



Las algas en los sitios arqueológicos mayas

biología y conservación del patrimonio

Las zonas arqueológicas de México son uno de los mayores orgullos de los habitantes de este país, y prácticamente en todo el territorio nacional existen restos arquitectónicos y objetos de las culturas prehispánicas. Su conservación no es responsabilidad solamente de las instancias gubernamentales, sino de todos los que se interesen por el conocimiento y la preservación de una cultura nacional. La conservación de objetos, desde monolitos hasta pequeñas figuras de barro, es relativamente viable, ya sea por su aislamiento o por el control de la interacción del objeto con el ambiente, y generalmente se puede recurrir a réplicas que permiten guardar el objeto original para evitar su deterioro. No obstante, el caso de los monumentos y espacios arquitectónicos es mucho más complejo, pues todos están en armonía con el entorno geográfico, paisajístico y ambiental. La conservación de esas estructuras obliga a la concurrencia de diferentes aproximaciones y visiones sobre lo que es importante y necesario conservar, restaurar o mantener en las condiciones en las que fueron encontradas. Cada sitio arqueológico es un reto sobre este asunto; por ejemplo, las medidas de conservación en las zonas semiáridas del centro y norte del país son muy diferentes de aquellas con influencia marina o las húmedas tropicales. Cada clima y entorno ambiental le confiere a los monumentos una dinámica muy diferente en cuanto a la intemperización, la relación con la flora y la fauna que habitan en ellas e incluso la interacción con los visitantes. Las diferencias en los materiales de construcción también son una condicionante sobre los métodos y aproximaciones para la conservación.

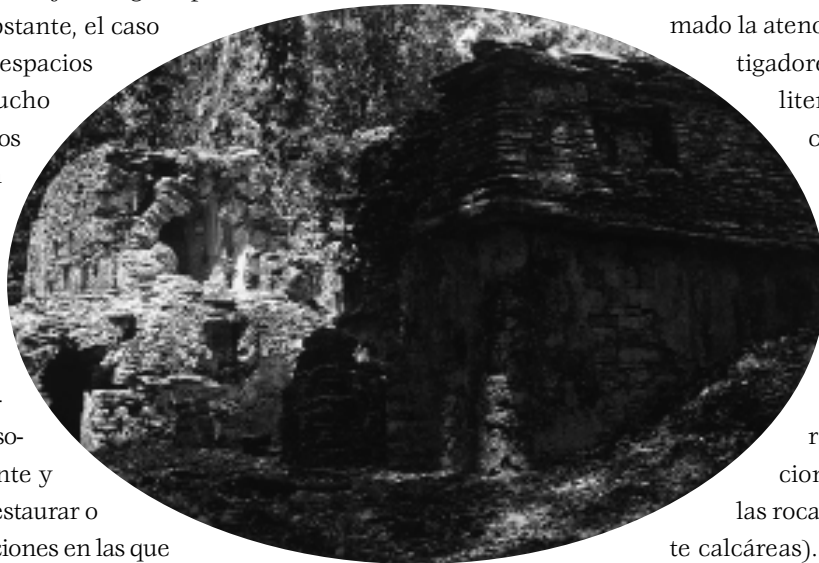
En general, una zona arqueológica es abierta al público después de que los especialistas han descubierto, restaurado y reconstruido algunos de los edificios importantes. Posteriormente, corresponde a los conservadores mantener las mejores condiciones para los edificios, tratando de

evitar cualquier alteración en su apariencia o en su estructura. La limpieza de malezas, de la fauna invasora y el cuidado de la estabilidad estructural son permanentes. Cuando los seres vivos son los agentes principales de las alteraciones se dice que existe un biodeterioro. Este concepto incluye las deyecciones de murciélagos y aves, el crecimiento de plantas, la invasión de todo tipo de animales, etcétera. En las zonas secas, los líquenes y plantas pequeñas son abundantes sobre los edificios, por lo que contrastan con las zonas húmedas, en donde los musgos, las hepáticas, las algas y las bacterias son los organismos abundantes. Esta presen-

cia tan evidente de los microorganismos ha llamado la atención de múltiples investigadores y existe una profusa literatura sobre las afectaciones al sustrato. Las bacterias son los agentes más activos en la alteración de sustratos duros (mármol, rocas ígneas), mientras que los musgos y las plantas pequeñas son las responsables de afectaciones muy acentuadas en las rocas suaves (especialmente calcáreas).

