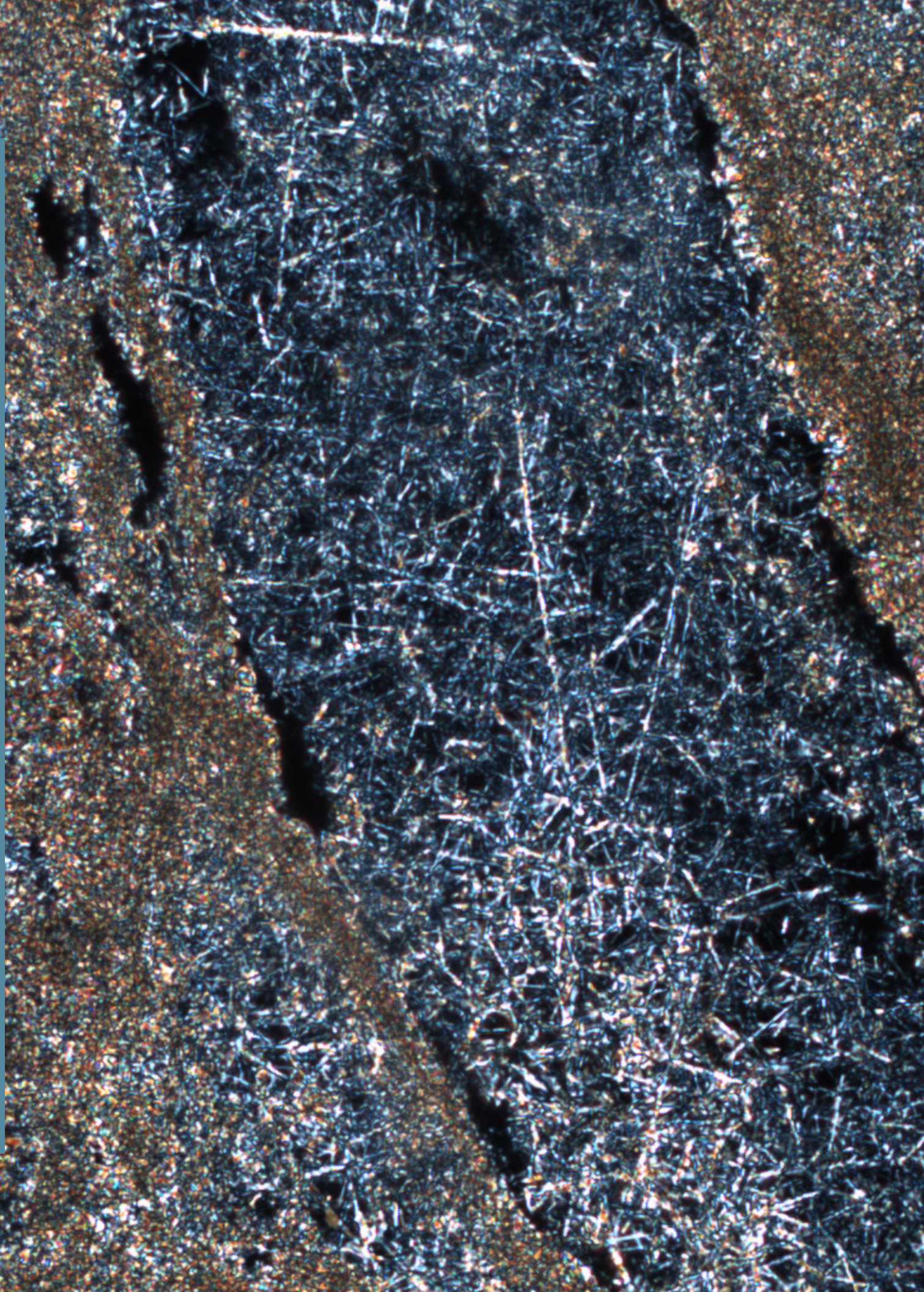


Lublimita (calcita acicular) entornada en poros de los morteros de Dzibanché.

Imagen: ©Luisa Straulino Mainou.



Deterioro del friso del edificio E2 en Dzibanché. Perspectivas macro y micromorfológicas

Luisa Straulino Mainou,* Sandra Balanzario Granados,** Gabriela Mazón Figueroa,* Miriam Elizabeth Castro Rodríguez* y Sergey Sedov***

*Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural

**Centro INAH Quintana Roo

Instituto Nacional de Antropología e Historia

*** Instituto de Geología

Universidad Nacional Autónoma de México

Resumen

El artículo aborda de manera sencilla el deterioro registrado por diversos medios, tanto macroscópicos como microscópicos del relieve del edificio E2 de Dzibanché. Las observaciones macroscópicas y el registro detallado de los efectos de deterioro se contrastan con información micromorfológica obtenida tanto con láminas petrográficas como MEB-EDS. Después de contrastar la información se proponen los mecanismos de deterioro que han afectado al relieve. En general el friso tiene problemas de escamación y pérdida de capa pictórica, así como presencia de eflorescencias y subeflorescencias. También hay aportes de humedad y crecimiento de *biofilms* en la superficie. De manera microscópica se observa que en las secciones donde hay pérdida de volumen existe disolución del material intergranular o matriz por lo que los agregados no tienen cementación provocando pulverulencia, también se observa la transformación de la calcita en lublinita. Las sales fueron identificadas como sulfatos cuya fuente es el cemento de las restauraciones arquitectónicas. La pulverulencia extrema de la superficie se debe tanto a la formación de sulfatos como a la disolución selectiva de carbonatos en la superficie. La pérdida de capa pictórica se debe a que hay subeflorescencias que cristalizaron entre el límite del repellado y el enlucido o capa pictórica que son menos porosos. Las secciones bien conservadas cerca de las fisuras se deben a neoformaciones de cristales de carbonatos de calcio esparíticos. La transformación de la calcita en lublinita se debe a procesos biológicos causados por microorganismos como cianobacterias.

Palabras clave

Dzibanché; estuco; edificio E2; deterioro; láminas delgadas; MEB-EDS.

Abstract

This paper addresses the alteration of the relief of the building E2 in Dzibanché studying it in macro and microscopically way. The macroscopic observations and the detailed record of the deterioration effects are contrasted with the micromorphological information obtained with thin sections and SEM-EDS. After contrasting the information, causes and mechanism of alteration were proposed. In general, the frieze has scaling and loses of pictorial layer; also, it has efflorescences and subefflorescences of salts. Water contributions and biofilms are also seen. Microscopically sections of volume loses and material of the intergranular crystals dissolution causing pulverulence were observed. We distinguished the transformation of calcite to lublinita. Causes and mechanisms of alteration are related to the presence of water and cement as extrinsic causes and composition and porosity differences of the different strata as intrinsic causes. Salts where identified as sulphates, which comes from the Portland cement used in the architectural restoration. The extreme pulverulence of the surface is due to the sulphates and selective dissolution of carbonates. The loss of pictorial layer is directly related to subefflorescences that crystalized between pictorial layer, thin plasters and rough plasters, the first two have less porosity. The well-conserved sections near cracks are in this state because neoformation of sparitic calcite- The transformation of calcite in lublinita is caused by bioalteration.

Keywords

Dzibanché; stucco; building E2; damage; thin sections; MED-EDS.



Contexto arqueológico

Este trabajo trata sobre el deterioro del friso del edificio E2 de Dzibanché, conformado por un bajo relieve manufacturado con morteros de cal, y la relación entre los efectos macroscópicos de deterioro y observaciones microscópicas, ésta fue determinante para establecer las causas de deterioro predominantes.

Dzibanché se encuentra al sur del estado de Quintana Roo (18°38'18.84"N 88°45'38.67"O) cerca de la frontera con Campeche. El acceso al sitio es por la carretera Federal 186 que conecta Villahermosa, Escárcega y Chetumal; de allí se toma la desviación al pueblo de Morocoy. Pasando la población de Morocoy, se toma la desviación que lleva al sitio arqueológico (Nalda, 2000b; Balanzario, 2019).

El sitio fue descubierto en 1927 por Thomas Gann, quien registró en el templo del edificio E6, el dintel de madera que da nombre al sitio. En 1931, Gann regresó a Dzibanché, en donde encontró una pequeña pieza de jade con la fecha 909 d.C., que junto con el monumento (estela) del sitio de Toniná, conforman las fechas de cuenta larga¹ más tardías, que existen en el área maya. No obstante, después de algunos trabajos, llevados a cabo por la Expedición Científica Mexicana en 1937 (Lizardi, 1939), la región fue olvidada e incluso se perdió la ubicación de los sitios monumentales como Dzibanché.

Fue hasta 1972 en los recorridos efectuados por Peter Harrison en el sur de Quintana Roo, cuando se registró una vez más el dintel de madera del edificio E6 y se elaboró un plano de distribución, junto con la excavación de pozos de sondeo. Posteriormente en 1987 el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) inició exploraciones arqueológicas en el asentamiento, bajo la titularidad de Enrique Nalda, investigaciones que fueron ampliadas en 1993-1994 con el Proyecto Sur de Quintana Roo, en donde se consideró la prospección e investigación de los conjuntos monumentales que integran los asentamientos de Kohunlich y Dzibanché (Kinichná). Las investigaciones en Dzibanché continuaron durante casi dos décadas, las que documentaron el plano general del asentamiento prehispánico, la restauración arquitectónica de los edificios monumentales del Grupo Principal y de la Acrópolis de Kinichná, junto con la exploración de los conjuntos periféricos (Nalda, 2004; Velázquez, 2000). Desde 2011 y hasta la fecha actual, el INAH ha continuado con las exploraciones y el mantenimiento del sitio con el Proyecto Arqueológico de Dzibanché que es dirigido por la arqueóloga Sandra Balanzario. Por otro lado, este trabajo se centra en las minuciosas observaciones hechas en campo, durante 2016, por las restauradoras Miriam Rodríguez, Gabriela Mazón² y Luisa Straulino,³ tomando en cuenta las registradas en años anteriores, así como los estudios científicos que se practicaron para comprender los mecanismos principales de deterioro, efectuados por Luisa Straulino y Sergey Sedov.⁴

¹ La cuenta larga es un cómputo lineal y continuo de días que han pasado a partir de una fecha era. Durante el siglo III d.C. los mayas adoptaron el sistema calendárico olmeca e integraron nuevos periodos rituales y astronómicos tales como la serie lunar y diversos ciclos. El sistema les permitió calcular fechas hacia tiempos pasados, incluso míticos y hacia el futuro. El punto de inicio de tal calendario era un día cero computado como 13.0.0.0.0, 4 ahaw, 8 kumk'u. que en el calendario juliano equivale al 8 de septiembre de 3114 a.C. (Bernal, 2012).

