ISSN 0372-4565 (de)
Universidad Nacional de La Plata - Facultad de Ciencias Naturales y Museo
Revista del Museo de La Plata
2003
Publicación Técnica y Didáctica, 44: 1-11

Biodeterioro de materiales estructurales de sitios arqueológicos de la civilización maya

Héctor A.Videla[1], Patricia S. Guiamet[1,2], Sandra G. Gómez de Saravia[1,3]

[1] INIFTA. Departamento de Química. Facultad de Ciencias Exactas.
Universidad Nacional de La Plata, C.C. 16, Suc. 4, 1900, La Plata, Argentina.
E mail: hvidela@infovia.com.ar
[2] CONICET - [3] CICPBA

Resumen. El patrimonio cultural Maya abarca una amplia variedad de monumentos arqueológicos situados en los estados mexicanos de Yucatán, Campeche, Quintana Roo, Tabasco, Chiapas y en los países de Honduras, Guatemala y Belice en América Central. Con el objetivo de determinar las principales causas del biodeterioro de la roca, se estudiaron dos sitios arqueológicos de la civilización Maya en México: el centro urbano de Uxmal y la fortaleza de Tulum. Las construcciones en estos sitios son de dos tipos de roca: roja y blanca. La composición química de ambas rocas es fundamentalmente carbonato de calcio y presentan diferente resistencia al deterioro biológico y ambiental. En las paredes de los sitios arqueológicos expuestas al aire se observaron depósitos negros y fueron observados abundantes depósitos verdosos en las paredes internas de las construcciones protegidas de la luz solar y de la lluvia. Se aislaron principalmente cianobacterias, bacterias heterotróficas mesófilas y hongos. Para la identificación de los contaminantes microbianos se utilizaron diferentes técnicas de aislamiento y ensayos bioquímicos complementados con observaciones microscópicas. Los depósitos encontrados sobre la roca se observaron a través de diferentes técnicas de microscopía y se realizaron análisis de superficie por dispersión de rayos X (EDAX). Los resultados obtenidos en nuestros estudios, permitieron constatar mecanismos de biodeterioro de la roca caliza a través de la producción de metabolitos ácidos de origen bacteriano y fúngico. Este mecanismo de ataque fue predominante en las construcciones de Uxmal mientras que en la fortaleza de Tulum se constató el efecto agresivo de los factores ambientales de la atmósfera marina sobre el efecto ocasionado por el biodeterioro.

Palabras clave: *Biodeterioro, Patrimonio Cultural, Bacterias, Hongos, Cianobacterias*

Abstract. Mayan culture heritage covers a wide variety of archeological monuments spread over the Mexican states of Yucatan, Campeche, Quintana Roo, Tabasco and Chiapas and the countries of Honduras, Guatemala, and Belice in Central America. The urban nucleus of Uxmal and the ancient fortress of Tulum, two sites of the Mayan civilization of Mexico, were studied with the aim to determine the main causes of rock decay. Buildings in this area are of two types of calcareous limestone: red and white, which offer different degradation resistance to the various types of contamination. Black crust deposits in walls exposed to open air and copious greenish biofilms in inner compartments protected from sunshine and the rainfall were found. Microorganisms isolated from both archeological sites were mainly cyanobacteria, heterotrophic bacteria and fungi. Different isolation techniques and biochemical assays complemented with microscopic observations were used to identify the microbial contaminants. Crust deposits were observed by using different microscopic techniques and surface analyses were carried out through energy dispersive X-ray analysis (EDAX). The results obtained by our studies permitted to verify biodeterioration mechanisms of limestone by bacterial and fungi acid metabolites. These mechanisms of attack were predominant in the Uxmal buildings whereas in the Tulum fortress the aggressive effects of the marine environment on biodeterioration effect were observed.

Key words: *Biodeterioration*, *Cultural Heritage*, *Bacteria*, *Fungi*, *Cyanobacterias*.

