



La Escalinata Jeroglífica de Copán, Honduras

Resultados de los Estudios y Propuestas de Conservación

TRADUCCIÓN DEL INFORME FINAL

La Escalinata Jeroglífica de Copán, Honduras

Resultados de los Estudios y Propuestas de Conservación

INFORME DEL PROYECTO

Derechos © 2006 J. Paul Getty Trust e Instituto Hondureño de Antropología e Historia

Diseño de la versión en inglés: Joe Molloy, Mondo Typo, Inc.

Traducción de textos: Chris Bain Borrego, Alessandra Bonatti y Penta SA.

Revisión de la traducción: Carolina Castellanos

Diseño de la versión en castellano: Jennifer Carballo, Aldea Rodríguez, Benjamin Marcus

Se han realizado los mejores esfuerzos para ponerse en contacto con aquellas personas o instituciones que ostenten los derechos de los materiales que se presentan en este volumen y para obtener permiso para su publicación. Toda omisión en este sentido se corregirá en volúmenes futuros si se le solicita por escrito a la editorial.

Getty Conservation Institute
1200 Getty Center Drive, Suite 700
Los Angeles, CA 90049-1684, Estados Unidos
Teléfono 310 440-7325
Fax 310 440-7702
Correo electrónico: gciweb@getty.edu
www.getty.edu/conservation

Instituto Hondureño de Antropología e Historia
Villa Roy
Barrio Buenos Aires
Tegucigalpa, Apartado 1518, Honduras
Teléfono 504 222-3470
Fax 504 222-2552
Correo electrónico: ihah2003@yahoo.com
www.ihah.hn/

Getty Conservation Institute (GCI) trabaja en el nivel internacional para lograr avances en el campo de la conservación mediante investigaciones científicas, proyectos de campo, educación y capacitación, así como a través de la disseminación de información por varios medios. En el marco de sus programas, GCI hace énfasis en la creación y difusión de conocimiento que beneficien a los profesionales y a las organizaciones responsables de la conservación de las artes visuales.

El Instituto Hondureño de Antropología e Historia (IH AH) es una entidad autónoma del Estado Hondureño, encargada de la protección, conservación e investigación del legado cultural de Honduras. El IH AH promueve y publica, tanto en el nivel nacional como internacional, el legado cultural hondureño: los productos tangibles e intangibles de aquellos ancestros y contemporáneos que cumplen con una función formativa e informativa en las actuales generaciones del país. El IH AH brinda información y conocimiento sobre el desarrollo, la adaptación, la creatividad, la organización social y una visión global de los diferentes grupos humanos y de su ambiente, al tiempo que promueve la identidad nacional hondureña.

Fotografía de la portada por Eliud Guerra, septiembre 2006.

Fotografía de la contraportada por Hiroyuki Ikarashi, julio 2003.

Índice

- v Prefacio
- vii Agradecimientos
- ix Resumen

Introducción

- 1 Descripción del sitio arqueológico de Copán
- 2 Historia del sitio y de la Escalinata Jeroglífica
- 4 Significado e importancia de la Escalinata Jeroglífica

Historia de la Conservación en la Escalinata Jeroglífica

- 7 Historia de las intervenciones
- 17 Estudios anteriores acerca de la conservación de piedra en Copán
- 26 Comparación de la documentación fotográfica de la Escalinata Jeroglífica a través del tiempo

Evaluación de las Condiciones Actuales

- 33 Registro foto-topográfico
- 38 Registro de condiciones
- 42 Análisis de materiales
- 56 Monitoreo ambiental
- 66 Análisis biológico
- 74 Evaluación estructural
- 76 Conclusiones principales

Propuestas de Acciones Futuras para la Conservación

- 85 Experimentación de técnicas y materiales de tratamiento para la conservación de piedra y mampostería
- 99 Propuestas y opciones técnicas para la conservación

- Apéndice A 117 Sistema de identificación para los bloques y glifos de la Escalinata Jeroglífica
- Apéndice B 119 Resumen cronológico de la historia de la conservación de la Escalinata Jeroglífica
- Apéndice C 125 Documentación fotográfica de los bloques de la Escalinata Jeroglífica seleccionados para el monitoreo de condiciones
- Apéndice D 127 Glosario ilustrado de condiciones en la piedra de la Escalinata Jeroglífica
- Apéndice E 129 Datos adicionales del monitoreo ambiental
- Apéndice F 135 Proveedores de productos y equipo para la experimentación de tratamientos de conservación
- Apéndice G 143 Conceptos de diseño para una nueva cubierta de protección para la Escalinata Jeroglífica
- Apéndice H 151 Protocolo de monitoreo fotográfico para la Escalinata Jeroglífica
- 159 Nota bibliográfica y abreviaturas
- 161 Referencias y bibliografía
- 180 Créditos del texto
- 181 Créditos fotográficos
- CD-ROM del informe en inglés

Prefacio

Este documento comprende la versión en castellano de los textos del informe ‘The Hieroglyphic Stairway of Copán, Honduras. Study Results and Conservation Proposals. A Project Report’. Se hace referencia a las imágenes de la misma forma que en la versión en inglés y éstas deben consultarse en el documento original. El presente proyecto de conservación, llevado a cabo por Getty Conservation Institute (GCI) y por el Instituto Hondureño de Antropología e Historia (IHAH) tiene diversos orígenes, algunos de los cuales se remontan al año 1986, año en el que dio comienzo el Proyecto Escalinata Jeroglífica. Dos años más tarde, éste se incorporó al Proyecto Arqueológico Acrópolis de Copán (PAAC), un proyecto de ocho años de duración que fue encabezado por William Fash de la Universidad de Harvard y administrado a través del IHAH. El propósito del Proyecto de la Escalinata Jeroglífica fue el de investigar, estabilizar y restaurar este importante componente de la Estructura 26 (W. Fash et al. 1992: 105–6).

En julio de 1997, el IHAH y la UNESCO organizaron una reunión de expertos en el sitio de Copán, con el fin de discutir el problema del deterioro de la Escalinata Jeroglífica y el posible desmantelamiento y transporte de los bloques a un ambiente más controlado. El grupo de trabajo, integrado por arqueólogos, conservadores y científicos con gran experiencia de trabajo en el sitio o en el campo de la conservación, consideró las condiciones de la Escalinata Jeroglífica y las diferentes opciones para garantizar su conservación. La discusión, basada en informes anteriores, generó una recomendación esencial: llevar a cabo una evaluación de las condiciones de la piedra, la cual debía incluir una investigación de gabinete detallada, una caracterización de la piedra utilizada en la Escalinata y un monitoreo ambiental. El análisis de los resultados de estos estudios sería la base para formular las propuestas para la conservación de la Escalinata (IHAH 1997).

Antes y después de esta reunión, diversas instituciones (incluyendo al Getty Conservation Institute) sostuvieron varias reuniones regionales. En ellas se dieron cita diversos representantes de instituciones de patrimonio cultural de la región maya y representantes de diversas agencias internacionales, con el fin de considerar las necesidades de conservación prioritarias en la región. En 1999, en el marco de este contexto, inició un proyecto conjunto entre el IHAH y GCI. Este proyecto tenía el propósito de establecer una estrategia de largo plazo para la Escalinata Jeroglífica que además contribuyera al campo de la conservación en general y que fuera una referencia útil para estudios similares que pudieran llevarse a cabo en otras áreas del sitio y de la región maya.

El proyecto fue puesto en marcha con un equipo conformado por personal del GCI y por consultores, inicialmente con la colaboración de Barbara Fash, Directora del Proyecto IHAH de Estudio y de Conservación de la Escalinata Jeroglífica, entre 1999 y el año 2002 (Andrews y Fash, 2005: 25). El proyecto consistió en una serie de campañas de campo en Copán para el estudio, para el monitoreo de condiciones ambientales, para las pruebas y análisis de laboratorio en los laboratorios científicos del GCI y para la investigación de gabinete, llevada a cabo tanto en archivos de los Estados Unidos, como de Tegucigalpa y de Copán. Durante las campañas de campo se involucró, en la medida de lo posible, al personal del IHAH con el objeto de ampliar la comprensión del proceso de conservación y de capacitar en las diversas actividades, desde el registro de condiciones hasta la realización de las pruebas de tratamiento. El resultado buscado era conseguir que el IHAH contara con más personal capaz de hacer frente a los retos de conservación en el futuro.

La fase preliminar del proyecto incluyó la selección de una metodología para registrar las condiciones de la Escalinata, el muestreo inicial de piedra de Copán para los análisis de laboratorio y la obtención de datos acerca de las condiciones ambientales en la Escalinata. Se

llevó a cabo un estudio estereofotográfico completo de las superficies talladas de la Escalinata. Los métodos y las herramientas para la documentación se eligieron con base en las capacidades actuales del IHAH para que fuera posible realizar un trabajo similar por cuenta propia en el futuro.

En septiembre del año 2000, GCI organizó una reunión en Copán con el fin de evaluar los resultados de los estudios preliminares, de definir los productos necesarios derivados de la investigación y el monitoreo ambiental y de generar observaciones y recomendaciones preliminares relativas a la futura conservación y el mantenimiento de la Escalinata (Getty Conservation Institute 2000b).

El presente informe incluye el resultado de los diversos estudios y de los análisis desarrollados desde los inicios del proyecto, incluyendo las conclusiones principales derivadas del análisis de la historia de la conservación en la Escalinata y de la evaluación de las condiciones actuales. Con base en estas conclusiones, y en los resultados de las pruebas de tratamiento llevadas a cabo desde el año 2001 en la Escalinata, se proponen diversas opciones para acciones futuras de conservación, de monitoreo de condiciones y de mantenimiento de largo plazo.

Agradecimientos

El presente informe de trabajo comprende los resultados y las recomendaciones derivadas del proyecto 'Conservación de la Escalinata Jeroglífica de Copán'. Este proyecto es parte de la Iniciativa Maya, un programa del Departamento de Proyectos de Campo del Getty Conservation Institute, y se ha llevado a cabo en colaboración con el Instituto Hondureño de Antropología e Historia (IHAH) de Honduras. Al Getty Conservation Institute le gustaría manifestar su agradecimiento por el apoyo y la colaboración brindada al IHAH, actualmente dirigido por el Dr. Darío A. Euraque y anteriormente por el Dr. Ricardo Agurcia Fasquelle, Embajadora Margarita Durón de Gálvez, el Arq. Gilberto Lagos, la Dra. Olga Joya, así como a la anterior directora y Jefa del Departamento de Investigación Antropológica del IHAH, la Lic. Carmen Julia Fajardo. Los Jefes del área de Conservación, tanto anterior como actual, la Arq. Ana María Escher y el Ing. Rolando Soto, también brindaron ayuda al proyecto. De manera especial, al GCI le gustaría manifestar su agradecimiento al profesor Oscar Cruz Melgar, Director Regional del IHAH, así como a todo el personal en el sitio de Copán, especialmente a José Rufino Membreño y a Rolando Marroquín por su generosa ayuda. Asimismo, nos gustaría expresar nuestro agradecimiento por el apoyo logístico otorgado por Alberto Durón, delegado del IHAH en La Lima, y por Armando Ortiz, en El Puente. Nos gustaría también expresarle nuestro agradecimiento al personal del Centro Regional de Investigaciones Arqueológicas (CRIA) en Copán, en especial a Laura Nina Flores, bibliotecaria, por su ayuda con el intercambio de investigaciones y de datos. Los miembros del proyecto PICPAC del IHAH, dirigido por el Dr. Seiichi Nakamura y después por el Dr. Ricardo Agurcia Fasquelle, también nos brindaron un importante apoyo, en especial el fotógrafo del proyecto, Hiroyuki Ikarashi y la Ing. Iroshka Enamorado.

La fase inicial del proyecto se realizó con la ayuda de Barbara Fash, Investigadora Asociada del Museo Peabody de Arqueología y Etnología y Directora del Proyecto de la Escalinata Jeroglífica del IHAH. Nos gustaría expresar nuestro sincero agradecimiento a ella y a los miembros de su proyecto. Los dibujos de la Escalinata reproducidos en este informe fueron adaptados de su dibujo no publicado, que ella amablemente compartió con el proyecto. Además, Eliud Guerra fue un apoyo importante durante el proyecto con la documentación y con las pruebas para tratamiento. La fotógrafa Reyna Flores brindó una valiosa colaboración con la documentación y con los procesados fotográficos. Concepción Lázaro y Ana Edith Lara también apoyaron al proyecto con su trabajo de documentación. Juan Ramón Guerra, chofer, nos ofreció ayuda logística al inicio del proyecto y Fernando López contribuyó de diversas maneras, incluyendo la construcción de escaleras y escalones de acceso a la Escalinata.

Nos gustaría expresarles nuestro agradecimiento al personal de la Asociación Copán y a Catherine Doctor, por su gran interés en el proyecto, en el sitio de Copán y en su interpretación. Eduardo Góchez de Concultura en El Salvador ofreció asistencia con la instalación de las estaciones de monitoreo ambiental.

La investigación de archivos llevada a cabo en los Estados Unidos como parte del proyecto fue apoyada por el personal de los Archivos del Museo Peabody de Arqueología y Etnología de la Universidad de Harvard, especialmente con el trabajo de India Spartz. Además, nos gustaría agradecer la ayuda de Mara Yarbrough, bibliotecaria del Laboratorio de Antropología, Museo de Artes y Cultura Indígena, en Santa Fe, Nuevo México.

El Proyecto de Conservación de la Escalinata Jeroglífica del GCI se realizó bajo la coordinación general de Tim Whalen, Director del Instituto, de Jeanne Marie Teutonico, Directora Asociada, de François LeBlanc, Jefe de Proyectos de Campo y de Françoise Descamps, Jefa del proyecto Iniciativa Maya. Muchos miembros del personal del GCI, tanto anteriores como actuales,

contribuyeron al proyecto en diferentes etapas y de diferentes modos. Del Departamento de Proyectos de Campo: Elsa Bourguignon, Jennifer Carballo, Rand Eppich, Evin Erder, Christopher Gray, Virginia Horton, Bettina Lucherini, Rick Miller, Thomas Roby, Giora Solar, Lucia Valero-Martin, Anna Zagorski. Del Departamento de Ciencias: Susan Baron, Vincent Beltran, Ann Bourges, David Carson, Giacomo Chiari, Alberto de Tagle, Eric Doehne, Pnina Evans, Joy Keeney, Herant Khanjian, Tiziana Lombardo, Shin Maekawa, Urs Mueller, Alice Ormsbee, Carlos Rodríguez Navarro y Stefan Simon. Del Departamento de Diseminación e Investigación: Angela Escobar, Jane Fujimoto y Tom Shreves. Del Museo J. Paul Getty: Eduardo Sanchez.

Al GCI le gustaría agradecer la asistencia brindada por el consultor William Martin, experto en conservación de arquitectura y piedra, quien proporcionó directrices muy valiosas durante todo el proyecto. Otros consultores también contribuyeron en diferentes aspectos: Clive Boardman, en estereofotografía; Peter Boniface, en análisis de datos del estudio; Paul Brooks, en estereofotografía; Giulia Caneva, en análisis biológico; Catherine Dewey, en documentación gráfica; Mark Gemperline, en ingeniería estructural; Lorenzo Lazzarini, geólogo/experto en conservación de piedra; Lorraine McVey, en investigación bibliográfica; Mark Philips, en análisis de datos del estudio; Gionata Rizzi, arquitecto especializado en conservación/diseño de cubiertas; Todd Rutenbeck, en ingeniería estructural; Luis Torres Montes, químico, experto en la conservación de piedra; Fritz Wenzel, en ingeniería estructural; Albert Wiedmann, en análisis de datos del estudio. Las firmas Consultoría Jefferson e Ingeniería Sandberg colaboraron con el análisis de materiales.

Resumen

La Escalinata Jeroglífica es uno de los principales elementos que confieren al sitio arqueológico maya de Copán un valor universal excepcional, lo que motivó su inscripción en 1980 en la Lista de Patrimonio Mundial de la UNESCO. La Escalinata, ubicada en el lado oeste de la estructura piramidal conocida como Estructura 26, ostenta la inscripción Maya más larga que se conoce en la antigua Mesoamérica. La inscripción, que data del siglo VIII de nuestra era, tiene una importancia histórica excepcional dado que relata la historia oficial de los gobernantes de Copán. La Escalinata Jeroglífica fue excavada a finales de la década de 1890 y se reconstruyó a finales de la década de 1930. Desde entonces, la Escalinata se ha convertido en un importante símbolo cultural en el nivel nacional y es una fuente de orgullo para la sociedad hondureña.

En décadas recientes, la preocupación por el deterioro y la pérdida de las superficies de la piedra tallada en el sitio, en particular en la inscripción jeroglífica, ha llevado tanto a realizar estudios científicos de la piedra como a convocar diversas reuniones internacionales de expertos en arqueología y conservación, con el fin de determinar la mejor forma de asegurar la conservación de los monumentos de Copán. Desde 1979, se han realizado diversos tratamientos de la piedra, en un primer momento para eliminar el crecimiento microbiológico y, posteriormente, durante las décadas de 1980 y 1990, para la consolidación de las superficies. También se han adoptado medidas para prevenir el deterioro, como prohibir a los visitantes el acceso a la Escalinata y la colocación, en 1985, de una cubierta de protección sobre la Escalinata. Además de estos esfuerzos para frenar la pérdida de superficies talladas, se consideró la posibilidad de retirar los bloques de la Escalinata para colocarlos en un ambiente más controlado. En 1999, el Getty Conservation Institute y el IHAH acordaron llevar a cabo un proyecto conjunto para analizar las condiciones de la Escalinata y para determinar las acciones apropiadas para garantizar su conservación.

El presente informe resume el estudio profundo e integral que se ha realizado en la Escalinata Jeroglífica el cual incluye: la investigación histórica, los estudios científicos de la piedra y de los morteros, los estudios de la colonización biológica en la Escalinata, el estudio detallado de las condiciones de conservación y el monitoreo de las condiciones ambientales. Con base en el análisis de la información que se ha recabado e integrado, se han definido propuestas y opciones para la conservación de la Escalinata en el largo plazo. Si bien se ha presentado un importante deterioro de la piedra desde que la Escalinata Jeroglífica fue excavada, actualmente el monumento está en condiciones estables, salvo por pocas y localizadas excepciones. La estabilidad actual de la piedra se debe en gran medida a la cubierta de protección ya que permite mantener secas las superficies de la misma, genera un ambiente más estable al reducir las fluctuaciones ambientales diarias y limita drásticamente el crecimiento microbiológico en la piedra. Las condiciones actuales pueden y deben mantenerse por lo que se debe mantener una cubierta protectora sobre la Escalinata, ya sea conforme al sistema actual, con algunas modificaciones limitadas y localizadas, o bien mediante el diseño y la construcción de una nueva cubierta permanente, capaz de preservar el micro ambiente actual. El acceso directo a la Escalinata deberá limitarse en la medida de lo posible, pues inclusive el ocasional acceso autorizado sigue siendo la causa de pérdidas limitadas en la superficie de la piedra. Con la puesta en práctica de estas dos medidas de conservación preventiva puede garantizarse la preservación del monumento en el largo plazo sin tener que recurrir al traslado de los bloques a un ambiente más controlado.

