Komárek (1985), Albertano (1994, 1998), Ariño *et al.* (1997), Asencio y Aboal (1996), Belleza *et al.* (2003), Büdel (1999), Chu (1991), Couté *et al.* (1999), Crispim *et al.* (2003, 2004), Daroenko y Hoffmann (2003), Gaylarde y Gaylarde (1999), Komárek (1993), Komárek y Anagnostidis (1988, 2005), Frémy (1929), Gardner (1929), Golobic (1965), Grilli-Caiola *et al.* (1987), Bornet (1959), Hoffmann (1986), Skuja (1949), Santa'Anna (1988); para las Chlorophyta fueron usados: Hoek (1995), Chapman (1983), Rifón-Lastra y Noguero-Seoane (2001), Rindi y Guiry (2002, 2003), Rindi *et al.* (2003, 2004, 2005), entre otros.

Una vez determinadas las especies cada una queda descrita bajo el siguiente orden:

a) Descripción de cada taxa incluyendo intervalos de medidas, largo y ancho celular y en algunos casos observaciones taxonómicas para los no determinados; b) distribución en el sitio de estudio y c) laminas con material gráfico (dibujos y fotografías).

CULTIVOS

En el laboratorio, se realizaron cultivos mixtos, cultivos unialgales y resiembras para las especies dominantes con el fin de completar sus ciclos de vida y resolver algunos problemas taxonómicos. Los cultivos mixtos sirvieron para aislar filamentos de *Trentepohlia aurea* y *Scytonema guyanense* así como colonias de *Asterocapsa* sp. Con microagujas se tomaron pequeños fragmentos de los crecimientos algales en cajas Petri desechables de 60 x 15 mm. Para las Cyanoprokaryota se utilizó medio de cultivo BG-11 (1.5%) enriquecido con sustrato de la localidad y para las Chlorophyta, medio Bourrelly (1.5%)(ver anexo I). Los cultivos se mantuvieron en una cámara de ambiente controlado Sanyo a 30° y 12 – 12 horas de fotoperíodo

PATRONES DE ILUMINACIÓN Y DISTRIBUCIÓN

Para los patrones de iluminación (radiación solar) en un ciclo de 24 horas en el conjunto Palacio se utilizaron los siguientes programas Graphisoft® ArchiCAD 9 y Artlantis 4 y para la distribución de las especies se realizó un análisis de similitud con datos cualitativos (presencia / ausencia de especies en cada sitio muestreado) se utilizó NTSYSpC® (Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System) versión 2.2.

RESULTADOS

CARACTERIZACIÓN DE LOS CRECIMIENTOS ALGALES

Se revisaron 128 muestras (384 preparaciones semipermanentes) de crecimientos algales diferentes en 16 sitios del conjunto Palacio. Se encontraron 5 formas principales de crecimiento: costroso, mucilaginoso, terso, rugoso y pulverulento a manera de películas o en tapetes. (Tabla 2). Se determinaron 16 especies de las cuales 15 pertenecen a Cyanoprokaryota y una a Chlorophyta (Tabla 3).

Tabla 3. Sitios muestreados

Sitios de muestreo	aspecto del crecimiento	forma de crecimiento	tipo de crecimiento	deterioro
(1) Pilares (medallones) (O)	manchas verde brillante-pardo / escurrimiento	mucilaginoso	película	fisura del material
(2) Medallones (O)	manchas verde brillante-olivo	costroso	película	desprendimiento del material
(3) Crujía atrás de medallones (O)	crecimientos negros	rugoso	tapete	desprendimiento en capas del sustrato (hojuelas)
(4) Muro atrás de medallones (O)	crecimientos naranja y negros	terso	tapete	estético (no hay desprendimiento del material)
(5) Crujía posterior a los medallones (S)	crecimientos negros / por debajo manchas verde brillante	rugoso / mucilaginoso	tapete / película	desprendimiento y fisuras en muros
(6) Techo crujía parte alta (S)	manchas verde olivo	terso	tapete	ligeras fisuras en el techo
(7) Basamento (S)	crecimientos negros y naranjas	rugoso	tapete	fisuras en juntas / estético
(8) Pasillos subterráneos (S)	crecimientos verde brillante / negros	mucilaginoso	tapete	estético
(9) Escaleras subterráneos	crecimientos verde brillante / naranja	mucilaginoso	película	estético
(10) Subterráneos (ventana E)	crecimientos verde pasto-brillante	terso	película	estético
(11) Pilares (E)	crecimientos negros	rugoso	película	fisuras en el material
(12) Crujía escurrimiento (E)	crecimientos negros, con depositación de carbonatos	rugoso	película	depositación de material / estético
(13) Crujía basamento (E)	crecimientos negros y naranjas	rugoso	tapete	desprendimiento de material
(14) Basamento (N)	crecimientos negros	rugoso	tapete	fisuras en las juntas
(15) Crujía (entre fachada N/E)	crecimientos negros	pulverulento	película	desprendimiento de material
(16) Pasillo Torre (N)	crecimientos naranjas	terso / mucilaginoso	tapete	estético

1. Pilares (E)



Figura 7. Vista del pasillo.



Figura 8. Detalle del escurrimiento en el pilar.



Figura 9. Detalle del crecimiento. La mancha verde-azul está creciendo debajo del material calizo.

Este sitio se encuentra en la parte superior del conjunto Palacio. Corresponde a un pasillo largo donde es frecuente ver trabajos de restauración. Los pilares presentan manchas sobre los acabados; en su mayoría de coloraciones café pardo a negruzcas; algunas veces se encuentran como escurrimientos y otras formando costras. Durante el periodo de mayor humedad se encontraron manchas de color verde botella a ligeramente amarillento por debajo del material.

Especies encontradas: *Aphanothece castagnei*, *Gloethece palea*, *Gloeocapsa calcicola*, *G. quaternata*, *Gloeocapsa* sp., *Asterocapsa* sp., *Chroococcus* cf. *schizodermaticus*, *C.* cf. *turencensis*, *Leptolyngbya* cf. *compacta*, *Schizothrix* cf. *bosniaca*, *Scytonema guyanense*, *Nostoc* sp., *Trentepohlia aurea*.

2. Medallones (E)



Figura 10. Decorados en Palacio.

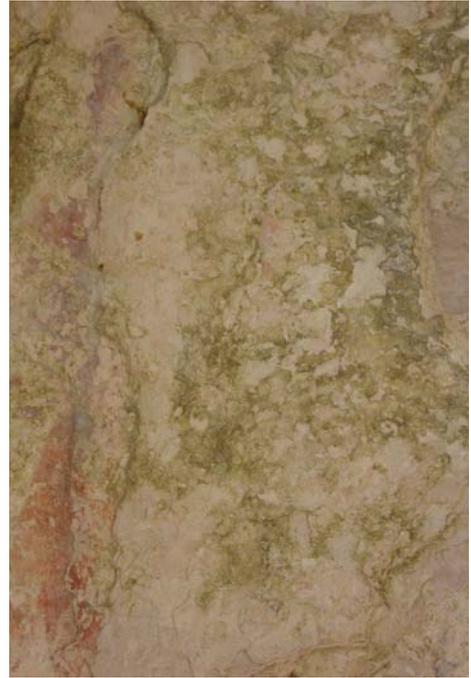


Figura 11. Manchas verde olivo, en el decorado.



Figura 12. Crecimiento en costras.

Este sitio se ubica en la parte superior del conjunto Palacio, en el pasillo de la fachada oeste. Aquí encontramos costras de color verde brillante y verde olivo, que se logran despegar y desprenden el material del sustrato.

Especies encontradas: *Aphanothece castagnei*, *Gloeothece palea*, *Aphanocapsa* sp., *Gloeocapsa calcicola*, *G. quaternata*, *Gloeocapsa* sp., *Asterocapsa* sp., *Chroococcus* cf. *schizodermaticus*, *C.* cf. *turencensis*, *Leptolyngbya* cf. *compacta*, *Schizothrix* cf. *bosniaca*, *Scytonema guyanense*, *Nostoc* sp., *Trentepohlia aurea*.

3. Crujia (E)



Figura 13. Vista de los crecimientos algales sobre muros.



Figura 14. Aspecto general del crecimiento.



Figura 15. Detalle del desprendimiento del material.

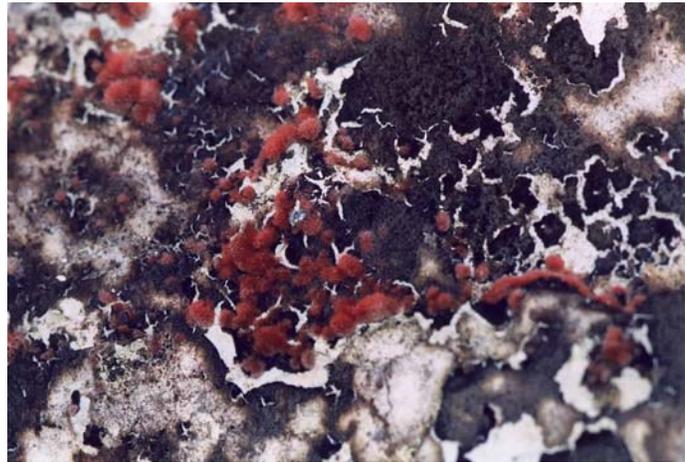
Este sitio correspondiente a un pasillo sin bóveda y por lo tanto está expuesto, se encuentra atrás del muro de los medallones y frente a ellos está el Patio de los esclavos. Aquí encontramos películas de color negro y naranjas, con textura áspera a rugosa y con desprendimiento del material a manera de hojuelas.

Especies encontradas: *Aphanothece castagnei*, *Gleothece palea*, *Gloeocapsa calcicola*, *G. quaternata*, *Gloeocapsa* sp., *Asterocapsa* sp., *Chroococcus* cf. *schizodermaticus*, *C.* cf. *turencensis*, *Leptolyngbya* cf. *compacta*, *Scytonema guyanense*, *Nostoc* sp., *Trentepohlia aurea*.

4. Muro atrás de medallones (E)



Figura 16. Detalle del crecimiento negro.



Est
e
sitio
se

Figura 17. Detalle del crecimiento negro y desprendimiento de material.

ubica en el pasillo atrás del muro de los medallones, donde hay restos de una bóveda y por lo tanto no está completamente expuesto. Encontramos crecimientos negros y naranjas de aspecto de fieltro áspero. Hay desprendimiento de material.

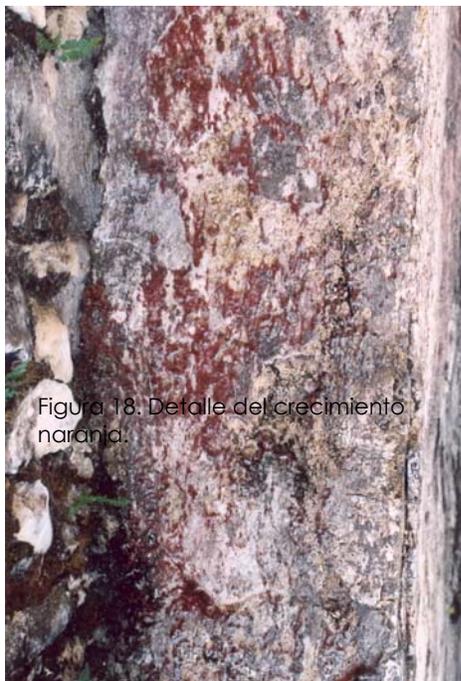


Figura 18. Detalle del crecimiento naranja.

Especies encontradas: *Gleotheca palea*, *Gleocapsa calcicola*, *G. quaternata*, *Gleocapsa* sp., *Asterocapsa* sp., *Chroococcus* cf. *schizodermaticus*, *C.* cf. *turencensis*, *Scytonema guyanense*, *Trentepohlia aurea*.

5. Crujía (S)



Figura 19. Película negra a manera de escurrimiento.



Figura 20. Películas negras sobre los muros de la crujía.



Figura 21. Detalle del desprendimiento del material.

Este sitio se ubica en la parte superior del conjunto Palacio, es un espacio abierto sin ornamentaciones o decorados. En él encontramos grandes películas oscuras de textura rugosa y otros crecimientos mucilaginosos bajo los cuales se apreciaron manchas verde brillante. Se observó desprendimiento de material y en algunas partes fisuras. Esta es un área poco intervenida en trabajos de limpieza y/o restauración.

Especies encontradas: *Gloeotheca palea*, *Gloeocapsa calcicola*, *G. quaternata*, *Gloeocapsa* sp., *Asterocapsa* sp., *Scytonema guyanense*, *Nostoc* sp., *Trentepohlia aurea*.

6. Techo crujía (S)



Este sitio corresponde a un espacio semiabierto, sin decorados u ornamentaciones, las películas que se presentan son de color verde olivo oscuro, de aspecto suave y mucilaginoso se aprecian algunas fisuras en el techo.

Figura 22. Crecimiento a manera de escurrimiento (mucilaginoso).



Especies encontradas: *Gloeocapsa calcicola*, *G. quaternata*, *Gloeocapsa* sp., *Asterocapsa* sp., *Chroococcus* cf. *schizodermaticus*, *C.* cf. *turencensis*, *Scytonema guyanense*, *Trentepohlia aurea*.

Figura 23. Desprendimiento del crecimiento con restos del sustrato.

7. Basamento (S)



Figura 24. Película negra rugosa en el basamento.

Este sitio está ubicado



caso de sur

Figura 25. Vista de la película negra en el basamento.

en la fachada del edificio, corresponde a

un espacio abierto, el cual está casi en su totalidad cubierto por una película negra con algunos lunares naranjas. La textura de la película es rugosa y a veces pulverulenta. Se observaron fisuras entre las juntas.

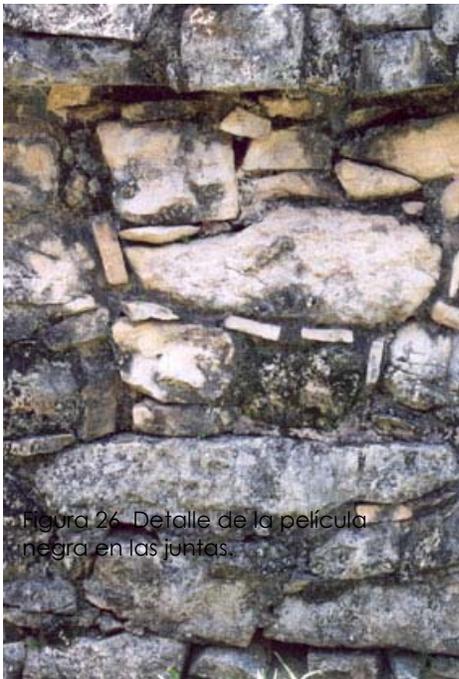


Figura 26. Detalle de la película negra en las juntas.

Especies encontradas: *Cyanothece* sp., *Aphanothece castagnei*, *Gloeothece palea*, *Aphanocapsa* sp., *Gloeocapsa calcicola*, *G. quaternata*, *Gloeocapsa* sp., *Asterocapsa* sp., *Chroococcus* cf. *schizodermaticus*, *C.* cf. *turencensis*, *Leptolyngbya* cf. *compacta*, *Schizothrix* cf. *bosniaca*, *Scytonema guyanense*, *Trentepohlia aurea*.

8. Pasillos subterráneos (S)

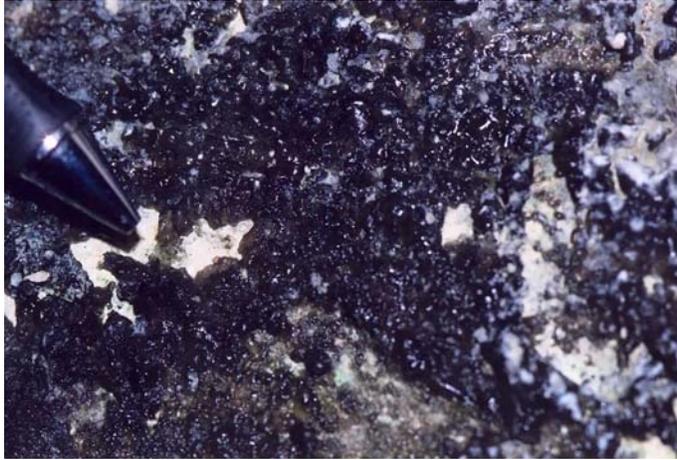
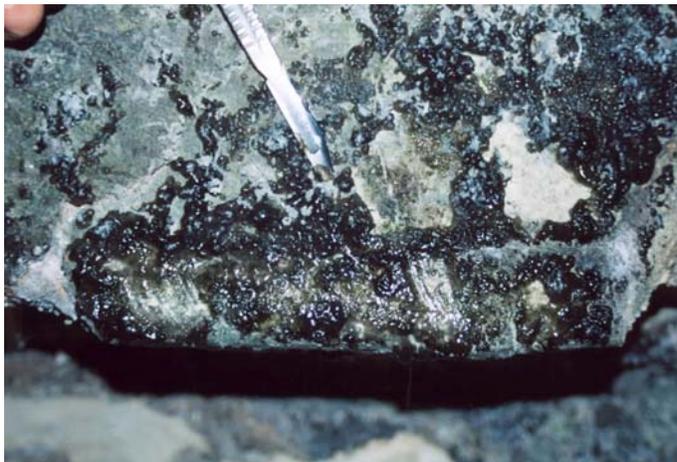


Figura 27. Aspecto de la película negra (mucilaginosa).



Figura 28. Vista del pasillo.



schizodermaticus, Leptolyngbya cf. compacta,

Figura 29. Detalle de la película negra (mucilaginosa).

Este sitio corresponde a un espacio cubierto, con iluminación artificial y algunas entradas pequeñas de luz natural. Hay crecimientos verde brillante y negros, todos mucilaginosos, se observó un proceso de disolución del sustrato.

Especies encontradas: *Cyanothece* sp 1, *Cyanothece* sp 2, *Gleothece palea*, *Gleocapsa calcicola*, *G. quaternata*, *Asterocapsa* sp., *Chroococcus* cf.

9. Escaleras subterráneas



Figura 30. Vista de la película (mucilaginosa).

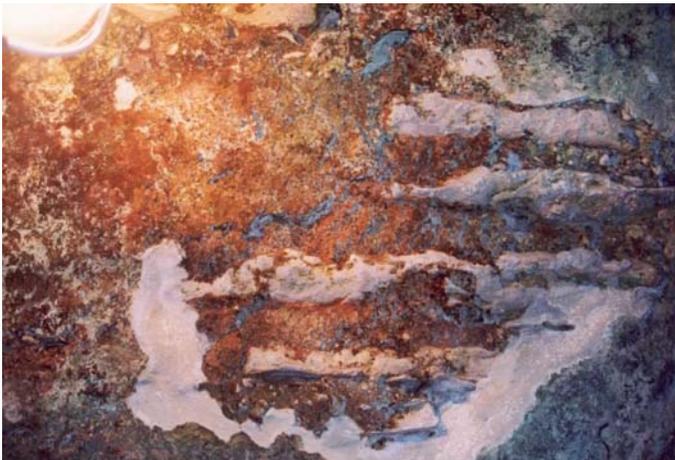


Figura 31. Detalle de la película (mucilaginosa).