El biodeterioro, visto bajo esta perspectiva, es un concepto muy amplio que hace énfasis en los cambios estructurales del monumento, tanto físicos como químicos, debidos a la presencia y la actividad de seres vivos que se desarrollan sobre el mismo. Cada organismo produce una alteración particular, pero, como en todo sistema ecológico, interacciona con otros organismos y se producen relaciones complejas con el sustrato. Así que los actores responsables del biodeterioro no pueden ser considerados como elementos aislados, son parte de un complejo que favorece o acelera el deterioro. Cada actor tiene un papel múltiple y las relaciones con el sustrato dependen de cuántos y cuáles están participando.

En los ambientes tropicales húmedos tenemos condiciones que favorecen el crecimiento de muchos tipos de organismos y, en particular, de las algas, que son especialmente



activas por su desarrollo rápido y constante. La humedad relativa alta, las temperaturas elevadas y la insolación constante durante todo el año son condiciones propicias para un desarrollo masivo de algas, sobre todo en ambientes subaéreos, es decir, aquellos ambientes que están en contacto con el aire. Por ello, donde la humedad relativa es constante, el crecimiento de algas sobre los monumentos arqueológicos es muy evidente. En zonas como Calakmul o Chichén Itzá, en las que existe un aporte de humedad proveniente de la costa, las algas también crecen abundantemente, pero su desarrollo alcanza su óptimo en el periodo de lluvias. En cambio, en Chiapas, con una humedad relativa promedio anual mayor de 50% y una precipitación promedio anual de más de 2000 milímetros, prácticamente no existe una época de sequía para las algas. Además, consideremos que el entorno vegetal propicia un aporte constante de humedad a la atmósfera.

Las construcciones mayas de esta zona fueron hechas con piedra calcárea, que ofrece un sustrato alcalino, una condición favorable para muchas especies de algas que rápidamente cubren las superficies expuestas y colonizan poco a poco otras con microambientes menos favorables. El resultado es un mosaico multicolor sobre los muros, que incluye varias tonalidades de verde, desde amarillento hasta olivo parduzco, tonos naranjas y pardos y, finalmente, negros y grisáceos. Como las algas mantienen una humedad constante, se establecen musgos y hepáticas que introducen tonalidades de verde brillante al mosaico. La textura que tienen esas algas al tacto incluye céspedes cortos, terciopelos, películas duras como cuero o tersas y flexibles y, por último, una gama de mucilagos (acuosos, pastosos, duros y gelatinosos).

Para un ficólogo, este panorama biológico es muy atractivo para su estudio y análisis, pero para el público visitante de las zonas arqueológicas y, sobre todo, para los encargados de la conservación y mantenimiento de los edificios, son un serio problema, principalmente estético, pues forman manchas sobre los muros, que pueden considerarse como signo de abandono y descuido, especialmente cuando

se trata de esas grandes manchas negras que ocultan la superficie de los monumentos. Los términos utilizados para nombrar esas manchas son *tintenstrich*, *black algae* y *biofilm* o biopelícula. El primero es un término popular en Europa central, utilizado cada vez más frecuentemente en la literatura científica sobre algas subaéreas, y que hace referencia a las manchas oscuras sobre rocas (generalmente blancas de dolomita o calcáreas) que parecen derrames de tinta; los investigadores de habla inglesa se han referido al mismo tipo de algas como *black algae*. También se utiliza *biofilm* o biopelícula, que se refiere al crecimiento en el cual la matriz mucilaginoso de las algas y las bacterias es el soporte principal de toda la comunidad. En realidad, bajo estos nombres se reúne a comunidades complejas compuestas por algas, hongos, protozoarios y bacterias que están estrechamente ligadas a las zonas de escurrimientos de agua sobre la roca o los muros de edificios.