² Restauradoras contratadas en el Proyecto de Mantenimiento Emergente en las zonas arqueológicas de Dzibanché-Kohunlich. Temporada de campo 2016.

³ Restauradora perito de la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural, INAH.

⁴ Investigador titular C del Departamento de Ciencias Ambientales y Suelo del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).



El asentamiento prehispánico de Dzibanché se compone de conjuntos cívicos-ceremoniales, conjuntos residenciales y áreas dedicadas a la producción agrícola, distribuidos en cuatro grupos de arquitectura monumental: Grupo Principal, Kinichná, Tutil, y Lamay, los que se comunican por una extensa red de caminos o *sacbeob*. Estos grupos constituyen una entidad integrada, existe entre ellos un continuo de unidades habitacionales dispersas, interrumpido sólo por aguadas y terrenos bajos inundables (Nalda, 2004b).

El Grupo Principal de Dzibanché se conforma por edificios monumentales, juegos de pelota y unidades habitacionales de élite. Entre los que destaca el edificio E2 “Templo de los Cormoranes”, es el inmueble más alto de la zona ya que, junto con los restos de su crestería, alcanza una altura de 34 metros. En su basamento fueron construidas seis cámaras funerarias (450-700 d.C.) en las que se depositaron los restos de individuos con ofrendas compuestas de vasijas policromas, máscaras, ornamentos de jade (collares, brazaletes, orejeras) y concha *Spondylus sp.* El sistema de enterramiento contenido en sus cámaras funerarias y el estilo arquitectónico de “pilastras pareadas” ha postulado la existencia de un grupo de élite homogéneo, consistente con la idea de que en las fases tardías del Clásico temprano la dinastía Kaanu’l, estuvo asentada en Dzibanché (Martín y Grube, 2008; Nalda y Balanzario, 2007, 2008a).

Además, los individuos enterrados en el edificio E2 comparten un estatus similar; se trata de sujetos que fueron gobernantes o personajes muy cercanos al poder, elegibles al título de *Ajaw* o *k’uhul Ajaw*. Un punzón sangrador, asociado a una de las osamentas depositadas en una de las cámaras inferiores, hace mención en sus inscripciones glíficas que era posesión de “Testigo del Cielo”, gobernante de la dinastía Kaanu’l, que se señala en varias inscripciones del área maya. Ese gobernante, junto con la ciudad de Caracol, conquistó Tikal en el 562 d.C., (Martín y Grube 2008; Velásquez 2008; Nalda y Balanzario, 2014,). El edificio E2 sería entonces, según las interpretaciones arqueológicas, el lugar de entierro y culto para los miembros de la dinastía Kaanu’l durante el tiempo de su asentamiento en Dzibanché. Elementos constructivos de madera que formaban parte del templo registran dataciones de radiocarbono de 530-660 (92.3%) y 600-685 (95.4%) (Nalda, 2004a; Velásquez, 2004, 2008; Nalda y Balanzario, 2008a y 2008b).

El bajo relieve

La fachada norte del edificio E2 ostenta un relieve modelado con morteros de cal y policromado que data del periodo Clásico, más específicamente 274-316 d.C. según el análisis de arqueomagnetismo (Straulino *et al.*, 2016: 18-24). Se encuentra en los cuerpos segundo y tercero del basamento del edificio, junto con algunos restos escasos en el primero cuerpo.

El relieve mide 10 metros de largo y exhibe dos conjuntos de elementos iconográficos que incluyen dos símbolos de montañas con flores en tonos verdes y azules sobre un fondo rojo; el grueso de la figura está formado por el modelado de morteros de cal mientras que los detalles están incisos. Las molduras del tablero que los delimita fueron decoradas por una banda de discos modelados de color azul/verde que consta de círculos grandes con uno más pequeño colocado en el interior de cada uno, que no están modeladas en bajo relieve, sino que están esgrafiadas directamente en el estuco. El relieve que representa a la montaña florida, es “una proyección de los mandatarios de Dzibanché homologando su camino de descenso al inframundo” en alusión a la montaña florida de los ancestros (Velásquez, en prensa). Esta fase constructiva fue cubierta por una nueva etapa datada hacia finales del Clásico o fases tempranas de Posclásico (<1000 d.C.) (Nalda y Balanzario, 2008a; Straulino *et al.*, 2013).



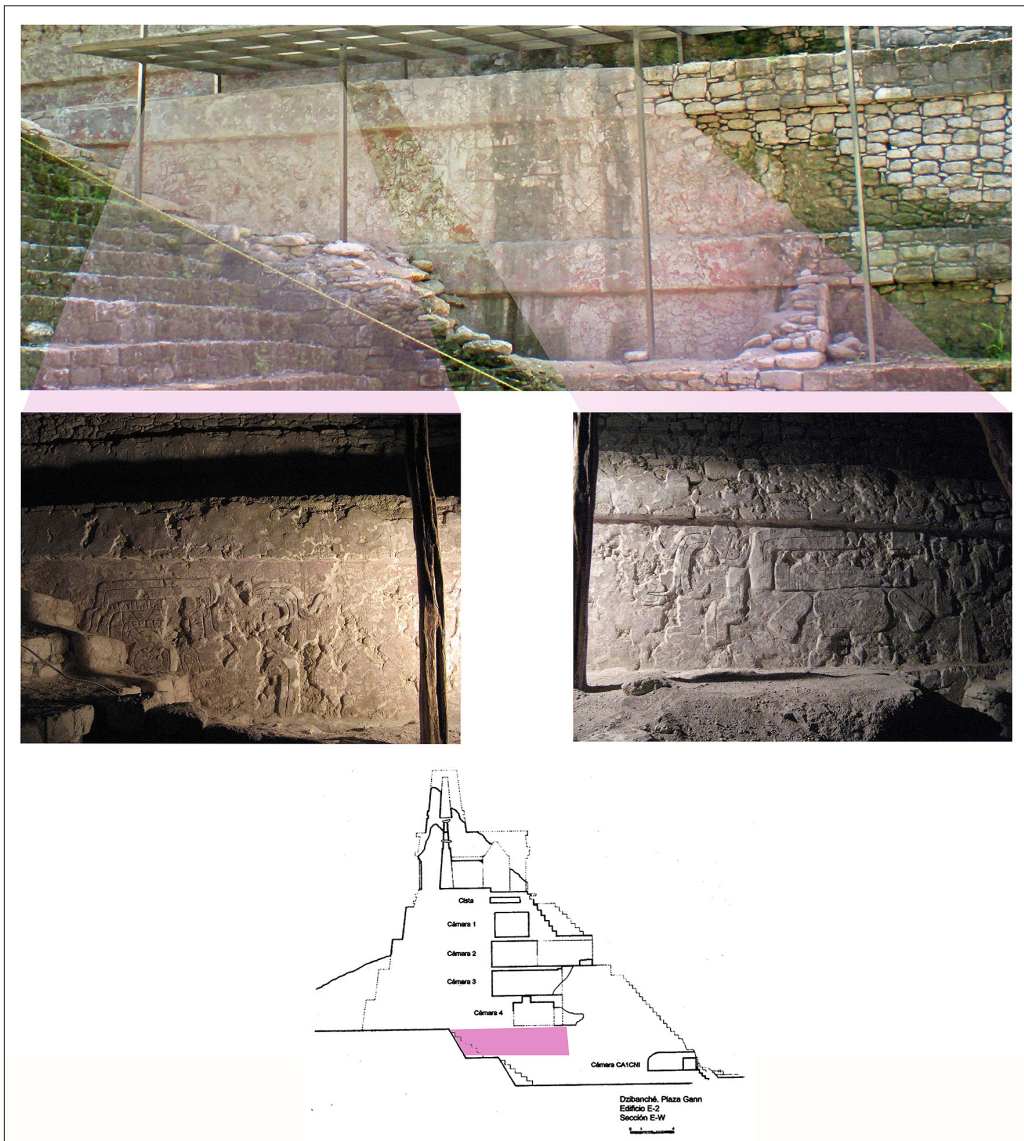


Figura 1. Friso 2 de Dzibanché, donde se muestran fotografías con luz rasante de la montaña florida y su ubicación en el Edificio 2; el contorno de los bajo relieves se indica con una línea negra en las fotografías. Imagen: Proyecto de Mantenimiento Emergente en la zona arqueológica de Dzibanché, ©INAH.

Mediante observaciones macroscópicas se ha notado que la montaña y las flores tienen tonos verdes y azules sobre un fondo rojo; cabe destacar que bajo cualquier color parece haber una base de tonalidad anaranjada-rojiza, mientras que las cuentas representan ser de piedra verde sobre un fondo rojo. El friso está formado por tres capas de enlucidos que se describirán, a continuación, macroscópicamente a partir del soporte.

Con los segmentos de soporte original que se conservan se puede definir que su construcción consta de paramentos hechos con roca caliza y un mortero grueso con cal. En diversas áreas fue sustituido por un mortero de cemento que también fue utilizado para la consolidación y reposición de hiladas de piedra.

Sobre las rocas se colocó un repellado que a simple vista se observa gris, con cargas de tamaño heterogéneo, algunas de ellas llegan a 1 cm de diámetro. A simple vista se identificaron fragmentos de roca caliza, de cerámica y de estuco reutilizado, entre otros. La función del estrato es la de emparejar la superficie de los muros y prepararla para recibir la segunda capa que conforma el bajo relieve; el repellado muestra espesores heterogéneos con varios centímetros de diferencia.

La segunda capa es ligeramente amarillenta y consiste en un mortero de cal y cargas de tamaño heterogéneo, aproximadamente de 0.5 cm de diámetro, de color verde y amarillo, carbón y fragmentos de caliza. El mortero fue aplicado con un grosor heterogéneo según lo requirió el volumen de las formas.

La última capa consiste en un estuco muy fino o enlucido que fue aplicado en estratos muy delgados con espesores heterogéneos. Es de color blanco y las cargas no se distinguen con facilidad a simple vista. Esta capa es el soporte de las capas pictóricas.