Este sitio corresponde a un espacio cubierto, iluminado artificialmente, en donde se observan crecimientos verde brillante y naranjas con textura ligeramente mucilaginosa y en ciertas áreas ásperas.

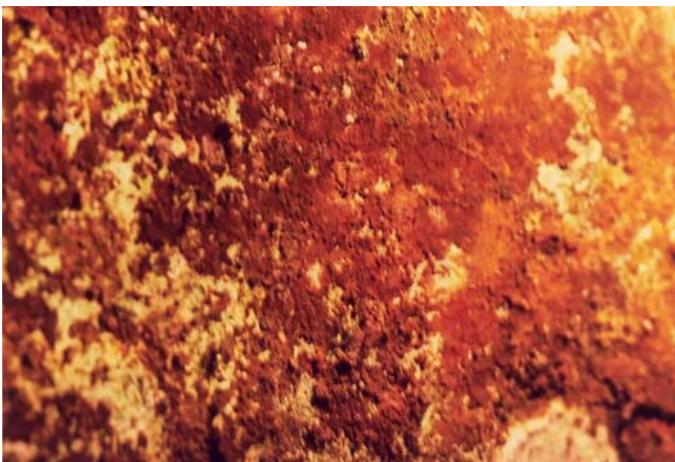


Figura 32. Detalle del crecimiento.

Especies encontradas: *Gloeocapsa calcicola*, *G. quaternata*, *Gloeocapsa* sp., *Leptolyngbya* cf. *compacta*, *Nostoc* sp., *Trentepohlia aurea*.

10. Ventana en subterráneos (O)



Figura 33. Aspecto del crecimiento



Figura 34. Detalle de la película y color del crecimiento.

Este sitio es un espacio cerrado, que corresponde a un muro con una ventana en forma de "T" que permite la entrada de luz natural. Los crecimientos algales son tersos de color verde pasto brillante. No se observaron fisuras ni desprendimiento de material.

Especies encontradas: *Cyanothece* sp., *Aphanocapsa* sp., *Gloeocapsa calcicola*, *G. quaternata*, *Chroococcus* cf. *schizodermaticus*, *C.* cf. *turencensis*, *Leptolyngbya* cf. *compacta*, *Schizothrix* cf. *bosniaca*, *Scytonema guyanense*, *Trentepohlia aurea*.

11. Pilares (O)



Figura 35. Vista del pasillo.



Figura 36. Detalle del crecimiento.



Figura 37. Vista del crecimiento.

Este sitio se encuentra en la parte superior del conjunto Palacio. Es un pasillo largo donde es frecuente ver trabajos de restauración y es el más visitado por turistas. Presenta manchas sobre los acabados, en su mayoría negras a manera de escurrimientos y también costras. Durante el periodo de mayor humedad las manchas negras son escurrimientos. Estos pilares son los que se observaron más dañados ya que hay muchas fisuras y hay pérdida de material.

Especies encontradas: *Gloeocapsa calcicola*, *G. quaternata*, *Gloeocapsa* sp., *Asterocapsa* sp., *Chroococcus* cf. *schizodermaticus*, *C.* cf. *turencensis*, *Leptolyngbya* cf. *compacta*, *Scytonema guyanense*

12. Crujía con escurrimiento (O)

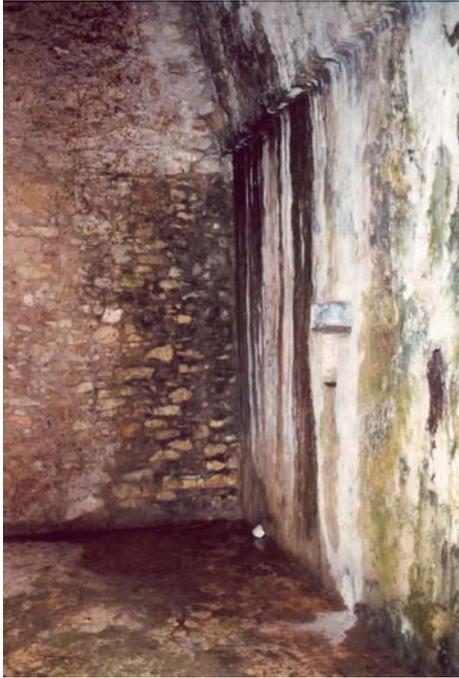


Figura 38. Vista de la crujía.



Figura 39. Vista del escurrimiento.

Este sitio corresponde a un espacio cerrado con poca iluminación durante el día. Existen filtraciones en el techo por lo cual se forman escurrimientos verde brillante y negruzcos en la pared, además se observó depositación carbonatos entre los crecimientos algales.

Especies encontradas: *Gloeotheca palea*, *Gloeocapsa calcicola*, *G. quaternata*, *Asterocapsa* sp., *Schizothrix* cf. *bosniaca*, *Scytonema guyanense*, *Nostoc* sp., *Trentepohlia aurea*.



Figura 40. Detalle del crecimiento.

13. Crujía basamento (O)



Figura 41. Vista de la cruja.



Figura 42. Aspecto del crecimiento.

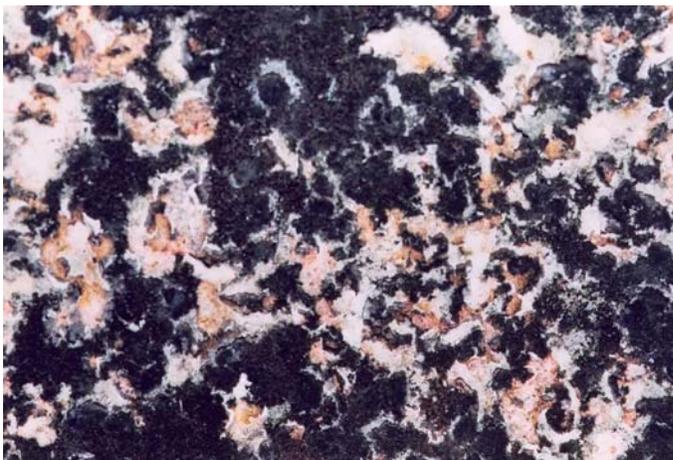


Figura 43. Detalle del crecimiento.

El sitio corresponde a un espacio abierto, expuesto a largos periodos de iluminación y sombra en ciertos momentos el día. Se encontraron crecimientos negros y naranjas. Durante el periodo de mayor pluviosidad hay crecimientos tersos y otros mucilaginosos; mientras que durante el periodo de sequía estos crecimientos son de textura rugosa, es en este periodo cuando existe desprendimiento del material.

Especies encontradas: *Gloeotheca palea*, *Aphanocapsa* sp., *Gloeocapsa calcicola*, *G. quaternata*, *Asterocapsa* sp., *Chroococcus* cf. *schizodermaticus*, *C.* cf. *turencensis*, *Leptolyngbya* cf. *compacta*, *Scytonema guyanense*, *Nostoc* sp., *Trentepohlia aurea*.

14. Basamento (N)



Aunque este sitio corresponde a un espacio abierto, la luz no llega a ser tan intensa como en otras partes del conjunto. En la fachada se observan grandes manchas negras de textura rugosa y en periodos de intensa lluvia se vuelven ligeramente mucilaginosos. Se llegan a encontrar pequeñas fisuras entre las juntas, no hay desprendimiento de material.

Figura 44. Vista del basamento



Especies encontradas: *Aphanothece castagnei*, *Gloeothece palea*, *Gloeocapsa* sp., *G. calcicola*, *G. quaternata*, *Asterocapsa* sp., *Chroococcus* cf. *schizodermaticus*, *C.* cf. *turencensis*, *Leptolyngbya* cf. *compacta*, *Scytonema guyanense*, *Trentepohlia aurea*.

Figura 45. Vista de las manchas negras sobre el basamento.

15. Crujía (N/E)



Figura 46. Aspecto del crecimiento (pulverulento).



Este sitio corresponde a un espacio abierto, poco insolado durante el día. Se presentan manchas negras que cubren casi la totalidad de la pared, de textura tersa y pulverulenta. Se observa desprendimiento del material.

Especies encontradas: *Aphanocapsa* sp., *Gloeocapsa calcicola*, *G. quaternata*, *Asterocapsa* sp., *Chroococcus* cf. *schizodermaticus*, *C.* cf. *turencensis*

Figura 47. Detalle del crecimiento.

16. Pasillo de la Torre



Figura 48. Aspecto del crecimiento.

Este sitio corresponde a un espacio abierto orientado al norte. La pared en su totalidad está cubierta por crecimientos naranjas durante todo el año y la intensidad del color depende de las condiciones de cada periodo. Los crecimientos son de textura tersa. Durante el periodo de mayor humedad estos crecimientos son naranja intenso y de textura ligeramente mucilaginosa, mientras que durante el periodo de menor humedad llegan a ser rojos ladrillo con textura rugosa. En ocasiones se observó un color grisáceo que manifestó la presencia de hongos sobre él.



Figura 49. Detalle del crecimiento (terso).

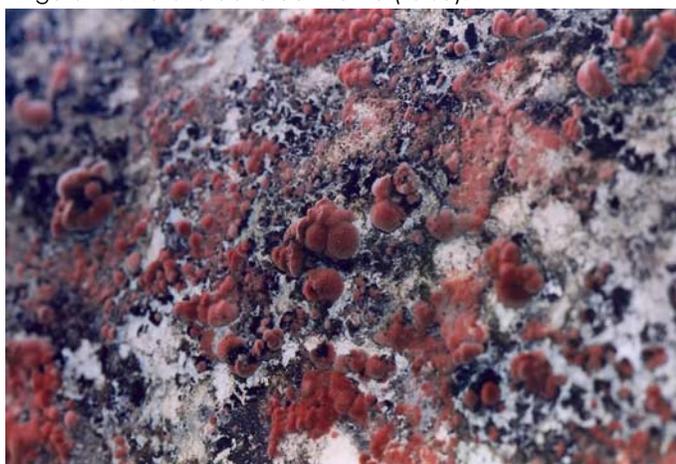


Figura 50. Detalle del crecimiento (rugoso).

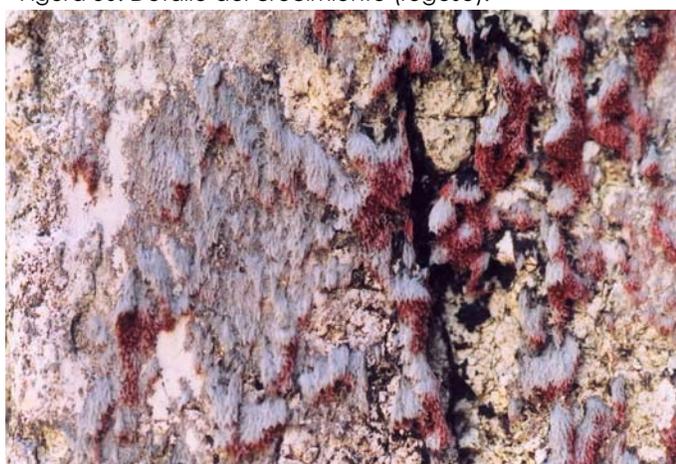


Figura 51. Detalle del crecimiento (rugoso).

Especies encontradas: *Gloeothece palea*, *Aphanocapsa* sp., *Gloeocapsa* sp., *G. calcicola*, *G. quaternata*, *Asterocapsa* sp., *Chroococcus* cf. *schizodermaticus*, *C.* cf. *turencensis*, *Scytonema guyanense*, *Nostoc* sp., *Trentepohlia aurea*.

Condiciones ambientales

Se tomó el promedio de las condiciones ambientales en cada fecha de muestreo bajo las cuales se encontraron los crecimientos algales (Tabla 4). En esta tabla se aprecia que las condiciones generales del sitio mantiene una relación directa entre la temperatura, la humedad relativa, mientras que la luz muestra cambios en los diferentes muestreos. (Tabla 4; Figura 6)

Tabla 4. Datos ambientales obtenidos de los muestreos

Fecha	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Intensidad luminosa ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
junio 2003	33.84	53.90	565.68
noviembre 2003	28.40	73.49	123.24
abril 2004	30.22	56.84	131.46
noviembre 2004	26.01	71.91	261.70

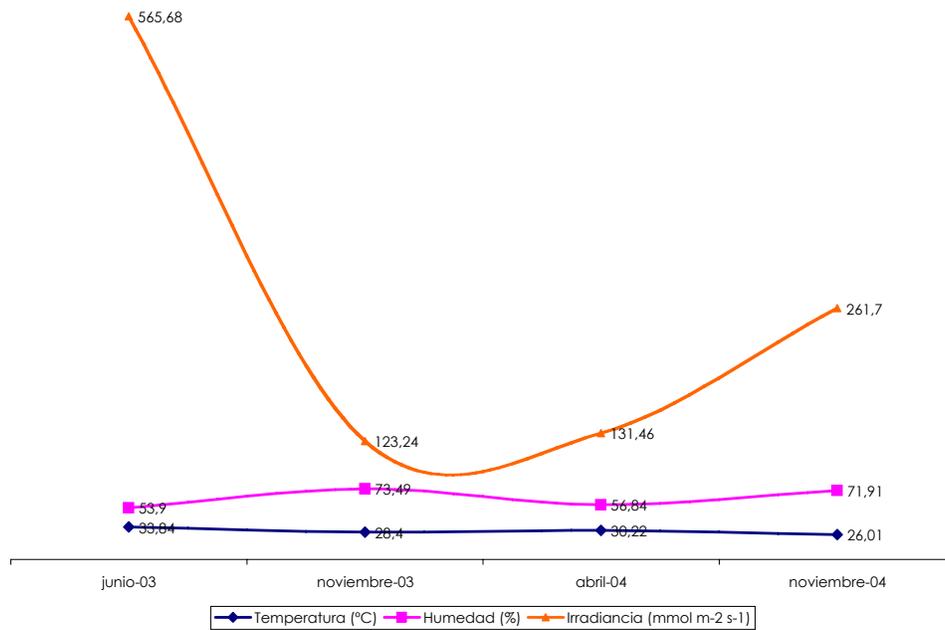


Figura 6. Gráfica de datos ambientales

COMPOSICIÓN DE LOS CRECIMIENTOS Y DISTRIBUCIÓN EN PALACIO

En cada uno de los sitios muestreados los crecimientos algales estaban compuestos por diferentes especies principalmente Cyanoprokaryota y Chlorophyta y donde las especies dominantes fueron *Scytonema guyanense*, *Asterocapsa* sp y *Trentepohlia aurea*. El mayor número de especies registradas se encontró en las zonas más sombreadas y responden a especies unicelulares como el caso de *Gloeocapsa calcicola* y *Gloeocapsa quaternata* Las especies que dominan las zonas más iluminadas son *Scytonema guyanense* y *Trentepohlia aurea*. (Tabla 5, 6, 7 y8)

Tabla 5. Especies dominantes en los sitios muestreados.

Sitios de muestreo	aspecto del crecimiento	forma de crecimiento	especie(s) dominante
(1) Pilares (E)	mucilaginoso / costroso	película	<i>Gloeocapsa quaternata</i> <i>Gloeocapsa calcicola</i>
(2) Medallones (E)	costroso	película	<i>Gloeocapsa calcicola</i>
(3) Crujía (E)	rugoso	tapete	<i>Scytonema guyanense</i>
(4) Muro atrás de medallones (E)	terso	tapete	<i>Scytonema guyanense</i> <i>Trentepohlia aurea</i>
(5) Crujía (E)	rugoso / mucilaginoso	tapete / película	<i>Scytonema guyanense</i> <i>Chroococcus</i> cf. <i>turencensis</i> <i>Chroococcus</i> cf. <i>schizodermaticus</i>
(6) Techo crujía (S)	terso	tapete	<i>Scytonema guyanense</i>
(7) Basamento (S)	rugoso	tapete	<i>Scytonema guyanense</i> <i>Chroococcus</i> cf. <i>turencensis</i> <i>Chroococcus</i> cf. <i>schizodermaticus</i>
(8) Pasillos subterráneos (S)	mucilaginoso	tapete	<i>Cyanothece</i> sp2
(9) Escaleras subterráneos	mucilaginoso	película	<i>Trentepohlia aurea</i> <i>Leptolyngbya</i> cf. <i>compacta</i>
(10) Subterráneos (ventana O)	terso	película	<i>Scytonema guyanense</i> <i>Chroococcus</i> cf. <i>turencensis</i> <i>Chroococcus</i> cf. <i>schizodermaticus</i>
(11) Pilares (O)	costroso	película	<i>Scytonema guyanense</i>
(12) Crujía escurrimiento (O)	costroso / mucilaginoso	película	<i>Gloeocapsa quaternata</i> <i>Leptolyngbya</i> cf. <i>compacta</i>
(13) Crujía basamento (O)	rugoso	tapete	<i>Scytonema guyanense</i> <i>Trentepohlia aurea</i>
(14) Basamento (N)	rugoso	tapete	<i>Scytonema guyanense</i>
(15) Crujía (N/E)	pulverulento	película	<i>Asterocapsa</i> sp.
(16) Pasillo Torre	terso	tapete	<i>Trentepohlia aurea</i>

Tabla 6. Distribución de especies en los sitios muestreados del conjunto Palacio.