Además, se pueden ejecutar tratamientos de conservación que podrían mejorar de manera significativa las condiciones en la Escalinata, como el resane en las zonas donde existe pérdida de mortero entre los bloques de piedra y la estabilización de las áreas superficiales de la piedra

tallada que se encuentren en riesgo de perderse. Estos dos tratamientos, tanto el relleno de porciones faltantes en el mortero como la estabilización de superficies de la piedra, pueden realizarse eficazmente utilizando materiales locales para preparar las mezclas de mortero de cal, pero deben ser ejecutadas por personal debidamente capacitado y capaz de documentar su trabajo. Alternativamente, se podría tomarse la decisión de ir más allá de la intervención mínima necesaria para lograr la estabilización, buscando mejorar la presentación general de la Escalinata y la lectura de los jeroglíficos con la ejecución de un tratamiento integral de conservación. Un proyecto así implicaría la eliminación de los morteros actuales entre los bloques, la consolidación de toda la Escalinata y la reducción o eliminación de los tratamientos anteriormente aplicados en las superficies, reemplazándolos según sea necesario. Esta intervención de alto grado podría hacer que los bloques tallados fueran más visibles y legibles. Con tratamientos apropiados, los bloques tendrán mayor homogeneidad en la apariencia y las intervenciones serán menos evidentes que las actuales.

Independientemente del nivel de tratamiento que se lleve a cabo en el futuro, será necesario monitorear y mantener las condiciones de la Escalinata y de los tratamientos, para asegurar que funcionen de manera apropiada y prevenir deterioro y pérdidas adicionales. Se propone un programa de monitoreo fotográfico e inspección visual que deberán poner en práctica miembros del personal de mantenimiento debidamente capacitados y dedicados a la Escalinata Jeroglífica y a todos los monumentos del sitio. El equipo de mantenimiento deberá ser supervisado por un conservador con la formación adecuada, capaz de garantizar que el trabajo de mantenimiento se organice, ejecute y documente de manera apropiada. Con el fin de iniciar y dar seguimiento a esta actividad, deberán identificarse conservadores y técnicos de mantenimiento que potencialmente se puedan dedicar a estas funciones en el sitio durante todo el año, para darles la capacitación necesaria. Esta capacitación es un proceso que toma varios años en el caso de los conservadores y varios meses en el caso de los técnicos, por lo que el IHAH deberá evaluar la necesidad de capacitación tan pronto como sea posible, con el fin de mejorar la conservación y el manejo del sitio en el corto plazo.

Si bien este estudio se ha centrado en la conservación de un elemento arquitectónico de Copán, hay varios aspectos del mismo que podrán aplicarse a la conservación de otros monumentos para beneficiar a todo el sitio. Por ejemplo, la metodología propuesta para monitorear las condiciones de la Escalinata puede ser utilizada en todo el sitio. La metodología de tratamiento propuesta en el presente informe podría aplicarse a otros monumentos bajo cubiertas de protección en Copán. Además, la metodología general del proyecto: la evaluación de condiciones, el análisis de conclusiones, la definición de propuestas y pruebas de tratamiento y de medidas preventivas y, posteriormente, la planeación de intervenciones, bien puede aplicarse a otros monumentos, independientemente del nivel de presupuesto del que se disponga.



INTRODUCCIÓN

Descripción del sitio arqueológico de Copán

El sitio arqueológico de Copán se ubica en el occidente de Honduras, cerca de las fronteras con Guatemala y El Salvador, aproximadamente unos 500 km al noroeste de Tegucigalpa, capital de Honduras, en el municipio de Copán Ruinas, Departamento de Copán (Fig. 1). Durante el período Clásico maya (entre los años 250 y 900 d.C.), Copán se encontraba en el límite sur oriental de las tierras bajas mayas, una región cultural que actualmente comprende los estados modernos de México, Guatemala, Belice, Honduras y El Salvador (Fig. 2) (W. Fash 1991; Webster 1999: 1). Copán, uno de los centros más grandes e importantes, fue una de las ciudades-estado dominantes de la región, hecho que es atestiguado en la actualidad por sus monumentales ruinas. El área central del sitio, conocida como Grupo Principal, abarca unas 12 hectáreas y está compuesta por una serie de edificios de gran tamaño organizados en torno a plazas abiertas. El Grupo Principal se divide en dos secciones: las plazas bajas del norte y la acrópolis del sur, un área elevada que es el resultado de siglos de secuencias constructivas (Fig. 3) (W. Fash 1991: 21).

En la plaza baja de mayores dimensiones, conocida como la Gran Plaza, se ubican estelas y altares tallados, comisionados durante el reinado del decimotercero gobernante de Copán (Fig. 4). La plaza de la Escalinata Jeroglífica se encuentra justamente al sur de esta área, junto con el Campo de Pelota y el Templo 11 (o Templo de las Inscripciones). La acrópolis está organizada en torno a dos patios principales. El Patio Occidental está delimitado al este por la Estructura 16 dentro de la cual se encontró, durante la excavación arqueológica de túneles, el templo pintado conocido como Rosalila, en un buen estado de conservación (en el Museo de Escultura del sitio se exhibe una réplica en tamaño real de este edificio) (Agurcia-Fasquelle 1996). El Altar Q, que retrata a los dieciséis reyes de Copán y vincula al decimosexto de ellos con el fundador de la dinastía, también se ubica en la plaza del Patio Occidental. El Patio Oriental (o Plaza de los Jaguares) presenta varios edificios, incluyendo al Templo 22, y la adyacente Casa del Petate o Casa Comunitaria, en la que el decimocuarto rey se reunía con diversos representantes de la población (Fig. 5) (B. Fash et al. 1992). Al sur de la acrópolis, se han encontrado numerosos recintos residenciales de la élite (W. Fash 1991: 26).

Copán tenía una ubicación privilegiada en un valle ribereño de acceso restringido, con bolsones de ricas tierras aluviales, que era adecuada para el cultivo de muchos alimentos que constituían la dieta mesoamericana básica, tales como maíz y frijol, además de tabaco y cacao (Fig. 6) (Webster 1999: 6; Schumann de Baudez 1983). El Grupo Principal no existía en aislamiento, pues el Valle de Copán presenta miles de vestigios arqueológicos. El estudio del patrón de asentamiento, llevado a cabo por la Universidad de Harvard a mediados de la década de 1970, produjo detallados mapas de asentamiento de toda el área y documentó los usos de suelo que tuvo el valle en la antigüedad (W. Fash 1991: 27). Las excavaciones realizadas en varias áreas fuera del centro cívico-ceremonial de Copán han arrojado datos adicionales sobre esta antigua ciudad-estado maya (Fig. 7) (consultar Webster 1989, por ejemplo).

Historia del sitio y de la Escalinata Jeroglífica

La historia de Copán comienza con la ocupación inicial del Valle de Copán, alrededor de 1400 a.C., por parte de grupos de agricultores que vivieron en pequeñas aldeas. En el área residencial de Las Sepulturas, al oriente del Grupo Principal, se han encontrado evidencias, que datan hacia 1000–850 a.C., del desarrollo de una organización social compleja, principalmente entierros y artículos funerarios asociados con imágenes de estilo olmeca (W. Fash 1991: 63–64, 70).

Durante el Clásico Temprano (400–600 d.C.) comienzan a evidenciarse cambios importantes en la sociedad de Copán, incluyendo un incremento en la población y la aparición de características culturales del Clásico Maya. Estas incluyen el sistema jeroglífico de escritura del Clásico Maya, el complejo sistema de calendario, la construcción de templos y palacios de mampostería con cámaras abovedadas, los diseños arquitectónicos centrados en torno a una plaza, los juegos de pelota, la elaboración de cerámica policroma y la aparición de un complejo estilo artístico (Coe 1993: 47; Bell et al. 2004). Los investigadores estiman que para finales del Clásico Temprano había entre 8,000 y 12,000 personas viviendo en el área de Copán (W. Fash 1991: 76). Las inscripciones documentan que en el año 426 d.C. K'inich Yax K'uk' Mo' estableció la dinastía gobernante de Copán (Stuart 1992), considerado por todos los gobernantes posteriores como su ancestro. La dinastía de Copán tuvo un total de dieciséis gobernantes y son los monumentos y construcciones comisionados por los últimos gobernantes, erigidos durante el Clásico Tardío (entre 600 y 900 d.C.), los que pueden apreciarse actualmente en el Grupo Principal.

Durante el Clásico Tardío, varios de los grandes centros mayas fueron haciéndose más y más complejos, tanto desde el punto de vista sociopolítico como desde el económico, y luego entraron en decadencia. Si bien las causas de este colapso aún están siendo debatidas, muchos investigadores creen que se debió a problemas internos, como factores ecológicos (W. Fash 1991: 173; Culbert 1973; Culbert 1991; Gonlin 1993: 37). Durante el apogeo de Copán, alrededor de 800 d.C., se estima que había cerca de 20,000 habitantes en el bolsón de Copán (W. Fash 1991: 154). Tras el fallecimiento del decimosexto gobernante del sitio, en 820 d.C., la ciudad estado colapsó y fue prácticamente abandonada hasta la aparición de grupos culturalmente diferentes hacia mediados del siglo diez (Manahan 2004).

Si bien la Escalinata Jeroglífica se reconstruyó durante la primera mitad del siglo veinte, existía una comprensión limitada de la historia del monumento, excepto por los pocos elementos que arrojaban las fechas registradas en la inscripción de la Escalinata. Los epigrafistas notaron que había un lapso de veinte años entre la fecha de inauguración de la Escalinata y la última fecha registrada para el decimotercero gobernante de Copán; asimismo, otras inscripciones registraban la decapitación de este gobernante a manos del gobernante de la vecina ciudad de Quiriguá, en 738 d.C. (W. Fash 2002: 9; W. Fash et al. 1992: 106). Sin embargo, no fue sino hasta el año de 1986, con el inicio del Proyecto Escalinata Jeroglífica, que los investigadores llevaron a cabo investigaciones arqueológicas para comprender mejor el significado y las motivaciones que había detrás de este importante monumento (Fig. 8) (W. Fash 2002: 9).

Existían dos hipótesis particulares acerca de la Escalinata. La primera era que la Escalinata Jeroglífica era un monumento de conquista, construido por el gobernante de la vecina Quiriguá para celebrar su victoria contra Copán. La segunda era que la Escalinata era un 'gran templo de autoafirmación', construido por el decimoquinto gobernante de Copán con el propósito de dar nuevamente legitimidad al gobierno dinástico tras la derrota del decimotercero gobernante por parte de Quiriguá. Con la excavación de túneles en el interior de la estructura piramidal de la Escalinata Jeroglífica (conocida como Estructura 26) los arqueólogos pudieron 'someter a prueba

la historia de la escalinata' al investigar las etapas constructivas de la estructura (W. Fash et al. 1992: 107; W. Fash 2002: 10).

William Fash y su equipo descubrieron un gran número de evidencias arqueológicas que apoyaban la segunda hipótesis y que además contribuían a la comprensión de la historia dinástica temprana de Copán. Las excavaciones revelaron que K'inich Yax K'uk' Mo', fundador de la dinastía de Copán, encargó las dos construcciones más tempranas que se erigieron en este lugar a principios del siglo V d.C. Posteriormente, el Gobernante 2 construyó una estructura, denominada Papagayo por los arqueólogos que la descubrieron, sobre estos edificios, misma que se conservó intacta por espacio de 250 años (W. Fash 2002: 10, 11). No fue sino hasta después de la muerte del Gobernante 12, cerca de 695 d.C., que se construyó una nueva estructura en este lugar. El Gobernante 13 creó una cámara mortuoria para el Gobernante 12 en la parte superior de Papagayo, cubriéndola luego con una gran estructura piramidal. Los investigadores consideran que fue sobre los amplios escalones del lado oriental de este edificio (lo que representó un cambio en relación con las estructuras más tempranas construidas en este lugar, pues éstas habían tenido escalinatas que daban al Poniente) que se inauguró la primera escalinata jeroglífica, 15 años después de la muerte del Gobernante 12 (Fig. 9).

Las inscripciones de esta escalinata anterior cuentan la historia del Gobernante 12, quien gobernó Copán por más de sesenta años. Posteriormente, en 738 d.C., el decimotercero gobernante de Copán, quien comisionó varios de los hermosos monumentos que se aprecian en el sitio en la actualidad, murió en una batalla contra Quiriguá. Es probable que durante el corto período de gobierno del Gobernante 14, quien fue su sucesor, se haya recurrido a un 'gobierno de consenso' según sugiere la construcción de la llamada Casa del Petate (W. Fash 2002: 15; B. Fash et al. 1992). La Escalinata Jeroglífica, una versión más elaborada que la original, que vemos hoy día fue construida por el Gobernante 15 en el lado oeste de la estructura piramidal (Fig. 10). Tras remover los bloques tallados de la escalinata jeroglífica encargada por el Gobernante 13 en el lado oriental del edificio, el Gobernante 15 creó una pirámide nueva y más grande, con trece terrazas que simbolizaban los trece niveles del cielo según la cosmovisión mesoamericana (W. Fash 2002: 16). Las inscripciones que aparecen en la Escalinata Jeroglífica hacen referencia a muchos acontecimientos de la historia de la dinastía de Copán, haciendo énfasis en su origen divino y dando legitimidad al derecho de gobernar tras la desafortunada muerte de su decimotercero gobernante (Fig. 11).

Significado e importancia de la Escalinata Jeroglífica

Copán es uno de los sitios más grandes y mejor investigados de toda el área maya y ha producido más inscripciones jeroglíficas y monumentos esculpidos que ningún otro sitio arqueológico en Mesoamérica (Fig. 12) (W. Fash 1991: 19). Su diverso corpus de escultura antigua, sumamente hermosa y expresiva, hace de este sitio una 'ventana potencialmente maravillosa al interior de la ideología maya' (W. Fash 2002: 7). Por estas razones arqueológicas y porque el complejo arquitectónico de Copán, con sus templos piramidales y sus plazas, es uno de los más característicos de la civilización maya, Copán satisface los criterios de valor universal excepcionales establecidos por la Convención de Sitios de Patrimonio Mundial de la UNESCO (Ministerio de Cultura y Turismo de Honduras 1979). Como resultado de esto, Copán ha estado en la Lista de Patrimonio Mundial desde 1980. En su recomendación a la UNESCO, Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS) cita específicamente las inscripciones jeroglíficas de la Escalinata de la Estructura 26 como un monumento de considerable importancia histórica (ICOMOS 1980).

La Escalinata Jeroglífica, ubicada en el lado oeste de esta estructura piramidal, fue construida en dos partes y en dos momentos (710 y 755 d.C.). Tiene la inscripción de texto maya más larga que se conoce hasta ahora en toda Mesoamérica (Fig. 13) (W. Fash 2002: 7). La inscripción narra la historia oficial de los gobernantes de Copán y proporciona 'un registro exacto de los eventos dinásticos anteriores y de los personajes importantes' (W. Fash et al. 1992: 112). En el Nuevo Mundo, donde son escasos los registros históricos preservados que documentan los acontecimientos y los personajes del pasado, la Escalinata da la oportunidad de contrastar la historia narrada en los textos esculpidos con los datos descubiertos por la investigación arqueológica. En este sentido, la Escalinata Jeroglífica ha permitido a los investigadores comprender mejor cómo se transformó la ideología político-religiosa de Copán (W. Fash 2002: 15).

La mayor parte de la Escalinata fue reconstruida a finales de la década de 1930. Al hacerlo, más de la mitad de los bloques tallados no se colocaron en su posición original. No obstante, los 15 escalones inferiores se encontraron, y aún están, en su lugar original. A pesar de la inexactitud en la reconstrucción, la Escalinata se ha convertido en un importante símbolo nacional y en una fuente de orgullo para la sociedad hondureña, jugando un papel vital en el fortalecimiento de la identidad cultural de este país. Como evidencias de esta importancia política y cultural podemos citar el que la Escalinata, junto con el Juego de Pelota de este sitio, aparecen ilustrados en el billete más común del país (Fig. 14) y el hecho de que la toma de poder presidencial más reciente de Honduras se llevó a cabo en la Plaza de la Escalinata. La Escalinata es una de las razones por las cuales Copán es el principal sitio turístico cultural del país, tanto internacional como nacionalmente y forma parte del programa nacional de educación.

Introducción / Pies de ilustración

(Ver la versión en inglés para las figuras.)

Descripción del sitio arqueológico de Copán

Figura 1. Mapa de Honduras

Figura 2. Mapa de Mesoamérica, en el que se muestran los sitios mayas más importantes.

Figura 3. Grupo Principal de Copán, en el que se identifican los monumentos y las características principales del sitio.

Figura 4. La Gran Plaza, viendo hacia el noreste, con la Estructura 4, las estelas y los altares en segundo plano.

Figura 5. Patio Oriental o Plaza de los Jaguares, viendo hacia el noroeste; puede apreciarse, en segundo plano, el Templo 22 con su cubierta.

Figura 6. Valle de Copán viendo hacia el noroeste, con el Grupo Principal en el área boscosa, el río Copán en primer plano y el poblado moderno de Copán Ruinas a la izquierda en segundo plano.

Figura 7. Mapa del asentamiento periférico de la antigua Copán, con el Grupo Principal como núcleo.

Historia del sitio y de la Escalinata Jeroglífica

Figura 8. Plaza de la Escalinata Jeroglífica viendo hacia el sudeste, con la Estructura 26 a la izquierda y la Escalinata, temporalmente descubierta sin la cubierta de protección de lona; julio de 2003.

Figura 9. Sección esquemática de las principales estructuras descubiertas al investigar la Estructura 26, con base en las características expuestas mediante la excavación de varios túneles.

Figura 10. Escalinata Jeroglífica temporalmente descubierta; julio de 2003.