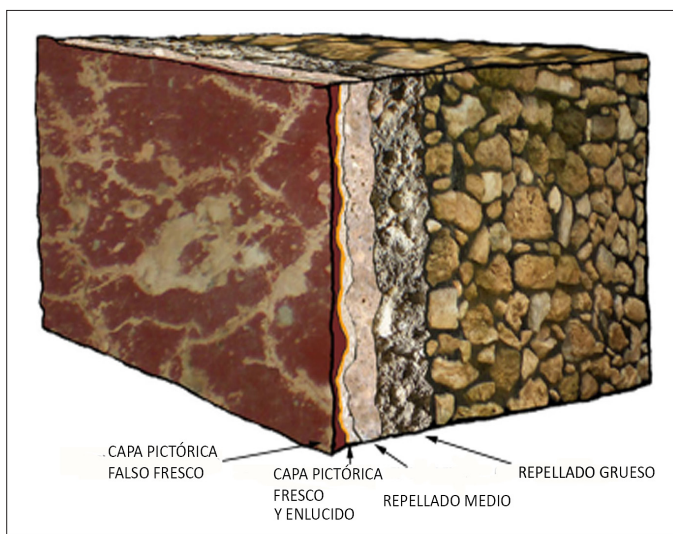


Figura 2. Estratigrafía del relieve en el friso 2. Está conformada por un repellado grueso, un repellado medio, un enlucido con capa pictórica al fresco y las subsecuentes capas pictóricas al falso fresco. *Imagen: Tomada de Straulino, 2015.*

Selección de materiales y métodos de análisis

Se realizó el registro minucioso del estado de conservación del relieve por medio de observación macroscópica que sirvió para determinar las áreas de muestreo para los siguientes análisis. Después, se tomaron siete muestras en áreas con estados de conservación distintos: cinco de ellas ya eran fragmentos desprendidos del soporte y dos de ellas (que tenían todos los estratos del relieve desde el repellado grueso hasta capa pictórica) fueron tomadas in situ en áreas de interés particular: del lado derecho, por ser muy húmedo y en un área con eflorescencias. Las siete muestras se analizaron mediante petrografía de láminas delgadas y dos fueron estudiadas mediante microscopio electrónico de barrido (MEB) y espectrometría de dispersión de energía de rayos X (EDS). Las proporciones entre cementante, inclusiones y porosidad se efectuaron con base en tablas geológicas para conteo de granos en rocas que dan entre un 5 y 10% de error. El método completo puede consultarse en Straulino, 2015.



Petrografía

Las láminas petrográficas se utilizaron para identificar los componentes y respectivas proporciones de los componentes de los estucos; asimismo, pueden dar información como el tamaño de grano, impurezas minerales presentes en los agregados o la cal, las características de las texturas en los minerales y el grado en que fueron separados y escogidos.

La microscopía petrográfica es, generalmente, el método más fácil y menos costoso de distinguir entre yeso, cal y arcillas en los morteros, ya que estos tres varían muchísimo en sus colores de birrefringencia, índices de refracción y morfología. Aunque otros métodos de análisis de materiales inorgánicos pueden usarse en conjunto con esta técnica, las láminas petrográficas proveen información básica en cuanto a composición y distribución espacial que no se puede obtener por otros métodos de análisis (Reedy, 1994; 2006; Coutelas, 2003; Karkanis, 2007).

Microscopía electrónica de barrido con EDS

Mediante el estudio de las superficies con MEB se recuperó información sobre la micromorfología de las muestras tanto de la capa pictórica como de los morteros. Aunque la petrografía también muestra micromorfología, las imágenes exhiben un patrón bidimensional, mientras que las obtenidas con MEB dan la idea de las formas en tercera dimensión ya que tienen no sólo largo y ancho, sino también proporcionan la idea de profundidad ya que permiten observar los ejes x, y, z de los componentes de la muestra.

Con los mapeos y espectros adquiridos con el microanálisis EDS se obtuvo una idea de los elementos químicos componentes de las muestras y su correspondencia espacial en los cortes transversales, relacionándolos con la identificación de minerales elaborada con la petrografía. Esto permitió inferir la composición de las diferentes fases observadas en la imagen obtenida y cómo estas últimas se distribuyeron en la muestra. Los mapeos son particularmente útiles para el estudio de capas pictóricas, ya que, aunque la petrografía ayuda, no es tan informativa como este análisis debido a que en las láminas delgadas la luz transmitida que pasa por las capas pictóricas es refractada y, por lo tanto, toda la capa pictórica se observa del color del pigmento, lo que muchas veces impide la identificación de las partículas minerales. Ese problema no existe en el MEB, porque muchas partículas de la capa pictórica se pueden observar con claridad, lo que facilita realizar análisis de composición elemental puntuales y mapeos generales.

Resultados

Técnica de manufactura

A partir de los análisis de las láminas delgadas se pudieron hacer las siguientes observaciones (tomadas de Straulino, 2015) sobre los componentes de cada estrato, las cuales se describen aquí, desde la superficie hacia el interior:

1. Capa pictórica con espesores de 4-77.22 μm , que ahora se observa discontinua. Su cementante es cal en proporciones que no se pudieron evaluar.⁵ Estos estratos pueden ser: pigmentos azul maya para el azul y el verde (se observaron conglomerados de pigmento de 44- 48 μm) o rojo

⁵ Esta técnica de aplicación de color, donde el pigmento es mezclado con agua o lechadas de cal para poner en el muro ya seco se llama falso fresco.



hematita ($<2\mu\text{m}$) dispersos en cal.⁶ Son muy compactas ya que no contienen poros visibles con el microscopio. Sobre estas capas pictóricas puede haber colocados otros enlucidos y otras capas pictóricas que en general no presentan inclusiones.

2. Enlucidos de color blanco brillante con espesores que varían de 427.17-254.02 a 82-64.22 μm . En general parece que son discontinuos, ya que el límite entre el enlucido y el repellado que normalmente es perceptible y nítido, a veces se pierde por completo. La matriz de cal ocupa un área de 70-90% cuando no hay deterioro. Las inclusiones⁷ abarcan un área de 10-15%. La mayoría de las muestras contienen como inclusiones lo siguiente: partículas micríticas⁸ (de 644.15-20.07 μm , más abundantes de 72.61-147.96 μm), partículas de grano grueso (de 264.12-10 μm , más abundantes de 23.43 a 34.11 μm), arcillas (de 262.35-69.04 μm) y carbón (de 131.33 a 9.05 μm). Asimismo, todas las inclusiones minerales tienen una forma que va de subredondeada a redondeada, excepto las de grano grueso, que pueden ser angulares; el carbón siempre es angular. Las partículas micríticas y las de grano grueso se encuentran con una frecuencia de común a escasa, mientras que los bloques de arcillas, el carbón y las partículas heterogéneas se encuentran de manera escasa a muy escasa.

Estos enlucidos tienen una porosidad del 1-5%. Los poros más grandes van de 216.93-30 μm ; exceptuando el caso de la muestra 2, donde miden hasta 1.35 μm . En general son vesículas, aunque las muestras 2 y 4 presentan cavidades.

En la parte superior de tales enlucidos hay un estrato secundario anaranjado y discontinuo, cuyo límite es prominente y difuso, compuesto de arcillas con goethita dispersas en la estructura de los mismos. Estos estratos secundarios miden de 3.48-150.51 μm ; en general no se puede medir el tamaño de las partículas de pigmento ya que son $<2\mu\text{m}$, pero en la muestra 10 hay partículas que llegan hasta las 78.09 μm . Esta capa corresponde a un estrato generalizado utilizado como base de preparación colocado al fresco.

3. Repellado de color blanco que varía de 22.67-1.2 mm, aunque hay que tomar en cuenta que muchos son fragmentos desprendidos, por lo que no representan el espesor total. La matriz de cal varía de 50-65%. Las inclusiones varían entre 30 y 40%. Las inclusiones son principalmente partículas micríticas (10.18 mm-13.78 μm , abundantes 100-638.38 μm), partículas heterogéneas (4.11 mm-61 μm , abundantes 253.83-170 μm y 1.28 mm-613.23 μm) y partículas de grano grueso (1.33 mm-13.13 μm , abundantes 509.25-150 μm). Las partículas micríticas y heterogéneas son de abundantes a comunes, mientras que las de grano grueso van de comunes a escasas. Las arcillas (616.15-55.21 μm , abundantes de 544.04-212.62 μm) y el carbón (285.344.5 μm , abundantes 19.19-10.47 μm) varían de escasos a muy escasos y las partículas edáficas (347.64-96-71 μm , abundantes 96.71-136.89 μm) también. Además, se encontraron conchas (181.49 μm), tejidos vegetales (2.39 mm-451.74 μm) y pedernal (571.97-73.18 μm), todo con una frecuencia muy escasa.

⁶ El área ocupada por la cal y los pigmentos no se pudo evaluar ya que los pigmentos finamente molidos ($<2\mu\text{m}$) refractan la luz con el correspondiente color en la matriz de cal, por lo que ya no se observa el límite entre pigmentos y cementante, observándose todo como un conjunto uniforme. Cuando los pigmentos tienen fracciones no tan pequeñas, éstas sí tienen un límite definido y por lo tanto pueden medirse en el microscopio petrográfico.

⁷ Se dice en este trabajo de inclusiones y no agregados puesto que hay partículas dentro de la matriz de cal que no corresponden a agregados colocados intencionalmente, como carbón, restos vegetales y subproductos de la quema de la piedra caliza.

⁸ Micrita. Cristales de cal que miden menos de 5 micras. Entonces las partículas micríticas son fragmentos de material carbonatado formado por cristales de menos de 5 micras.



La porosidad varía de 5-15%, los poros estructurales (más grande 2.89 mm) se encuentran abundantemente; mientras que las cavidades (más grandes 1.01mm) son escasas. Podemos ver que las inclusiones varían desde gravillas finas a limos, aunque lo que predomina son arenas finas y medias. Cabe mencionar que muchas de las inclusiones heterogéneas son estucos reutilizados que pueden distinguirse por tener dos capas pictóricas: una anaranjada sobre la que se colocó una roja intensa.

4. Repellado grueso de color gris, mide de 26.57-3.3 mm, aunque no se pudieron tomar muestras con el grosor completo del repellado ya que es muy friable. La matriz calcárea está entre un 30-50%, excepto en el caso de la muestra 9 que está muy pulverulenta y deteriorada, cuenta con un 30-10%.

Las inclusiones van de 30-50% exceptuando a la muestra 9, que tiene de 20-30%. Las inclusiones de partícula micrítica (11 mm-21.85 μ m, abundantes 364.11 μ m-1.45 mm) se encuentran en abundancia; las heterogéneas (3.06 mm-50 μ m, abundantes de 300 μ m-1.19 mm) y de grano grueso (7.5 mm-14 μ m, abundantes 382.59 μ m-1.03 mm) varían de abundantes a comunes. El carbón (920-9 μ m, abundantes 11-111.86 μ m) es común, las arcillas (4.83 mm-60 μ m, abundantes 150-864 μ m) varían de comunes a escasas y las partículas edáficas (659.02-30 μ m, abundantes 55-334 μ m) y el pedernal (898.95-94.81 μ m, abundantes 94.81-414.28 μ m) tienen una frecuencia escasa a muy escasa. Las conchas (453.20 μ m) y el material vegetal (247.66 μ m) son muy escasos. Es de resaltar que varias de las partículas heterogéneas son estucos reutilizados.