Las algas presentes en las zonas arqueológicas mayas de Chiapas son principalmente cianoprocariontes, en segundo lugar están las clorofitas y hay sólo algunas diatomeas. Las Cyanoprokaryota incluyen grupos unicelulares, coloniales y filamentosos, las Chlorophyta son principalmente filamentosas y la más conspicua de todas, *Trentepohlia aurea*, cubre

los muros con manchas, céspedes o terciopelos anaranjados; las diatomeas sólo aparecen ocasionalmente y en poblaciones muy reducidas. Para confirmar que un crecimiento está formado por algas es necesario observarlo bajo el microscopio con varios aumentos y para identificar las especies se requiere procedimientos particulares a cada grupo.

En general, la primera condición para su estudio es cultivar las algas con el fin de forzar la producción de estructuras reproductoras y registrar la variación morfológica poblacional; además, con esos cultivos se puede obtener suficiente ADN para los análisis genéticos utilizados en las comparaciones filogenéticas requeridas para la certificación específica. Sin embargo, las algas no son fáciles de cultivar, y como en el caso de muchos microorganismos, no conocemos los requerimientos nutricionales o ambientales



que favorecen el desarrollo vegetativo o reproductivo, y cada especie requiere tratamiento especial. La extrapolación de las condiciones ambientales para el cultivo no siempre da resultados positivos, pues generalmente se parte de la consideración de que se desarrollan en condiciones óptimas y no suele ser así. La falta de conocimiento de estas algas nos lleva a interpretaciones sobre su capacidad de resistencia y sobrevivencia que pueden no ser acertadas. En este sentido, la ecología de las algas epilíticas es un tema todavía en desarrollo y sin un cuerpo teórico estable para una aproximación equivalente a la que existe en el caso de las algas acuáticas, especialmente las planctónicas.

Suponemos que las condiciones ambientales generales son un buen punto de partida para tratar de entender las algas epilíticas, así que consideramos que factores como la luz, la temperatura, la presión osmótica, la desecación y las respuestas reproductivas pueden ayudarnos a explicar cómo es que las algas sobreviven, por qué la distribución es en parches, cómo mantienen una población activa durante periodos relativamente largos, etcétera. A cada uno de estos factores las algas epilíticas responden de forma distinta, en especial en la zona tropical húmeda.

La intensidad de la radiación luminosa

Como con cualquier organismo fotosintético, la luz es el factor primordial a considerar. Fuera del agua, el efecto de atenuación o filtrado es mucho menor y puede convertirse en un factor adverso para las algas, en especial en las zonas tropicales y ecuatoriales. Un exceso de radiación luminosa afecta al sistema fotosintético y, en condiciones

protegidas, en fisuras o dentro de rocas, aunque la situación es inversa, también se afecta el crecimiento celular, ya que el material del sustrato filtra (si es translúcido) o elimina (si es opaco) la luz a poca profundidad —en sólo unos cuantos micrómetros, la calidad y cantidad de luz pueden ser totalmente diferentes. Las respuestas a tales condiciones que han sido documentadas son las siguientes: a) las adaptaciones cromáticas en los sistemas fotosintéticos, por ejemplo, por la variación en la cantidad de pigmentos accesorios, especialmente carotenos, que disipan la energía en forma de calor y eliminan el oxígeno inestable producto de la sobreexcitación de la clorofila; b) la presencia de sustancias de reserva coloreadas que filtran la luz (principalmente aceites); c) la síntesis de moléculas contra el estrés, como la proteína PSBS asociada al fotosistema II o los aminoácidos tipo micosporina (MAAS), que actúan como filtros de los rayos ultravioleta; d) la presencia de moléculas opacas en la pared celular y sus derivados (vainas o tecas), de las cuales la más famosa es la scytonemina, pero también están presentes agregados minerales (hierro, carbonatos, etcétera); y e) las modificaciones de la pared celular, con una distribución especial de las fibras de celulosa o sus componentes, de modo que difractan o redireccionan los rayos luminosos.