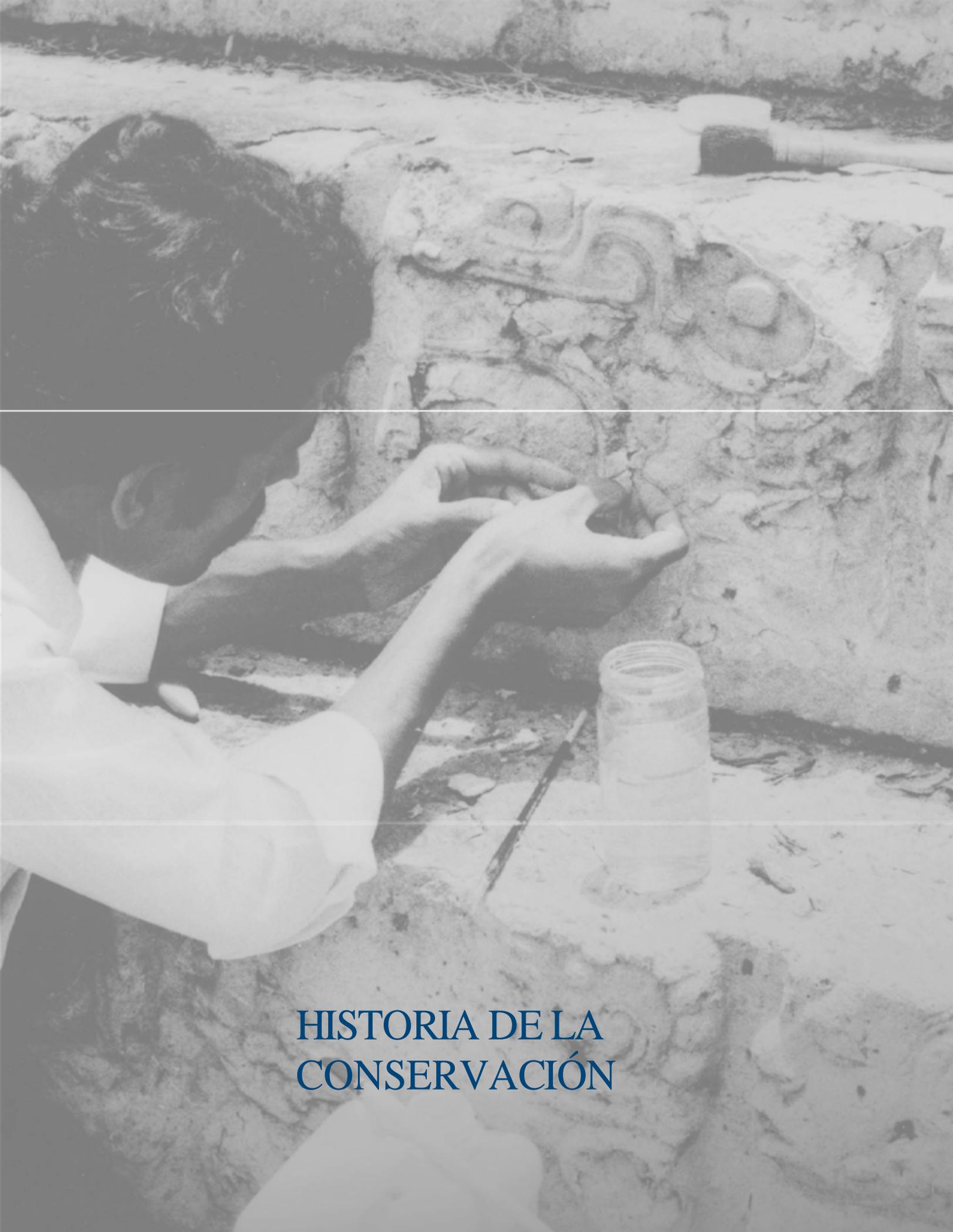
Figura 11. Dibujo de los glifos tallados en los bloques 406 a 410, escalón 43.

Significado e importancia

Figura 12. Escalinata Jeroglífica, detalle del bloque 365 (glifo B), escalón 39.

Figura 13. Escalones 39-44 en el lado norte de la Escalinata Jeroglífica.

Figura 14. Billete hondureño de un lempira, en el que aparece la Escalinata Jeroglífica y el Juego de Pelota de Copán.



HISTORIA DE LA
CONSERVACIÓN

Historia de las intervenciones

Primeros recuentos escritos y descubrimiento de la Escalinata Jeroglífica

Se han hecho descripciones del sitio arqueológico de Copán en varias fuentes escritas desde tiempos de la Conquista española, si bien su referencia más famosa es la que hizo John Lloyd Stephens en *Incidentes de Viaje en América Central, Chiapas y Yucatán* (si se desea consultar la referencia más antigua, que data de 1576, consultar García de Palacio 1860 y Gordon 1896: 45–48; si se desea consultar referencias más recientes, consultar Galindo 1836; Galindo 1920; Stephens 1841). El libro de Stephens, que tuvo gran éxito entre el público en general, publicado en 1841, dio a conocer a Copán al mundo, así como a otros sitios mayas. Ninguna de estas primeras publicaciones, sin embargo, hace referencia a la Escalinata Jeroglífica.

En 1885, Alfred Percival Maudslay, un explorador británico que posteriormente se dedicó al estudio de los mayas, realizó la primera exploración extensa y cuidadosa del sitio y, al hacerlo, redescubrió la Escalinata Jeroglífica al encontrar una sección de escalones que se ubicaban en la parte media de la pendiente del lado oeste de la estructura piramidal 26 (Fig. 15) (Maudslay 1889–1902: 11, 30). Las excavaciones posteriores revelaron que esta sección de escalones, que eran la única parte visible de la Escalinata en esa época, se había deslizado desde la parte superior de la pirámide, aunque los escalones se mantuvieron juntos y en secuencia, tal como habían estado en su ubicación original.

El Museo Peabody de Arqueología y Etnología

La exploración de Maudslay en el sitio despertó el interés del Museo Peabody de Arqueología y Etnología de la Universidad de Harvard que, en 1891 obtuvo del gobierno hondureño una concesión por diez años para explorar las ruinas del país y, en particular, el derecho de llevar a cabo investigaciones en Copán (Gomez y Zelaya 1891: 1). Bajo este edicto especial, el Museo comenzó sus trabajos arqueológicos en Copán en diciembre del año 1891, comenzando por el retiro de la vegetación que cubría el sitio (Saville 1892c: 14). Los trabajos en la Escalinata Jeroglífica comenzaron en la siguiente temporada de campo durante 1892–93 (Fig. 16).

Entre diciembre de 1892 y enero de 1893, los bloques de escalones jeroglíficos de la sección desprendida fueron descubiertos en su totalidad con el fin de poder tomar moldes de los mismos. Los escalones que habían permanecido en su posición original en la parte inferior de la Escalinata se descubrieron bajo más de 4 metros de material de derrumbe (Fig. 17).¹ La excavación de la Escalinata tuvo que interrumpirse prematuramente debido a la muerte por fiebre tropical del director de la expedición, John G. Owens (Gordon 1893a: 1). Posteriormente, George Byron Gordon, el topógrafo de la expedición, se hizo cargo de la misma y fue el responsable de llevar a Boston, entre otros hallazgos hechos en campo, la segunda Figura Sedente, cortada en secciones con una sierra, así como un número de bloques de escalones jeroglíficos, cortados en planchas de entre 10 y 12.5 cm para facilitar su transporte (Lincoln 1893a; Gordon 1893c: 1–2).

Entre 1893 y 1894 no se realizaron expediciones a Copán debido a la muerte de Owens y al ambiente político inestable en Honduras (Maudslay 1889–1902: 65). Durante la temporada de campo de 1894–95, dirigida por Gordon los bloques jeroglíficos de la sección desprendida, así como otros bloques sueltos encontrados entre los escombros, se limpiaron, fotografiaron, numeraron y luego se bajaron al nivel de la plaza ‘sin que ninguno de ellos sufriera el menor daño’ (Fig. 18). En la plaza, se les colocó sobre soportes de piedra, se les fotografió y se hicieron moldes en papel de la mayoría de ellos, probablemente después de ‘cepillarlos’ con agua, lo que era una práctica común en el sitio en aquella época (Figs. 19, 20).² Los trabajos en Copán

volvieron a interrumpirse durante los tres años siguientes (1896–1898), debido a la elección de un nuevo presidente en Honduras, quien anuló el edicto de concesión al Museo Peabody (Gordon 1898b: 3).

Con la elección de un nuevo presidente en el año de 1899, el Museo Peabody envió una expedición a principios del año 1900. La mayor parte de la temporada de campo se dedicó a la Escalinata Jeroglífica. Los escalones inferiores encontrados en su posición original, que se habían liberado parcialmente en temporadas anteriores, fueron completamente descubiertos, revelando un total de 15 escalones y la primera Figura Sedente (Fig. 21). La condición de estos escalones fue decepcionante para Gordon, quien consideró que un gran número de glifos estaba totalmente destruido y la mayoría de los restantes dañados. Las balaustradas a ambos lados de los escalones también estaban casi totalmente destruidas. Se hicieron moldes de papel y se fotografiaron todos los escalones encontrados en su sitio, así como de todos los bloques sueltos de los que aún no se habían hecho moldes (Fig. 22) (Gordon 1900b: 1–2; Gordon 1900g: 2, 3).

La intención del Museo Peabody era continuar con sus trabajos en Copán durante la siguiente temporada de campo, la de 1900–01, pero cuando Gordon llegó a Copán en diciembre de 1900, no pudo llevarse a cabo trabajo alguno, debido a que el permiso de trabajo, cuya duración prevista era de diez años, no fue renovado. Sin embargo, Gordon reportó daños en la Escalinata hechos antes de su llegada. Un agente, presumiblemente enviado a Copán por el gobernador de Santa Rosa con el fin de recolectar objetos para la Exposición Panamericana, había desprendido muchos ornamentos de la Escalinata Jeroglífica utilizando cinceles (Gordon 1901b: 4, 12). Con esta amarga nota concluyeron 10 años de esfuerzos de investigación realizados en el marco de las expediciones a Copán organizadas por el Museo Peabody.

La mayoría de los documentos escritos y fotográficos derivados de las expediciones del Museo Peabody se guardan en los archivos del Museo Peabody de Arqueología y Etnología de la Universidad de Harvard, en Cambridge, Massachusetts. La publicación *The Hieroglyphic Stairway, Ruins of Copán: Report on Explorations by the Museum* (La Escalinata Jeroglífica, Ruinas de Copán: Informe sobre las Exploraciones hechas por el Museo) ofrece un buen resumen del trabajo llevado a cabo por el museo en Copán (Gordon 1902).

La Institución Carnegie de Washington

Tras los importantes trabajos ejecutados por el Museo Peabody en Copán en la década de 1890, no se llevaron a cabo actividades arqueológicas relevantes sino hasta la década de 1930 cuando comenzaron las expediciones de la Institución Carnegie de Washington. Sin embargo, en 1910, el arqueólogo estadounidense Sylvanus Griswold Morley visitó Copán en representación de la Escuela de Arqueología Americana, ahora The School of American Research (Morley 1920: 27). Las fotografías que Morley tomó durante esta visita muestran claramente que los materiales de derrumbe del montículo habían vuelto a cubrir el lado norte de los escalones que aun se encontraban en su posición original, mismos que fueron retirados por Morley durante su visita (Figs. 23, 24).

Morley continuó visitando el sitio durante la década de 1910 para preparar su monumental publicación *Las Inscripciones de Copán* (Morley 1920) y jugó un papel esencial en la creación del departamento de arqueología de la Institución Carnegie de Washington en 1914. Bajo su dirección, la Institución Carnegie habría de conducir investigaciones, prospecciones y trabajos de excavación en muchos sitios mayas, incluyendo Copán (Brunhouse 1971: 63–78).

La Institución Carnegie inició sus actividades en Copán en enero de 1935 (Strømsvik 1935a:

118), bajo la dirección del ingeniero noruego Gustav Strømsvik, quien se mantuvo en el cargo durante todo el tiempo en que la Institución Carnegie de Washington estuvo involucrada con el sitio. El énfasis de los trabajos estuvo en la ‘reparación’ de las estructuras (Strømsvik 1935a: 118), lo que implicaba la preservación y reconstrucción, más que en realizar nuevas excavaciones de gran escala. Durante la primera temporada de campo, entre enero y junio de 1935, se limpió una vez más la vegetación que cubría el montículo de la Escalinata y se estabilizó el altar que se encontraba en la base de la misma. Fue en esta primera temporada cuando alguien informó a Strømsvik que a veces se colocaban botellas vacías en la Escalinata para practicar tiro al blanco.³

Desde el principio, Strømsvik abogó por una reconstrucción completa de la Escalinata Jeroglífica, aún cuando esto implicara que algunos bloques se colocaran en una posición incorrecta (Morley 1935a: 30 mar.; Strømsvik 1941a: 51). Su principal argumento en favor de la reconstrucción era el de evitar que los bloques jeroglíficos, colocados en la plaza, continuaran sufriendo daños como consecuencia del constante deshierbe en la plaza, que luego se quemaba sin ningún cuidado (Maudslay 1889–1902: 17; Saville 1892c: 14). Sin embargo, Morley estaba más a favor de una reconstrucción parcial de la Escalinata, consolidando los 15 escalones encontrados in situ y posiblemente reubicando ‘los 15 escalones que [se habían] desprendido juntos de un lugar más alto en la escalinata’ y que eran los únicos bloques cuyo orden se conocía (Morley 1935a: 30 mar.).

El trabajo en la Escalinata se retrasó otro año, pues la temporada de campo de 1936 se dedicó fundamentalmente a desviar el río Copán, que había arrastrado parte de la sección oriental de la Acrópolis Principal desde tiempos de las expediciones del Museo Peabody, por lo que su desvío se consideraba con justicia como una prioridad para garantizar la preservación del sitio (Strømsvik 1936a).

La reconstrucción de la Escalinata Jeroglífica finalmente comenzó en enero de 1937 con la estabilización de los 15 escalones que estaban en su posición original, aunque en malas condiciones fundamentalmente por el crecimiento de vegetación y de microorganismos. Los bloques de los cuatro escalones más elevados de la sección de escalones encontrados en su posición original, se fotografiaron y, junto con la primera Figura Sedente, fueron colocados nuevamente en su sitio, utilizando un mortero de cemento. El espacio detrás de los bloques se rellenó con piedras consolidadas con mezcla de cal y, finalmente, se limpiaron y se rellenaron con cemento las juntas entre bloques (Fig. 25).⁴

Con el fin de volver a colocar la sección de escalones que se habían desprendido en bloque, se decidió primero excavar y construir una nueva escalinata de apoyo sobre la cual se podrían ubicar los bloques jeroglíficos. Strømsvik apuntó en su cuaderno de notas de campo que la escalinata de apoyo se construyó en parte para asegurar que ‘cualquier escalón colocado no habría de interferir con la colocación de otras piedras que aún no se hubieran encontrado’ (Strømsvik 1937c: 6 enero 1937). Strømsvik también era de la opinión que, utilizando esta técnica, ‘sería muy sencillo reubicar cualquier bloque individual de piedra y colocarlo en otra posición, si llegara a determinarse que el mismo se había colocado en un lugar erróneo’ (Strømsvik 1941a: 52). La altura a la que debía colocarse la sección caída sobre la escalinata de apoyo fue objeto de muchas discusiones,⁵ y tras muchas de éstas y de un error de cálculo, la sección desprendida terminó colocándose 13 escalones por encima de la sección de escalones que se habían encontrado en su posición original (Strømsvik 1937c: 20 abril 1937; Strømsvik 1938–41: 25 enero 1938). La escalinata de apoyo se construyó hasta el escalón número 43 y los bloques jeroglíficos de la sección desprendida se colocaron desde el escalón 29 hasta el 43 (Fig. 26). Se usaron piedras planas sin tallar, remetidas unos centímetros con relación a las talladas, para llenar aquellas áreas en las que había piedras faltantes. Sobre el último escalón reubicado, se construyó un canal para

desviar el agua que pudiera bajar del montículo hacia los costados de la escalera, con el fin de evitar crecimientos biológicos en las piedras. Finalmente, las grietas visibles, las juntas y las llamadas ‘imperfecciones’ se rellenaron con cemento (Strømsvik 1937c: 19 abril, 7, 12–13 mayo 1937).

Se agruparon los elementos de las balaustradas, con miras a volver a colocarlos en su sitio pero, debido a la falta de tiempo y de cemento,⁶ sólo el panel inclinado de la balaustrada inferior del lado sur pudo reconstruirse para finales de la temporada. Durante la siguiente temporada de campo (1937–38) se hicieron pocos trabajos, pues la colocación de la mayoría de los bloques sueltos era incierta. Se reconstruyeron algunos paneles de la balaustrada a ambos lados de la escalinata, con algo de incertidumbre, y se colocaron media docena de bloques jeroglíficos en el lado norte de los escalones 18–21 (Fig. 27).⁷

Al año siguiente, en la primavera de 1939, el área entre los escalones encontrados en su lugar y las secciones desprendidas fue rellenada con bloques de piedra. Strømsvik anotó en sus cuadernos de notas de campo que, para esta sección, usó sólo piedras cuyas superficies estaban ‘absolutamente destruidas y no podían leerse y de éstas las más pequeñas y rotas’. Por encima del sitio en el que se colocó la sección desprendida, se construyó menos de una docena de escalones de apoyo y de éstos tan sólo su porción central, pero no se colocó bloque jeroglífico alguno en ellos.⁸

En la temporada de campo de 1939–40 se completó la reconstrucción de la Escalinata Jeroglífica. Los escalones de apoyo de la misma se construyeron primeramente hasta el escalón 63; sobre éstos se colocaron entonces los bloques jeroglíficos, utilizando cemento. Se construyó una terraza en pendiente, por encima del último escalón, con material de relleno y cal, y también los escalones lisos superiores, más estrechos, para unir el último escalón de la Escalinata con el piso del Templo 26. Se concluyó la reconstrucción de ambas balaustradas y se colocó la Figura Sedente 6, que ocupa la posición más alta de todas, en la parte media de los escalones superiores. Finalmente, se rellenaron las grietas y cuarteaduras de los bloques de piedra con cemento.⁹ Según Strømsvik, ‘todas las secciones reconstruidas están marcadas para que los estudiosos puedan distinguir aquellos elementos que ocupan su posición correcta, aquellos que probablemente estén bien colocados y aquellos para los cuales quedan dudas en cuanto a su colocación’ (Strømsvik 1940: 264). Actualmente, no es claro el modo en que habría de distinguirse entre las diferentes secciones, aunque es posible que se hayan utilizado diferentes tipos de mortero de colocación para este fin.