Introducción

El patrimonio cultural Iberoamericano en América Central y Sudamérica deriva principalmente de tres civilizaciones precolombinas: Azteca (México), Maya (México, Honduras, Guatemala y Belice) e Inca (Perú). Los monumentos históricos y los sitios arqueológicos en el área Maya están construidos con diferentes tipos de rocas calizas que poseen diferente resistencia a la degradación por contaminación biológica y ambiental. Las rocas calizas contienen básicamente dos tipos de componentes que difieren por su color: caliza roja y blanca. De acuerdo con los análisis de difracción de rayos X, ambas son carbonato de calcio y la principal diferencia está en la porosidad. La roca caliza blanca es 2,48 veces más porosa que la roja (Maldonado et al., 1998).

El biodeterioro de la propiedad cultural es el daño físico o químico efectuado por diferentes tipos de organismos en objetos, monumentos o edificios que pertenecen al patrimonio cultural (Videla, 1996).

Dentro de los principales factores que están involucrados en el deterioro de los materiales pertenecientes al patrimonio cultural pueden mencionarse: a) procesos de biodeterioro, b) contaminación ambiental (elevadas temperaturas y humedades relativas) y c) contaminación antropogénica (creciente número de turistas).

Los factores ambientales como las elevadas temperaturas (frecuentes en las principales localidades de los monumentos arqueológicos de Ibero América), la humedad relativa y la polución natural y antropogénica juegan un rol decisivo en el tipo de deterioro (Videla, 1988).

En los procesos de biodeterioro intervienen bacterias quimiolitotróficas, autotróficas y heterotróficas, hongos, algas, líquenes, musgos y plantas superiores. Entre las bacterias que atacan a los monumentos y edificios de piedra pueden mencionarse las tiobacterias, las silicobacterias y las bacterias nitrificantes. Estas últimas son capaces de transformar los nitratos en nitritos, los sulfatos en sulfuros, producen ácido nítrico, nitroso y sus sales de amonio que intervienen en la degradación del asbesto (Wasserbauer et al., 1988).

Las comunidades microbianas que se desarrollan asociadas a los sustratos de roca son en parte responsables del deterioro químico y físico de la misma y alteran a través de diferentes mecanismos la apariencia estética y la integridad física del material (Krumbein, 1998) con la consecuente formación de ensuciamiento y transformación de minerales (Eckardt, 1985). La excreción de enzimas y ácidos inorgánicos y orgánicos disuelve los componentes estructurales del sustrato mineral, contribuyendo a los procesos de deterioro (Warscheid et al., 1988).

Se han aislado bacterias autótrofas y heterótrofas sobre superficies de rocas estructurales pertenecientes al patrimonio cultural (Saiz Jiménez, 1994). Estas últimas han sido detectadas en número elevado en las superficies de rocas (Tayler & May, 1991). Es sugerido que éstas pueden atacar la roca a través de procesos químicos y físicos relacionados con el metabolismo bacteriano y con los biofilms formados (Warscheid et al., 1991) . Estos procesos a veces están asociados con los fenómenos de ensuciamiento o manchado de las rocas (Lewis et al., 1988).

Los hongos pueden degradar la roca tanto química como mecánicamente (Koestler et al., 1988). Estos producen una amplia variedad de ácidos orgánicos e inorgánicos que pueden desmineralizar varios sustratos rocosos; deben mencionarse por ejemplo en particular los actinomicetes que atacan a los monumentos de arenisca (Griffin et al., 1991). McCormack et al., (1996) observaron el ataque ácido del hongo *Aspergillus glaucus* en concreto.

Las cianobacterias y las algas tales como clorofitas, crisofitas y diatomeas, forman costras pigmentadas que afectan al sustrato estéticamente y provocan deterioro físico y químico de la roca (Ortega et al., 1991). Su presencia se reconoce a través de la formación de pátinas. Las cianobacterias epilíticas juegan un papel importante en la disolución del carbonato de la roca caliza, pudiendo provocar el desprendimiento de partes de la misma, debido a una disminución en la coherencia de los cristales alrededor de las colonias (Ortega et al., 1991).