Taxa/	este					sur				oeste				norte		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Cyanoprokaryota																
<i>Cyanothece</i> sp1.							o	o		o						
<i>Aphanothece castagnei</i>	o	o	o				o							o		
<i>Gloeothece palea</i>	o	o	o	o	o		o	o				o	o	o		o
<i>Aphanocapsa</i> sp.		o					o			o			o		o	
<i>Gloeocapsa calcicola</i>	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
<i>Gloeocapsa quaternata</i>	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
<i>Gloeocapsa</i> sp.	o	o	o	o	o	o	o		o		o			o		o
<i>Asterocapsa</i> sp.	o	o	o	o	o	o	o	o			o	o	o	o	o	o
<i>Chroococcus</i> cf. <i>schizodermaticus</i>	o	o	o	o		o	o	o		o	o		o	o	o	o
<i>Chroococcus</i> cf. <i>turencensis</i>	o	o	o	o		o	o			o	o		o	o	o	o
<i>Cyanothece</i> sp2.								o								
<i>Leptolyngbya</i> cf. <i>compacta</i>	o	o	o				o	o	o	o			o	o		
<i>Schizothrix</i> cf. <i>bosniaca</i>	o	o					o			o		o				
<i>Scytonema guyanense</i>	o	o	o	o	o	o	o			o	o	o	o	o		o
<i>Nostoc</i> sp.	o	o	o		o				o				o			o
Chlorophyta																
<i>Trentepohlia aurea</i>	o	o	o	o	o	o	o		o	o		o	o	o		o
Total de especies en cada sitio	13	14	12	9	8	8	14	8	6	10	8	7	11	11	6	10

Tabla 7. Distribución de especies en los sitios muestreados en secas.

	este					sur				oeste				norte		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Cyanoprokaryota																
<i>Cyanothece</i> sp.										o						
<i>Aphanothece castagnei</i>			o				o							o		
<i>Gloeothece palea</i>	o			o	o		o				o	o	o			o
<i>Aphanocapsa</i> sp.		o					o									
<i>Gloeocapsa calcicola</i>	o	o	o	o	o		o	o		o	o	o	o	o		o
<i>Gloeocapsa quaternata</i>	o	o	o	o	o		o	o		o	o	o	o	o		o
<i>Gloeocapsa</i> sp.	o			o		o			o		o			o		o
<i>Asterocapsa</i> sp.	o	o	o	o	o		o	o					o	o		o
<i>Chroococcus</i> cf. <i>schizodermaticus</i>			o	o			o	o		o			o			o
<i>Chroococcus</i> cf. <i>turencensis</i>			o	o			o			o			o			o
<i>Cyanothece</i> sp2.								o								
<i>Leptolyngbya</i> cf. <i>compacta</i>	o	o	o				o		o	o			o	o		
<i>Schizothrix</i> cf. <i>bosniaca</i>	o									o						
<i>Scytonema guyanense</i>	o		o	o	o	o	o			o	o	o	o	o		o
<i>Nostoc</i> sp.	o	o			o				o				o			
Chlorophyta																
<i>Trentepohlia aurea</i>	o	o		o	o		o		o	o		o	o	o		o
Total de especies en cada sitio	10	7	8	9	7	2	11	5	4	9	1	5	10	9		9

Tabla 8. Distribución de especies en los sitios muestreados en lluvias.

	este					sur				oeste				norte		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Cyanoprokaryota																
<i>Cyanothece</i> sp.							o	o								
<i>Aphanothece castagnei</i>	o	o					o							o		
<i>Gloeothece palea</i>		o	o	o	o		o	o				o	o	o		o
<i>Aphanocapsa</i> sp.		o								o			o		o	
<i>Gloeocapsa calcicola</i>		o	o		o	o	o	o			o	o	o	o	o	o
<i>Gloeocapsa quaternata</i>		o	o	o	o		o	o	o		o	o	o		o	o
<i>Gloeocapsa</i> sp.		o	o	o	o		o							o		o
<i>Asterocapsa</i> sp.	o				o	o	o	o			o	o		o	o	o
<i>Chroococcus</i> cf. <i>schizodermaticus</i>	o	o				o	o				o			o	o	o
<i>Chroococcus</i> cf. <i>turencensis</i>	o	o				o	o				o			o	o	o
<i>Cyanothece</i> sp2								o								
<i>Leptolyngbya</i> cf. <i>compacta</i>	o	o					o	o		o	o					
<i>Schizothrix</i> cf. <i>bosniaca</i>		o					o					o				
<i>Scytonema guyanense</i>	o	o	o	o	o	o	o			o	o	o	o	o		o
<i>Nostoc</i> sp.	o		o				o		o				o			o
Chlorophyta																
<i>Trentepohlia aurea</i>			o	o	o	o	o		o			o		o		o
Total de especies en cada sitio	7	11	7	5	7	6	14	7	3	3	7	6	7	9	6	10

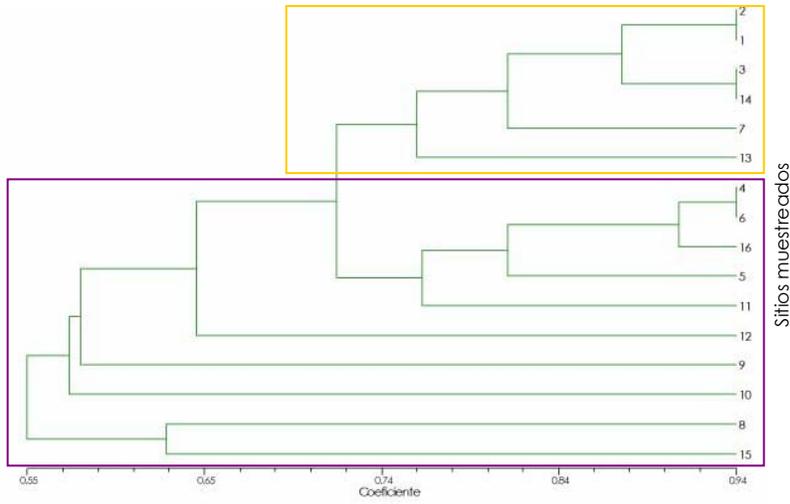


Figura 52. Similitud (presencia/ausencia de especies) entre los sitios muestreados

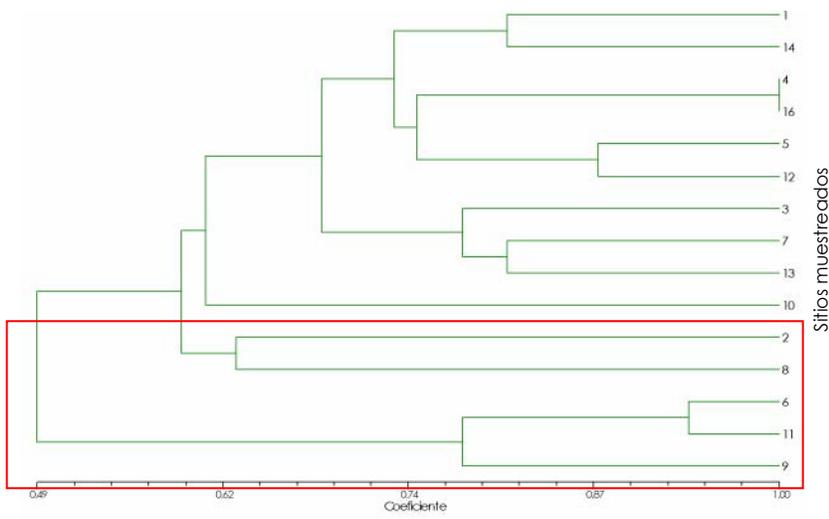


Figura 53. Similitud (presencia/ausencia de especies) entre los sitios muestreados en secas

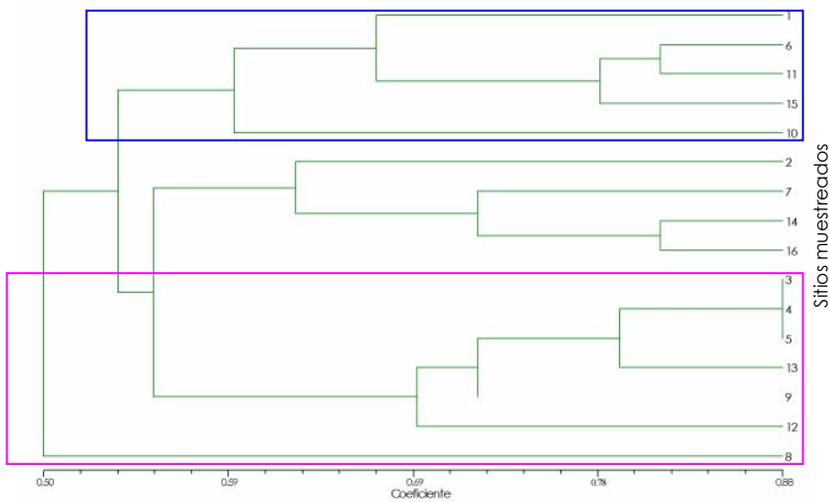


Figura 54. Similitud (presencia/ausencia de especies) entre los sitios muestreados en lluvias

A continuación se muestra el patrón de iluminación y la distribución de los sitios muestreados. (Figura 55). La luz llega de diferente manera a lo largo del año. Durante abril (Figura 56) y junio (Figura 57) prácticamente todo el conjunto es iluminado en su totalidad, la temperatura es elevada y se observaron una mayor cantidad de crecimientos rugosos que forman grandes tapetes negros. En noviembre (Figura 58) la luz que llega al conjunto no ilumina por completo el lugar dejando algunos espacios prácticamente oscuros donde es fácil observar películas mucilaginosas; los tapetes rugosos antes mencionados ahora son tersos.

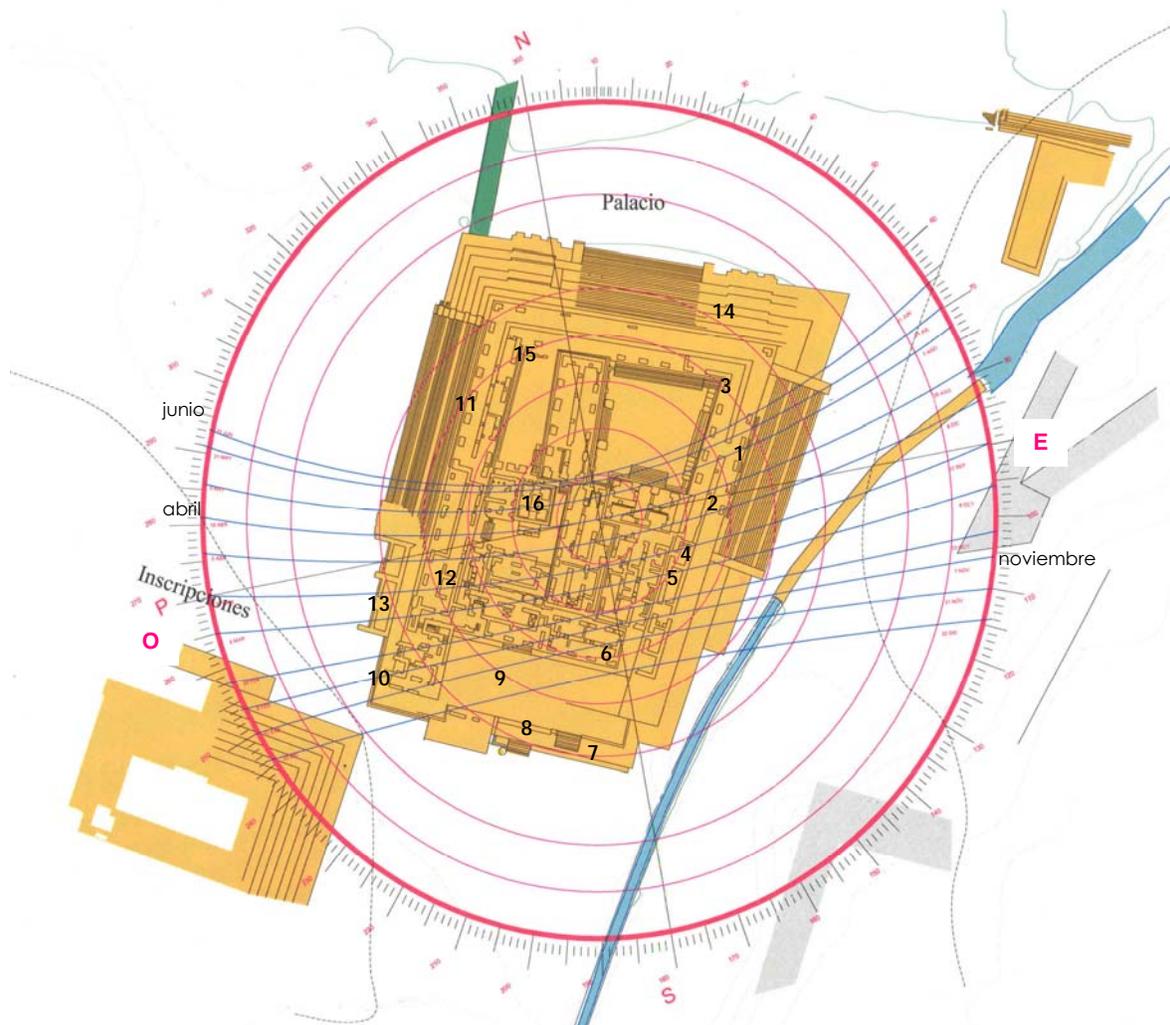


Figura 55. Sitios muestreados en Palacio y patrón de iluminación (recorrido solar anual en planta arquitectónica)



Figura 56. Patrón de iluminación (abril)
a) 6 hr, b) 8 hr, c) 10 hr, d) 12 hr, e) 15 hr, f) 18 hr

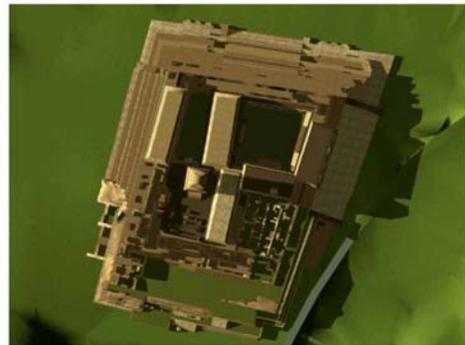
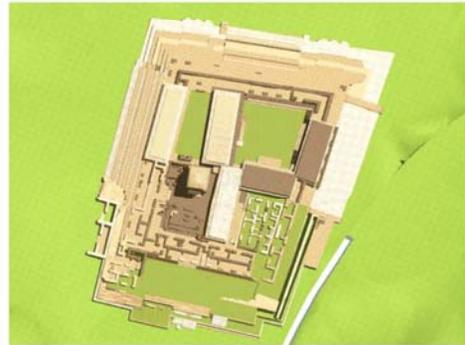


Figura 57. Patrón de iluminación (junio)
a) 6 hr, b) 8 hr, c) 10 hr, d) 12 hr, e) 15 hr, f) 18 hr

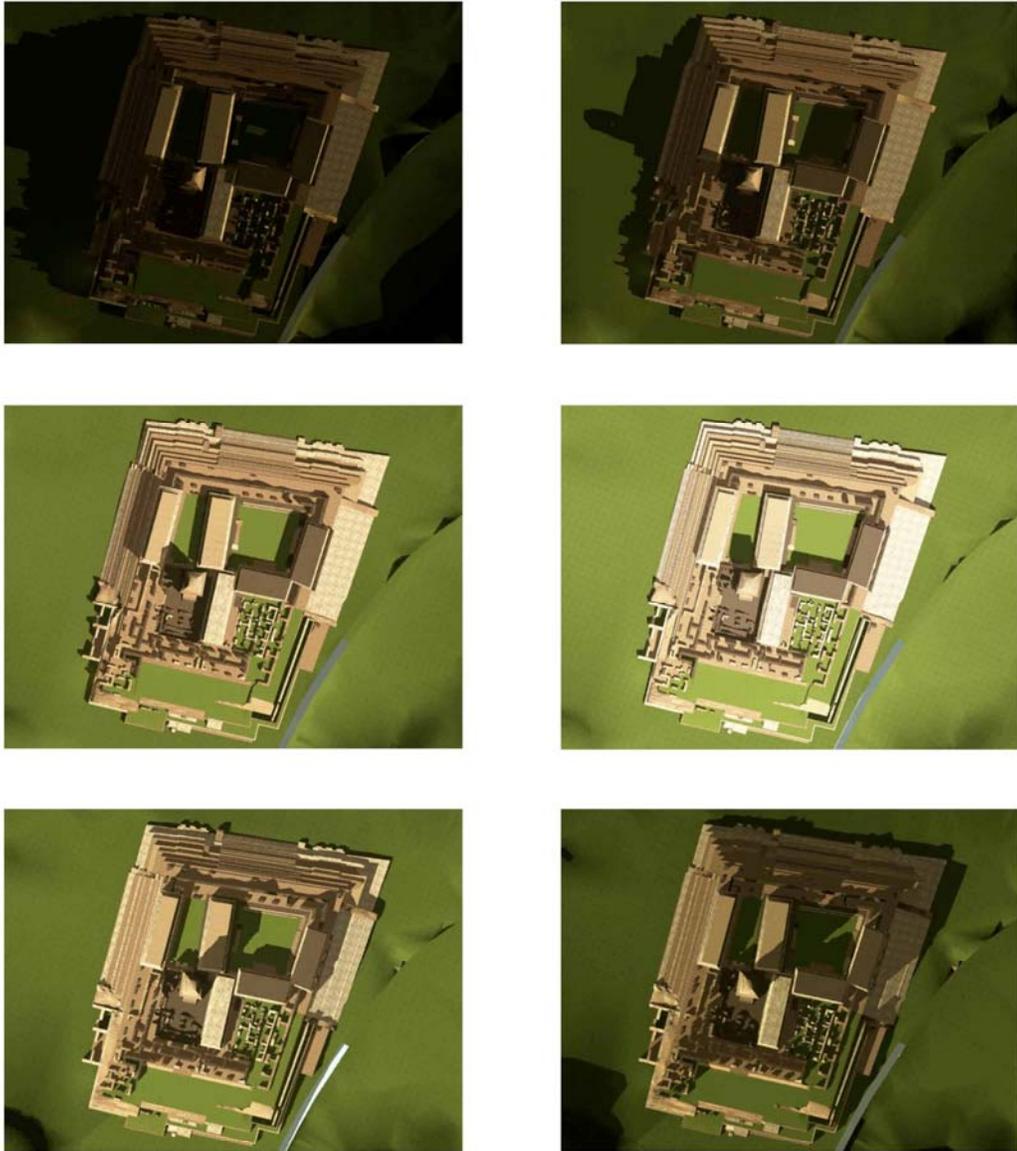


Figura 58. Patrón de iluminación (noviembre)
a) 6 hr, b) 8 hr, c) 10 hr, d) 12 hr, e) 15 hr, f) 18 hr

DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES

Cyanoprokayota
Chroococcales
Synechococcaceae

Cyanothece Komárek

Células solitarias o en dos después de la división (pero algunas veces se agregan en grupos, formando racimos y/o matas), sin envoltura gelatinosa o con adelgazamiento de la vaina, fina, hialina, margen gelatinoso indistinguible alrededor de las células. Células ligeramente ovales.

Cyanothece sp1.

Lámina 1 (a-b)

Células solitarias o en pares después de la división algunas veces en agrupaciones irregulares. Rodeadas por una vaina. Células ovaladas azul verdosas a azul grisácea, el contenido celular es granuloso. Diámetro: 3.96-5.28 μm ; largo: 4.62-8.91 μm .

Distribución en Palacio: Basamento (7), Pasillos subterráneos (8), Subterráneos (10)

Cyanothece sp2.

Lámina 5 (a-b)

Crecimientos macroscópicos subaéreos, el talo da la apariencia de ser oscuros. No hay depositación de material calcáreo en la vaina. La colonia es amorfa-lobada de 26.56-54.78 μm . El talo es formado por agrupaciones irregulares de colonias continuas; no se aprecia vaina. Las células jóvenes se organizan en la parte central de la colonia en filas radiales poco distinguibles. La vaina es incolora a grisácea. En esta población no se observaron estadios unicelulares en la colonia. La forma de las células es subesférica. No se observaron nanocitos. Diámetro: 2.49-3.32 μm ; largo: 3.32-6.64 μm .