Durante la temporada de campo de 1940–41, se encontraron algunos elementos faltantes de la balaustrada, que fueron colocados en la balaustrada norte (Fig. 28) (Strømsvik 1941b: 293). Los trabajos en Copán se interrumpieron en febrero de 1943, pues Strømsvik se enlistó en la Armada Real de Noruega (Kidder 1943: 177); los trabajos se reanudaron en Enero de 1946. En el curso de lo que fuera la última temporada de campo de la Institución Carnegie de Washington, Strømsvik consideró cambiar la posición de los cuatro elementos horizontales de las balaustradas de la Escalinata. Finalmente, decidió no hacerlo, mencionando en su cuaderno de notas de campo que ‘resulta más apropiada una limpieza con cuidado y a fondo, así como un lavado de cemento’, aunque no da más detalles sobre si estas operaciones se llevaron a cabo o no.¹⁰

Ya desde 1946, Strømsvik notó el importante deterioro de los monumentos, tanto en Quiriguá como en Copán, que había ocurrido durante la década anterior (Strømsvik 1946: 202). Lo atribuyó al crecimiento biológico que habría debido eliminarse de las superficies de la piedra y cuya recolonización habría debido evitarse. En su corto informe anual para el anuario de la Institución Carnegie, también escribió que debería buscarse un ‘agente endurecedor’ para

facilitar la conservación de las superficies de piedra debilitadas (Strømsvik 1946: 202). En los años siguientes, Strømsvik ocasionalmente visitó Copán mientras trabajaba en otros sitios mayas de la región y, particularmente en 1949, condujo algunos experimentos para la conservación de piedra, basándose en los que había conducido Morley en Quiriguá. Strømsvik limpió y secó cuidadosamente los 6 escalones más bajos de la Escalinata Jeroglífica, aplicándoles luego con una brocha una laca clara de DuPont #1234,¹¹ que le había enviado Robert Eliot Smith, otro arqueólogo mesoamericanista que también trabajaba para la Institución Carnegie (Strømsvik 1949: 231). Es probable que el producto aplicado fuera una laca de metacrilato, un polímero de tamaño molecular grande utilizado para proteger metales y que probablemente no penetró mayormente en la piedra, por lo que habría formado apenas una película no muy bien adherida sobre la superficie de la misma.¹²

Tras más de una década de intensa actividad en Copán, la Institución Carnegie de Washington abandonó el sitio en 1946, lo que detuvo las investigaciones arqueológicas en el sitio. Éstas no volvieron a comenzar sino hasta mediados de la década de 1970. A partir de ese momento, el Instituto Hondureño de Antropología e Historia (IHAH), entidad gubernamental responsable del sitio desde 1952, ha debido enfrentar de manera progresiva las cuestiones relativas a la conservación de los monumentos en Copán.

Instituto Hondureño de Antropología e Historia

PRIMEROS ESTUDIOS DE CONSERVACIÓN DE LA PIEDRA

La creciente preocupación de las autoridades hondureñas en cuanto al deterioro de sus monumentos de piedra llevó al IHAH a solicitar, infructuosamente, un fondo de la Fundación Wenner-Gren para la Investigación Antropológica en 1955, con el fin de llevar a estudiar el deterioro de la piedra ocasionado por los crecimientos biológicos (Zelaya Rubi y Hale 1983: 161; Rodríguez Gudiel 1979: 1). Doce años después, en junio de 1976, el geólogo francés Léon Feugueur llevó a cabo el primer estudio en Copán a petición del director del IHAH (Feugueur 1969). Le sucedió, en 1972, el antropólogo estadounidense Darnell Castell, quien recomendó un tratamiento particularmente agresivo para el crecimiento biológico sobre la piedra, mismo que, afortunadamente, no se llevó a cabo.¹³

La primera propuesta detallada de conservación para Copán fue hecha por el ingeniero químico Luis Torres Montes del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) de México, en 1975 (Cama Villafranca y Torres Montes 1975). En ella, se proponían varias medidas de conservación, tales como la eliminación de microorganismos y evitar el daño ocasionado por los visitantes al sitio. Es esta propuesta la que quizá llevó a la decisión, tomada alrededor de 1975 por el IHAH, de prohibir a los visitantes caminar por la Escalinata (Fig. 29).¹⁴ El informe entregado por Torres incluía también una propuesta detallada de conservación para la Escalinata Jeroglífica, misma que contemplaba su desmantelamiento piedra por piedra, seguido de un tratamiento de conservación en laboratorio de los bloques individuales, antes de volver a colocarlos en su sitio, sobre una estructura metálica sostenida por planchas subterráneas de concreto reforzado. Esta propuesta nunca se puso en práctica.

TRATAMIENTOS CON BIOCIDAS

En julio de 1975, Mason E. Hale, del Departamento de Botánica del Instituto Smithsoniano, vino a Copán para examinar los monumentos y sugirió un programa para el tratamiento de crecimientos biológicos (Hale 1975), basándose en su experiencia de Quiriguá (Zelaya Rubi y

Hale 1983: 162; Rodríguez Gudiel 1979: 2). Con el apoyo financiero de la National Geographic Society (Sociedad Geográfica Nacional de los Estados Unidos), el programa se desarrolló a partir de Julio de 1976 y se hicieron varios tratamientos experimentales en algunos monumentos de Copán (Fig. 30).

El tratamiento consistía en una aplicación de Clorox (agente conocido también como cloro, que es el ingrediente activo del hipoclorito de sodio $[\text{NaClO}\cdot 6\text{H}_2\text{O}]$), diluyendo su presentación comercial a razón de 1 parte de cloro por 5 partes de agua; es decir, una solución acuosa al 5.25%. Este tratamiento era seguido por una aplicación, hecha al día siguiente, de Borax (cuyo ingrediente activo es el borato de sodio $[\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot 10\text{H}_2\text{O}]$) en una solución acuosa al 5%. Las soluciones se aplicaron con un aspersor de mano, a razón de unos 300 cc/m² de Clorox y 500 cc/m² de Borax, este último menos fácil de absorber. Las superficies tratadas no se lavaron con agua después del tratamiento, con la esperanza de que esto las hiciera retener efectos biocidas residuales. El tratamiento se repitió seis meses después, seguido de un tercer tratamiento, aplicado aproximadamente un año después (Fig. 31) (Hale 1984: 310–11).

Los tratamientos experimentales se hicieron en otras partes del sitio al año siguiente, incluyéndose tres áreas de la Escalinata Jeroglífica: el lado sur del escalón 2, en una sección de peralte de aproximadamente 1.5 metros de longitud; el lado norte del escalón 28, en una sección de peralte de aproximadamente 2 metros de longitud; el lado sur del escalón 53, en una sección de peralte de aproximadamente 2 metros de longitud (Hale 1978a: 7). Estas tres áreas recibieron tratamiento en enero de 1977 y en julio del mismo año, aplicándoseles tanto Clorox como Borax¹⁵¹⁵; este tratamiento fue seguido por una tercera aplicación, únicamente de Clorox, en enero de 1978 (Hale 1978a: 2). Los buenos resultados obtenidos en estas pruebas preliminares llevaron a la decisión de dar este tratamiento a todos los monumentos principales de Copán, incluyendo la totalidad de la Escalinata Jeroglífica (Fig. 32).

La Escalinata fue tratada tres veces con Clorox y Borax en septiembre de 1978, diciembre de 1978 y marzo de 1979, eliminándose la microflora de las huellas de los escalones y eliminando el 95% de los líquenes mayores en los peraltes. Hale insistió en que los restos de microflora se eliminarían de manera natural (Hale 1984: 320), por lo cual no resultaba necesario cepillar mecánicamente las superficies, lo que tan sólo aumentaría el ya de por sí extenso deterioro de la Escalinata (Hale 1979d: 2). No obstante, no se sabe si se siguió o no la recomendación de Hale de no cepillar mecánicamente las superficies.

Hale estaba conciente que la recolonización biológica era inevitable por lo que recomendó que los monumentos fueran rociados con regularidad con una solución biocida de preferencia Clorox o Thaltox Q (compuesto británico a base de cloro y fluor [Kumar y Kumar 1999: 2]), en intervalos de entre 2 y 8 años (Hale 1984: 315), dependiendo de su grado de exposición. Se llevaron a cabo pruebas en el sitio con Thaltox Q en 1979 y en septiembre de 1980 (Martínez 1983: 8) y, posteriormente, las áreas tratadas anteriormente que se habían infestado nuevamente fueron rociadas con la solución (Zelaya Rubi y Hale 1983: 162); no obstante, no ha sido posible determinar los lugares precisos de su aplicación.

La evaluación de todos los tratamientos con agentes biocidas se hizo exclusivamente por medio de la fotografía. Existen fotografías e información adicional sobre los tratamientos de Hale en varias fuentes.¹⁶ En 1986, siete años después de la última aplicación de agente biocida, el científico alemán Josef Riederer reportó la ausencia de crecimientos biológicos de importancia, salvo algunos crecimientos de algas, especialmente en áreas húmedas (Riederer et al. 1986).

TRATAMIENTOS DE SUPERFICIE

A finales de la década de 1970, varios investigadores que estaban trabajando en Copán expresaron su preocupación a las autoridades hondureñas por el deterioro de los monumentos en general y en particular de la Escalinata Jeroglífica (W. Fash 1977; B. Fash 1979). Los informes de agosto y septiembre de 1978 también subrayaron que los 15 escalones inferiores de la Escalinata se estaban deteriorando, específicamente por el desprendimiento en capas de su superficie,¹⁷ y en ellos se sugiere que la aceleración en el deterioro era consecuencia de la reciente eliminación de microflora. Habiendo atacado el deterioro ocasionado por agentes biológicos, Mason Hale y otros reconocieron que el deterioro por erosión y exfoliación de la piedra se había convertido en un problema prioritario (Hale 1984: 315) y concordaban que la consolidación de la piedra debería ser el siguiente tema de investigación.¹⁸

En marzo y abril de 1982, se experimentó un tratamiento utilizando Paraloid B-72 en una pequeña área de la Escalinata Jeroglífica que corresponde a los bloques 21 (Glifo F) y 22 del escalón 6 y a los bloques 28 y 29 del escalón 7 (Fig. 33) (Martínez 1983: 19, 25). Tras limpiar la superficie de la piedra, las escamas desprendidas se readhirieron utilizando una solución de Paraloid B-72 diluido en acetona al 20% (Fig. 34), y los peraltes de los escalones se ‘impermeabilizaron’ con una solución de Paraloid B-72 al 5%. Las huellas de los escalones no se trataron para permitir la evacuación de humedad (Cruz 1983: 18; Martínez 1983: 19). Es interesante que este experimento se considerara más como un intento de mitigar la recolonización biológica que como uno de consolidación y, en ese sentido, se le consideró exitoso, como muestra la documentación fotográfica del área tratada un año y medio más tarde (Fig. 35).

Para el verano de 1982, quizás como resultado de una serie de recomendaciones hechas por conservadores del INAH de México, el Paraloid B-72 se estaba utilizando de manera regular para el tratamiento de superficies de piedra (Riederer 1982: 6; para versiones publicados ver Riederer 1983; Riederer 1986a). Se llevaron a cabo tres tipos principales de tratamiento: consolidación de superficies frágiles de piedra, utilizando soluciones de baja concentración (de entre el 1 y el 5% en acetona) de Paraloid B-72, la readhesión de escamas desprendidas utilizando una solución de Paraloid de entre el 15 y el 20% como adhesivo (Martínez 1983: 12, 14), y el ribeteo de escamas con una mezcla de Paraloid B-72 y polvo de piedra de Copán.¹⁹

El programa de trabajo de agosto de 1986 incluía específicamente una propuesta de tratamiento para la conservación de superficies en la Escalinata Jeroglífica que contemplaba la utilización de Paraloid B-72 diluido al 12%, mezclado con polvo de piedra de Copán para efectuar ribeteos y la utilización de Paraloid diluido al 5% como consolidante de superficies (Martínez 1986: 2). A finales de la década de 1980, el Mowilith 30 había reemplazado parcialmente al Paraloid B-72 como adhesivo para el ribeteo en el sitio, incluyendo la Escalinata; este agente se utilizó diluido en acetona al 12 y 15% (Axume 1987–89). Se llevaron a cabo tratamientos regulares en la Escalinata Jeroglífica, utilizando para ellos tanto Paraloid como Mowilith, hasta la primavera de 1998. Todas las demás actividades de conservación y mantenimiento, tales como el cepillado semestral de los peraltes y las huellas de los escalones se suspendieron en junio del año 2000.²⁰

LA UTILIZACIÓN DE CUBIERTAS DE PROTECCIÓN COMO INTERVENCIÓN PREVENTIVA

A principios de la década de 1980, al mismo tiempo que se experimentaba con tratamientos para las superficies para mitigar el deterioro de la piedra, se consideraba que mover las esculturas a un área techada o al ambiente climáticamente controlado de un museo y colocar réplicas en el sitio era la mejor solución para su conservación.²¹ En abril de 1983, tras una reunión de expertos

celebrada en Copán para discutir el deterioro de la piedra, se recomendó, entre muchas otras propuestas, llevar a cabo algunas pruebas con cubiertas de protección (Véliz R. 1983b). Esta importante reunión llevó a la realización de varios estudios y a dos reuniones de seguimiento en 1984 y 1986.²² Uno de estos estudios identificó la acción de cascada del agua en los escalones de la Escalinata Jeroglífica durante la estación de lluvias como un importante agente de deterioro, que producía tanto daños mecánicos como biológicos. El estudio consideraba la consolidación de la piedra, la protección con una cubierta y el desmantelamiento como tres opciones diferentes para la conservación de la Escalinata (Martínez 1983: 18, 20). Para 1984, se habían colocado techos en las estelas (Fig. 36) y la idea de colocar una cubierta en la Escalinata Jeroglífica durante la estación de lluvias se consideró como una solución que equilibraba las necesidades de conservación con la calidad de experiencia de los visitantes; al mismo tiempo, continuaban estudiándose la forma de ‘impermeabilizar’ y consolidar la piedra.²³

En 1984, el director del IHAH tomó la decisión de colocar una cubierta de protección sobre la Escalinata y se realizaron los preparativos para instalar tres cables principales para sostener la gran lona de tela durante el verano de 1984–85, con el fin de que la cubierta pudiera estar lista para comienzos de la estación lluviosa de 1985 (IHAH 1997: 4; Véliz R. 1985: 2). Al tensar el cable del sur, una abrazadera de mala calidad se rompió y el cable cayó sobre la Escalinata; sin embargo, no ha podido hallarse descripción alguna de los daños que esto pudo haber causado. La lona de protección de la Escalinata finalmente se instaló el 2 de mayo de 1985 y, al mismo tiempo, se construyó una saliente corta en el borde de la plataforma superior, con el fin de desviar el agua hacia los lados de la Escalinata. No obstante, la sección superior de la lona, que era parte del diseño inicial, aún no se había instalado para finales del mes de mayo de 1985.²⁴ Esta lona, más corta que la primera, cuya no instalación dejaba los primeros tres escalones expuestos a la lluvia, no se colocó sino hasta aproximadamente el año de 1998, año en que la lona también se hizo más ancha, siguiendo las recomendaciones contempladas en el plan de conservación de la Escalinata de 1998 (Fig. 37) (IHAH 1998: 13).

La cubierta de protección de la Escalinata, que inicialmente se instalaba sólo durante la estación lluviosa, rápidamente se hizo permanente alrededor de 1987 y se ha mantenido hasta la actualidad.²⁵ Como parte de su mantenimiento la lona se ha reemplazado en varias ocasiones: en la primavera de 1991, en la primavera de 1998, en febrero de 2001, en abril 2003 (Fig. 38), y en septiembre 2006.²⁶

La historia de conservación de la Escalinata Jeroglífica está resumida cronológicamente en el Apéndice B.

Notas

1. Owens [1893b], notas del campo sobre la excavación del Montículo #26, 1, 3.
2. Gordon 1895h, 1; Gordon 1895e, 2; Bowditch y Lowell 1893, 4–5.
3. Strømsvik 1935c, 22 de marzo, 8, 10, 12, 25, 29 de abril.
4. Strømsvik 1937c, 5 de dic. 1936, 27 de ene.–12 de feb., 17 de mayo, 1937.
5. Si se desea consultar una discusión de los diferentes argumentos sobre el número total de escalones de la Escalinata Jeroglífica y de la colocación de la sección que se cayó junta, consultar a Strømsvik 1937c, 3 y 5 de febrero, 1937; Morley 1937, 26 y 29 de enero, 1º y 3 de febrero.
6. Strømsvik 1937c, comenzando el 12 de febrero; 29 de abril, 14 de mayo de 1937.
7. Strømsvik 1938–41, 3, 6, 9 y 25–26 de enero, 8 de febrero de 1938.
8. Strømsvik 1938–41, 28 de marzo, 10 y 15 de abril, 18 de mayo de 1939.
9. Strømsvik 1938–41, 9 y 12 de febrero, 2, 4 y 28 de marzo, 8 de marzo–27 de mayo, 26 de abril, 1º de mayo de 1940.
10. Strømsvik 1942–46, 26 de marzo de 1946.
11. Smith 1949. Los autores quisieran agradecer a Olaf Husby, sin el cual esta información sobre un tratamiento temprano de las superficies de la piedra de la Escalinata no se habría podido localizar.
12. Los autores agradecen a Bill Ginnell por arrojar luz sobre este producto de DuPont.
13. Cueva V. 1972; Sandoval 1984, 2–5; Rodríguez Gudiel, alrededor de 1992, 3.
14. Thomas Roby y Elsa Bourguignon, comunicación personal con Miguel Rodríguez Gudiel, 2003.
15. Hale 1978a, 7; Extractos de informes relacionados con el tratamiento de la microflora en las ruinas de Copán 1978, 1. En otros informes elaborados por el mismo Mason Hale, aparecen datos contradictorios sobre la fecha en la que se trataron los tres peraltes de la Escalinata. Se dan las fechas de enero y abril de 1978 en Hale 1979d, 2, pero esta información parece estar equivocada, pues Rodríguez Gudiel 1977b confirme que ya se habían llevado a cabo dos tratamientos en algunos de los escalones de la Escalinata.
16. Cruz M. 1983; Rodríguez Gudiel 1979; *Extractos de informes relacionados con el tratamiento de la microflora en las ruinas de Copán 1978*.
17. Extractos de informes relacionados con el tratamiento de la microflora en las ruinas de Copán 1978, 12–13.
18. Rodríguez Gudiel 1979, 7; Torres Montes y Franco V. 1980. Para consultar el caso específico de la Escalinata Jeroglífica, ver Extractos de informes relacionados con el tratamiento de la microflora en las ruinas de Copán 1978, 12.
19. Síntesis de comunicaciones personales entre Thomas Roby y Elsa Bourguignon y entre René Martínez, Rufino Membreño y Hernando Guerra, 2003.
20. Thomas Roby y Elsa Bourguignon, comunicación personal con Françoise Descamps, 2003.