Los líquenes están asociados con el deterioro de la roca de una manera similar a los musgos y a las plantas superiores (Monte, 1991). Por ejemplo, en el mármol los líquenes endolíticos pueden secretar ácido oxálico que lo atacaría, precipitando como oxalato de calcio dihidratado y formando una pátina de oxalato. Este mecanismo de biodeterioro le fue atribuido también a las cianobacterias (Ortega et al., 1991). Los musgos a través de los rizoides, pueden penetrar en la roca provocando agujeros («pitting») (García de Miguel et al., 1995). La acción de las plantas vasculares en el deterioro de la roca puede ser mecánica, a través del crecimiento de raíces, o química, por la acidez de las raíces y diversos exudados (Saiz Jiménez, 1994).

El objetivo de este artículo es estudiar las principales características de los procesos de biodeterioro que afectan construcciones arqueológicas de Uxmal y de Tulum ubicadas en la Península de Yucatán, México para que posteriormente se puedan implementar medidas de protección y prevención.

Métodos

Debido al valor cultural de las construcciones arqueológicas de Uxmal y Tulum los muestreos se realizaron en forma aséptica utilizando técnicas no destructivas. Las biopelículas se desprendieron de la superficie de las rocas con una espátula estéril y se colocaron en frascos también estériles que luego se transportaron al laboratorio, donde el material fue dividido para realizar los análisis microbiológicos, químicos, microscópicos y mineralógicos (análisis de EDAX).

En Uxmal se tomaron muestras de: 1) las costras superficiales de una pared contigua a la Pirámide del Adivino (Fig. 1) en un área expuesta a la luz solar directa y lluvia y 2) de una pared interna del Palacio del Gobernador (área protegida de la luz solar y de la lluvia) que mostraba abundantes depósitos verdosos (Fig. 2).

En Tulum las muestras se tomaron de: 1) de una de las paredes interiores del Templo del Viento, 2) de una pared externa de la Casa del Cenote, expuesta a la luz solar y lluvia (Fig. 3).

Las muestras de Uxmal se colectaron durante el invierno (febrero/1998), mientras que en Tulum los muestreos se realizaron a fines del verano (septiembre/1998).

Aislamiento de microorganismos

Pequeñas cantidades de las muestras fueron suspendidas asépticamente en solución salina estéril y cultivadas en agar nutritivo y en agar YGC (Extracto de Levadura-Glucosa-Gloranfenicol). Luego de un período de incubación de 24 h a 28 °C se realizaron coloraciones de Gram observándose bacilos Gram negativos y bacterias esporuladas. Se realizaron subcultivos de los bacilos Gram negativos en agar EMB (Eosina Azul de Metileno). Después de un período de incubación de 24 h se hicieron siembras en agar Cetrimide. Finalmente se realizaron pruebas bioquímicas, para determinar los géneros presentes.

Las bacterias Gram positivas esporuladas fueron sembradas en agar de Mosel. Posteriormente también se realizaron pruebas bioquímicas, para la identificación bacteriana. Del agar YGC, se aislaron hongos de diferente morfología luego de un período de incubación que varió de 72 h a 1 semana.

Los géneros de hongos y de cianobacterias se determinaron en un microscopio óptico Olympus/ Vanox, utilizando bibliografía especializada (Carmichael et al., 1980; Thom & Raper, 1945; Desikachary, 1959; Komarek & Anagnostidis, 1986; Bourelly, 1985).

Observaciones microscópicas y análisis de superficie

Se observaron pequeñas porciones de roca caliza provenientes de los diferentes sitios de muestreo en la lupa estereoscópica (Leica Wild M8) y en el microscopio electrónico de barrido (MEB) (Philips 500). Las muestras que se observaron en el MEB fueron previamente fijadas en una solución de glutaraldehido/tampón de fosfatos al 2,5%, luego lavadas con una solución de tampón de fosfatos, deshidratadas en acetona hasta el 100 % y finalmente tratadas con la técnica del punto crítico y metalizadas con oro paladio.

Para evitar distorsiones en la muestra y evitar la presencia de elementos extraños (debidos a los procesos de deshidratación), las muestras fueron también observadas en el microscopio electrónico de barrido ambiental (MEBA) (Philips ElectroScan 2010).