Temperatura, presión osmótica y desecación

La insolación se acompaña además de un aumento en la temperatura y, dependiendo de la situación geográfica, los cambios diarios pueden ser verdaderamente drásticos —en los casos extremos tendremos además una evaporación muy

rápida del agua, que eleva la temperatura intracelular y puede desnaturalizar las proteínas y los ácidos nucleicos, desintegrar membranas y romper organelos. Los sustratos transfieren el calor de manera diferencial según su constitución y agregación, en las rocas se asocia a la textura, el color, la composición química, la dureza, el origen y el ángulo de exposición. Los efectos directos de los cambios térmicos fuera de los límites de resistencia de las algas se traducen en una muerte celular casi inmediata por evaporación del agua y lisis. En tal caso las respuestas de las algas a los cambios drásticos en la temperatura son: a) la síntesis de proteínas de choque térmico (HSP o *Heat Shock Proteins*) que, aunque están presentes en casi todos los organismos, su expresión y síntesis varía en cada especie; y b) la formación de vainas densas que previenen la desecación rápida o el rompimiento de las membranas celulares por los cambios osmóticos derivados de la evaporación.

Un efecto inmediato de las altas temperaturas es el incremento en la concentración de solutos en el exterior de la célula. El aumento en la presión osmótica favorece una mayor densidad en el citoplasma y la crenación celular por el desplazamiento de agua hacia afuera. En el sentido inverso, la célula se plasmolisa por el exceso de agua interna. La respuesta de las algas apunta en dos sentidos: a) la formación de paredes celulares gruesas y vainas densas; y b) la síntesis de aceites que equilibran la presión diferencialmente y en relación directa con el tamaño de las vacuolas que los contienen.

Relacionada también con la temperatura está la desecación. En el caso de temperaturas altas y en las zonas donde la humedad relativa va de moderada a baja, una desecación rápida (tanto por altas como por bajas temperaturas) significa la muerte celular. La respuesta de las algas a estas situaciones consiste en: a) la síntesis de proteínas contra el estrés, incluso algunas proteínas de shock térmico actúan también como protectoras de pérdida de agua, mientras azúcares como la sucrosa y la trehalosa previenen la desnaturalización de las proteínas, remplazando el agua que rodea a las macromoléculas; b) en el caso de humedad baja se producen aceites, paredes gruesas y vainas amplias y densas, mientras en la alta la respuesta es la formación de vainas amplias y acuosas que moderan la presión resultante; y c) otras respuestas se relacionan con la reproducción.

Biología reproductiva y crecimiento poblacional

Cada grupo de algas tiene particularidades en su reproducción, pero la formación de comunidades relativamente estables (biopelículas, tapetes, etcétera) crea las condiciones adecuadas para que la multiplicación se mantenga durante más tiempo que si los crecimientos fueran unialgales o si las células estuvieran aisladas. Un crecimiento mucilaginoso permite el desarrollo de muchas otras especies que aprovechan la accesibilidad al agua, ya sea por contacto o incorporación al mucílago y cada una aporta elemen-



tos que ayudan a la resistencia global de los cambios; por ejemplo, si la trama está formada principalmente por filamentos de *Scytonema*, una buena filtradora de rayos UV, el desarrollo de otras algas dentro de ella aumenta, y el aporte de aceites después de la muerte de algunas células cambia la densidad, la composición y la respuesta a las condiciones ambientales, por lo que las tramas algales resultantes y el intercambio de agua por los cambios en la densidad de los mucílagos participantes puede ser tan estrecho que resulta obvio pensar en una simbiosis mutualista —el concepto de competencia ecológica es difícil de aplicar en estas situaciones.

Una respuesta en condiciones subaéreas es la variación en las etapas de ciclos de vida o la presencia de estadios unicelulares agregados, los cuales son resultado de una interacción constante de los individuos, pues existen infoquímicos que les permiten incrementar su tasa de reproducción —esta comunicación entre células se conoce como percepción de quórum (*quorum sensing* en la literatura) y permite a las células detectar la densidad poblacional mínima que modifica la utilización de los recursos, estimulando el metabolismo en una u otra dirección.