21. Véliz R. 1983a; Sanders 1983; Soto G. 1984, 5.
22. Sandoval 1983; Sandoval 1984; Martínez 1983, 12, 14; Rodríguez Gudiel, Soto G. y Sandoval 1984; Riederer et al. 1986.
23. Rodríguez Gudiel, Soto G. y Sandoval 1984; Sandoval 1984, 41.
24. Larios V. 1985a, 3; Larios V. 1985b, 3; Larios V. 1985c, 3.
25. Comunicación personal entre Thomas Roby y Elsa Bourguignon y Hernando Guerra o Rufino Membreño, 2003.
26. Comunicación personal entre Thomas Roby y Elsa Bourguignon y Ramón Guerra, Hernando Guerra y Rufino Membreño, 2003.

Estudios anteriores acerca de la conservación de piedra en Copán

Conservación de tufa volcánica

La revisión bibliográfica reciente acerca de la conservación de piedra revela que los informes relativos a la tufa volcánica, un tipo de piedra que se encuentra en sitios culturales importantes, como la Isla de Pascua, Borobudur, en la isla de Java y Goreme, en Turquía, no son muy comunes, por lo que los factores y mecanismos de deterioro de este tipo de piedra no se han descrito claramente (Grissom 1994). A menudo, se cita al agua como el principal agente de deterioro de las rocas volcánicas, por su acción de solubilización gradual de iones específicos, transporte de sales solubles, fomento del crecimiento biológico e inducción de alteración por la alternancia de ciclos de hielo/deshielo. Consecuentemente, el tratamiento de conservación para piedras volcánicas que se recomienda con mayor frecuencia implica el uso de consolidantes, que a menudo son soluciones alcoxilánicas, empleadas junto con agentes repelentes al agua. El papel del crecimiento biológico en el deterioro de la piedra volcánica también ha sido una preocupación importante en sitios tropicales y algunas veces ha llevado a recomendar el uso de biocidas. Los temas relacionados con la contaminación del aire y los tratamientos de limpieza, que a menudo guían la investigación para otros tipos de piedra, tienen poca importancia en la conservación de piedra volcánica.

Conservación de la piedra de Copán

El primer estudio científico de la piedra de Copán es un breve apéndice en el estudio epigráfico de Morley, *Las Inscripciones de Copán* (Morley 1920), que proporciona una descripción petrográfica de la piedra. Este estudio fue llevado a cabo por uno de los colegas de Morley del laboratorio geofísico de la Institución Carnegie de Washington, pero su único objetivo era la identificación geológica de la piedra y no comprender las causas de deterioro.

En 1952, el Instituto Hondureño de Antropología e Historia (IHAH) se convirtió en la autoridad responsable del cuidado del sitio de Copán y, con el paso de los años, se ha ido preocupando cada vez más por el deterioro de sus monumentos de piedra. Por consiguiente, con frecuencia a petición del IHAH, desde finales de la década de los 60 se ha llevado a cabo un gran número de estudios científicos acerca de la piedra de Copán y su deterioro y, a partir de la década de los 80 (en 1983, 1984, 1986, 1997 y 2000), se han organizado reuniones entre expertos en conservación del sitio de Copán (Véliz R. 1983b; Rodríguez Gudiel, Soto G. y Sandoval 1984; Reiderer et al. 1986; IHAH 1997; GCI 2000a). El alcance, la complejidad, así como los métodos analíticos empleados en estos estudios son muy variables. La presente revisión resume las conclusiones de cada uno de los principales estudios enfocados hacia las condiciones de deterioro observadas en el sitio, así como los resultados de los análisis llevados a cabo y los principales factores y mecanismos de deterioro sugeridos por sus respectivos autores.

Fred E. Wright, 1920

Se tomaron pequeñas muestras, procedentes de tres monumentos de Copán y se utilizó la microscopía de luz polarizada para examinar láminas delgadas de las mismas (Wright 1920). Wright determinó que las tres muestras eran prácticamente iguales: se trataba de una piedra mate, porosa, de grano fino, con un rango que iba del color verde pálido al verde amarillento, con inclusiones pequeñas más densas y duras. Llegó a la conclusión de que se trataba de una piedra tipo tufa, cuya composición iba de la dacita a la andesita, con un alto contenido de sílice y compuesta de una matriz sumamente alterada, con inclusiones de fragmentos de tufa más dura sin alterar. El material de la matriz parecía estar hecho de fragmentos de tufa vítrea que habían

sufrido una rápida desvitrificación y una alteración posterior, ya que la plagioclasa primaria y los fragmentos de cristales de cuarzo habían permanecido sin cambios, salvo por pequeñas alteraciones, que dieron lugar a las inclusiones. En la matriz, gran parte del material era demasiado fino para llevar a cabo una identificación satisfactoria valiéndose de un microscopio óptico, aunque sí podía distinguirse algo de material arcilloso, calcita secundaria y cuarzo.

En una de las muestras, se observó una costra con una tonalidad marrón, más o menos distribuida en capas, que presentaba signos de alteración, con una zona de contacto sumamente definida entre la costra y el interior adyacente. En cada lámina delgada, aparecían líneas cortas e irregulares de material oscuro, parcialmente relleno de materiales secundarios, tales como cuarzo secundario, finas rayas de calcita con forma de hilos y clorita, que por lo general se encontró relleno de grietas y espacios intersticiales. También resultaron comunes los granos de óxido de hierro, rodeados de una zona de alteración de color marrón.

Léon Feugueur, 1969

El geólogo francés León Feugueur fue el primero en llevar a cabo, a finales de la década de 1960, investigaciones con el fin de entender los mecanismos de deterioro de la piedra (Feugueur 1969). Durante su visita al sitio en junio de 1967, Feugueur se centró en el estudio de las estelas. Algunas de ellas presentaban grandes áreas de alteración por desprendimiento, consistentes en exfoliaciones y abombamientos superficiales y a menudo estaban particularmente deterioradas en las bases (Fig. 39). También observó la formación de depósitos de polvo entre las superficies expuestas y la piedra aparentemente sin alterar. Al seccionar la piedra, generalmente aparecía una línea más oscura paralela a la superficie, que Feugueur relacionó con fenómenos de alteración. También observó que los monumentos protegidos de la luz solar directa por los árboles parecían menos deteriorados.

Se llevaron a cabo tres tipos de análisis en muestras de piedra de Copán, alterada y sin alterar, que Feugueur llevó a Francia: microscopía óptica de láminas delgadas, análisis químico en grueso de la piedra y análisis microbiológicos. Feugueur caracterizó la piedra en dos tipos: andesita o traquiandesita, con una micro estructura extremadamente fina, lo que no le permitió determinar la composición mineralógica de la misma hasta que se empleó la difracción por rayos X (DRX). La línea más oscura parecía contener una gran proporción de elementos arcillosos y algunos cristales pequeños y aislados que podrían ser yeso (sulfato cálcico). La composición total de las muestras, alteradas y sin alterar, fue relativamente similar, con un contenido de entre el 68 y el 69% de SiO_2 , aunque la muestra alterada reflejaba un aumento en el contenido de fosfatos (P_2O_5) y de sulfatos (SO_3). Feugueur atribuyó tentativamente esta diferencia a la actividad bacteriana, pues existía una buena correlación con el alto número de bacterias totales determinado mediante análisis microbiológicos.

Estos análisis preliminares llevaron a Feugueur a postular que el deterioro de la piedra en Copán se debía a actividad microbiológica, pero también a la acción física de un rápido humedecimiento y secado. Dado que la mayoría de las estelas están ubicadas sobre losas de piedra, resultaba poco probable que el agua responsable de este deterioro proviniera del suelo. Era mucho más factible que la humedad proviniera del aire (en forma de bruma, por ejemplo), y podía incrementarse por la extensa presencia de hierba en el sitio. En conclusión, Feugueur recomendó llevar a cabo más análisis microbiológicos, así como medir la humedad presente en el suelo y en la piedra, antes y después de su exposición a la luz solar. Finalmente, sugirió llevar a cabo un experimento en el sitio con bloques de piedra recién extraídos de la cantera, dejando un bloque expuesto a los agentes atmosféricos y otro bajo una cubierta, con el fin de observar diferencias en el deterioro de ambos.

Darnell Castell, 1972

El siguiente estudio fue realizado por antropólogo americano Darnell Castell, procedente del Lyndon State College, que visitó Copán en marzo-abril de 1972, y de nuevo en agosto de 1972 (Cueva V. 1972: 2-5). Durante un período de dos semanas en Agosto, Castell llevó a cabo entre 80 y 90 'experimentos' (Sandoval 1984: 3), pero dado que sus informes originales no han sido localizados, toda la información acerca de sus métodos y resultados provienen de resúmenes publicados en fuentes secundarias y, en consecuencia, son muy limitados. No parece ser que Castell llevara a cabo trabajo analítico alguno, ya que la identificación realizada sobre la piedra de Copán, que determina que se trata de una roca volcánica andesítica, está probablemente basada sólo en observaciones visuales, como probablemente lo sean también sus hipótesis sobre los principales factores de su deterioro: algas, musgo, bacterias, agua, lluvia, sol y la acción humana. También consideró que el grado de deterioro de la piedra depende de diferencias en la composición química de la misma. Castell propuso eliminar el principal factor de deterioro, la microflora, mediante un fuerte tratamiento basado en ácido clorhídrico.

C. Jaime Cama Villafranca y Luis Torres Montes, 1975

Dos químicos del Instituto Nacional de Antropología e Historia de México llevaron a cabo un estudio más sustancial de los problemas de deterioro de la piedra en Copán a mediados de la década de 1970 (Cama Villafranca y Torres Montes 1975). Su informe no proporciona detalles de los análisis que llevaron a cabo. Estos investigadores clasifican la piedra de Copán como tufa volcánica de grano fino, muy suave y porosa, con inclusiones duras y redondas de pedernal. Mediante análisis petrográficos preliminares, identificaron también la presencia de feldespato, plagioclasa, biotita y cristales aislados de cuarzo. Entre los microorganismos identificados se encontraron líquenes de clase costrosa, algas clorofílicas, musgos y hongos. Los análisis químicos no detectaron sales solubles (sulfatos, cloruros y nitratos), aunque se identificó la presencia de carbonato de calcio en las capas superficiales de la piedra. Finalmente, cerca de donde se localizaron los líquenes se detectó una menor concentración de óxidos de hierro.

Con base en esta evidencia, los autores sugirieron tres causas principales de deterioro: la naturaleza intrínseca de la piedra de Copán (piedra muy suave, con alta porosidad y un elevado coeficiente de retención de humedad), el clima local (lluvias y temperaturas medias anuales altas y una constante elevada humedad relativa) y, finalmente, la abundancia de microflora, especialmente líquenes y algas.

El mecanismo de deterioro que estos investigadores propusieron es el siguiente: la filtración de humedad en la piedra por efecto de la lluvia induce una hidrólisis acelerada de algunos minerales (la transformación de biotita en óxido de hierro y otros productos de alteración, del feldespato de calcio en carbonato de calcio y sales solubles y, algunas veces, de plagioclasa y otros silicatos en arcillas, en un proceso de caolinización). Los productos de la alteración producida por este deterioro físico-químico (disolución e hidrólisis) dan nutrientes a organismos microbiológicos, lo que promueve su crecimiento. Éstos, a su vez, contribuyen al deterioro de la piedra por la presión mecánica que ejercen sus pequeñas raíces en poros y micro fracturas, así como a través del intercambio iónico que los microorganismos en cuestión llevan a cabo a través de sus raíces, con el fin de absorber nutrientes. Este último fenómeno puede explicar la menor cantidad de óxido de hierro observado cerca de las áreas de crecimiento de los líquenes. La presencia de microorganismos también impide la evaporación del agua, lo que aumenta la humedad de la piedra y crea un micro ambiente que promueve tanto un mayor crecimiento biológico como un deterioro químico adicional que, a su vez, produce más nutrientes para los microorganismos, en

un círculo vicioso. La ausencia de sales solubles se explica por efecto de la abundante lluvia, que las lava constantemente; no obstante, la presencia de carbonato de calcio indica que existe un proceso de cristalización de sales, fenómeno que al menos sería parcialmente responsable de la exfoliación de la piedra y su consecuente deterioro.

Mason E. Hale, 1975–79

Mason Hale, botánico de la Institución Smithsonian de Washington, D.C., visitó Copán en julio de 1975, con el propósito de examinar el crecimiento biológico sobre sus monumentos y sugerir un programa de tratamiento (Hale 1975). Habiendo recolectado un gran número de muestras de líquenes, musgos, hepáticas y varios tipos de algas, llevó a cabo el primer inventario de las principales especies de microflora (Hale 1978b; Hale 1979a). Hale considera que el principal factor de deterioro biológico de la piedra lo constituye la acción de los líquenes, lo que es un fenómeno ya bien documentado. Según Hale, los líquenes ejercen tanto un efecto físico, al romper los cristales de la piedra por expansión en presencia de agua, como químico, al desintegrar los minerales de la piedra mediante la secreción de ácidos. Mediante la comparación fotográfica de los bloques conservados en un museo y aquellos cubiertos de líquenes, sentó su caso para eliminarlos (Figs. 40a, b).

Hale también llevó a cabo las primeras pruebas de tratamiento en Copán, con el fin de evaluar la eficacia de varios biocidas. Estas pruebas preliminares dieron lugar a un tratamiento a gran escala de todos los principales monumentos del sitio a finales de la década de 1970, utilizando una combinación de Clorox, Borax y Thaltox Q para controlar el crecimiento biológico (ver la 'Historia de las intervenciones' para mayores detalles del tratamiento) (Fig. 41).

Gail Mahood, 1983

En la década de 1970, la geóloga Gail Mahood, como parte del Proyecto Arqueológico Copán (PAC), estudió la geología del valle de Copán y clasificó las rocas locales, particularmente en relación con la productividad agrícola y la construcción de edificios (Turner et al. 1983). Aunque los estudios de Mahood no se ocuparon del deterioro y la conservación de la piedra, esta investigadora fue la primera en llevar a cabo una caracterización mediante difracción de rayos X (DRX), así como el primer estudio a fondo de las piedras tanto de las canteras del valle de Copán como de las utilizadas en las construcciones y estructuras del sitio de Copán.

Según sus estudios, las piedras empleadas en la construcción de los monumentos de Copán provienen de afloramientos de tufa color verde claro que presentan alteración zeolítica. Con el análisis por DRX, la zeolita principal se identificó como mordenita. Dado que este tipo de zeolita generalmente es de color blanco, Mahood se muestra muy segura de que el color verde de la piedra proviene de la presencia minúscula de montmorillonita o de celadonita, aunque éstas no resultaron perceptibles en los difractogramas. La caracterización de piedras procedentes de diferentes áreas del valle de Copán mostró que existen dos tipos de tufa verde, que pueden diferenciarse por la presencia o ausencia de biotita. Sin embargo, ninguno de los bloques de piedra examinados, procedentes de construcciones o esculturas del sitio de Copán, contiene biotita, probablemente debido a que la cantera más utilizada por los mayas, ubicada en las colinas que yacen al Noreste del sitio, está constituida por una tufa sin biotita. Mahood también identificó un afloramiento de tufa verde en otra área del valle, que se fractura formando columnas, lo que produce de forma natural grandes bloques rectangulares, ideales para la elaboración de estelas. Esta tufa se caracteriza por la presencia de esferas del tamaño de una bala de cañón, de un color verde azulado muy intenso, más densas y duras que la tufa de su matriz. En diferentes

monumentos del sitio, así como en algunos de los bloques de la Escalinata Jeroglífica es posible apreciar la presencia de estas esferas o bien los huecos que éstas dejaron en la piedra.

Se pueden apreciar diferencias importantes en el contenido cristalino de las diferentes muestras de tufa sin biotita provenientes del sitio cuya variación se puede observar en los diferentes afloramientos de tufa del valle. La autora proporciona algunos ejemplos: la piedra de la estela 50 tiene un alto contenido de cuarzo y feldespato, en tanto que en la piedra de los altares B y D sólo presenta cantidades moderadas de ellos. La estela C es anómala, pues contiene muy pocos ferrocristales y su matriz es de un grano mucho más fino que el de la piedra de otras estelas o de la mayoría de las canteras conocidas.

Josef Riederer, 1982–86

Josef Riederer, director del laboratorio de investigación Rathgen de los Museos Nacionales de Berlín, visitó Copán en septiembre de 1982, analizó la piedra de Copán, estudió los tipos de deterioro observables en el sitio y formuló varias hipótesis acerca del deterioro antes de llevar a cabo pruebas en el sitio con diferentes tipos de consolidantes, impermeabilizantes y biocidas comerciales (Martínez 1983; Riederer 1982: 7; Riederer 1983; Riederer 1986a).

Riederer analizó la piedra de Copán, tanto de la cantera maya al norte del sitio como de los monumentos del mismo. Según él, la piedra de la cantera y la de los monumentos de Copán claramente son el mismo tipo de piedra heterogénea: una andesita que va desde el tono amarillento hasta el verdoso y que contiene abundantes gránulos de feldespato de 1 mm de diámetro, así como materiales arcillosos y algunas inclusiones esféricas muy grandes (van desde el tamaño de un puño al de una cabeza), duras y densas, de color grisáceo o negro y origen basáltico. El color, la estructura y otras características macroscópicas de la piedra presentaron variaciones muy evidentes de una estela a otra, por lo que no es posible hablar de la andesita como si fuera un material único. Se observó cristalización de sales en la base de las estelas, así como en la Escalinata Jeroglífica, aunque no se determinó la concentración, el origen y la composición de dichas sales. Estas podrían provenir del cemento utilizado para reparar las estelas (en forma de sulfatos), del yeso utilizado para hacer moldes de algunas esculturas o bien de bacterias productoras de sulfatos y nitratos.

Riederer propuso cinco formas de deterioro de la piedra de Copán: descomposición pulverulenta, desprendimiento, orificios esféricos, macro fracturas y micro fracturas. La descomposición pulverulenta, que consiste en la lenta pérdida de cohesión del grano de la piedra bajo la influencia de fuerzas físicas y químicas, afecta a todo tipo de piedras expuestas al medio ambiente, aunque la intensidad de este tipo de deterioro depende de su orientación. El desprendimiento es la ruptura y la separación progresiva de escamas de piedra paralelas a la superficie. Riederer atribuye este tipo de deterioro al ascenso de humedad por capilaridad y considera que es el factor principal de deterioro de la Escalinata Jeroglífica. Los orificios esféricos, cuyo diámetro puede ir desde unos cuantos milímetros hasta varios centímetros, se forman casi siempre en superficies horizontales y muy raramente en superficies verticales y se deben a la dislocación de inclusiones en la piedra sometida a la acción de la lluvia. Este tipo de deterioro está relacionado directamente con la heterogeneidad del material. Las macro fracturas tienen un origen geológico y, por lo tanto, son anteriores al uso de piedra por parte de los mayas. Este tipo de fracturas pueden abrirse con el tiempo. Las microfracturas se encuentran en lugares relativamente concentrados como 'agrietamientos en forma de mapa'; su origen es desconocido, pero este tipo de fracturas a menudo se produce por efecto del fuego, por lo que podrían haberse producido por impacto mecánico durante la caída o restauración de las estelas.