Para caracterizar los productos derivados del deterioro de la roca se utilizó análisis de superficie por dispersión de rayos X (EDAX).

Test de acidificación

En el laboratorio fue realizado un test de acidificación utilizando un medio mineral (Salvarezza et al., 1983) glucosado al 1 % para favorecer el crecimiento y verificar la capacidad acidificante de las bacterias del género *Bacillus* y glucosado al 2 % para el caso de los hongos con mitosporas pigmentadas oscuras y para *Aspergillus niger*. En todos los casos el pH del medio se ajustó en 7,0 y el descenso del mismo se evaluó en función del tiempo.

Resultados y discusión

Las observaciones de las muestras realizadas en el microscopio óptico (40 x) revelaron la presencia de abundantes bacterias móviles y escasas células filamentosas.

Las bacterias aeróbicas identificadas en los diferentes monumentos muestreados del centro urbano de Uxmal y Tulum pueden observarse en la tabla 1. Las bacterias anaeróbicas (Bacterias Reductoras de Sulfato) fueron halladas en Tulum, tanto en la Casas del Cenote como en el Templo del Viento.

Los hongos identificados se observan en la tabla 2. Se aislaron hongos Micelio Sterilia en: Uxmal (Pared contigua a la Pirámide del Adivino) y en Tulum, en el Templo del Viento. En Uxmal (Pared contigua a la Pirámide del Adivino) se aislaron hongos con mitosporas de pigmentación oscura; en Uxmal (Pared Interna del palacio del Gobernador) se aislaron hongos que no fueron identificados.

En los sitios arqueológicos muestreados en Uxmal (Pared interna del palacio del Gobernador

y pared contigua a la Pirámide del Adivino) se identificaron cianobacterias del género *Cyanocystis.* En Tulum, se identificaron las cianobacterias indicadas en la tabla 3.

En Tulum, Pared interna Templo del Viento, se identificó la cloroficea del género *Chlorella* y en la Pared externa Casa del Cenote se identificó la cloroficea del género *Gongrosira.*

A través de las observaciones realizadas en el MEB y MEBA se constató que las bacterias, los hongos y las cianobacterias colonizan la estructura cristalina de la roca (Fig. 4).

Hernández et al. (1998) encontraron altas concentraciones de materia orgánica asociada a biopelículas algales en el interior de construcciones arqueológicas de Uxmal. Esto indica que la materia orgánica de tales superficies es aportada por vía fotosintética y se supone una dependencia trófica de las poblaciones bacterianas heterotróficas. Las biopelículas algales y de cianobacterias parecen participar en los procesos de biodeterioro, sirven de soporte a una población heterotrófica y a través de la degradación directa de los componentes del sustrato (Koestler et al, 1985; Gómez Alarcón et al., 1994).

Tabla 1. Bacterias identificadas en los monumentos de Tulum y Uxmal.

Bacterias identificadas	Uxmal (Pared interna Palacio del Gobernador)	Uxmal (Pared Contigua Pirámide del Adivino)	Tulum (Pared interna Templo del Viento)	Tulum (Pared externa Casa del Cenote)
Pseudomonas sp.	+	+		
Bacillus circulans			+	+
Bacillus cereus	+	+		

Tabla 2. Hongos identificados en los monumentos de Tulum y Uxmal.

Hongos identificados	Uxmal (Pared Contigua Pirámide del Adivino)	Tulum (Pared interna Templo del Viento)	Tulum (Pared externa Casa del Cenote)
Aspergillus niger			+
Aspergillus sp.		+	+
Aspergillus ochraceus		+	
Monilia sp.	+		

Tabla 3. Cianobacterias identificadas en los monumentos de Tulum.