Distribución en Palacio: Pasillo subterráneos (8)

Aphanothece Nägeli

Colonias micro a macroscópicas, esféricas o irregulares, con células dispuestas densa o laxamente, sin orden en el mucílago. Colonias verdosas, azulosas, pardas o rojizas. El mucílago es difluente o limitado, sin estructura interna, incoloro o coloreado, en la parte superficial, amarillento, parduzco a rojizo. Células sin envoltura mucilaginoso propia o sólo en las partes marginales de las colonias y en ese caso es fina, lamelada. Células ovales, elipsoidales, rectas o

ligeramente curvas con ápices redondeados; azul grisáceo, verde azul pálido o rojizas con cromoplasma periférico. División celular en un plano (transversal) en generaciones sucesivas. La multiplicación es por desintegración de las colonias. Nanocitos conocidos en algunas especies

Aphanothece castagnei (Brébisson) Rabenhorst

Lámina 1 (c-d)

Colonia esférica, subaérea, coloración del talo de verde a pardo; la vaina firme, hialina a ligeramente amarillenta. Diámetro de la colonia hasta 102.92 μm . No presenta nanocitos ni aerotopos. Células elipsoidales ligeramente granuladas. Diámetro: 4.15-6.64 μm ; largo: 9.96-13.28 μm .

Distribución en Palacio: Pilares (1), Medallones (2), Crujía (3), Basamento (7), Basamento (14)

Gloeothece Nägeli

Grupos de células microscópicas o formando conglomerados multicelulares de colonias pequeñas hasta capas macroscópicas gelatinosas o granuladas. Las células y sus grupos siempre con sus vainas individuales, generalmente lameladas concéntricamente con forma similar a la célula. El mucílago es incoloro, amarillo parduzco, azulado, azul oscuro, raramente rojizo. La disposición de las células en la colonia es irregular más o menos distantes entre sí. Las células son ampliamente ovales o baciliformes, azul grisáceo pálido, verde azul o verde olivo, generalmente con un contenido ligeramente granular o con gránulos prominentes. La división celular es transversal, perpendicular al eje principal de la célula en generaciones sucesivas, las células hijas se separan rápidamente y producen una vaina gelatinosa individual, crece hasta la talla y forma original antes de la siguiente división. La producción de nanocitos se ha observado esporádicamente. Multiplicación por la desintegración de las colonias.

Gloeothece palea (Kützing) Rabenhorst

Lámina 1 (e-f)

Colonias formando aglomeraciones. Color de la vaina hialina a ligeramente amarillenta de aspecto gelatinoso y vainas lameladas concéntricas. Epilítica, subaérea. Las células son de color azul verde a violeta con un diámetro 2.31-2.64 μm y un largo de 2.64-7.26 μm . Células con vaina, diámetro: 4.62-11.22 μm ; largo: 6.60-11.88 μm .

Distribución en Palacio: Pilares (1), Medallones (2), Crujía (3), Muro (4), Crujía (5), Basamento (7), Pasillos subterráneos (8), Crujía (12), Crujía basamento (13), Basamento (14), Pasillo Torre (16)

Merismopediaceae

***Aphanocapsa* Nägeli**

Colonias micro y macroscópicas, esféricas a irregulares, con una vaina hialina homogénea, amarillenta o incolora, con límites claros. Células alejadas entre sí excepto después de la división, esféricas o hemisféricas arregladas irregularmente en las colonias, la división binaria se produce sólo en dos planos perpendiculares. Cada célula con una vaina individual poco evidente o ausente.

***Aphanocapsa parietina* Nägeli**

Lámina 2 (a-b)

Colonias esféricas que agrupan células con vaina propia, subaérea, de 119.52 μm , el color de las células es verde-azul a pardo, las células al interior de la colonia están densamente dispuestas. La consistencia de la vaina de la colonia es firme y el color es hialino a ligeramente amarillo. Diámetro: 9.96-11.62 μm ; largo: 11.62-16.6 μm .

Distribución en Palacio: Medallones (2), Basamento (7), Sabterráneos (10), Crujía basamento (13), Crujía (15)

Microcystaceae

***Gloeocapsa* Kützing**

Células formando agrupaciones mucilaginosas micro y macroscópicas, amorfas y a veces cubriendo grandes superficies sobre piedras húmedas. Las colonias están formadas por grupos de células que están envueltas en vainas mucilaginosas amplias y lameladas concéntricamente, coloreadas (rojizas, azulosas, naranjas, amarillentas). Las células están dispuestas irregularmente en la colonia y distantes unas a otras excepto durante la división celular. Cada célula produce su vaina inmediatamente después de la división, esta vaina es amplia y no necesariamente simétrica al contorno de la célula. Las células son esféricas cuando adultas, hemisféricas cuando recién divididas; verde azules a verde olivo y con un contenido granular fino. La división celular es en tres planos perpendiculares en generaciones sucesivas; las células hijas se separan y crecen rápidamente antes de la siguiente división. La multiplicación es por fragmentación de la colonia con formación ocasional de nanocitos.

Gloeocapsa calcicola Gardner

Lámina 2 (b-d)

Crecimientos subaéreos, pardos durante época de lluvias y negruzcos en la época más seca, coloración de la vaina ligeramente rosada a amarillenta, muy lamelada y firme, no hay vaina común entre células hijas. Diámetro: 2.64-4.15 μm ; diámetro con vaina: 9.24-18.48 μm .

Distribución en Palacio: Pilares (1), Medallones (2), Crujía (3), Muro (4), Crujía (5), Techo crujía (6), Basamento (7), Pasillos subterráneos (8), Escaleras subterráneos (9), Subterráneos (10), Pilares (11), Crujía (12), Crujía (13), Basamento (14), Crujía (15)

Gloeocapsa quaternata Brébisson Kützing

Lámina 2 (e-f), Lámina 3 (a)

Talos amarillo pardo a verde botella oscuro en crecimientos masivos, subaéreos, el color de la vaina es amarillo pardo a pardo, la estructura de la vaina es firme de apariencia densa; presentan vaina común entre las colonias hijas, las vainas individuales son ligeramente amplias; no hay presencia de calcio en las vainas. Diámetro sin vaina: 2.32-3.48 μm ; largo: 3.15-7.47 μm . Diámetro con vaina: 5-6.5 μm ; largo 6-8.5 μm .

Distribución en Palacio: Pilares (1), Medallones (2), Crujía (3), Muro (4), Crujía (5), Techo crujía (6), Basamento (7), Pasillos subterráneos (8), Escaleras subterráneos (9), Subterráneos (10), Pilares (11), Crujía (12), Crujía (13), Basamento (14), Crujía (15)

Gloeocapsa sp.1

Lámina 3 (b)

Talos de color del verde-azul, subaéreos; la vaina es hialina, la estructura de la vaina es densa, no hay vaina común entre las colonias hijas. No presenta calcio en las vainas. El color de las células de verde-azul a violáceo. Diámetro sin vaina: 3-4.2 μm ; diámetro con vaina: 6.2-10 μm .

Distribución en Palacio: Pilares (1), Medallones (2), Crujía (3), Muro (4), Crujía (5), Techo crujía (6), Basamento (7), Escaleras subterráneos (9), Pilares (11), Basamento (14), Pasillo Torre (16),

Chroococcaceae

Asterocapsa Chu

Células irregulares esféricas o alargadas (solitarias o en grupos), envueltas por una envoltura fina o delgada; vaina firme y granular algunas veces coloreada por los pigmentos que hay en las

vainas. La división de las células por fisión binaria irregular con las vainas, en tres planos de división. Las células divididas son ocasionalmente liberadas de grietas en las envolturas firmes. La superficie de las vainas de las células individuales y de las colonias están cubiertas por envolturas gruesas. Las células tienen forma redondeada, inicialmente son más o menos alargadas. Dado que la división es irregular las células hijas son liberadas a través de la vaina firme. En primeros estadios, las células crecen comúnmente solitarias o en grupos de dos células, es poco frecuente encontrar colonias con 4 células envueltas en la misma vaina. Las vainas son amarillentas hasta pardo oscuro.

***Asterocapsa* sp.**

Lámina 3 (c-f)

Crecimiento subaéreo, talo negruzco (formando crecimientos masivos). Células solitarias o en agrupaciones formando colonias de 13.32-114.54 μm . Las células solitarias son irregulares (poliédricas o conforma de riñón) envueltas por una vaina ornamentada, vaina hialina a ligeramente parda; células azul-verde (brillante). Diámetro celular sin vaina: 6.64-13.28 μm ; largo: 9.96-14.94 μm . Diámetro con vaina: 9.96-41.5 μm . Fase nanocítica presente en la población, colonia :2.1-3 μm ; diámetro de los nanocitos: 0.3-0.5 μm .

Distribución en Palacio: Pilares (1), Medallones (2), Crujía (3), Muro (4), Crujía (5), Techo crujía (6), Basamento (7), Pasillos subterráneos (8), Pilares (11), Crujía (12), Crujía (13), Basamento (14), Crujía (15), Pasillo Torre (16)

***Chroococcus* Nägeli**

Colonias microscópicas, de sólo algunas células, más o menos esféricas, muy raramente forma grandes crecimientos mucilaginosos; el mucílago de la colonia es fino, difluente, homogéneo e incoloro o lamelado, limitado y raramente coloreado; alrededor de algunas células existe una envoltura especial, usualmente copiando la forma de las células, homogénea o lamelada (y hasta ricamente lamelada), en las envolturas viejas es difluente y las células se mantienen distantes entre si. Las células raramente son esféricas, usualmente hemisféricas hasta irregulares (a menudo en forma de un sector de esfera), con contenido granular u homogéneo a veces con gránulos prominentes visibles en microscopio de luz; verde azul pálido o brillante, amarillento, rosado o violeta, raramente con aerotopos (en algunas especies planctónicas); a veces con cromoplasma visible (los tilacoides están concentrados periféricamente en la célula). La división de las células es en tres direcciones perpendiculares una a la otra en las primeras generaciones sucesivas, después es más o menos irregular (en otras direcciones); las células hijas

crecen siempre en la forma original. Las células hijas forman rápidamente su propia envoltura mucilaginosa. La multiplicación es por disgregación de las colonias y a veces por células solitarias.

***Chroococcus cf. schizodermaticus* W. et G.S. West**

Lámina 4 (a-c)

Colonia de 2-4 células (generalmente en pares), vaina hialina a ligeramente amarillenta, lamelada. Células semiesféricas. Células de color verde azul brillante, presenta gránulos pequeños y dispersos. Diámetro de la colonia: 7 – 20 μm , diámetro celular: 4 – 13 μm , largo: 5 – 16 μm .

Distribución en Palacio: Pilares (1), Medallones (2), Crujía (3), Muro (4), Techo crujía (6), Basamento (7), Pasillos subterráneos (8), Subterráneos (10), Pilares (11), Crujía (13), Basamento (14), Crujía (15), Pasillo Torre (16)

***Chroococcus cf. turencensis* (Nägeli) Hansgirg**

Lámina 4 (d-f)

Células solitarias o en colonias de 2-4 células, vaina ligeramente amarillenta, estratificada a lamelada. Células esféricas de color verde azul brillante con gránulos (pequeños dispersos, pequeños concentrados, grandes dispersos, grandes concentrados). Diámetro de la colonia: 14-30 μm . Diámetro celular: 11-18 μm . Descrito en zonas montañosas de las zonas templada y tropical.

Distribución en Palacio: Pilares (1), Medallones (2), Crujía (3), Muro (4), Techo crujía (6), Basamento (7), Subterráneos (10), Pilares (11), Crujía (13), Basamento (14), Crujía (15), Pasillo Torre (16)

Oscillatoriales

Pseudoanabaenaceae

***Leptolyngbya* Anagnostidis et Komárek**

Filamentos solitarios o formando talos complejos de varios milímetros de grosor, entremezclados: arqueados, ondulados, flexuosos, o sumamente enrollados. Isopolares, delgados de 0.5 a 3.2 μm de ancho, con una vaina delgada, simple pero firme, incolora. Las vainas puede estar abiertas en la parte apical y unidas o distantes de los tricomas, envolviendo uno o raramente dos de

ellos, muy raramente con ramificación falsa y generalmente sólo una rama lateral. Los tricomas son muy finos, cilíndricos no atenuados en los extremos y con células apicales redondeadas o cónicas, constreñidos o no en los septos, inmóviles. Células isodiamétricas o más largas que anchas, cilíndricas con un contenido más menos homogéneo, verde azul pálido, grisáceo, verde olivo, amarillento o rojizo, sin aerotopos, raramente con gránulos escasos y prominentes. Células apicales sin engrosamiento de la pared o caliptras. Las células se dividen más o menos simétricamente (raramente de forma asimétrica), por fisión binaria y crecen a su tamaño original antes de la siguiente división. La multiplicación es por hormogonios móviles, que se liberan de los tricomas por sus polos; fragmentándose sin presencia de necridios, pero en ocasiones por la muerte de algunas células (células de sacrificio). Un género muy común con muchas especies descritas bajo los nombres *Lyngbya*, *Phormidium* y *Plectonema*.

***Leptolyngbya cf. compacta* (Kützing ex Hansgirg) Komárek et Anagnostidis**

Lámina 5 (c-d)

El talo forma películas. Los filamentos son flexuosos. La relación de la vaina respecto al tricoma es cercana. Las vainas son individuales. No se presentan ramificaciones falsas. La zona apical del tricoma es recta. La forma de la célula apical es ligeramente redondeada. Las constricciones en los septos son ligeras. Las células son cilíndricas y más largas que anchas. Hay ligera granulación en los septos. No se observan aerotopos. Color de las células, verde azul-grisáceo. La reproducción es por hormogonios. Diámetro del filamento 2.5-3 µm; diámetro: 1.3-2 µm; largo: 1.9 – 3.3 µm. Esta especie ha sido registrada como endolécicas (viviendo en el mucílago de otras algas).

Distribución en Palacio: Pilares (1), Medallones (2), Crujía (3), Basamento (7), Pasillos subterráneos (8), Escaleras subterráneos (9), Subterráneos (10), Pilares (11), Crujía (13), Basamento (14)

Schizotrichaceae

***Schizothrix* Kützing ex Gomont**

Talos filamentosos formados por filamentos con más de un tricoma por vaina, dispuestos más o menos paralelamente; vaina fina, difluente, homogénea, lamelada o no, con márgenes ondulados o rectos. En ocasiones también con vainas individuales en los tricomas. Vainas incoloras, amarillentas, parduscas, rojizas o azul violáceas. Terminaciones de los filamentos con vainas cerradas. Los filamentos se reúnen en grupos más o menos ramificados, formando

fascículos erectos o incrustados con carbonato de calcio y formando talos hemisféricos costrosos. Tricomas cilíndricos, isopolares, no polarizados, con polos no atenuados, sin constricciones en los septos. Células cilíndricas más o menos isodiamétricas o más largas que anchas. Las células apicales son cónicas o redondeadas, sin caliptras ni engrosamientos de las paredes. División celular sin zonas meristemáticas. Reproducción por hormogonios.

Schizothrix cf. bosniaca (Hansgirg) Geitler

Lámina 5 (e-f)

Talo formado por agrupaciones pequeñas de filamentos. Vaina de los filamentos firme con márgenes rectos, con lamelación. No existe presencia de carbonatos de calcio sobre el talo. Vaina ligeramente amarillenta. Los ápices de los filamentos cerrados-agudos con un solo tricoma al final. Tricomas flexuosos muy entremezclados. El número de tricomas es abundante, generalmente más de 4 en cada filamento. Presentan gránulos dispersos en las células. La forma de las células apicales es cónica. Diámetro del tricoma: 2.4-5.7 μm , largo de las células: 3.7-11 μm .

Distribución en Palacio: Pilares (1), Medallones (2), Basamento (7), Subterráneos (10), Crujía (12)

Nostocales

Scytonemataceae

Scytonema Agardh ex Bornet et Flahault

Talos filamentosos o formando estratos y películas de filamentos densamente entremezclados, libres en fascículos, con ramas erectas. Filamentos con ramificaciones falsas en pares, raramente solitarias. Las ramificaciones se originan por la presencia de necridios entre dos heterocitos, pero no junto a ellos, ambas ramas crecen paralelas o en posición cruzada. Tricomas isopolares, cilíndricos, uniseriados con heterocitos solitarios intercalares, constreñidos en los septos. Las partes apicales de los tricomas son cilíndricas o ligeramente más amplias que el resto del tricoma. Células apicales redondeadas, células intercalares generalmente más alargadas que anchas. Vaina firme, limitada, con lamelas paralelas o divergentes, coloreada. Células verde olivo a verde azul pálido. Gránulos abundantes e irregularmente dispuestos. Las células apicales con grandes aerotopos. Heterocitos intercalares, solitarios, raramente en pares, cilíndricos o en forma de barril. Las células se dividen transversalmente en zonas meristemáticas cerca de los ápices. Multiplicación por hormogonios apicales, la germinación de los hormogonios es bipolar.

Scytonema guyanense (Montagne) Bornet et Flahaut

Lámina 6 (a-f)

Crecimiento subaéreo, heterótrico, de color negro. El talo se presenta a manera de tapetes epilíticos; el grosor puede variar de 2-5 mm. Se encuentra formado por filamentos en matas sobre el sustrato. Hay ramificaciones falsas; estas son erectas y no presentan heterocitos. Ápice de las ramas se adelgaza ligeramente. Los filamentos formados por una vaina gruesa en ocasiones lamelada de coloraciones que van desde hialinas hasta amarillo pardo. La vaina puede presentar ondulaciones. Las células del tricoma son irregulares en diferentes momentos del ciclo de desarrollo. Los heterocitos son intercalares pueden ser subcuadrados, rectangulares longitudinales o comprimidos, Diámetro de los filamentos: 21.58-39.50 μm ; diámetro celular: 4.98-14.11 μm ; largo de las células: 3.38-14.94 μm ; diámetro de los heterocitos: 3.40-14.94 μm ; largo de los heterocitos: 5.50-16.10 μm .

Distribución en Palacio: Pilares (1), Medallones (2), Crujía (3), Muro (4), Crujía (5), Techo crujía (6), Basamento (7), Subterráneos (10), Pilares (11), Crujía (12), Crujía (13), Basamento (14), Crujía (15), Pasillo Torre (16)

Nostocaceae

Nostoc Vaucher ex Bornet et Flahaut

Talos relativamente grandes, micro y macroscópicos. Mucilaginosos, amorfos o esféricos, irregularmente esféricos o lobados. Colonias con superficie suave o verrugosa, filamentosa o formando mucílagos planos papiráceos, generalmente con un periderma distinto. Los filamentos dentro de la colonia están irregularmente enrollados y laxa o densamente reunidos, en ocasiones más hacia la capa periférica, vainas individuales de cada filamento pero sólo son visibles en la periferia de la colonia o en colonias jóvenes, amplia y confluyente con el mucílagos de la colonia, en ocasiones parda amarillenta. Tricomas isopolares del mismo ancho a todo lo largo del filamento. Células apicales no diferenciadas, células cilíndricas, abariladas y hasta casi esféricas (formando filamentos moniliformes), amplia variabilidad en la talla y forma celular en la misma especie. Heterocitos solitarios, que se desarrollan terminal o intercaladamente, los tricomas son principalmente mataméricos. Los acinetos se desarrollan apoheterocíticos, ovoides, poco más grandes que las células, casi todas las células entre los heterocitos cambian sucesivamente en acinetos hacia los heterocitos. Las células se dividen transversalmente, la multiplicación es por medio de hormogonios móviles, los que se diferencian de los tricomas por desintegración del talo o por los acinetos. Los ciclos de vida son diversos y de complejidad

variable, la presencia de estadios aseriados, en paquetes y con heterocitos extracoloniales son frecuentes y dificultan la identificación específica.