Riederer considera que el deterioro de la piedra en Copán se debe a tres causas principales: la presencia de agua procedente de la lluvia o de la humedad del suelo, las temperaturas diferenciales sobre y debajo de la superficie de la piedra y, finalmente, la acción del hombre. Los anteriores factores actúan sobre la piedra mediante diferentes mecanismos de deterioro. El agua afecta mediante tres mecanismos principales. Primeramente, el agua provoca la transformación química de los compuestos de la roca; por ejemplo, los silicatos como los feldespatos se alteran y dan lugar a compuestos arcillosos y otros minerales secundarios que provocan deterioros en la estructura de la piedra dada su tendencia a expandirse; los minerales de hierro, tales como las piritas, se oxidan y forman compuestos de mayor volumen. Estas transformaciones producen una disgregación de la superficie de la piedra, lo que permite que la humedad penetre aún más. El agua también da lugar a la descomposición física de la estructura de la piedra mediante una disolución-cristalización diaria de las sales y, finalmente, contribuye al crecimiento de microorganismos. Los diferenciales de temperatura entre la superficie de la piedra y bajo ésta, que pueden alcanzar los 50–60°C en días calurosos y luego enfriarse rápidamente por las fuertes precipitaciones de la estación lluviosa, inducen ciclos diarios de dilatación-contracción que producen la separación de los granos minerales de la superficie. Este tipo de deterioro se reconoce con facilidad alrededor de las inclusiones basálticas oscuras, pues éstas se calientan más que la piedra más clara que las rodea.

Finalmente, parte del considerable deterioro observado se debe a la acción humana, comenzando desde los mayas, pasando por los conquistadores y llegando hasta los saqueadores y restauradores actuales, con su uso habitual de morteros de cemento, moldes de yeso y herramientas de hierro.

Para reparar este deterioro, Riederer propuso probar in situ varios productos comerciales: consolidantes, especialmente los silicatos de etilo, con el fin de tratar la descomposición pulverulenta y el desprendimiento de fragmentos de piedra, los repelentes al agua y también algunos biocidas además de los utilizados por Hale, en particular el uso de fungicidas y aquellos basados en soluciones de sales metálicas (Riederer 1982: 13; Riederer 1986b: 153–54).

En años posteriores, Riederer probó en Copán una serie de productos donados por el gobierno de Alemania Occidental (Martínez 1983: 10). En octubre de 1985, seis productos, dos repelentes al agua, Sikovin y Funcosil-SL; dos consolidantes, Tegovakon-T y Funcosil-H; y dos biocidas, Alkutex y Preventol, se probaron en diferentes áreas del sitio ([Riederer] 1985). En septiembre de 1986, los anteriores seis productos más dos nuevos biocidas, Platten Rein y Grab Stein, se aplicaron en dos nuevas áreas de experimentación. Los consolidantes y los repelentes al agua se aplicaron por inmersión en muestras de piedra que posteriormente fueron devueltas a sus ubicaciones originales.

Ambos experimentos fueron evaluados únicamente de manera visual, 15 días después de la aplicación en el caso de las pruebas de 1985, así como un año y dos años después de dicha aplicación en el caso de los de 1986 (Cruz M. 1985: 1–3; Sandoval 1988: 3–4; Rodríguez Gudiel et al. 1988: 3–4). La microflora adquirió una tonalidad marrón café oscuro y comenzó a desaparecer con la aplicación de Preventol (Figs. 42a, b), mientras que el Alkutex no pareció tener efecto alguno. Evaluar los experimentos de consolidación y repelencia al agua resultó más difícil. Se observó una menor acumulación de humedad en las áreas tratadas, observándose que las gotas de agua desaparecían por evaporación. El personal del IHAH también impregnó los tres altares del Patio de los Jaguares con Funcosil-H, detectándose muchas partículas y escamas desprendidas después del tratamiento. No obstante, por la ausencia de documentación previa al tratamiento, resultó muy difícil atribuir este deterioro al consolidante (Sandoval 1988: 5). Utilizando los mismos productos alemanes traídos por Riederer, así como una solución al 1% de cal en agua como biocida y una solución al 20% de Primal en agua para consolidar el estuco de

los túneles (Axume 1987–89), se experimentaron tratamientos adicionales para superficies en 1988 y en 1989, que fueron documentados visualmente. Algunos de estos experimentos se documentaron fotográficamente. No existe indicación alguna de que los productos utilizados por Riederer se hayan aplicado jamás en el sitio a mayor escala.

Sigfrido Sandoval, 1984

Después de la reunión de expertos de 1983, en la que se recomendó llevar a cabo más análisis científicos, Sigfrido Sandoval hizo una propuesta, apuntando que los estudios geológicos previos no habían proporcionado una identificación consistente de la naturaleza de la piedra, lo que hacía imposible entender los procesos de su deterioro y por tanto encontrar soluciones para su conservación (Véliz R. 1983b: 2; Sandoval 1983).

Sandoval analizó la composición química de un total de 21 muestras de piedra, valiéndose de un método gravimétrico para medir el contenido de sílice y de Espectrometría de Absorción Atómica para medir la presencia de otros compuestos (Sandoval 1984). Se tomaron dos muestras de las canteras de la colina y del río del valle de Copán y 19 muestras adicionales procedentes de diferentes monumentos del parque arqueológico, tomando únicamente muestras de material que ya estuviera desprendido. También se prepararon dos láminas delgadas de las muestras procedentes de las canteras. El análisis químico general mostró que todas las muestras de piedra tienen una composición química similar, con un contenido de sílice que varía entre el 54% y el 64%, excepto por una muestra. Con base en estos análisis, Sandoval identificó a la piedra como un tipo de andesita, aunque no típica. Utilizando la microscopía óptica, la piedra de Copán se clasificó como roca ígnea extrusiva con estructura semi-cristalina, con presencia de algunos cristales grandes (incluyendo plagioclasa, aunque sin biotita) en una masa amorfa de pequeños granos cristalinos, lo que da a la roca una textura porfirítica. No pudo llevarse a cabo una identificación mineralógica más completa debido a la ausencia de instrumentos de difracción de rayos X en Honduras. Una micro muestra tomada del interior de una pieza de piedra se identificó como arcilla natural, resultado que Sandoval interpretó como confirmación del mecanismo de deterioro frecuentemente propuesto para la piedra de Copán: la alteración química de la plagioclasa para formar arcillas.

Sandoval consideró que la transformación química de los minerales de la piedra es el proceso de deterioro dominante en Copán, mientras que la alteración física y biológica constituye un factor secundario de deterioro. Explicó de la siguiente manera los diferentes mecanismos de deterioro, apoyándose considerablemente en los estudios previos de Hale, Cama Villafranca y Torres Montes y Riederer.

La alteración química se debe al agua procedente de la lluvia, del suelo y del aire. Uno de los procesos principales de deterioro es la hidrólisis, particularmente la transformación de silicatos en arcillas (caolinización o procesos de sialitización) y la oxidación-hidrólisis de minerales ferrosos para su transformación en óxidos de hierro (que se pueden observar como manchas o franjas rojoamarillentas en los monumentos). El incremento del volumen de productos de alteración ocasiona la disgregación de la superficie de la piedra. Muchos factores pueden acelerar la hidrólisis, incluyendo un aumento natural o provocado del pH del agua.

La alteración biológica se define como cualquier proceso de deterioro que resulta por la actividad de plantas superiores o microorganismos (algas, musgo y líquenes). Estos procesos pueden ser físicos, tales como la descomposición de los cristales que componen la piedra provocada por la dilatación y contracción de las raíces de los líquenes en función de la humedad o por la presión ejercida por las raíces de plantas superiores; también pueden ser procesos químicos, tales como la

absorción de elementos pétreos como nutrientes o la liberación de ácidos orgánicos. La presencia de microflora también evita la evaporación del agua, creando un ambiente adecuado para seguir promoviendo su desarrollo y acelerando el proceso de deterioro químico que, a su vez, produce más nutrientes para los microorganismos, lo que fomenta aún más su crecimiento.

Se contemplan cuatro mecanismos de deterioro físico. La acción mecánica de la lluvia produce la disgregación de superficies y, a veces, al desarrollo de cavidades. La dilatación-contracción térmica de la piedra, debida a altas temperaturas diurnas con enfriamiento diario por precipitaciones fuertes durante la temporada de lluvias provoca la aparición de fisuras, micro grietas y la descomposición de los minerales. Las fuerzas mecánicas externas ocasionan rupturas, fisuras, micro y macro grietas; finalmente, las fuerzas mecánicas internas generadas por la cristalización de sales (debida a reparaciones previas con cemento o a consecuencia de la elaboración de moldes) y por la formación de compuestos hidratados de mayor volumen que fracturan la estructura de la piedra.

Toshiharu Tashiro 1992

A petición del IHAH, Toshiharu Tashiro, geólogo japonés que forma parte del equipo del Proyecto Arqueológico La Entrada, recientemente realizó un estudio del deterioro de la piedra de Copán, centrándose en los procesos de alteración de dos estelas (Tashiro 1992). Tashiro utilizó sólo métodos sencillos de investigación (observación visual, estéreo fotografía, registros gráficos) para cada una de las caras de las estelas que estudió y no llevó a cabo investigaciones científicas avanzadas (Fig. 43).

Identificó tres tipos de deterioro: pérdidas debidas a fracturas formadas de manera natural a lo largo de planos de debilidad de minerales secundarios o a consecuencia de fuerzas externas; exfoliación (desprendimiento de escamas), que comienza con la formación de micro grietas paralelas a la superficie de la piedra y posteriormente dan lugar a la formación de delgadas escamas que acaban por desprenderse; y disolución, que es la transformación química de los minerales. Consideró que la causa principal de deterioro es la lluvia, que induce fluctuaciones de humedad; el segundo factor en importancia serían las variaciones de temperatura.

Las tres condiciones se producen sucesivamente y corresponden a un avance en el proceso de deterioro y en la profundidad del mismo, partiendo de una disolución (0–0.2 cm) pasando por la exfoliación (0.2–1 cm) y finalizando con la pérdida del material (más de 2 cm). El deterioro comienza con la disolución de compuestos minerales (hidrólisis y oxidación) por el hecho de que el agua de lluvia normalmente es ligeramente ácida (pH = 5.5); a este proceso le sigue la exfoliación con la aparición de micro grietas paralelas a la superficie original de la piedra, debidas a la alternancia de procesos de dilatación y contracción provocados por variaciones en la humedad y en la temperatura; las micro grietas aumentan posteriormente por efecto de la recristalización de los minerales secundarios producidos por la disolución química. A continuación se produce la pérdida de escamas debida a variaciones en la temperatura y la humedad relativa y también a la dilatación-contracción de los microorganismos presentes dentro de la piedra. El último paso en el proceso de deterioro es la pérdida de fragmentos mayores.

Mediante un estudio gráfico de dos estelas, Tashiro determinó que el 40% de la superficie de la Estela C y el 15% de la Estela A muestran evidencias de una de las tres formas de deterioro citada. Explica esta diferencia como resultado de la naturaleza de la piedra: la Estela C está hecha de una tufa más suave y de grano más fino que la Estela A. Concluye que es necesario realizar más análisis químicos y mineralógicos de la piedra, así como experimentos en laboratorio para obtener un conocimiento más detallado de los mecanismos de deterioro.

Conclusión

La mayoría de los informes científicos relativos al deterioro de la piedra de Copán han procurado identificar la naturaleza de la piedra, valiéndose de una o más técnicas analíticas de laboratorio (microscopía óptica, análisis químico general y, en un caso, DRX). No obstante, ninguno de los estudios previos ha caracterizado las propiedades físicas y mecánicas de la piedra, tales como su porosidad, que juegan un papel importante en el deterioro. Algunos de los autores también han llevado a cabo análisis microbiológicos con diferentes grados de detalle.

Los factores de deterioro identificados por la mayoría de los autores son: el agua (lluvia, humedad del aire y, algunas veces, el ascenso de la humedad del suelo), que a menudo se considera el factor más importante, los organismos biológicos (principalmente, los microorganismos, aunque en un caso también se mencionan plantas superiores) y las variaciones de temperatura. Algunos autores también apuntan a la naturaleza intrínseca de la piedra de Copán y a los factores antropogénicos (vandalismo, restauración, etc.).

Anteriormente, se ha explicado por lo general el deterioro de la piedra de Copán como el efecto de unos cuantos mecanismos principales. La transformación química de algunos minerales que componen la piedra, en particular la transformación de silicatos en arcillas, a menudo se considera el mecanismo de deterioro inicial y más importante. La mayoría de los autores también consideran la expansión-contracción hídrica debida al humedecimiento-secado regular de la superficie de la piedra como un mecanismo clave de deterioro, mientras que algunos informes subrayan el papel que juega el mecanismo similar de expansión-contracción debido a variaciones de temperatura. La mayor parte de los informes menciona a los organismos biológicos ya sea como una causa principal de deterioro o como factor secundario; éstos actúan mediante mecanismos físicos (expansión de raíces) y químicos (secreciones de ácidos y extracción de nutrimentos). Finalmente, la disolución-recristalización de sales a menudo se cita como mecanismo de deterioro, a pesar del hecho de que pocos informes mencionan haber encontrado sales en la piedra o incluso los análisis de sales son escasos. En contraste, la erosión debida a la lluvia y el impacto de los visitantes prácticamente no se mencionan en los informes como factores de deterioro.

En general, se presentan pocos datos cuantitativos en estos informes; la información que contienen es fundamentalmente descriptiva y se basa en observaciones hechas en el sitio. Esto ha limitado la posibilidad de que estudios posteriores hayan podido comprobar o desestimar algunas de sus hipótesis y alcanzar conclusiones mejor sustentadas acerca de los mecanismos de deterioro.

Comparación de la documentación fotográfica de la Escalinata Jeroglífica a través del tiempo

Afortunadamente, la Escalinata Jeroglífica de Copán ha sido fotografiada en detalle y con frecuencia desde que se excavó por primera vez hace más de cien años. Estas imágenes permiten observar el cambio en las condiciones de la superficie a lo largo del tiempo y realizar un análisis visual de las patologías de deterioro, estableciendo si los mismos son activos o si se produjeron en un determinado momento y ya no constituyen un fenómeno activo. La documentación fotográfica es también unas herramientas importantes para el diagnóstico de las causas y mecanismos de deterioro, tanto pasadas como actuales, que afectan a la piedra de la Escalinata.

La intención original al tomar estas fotografías no fue la de documentar con periodicidad el estado de conservación de la Escalinata, por lo que los intervalos de tiempo entre las mismas son irregulares. La calidad de las imágenes es variable por la diversidad de equipos y tecnologías empleadas; de hecho, en las distintas campañas fotográficas se observan diferencias de enfoque, definición, ángulos e iluminación. A pesar de estas diferencias significativas, esta serie fotográfica, junto con otros datos históricos disponibles sobre la Escalinata descritos en la sección anterior, permiten que se puedan sacar conclusiones a través de la comparación fotográfica acerca de los fenómenos de deterioro en la superficie y apreciar si están activos o no, además de identificar cuales son o fueron las causas.

Durante el proyecto, se escogieron algunos bloques de la Escalinata para hacer un seguimiento de las condiciones actuales y futuras. Asimismo, estos mismos bloques se usaron para analizar la historia pasada de condiciones. Dichos ‘bloques de control’ se escogieron porque proporcionaban información acerca de una serie de condiciones actuales en la superficie en las distintas partes de la Escalinata, para poder obtener un perfil completo de la situación general de la misma (Fig. 44).

Cronología fotográfica

Se obtuvieron reproducciones de fotografías históricas de la Escalinata y de bloques individuales de los archivos del Peabody Museum, asociado con la Universidad de Harvard, y del Centro Regional de Investigaciones Arqueológicas (CRIA) del Instituto Hondureño de Antropología e Historia (IHAIH) de Copán. Las imágenes más antiguas de la Escalinata que subsisten son negativos de vidrio fotográfico tomados por las Expediciones del Peabody Museum durante la excavación de la Escalinata entre 1891 y 1901. De manera ocasional, se tomaron fotografías de bloques individuales en los 1910s y 1920s para el estudio epigráfico de los jeroglíficos. Posteriormente, durante los trabajos de la Institución Carnegie de Washington realizadas en Copán entre 1935 y 1946, se tomaron fotografías generales de la Escalinata y de algunos bloques individuales, especialmente durante la reconstrucción de la Escalinata que se llevó a cabo de 1937 a 1940. Entre 1946 y 1948, el arqueólogo mexicano Raúl Pavón Abreu, realizó un levantamiento fotográfico detallado y completo de los bloques de la Escalinata reconstruida ([Pavón Abreu and Sanchez Vera] 1989). En 1979, Maya Bracher realizó un levantamiento fotográfico parcial de los detalles de la Escalinata que fue seguido en 1987 por Jean-Pierre Corau quien realizó un levantamiento fotográfico completo. En todas estas diferentes campañas se utilizó la fotografía en blanco y negro en condiciones de luz de día natural, sin abarcar la balaustrada labrada en cada lado de la Escalinata. En 1989, se fotografió la balaustrada, bloque por bloque, por el proyecto PAAC; las fotografías se integraron al archivo fotográfico de Copán.

En el año 2000, la firma consultora para el GCI, Photarc Survey, tomó fotografías estereoscópicas en blanco y negro de toda la Escalinata, para lo cual tuvo que utilizar un flash debido a la lona

impermeable que la cubría; asimismo, se tomaron fotografías individuales de algunos bloques de control. Por último, en el año 2003, el GCI tomó fotografías en blanco y negro, a color y digitales usando la luz natural del día de todos los bloques de control designados por el GCI, con la ayuda de personal local de otros proyectos de Copán.

En diciembre de 2004, Photarc Survey realizó otra serie de fotografías estereoscópicas para todos los bloques de control, con el objeto de tener una serie duplicada y estar en posibilidades de comparar condiciones con precisión a través de los cuatro años del proyecto, además de tener la serie estereoscópica de todos los bloques de control. Estas imágenes aún están por ser analizadas y procesadas en modelos tridimensionales.

Una vez recopiladas, las fotografías de cada bloque de control fueron escaneadas, puestas a escala e impresas en una hoja en forma cronológica para facilitar su comparación visual. No fue posible crear una serie fotográfica equivalente para cada bloque de control, porque no todas las campañas en el pasado registraron la Escalinata en su totalidad (véase el Apéndice C para la lista de bloques de control con su correspondiente serie cronológica de fotografías).