Cianobacterias identificadas	Tulum (Pared interna Templo del Viento)	Tulum (Pared externa Casa del Cenote)
Gloeocapsa sp.	+	+
Pleurocapsa sp.	+	
Gloeothece sp.		+
Synechocystis sp.	+	
Synechococcus sp.	+	
Chlorogloeopsis sp.	+	
Chroococcidiosis sp.	+	
Xenococcus sp.		+

Los perfiles de EDAX de partículas redondas presentes en los depósitos verdosos de la pared interna del Palacio del Gobernador (Uxmal) revelaron picos elevados de calcio y picos más bajos de cloro, sílice, azufre y aluminio (Fig. 5). Los EDAX realizados a las muestras tomadas en la Pirámide del Adivino mostraron picos elevados de azufre, cloro, potasio y calcio similares a las muestras de la Palacio del gobernador (Guiamet *et al*., 1998).

Estos datos concuerdan con estudios realizados en materiales estructurales semejantes a concreto (McCormack *et al*., 1996) donde se encontraron altos niveles de calcio lo que indicaría que el material base puede ser alterado. Según McCormack *et al*. (1996) el calcio puede ser desplazado de la matriz binaria de calcita por un mecanismo de intercambio de iones que involucra amonio y magnesio. La liberación de sodio, potasio, calcio, magnesio y aluminio podría ser usada como índice de biodeterioro.

En las muestras tomadas en el Templo del Viento y Casa del Cenote, se observaron elevados picos de cloro (de la atmósfera marina) y de calcio (de la biosolubilización de la roca caliza) y pequeños picos de azufre, sodio, aluminio y silicio. Los picos de azufre se pueden asociar a la presencia de bacterias reductoras de sulfatos aisladas de las biopelículas.

De los análisis de EDAX realizados en las muestras de Tulum se puede inferir una acción sinérgica entre el medio ambiente marino y las biopelículas microbianas. Datos aportados por Maldonado et al. (1998) y Maldonado & Veleva (1999) sobre corrosión atmosférica (salinidad y dióxido de azufre) correspondientes a la Península de Yucatán, muestran una velocidad de sedimentación más elevada en Tulum que en Uxmal, debido a la proximidad del mar. Los promedios anuales de poluentes atmosféricos como cloruro y dióxido de azufre, son claramente más elevados en la fortaleza de Tulum que en el Centro Urbano de Uxmal, ratifican así la mayor agresividad de la atmósfera marina.

Los tests de acidificación arrojaron como resultado un importante descenso del pH en 2,5 unidades llegando a valores de 4,5-4,6 verificándose la capacidad acidificante de las bacterias y hongos aislados. Esta marcada acidificación sugiere que uno de los mecanismos de deterioro podría estar vinculado a un ataque ácido de la estructura de la roca por un mecanismo biogeoquímico de solubilización metabólica (biosolubilización) de los elementos estructurales del mineral. Videla & Characklis (1992) indicaron que los cambios drásticos en el pH, concentración de iones y condiciones redox pueden ocurrir en y debajo de la matriz de material polimérico extracelular (exudado por las bacterias) y lleva a condiciones muy agresivas, que usualmente no se encuentran en áreas no contaminadas.

Conclusiones

Las bacterias, hongos y algas son los principales colonizadores microbianos de la roca caliza que constituye el material estructural de los sitios arqueológicos muestreados. Con los resultados obtenidos de los análisis químicos de EDAX y microsonda, complementados con microscopía electrónica de barrido (SEM y ESEM) podemos sugerir que los mecanismos de biodeterioro se deben, predominantemente, a procesos de biosolubilización; estos procesos involucran la producción de metabolitos ácidos provenientes de la actividad bacteriana y fúngica que pueden potenciar los efectos agresivos de la corrosión atmosférica.

Agradecimientos

Esta investigación forma parte de las actividades desarrolladas en el marco de la red temática XV-E del Programa de Ciencia y Tecnología para el desarrollo (CYTED) Subprograma XV (Corrosion/Impacto Ambiental sobre los materiales). Este trabajo ha sido financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Universidad Nacional de La

Plata y la Comisión de Investigaciones Científicas de La Provincia de Buenos Aires (CICPBA).

Los autores agradecen al INAH-Yucatán e INAH-Q. Roo, y particularmente al arqueólogo J. Huchin por las facilidades e instalaciones proporcionadas en Uxmal y Tulum para la realización del trabajo presentado.

Las cianobacterias fueron determinadas por el Dr. R. Echenique.