Un caso que hemos documentado recientemente es el de *Trentepohlia aurea*, que vive en los monumentos mayas. El ciclo de vida y el desarrollo general de los talos ha sido ampliamente documentado por autores como Chapman, Thompson, Islam, López Bautista y Rindi, entre otros, quienes mencionan que se trata de una alternancia de generaciones con presencia de gametos biflagelados y zoosporas tetraflageladas. En Chiapas, en los muros con mayor insolación y una humedad relativa menor que en otros muros no expuestos al Sol encontramos áreas rosadas, sin crecimientos visibles de algas. Todas las muestras de tales áreas están compuestas de unicélulas esféricas o casi esféricas con las características de *Trentepohlia* (que es un filamento), y los cultivos han demostrado que realmente se trata de la misma especie que forma agrupaciones muy densas sobre las microfisuras del sustrato, sin perforarlo, y que forma aplanosporas (esporas no móviles, sin flagelos). En las muestras recolectadas y en los cultivos no hemos encontrado ninguna de las células flageladas (zoides) mencionadas por otros autores, pero en todas ellas aparecen los gametangios y los esporangios vacíos, lo cual significa una



variante en las etapas de desarrollo del ciclo de vida con una fase unicelular y una vía alterna que favorece la dispersión lenta, y que posiblemente existe una percepción de quórum muy alta que permite el desarrollo facultativo de las formas filamentosas o las unicelulares. En nuestra opinión, es una adaptación a la condición de alta insolación, humedad relativa y lluvias frecuentes de la región.

En condiciones extremas pero constantes, las especies responden limitando la multiplicación (reproducción asexual) y redirigiendo el gasto energético hacia la formación de estructuras reproductivas sexuales, en particular si el cambio es gradual. En el caso de poblaciones que viven en sitios donde los cambios son drásticos durante el día, la reproducción tiende a realizarse en condiciones estacionales más estables (época de lluvias, veranos largos). La formación de cigotos con paredes gruesas, resistentes a las condiciones adversas y con periodos de latencia prolongados es frecuente en todos los grupos con reproducción sexual de condición aerofítica y las respuestas reproductivas también están asociadas a la formación de estructuras de perennación (acinetos, cigosporas, hormogonios, esporulación en todas sus formas, etcétera). Es de notar que la respuesta reproductiva de las algas epilíticas es contraria a la de las algas acuáticas: las condiciones cambiantes de temperatura inducen la formación de estructuras reproductivas sexuales.

De todo lo anterior queda esbozado que las respuestas fisiológicas de las algas subaéreas pueden ser utilizadas como elementos a considerar en su ubicación taxonómica y que se justifica el argumento de una correspondencia entre las especies algales y las condiciones ambientales donde viven; por ello, la consideración de ubicuidad o de cosmopolitismo ambiental de las algas debe ser analizada muy críticamente.

Crecimientos masivos como comunidades

Las aportaciones de la limnología a la teoría ecológica han sido ampliamente reconocidas por los especialistas en ambientes acuáticos. Existe un cuerpo de conocimientos estructurado para explicar la dinámica de las comunidades y las poblaciones acuáticas, en especial del fitoplancton, así

como herramientas teóricas que explican bastante bien el comportamiento de las comunidades planctónicas y bentónicas a partir de elementos abióticos de todo tipo, y las correlaciones y explicaciones poseen un grado de certidumbre tal, que permiten hacer predicciones relacionadas con el manejo de los ecosistemas y su manipulación posterior. Pero en las condiciones subaéreas, la situación es diferente. ¿Toda superficie cubierta que a simple vista parece homogénea es una comunidad?, ¿cuáles son las condiciones abióticas que explican la presencia de un crecimiento en un punto?, ¿y cuáles las influencias del macroclima y el microclima en tales condiciones? Algunas respuestas a estas preguntas apenas empiezan a surgir: a) son comunidades multiespecíficas, no importa que tan extremo sea el ecosistema; b) que tienen unas cuantas especies dominantes (no necesariamente las que se aprecian a simple vista); c) el espacio físico ocupado no es fijo durante un ciclo anual y no existen límites precisos (relacionados con la composición específica) entre los parches que se forman en áreas relativamente grandes; d) la composición específica es recurrente en áreas amplias y a largo plazo (en nuestro caso, lluvias o secas), aunque las especies no aparecen en el mismo lugar si en un radio de algunos centímetros más y siempre en la misma estación; e) las relaciones con el sustrato

generalmente son intrusivas, aunque no por actividad metabólica directa; las algas ocupan cualquier espacio en el que la luz y el agua estén accesibles, y la disolución del sustrato sólo se ha documentado claramente en algas acuáticas.