Comparación de las condiciones a través del tiempo

La comparación visual entre las imágenes históricas y las más recientes, tomadas durante el proyecto del GCI para la Escalinata, revela que la mayor parte de los bloques de control han tenido una historia similar en cuanto a condiciones desde el momento de la excavación. Sin embargo, la condición de los bloques cuando se excavaron hace un siglo sí varió considerablemente, o sea que el punto de partida de cada uno de los bloques de piedra ha sido muy diferente de un bloque a otro. Al excavarse, algunos bloques tenían superficies lisas y erosionadas, sin ninguna parte labrada, mientras que otros presentaban superficies labradas con muchos detalles bien definidos y mostraban aún restos del recubrimiento de cal original en las partes más profundas de lo labrado.

A partir de estas condiciones iniciales variables, la cronología fotográfica de los bloques de control (ver por ejemplo las Figs. 45a–f), muestra que entre su excavación en los 1890s y su colocación en la Escalinata reconstruida a finales del los 1930s, las superficies de los bloques se cubrieron cada vez más con crecimiento microbiológico, sin bien hubo muy poca pérdida o daño perceptible en las superficies labradas. Tal como se esbozó en el apartado anterior sobre la historia de las intervenciones, es en este período que los bloques de la Escalinata, excepto aquéllos que fueron encontrados in situ, se colocaron en filas sobre soportes de piedra en la Plaza no pavimentada delante de los restos de la Escalinata.

Cuando Pavón realizó el siguiente levantamiento fotográfico detallado entre 1946 y 48, la cantidad de microorganismos que cubría los bloques ya era menor. Sin embargo, en estas fotografías, se empieza a observar una erosión diferencial de las superficies; además las partes más sobresalientes de lo labrado presentaban un color más claro y una forma más irregular. Para esa fecha, los bloques ya habían sido colocados en la pendiente de la estructura piramidal como parte del proyecto de reconstrucción de la Escalinata durante cinco a diez años. Las superficies por lo general estaban más limpias, probablemente porque se limpiaron los bloques antes de colocarlos en la Escalinata reconstruida. Se comienza a apreciar un deterioro de la superficie, generada por estar en una nueva posición más expuesta a los elementos, en el lado de la pirámide, donde, en particular, la lluvia podía correr sobre ellos en mayor volumen y a mayor velocidad.

Entre 1946–48 y 1987 (o en algunos casos 1979) cuando Corau llevó a cabo su campaña fotográfica, se observaron superficies labradas con áreas extensivas de pérdidas, particularmente

en la mitad inferior de los bloques. Asimismo, se observó un proceso activo de separación de las capas externas de los bloques, sobre todo en las partes superiores de sus superficies labradas (ver las Figs. 46a, b, 47a, b). Aun existía desarrollo de microorganismos, pero por lo general se limitaba a las áreas más profundas y no se observan pérdidas o partes emblanquecidas. A lo largo de estos 40 años, se puede apreciar el creciente deterioro y efecto acumulativo de la exposición de las piedras tanto a la intemperie como a la acción del hombre, pues hasta mediados de los 1970s, se permitía que los visitantes caminaran sobre la Escalinata. En 1978–79 se aplicó un tratamiento biocida agresivo para eliminar la capa de líquenes. Después de este tratamiento y hasta 1987, las superficies de muchos bloques volvieron a ser colonizadas por un agente biológico, esta vez algas oscuras, que crecieron en lugar de los líquenes, de color más claro.

Si se comparan las condiciones en las que se encontraban las piedras durante los primeros 40 años después de la excavación con sus condiciones durante los cuarenta años siguientes, se nota una enorme diferencia. Esta diferencia se debe a que durante los primeros cuarenta años, los bloques estaban colocados por encima del suelo en la plaza. Posteriormente, los bloques fueron colocados en el lado reconstruido de la pirámide, quedando mucho más expuestos al efecto agresivo y cambiante del medio ambiente.

La siguiente campaña fotográfica se llevó a cabo en el año 2000, pero hubo necesidad de usar un flash, por la lona protectora que se colocó sobre toda la Escalinata en 1985. Por lo tanto, en las fotografías del 2000, las superficies se ven mucho más planas por la falta de sombra y no son útiles para la comparación (ver Figs. 45, 50). El flash también incrementó el contraste entre las zonas oscuras y claras, por lo que el color de las zonas blancas es mucho más fuerte de lo que sería a la luz natural. Por estos motivos, los bloques de control se fotografiaron nuevamente en el 2003, esta vez sin flash, aprovechando el cambio de la lona protectora.

Una comparación entre las fotografías de 1979 y las del año 2003 muestra, sobre todo, la ausencia de crecimiento de microorganismos en las superficies, y no se evidencian otros cambios importantes en las condiciones de los bloques (Figs. 48a, b, 49a, b). El acelerado deterioro y las pérdidas de los primeros 40 años casi se detuvo en los 16 años siguientes. Tanto la ausencia de microorganismos como el menor deterioro pueden atribuirse a la lona protectora que se colocó sobre la Escalinata en 1985, inicialmente durante la estación lluviosa exclusivamente y después, desde aproximadamente 1987, durante todo el año. Al eliminar casi toda el agua y la luz directa del sol de la superficie de los bloques se ha suprimido casi por completo el desarrollo de microorganismos y se han mitigado los ciclos abruptos de humedad/sequedad y de calor/frío. Estos fenómenos posiblemente eran las principales causas del deterioro y de la pérdida de superficie cuando la Escalinata estaba sin protección. Se puede suponer también que impedir el acceso directo de los turistas a la Escalinata desde la década de 1970, también ha contribuido a estabilizar la condición de las piedras durante los últimos años.

Al comparar las fotografías históricas y contemporáneas de los bloques de control, se observa una historia de estabilidad inicial antes de la reconstrucción de la Escalinata seguido de un período de deterioro y pérdidas acelerado, y más tarde, tras la protección de la Escalinata con una lona de protección, las condiciones se estabilizaron nuevamente. Sin embargo, existen actualmente unas cuantas zonas inestables, en las que el deterioro y las pérdidas de superficie continúan, como se aprecia en la serie cronológica de fotografías del escalón superior n° 63 en el bloque 594 (ver las Figs. 50a–h). Al comparar las fotografías del año 1987 con las del 2003, se observan nuevas áreas emblanquecidas y con pérdidas de superficie. Evidentemente, existen condiciones medioambientales que afectan específicamente al escalón superior y que están provocando esta pérdida paulatina de material a pesar de la protección proporcionada por la lona. Las posibles causas de esta situación serán tema de análisis posteriores.

Historia de la Conservación / Pies de ilustración

(Ver la versión en inglés para las figuras.)

Historia de las intervenciones

Figura 15. Plaza de la Escalinata Jeroglífica viendo hacia el este, con el campamento de Alfred P. Maudslay en primer plano. En el fondo, se ven cómo los árboles cubren la Estructura 26. 1885.

Figura 16. Estructura 26 viendo hacia el este, tras la tala de árboles y la limpieza de vegetación. La Escalinata Jeroglífica puede verse en el estado en que se encontró, siendo visible sólo la sección caída de escalones. Alrededor de 1892–93.

Figura 17. La Escalinata Jeroglífica durante la excavación de los escalones inferiores, hallados en su sitio y que estaban cubiertos por metros de material de derrumbe y por las secciones caídas de los escalones. Alrededor de 1893.

Figura 18. George B. Gordon director de la expedición del Museo Peabody cuando se estaba bajando a la Plaza la sección caída de la Escalinata Jeroglífica. 1895.

Figura 19. Bloques con glifos de la Escalinata Jeroglífica acomodados en la Plaza. Presentan superficies lisas y erosionadas. Alrededor de 1895.

Figura 20. Bloques con glifos de la Escalinata Jeroglífica acomodados en la Plaza. Presentan superficies con un alto grado de detalle en sus tallados. Alrededor de 1895.

Figura 21. Los escalones inferiores de la Escalinata Jeroglífica, el Altar y la primera Figura Sedente aún en su sitio, tras su excavación. Alrededor de 1900.

Figura 22. Plaza de la Escalinata Jeroglífica, viendo hacia el este. Los escalones inferiores, completamente excavados, se muestran en su sitio y el resto de los bloques están acomodados en la Plaza. Alrededor de 1900.

Figura 23. Escalones inferiores, hallados en su sitio, de la Escalinata Jeroglífica, parcialmente recuperados después de su excavación original. 1911.

Figura 24. Plaza de la Escalinata Jeroglífica, viendo hacia el este, mostrando los bloques acomodados en la Plaza en primer plano y los escalones hallados en su sitio. La vegetación ha crecido otra vez en el sitio. 1911.

Figura 25. Sección de escalones que quedaron en su sitio en la Escalinata Jeroglífica a comienzos de la reconstrucción. 1937.

Figura 26. Escalinata Jeroglífica durante su reconstrucción. La escalinata de apoyo se construyó hasta el escalón 43 y la sección de escalones caídos se coloca entre los escalones 29 y 43. 1937.

Figura 27. La Escalinata Jeroglífica viendo hacia el noreste durante la reconstrucción, mostrando los pocos bloques jeroglíficos que se volvieron a colocar en el lado norte de los escalones 18 a 21 durante esta temporada. 1938.

Figura 28. La Escalinata Jeroglífica viendo hacia el este, tras su reconstrucción completa. 1942.

Figura 29. Visitantes en la Escalinata Jeroglífica durante una visita oficial. Sin fecha (¿1950s?).

Figura 30. El Altar Q antes de su tratamiento con agentes biocidas. Puede verse una fuerte colonización de líquenes en la parte superior. 1975.

Figura 31. Banda de prueba de un metro de ancho en el extremo sur del Juego de Pelota, después de recibir tratamiento de Mason Hale. Nótese la pérdida de algas negras. Alrededor de 1978.

Figura 32. Figura Sedente 3 de la Escalinata Jeroglífica antes de recibir tratamiento con agentes biocidas, mostrando la fuerte colonización biológica. 1975.

Figura 33. Área de pruebas de tratamiento con Paraloid B-72 disuelto en acetona al 20%. El material se utilizó para estabilizar las superficies que se estaban desprendiendo. Se utilizó Paraloid B-72 disuelto al 5% como impermeabilizante. Marzo de 1982.

Figura 34. Recolocación de hojuelas de piedra desprendidas, utilizando Paraloid B-72; bloque 28, escalón 7. Abril de 1982.

Figura 35. Bloque 28, escalón 7 (ver Fig. 34), un año y medio después de su tratamiento; no hay recolonización biológica evidente. Noviembre de 1983.

Figura 36. Cubierta de palma sobre la Estela J, viendo hacia el oeste. Alrededor de 1983–84.

Figura 37. La Estructura 26, mostrando la extensión de la lona mayor que cubre la Escalinata Jeroglífica. 2000.

Figura 38. Reemplazo de la lona que cubre la Escalinata Jeroglífica. 2003.

Estudios anteriores acerca de la conservación de piedra en Copán

Figura 39. Erosión basal de la Estela C, mostrada desde el oeste. 2003.

Figura 40a y b. Comparación de los bloques de la Escalinata que están en el sitio y aparecen cubiertos de crecimiento de líquenes (a) y bloques conservados en el Museo Peabody (b). Alrededor de 1978.

Figura 41. Rocío del monumento con agentes biocidas. 1978.

Figura 42a y b. Experimento de tratamiento con el agente biocida Preventol, antes de su limpieza (a) y después de ella (b). Alrededor de 1987–89.

Figura 43. Documentación gráfica de las condiciones de la Estela C, por parte de Toshiharu Tashiro.

Comparación de la documentación fotográfica

Figura 44. Mapa de los bloques de la Escalinata que se seleccionaron para monitorear condiciones (llamados bloques de control).

Figura 45a–f. Serie de fotografías históricas del bloque 409, escalón 43. Alrededor de 1895 (a), 1946–48 (b), 1979 (c), 1987 (d), 2000 (e) y 2003 (f).

Figura 46a y b. Bloques 409 en 1946–48 (a) y en 1979 (b).

Figura 47a y b. Bloque 343 en 1946–48 (a) y en 1979 (b).

Figura 48a y b. Bloque 409 en 1979 (a) y en 2003 (b).

Figura 49a y b. Bloque 343 en 1979 (a) y en 2003 (b).

Figura 50a–h. Serie de fotografías históricas del bloque 594, escalón 63. Alrededor de 1895 (a), 1915 (b), 1937 (c), 1946–8 (d), 1979 (e), 1987 (f), 2000 (g) y 2003 (h).



**EVALUACIÓN DE LAS
CONDICIONES ACTUALES**

Registro foto-topográfico

Objetivos

Como parte de una evaluación de las condiciones de la Escalinata Jeroglífica, se llevó a cabo un registro que incluyó un estudio estereo fotográfico (conducido por Photarc Surveys Ltd., firma británica consultora para el GCI), así como un registro de los puntos de control fotográfico con estación total (bajo responsabilidad de personal del GCI).

Los objetivos del registro eran establecer una base fotográfica a partir de la cual se pudiera realizar el diagnóstico de condiciones, así como crear un registro fotográfico que se integrara a la colección, ya existente en Copán, de las fotografías históricas del monumento, para ser utilizada por diversos profesionales (conservadores, epigrafistas, etc.). Potencialmente, los puntos de control y los pares estereoscópicos también pueden utilizarse para crear un modelo tridimensional detallado de toda la Escalinata por computadora, además de ser una herramienta para medir los cambios en la superficie de la piedra a lo largo del tiempo, en caso de repetirse el registro en el futuro.

Alcance

La Escalinata Jeroglífica consta de sesenta y tres escalones enmarcados por balaustradas a ambos lados; la escalinata mide aproximadamente 10 metros de ancho por 24 metros de alto y se eleva en un ángulo de 45°. El registro incluyó todas las superficies talladas de la Escalinata (es decir, todas las caras de los peraltes de los escalones y la parte superior de las dos balaustradas), así como todas las superficies de las Figuras Sedentes de la Escalinata, el gran Altar que se halla en la base de ésta y, en la plaza frente a la Escalinata, la Estela M y el Altar zoomórfico C asociado a la misma. Se tomaron pares estereoscópicos adicionales con mayor acercamiento de varios bloques seleccionados como bloques de control, con el propósito de medir cambios en sus condiciones.

Técnicas utilizadas para el registro

REGISTRO POR LÁSER VS. ESTEREOFOTOGRAFÍA

Antes de decidir cuál habría de usarse, se consideraron varias técnicas para llevar a cabo el registro; se tomaron en cuenta las metas del estudio, los límites presupuestales, los recursos locales, la capacidad del personal, las condiciones para el manejo de información y las restricciones planteadas por el sitio (la presencia de la lona protectora de la Escalinata restringía el uso de una plataforma hidráulica para llevar a cabo la fotografía, etc.).

Después de una visita de reconocimiento llevada a cabo en marzo de 2000 y tras ponderar las ventajas y desventajas del registro por láser, se decidió descartar esta técnica, pues la precisión de los sensores no se consideró lo suficientemente alta como para cumplir con los requisitos buscados, además de que el tiempo necesario para la preparación y captura de datos hubiera sido significativamente más largo. También se presentaba el problema físico de acercarse lo suficiente a los glifos sin recurrir a la operación de equipo pesado en la escalinata; no se consideró viable la construcción de una plataforma móvil que fuera estable. El alto costo de un registro mediante láser también fue un factor importante que se tomó en cuenta al momento de tomar la decisión final.

Se escogió la estereofotografía de rango próximo por el buen historial que tiene esta técnica, además de requerir una inversión mínima de tiempo en el campo para capturar información visual tridimensional de alta resolución, de tener el potencial adicional de una precisión submilimétrica que se puede obtener en etapas posteriores del análisis fotogramétrico. Las imágenes estereoscópicas se destacaban también por ofrecer una fuente de datos de fácil acceso para el IHAH.

FOTOGRAFÍA DIGITAL VS. FOTOGRAFÍA ANALÓGICA

Una vez tomada la decisión de utilizar la estereofotografía, se requería tomar decisiones técnicas adicionales sobre el uso de fotografía digital o fotografía analógica. Y, si bien es cierto que se habría ahorrado tiempo en el procesamiento de la película utilizando la fotografía digital, se decidió que el uso de negativos ofrecía más accesibilidad y datos más apropiados para el IHAH, pues este tipo de material resultaba más compatible con su archivo existente. Crear archivos de fotografías analógicas también ofrece una mayor duración y se adaptaba mejor a los recursos locales ofreciendo, además, una resolución superior.

Registro del sitio

El registro del sitio se llevó a cabo en su totalidad en poco más de un mes durante junio de 2000 y requirió el trabajo de dos equipos de dos personas cada uno, quienes llevaron a cabo en paralelo la estereofotografía y el registro de los objetivos de control.

ESTEREOFOTOGRAFÍA

Las estereofotografías se tomaron utilizando una cámara de formato mediano Rollei 6006 y película comercial de blanco y negro. Con el fin de poder apreciar mejor la parte inferior del peralte de cada escalón, la cobertura vertical se restringió a dos escalones, requiriéndose aproximadamente veinte ajustes de posición de cámara a lo largo de cada par de escalones. Se estimó que serían necesarias unas 1,300 tomas individuales para cubrir todo el monumento. Asimismo, se decidió tomar cada imagen por duplicado, con el fin de generar dos juegos de negativos: uno para los archivos del IHAH en Copán y otro para el GCI en Los Ángeles. (Fig. 51).

Se tomaron todas las fotografías en la misma escala, si bien en el caso de algunas tomas difíciles (especialmente, en el caso de las tomas de las Figuras), la escala varió ligeramente. La escala escogida ofrece una resolución digital potencial de 0.2 mm.

Se utilizó un esquema de iluminación ortogonal (iluminación frontal) y no un esquema de iluminación oblicua, con el fin de producir imágenes menos contrastadas y más planas que, al apoyarse en el uso de las capacidades de iluminación y de generación de superficies que ofrece el Diseño Asistido por Computadora (CAD, por sus siglas en inglés), permitiera la creación artificial de sombras, con el fin de mejorar la percepción de profundidad y subrayar el microrelieve. Se montaron dos flashes, uno a cada lado de la cámara, con el fin de lograr la iluminación artificial ortogonal buscada. El uso de una plataforma con andamios fue necesario únicamente para obtener la cobertura de la Estela M y de su Altar C.

La película se llevó al laboratorio fotográfico para ser procesada por el fotógrafo del IHAH y el equipo de Photarc corroboró la calidad diariamente.

REGISTRO FOTO-TOPOGRÁFICO DE CONTROL

Se colocaron pequeños objetivos de 10 mm para tener un control fotográfico a intervalos de 40 cm cada dos escalones, utilizando la resina acrílica Paraloid-B-72 como recubrimiento para proteger la superficie de la piedra. Se escogió este intervalo para que cada una de las imágenes incluyera suficientes puntos de control, con el fin de permitir la ubicación y apreciación individual de cada uno de los pares estereoscópicos.