Referencias

Bourrelly, P. 1985. *Les Algues d'eau Douce. Société Nouvelle* Des Editions. Paris. 572 pp.

Carmichael J. W., Kendrich W. B., Conners I. L. & Sigler L. 1980. *Genera Hyphomycetes*. The University of Alberta Press, Edmonton, Alberta. 385 pp.

Desikachary, T. V. 1959. *Cyanophyta*. Ind. Counc.Agr.Res. New Delhi, 686 pp.

Eckardt, F. E. W. 1985. Solubilization, transport and deposition of mineral cations by microorganisms. Efficient rock weathering agents. En: Drever, J. I. (dd): *The Chemistry of Weathering*, pp. 161-173. Dordretch, Netherlands: Reidel Publishing Co.

García de Miguel, J. M., Sánchez-Castillo, L., Ortega-Calvo, J. J., Gil, J. A. & Saiz-Jimenez, C. 1995. Deterioration of building materials from the Great Jaguar pyramid at Tikal, Guatemala. *Building and Environment* 30: 591-598.

Gomez Alarcón, G., Muñoz, M. L. & Flores, M. 1994. Excretion of organic acids by fungal strains isolated from decayed sandstone. *International Biodeterioration & Biodegradation* 34: 169-180.

Griffin, P. S., Indictor, N. & Koestler, R. J. 1991. The biodeterioration of stone: a review of deterioration mechanisms, conservation case histories and treatment. *International Biodeterioration* 28: 187-207.

Guiamet, P. S., Gómez de Saravia, S. G. & Videla, H. A. 1998. Biodeteriorating microorganisms of two archaeological buildings at the site of Uxmal, México. *Proceedings LATINCORR'98* Paper Nro. S11-01: 5 pp. Cancún, México.

Hernández-Duque, G., Ortega- Morales, O., Sand, W., Jozsa, P., Crassous, P. & Guezennec, J. 1998. Microbial deterioration of Mayan stone buildings at Uxmal, Yucatan, México. *Proceedings LATINCORR'98* Paper Nro. S1-04: 10 pp. Cancún, México.

Koestler, R. J., Charola, A. E., Wypyski, M. & Lee, J. J. 1985. Microbiologically induced deterioration of dolomitic and calcitic stone as viewed by scanning electron microscopy. *Proceedings V Congrés International sur l'Alteration et la Conservation de la Pierre*, 2: 617-626, Lausanne, Francia.

Koestler, R. J., Santoro, E. D., Druzik, J., Preusser, F., Koepp, L. & Derrick, M. 1988. Ongoing studies of the susceptibility to biodeterioration of stone consolidants to microbiologically induced corrosion. In: Hougthon, D. R., Smith, R. N., Eggins, H. O. W., (ed), *Biodeterioration 7*, pp. 441-448. Elsevier Science, London, UK.

Komarek, J. & Anagnostidis, K. 1986. Modern approach to the classification system of Cyanophyta 2- Chroococales. *Arch. Hidrobiol. Suppl.* 73,2 Algol. Stud. 43: 157-226.

Krumbein, W. E. 1988. Microbial interactions with mineral materials. In: Houghton, D., Smith, R., Eggins , H. O. W. (ed.), *Biodeterioration 7*, pp. 78-100. Elsevier, New York, USA.

Lewis, F. J., May, E. & Bravery, A. F. 1988. Metabolic activity of bacteria isolated from building stone and their relationship to stone decay. En: Houghton, D., Smith, R., Eggins, H. O. W. (ed.), *Biodeterioration 7*, pp. 107-112. Elsevier Science, London ,UK.

Maldonado, L., Díaz, L., Cabrera Sansores, A., Pacheco Avila, J. & Halsey, D. 1998. Natural and accelerated dissolution of limestone used in monuments under tropical atmospheres, *CORROSION/98*, Paper no. 350, NACE International, Houston, Tx.

Maldonado, L. & Veleva, L. 1999. Corrosivity category maps of a humid tropical atmosphere: the Yucatán Península, México. *Materials Corrosion* 50: 261-266.