***Nostoc* sp.**

Lámina 7 (a-f)

Hábitat subaéreo. Las formas generales de las colonias son globosas a subesféricas. El talo esta formado por varias colonias, talo de 2-8 cm. Las colonias son macroscópicas. El tipo de la vaina de la colonia es homogénea, lisa. Los filamentos en la colonia tienen un arreglo definido. La densidad de los filamentos en la colonia es alta pero no hay una orientación clara de los filamentos en la colonia. Los filamentos están ligeramente enrollados dentro de las colonias. No hay vainas individuales de los filamentos. Las células son esféricas sin aerotopos; largo de las células: 4.98-9.96 μm ; ancho: 5.81-7.47 μm . Los heterocitos son esféricos e intercalares, largo: 7.47-8.3 μm ; ancho: 6.64-8.30 μm .

Distribución en Palacio: Pilares (1), Medallones (2), Crujía (3), Crujía (5), Escaleras subterráneos (9), Crujía (13), Basamento (14), Pasillo Torre (16)

Chlorophyta

Trentepohliophyceae

Trentepohliales

***Trentepohlia* Martius**

Talos relativamente grandes, subaéreos, forman tapetes rojos-anaranjados; viven sobre las rocas, trocos de árboles. Filamentos uniseriados ramificados irregularmente (crecimiento heterótrico). Presentan un desarrollo postrado y un sistema erecto (abundante). Carecen de rizoides. Las células son redondas a globosas. La célula apical presenta una cubierta pectinada bien marcada. Las células usualmente uninucleadas, con cloroplastos parietales discoidales y pocas veces espiralados, no presentan pirenoides; en ocasiones no se logra apreciar la forma de los cloroplastos debido a los glóbulos de carotenoides que le proporcionan la coloración al talo. La reproducción es por medio de gametangios, generalmente intercalares en los filamentos erectos. También se producen esporangios terminales en las ramas erectas. En algunas ocasiones el esporangio puede formar zoosporas cuadriflageladas a través del poro de salida.

Trentepohlia aurea (Linneaus) Martius

Lámina 8 (a-f)

Alga subaérea, que crece sobre rocas calcáreas. Forma crecimientos naranja-rojizos y algunas veces verdes o completamente grises (por la presencia de hongos). Dimensiones del talo de 0.5 mm-2 cm. Su crecimiento es heterótrico (formada por filamentos ramificados en una porción postrada y otra erecta). Las células del talo postrado son redondeadas (a manera de rosario), largo: 3.96-23.24 μm ; ancho: 3.96-29.58 μm . Células del talo erecto, largo: 18.26-52.14 μm ; ancho: 9.96-26.56 μm ; las células vegetativas son diferentes al resto. Se forman de 2-4 esporangios por rama, largo: 17.82-33.2 μm ; ancho: 15.84-28.22 μm .

Distribución en Palacio: Pilares (1), Medallones (2), Crujía (3), Muro (4), Crujía (5), Techo crujía (6), Basamento (7), Escaleras subterráneos (9), Subterráneos (10), Crujía (12), Crujía (13), Basamento (14), Pasillo Torre (16).

DISCUSIÓN

CARACTERIZACIÓN DE LOS CRECIMIENTOS ALGALES

Se observaron diferentes coloraciones en los crecimientos que van desde negros, verdes, azul-verdes y naranjas a rojizos que dependen de las especies que integran cada crecimiento. También presentan cierta textura que indica posibles cambios en la morfología de la especie dominante. Durante abril y junio se observaron abundantes crecimientos en forma de tapetes rugosos negros, durante noviembre estos crecimientos presentaban textura tersa pero manteniendo la tonalidad oscura; la especie principal fue *Scytonema guyanense*.

Los colores oscuros de algunos crecimientos generalmente son resultado de la presencia de *Scytonema guyanense*, una Cyanoprokaryota filamentosa con vainas amplias de tonalidades pardas; dichas vainas presentan scytonemina que es el pigmento responsable de la coloración, este pigmento es una respuesta a manera de fotoprotección contra las longitudes de onda cortas de la radiación solar (García-Pichel y Castenholz, 1991; Whitton y Potts, 2000). Por otra parte, los crecimientos formados por tapetes naranjas a rojizos indicaron la presencia de *Trentepohlia aurea*, una Chlorophyta filamentosa con cantidades elevadas de β -caroteno que además de funcionar como pigmento accesorio actúa como antioxidante (Hoek, *et al.*, 1995).

Trentepohlia aurea (Linneaus) Martius

Lámina8 (a-f)

Alga subaérea, que crece sobre rocas calcáreas. Forma crecimientos naranja-rojizos y algunas veces verdes o completamente grises (por la presencia de hongos). Dimensiones del talo de 0.5 mm-2 cm. Su crecimiento es heterótrico (formada por filamentos ramificados en una porción postrada y otra erecta). Las células del talo postrado son redondeadas (a manera de rosario), largo: 3.96-23.24 μm ; ancho: 3,96-29.58 μm . Células del talo erecto, largo: 18.26-52.14 μm ; ancho: 9.96-26.56 μm ; las células vegetativas son diferentes al resto. Se forman de 2-4 esporangios por rama, largo: 17.82-33.2 μm ; ancho: 15.84-28.22 μm .

Distribución en Palacio: Pilares (1), Medallones (2), Crujía (3), Muro (4), Crujía (5), Techo crujía (6), Basamento (7), Escaleras subterráneos (9), Subterráneos (10), Crujía (12), Crujía (13), Basamento (14), Pasillo Torre (16).

DISCUSIÓN

CARACTERIZACIÓN DE LOS CRECIMIENTOS ALGALES

Se observaron diferentes coloraciones en los crecimientos que van desde negros, verdes, azul-verdes y naranjas a rojizos que dependen de las especies que integran cada crecimiento. También presentan cierta textura que indica posibles cambios en la morfología de la especie dominante. Durante abril y junio se observaron abundantes crecimientos en forma de tapetes rugosos negros, durante noviembre estos crecimientos presentaban textura tersa pero manteniendo la tonalidad oscura; la especie principal fue *Scytonema guyanense*.

Los colores oscuros de algunos crecimientos generalmente son resultado de la presencia de *Scytonema guyanense*, una Cyanoprokaryota filamentosa con vainas amplias de tonalidades pardas; dichas vainas presentan scytonemina que es el pigmento responsable de la coloración, este pigmento es una respuesta a manera de fotoprotección contra las longitudes de onda cortas de la radiación solar (García-Pichel y Castenholz, 1991; Whitton y Potts, 2000). Por otra parte, los crecimientos formados por tapetes naranjas a rojizos indicaron la presencia de *Trentepohlia aurea*, una Chlorophyta filamentosa con cantidades elevadas de β -caroteno que además de funcionar como pigmento accesorio actúa como antioxidante (Hoek, *et al.*, 1995).

Los crecimientos que forman películas mucilaginosas estuvieron más relacionados con la época de mayor humedad en la localidad, estas películas se manifestaron como escurrimientos coloreados, presentando tonalidades de verde-azul a pardo. En la mayoría de ellos se observó una mayor diversidad de especies unicelulares con vainas muy amplias y gran cantidad de tricomas de *Scytonema guyanense*, y *Leptolynbgya cf. compacta*.

COMPOSICIÓN DE LOS CRECIMIENTOS

La composición de los crecimientos algales en Palacio está dada por dos grupos, Cyanoprocaryota y Chlorophyta. El primer grupo está representado por 15 especies distribuidas en la mayoría de los crecimientos colectados. Este grupo se encuentra ampliamente distribuido en los interiores del conjunto Palacio, sin embargo el crecimiento dominante (tapetes negros rugosos y tersos) está formado principalmente por *Scytonema guyanense*. El grupo de Chlorophyta está representado por *Trentepohlia aurea* la cual se distribuye en los exteriores de Palacio y forma grandes manchas de color anaranjado a rojizo y algunas veces grisáceo.

Los crecimientos algales presentes en Palacio en su mayoría se encuentran compuestos por varias especies que se entremezclan y forman películas o tapetes. Esta morfología general es muy parecida bajo ciertas condiciones ambientales, sería conveniente realizar un estudio de comunidades y de especificidad al sustrato, con el fin de identificar la dinámica de aquellas especies dominantes en cada crecimiento y el papel que juegan dentro de dicha comunidad.

DISTRIBUCIÓN DE LOS CRECIMIENTOS

La distribución de los crecimientos algales en el conjunto Palacio está dada por factores como la humedad relativa, temperatura y luz (natural o artificial), y son las acciones combinadas de temperatura y humedad factores importantes las zonas tropicales, ya que por sus condiciones extremas favorecen la desintegración química de ciertos materiales principalmente calizas. Al intemperismo natural debido a la acción de temperatura-humedad, hay que añadir los efectos producidos por la humectación permanente debida a la presencia de las algas.

En cuanto a las comunidades subaéreas de Cyanoprocaryota y Chlorophyta, los primeros datos fueron descritos en detalle en Sri Lanka (Ceilán) por Fritsch (1907). Existen referencias donde se han visto el tipo de colonización en superficies de rocas y los primeros colonizadores corresponden a algunos miembros del orden Chroococcales (*Gloeocapsa*, *Gloeotheca* y *Aphanocapsa*) acompañadas de *Nostoc*. El estrato que se forma por estos organismos es ideal para que otros organismos lo colonicen, principalmente por formas

filamentosas, como *Lyngbya*, *Scytonema*, *Stigonema* y *Hapalosiphon*, usualmente aquellos organismos con vainas las cuales pueden ser firmes o menos mucilaginosas. Estos filamentos crecen inicialmente enredados densamente sobre la superficie, la cual en casos extremos adquiere una apariencia aterciopelada.

También existen datos de algunas Cyanoprokaryota sobre su capacidad para multiplicarse en condiciones de iluminación restringida o filtrada y sobre todo su efecto en monumentos iluminados artificialmente (Hernández Mariné, 1999); muy recientemente se ha ido acumulando información sobre la capacidad para el filtrado de radiaciones ultravioleta por la presencia de otros pigmentos específicos como scytonemina (García-Pichel, 1991) o de aminoácidos tipo micosporina (MAA's, mycosporine-like amino acids) (Büdel *et al*, 1997; Häder, 2001).

Es posible que la distribución de los crecimientos algales en el conjunto Palacio está dada principalmente por el factor iluminación que involucra también los demás factores ambientales como temperatura y humedad, relacionados entre sí respecto al tiempo de exposición solar; la primera aproximación a la distribución de sombreados durante el año, coincide, general con los patrones de distribución obtenidos de los análisis de similitud. Podría decirse que esos análisis confirman la descripción preliminar de muros o superficies expuestos o protegidos. Con los datos obtenidos con el análisis de similitud entre localidades se encontró que existe una diferencia respecto a los sitios de los exteriores a los interiores (Figura 52), esto es debido al tiempo de exposición del sol en los diferentes sitios, la exposición prolongada eleva la evaporación del agua en el sustrato con lo que la humedad relativa disminuye y se eleva la temperatura. Así, los sitios 1, 2, 3, 7 y 14 corresponden a espacios abiertos y orientados al Este donde encontramos que las especies que permanecen a lo largo del estudio fueron especies unicelulares de Cyanoprokaryota, principalmente *Gloeocapsa calcicola* y *G. quaternata*; es importante resaltar que en los sitios 1 y 2 se mantienen trabajos de restauración permanentes. En lo que respecta a los otros sitios 4, 6, 16, 5, 11, 12, 9, 10, 8 y 15 son sitios donde la radiación solar llega de manera indirecta, es decir, el tiempo de exposición solar es corto y se mantienen por más tiempo las condiciones de humedad y temperatura.

Por otro lado, durante el periodo de secas, el índice de similitud formó un grupo que se conforma por las localidades 2, 8, 6, 11 y 9 (Figura 53); en estos sitios están presentes pocas especies en común, cada uno de estos puntos es diferente entre sí, pero en cada uno existe una especie dominante diferente; en el caso del sitio 2 se trata de *Gloeocapsa calcicola* y *G. quaternata* las que dominan y la presencia de otras especies sólo se muestra en etapas iniciales

de desarrollo como es el caso de *Trentepohlia aurea* o manifestando diferentes cambios morfológicos como *Scytonema guyanense*.

Finalmente en lo que respecta a la época de lluvias, las localidades 1, 6, 11, 15 y 10 (Figura 54) se mantienen dentro de un grupo pues esos sitios corresponden a espacios abiertos donde la lluvia genera escurrimientos temporales en las paredes, los que favorecen el desarrollo de otro tipo de especies con requerimientos de una elevada humedad y menor temperatura; el aspecto del crecimiento en esta época es mucilaginoso y de fácil desprendimiento, pero en algunas ocasiones el sustrato también es removido por la acción mecánica. Los sitios 3, 4, 5, 13, 9, 12 y 8 (Figura 54) forman otro grupo. Estos sitios son abiertos, la exposición solar es de manera directa y es la lluvia la eleva la humedad. Los crecimientos aquí presentes son de apariencia tersa y forman tapetes, la especie principal es *Scytonema guyanense*; los grandes tapetes que se llegan a formar favorecen el desarrollo de otras algas o incluso otras plantas.

DESCRIPCIÓN DE ESPECIES

Torres (1991) describe alrededor de 32 especies, de las cuales 6 corresponden al género *Scytonema*, las especies de este género pueden presentar cambios morfológicos que pueden confundirse con características específicas; sin embargo, las 6 especies que Torres (1991) describe en realidad corresponden a una sola, *Scytonema guyanense* con cambios morfológicos bajo diferentes condiciones ambientales. Existen poco registros sobre la variación morfológica en ambientes subaéreos, tampoco existe mucha información sobre las diferencias en la riqueza y diversidad en este tipo de ambientes, pero lo que si es claro es el predominio por parte de las Cyanoprocaryota. Especies como *Gloeocapsa calcicola*, *Gloeocapsa quaternata* y *Scytonema guyanense* (registradas en este trabajo) son especies que tienen vainas amplias o forman mucílagos acuosos que impiden la desecación rápida y mantienen la humedad en las células, si es que ocurrieran cambios drásticos en la temperatura y humedad del ambiente. Estas vainas pueden ser tomadas como caracteres taxonómicos a nivel específico y su variabilidad demuestra que no pueden ser consideradas como un criterio de separación específico (Whitton & Potts, 2000).

REFLEXIONES Y PROPOSICIONES FINALES

El biodeterioro en monumentos arqueológicos de zonas tropicales es producto de varios eventos combinados. Palenque es un sitio donde las temperaturas y humedades relativas son elevadas y con edificaciones construidas con calizas, que favorecen la presencia de algas. Las calizas son un material altamente poroso y por lo tanto llega a ser mecánicamente débil, las algas incorporan parte de este material en su metabolismo y en consecuencia se favorece la formación de fisuras o desprendimientos del sustrato.

La presencia de especies de algas que crecen en Palacio está dada bajo un patrón relacionado principalmente con las condiciones ambientales y el tipo de sustrato; hay que considerar que existen áreas en el conjunto Palacio las cuales fueron restauradas y/o limpiadas y ello aumenta la la posibilidad de que se encuentren elementos diferentes a las calizas que pudieran ser potencialmente nutritivos para la proliferación y desarrollo de las algas.

La radiación solar juega un papel importante en el desarrollo de estos crecimientos, ya que el tiempo de exposición y la intensidad de la luz, aunado a la temperatura y humedad relativa sobre un sustrato como la caliza, favorecen el desarrollo de especies capaces de colonizar y mantenerse durante los periodos donde las condiciones ambientales sean desfavorables.

Con la caracterización de los crecimientos algales en Palacio se pueden emplear mecanismos de control mediante el retiro manual, en algunos sitios. Durante el periodo más caluroso y baja humedad relativa los tapetes que forma *Scytonema guyanense* son rugosos de fácil desprendimiento con lo cual resultaría sencillo su retiro además de que en este momento *Scytonema guyanense* no presenta formación de hormogonios; sin embargo se corre el riesgo de dejar expuesto el sustrato y vulnerable a las condiciones climáticas. Respecto a la época de baja temperatura y humedad relativa elevada las poblaciones de *Trentepohlia aurea* son favorecidas ya que tienen los elementos necesarios para reproducirse, las zoosporas son transportadas por viento o agua y con estos elementos sería muy fácil dispersar los crecimientos a nuevos espacios.

Por lo anterior, no se puede generalizar un mecanismo de control sin antes conocer la biología de las especies a controlar, conocer su ciclo de vida y tasas de crecimiento. También, es necesario sistematizar los estudios multidisciplinarios para conocer todos los aspectos que confluyen en lo que se ha llamado biodeterioro, en particular es necesario:

- Llevar a cabo una evaluación sobre la composición química de los materiales utilizados en la construcción y/o restauración.
- Diseñar mecanismos de control o eliminación de los crecimientos algales. Pensando en el control mecánico (limpieza) en determinados momentos y tomando en cuenta los ciclos de vida de las especies dominantes en áreas específicas. La aplicación de radiación ultravioleta bajo condiciones controladas y con pleno conocimiento de las poblaciones a las que se aplica es todavía una opción posible.

MECANISMOS DE CONTROL

Limpieza

Existen diferentes mecanismos de control biológico que no requieren del uso de productos químicos, por ejemplo, los ciclos biológicos, es el conjunto de fenómenos o cambios que experimenta un organismo hasta el punto de partida donde comienza una nueva serie de cambios para generar un nuevo organismo (Ibarra, 1997).

Los ciclos biológicos nos dan información importante para reconocer estadios en la historia de vida de un organismo, para las algas es importante el reconocer los momentos bajo los cuales pueden dispersarse con facilidad, así como las diferentes estructuras involucradas en este evento.

Radiación UV

La luz ultravioleta es una porción del espectro electromagnético que se encuentra entre los RX y la luz visible. Se han definido cuatro regiones del espectro UV-vacío (100-200 nm), UV-C (200-280 nm), UV-B (280-315 nm) y UV-A (315-400 nm). Las aplicaciones prácticas de desinfección con UV dependen de la capacidad germicida de UV-C y UV-B. De modo que la longitud de onda a 254 nm generada por emisiones monocromáticas (presión baja) proporcionan la máxima efectividad germicida, inactivando los cinco principales grupos de microorganismos (virus, bacterias, algas, hongos y protozoarios), es decir, cuando estos organismos se exponen a la radiación UV, ésta penetra la pared celular llegando hasta el núcleo donde se encuentra la información genética, la cual es alterada en su mayoría a 254 nm. Encontramos ventajas

adicionales en los emisores multionda (presión media), los cuales proporcionan el intervalo completo del espectro UV, que alteran las enzimas del citoplasma y proteínas de la pared celular (Díaz & Serrano 2003).