La porosidad varía entre un 10-30%. Los poros estructurales son comunes (la vesícula más grande mide 3.2 mm, y el plano o grieta más grande mide 12.27 mm). Los poros secundarios⁹ son muy escasos (la cavidad más grande mide 3.8 mm) excepto en la muestra 9, donde son dominantes.

A partir de estas mediciones se llegó a las siguientes conclusiones en cuanto a porcentajes, inclusiones y porosidad, para tener una relación entre los mismos. El promedio es el siguiente:

Enlucido: Cementante 1, Inclusiones 0.20, Poros 0.02, es decir, tienen una relación de 1:0.20:0.02

Repellado medio: Cementante 1, Inclusiones 0.64, Poros 0.31, es decir, tiene una relación de 1:0.64:0.31

Repellado gris: Cementante 1, Inclusiones 0.94, Poros 0.37, es decir, tienen una relación de 1:0.94:0.37

Así se puede observar que la porosidad aumenta del enlucido al repellado grueso, así como la cantidad de inclusiones y el tamaño de éstas (lo que es visible en las descripciones anteriores).

Observaciones macroscópicas

El relieve tiene un deterioro severo por la alteración de componentes que han devenido en pérdida de material tanto pictórico como de volumen de morteros, que responde tanto a causas intrínsecas como extrínsecas.

⁹ Los poros secundarios se forman por la alteración de los morteros, generalmente por disolución de material o por formación de grietas y fisuras. También hay seres vivos, como insectos, algas, bacterias y hongos que pueden aumentar la porosidad del material. Los poros estructurales son resultado únicamente de la manufactura de los morteros.



Fue descubierto entre 2008 y 2009, al finalizar la temporada en diciembre del 2009 el relieve quedó expuesto por completo pero cubierto con plásticos; en enero del 2010 se colocaron dos cubiertas de policarbonato sobre las molduras del tercer y segundo cuerpo. La cubierta del segundo cuerpo tenía una separación del paramento de cerca de unos 10 con la intención de no colocarlo sobre el estuco que se conservaba en esta área. Debido a esta separación de la cubierta y al agrietamiento de las láminas de policarbonato, se registraron escurrimientos de agua de importancia. El camino que recorría el agua iba desde el cuarto cuerpo del basamento hasta el suelo, lo que afectó a la mitad derecha del relieve y en especial al segundo cuerpo del basamento, área que conserva una mayor cantidad de relieves.

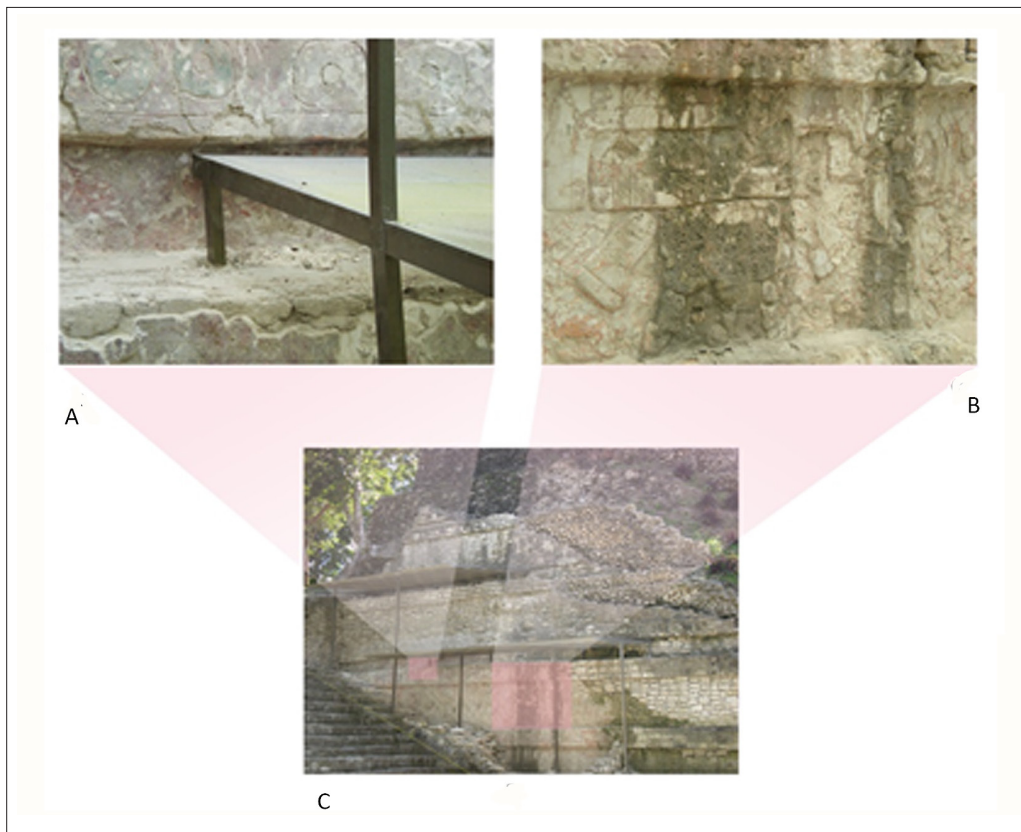


Figura 3. A) friso con techo de policarbonato; B) separación del techo de policarbonato, C) escurrimiento con crecimiento de microorganismos. Imagen: @Luisa Straulino Mainou.

El proyecto fue suspendido después del 2010 por el fallecimiento del entonces titular de proyecto, Dr. Enrique Nalda, por lo que las actividades de restauración y mantenimiento en el sitio fueron abandonadas. En 2011 hubo una pequeña temporada de campo emprendida por el área de conservación del Centro INAH Quintana Roo donde además de atención directa al relieve, se llevaron a cabo labores de desvío de agua en el cuerpo superior al friso para tratar de evitar el escurrimiento extremo de agua en el relieve, acción con moderados resultados. El proyecto de mantenimiento y exploración como tal, se renovó hasta 2012 (Balanzario, 2013).



Los problemas de filtraciones se resolvieron parcialmente hasta la colocación de tres cubiertas de palma individuales, aunque continuaron teniendo problemas de escurrimientos, filtraciones, y salpicaduras ya que cada módulo de la cubierta estaba colocado a diferentes alturas. Fue en el 2013 cuando estos techos parciales fueron sustituidos por uno que cubría todo el relieve; no obstante, las ampliaciones se hicieron con zacate, que tiene un tiempo de vida mucho mayor. Se dio mantenimiento a la cubierta cada año y en 2016 se sustituyó toda la palma por zacate ya que probó tener una mayor durabilidad que la palma. Además, hasta el 2016 era perceptible que el núcleo del basamento piramidal, extremadamente voluminoso, continuaba evaporando humedad por esa fachada. Por otro lado, desde el 2011 se ejecutaron labores de conservación y restauración en el relieve;¹⁰ sin embargo, todas las intervenciones fueron efectuadas por equipos de restauración diferentes, que fueron contratados por el Proyecto de Mantenimiento Emergente de Dzibanché, INAH (Balanzario 2013; Balanzario y Serrato, 2014; Balanzario y Coronado, 2015; Balanzario *et al.*, 2016; Balanzario *et al.*, 2017).

Por otro lado, cabe mencionar que toda la consolidación y restauración arquitectónica del templo está hecha con cemento, éstas se han cambiado parcialmente por morteros de cal durante las temporadas ejecutadas entre 2011-2019.

Los efectos de deterioro más importantes que se detectaron a lo largo de las temporadas, y sobre todo en la temporada 2016, son: *a)* exfoliación de enlucido y capa pictórica sobre todo en la mitad izquierda del friso; *b)* pérdida de volumen por disgregación de repellido medio, empero, generalmente permanece la estratigrafía completa del bajorelieve en secciones aledañas a fisuras y craqueladuras en un patrón con forma de red; *c)* *biofilms* en el lado derecho del friso y oquedades, sobre todo en la moldura superior así como eflorescencias (Balanzario, 2017; Straulino, 2017¹¹).

Los efectos de deterioro se distribuyen como se ilustra en la figura 5, en la que se nota que hay una la relación entre la presencia de capa pictórica, la existencia de eflorescencias, la exfoliación y disgregación de los sustratos. Además, se observa que donde hay microorganismos no hay tanta disgregación y que donde no existe capa pictórica únicamente hay disgregación y eflorescencias, además de la poca capa pictórica en forma de patrón de red junto a las fisuras.

Observaciones microscópicas

Mediante la observación de las secciones delgadas en microscopio petrográfico y los análisis con MEB se obtuvieron varias imágenes que al examinarlas proporcionaron diversas respuestas a los problemas de conservación del bajorelieve.

En las láminas delgadas y micrografías de MEB se identificaron cristales de lublinita (carbonato de calcio con un patrón de cristalización acicular) rellenando poros secundarios cercanos a la superficie y en una capa superficial.

¹⁰ El proyecto de Mantenimiento Emergente ha contado con las sugerencias de diferentes restauradoras a lo largo del tiempo y ha contratado para su ejecución a restauradores que ejecutan las acciones directas. En 2012 participó Luisa Straulino como personal del CINAH Quintna Roo; en 2012 y 2013 participaron Alejandra Alonso y Patricia Meehan por solicitud del Proyecto a la CNCPC. En 2015 se utilizaron lineamientos de conservación planteados por Xacinta Castillo y Alejandra Alonso Olvera; en 2016 participó Luisa Straulino a solicitud del proyecto a la CNCPC; en 2017 no hubo presupuesto para el proyecto, por último en 2018 y 2019 participó Patricia Meehan.

¹¹ Informe del peritaje solicitado a la CNCPC-INAH por parte del Proyecto de Mantenimiento Emergente en las zonas arqueológicas de Dzibanché-Kohunlich. Temporada de Campo 2016.