McCormack, K., Morton, L.H.G., Benson, J., Osborne, B. N. & McCabe R. W. 1996. A preliminary assessment of concrete biodeterioration by microorganisms. Proceedings LABS 2, Biodeterioration & Biodegradation in Latin America 68-70. Porto Alegre, Brazil.

Monte, M. 1991. Multivariate analysis applied to the conservation of monuments: lichens on the Roman aqueduct Anio Vetus in S. Gregorio. *International Biodeterioration* 28: 133-150.

Ortega-Calvo, J. J., Hernández-Marine, H. & Saiz-Jiménez, C. 1991. Biodeterioration of buildings materials by cyanobacteria and algae. *International Biodeterioration* 28: 165-186.

Saiz-Jimenez, C. 1994. Biodeterioration of stone in historic buildings and monuments. In: Leewellyn, C., Dashek, W. V., O'Rear, C. E. (ed.): *Biodeterioration Research 4*, pp. 587-604. Plenum Press, New York.

Salvarezza, R. C., de Mele, F. L., & Videla, H. A. 1983. Mechanisms of the microbial corrosion of aluminum alloys. *Corrosion* 39: 26-32.

Tayler, S. & May, E. 1991. Detection of specific bacteria on stone using an enzime-linked immunosorbant assay. *Inter. Biodeterior. Biodegradation* 34: 155-167.

Thom, C. & Raper, K. B. 1945. *A Manual of the Aspergilli*. Williams & Wilkins, Baltimore. 300 pp.

Videla, H. A. & Characklis, W. G. 1992. Biofouling and microbiologically influenced corrosion. *International Biodeterioration* 29: 195-212.

Videla, H. A. 1996. Manual of Biocorrosion. Lewis Publishers/CRC Press. Boca Raton, FL, USA. 288 pp.

Videla, H. A. 1998. Biodeterioration of the Ibero American cultural heritage. A problem to be solved. *Proceedings LATINCORR/98*. Paper No. S11-02, 5 pp. Cancún, México.

Warscheid, T., Petersen, K. & Krumbein, W. 1988. Effect of cleaning on the distribution of microorganisms on rock surfaces. En: Houghton, D., Smith, R., Eggins, H. O. W. (eds). *Biodeterioration* 7, pp. 455-460. Elsevier, New York, USA.

Warscheid, T., Oetling, M. & Kumbrein, W. E. 1991. Physico-chemical aspects of biodeterioration processes on rocks with special regard to organic pollutants. *International Biodeterioration* 28: 37-48.

Wasserbauer, R., Zadak, Z. & Novotny, J. 1988. Nitrifying bacteria on the asbestos-cement roofs of stable buildings. *International Biodeterioration & Biodegradation* 24: 153- 165.

Recibido: 08 / 08 / 02
Aceptado: 01/ 09/ 03

Figura 1: Uxmal, pared contigua a la Pirámide del Adivino donde se observan las costras de color oscuro.

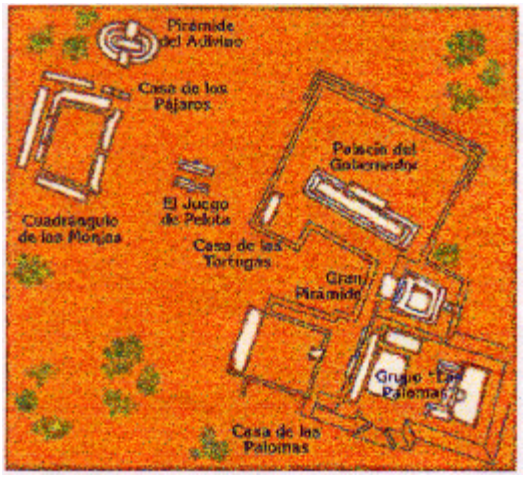

Figura 2: Mapa de Uxmal.