Si bien la radiación ultravioleta podría ser aplicada como mecanismo de control biológico, habrá que tomar en cuenta que existen muchos organismos que tienen un sistema metabólico funcional con varios mecanismos de reparación de los ácidos nucleicos dañados. El mecanismo de reparación que es único en la desinfección UV es la fotoreactivación. Si bien, la fotodimerización de tiaminas adyacentes resultantes de la absorción UV de los ácidos nucleicos puede ser invertida por una enzima fotoreactivada que usa luz entre 300 y 500 nm para activar la partición del dímero (Wright y Cairns, 2003).

Otras transformaciones inducidas por UV en los ácidos nucleicos, incluyendo dímeros que se componen de citosina, no pueden ser reparadas excepto por mecanismos de reparación obscura, en el cual segmentos enteros de ácido nucleico son extraídos y el segmento complementario sin dañar es usado como molde para reparar y reemplazar el segmento dañado (Wright y Cairns, 2003); sin embargo este tipo de mecanismo de reparación aún no han sido observados en las algas.

Este tipo de método en el control de películas biológicas ha sido utilizado en algunas partes del mundo; en este caso se han utilizado lámparas de rayos UV por exposiciones hasta de cuatro horas (en lugares cerrados) que logran inhibir crecimientos masivos (Dor, *et al.* 1999). Sin embargo, hasta el momento se desconoce las implicaciones sobre el uso de esta herramienta.

LITERATURA CITADA

Adhikary, S. P. (2002). Control of epilithic cyanobacterial mats of the temples of India using algicides. *Algological Studies* **105**: 157-171.

Adhikary, S. P. (2002). Survival in darkness and heterotrophic growth of epilithic cyanobacteria from temples of India. *Algological Studies* **105**: 141-155.

Albertano, P. and L. Bruno (2001). Light acclimation in cyanobacteria from roman hypogean sites. The International Association for Cyanophyte Research 15th IAC Symposium. Cyanobacteria/Cyanoprokaryota/Cyanophyte. Morphology, Taxonomy, Ecology, Spain.

Albertano, P., R. Congestri and E. Shubert. (1999). Cyanobacterial biofilms in sewage treatment plants along the Therrenian coast (Mediterranean Sea), Italy. *Algological studies* **94**: 13-24.

Albertano, P., L. Kovacik and M. Grilli-Caiola. (1994). Preliminary investigations on epilithic cyanophytes from a Roman Necropolis. *Algological Studies*. **75**: 71-74.

Albertano, P. and M. Grilli-Caiola (1998). Effects of different light conditions on *Lyngbya* sp. in culture. *Algological Studies*. **50-53**: 47-54.

Allsopp, D., K. J. Seal and C. C. Gaylarde. (2004). *Introduction to Biodeterioration*. New York, USA, Cambridge University Press. (237 pp).

Anagnostidis, K., A. Economou-Amilli and M. Roussoustakaki. (1983). Epilithic and Chasmolithic Microflora (Cyanophyta, Bacillariophyta) from Marbles of the Parthenon (Acropolis-Athenes, Greece). *Nova Hedwigia*. **38**: 227-287

Anagnostidis K. and J. Komárek. (1985). Modern approach to the classification system of cyanophytes. 1 – Introduction. *Algological studies* **38/39**: 291-302.

Ariño, X., M. Hernandez-Marine and C. Saiz-Jiménez. (1997). Colonization of Roman tombs by calcifying cyanobacteria. *Phycologia* **36(5)**: 366-373.

Asencio, A. D. and M. Aboal (1996). Cyanophytes from Andragula abrigo (Murcia, SE Spain) and their environmental conditions. *Algological Studies*. **83**: 55-72.

Bellezza, S., G. Paradossi, R. De Philippis and P. Albertano. (2003). *Leptolyngbya* strains from Roman hypogea: cytochemical and physico-chemical characterisation of exopolysaccharides. *Journal of Applied Phycology*. **15**: 193-200.

Brunhouse, R. L. (2000). *En busca de los mayas. Los primeros arqueólogos*. México, D.F., Fondo de Cultura Económica.

Bruno, L. and P. Albertano (1999). Photoacclimation of sciaphilous epilithic cyanobacteria isolated from Roman hypogea. *Algological Studies* **94**: 89-103.

Bornet, E. and Ch. Flahault (1959). *Revision des Nostocacées Hétérocystées*. Weinheim/Bergstr. Germany. 262 pp.

Bourelly P. 1972. *Les algues d'eau douce. Initiation à la Systematique. Les algues verts*. T.I. N. Boubée et Cie. Paris. 572 pp.

Büdel, B. (1999). Ecology and diversity of rock-inhabiting cyanobacteria in tropical regions. *European Journal of Phycology*. **34**: 361-370.

Callow, M. E., R. A. Pitchers and A. Milne. (1996). 10. The control of fouling by non-biocidal systems. *Algological Biofouling (studies in environmental science 28)*. L. V. Evans and K. D. Hoagland. New York, Elsevier Science Publishing Company Inc.: 145-158 (318 p).

Caneva, G., M. P. Nugari and O. Salvadori. (1991). *Biology in the Conservation of Works of Art*. ICCROM. Rome, Italy. 182 pp.

Chapman, R. L. (1983). 8. An assessment of the current State of our knowledge of the Trentepohliaceae. In: *Systematics of the green algae*. D. E. G. Irvine and D. M. John, The Systematics Association Special. 27. p. 233-250.

Chu, (1991). *Flora algarum Scinicarum aqua dulcis*. Tomus II. Chroococcophyceae. Science Press. 161 pp.

Coutè, A., G. Tell & Y. Thérézien. (1999). Cyanophyceae (Cyanobacteria) aerophiles de Nouvelle-Calédonie. *Cryptogamie Algologie*. **20(4)**: 301-344.

Crispim, C. A., P. M. Gaylarde and C.C. Gaylarde. (2003). Algal and Cyanobacterial Biofilms on Calcareous Historic Buildings. *Current Microbiology*. **46**: 79-82.

Crispim, C. A., C. C. Gaylarde and P.M. Gaylarde (2004). Biofilms on church walls in Porto Alegre, RS, Brazil, with special attention to cyanobacteria. *International Biodeterioration & Biodegradation*. **54**: 121-124.

Darienko, T. and L. Hoffmann (2003). Algal growth on cultural monuments in Ukraine. *Biologia Bratislava*. **58(4)**: 573-587.

De Angelis D'Ossat G. 1982. *Guide to the Methodical Study of Monuments and Causes of Their Deterioration*. ICCROM. Rome, Italy. 46 pp.

Dor, I. and Y. Dor (1999). Cyanobacterial flora of the Soreq stalactite Cave (Israel) and way of its control. *Algological studies* **94**: 115-120.

Ferreiro, H. (1991). *Manual de arquitectura solar*. México, D.F. Trillas. 292 pp.

Frémy, P. (1929). *Les myxophycées de l'Afrique Équatoriale Française*. Archives de Botanique Tome III. Memoire no. 2. Publiées par René Viguié. 508 pp.

Garcia-Pichel, F. and R. W. Castenholz (1991). Characterization and biological implications of scytonemin, a cyanobacterial sheath pigment. *Journal of Phycology*. **27**: 395-409.

Gardner, N. L. (1927). *New Myxophyceae from Porto Rico*. New York. USA. 144 pp.

Gaylarde, P. M. and C. C. Gaylarde (1999). Algae and cyanobacteria on painted surfaces in southern Brazil. *Revista de Microbiologia* **30**: 209-213.

Golubic, V. S. (1965). Zur revision der gattung *Gloeocapsa* Kützing (Cyanophyta). *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie* **27** (2): 218-231.

González, E., E. Hinz, P. del Oteiza y C. Quiros. (1986). *Arquitectura Latinoamericana: Proyecto Clima y Arquitectura*. Universidad del Zulia. GG/México.

González-González, J. y E. Novelo-Maldonado. 1986. Algas. In: Lot, A. y F. Chiang (comp.) *Manual de herbario*. Consejo Nacional de la Flora de México, México: 47-54.

Grilli-Caiola, M., C. Forni and P. Albertano. (1987). Characterization of the algal flora growing on ancient Roman frescoes. *Phycologia* **26 (3)**: 387-396.

Hernández-Mariné, M., A. D. Asencio, A. Canals, X. Ariño, M. Aboal and L. Hoffmann. (1999). Discovery of populations of the lime-incrusting genus *Loriella* (Stigonematales) in Spanish caves. *Algological Studies*. **94**: 121-138.

Hoek C. v.d., Mann D.G. & Jahns H.M. 1995. *Algae. An introduction to Phycology*. Cambridge University Press. Cambridge. 623 pp.

Hoffmann, L. (1986). Cyanophycées aériennes et subaériennes du Grand-Duché de Luxembourg. *Bull. Jard. Bot. Nat. Belg.* **56**: 77-127.

Hohmann-Vogrin, A. (2001). Unidad de Espacio y Tiempo: La Arquitectura Maya. In: E. Eggebricht & M. Seidel. *Los Mayas: Una civilización milenaria*. Eds

Hu, c., D. Zhang, Z. Huang and Y. Lui (2003). The vertical microdistribution of cyanobacteria and green algae within desert crust and the development of the algal crust. *Plant and soil*. **257**: 97-111.

Ibarra-Vázquez C., M. A. Hernández-Muñoz. 1997. Algunos aspectos de los procesos reproductivos y ciclos de vida en las algas. *Tópicos de Investigación y Posgrado* **2**:71-84

Komárek, J. and K. Anagnostidis (1999). Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales. Jena, Germany, Gustav Fisher Verlag Jena. 548 pp.

Komárek, J. and K. Anagnostidis (2005). Cyanoprokaryota 2. Teil: Oscillatoriales. München, Germany, Elsevier GmbH. 759 pp.

Komárek J. (1993). Validation of the Genera *Gloeocapsopsis* and *Asterocapsa* (Cyanoprocarvota) with Regard to Species from Jpan, México and Himalayas. *Bull. Nat. Sci. Mus., Tokio, Ser. B.* **19**(1):19-37.

Komárek, J. and G. Montejano (1994). Taxonomic evaluation of several *Chlorogloea*-species (Cyanoprocarvota) from inland biotopes. *Algological Studies.* **74**: 1-26.

Marquina, I. (1951). *Memorias del Instituto Nacional de Antropología e Historia I: Arquitectura Prehispánica.* México, D.F. INAH-SEP. (1055 p)

Ortega-Calvo, J. J., P. M. Sánchez-Castillo, M. Hernández-Mariné and C. Saiz-Jiménez. (1993). Isolation and characterization of epilithic chlorophytes and cyanobacteria from two Spanish cathedrals (Salamanca and Toledo). *Nova Hedwigia* **57**: 239-253.

Ortega, O. y G. Hernández (1998). Biodeterioro de monumentos históricos mayas. *Ciencia y Desarrollo* **139**: 48-53.

Pettijohn, F. J. (1975). *Sedimentary rocks.* New York, USA. Harper & Row, Publishers. (628 p)

Rifon-Lastra, A. and Á. Nogueroles-Seoane (2001). Green algae associated with the granite walls of monuments in Galicia (NW Spain). *Cryptogamie Algologie* **22**(3): 305-326.

Rindi, f. and M. D. Guiry (2002). Diversity, life history and ecology of *Trentepohlia* and *Printzina* (Trentepohliales, Chlorophyta) in urban habitats in western Ireland. *Journal of Phycology.* **38**: 39-54.

Rindi, F., M. D. Guiry, A. T. Critchley & E. Ar-Gall (2003). The distribution of some species of Trentepohliaceae (Trentepohliales, Chlorophyta) in France. *Cryptogamie Algologie* **24**(2): 133-144.

Rindi, F. and M. D. Guiry (2003). Composition and distribution of subaerial algal assemblages in Galway City, western Ireland. *Cryptogamie Algologie.* **24**(3): 245-267.

Rindi, F., J. L. Menéndez, M.D. Guiry and J.M. Rico . (2004). The taxonomy and distribution of *Phycopeltis* (Trentepohliaceae, Chlorophyta) in Europe. *Cryptogamie Algologie.* **25**(1): 3-17.

Rindi, F., A. R. Sherwood and M. D. Guiry (2005). Taxonomy and distribution of *Trentepohlia* and *Printzina* (Trentepohliales, Chlorophyta) in the Hawaiian Islands. *Phycologia*. **44(3)**: 270-284.

Roy, A., P. Tripathy and S. P. Adhikary. (1997). Epilithic blue-green algae/cyanobacteria from temples of India and Nepal. Presence of UV sunscreen pigments. *Algological Studies* **86**: 147-161.

Ruz, L. A. 1997. La civilización de los antiguos mayas. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 95 pp.

Santa'Anna, C.L. (1988). Scytonemataceae (Cyanophyceae) from the state of Sao Paulo, southern Brazil. *Nova Hedwigia* **46(3-4)**: 519-539.

Skuja, H. (1949). *Zur Süßwasseralgen – Flora Burmas*. Nova Acta Regiae Societatis Scientiarum Upsaliensis Serie 4. 14(5): 188+37 Pls.

Stierlin, H. (2001). *Los Mayas: Palacios y Pirámides de la Selva Virgen*. Köln, Taschen GmbH.

Terry, L. A. and R. G. J. Edyvean (1996). Recent investigations into the effects of algae on corrosion. In: *Algal Biofouling* (Studies in environmental science 28). L. V. Evans and K. D. Hoagland, Eds.. New York, Elsevier Science Publishing Company Inc.: 211-229.

Torres, P. S. (1991). La Ficoflora de la zona arqueológica de Palenque, Chiapas. Tesis de Maestría en Ciencias (Biología). México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México: 116 pp.

Tripathy, P., A. Roy and S. P. Adhikary. (1997). Survey of epilithic blue-green algae (Cyanobacteria) from temples of India and Nepal. *Algological Studies* **87**: 43-57.

Villaseñor-Alonso M. I. (2005). *The lime-plaster sculptures from the crypt of the Temple of the Inscriptions, Palenque, México: Technology and Decay. Technology and Analysis of Archaeological Materials*. Institute of Archaeology. University College London. 91.

Vélez, G. R. (1992). *La Ecología en el Diseño Arquitectónico. Datos prácticos sobre diseño bioclimático y ecotécnicas*. Trillas. México, D.F. 114 p.

Whitton B.A and M. Potts. (2000). *The Ecology of Cyanobacteria*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 669 pp.

ANEXO I

Material fotográfico

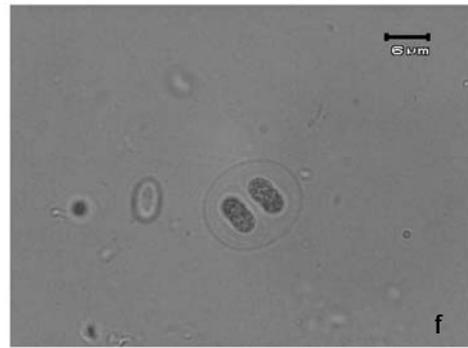
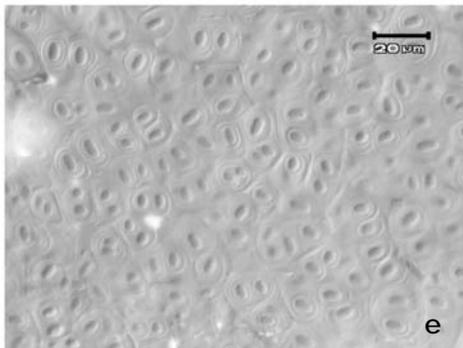
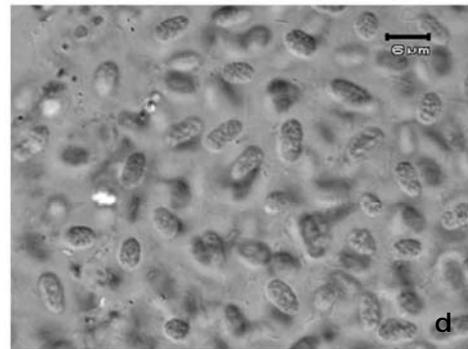
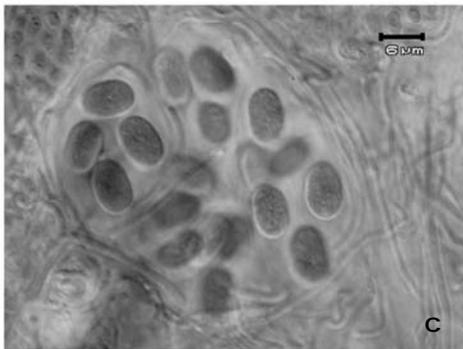
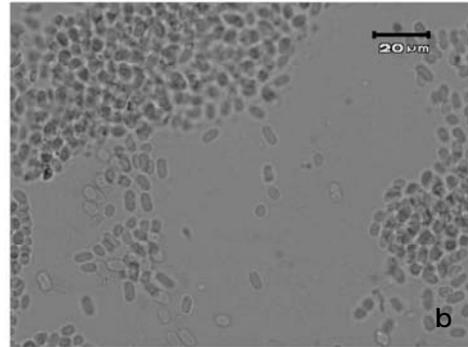
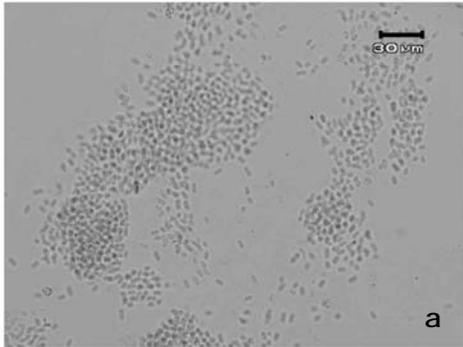