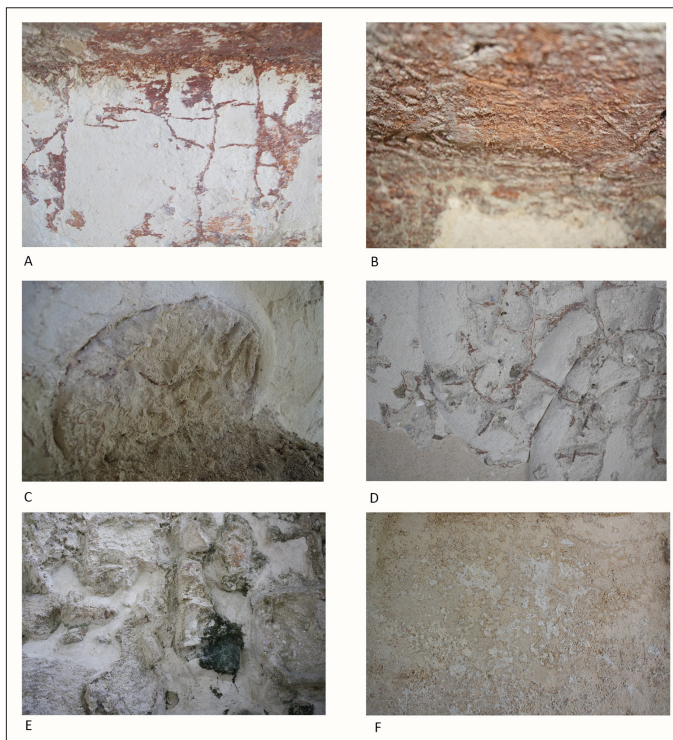


Figura 4. A) Delaminación y exfoliación de capa pictórica. B) Detalle de exfoliación de capa pictórica. C) Disgregación y pérdida de volumen. D) Patrón en forma de red donde se conserva la capa pictórica en la periferia de fisuras. E) Biofilm. F) Eflorescencias. Imagen: Miriam Castro y Gabriela Mazón, ©Proyecto de Mantenimiento Emergente, Temporada de Campo, 2016.

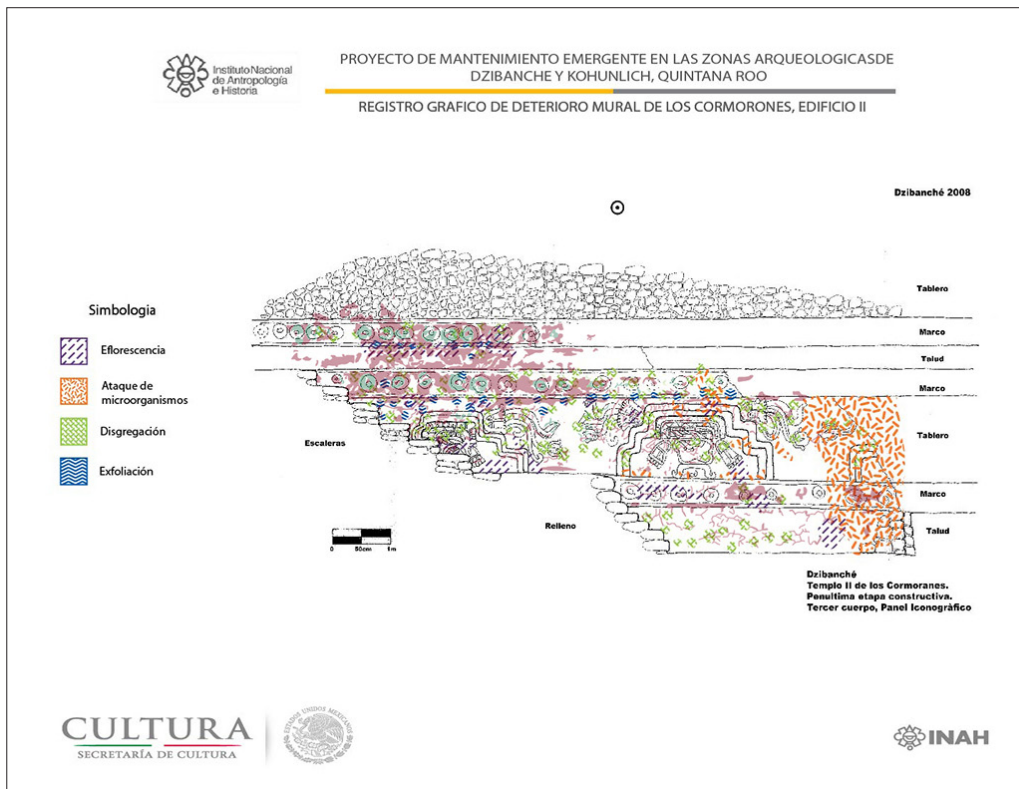


Figura 5. Esquema de efectos de deterioro. Imagen: Miriam Castro, ©Proyecto de Mantenimiento Emergente, 2016.



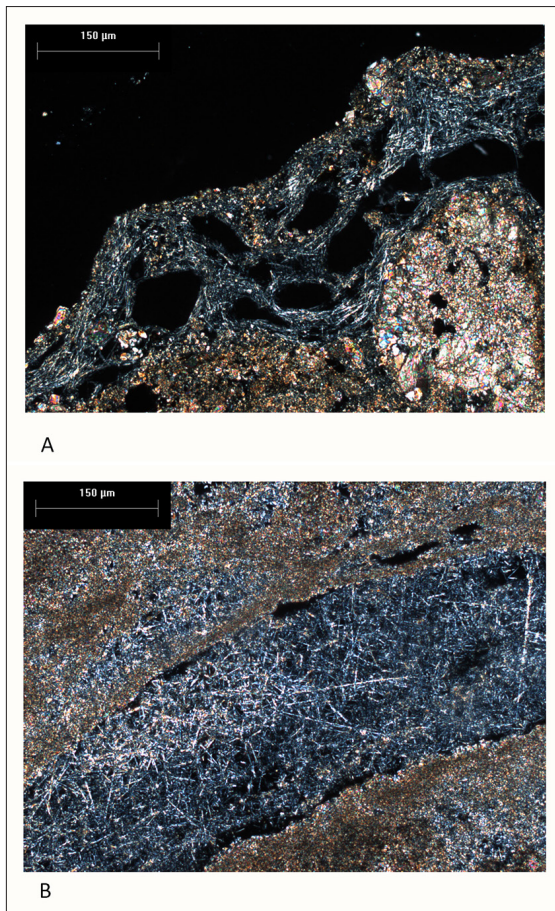


Figura 6. A) Lublinita en superficie, B) Lublinita relleno de poros. Fotografías de láminas delgadas con nicoles cruzados.

Imagen: ©Luisa Straulino Mainou.

Además, es evidente el proceso de pulverización de los repellados causado por la disolución del carbonato de calcio. En las áreas en que se han perdido la capa pictórica y el enlucido se observa un efecto de deterioro muy peculiar donde el estuco se observa con tres fases distintas: al observarse con luz transmitida, hay una capa inferior compacta y oscura, sobre ella una capa mucho más traslúcida que corresponde a un mortero con pérdida de cementante (micrita) y otra sumamente pulverulenta en la superficie. Con nicoles cruzados,¹² la capa superior de mortero se observa con colores de interferencia¹³ mucho más elevados (grises casi blancos en comparación de pardos),¹⁴ debidos a cristales de calcita más grandes a comparación de las capas inferiores, con más micrita. La capa pulverulenta está conformada por granos de calcita con colores de interferencia altos y sin cementación entre ellos (Figura 7).

¹² Nicoles cruzados se refiere al uso de dos polarizadores durante las observaciones microscópicas. Su uso genera colores distintivos en cada mineral haciendo evidente la composición de las muestras y la distribución de los minerales en ella.

¹³ Los colores de interferencia son falsos colores que presentan los cristales anisótropos cuando se observan en el microscopio petrográfico utilizando nicoles cruzados.

¹⁴ Los colores falsos tienen un orden de magnitud: dentro del primer orden se agrupa al negro-gris junto al amarillo, naranja y rojo. En el segundo orden están comprendidos los seis colores fundamentales: violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo. Los siguientes órdenes están también constituidos por estos seis colores, pero lógicamente representan retardos de múltiplos de longitudes de onda cada vez más altos.

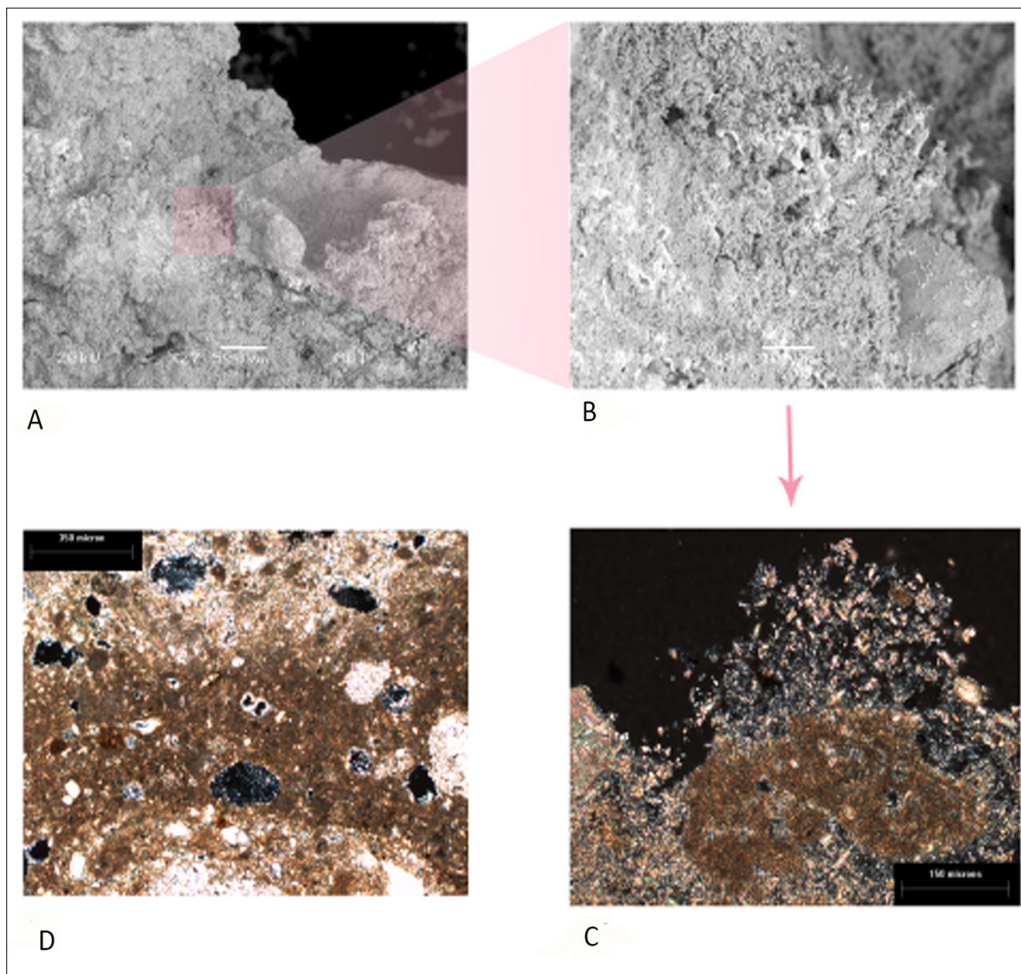


Figura 7. A) Superficie con pérdida de volumen, Imagen con MEB; B) Acercamiento a la superficie, se nota que los cristales de calcita no tienen cohesión y por lo tanto están pulverulentos, Imagen de MEB; C) La capa superior de estuco no tiene cohesión entre sí y está formada por cristales casi individuales de calcita, fotografía de lámina petrográfica con nicols cruzados; , Se observan tres capas de abajo hacia arriba: estuco gris que tiene menos micrita por la formulación del mismo, estuco medio con una gran cantidad de micrita por lo que se observa de color más oscuro, estuco medio degradado, se ha disuelto parte de la calcita cementante por lo que se ve más claro (es menos denso), fotografía de lámina delgada con nicols cruzados. Imagen: ©Luisa Straulino Mainou.