En las condiciones epilíticas subaéreas tenemos diferencias en composición, tanto en lo horizontal como en lo vertical de un centímetro a otro. Los parches de crecimientos pueden parecer discretos, pero en realidad están tan entremezclados con los vecinos que parecen subcomunidades de una entidad mayor. Si nos aproximamos por esa vía, toda una zona arqueológica deberá ser considerada como una comunidad. En Palenque existen dos especies comunes en casi todos los muros (*Trentepohlia aurea* y *Scytonema gayanum*), pero cada uno de los muros tiene hasta seis parches de crecimientos distintos con coloraciones y texturas diferentes y un porcentaje de menos de 20% de especies comunes entre sí. ¿Debemos considerar toda la zona como parte de una comunidad o cada parche es distinto? En Bonampak y en Yaxchilán pasa lo mismo, ¿son los tres sitios una misma comunidad?

Si se trata de muros, un elemento más es el componente vertical, que difiere de las comunidades bentónicas acuáticas en el grado de interacción y proximidad de los individuos entre sí. En el bentos podemos discriminar los organis-





mos epífitos de los metafitos y de los perífitos, y hacer las evaluaciones poblacionales correspondientes. En los crecimientos subaéreos todos son epífitos entre sí, y si consideramos que se entremezclan entre sí, todos son endofíticos.

En cuanto a los referentes abióticos, en los ambientes acuáticos medimos temperatura, pH, nutrimentos, salinidad, conductividad, O_2 disuelto, iones y otros aspectos del agua, y los intervalos de medición pueden ser amplios. En un muro la roca tiene tal vez una composición homogénea, pero en los monumentos las piedras pueden tener un origen diferente, como en Chiapas, con una posición distinta respecto de las vecinas y, aunque todas son calcáreas, se sabe que no provienen de una sola cantera, así que en la misma área de un muro los parches algales ocupan sustratos distintos: sólo las piedras o únicamente las uniones de argamasa. La temperatura del sustrato y todas las variables ambientales relacionadas con la insolación están estrechamente relacionadas con las condiciones diarias y su variación puede ser cuestión de minutos, lo cual dificulta el intervalo de medición: si un muro recibe el sol directo, las variaciones en su temperatura son grandes, si hace viento, la evaporación es mayor y la temperatura del sustrato baja, si deja de hacer viento, la evaporación del ambiente aumenta la humedad relativa, pero la evaporación en el sustrato es menor y se estabiliza con la temperatura ambiental; esto se repite para cada uno de los factores ambientales empleados para explicar algo.

En nuestro trabajo en Chiapas estamos contabilizando las variables macroambientales: iluminación, humedad relativa, humedad contenida superficial y subsuperficialmente

en el muro, temperatura ambiental y del muro (con y sin crecimientos algales), y la velocidad y dirección del viento. Ya conocemos la composición promedio de las rocas de los muros, también contamos con las horas de iluminación para cada estación del año en los edificios que estamos estudiando. En cuanto a los crecimientos, ya contabilizamos la composición específica, la cobertura de cada especie, el tamaño de los mismos, lo cual hemos relacionado con la tasa de crecimiento de cultivos en condiciones controladas, utilizando la cantidad de clorofila por cada unidad de área cubierta en una unidad de tiempo fijo. Con tales datos esperamos construir un marco explicativo sobre los crecimientos algales en los muros de los monumentos mayas de Chiapas y contribuir a la construcción de una teoría ecológica de las algas epilíticas subaéreas.