Lámina 1

Cyanothece sp1 a) arreglo de la colonia, b) células de la colonia

Aphanothece castagnei c) división de la colonia, d) colonia madura

Gloeothece palea e) colonia, f) célula recién dividida con vaina amplia

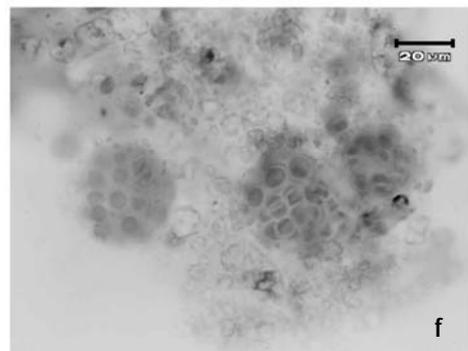
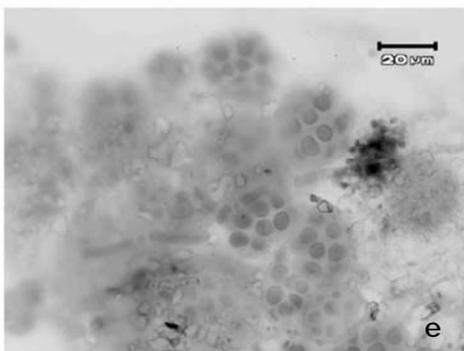
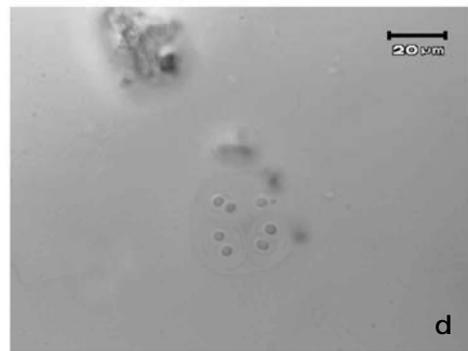
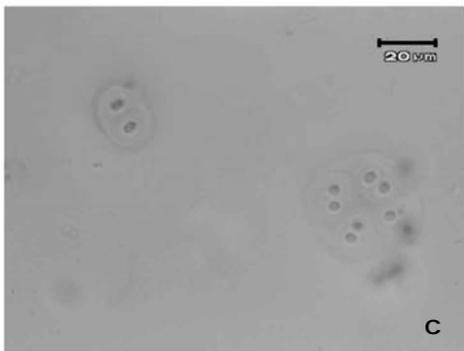
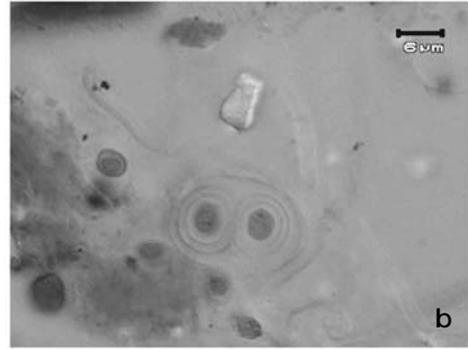
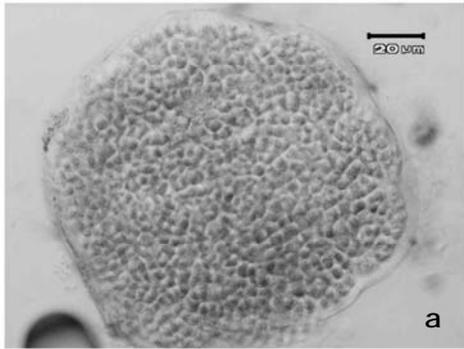


Lámina 2

Aphanocapsa sp a) colonia

Gloeocapsa calcicola b) división de la célula, c) colonia, d) colonia

Gloeocapsa quaternata e) arreglo de colonias, f) colonia

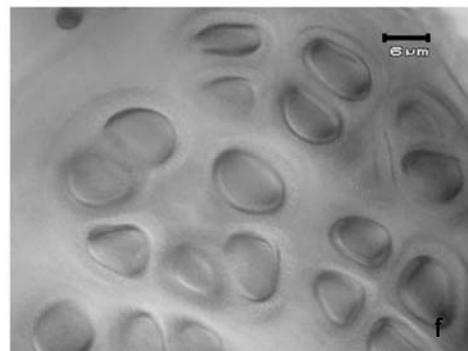
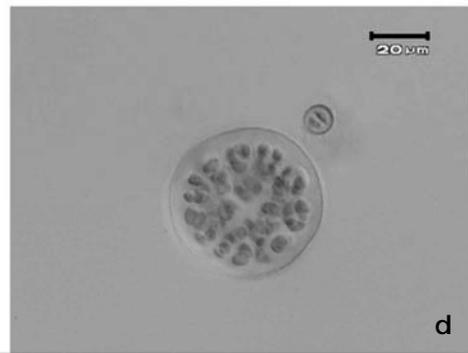
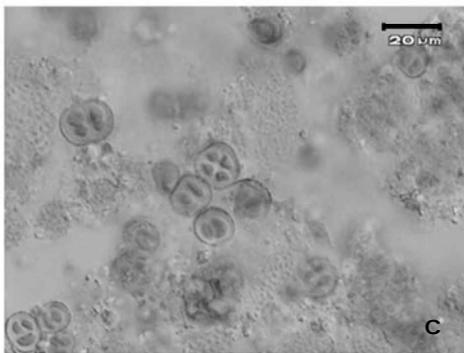
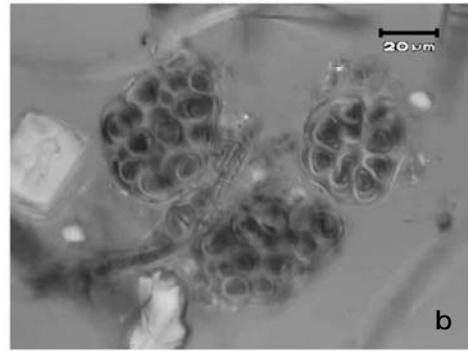
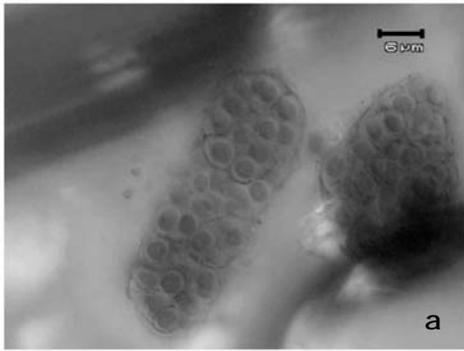


Lámina 3

Gloeocapsa quaternata a) arreglo de la colonia

Gloeocapsa sp b) división de la colonia

Asterocapsa sp c) células iniciales d) división de la colonia en varios planos,
e) desarrollo de vainas ornamentadas, f) detalle de la vaina ornamentada y
células arriñonadas

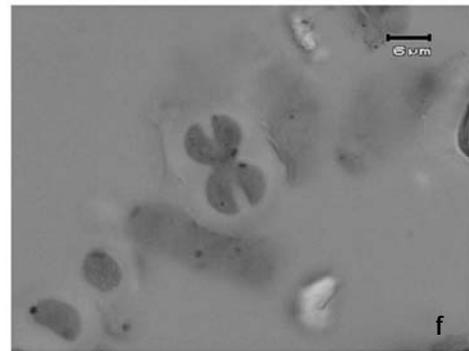
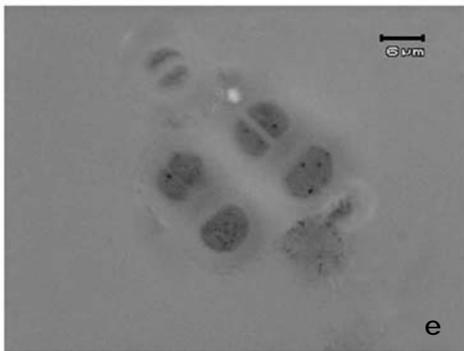
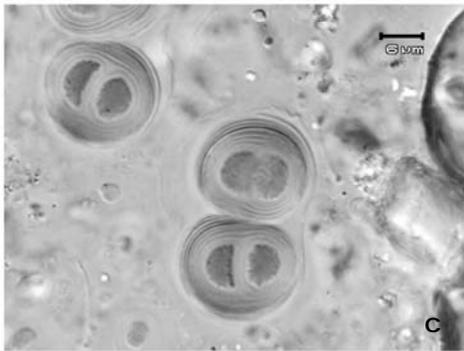
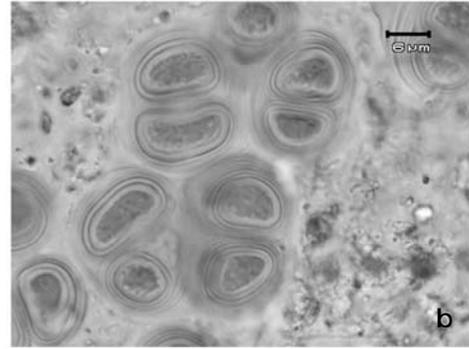
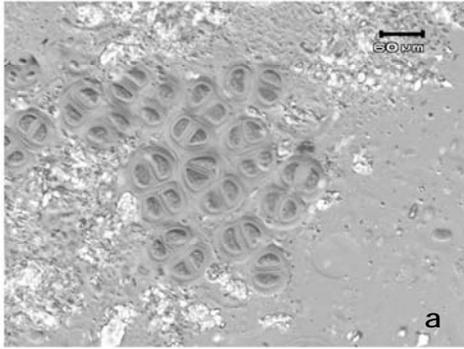


Lámina 4

Chroococcus cf. *schizodermaticus* a) arreglo de la colonia, b) células en división,

c) formación de una colonia

Chroococcus cf. *turicensis* d) colonia madura, e) colonia en división

f) célula en división,

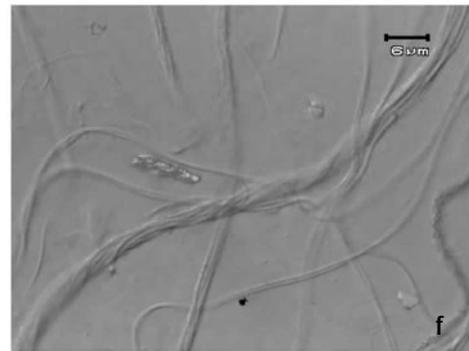
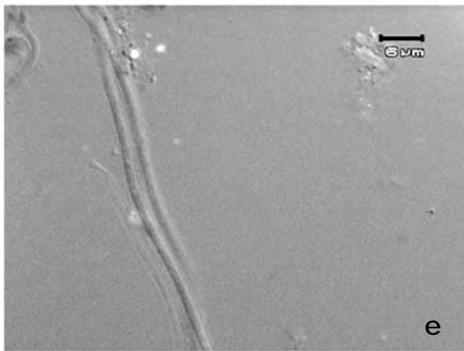
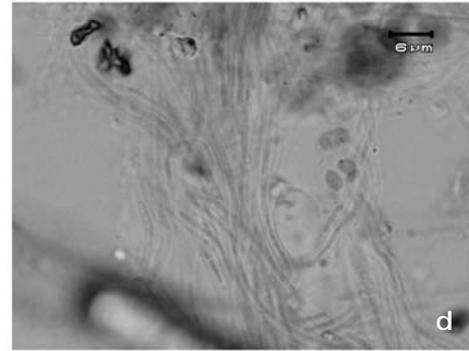
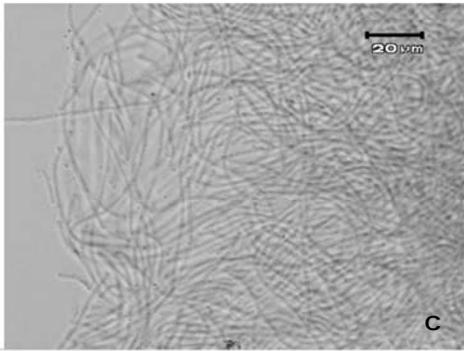
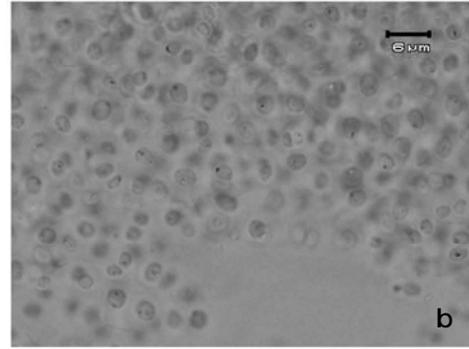
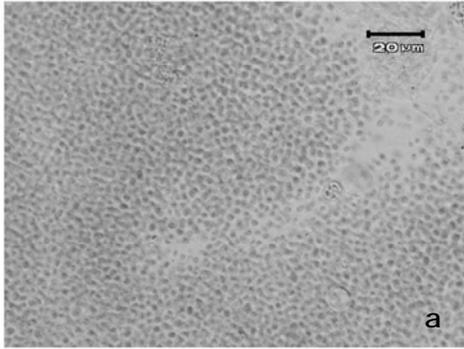


Lámina 5

Cyanothece sp2 a) arreglo de la colonia, b) células de la colonia

Leptolyngbya cf. *compacta* c) arreglo de los filamentos forman entramados, d) detalle de los filamentos

Schizothrix cf. *bosniaca* e) filamento, f) arreglo de los filamentos

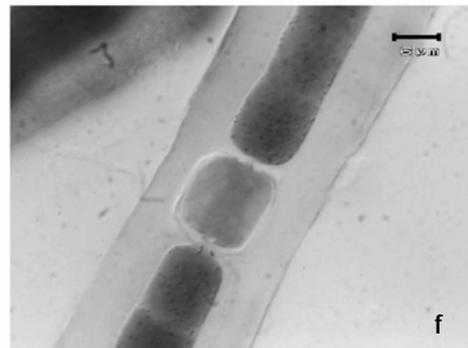
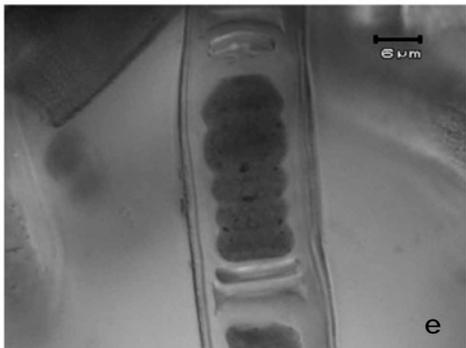
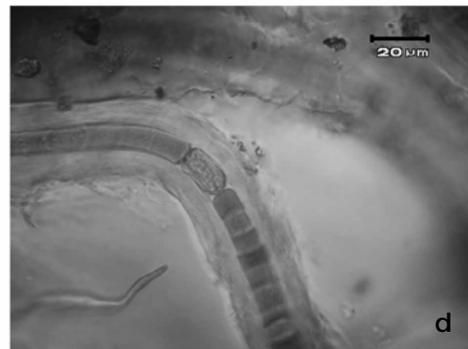
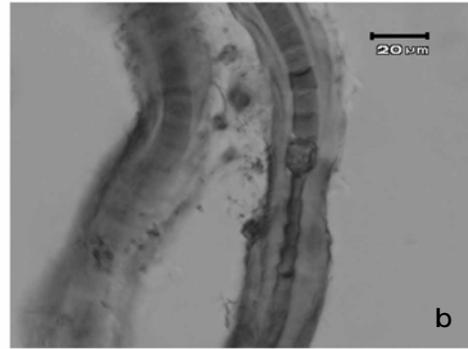
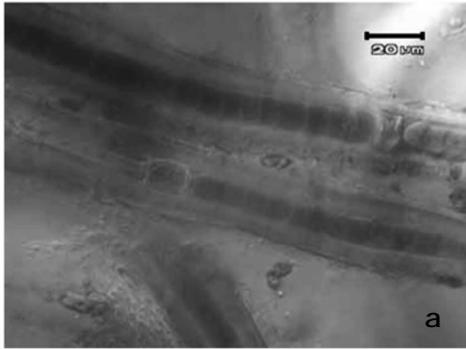


Lámina 6

Scytonema guyanense a) filamentos, b) células y vaina deshidratadas
c) filamento en división, d) vainas lameladas, e) formación de hormogonio, e)
detalle de las células del tricoma, vaina muy amplia y heterocito

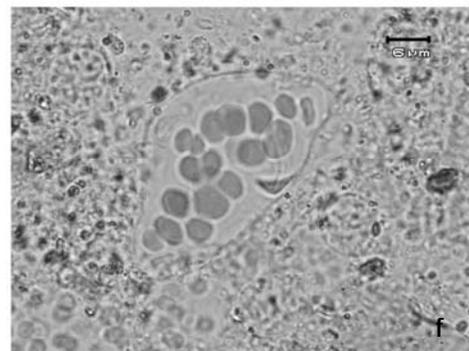
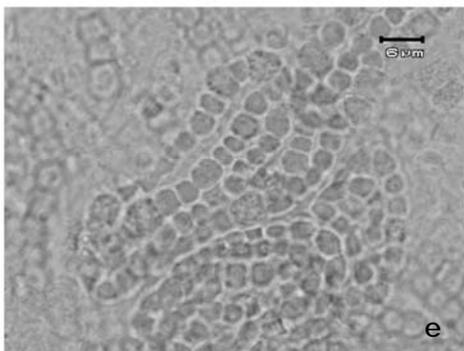
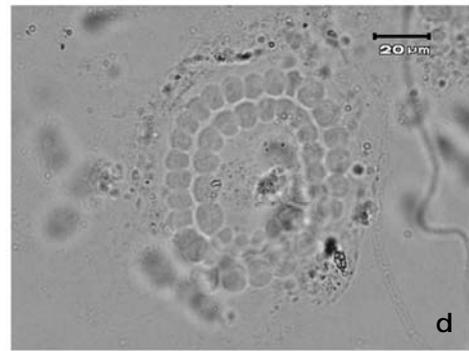
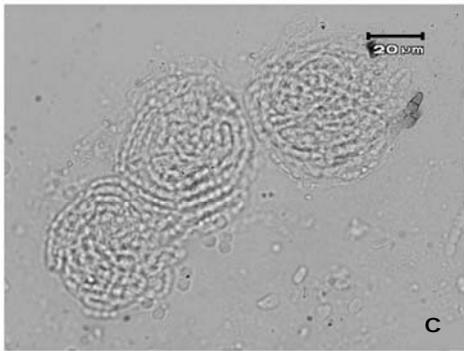
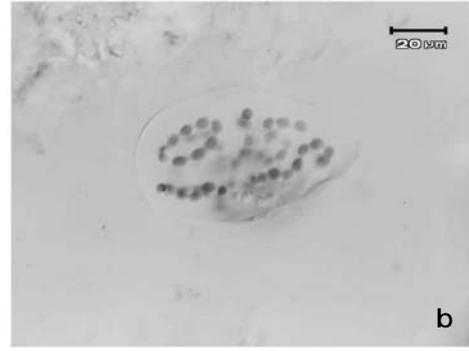
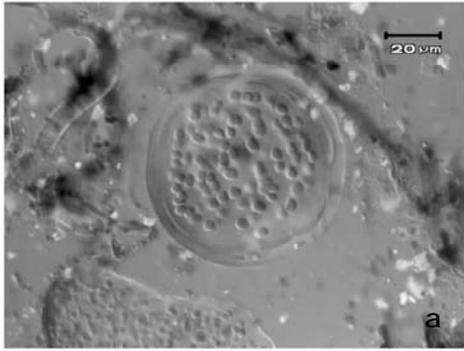