Además, se observó cristalización de sales como eflorescencias y subeflorescencias. Estas sales tienen baja birrefringencia (bajos colores de interferencia: gris claro) y han cristalizado en los poros del enlucido así como en la superficie. Estas últimas tienen la particularidad de estar conformadas por dos fases, la que está directamente sobre la capa pictórica es muy compacta, formada por cristales en forma de aguja con un patrón de crecimiento hacia arriba. La segunda capa se encuentra sobre ésta y está disgregada y no se observa con claridad el patrón acicular. En mapeos de elementos con MEB-EDS se distingue que estas capas están conformadas por azufre y calcio. Su composición elemental y propiedades observadas en petrografía permiten identificarlas como sulfatos de calcio (yeso) (Figura 8). También hay una capa delgada de carbonatos de calcio sobre la superficie de las capas pictóricas.



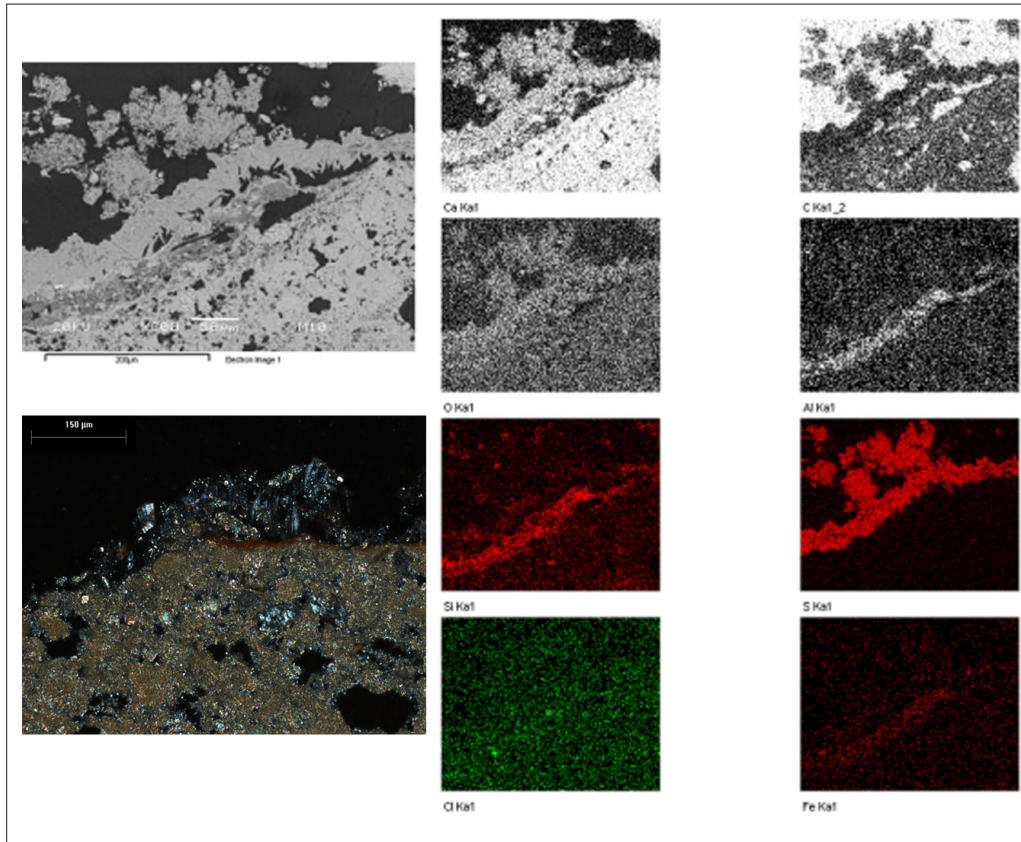


Figura 8. La imagen superior es una micrografía de MEB donde se observa en la parte superior una capa de cristales en forma de aguja. A los costados se muestran mapeos de elementos químicos de esa imagen donde se puede constatar que los cristales están formados por azufre (S), calcio (Ca) y oxígeno (O). La imagen inferior es una fotografía de lámina petrográfica con nicóles cruzados donde se observan cristales aciculares en la superficie y en los poros más externos con colores de interferencia gris claro, blanquecino; por su composición y características ópticas se infiere que los cristales son sulfato de calcio. *Imagen: ©Luisa Straulino Mainou.*

Discusión

Lo que se expone a continuación representa la dinámica de deterioro principal del relieve, que ha sido causa de una pérdida enorme e irremediable de información, color y volumen, obtenida mediante observaciones en campo en varias temporadas hasta el 2016 contrastadas con resultados de análisis científicos que facilitan inferir de una manera comprobable lo que a continuación se expresa. No obstante, el intemperismo del bajo relieve tiene, sin duda, algunas otras causas que no se reportan aquí.

El problema principal y que persistía hasta la temporada 2016, como se mencionó en párrafos anteriores, es la presencia de sales y de agua por medio de escurrimientos y humedad ambiental, así como la del núcleo del basamento.

Toda la consolidación arquitectónica del templo está hecha con cemento, por lo que las sales que están presentes en el mural son sulfatos de calcio (comprobado mediante MEB-EDS y petrografía) y provienen de ese material. La presencia de sulfatos provoca mecanismos de deterioro que se detallan a continuación.

Hubo escurrimientos continuos de agua en proporciones importantes del lado oeste del relieve, hasta que se colocó la cubierta completa lo que, aunado a la humedad del núcleo del basamento y la altísima humedad relativa del ambiente (generalmente no baja del 80%) y las altas temperaturas típicas del trópico, se probaron ciclos de disolución de sulfatos de la composición de cemento gris, movilización hacia la superficie y recristalización en época de secas como subeflorescencias y como eflorescencias. Esto provocó que durante estos años hubiera una importantísima pérdida de material.

Por otro lado, las capas pictóricas no tienen porosidad visible en el microscopio, los enlucidos tienen un porcentaje de poros de entre 1 y 5% mientras que los repellados de textura media tienen una porosidad de entre 5 y 15%. Así, las sales disueltas en los poros del material interno, al evaporarse el agua, se encuentran con un material "tapado", es decir, con uno mucho menos poroso. Las sales, al no poder emerger completamente, cristalizan en el límite de estas dos capas exfoliando tanto las capas pictóricas al falso fresco como el enlucido fino. Cabe mencionar que las sales cristalizan no sólo por la evaporación del agua, sino por la sobresaturación de una sustancia salina en los poros de los materiales, proceso que podría suceder dadas las condiciones de porosidad mínima en superficie (Rossi-Manresi y Tucci, 1991; Scherer, 2004; Ruiz-Agudo *et al.*, 2007; Angeli *et al.*, 2007; Stefanidou, 2007; Charola, 2008; Torraca, 2009). Debido a estos procesos, hay grandes áreas de pérdida de material, sobre todo en las secciones inferiores del estuco, así como en la moldura y friso del segundo cuerpo; por otro lado, se ha perdido la policromía casi por completo, quedando cerca de un 10-15% de la pintura que tenía en 2011.

Por otro lado, la presencia de humedad y carbonatos de calcio propios del relieve provocan otro tipo de alteraciones.

Los velos de carbonatos de calcio provienen de la disolución tanto de los morteros como de las rocas calizas del basamento piramidal ya que el agua nunca tiene un pH básico, menos en zonas de selvas donde hay una gran cantidad de dióxido de carbono (CO₂) ambiental, por lo que se acidifica más o menos a un pH de 6.5. Se ha establecido que la alta solubilidad de los minerales carbonatados ocurre durante la hidratación del CO₂ atmosférico, el gas más soluble de todos los gases estándares de la atmósfera, que produce ácido carbónico. Éste se disocia para formar H⁺ siguiendo la reacción CO₂(aq) + H₂O ↔ H₂CO₃ (ácido carbónico); otros ácidos pueden aumentar la cantidad de ese ion al igual que los efectos acomplejantes pueden incrementar la solubilidad de estos minerales. El ácido carbónico puede disociarse para formar H⁺ y un ion bicarbonato (HCO₃⁻) el cual, puede a su vez volverse a disociar para formar un protón y un ion carbonato (CO₃²⁻) (Ford y Williams, 2007; Bravo *et al.*, 2003).

Toda el agua expuesta a la atmósfera ordinaria contendrá estas diferentes especies de carbono inorgánico disuelto, sea que haya o no rocas carbonatadas en el manto acuífero. El pH del agua en calizas cae en el rango de 6.5 y 8.9. En tal intervalo, el bicarbonato (HCO₃⁻) es la especie predominante, mientras que el CO₃²⁻(aq) es poco relevante debajo del pH de 8.3. El carbonato de calcio, a su vez, se disocia en el agua formando iones de calcio (Ca²⁺) e iones carbonato (CO₃²⁻). Cuando el carbonato reacciona en algún medio ácido se verifica la siguiente reacción: CaCO₃(s) + H⁺ ↔ Ca²⁺ + HCO₃⁻. La reacción de disolución del carbonato de calcio en agua acidificada por anhídrido carbónico se resume de la siguiente manera: CaCO₃ + CO₂ + H₂O ↔ Ca²⁺ + 2HCO₃⁻. Después el bicarbonato al evaporarse el agua vuelve a cristalizar en forma de carbonato de calcio (Ford y Williams, 2007; Bravo *et al.*, 2003).



Las excepciones a la pérdida de material se dan en las fisuras del mortero. Éstas se generaron probablemente al fraguar, ya que tienen un patrón “de red”, geométrico, bien definido en las partes planas, y en las secciones con relieve; las fisuras han aparecido de manera perpendicular a los bordes de las figuras del relieve, puesto que posiblemente fueron modeladas en secciones y cuando cada una de éstas se secó, el mortero se contrajo por las uniones dejando un espacio alargado.

Las fisuras en el mortero dejan paso libre al agua en esas secciones y allí el carbonato de calcio de los morteros se disuelve formando bicarbonato de calcio; no obstante, la solución no se transporta quedándose en el mismo sitio y recristalizando con cristales más grandes (esparita),¹⁵ endureciéndose, por lo que tales secciones permanecen estables y no se disgregan formado el patrón de red. El proceso de disolución y recristalización es el que se mostró con anterioridad. Cabe mencionar que en las secciones nunca se localizaron sulfatos.