Las algas epilíticas y el biodeterioro

En la literatura existen muchas evidencias para todo tipo de sustratos sobre el deterioro producido por bacterias, hongos, musgos y plantas. Aunque en la gran mayoría de esa literatura se registra la presencia de algas, hasta ahora no se ha demostrado fehacientemente que participan directamente en ese deterioro. Ortega y sus colaboradores han propuesto que *Trentepohlia concina* produce micro excavaciones sobre los muros de Uxmal en Yucatán, pero la interpretación puede ser otra: las algas aprovecharon las cavidades para germinar.

En nuestros estudios hemos encontrado evidencias de que las algas sólo aprovechan las irregularidades y fisuras



para fijarse en un sustrato que está expuesto a condiciones de intemperización muy agresivas. Tanto en los materiales que recubren los muros (lechadas, estucos, etcétera) como en las rocas estructurales, se producen microfisuras por el intemperismo climático; por ejemplo, en un muro expuesto, una lluvia regular baja drásticamente la temperatura del muro, satura de agua las fisuras, y se disuelve parte del material calcáreo al aumentar la temperatura por el sol directo, se calienta el muro, se evapora el agua, las partículas disueltas pueden recrystalizarse en la superficie, y aumentar las microfisuras. Las algas presentes aprovechan la humedad y la protección que ofrecen esas microfisuras y se desarrollan por más tiempo que las que están en la parte expuesta.

Las algas que hemos encontrado en Chiapas no son especies perforantes, sólo producen mucílagos que estabilizan las partículas sueltas del material intemperizado. Una superficie cubierta por mucílago algal tiene una tasa de evaporación menor que el sustrato desnudo (medida como humedad relativa sobre el muro con o sin algas), por lo tanto la intemperización es menor en ella. Los factores críticos como temperatura, desecación y cristalización son disminuidos por la presencia de las algas y sus mucílagos: la temperatura en los crecimientos algales es siempre menor que en el muro expuesto, la desecación tarda más y las partículas sueltas de carbonato son atrapadas por el mucílago. En la mayor parte de la literatura sobre el tema se aventura que los ácidos orgánicos producidos por las algas podrían disolver el sustrato, sin embargo, hasta la fecha no se ha documentado ninguno de los ácidos que existen en hongos (y líquenes), musgos y plantas vasculares.

Todo apunta entonces a que las algas tienen una función protectora importante, al menos en Chiapas y las regiones tropicales con monumentos de roca calcárea. Falta considerar el establecimiento de otros organismos que aprovechan la humedad constante de las algas, para lo cual es necesario evaluar los pasos requeridos en la conservación: eliminar todo crecimiento biológico, con la consiguiente exposición del sustrato a los factores intemperizantes o controlar el crecimiento de algunos organismos y eliminar sólo los más agresivos al sustrato.

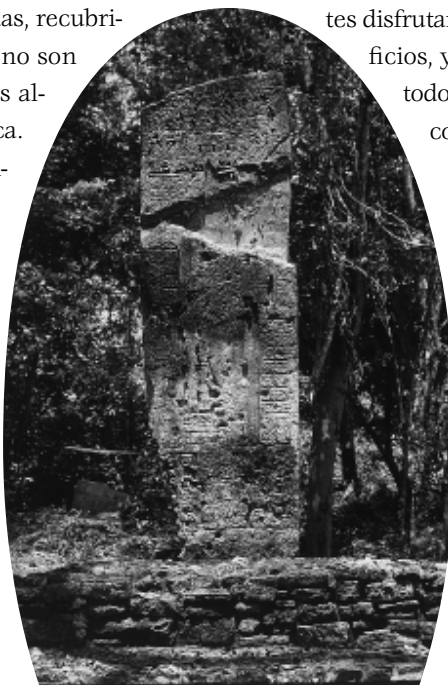
Las algas de los monumentos mayas de Chiapas (Palenque, Bonampak y Yaxchilán) tienen una distribución mundial restringida, pues algunas sólo han sido vistas en estos sitios de México; tenemos al menos diez especies nuevas para la ciencia que están en procesos de clasificación y que requieren la conservación del hábitat donde viven. A la con-

servación de los monumentos se añade así la conservación de la biodiversidad de algas (y seguramente de otros grupos biológicos que no han sido estudiados en esos sitios). La experiencia de muchos años de los conservadores ha confirmado que los métodos utilizados (biocidas, recubrimientos, limpieza mecánica, etcétera) no son efectivos a largo plazo para eliminar las algas y generalmente afectan más a la roca.