Gentileza de The matrix.sureste.com/cityview/merida1/mapa/muxmal.htm. Sitio elaborado por Enlaces y Comunicaciones del Sureste, S. A. de CV en coordinaciòn con el Diario de Yucatán, México

Figura 3: Mapa de Tulum. a: Casa del Cenote; b: Templo del Viento. Gentileza de www.cancum.map.com/espanol/maptulum_can_esp.asp Promo Cancun Corredor S. A. de CV 1999-2003

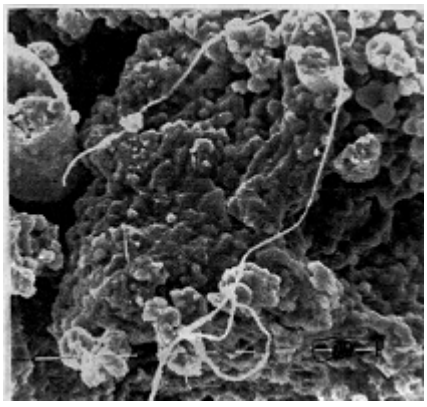

Figura 4: Microfotografía (MEB) de depósitos obtenidos en la pared contigua a la Pirámide del Adivino. Barra: 10m.

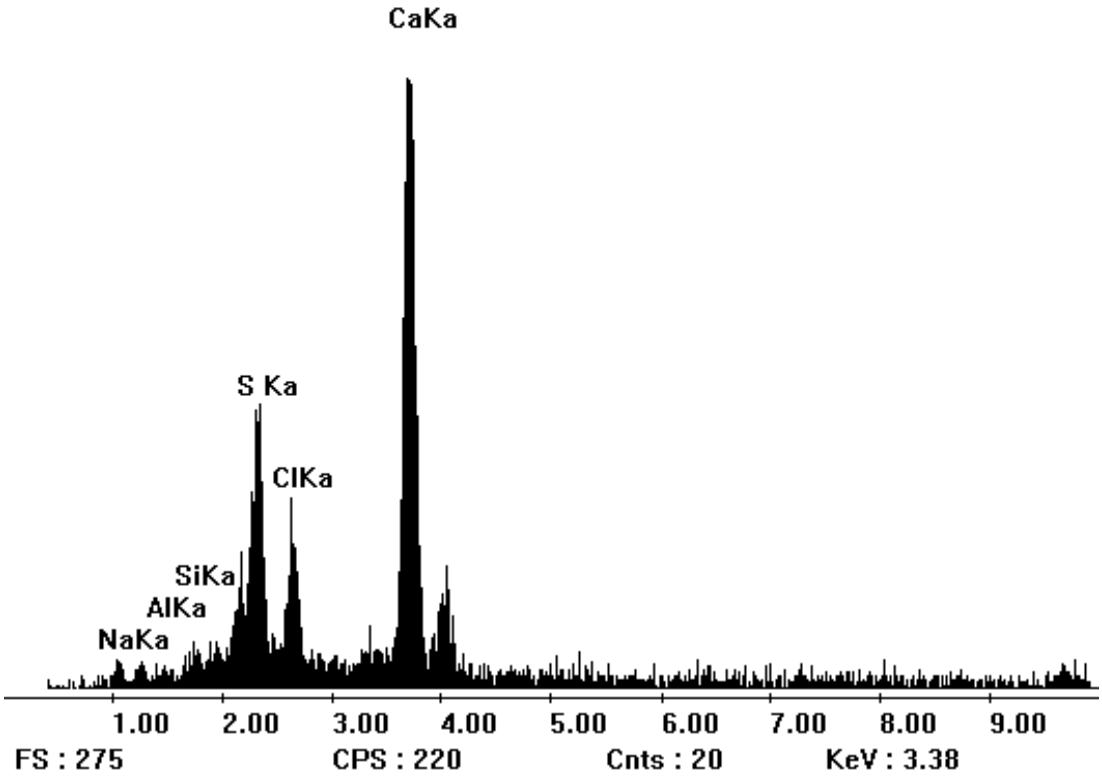

Figura 5: EDAX de una de las partículas redondas presentes en los depósitos verdosos de la pared interna del Palacio del Gobernador (Uxmal) donde puede apreciarse un elevado pico correspondiente al calcio y picos mas bajos de cloro, azufre, sílice, aluminio.