Además, el agua provoca la disolución continua de los carbonatos de calcio en superficie donde la solución sí es transportada a otro sitio, comenzando por la micrita, que al tener menos tamaño de cristal tiene más superficie de reacción. Así el cementante, carbonato de calcio (esencialmente micrítico),¹⁶ se comienza a disolver de la superficie hacia adentro, heredando en la parte externa una capa pulverulenta de cristales de calcita más grandes que generalmente pertenecen a las inclusiones.

Esto conlleva a la formación de una capa que ha disminuido sus características físicas de dureza, resistencia y cementación por la pérdida de calcita, observándose como una capa más clara que el estuco sin intemperismo, como se señaló más arriba. Todo ello provoca pérdida de volumen, microkarstificación, disgregación, pulverulencia y acumulación de material disgregado.

Por otro lado, el área de escurrimiento en el relieve de la Estructura 2 presentaba crecimiento de microorganismos, posiblemente cianobacterias. Es común que en el lado norte de las estructuras presente mayores problemas de desarrollo de microorganismos como algas, bacterias, hongos, etcétera. Esto se debe a que no está expuesta a la insolación directa, lo que impulsa que se creen microambientes donde los sustratos, generalmente paramentos con o sin recubrimientos arquitectónicos, se mantengan húmedos y a una temperatura más o menos constante. En el área de relieve, además, se favoreció un microclima debido al incremento del calor bajo el techo de policarbonato y la interrupción de las corrientes de aire por las cubiertas.

Los microorganismos, como cianobacterias, además de hacer biofilms, se relacionan con la formación de calcita acicular (lublinita). En el campo de la conservación y en el estudio de la técnica de manufactura de los estucos en el área maya, la presencia de cristales aciculares ha sido objeto de interpretaciones que difieren. Magaloni (2001: 167, fig. 1) interpreta la presencia de éstos como “típicos cristales de dolomita, que forman una red compacta proveyendo durabilidad y

¹⁵ Esparita es el término usado para el cemento de carbonato de calcio cuyos cristales son distinguibles individualmente, por lo general son mayores a 5 micras.

¹⁶ La micrita se puede definir esencialmente como cristales de carbonato de calcio menores a 5 micras.



resistencia a la humedad”, y Villaseñor (2010, ver por ejemplo fig. 7.12) asume que la presencia de cristales aciculares se debe a reacciones hidráulicas (ver también Villaseñor y Graham, 2010). No obstante, en las muestras estudiadas en el presente trabajo, estos cristales en forma de aguja son claramente cristales neoformados por el intemperismo y son similares a los cristales de calcita acicular repostados en suelos modernos y paleosuelos que se forman directa o indirectamente por procesos de origen biológico seguido de cambios morfológicos controlados por procesos físico-químicos; también es importante decir que los cristales aciculares no tienen cementación entre sí, por lo que sus propiedades físicas y mecánicas difieren de la calcita circundante (Verrecchia y Verrecchia, 1994; Becze-Deák *et al.*, 1997; Khokhlova *et al.*, 2001; Caillaeu, 2005; Bajnóczi y Kovács-Kis, 2006; Durand *et al.*, 2010).

Conclusiones

El relieve presenta diferentes grados y tipos de deterioro de acuerdo con su posición y los procesos de alteración e intemperismo que incidieron en cada área. En el Edificio 2 los estucos se encuentran en la fachada norte y presentan dos estados de conservación distintos. El primero, en las áreas cercanas a las fisuras, hay estucos bien preservados incluyendo a la capa pictórica. El segundo, en la zona donde hubo escurrimientos y en áreas circundantes, el estuco estaba muy dañado, con pérdidas casi completas de la capa pictórica y gran parte del repellido fino.

En esa sección se identificó la presencia de yeso con todas las técnicas. El yeso se encontraba formando eflorescencias en la superficie donde además se encontraron fragmentos desprendidos de capa pictórica, o como subeflorescencias en los poros del enlucido. Los sulfatos, al cristalizar, aumentan su volumen generando presión de cristalización adentro de la estructura de los morteros rompiéndolos y pulverizándolos.

Los morteros de cal mejor conservados y que no están pulverulentos no tienen sulfato de calcio en su composición, por lo que los sulfatos deben existir por una fuente externa. El cemento utilizado para la conservación arquitectónica es el material de proveniencia más probable; los sulfatos se disolverían con el agua de lluvia y migrarían por capilaridad hacia donde el agua se pudiera evaporar con mayor facilidad, en ese caso, el material más poroso corresponde a los estucos, por lo que el agua toma ese camino. No obstante, la porosidad disminuye drásticamente entre el repellido y el enlucido y entre el enlucido y las capas pictóricas. Así, en las secciones menos porosas donde el agua no puede pasar con igual facilidad se generan soluciones supersaturadas, favoreciendo la cristalización al interior de los morteros. Esto provoca grandes presiones que rompen primero las capas pictóricas y luego el enlucido, dejando al repellido susceptible al deterioro por disolución de la matriz de carbonato de calcio.

El agua tiene un rol principal en la alteración de los materiales carbonatados ya que puede disolver el dióxido de carbono de la atmósfera. Por ello, el agua acidificada disuelve los carbonatos transformándolos en bicarbonato de calcio altamente soluble, que puede migrar de posición y después convertirse de nuevo en carbonato de calcio cuando el anhídrido carbónico o el agua son escasos.



La pulverulencia también se debe a la disolución de la matriz calcárea. Se observó una clara selectividad en la disolución de los componentes primarios carbonatados en los estucos estudiados. La micrita se disuelve más fácil que los granos de microesparita o esparita. Cuando las superficies están muy afectadas por el agua, la micrita más fina está ausente de la superficie, dejando cristales más gruesos sin cohesión entre ellos.

Por otro lado, los microorganismos, como las cianobacterias, cambian la micromorfología de los carbonatos generando cristales aciculares que modifican las propiedades mecánicas de los estucos.

Por último, es muy importante apuntar la relación que debe haber entre las observaciones macroscópicas de deterioro y realizar análisis para la confirmación de las hipótesis sobre mecanismos de deterioro para lograr mejores diagnósticos y proponer mejores soluciones a los problemas de conservación.

Propuestas para la conservación del relieve

Un punto importante a considerar es que la contratación de equipos diferentes de restauración ha ocasionado una diversidad de enfoques en la conservación, propiciando cambios en las decisiones sobre tratamientos directos e indirectos, lo que dificulta la evaluación de los mismos a largo plazo. Sería importante que a futuro se considere que la persona que tome las decisiones sobre conservación y tratamientos sea la misma, para poder dar continuidad al trabajo y por ende tomar mejores decisiones a favor de la conservación del relieve. Además, la información sobre técnica de manufactura, tanto de los repellados como enlucidos, puede ayudar a formular morteros de conservación con propiedades acordes a lo que requiere el relieve.

El problema principal de conservación de estos estucos es por un lado la presencia de humedad y, por otro, la presencia de sulfatos de calcio (yeso). Es mucho más difícil controlar el acceso de humedad ya que el agua, en la muy extensa temporada de lluvias, es absorbida por pisos y muros, y se distribuye por capilaridad.

Así, es indispensable remover la fuente de sulfatos, es decir, es prioritario continuar con la remoción del cemento (aunque sea de los morteros terciados) de los muros donde hay repellados, enlucidos, morteros o pisos de cal ya que éste es la fuente principal de los sulfatos que están deteriorando de manera acelerada a los estucos; si se quiere evitar el deterioro de la roca, que de por sí no es de la mejor calidad, también debería de evitarse la utilización de cemento.

Por otro lado, aunque es muy difícil controlar el acceso del agua, hay varias acciones para mitigar su efecto negativo:

La correcta colocación de techos, su consecuente mantenimiento anual y su revisión periódica, dada la temporada de huracanes, es indispensable para evitar escurrimientos sobre los estucos que puedan disolver la micrita que los cementa o que puedan proveer el soluto (agua) necesario para el movimiento de los sulfatos del cemento hacia los estucos.



Evitar a toda costa el uso excesivo de agua en los procesos de conservación; es decir, las aspersiones tan continuas de agua de cal son, además de innecesarias, nocivas para los estucos. Es suficiente la aplicación moderada de agua de cal y luego lechadas de cal de manera puntual en las áreas más disgregadas; claro que esto siempre debe quedar a consideración del restaurador encargado de las intervenciones.

Limpiar con agua-alcohol los microorganismos, además de que aporta mucha agua al sustrato, es bien ineficiente cuando las condiciones microclimáticas permanecen. Para que los microorganismos como las cianobacterias no proliferen es necesario que haya luz de sol directa y un muro seco, lo cual se vuelve una paradoja porque para que hubiera luz de sol directa no tendría que haber techos, y para que el muro esté seco, es necesaria su presencia. Es entonces ineludible idear otro modo de eliminar estos microorganismos siempre y cuando sea absolutamente necesario.

Es importante puntualizar que detener la proliferación de microorganismos es casi imposible; el control de las condiciones de humedad es mucho más manejable. Así los techos a la larga evitarán los escurrimientos de agua sobre ellos y las colonias estarán más controladas; por otro lado, la humedad ambiental no lo es y, por ello, no se puede frenar del todo su desarrollo.

El uso de fumigantes agro-químicos para el control de hierbas o microorganismos no es recomendable por dos razones: una, generalmente tienen compuestos que pueden generar reacciones químicas desconocidas o adversas con el patrimonio cultural; dos, estos compuestos no se limitan a matar a los organismos que se encuentran directamente sobre el patrimonio, sino todo lo que está a su alrededor, además contaminan el suelo, por lo que afectan el ecosistema.

Todas estas intervenciones encaminadas a proteger los vestigios arqueológicos requieren mantenimiento anual, si no, su deterioro puede provocar más problemas. En caso de saber o intuir que el presupuesto asignado a la zona arqueológica no va a ser anual ni a largo plazo, lo más adecuado para la conservación de los vestigios es: registrar, tomar acciones de conservación preventiva, y re-enterrar de manera adecuada para asegurar su permanencia. El re-enterramiento se puede subsanar de varias maneras, sobre todo si se trata de una zona abierta al público como Dzibanché: réplicas, realizar cédulas explicatorias, etcétera, aunque la mejor opción hay que discutirla de manera interdisciplinaria tomando en cuenta la mayor cantidad de ángulos posibles.