Quizá es el momento de cambiar el enfoque: las algas pueden prevenir un desgaste mecánico de las superficies y son parte de la biodiversidad; entonces, en vez de eliminarlas, es posible controlar su crecimiento con métodos que se dirijan a cambiar las respuestas ecológicas y fisiológicas (limitando la percepción de quórum, por ejemplo). Sólo las superficies en las que exista una consideración de tipo estético y en las que dificulten la observación de las estructuras (estucos y labrados) es deseable su lim-

pieza; pero en los edificios es posible mantener controlado el crecimiento sin que se modifique la apreciación del conjunto arquitectónico. Los monumentos mayas en Chiapas son parte de un entorno biológico muy rico y los visitantes disfrutan tanto la visita a la selva como a los edificios, y gracias a la selección adecuada de métodos de control de algas ha sido posible que,

con una información mínima, cambien su percepción, de sólo observar las ruinas, a la de disfrutar de un monumento que está conservado (ésta es una experiencia de los viajes de recolección). Sólo falta convencer a políticos, conservadores, arqueólogos, y sobre todo al turismo, de que los monumentos se ven más hermosos cubiertos de algas negras, rojas o verdes, que en algunos sitios esas manchas son necesarias para proteger los monumentos, y que son parte de la biodiversidad, que también es patrimonio nacional. 🐛



Eberto Novelo, Rosaluz Tavera y Guadalupe Vidal
Facultad de Ciencias,
Universidad Nacional Autónoma de México.

AGRADECIMIENTOS

Al INAH-CONACULTA por los permisos y facilidades para realizar el trabajo de campo, y a PAPIIT-UNAM por el financiamiento de los proyectos IN214606 e IN221811.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allsop, D., K. J. Seal y C. C. Gaylarde. 2004. *Introduction to biodeterioration*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Ortega-Morales, O., J. Guezennec, G. Hernández-Duque, C. C. Gaylarde y P. M. Gaylarde. 2000. "Phototrophic biofilms on ancient mayan building in Yucatan, Mexico", en *Current Microbiology*, núm. 40, pp. 81-85.

IMÁGENES

Ignacio Chávez, Palenque, Chiapas, 1979.

CONSERVATION AND BIOLOGY: ALGAE ON MAYAN ARCHEOLOGICAL MONUMENTS

Palabras clave: algas epilíticas, algas subaéreas, biodeterioro, conservación.

Key words: Epilithic algae, subaerial algae, biodeterioration, conservation.

Resumen: Las algas que crecen sobre los monumentos mayas son parte de la biodiversidad de la zona tropical y no son las responsables de su deterioro; más bien pueden ayudar a conservarlos pues reducen los impactos del intemperismo. Es necesario mantenerlas y, por razones estéticas, controlar su crecimiento, para lo cual el conocimiento de sus respuestas fisiológicas y ecológicas a las condiciones ambientales puede ayudarnos.

Abstract: Algae on Mayan monuments are part of the biodiversity of the tropical zone and are not responsible for their deterioration, and can even help preserve them by reducing the impact of weathering. It is necessary to maintain them, and in some cases, for esthetic reasons, control their growth. Knowing the physiological and ecological responses of algae to environmental conditions may provide us with elements to control them.

Eberto Novelo es Profesor de Carrera del Departamento de Biología Comparada de la Facultad de Ciencias de la UNAM, egresado y doctorado en la misma institución.

Rosaluz Tavera es Profesora de Carrera Titular del Departamento de Ecología y Recursos Naturales de la Facultad de Ciencias de la UNAM, egresada de la misma y doctorada en la Universidad de Bohemia del Sur, República Checa.

Guadalupe Vidal es Técnica Académica del Departamento de Biología Comparada de la Facultad de Ciencias de la UNAM, bióloga y Maestra en Ciencias por la misma institución.

Recibido el 20 de enero de 2011, aceptado el 10 de junio de 2011.