Lámina 7

Nostoc sp a) fase aseriada, b-e) fase seriada, f) fase aseriada

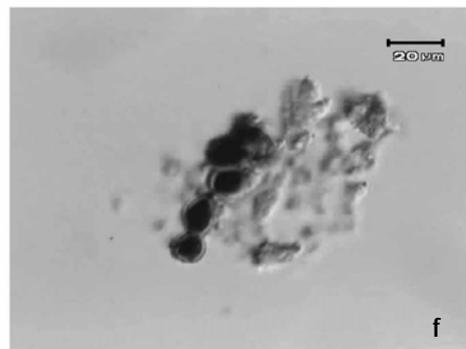
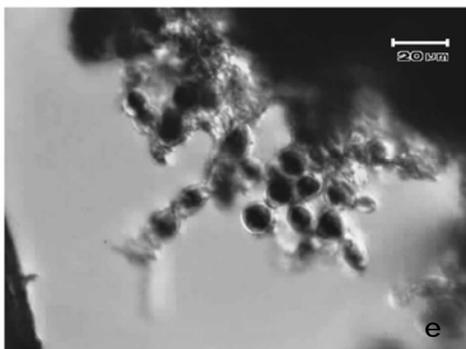
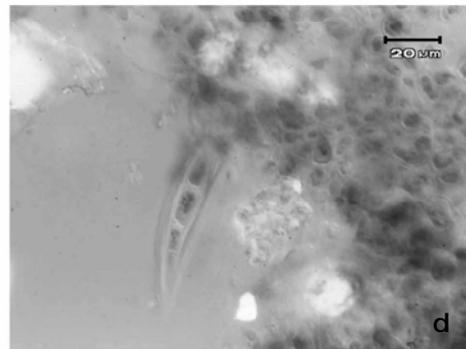
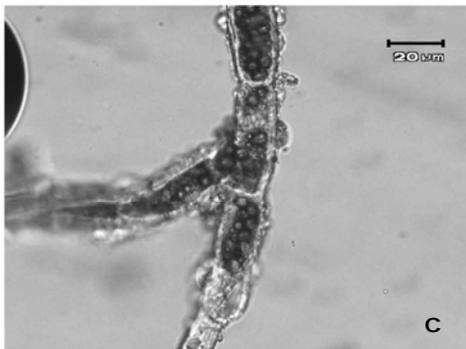


Lámina 1

Trentepohlia aurea a) filamento, b) detalle de filamento, c) filamento ramificado, d) filamento endesarrollo, e) fase inicial del filamento, f) fase inicial del filamento (arreglo a manera de rosario)

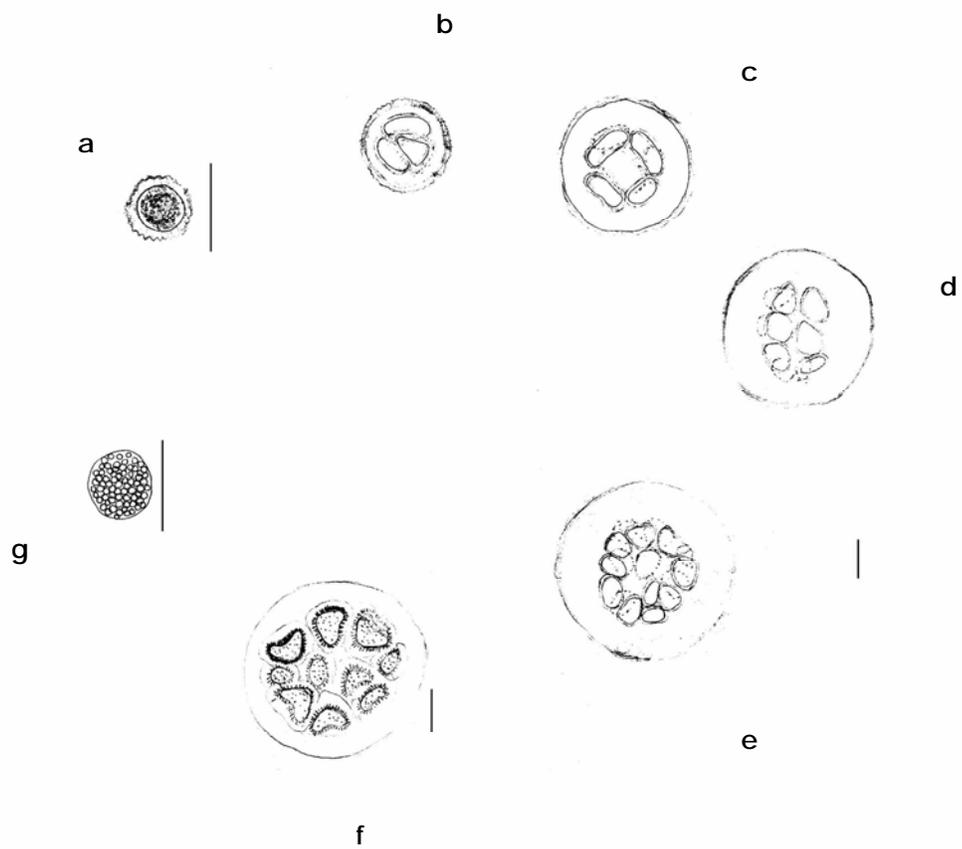


Lámina 9

Asterocapsa sp a) unicélula, b-e) divisiones celulares, f) formación de vainas ornamentadas, g) formación de nanocitos.

Escala de la barra 10 μm

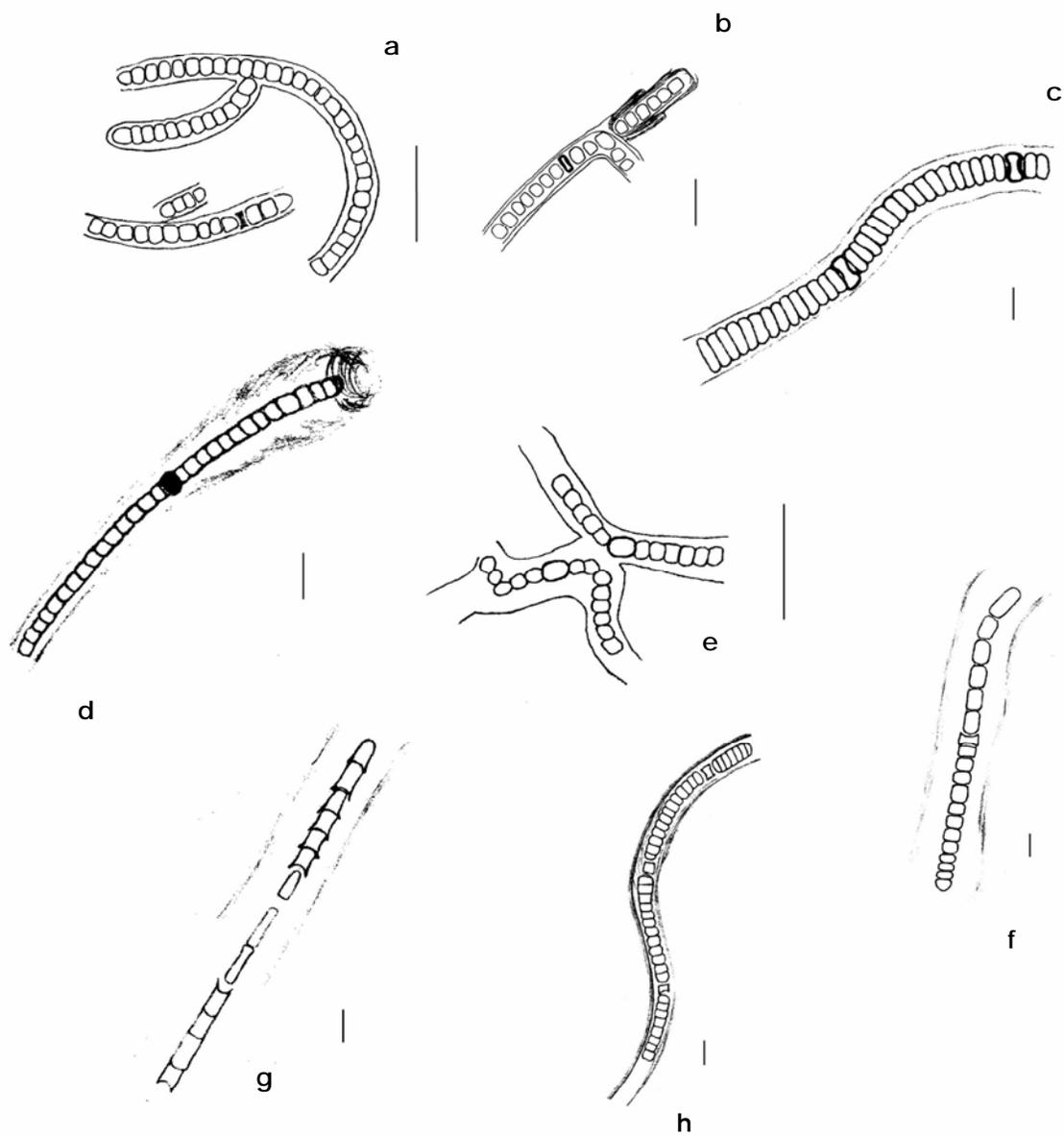


Lámina 10

Scytonema guyanense a) filamento, b) ramificación falsa, c) células del tricoma ligeramente constreñidas por la deshidratación de la vaina y heterocitos, d) vaina muy lamelada, e) ramificacio falsa vainas hidratadas, f) células del tricoma, g) células deshidratadas del tricoma, h) formación de hormoginios. Escala de la barra 10 μ m

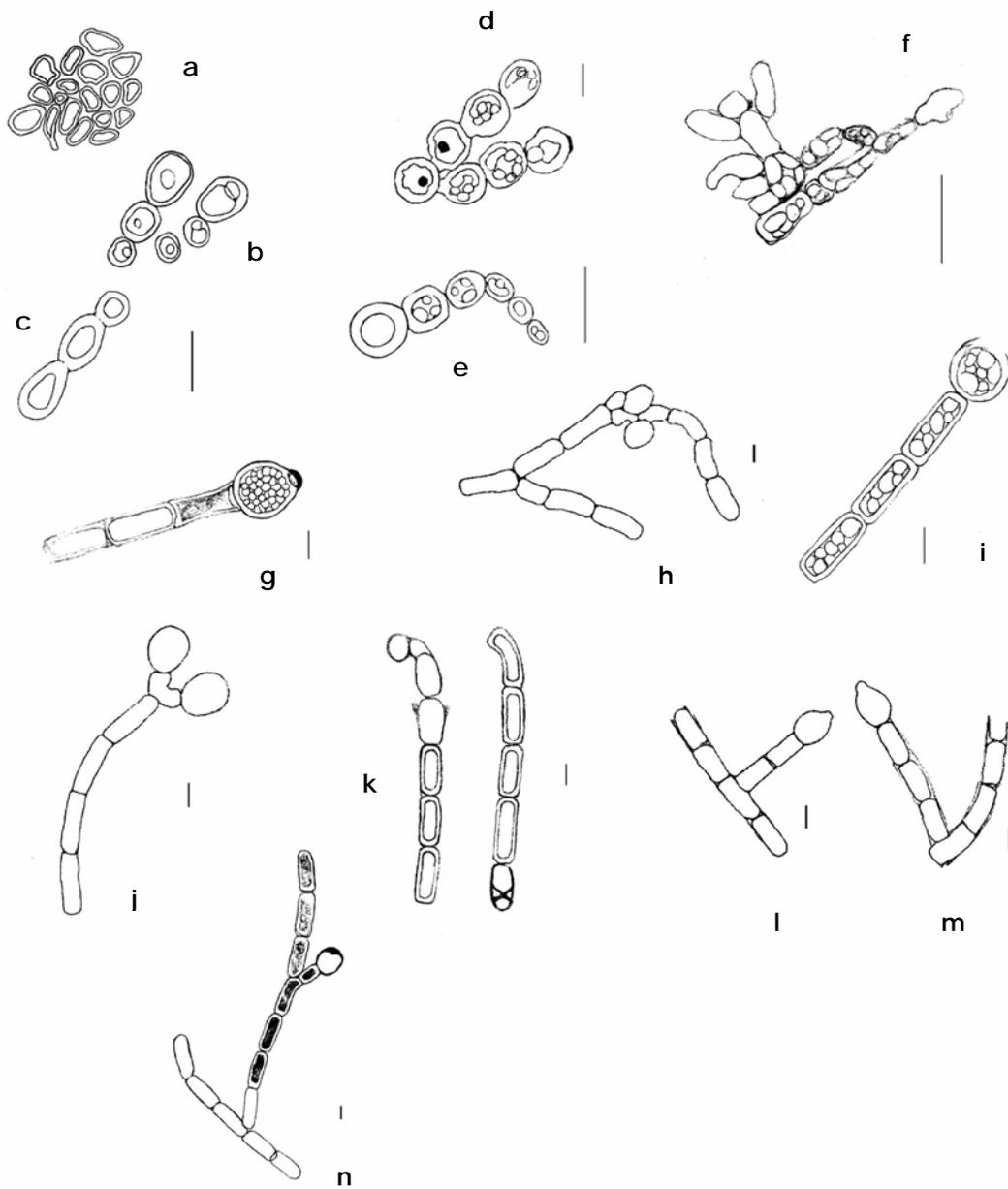


Lámina 11
Trentepohlia aurea a-e) fases juveniles (células iniciales), f) talo heterótrico, g-h) formación de gametangios, i-k) formación de gametangios, l-m) ramificación con esporangios, n) gametangio
 Escala de la barra 10 μ m

ANEXO II

Medios de cultivo

Cyanoprokariota

Chlorophyta

MEDIO BG-11 (Cyanoprokaryota)

Soluciones stock	Sol A	NaNO ₃	1.5 g/l	750 mg/500 ml	375 mg/250 ml
		K ₂ HPO ₄	0.04 g/l	20 mg/500 ml	10 mg/250 ml
	Sol B	MgSO ₄ 7H ₂ O	0.075 g/l	37.5 mg/500 ml	18.75 mg/250 ml
		Ácido cítrico	0.006 g/l	3 mg/500 ml	1.5 mg/250 ml
		CaCl ₂ 2H ₂ O	0.036 g/l	18 mg/500 ml	9 mg/250 ml
		Citrato férrico amoniacal	0.006 g/l	3 mg/500 ml	1.5 mg/250 ml
		EDTA (sal disódica)	0.001 g/l	0.5 mg/500 ml	0.25 mg/250 ml
		NaCO ₃	0.02 g/l	10 mg/500 ml	5 mg/250 ml

micronutrientes	H ₃ BO ₃	2.86 g	1430 mg	357.5 mg
	MnCl ₂ 4H ₂ O	1.81 g	905 mg	226.25 mg
	ZnSO ₄ 7H ₂ O	0.222 g	111 mg	27.75 mg
	NaMoO ₄ 2H ₂ O	0.39 g	195 mg	48.75 mg
	CuSO ₄ 5H ₂ O	0.079 g	39.5 mg	9.875 mg
	Co(NO ₃) ₂ 6H ₂ O	49.4 g	24.7 mg	6.175 mg
	Agua destilada	1000 ml	500 ml	125 ml

Para la elaboración del medio tomar:

Soluciones stock c/u	10 ml	5 ml	2.5 ml
Micronutrientes	1 ml	0.5 ml	0.25 ml
Agar (1.5% si se requiere)	10 g	5 g	2.5 g
Agua destilada	1 l	500 ml	250 ml

En este caso se preparó medio enriquecido, el cual consistió en adicionar sustrato de la localidad, el cual consistió en moler rocas de Palenque para preparar una solución en la cual se disolvió 300 mg de sustrato en 100 ml de agua destilada; de esta solución se añadieron 0.5 ml en 500 ml de medio de cultivo.

MEDIO BOURRELLY (Modificado por Hegewald *et. al.* 1994) (Chlorophyta)

Stocks	KNO ₃	10 g/100 ml	5000 mg/50 ml	2500 mg/25 ml
	K ₂ HPO ₄	1 g/100 ml	500 mg/50 ml	250 mg/25 ml
	MgSO ₄ 7H ₂ O	1 g/100 ml	500 mg/50 ml	250 mg/25 ml
	Ca(NO ₃) ₂	1 g/100 ml	500 mg/50 ml	250 mg/25 ml

vitamin	Biotina	3.3 mg	en 100 ml	1.65 mg	en 50 ml
	B ₁₂	0.5 mg		0.25 mg	
	Tiamina diluída	500 µg/1000 ml	0.0005 g/1000 ml	0.5 mg/1000 ml	

FeEDTA	FeSO ₄ 7H ₂ O	695 mg	diluir en 80 ml de agua destilada, dejar herir brevemente y aforar a 100 ml
	FeEDTA	930 mg	

	NaCO ₃	318 mg/100 ml	159 mg/50 ml	79.5 mg/25 ml
--	-------------------	---------------	--------------	---------------

Elementos traza (micronutrientes)	MnCl ₂ 4H ₂ O	0.99 g/100 ml	495 mg/50 ml	247.5 mg/25 ml
	CoSO ₄ 7H ₂ O	0.28 g/100 ml	140 mg/50 ml	70 mg/25 ml
	CuSO ₄ 5H ₂ O	0.05 g/100 ml	25 mg/50 ml	12.5 mg/25 ml
	ZnSO ₄ 7H ₂ O	0.315 g/100 ml	157.5 mg/50 ml	78.75 mg/25 ml
	H ₃ BO ₃	0.62 g/100 ml	310 mg/50 ml	155 mg/25 ml
	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ 4H ₂ O	0.18 g/100 ml	90 mg/50 ml	45 mg/25 ml
	NiSO ₄ 6H ₂ O	0.263 g/100 ml	131.5 mg/50 ml	65.75 mg/25 ml
	NH ₄ VO ₃	0.146 g/100 ml	73 mg/50 ml	36.5 mg/25 ml

Una vez elaboradas las soluciones tomar:

Stocks	KNO ₃	2 ml	1 ml
	K ₂ HPO ₄	4 ml	2 ml
	MgSO ₄ 7H ₂ O	3 ml	1.5 ml
	Ca(NO ₃) ₂	3 ml	1.5 ml
	Agua destilada	1000 ml	500 ml

Vitaminas	Biotina	20 ml	10 ml
	B ₁₂		
	Tiamina diluída	10 ml	5 ml
	Agua destilada	1000 ml	500 ml

Fe-EDTA	FeSO ₄ 7H ₂ O	0.5 ml	0.25 ml
	FeEDTA		
	Agua destilada	1000 ml	500 ml

	NaCO ₃	1ml	0.5 ml	3 ml
	Agua destilada	1000 ml	500 ml	250 ml

Elementos traza (micronutrientes)	MnCl ₂ 4H ₂ O	1 ml	en 100 ml de agua destilada	Tomar 0.5 ml para 1000 ml de medio
	CoSO ₄ 7H ₂ O	0.1 ml		
	CuSO ₄ 5H ₂ O	0.1 ml		
	ZnSO ₄ 7H ₂ O	0.2 ml	0.3 ml para 500 ml de medio	
	H ₃ BO ₃	0.5 ml		
	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ 4H ₂ O	0.1 ml		
	NiSO ₄ 6H ₂ O	1 ml		
NH ₄ VO ₃	0.1 ml			