*



Referencias

- Angeli, Matthieu, Bigas, Jean-Philippe, Benavente, David, Merendez, Beatriz, Hérbert, Ronan, y David, Christian (2007) "Salt crystallization in pores: quantification and estimation of damage", *International Journal of Geoscience Environmental Geology Salt Decay*, 52 (2): 205-213.
- Balanzario, Sandra (2013) Proyecto de Mantenimiento Emergente en las zonas arqueológicas de Dzibanché-Kohunlich. Temporada de Campo 2012. Informe al Consejo de Arqueología [documento inédito], México, Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Balanzario, Sandra (2017) Proyecto de Mantenimiento Emergente en las zonas arqueológicas de Dzibanché-Kohunlich. Temporada de Campo 2016. Informe al Consejo de Arqueología [documento inédito], México, Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Balanzario, Sandra (2019) *Miniguía actualizada de la zona arqueológica de Dzibanché, Quintana Roo*, México, Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Balanzario, Sandra, y Serratos, Marco V. (2014) Proyecto de Mantenimiento Emergente en las zonas arqueológicas de Dzibanché y Kohunlich. Informe al Consejo de Arqueología. Temporada de Campo 2013. Volumen I [documento inédito], México, Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Balanzario, Sandra, y Coronado Guajardo, Nancy R. (2015) Proyecto de Mantenimiento Emergente en las zonas arqueológicas de Dzibanché y Kohunlich. Informe al Consejo de Arqueología. Temporada de Campo 2014. Volumen I [documento inédito], México, Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Balanzario, Sandra, González, Karina, Correa, Sara Guadalupe y Reyna, Nelly Mariela (2016) Proyecto de Mantenimiento Emergente en las zonas arqueológicas de Dzibanché y Kohunlich. Informe al Consejo de Arqueología. Temporada de Campo 2015. Volumen I [documento inédito], México, Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Balanzario, Sandra, Straulino, Luisa, Mazón, Gabriela, Castro, Miriam E., Rodríguez, Irlanda y Martínez, Fabiola (2017) Proyecto de Mantenimiento Emergente en las zonas arqueológicas de Dzibanché y Kohunlich. Temporada de Campo 2016 [documento inédito], México, Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Bernal, Guillermo (2012) "La cuenta larga y la máquina del tiempo", *Arqueología Mexicana*, 19 (118): 30-42.
- Bajnóczy, Bernardette, y Kovács-Kis, Victoria (2006) "Origin of pedogenic needle-fiber calcite revealed by micromorphology and stable isotope composition-a case study of a Quaternary paleosol from Hungary", *Chemie der Erde*, 66: 203-212.
- Becz-Deák, Judit, Langohr, Roger, y Verrecchia, Eric (1997) "Small scale secondary CaCO₃ accumulations in selected sections of the European loess belt. Morphological forms and potential for paleoenvironmental reconstruction", *Geoderma*, 76: 221-252.
- Bravo-Álvarez, Humberto, Soto-Ayala, Rogelio, Sosa-Echeverría, Rodolfo, y Sánchez-Álvarez, Pablo (2003) "Efecto de la lluvia ácida en el material constituyente de los monumentos mayas mexicanos", *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, 4: 195-205.
- Cailleau, Guillaume (2005) *Cycle du carbone et biominéralisation carbonatée en milieu continental: la diagenèse des phases oxalate-carbonate*, tesis de doctorado en Ciencias, Suiza, Université de Neuchâtel.
- Charola, A. Elena (2008) "Salts in the deterioration of porous materials: An overview", *Journal of the American Institute for Conservation*, 39 (3): 327-343.
- Coutelas, Arnaud (2003) *Pétraoarchéologie du mortier Gallo-Romain. Essai de reconstitution et d'interprétation des chaînes opératoires: du matériau au métier antique*, tesis de doctorado en Arqueología, Paris, Université Paris I.
- Durand, Nicolas, Curtis, Monger, y Canti, Matthew (2010) "Calcium carbonate features", en Gerooge Stoops, Vera Marcelino, Florias Mees (eds.), *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*, Amsterdam, Elsevier, pp. 149-194.
- Ford, Drake, y Williams, Paul (2007) *Karst Hydrogeology and Geomorphology*, Chichester, Sussex del Oeste, John Wiley & Sons Ltd.
- Khokhlova, Olga. S., Sedov, Sergey, Golyeva, Alexadna, y Khokhlov, Alexander (2001) "Evolution of Chernozems in the Northern Caucasus, Russia during the second half of the Holocene: carbonate status of paleosols as a tool for paleoenvironmental reconstruction", *Geoderma*, 104: 115-133.
- Lizardi Ramos, César (1939) "Exploraciones arqueológicas en Quintana Roo", *Revista Mexicana de Estudios Antropológicos*, III (2): 46-53.



- Magaloni, Diana (2001) "Materiales y técnicas de la pintura mural maya", en Beatriz de la Fuente (coord.), *La pintura mural prehispánica en México. Área maya*, vol. II, México, Instituto de Investigaciones Estéticas-Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 155-198.
- Martin, Simon, y Grube, Nicolai (2008) *Chronicle of the Maya Kings and Queens: Deciphering the Dynasties of the Ancient Maya*, Nueva York, Thames & Hudson.
- Nalda, Enrique (2000a) "Algunas consideraciones sobre el desarrollo prehispánico de la bahía de Chetumal", *Arqueología*, 23: 51-60.
- Nalda, Enrique (2000b) "Dzibanché: un primer acercamiento a su complejidad", en Adriana Velázquez Morlet (coord.), *Guardianes del tiempo*, México, Universidad de Quintana Roo/Instituto Nacional de Antropología e Historia, pp. 5-14.
- Nalda, Enrique (2004b) "Prácticas funerarias en Dzibanché: los entierros en el Edificio de Los Cormoranes", *Arqueología*, 31: 25-35.
- Nalda, Enrique, y Balanzario, Sandra (2007) "Dzibanché y Teotihuacán: presencias y ausencias", en Patricia Fournier, Walburga Wiesheu y Thomas H. Charlton (coords.), *Arqueología y complejidad social*, México, Instituto Nacional de Antropología e Historia, pp. 107-128.
- Nalda, Enrique, y Balanzario, Sandra (2008a) El Edificio E-2, la dinastía Kaan y el kalomte del edificio E-6, conferencia en VI Mesa Redonda de Palenque: Arqueología, imagen y texto, Palenque, Chiapas, 16 al 21 de noviembre.
- Nalda, Enrique y Balanzario, Sandra (2008b) "Un estilo arquitectónico peculiar en Dzibanché y su posible correlato territorial", en Rodrigo Liendo, *El territorio maya*, México, Instituto Nacional de Antropología e Historia, pp. 303-321.
- Nalda, Enrique, y López Camacho, Javier (1995) "Investigaciones arqueológicas en el sur de Quintana Roo", *Arqueología Mexicana*, III (14): 12-25.
- Reedy, Chandra L. (1994) "Thin-Section Petrography in Studies of Cultural Materials", *Journal of the American Institute for Conservation*, 33 (2): 115-129.
- Reedy, Chandra L. (2006) "Review of Digital Image Analysis of Petrographic Thin Sections in Conservation", *Journal of the American Institute for Conservation*, 5 (2): 127-146.
- Rossi-Manaresi, Rafaela, y Tucci, Antonella (1991) "Pore structure and the disruptive or cementing effect of salt crystallization in various types of stone", *Studies in Conservation*, 36 (1): 56-58.
- Ruiz-Agudo, Encarnación, Mees, Florias, Jacobs, Patricia, y Rodríguez Navarro, Carlos (2007) "The role of saline solution properties on porous limestone salt weathering by magnesium and sodium sulfates", *Environ Geology*, 52 (2): 269-281.
- Sherer, George W. (2004) Stress from crystallization into the structure of traditional repair, mortars through capillarity, conferencia en 11th Euro Seminar on Microscopy Applied to Building Materials, Porto, Portugal, 5 al 9 de junio.
- Stefanidou, Maria y Papayianni, Ioanna (2009) "Salt accumulation in historic and repair mortars", en Rafael Fort, Mónica Álvarez de Buergo, Miguel Gómez-Heras y Carmen Vazquez-Calco (eds.), *Heritage, Weathering and Conservation*, Abingdon, Taylor & Francis, pp. 269-272.
- Straulino, Luisa (2017) Trabajos de restauración del Proyecto Mantenimiento Emergente de Kohunlich y Dzibanché [documento inédito], México, Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural-Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Straulino, Luisa, Sedov, Sergey, Michelet, Dominique, y Balanzario, Sandra (2013) "Weathering of carbonate materials in ancient Maya constructions (Río Bec and Dzibanché): Limestone and stucco deterioration patterns", *Quaternary International*, 315: 87-100.
- Straulino, Luisa, Sedov, Sergey, Soler-Arechalde, Ane, Pi Puig, Teresa, Villa, Gerardo, Granados, Sandra, Doménech-Carbó, María Teresa, Osete-Cortina, Laura, y Leonard, Daniel (2016) "Maya Lime Mortars—Relationship between Archaeomagnetic Dating, Manufacturing Technique, and Architectural Function—The Dzibanché Case", *Geosciences*, 6 (4): 49-1,49-27.
- Torraca, Giorgio (2009) *Lectures or Material Science for Architectural Conservation*, Los Ángeles, The Getty Conservation Institute.
- Velásquez, Erik (2004) "Los escalones jeroglíficos de Dzibanché" en Enrique Nalda (ed.), *Los cautivos de Dzibanché*, México, Instituto Nacional de Antropología e Historia/Consejo Nacional para la Cultura y las Artes.
- Velásquez, Erik (2008) En busca de Testigo Cielo (ca. 561-572 d.C.): el punzón de hueso del Edificio de los Cormoranes de Dzibanché, conferencia en VI Mesa Redonda de Palenque: Arqueología, imagen y texto, Palenque, Chiapas, 16 al 21 de noviembre.



Velásquez, Erik (en prensa) *Morada de dioses. Los componentes anímicos de los mayas clásicos*, México, Fondo de Cultura Económica.

Velázquez Morlet, Adriana (2000) "Historias de olvido y de recuerdo. Una introducción a la arqueología del sur de Quintana Roo", en Adriana Velázquez (coord.), *Guardianes del tiempo*, México, Universidad de Quintana Roo/ Instituto Nacional de Antropología e Historia, pp. 5-14.

Verrecchia, Erik, y Verrecchia, Karine (1994) "Needle-fiber calcite: a critical review and a proposed classification", *Journal of Sedimentary Research*, 64: 650-664.

Villaseñor, Isabel (2010) *Building materials of the Ancient Maya. A Study of Archaeological Plasters*, Saarbrücken, Lambert.

Villaseñor, Isabel y Graham, Elizabeth (2010) "The use of volcanic materials for the manufacture of pozzolanic plasters: A preliminary report", *Journal of Archaeological Science*, 37: 1339-1347.