La medición de las coordenadas tridimensionales de estos objetivos permite que cada imagen se coloque en relación con cualquiera de las otras imágenes. Para la red de registro topográfico, se establecieron nueve estaciones temporales, cada una de las cuales consistía en varillas metálicas cortas (de 4 cm) colocadas en concreto o bien en pequeñas cruces de 3 mm marcadas sobre el núcleo de construcción a los lados de la Escalinata, con el fin de proteger los vestigios arqueológicos. Se establecieron cuatro estaciones adicionales en el pasto al pie de la Escalinata, dos de las cuales ofrecían visibilidad para la mayoría de los demás objetivos. Las mediciones transversales y de objetivos se llevaron a cabo utilizando una estación total sin reflector Leica modelo TCR307. Los datos se introdujeron en una calculadora Hewlett Packard 48 equipada con el programa SurveyPro de Tripod Data Systems. El registro topográfico de campo tiene una exactitud potencial de entre 2 y 3 mm debido a las cortas distancias de vista y a que las medidas fueron trasladadas directamente a los puntos de control.

Resultados y evaluación del registro

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE CONTROL

Para el control del registro, la transversal (que es la medida de la posición de cada estación en relación con todas las demás estaciones) resultó ser extremadamente exacta, llegando a 1 mm en el norte y en elevación y a 3 mm en el oriente. Se colectaron 3,059 observaciones de los 1,558 objetivos. El ochenta por ciento de los objetivos se coordinó partiendo de pares de observaciones, lo que permitió corroborar la posición horizontal y la elevación; el 20% restante provino de tomas sencillas únicamente.

Estereofotografía

La fotografía produjo 1,420 imágenes únicas (Tabla 1). La petición, hecha en campo, de una cobertura más detallada de algunos bloques selectos de control hizo que fuera necesaria la toma de 120 imágenes adicionales. Una vez concluido el trabajo de campo, los negativos se etiquetaron y guardaron en camisas protectoras con calidad de archivo; se preparó un juego en inglés para el GCI y uno en español para el IHAH. Adicionalmente, se imprimió a mano un juego de ampliaciones de 8 pulgadas (20 cm) para el GCI.

Algunos de los datos del registro topográfico y fotográfico se utilizaron para realizar análisis de prueba. Se abrió un par estereoscópico digitalizado utilizando el programa fotogramétrico digital ISM DiAP (International System Map: Digital Image Analytical Plotter). Las imágenes se orientaron en relación una con la otra, de forma que sus posiciones se encontraran exactamente en la misma relación que al momento de la exposición. Una vez hecho esto, se orientaron ambas hacia los puntos de control, con el fin de reproducir su posición exacta en el espacio al momento de su fotografía conforme al sistema mundial de coordenadas. Al completar este procedimiento, cualquier dibujo tridimensional en detalle que se haga en la computadora con un ratón tridimensional ocurre en un sistema de coordenadas verdaderas.

Tabla 1. Cobertura y control del estudio fotográfico.

<i>Controlado</i>	<i>Códigos</i>	<i>Tomas</i>	<i>Pares</i>	<i>Objetivos</i>
Escalones	0-63	645	594	641
Balaustrada sur - superficie superior	S, T	110	108	218
Balaustrada norte - superficie superior	N, M	110	108	220
Balaustrada sur - elevación sur	SE	53	32	76
Balaustradas norte y sur - otras elevaciones	NE, L, R	33	22	60
Altar de la Estela M	A	68	42	72
Estela M	B	50	33	42
Altar	C	59	40	66
Figura Sedente # 1	D	45	28	47
Figura Sedente # 3	E	41	26	42
Figura Sedente # 4	F	39	24	39
Figura Sedente # 5	G	31	17	35
<i>Total controlado</i>		<i>1284</i>	<i>1074</i>	<i>1558</i>

<i>No controlado (únicamente barra de escala)</i>			
Figura 6	18	9	
Acercamientos para los conservadores	Flash 53	38	algo de control*
	Luz de día 36	25	algo de control*
Piedras bajo el árbol de guanacaste	10	5	
Piedras en el laboratorio	19	16	
<i>Total no controlado</i>	<i>136</i>	<i>93</i>	
<i>Gran total</i>	<i>1420</i>	<i>1167</i>	

* 'Algo de control' se refiere al hecho de que estas imágenes captaron de manera incidental algunos de los objetivos del registro topográfico, pero no gozan del control pleno que brindan éstos. La barra de escala se incluyó en el campo visual para tener un medio independiente de constatar la escala de las imágenes, aun cuando dicha escala no se relaciona necesariamente con el registro global.

Sin embargo, utilizando el programa ISM AIM (Automatic Image Measurement) es posible producir automáticamente un modelo digital de la superficie (sin llegar al detalle en el trazado de líneas) del bloque de piedra (o, en términos topográficos, del paisaje), mediante una correlación

automática de la imagen. Este proceso hace que partes de cada fotografía correspondan sección por sección para determinar sus similitudes. Las posiciones relativas de estas secciones en correspondencias son una función de la variación de relieve de la superficie. Esta superficie tridimensional o modelo digital de superficie puede utilizarse para construir un modelo tridimensional genuino del sujeto, utilizando las imágenes para ‘vestirlo’. Los datos también pueden utilizarse para establecer una base para análisis futuros de cualquier erosión que pudiera sufrir la superficie.

En la Figura 52 se muestra un modelo digital de superficie de uno de los glifos de la Escalinata, generado automáticamente con un intervalo de red de 2 mm así como la imagen que “viste” la superficie generada, todo ello utilizando el programa fotogramétrico digital ISM DiAP.

Conclusiones

El procedimiento establecido tras la visita de reconocimiento parece cumplir con los requisitos establecidos y no se encontraron problemas de importancia para llevar a cabo la estereofotografía. El revelado diario de los negativos permitió a los fotógrafos verificar de manera exhaustiva la fotografía del día anterior, lo que significó que en todo momento estuvieron al corriente del estado de cobertura, pudiendo resolver problemas de manera diaria (Figs. 53a, b).

La decisión de utilizar una iluminación ortogonal, que produce imágenes más planas y menos contrastadas, probablemente no ha sido de mucha ayuda para una interpretación casual (no estereoscópica) de las imágenes, pero esto asegura que las áreas de mayor profundidad, que de otra manera estarían sumidas en sombras, estén iluminadas. Es posible producir sombras artificialmente y resulta muy fácil tener una visión estereoscópica de las tomas, ya sea mediante el uso de estereoscopios de bolsillo/espejo o mediante estereoscopia digital.

Tanto el tiempo para terminar el proyecto como el ritmo de producción de unas cincuenta imágenes diferentes, aceptables y procesadas al día, que se calcularon, permiten establecer una buena referencia para llevar a cabo este tipo de estereofotografía cuidadosamente controlada en el futuro.

Actualmente existen equipos de registro digital de rango próximo más ligeros, que harían que la operación fuera más viable en las circunstancias de trabajo que se plantean para la Escalinata Jeroglífica pero, a menos de que se tomen múltiples registros de cada glifo, la resolución obtenida con ellos aún será inferior a la obtenida con la fotografía. Existiría aún el problema de una cobertura poco ágil de las estatuas, en relación con las cuales los fotógrafos algunas veces se vieron forzados a utilizar un monopié con el fin de poder tener algo de cobertura. La naturaleza instantánea de la fotografía con flash eliminó todo problema asociado con la vibración del sensor.

Los datos de puntos de control del registro resultaron ser más problemáticos. Se identificaron algunos errores en ellos y éstos pudieron corregirse fácilmente; algunos otros datos pudieron mejorarse con un cierto número de cálculos matemáticos, en tanto que otros más no pudieron corregirse. A consecuencia de esto, no todos los puntos pudieron calcularse con la mayor precisión.

Se cumplieron los dos objetivos del registro: la estereofotografía constituyó una base sobre la cual llevar a cabo un estudio detallado de condiciones de la superficie de la Escalinata y se creó un registro fotográfico para el año 2000 contra el cual comparar los registros fotográficos futuros.

Registro de condiciones

Metodología

OBJETIVOS

El principal objetivo del registro de condiciones fue crear documentación de base acerca de las condiciones de la Escalinata mediante el registro gráfico de los tipos, extensión y ubicación del deterioro. El registro iba a ser utilizado tanto como una herramienta para el diagnóstico junto con otros tipos de investigaciones (monitoreo ambiental, estudios científicos, investigación de archivos, etc.), como una fecha exacta de inicio para el control futuro de las condiciones de la Escalinata, y para planificar y registrar las intervenciones futuras de conservación.

MÉTODOS DE REGISTRO

Tomando en consideración los objetivos del registro de las condiciones, se decidió que el producto final debería hacerse tanto en forma digital como en papel. Un producto digital permitiría que las actualizaciones en el futuro se hicieran de forma más eficiente y facilitaría obtener reproducciones. Se producirán copias en papel de todos los dibujos para crear un archivo de impresiones y asegurar cierta sostenibilidad de la producción digital.

La selección de procesos de registro estaba entre el tradicional y manual, que emplea escáners para transferir la información en forma digital, y el registro digital directo usando computadoras en el área de trabajo. Para tomar esta decisión se tenía que considerar el balance entre los objetivos del registro de las condiciones y los recursos disponibles, las limitaciones del sitio y los requisitos de cada método.

Se escogió el registro digital directo para efectuar el estudio porque es un proceso más rápido para obtener un producto digital. El tiempo necesario de trabajo en el campo para realizar ambos procesos de registro es similar; sin embargo, tomando en cuenta experiencias previas, el tiempo de procesamiento después del trabajo en el campo es mucho mayor cuando se sigue el método tradicional. En total, si se necesita una hora para obtener un dibujo digital directamente, cuando se utiliza el proceso tradicional, se puede esperar que se requieran 2.5 horas. No obstante, el método digital tiene algunas limitaciones importantes, entre ellas el costo de proporcionar a cada persona que registra una computadora portátil, la necesidad de contar con personal capacitado para utilizar computadoras y la necesidad de un entorno del sitio que sea favorable para el uso de computadoras (protección contra el polvo y el clima, disponibilidad de electricidad en el sitio, etc.).

En el caso de la base para el registro de condiciones, se consideró tanto realizar dibujos como tomar fotografías; sin embargo, la necesidad de un estudio detallado de las condiciones y el hecho de que varios bloques carecían de suficientes detalles que se pudieran dibujar para localizar condiciones con precisión condujeron a la decisión de utilizar fotografías en lugar de dibujos para crear el registro base de las condiciones.

ALCANCE DEL REGISTRO DE LAS CONDICIONES

Al evaluar el significado de la escalinata y la historia de su reconstrucción, se decidió que se estudiarían únicamente las superficies talladas de la Escalinata. Por consiguiente, sólo se estudiaron las superficies del frente de los bloques de piedra de los escalones y alfardas, y no se registraron las condiciones de los peldaños o los bloques de relleno sin tallar. Se analizaron casi

todas las superficies de la escultura de la Escalinata en el círculo (Figuras Sedentes, etc.) además del altar de la Escalinata. Además, se estudiaron la Estela M y el Altar C, ubicados en la plaza enfrente de la Escalinata, para ver si las condiciones de otros monumentos tallados eran semejantes a las de la Escalinata.

GLOSARIO DE TÉRMINOS PARA LAS CONDICIONES DE LAS PIEDRAS Y DE LAS CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES

Previo al inicio del registro de condiciones en 2000, se elaboró un glosario de términos, basado en glosarios ya publicados acerca de piedra, para describir las condiciones principales que se encontraron en la Escalinata. Dichos términos se modificaron posteriormente cuando, con la experiencia de los estudios, se notó que algunas de las condiciones no se presentaban en la Escalinata. El glosario final incluía algunas de estas condiciones: fisura, exfoliación, desprendimiento, pérdida en la superficie (de la piedra), pérdida de morteros (entre los bloques) y crecimiento microbiológico (ver Apéndice D). No se registró la erosión de la superficie aunque muchos de los bloques están completamente erosionados y no les quedan superficies talladas originales. Tampoco se registraron pérdidas importantes en las piedras, en concreto la pérdida significativa de volumen de un bloque, a pesar de que algunos bloques han perdido de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ de sus materiales originales.

Se registró una característica importante, las vetas geológicas naturales en la piedra, al mismo tiempo que las condiciones, pero no se documentaron las inclusiones mineralógicas naturales, grandes o pequeñas, en la roca. No se estudiaron los diversos colores de la piedra, que fluctúan entre verde azulado y color piel claro o beige, debido a que el color de la piedra puede cambiar en un mismo bloque sin que exista algún cambio correspondiente en la condición y a que, para poder hacer una lectura exacta del color, se requería limpiar la piedra. El tipo de la piedra de la Escalinata varía entre la de grano fino y la de grano grueso pero tampoco se estudió esta característica.

También se registraron tres categorías de intervenciones previas: los resanes en las superficies, la consolidación de las superficies y el uso de morteros para el relleno de las juntas entre los bloques. Se pudieron identificar visualmente tres tipos de morteros de relleno en las juntas (ver 'Glosario ilustrado de las condiciones' en el Apéndice D).

Se preparó una base fotográfica antes de realizar el registro de condiciones en el campo. Se creó un mosaico fotográfico bidimensional de la Escalinata con impresiones escaneadas en blanco y negro del estudio fotogramétrico usando software de Adobe Photoshop y AutoCAD. Se elaboraron mosaicos fotográficos independientes para cada elevación de las figuras y el altar de la Escalinata, de la Estela M y del Altar C.

REGISTRO

El registro de condiciones fue desarrollado por cuatro personas capacitadas del GCI y dos personas locales en formación durante dos campañas distintas, en noviembre–diciembre de 2000 y en febrero–marzo de 2001. El registro representó el equivalente a 86 días de trabajo de una sola persona por un período total de trabajo en el campo de aproximadamente 560 horas. La mayor parte del registro se llevó a cabo directamente en forma digital usando computadoras portátiles en el campo (Fig. 54); sin embargo, como no se pudo completar el mosaico fotográfico base antes de la primera campaña en el campo, se registró de manera tradicional un poco menos de un tercio de los escalones de la Escalinata dibujando las condiciones con plumas de colores sobre hojas de plástico transparentes colocadas sobre las impresiones fotográficas. El registro hecho en forma tradicional se digitalizó posteriormente para obtener un dibujo con AutoCAD.

El trabajo de las diferentes personas que registraron se combinó entonces para crear un solo dibujo CAD de la Escalinata en donde cada una de las condiciones tiene su propia capa. También se elaboraron dibujos separados para cada una de las figuras y del altar de la Escalinata, de la Estela M y del Altar C.

RESULTADOS

El registro de condiciones reveló que el principal tipo de deterioro y el más extendido a lo largo y ancho de la Escalinata son la exfoliación milimétrica y el desprendimiento en pequeña escala (Fig. 55), a menudo acompañados de pequeñas fisuras delgadas en la superficie. Este tipo de deterioro ocurre con frecuencia, pero no siempre, en las partes en relieve de los glifos. En general, la mitad inferior de los bloques tiende a estar más deteriorada que la superior, como se puede apreciar en la micro exfoliación de la superficie en la parte inferior, mientras que en la mitad superior de los bloques se puede encontrar a menudo superficies intacta pero desprendidas (Fig. 56). La disgregación de la piedra, patología que no está extendida, no se registró en forma independiente de la exfoliación; sin embargo, realmente constituye un tipo de deterioro que puede requerir en el futuro una intervención de conservación diferente. No hubo una relación perceptible entre las vetas geológicas y alguna de las condiciones. Las áreas blanquecinas en la superficie corresponden a las de la separación de la superficie en sus componentes o a las que se encuentran detrás de las escamas caídas. No parece haber área blanquecina alguna en la superficie que sea resultado de la presencia de eflorescencias salinas.

Sólo se encuentra deterioro estructural en los bloques de los 15 escalones inferiores que siempre han estado en su sitio, se puede apreciar un desprendimiento estructural grande especialmente del escalón 9 al 15, con indicaciones de grietas profundas que corren paralelas a la cara de los bloques. La mayor parte de pérdidas estructurales que se observan en la Escalinata se pueden encontrar en los bloques de esta área, algunos de ellos han perdido hasta la mitad de su ancho.

Un número importante de bloques también presentan superficies erosionadas pero estables, aunque la erosión no fue una de las condiciones que se estudiaron (Fig. 57).

Se detectan restos del desarrollo de microorganismos en casi todos los bloques de piedra. Los sitios más profundos que se crearon al tallar los glifos tienden a contener restos de moho, mientras que la parte superior de los bloques suele presentar una banda horizontal de crecimiento de algas. Existen muy pocos líquenes hoy en día en la Escalinata.

Se registraron dos de los tipos principales de intervenciones previas en las superficies de los bloques: la consolidación y el resane de las superficies. La mayoría de los bloques que presenta exfoliación en la superficie ha sido consolidada con una solución diluida de Paraloid B-72 o de Mowilith 30 (para mayor información, ver sección 'Historia de las intervenciones'). La aplicación, que probablemente se realizó con brocha, no fue buena, como lo muestran las frecuentes marcas de goteo y un oscurecimiento considerable de muchas de las superficies de los bloques; sin embargo, parece que las aplicaciones no han tenido un impacto negativo en la conservación de la piedra. Los resanes son principalmente ribeteos de los bordes de la exfoliación de las piedras con una mezcla de polvo de piedra con Paraloid B-72 o con Mowilith 30. En su aplicación se distinguen diversos niveles de habilidad técnica y a menudo son muy obvios. Los rellenos han tenido el efecto innegable de sostener las escamas y conservarlas en su lugar; no obstante, debido a que la mayoría de las áreas desprendidas se han ribeteado sin rellenar los huecos o pérdidas detrás de ellas, o sólo se han vuelto a pegar con una solución de Paraloid, siguen en una condición inestable y vulnerables a perderse, especialmente si reciben algún impacto físico.

Se identificaron seis tipos diferentes de morteros para el tratamiento de juntas en la Escalinata, con cuatro clases predominantes y dos que son más difíciles de encontrar. Los cuatro morteros que se usaron frecuentemente en las intervenciones corresponden con la secuencia de reconstrucción de la Escalinata del período de 1937 a 1940, mientras que los otros dos sólo se encontraron en algunos lugares y son de intervenciones más recientes, posiblemente en las últimas tres décadas. Los morteros están conformados por diversos materiales, que fluctúan entre las de cemento duro 1:2 y las de mezclas de cal suave y tierra, y se han aplicado con diversos niveles de habilidad. Ningún deterioro particular de la piedra parece relacionarse con la presencia de los morteros, aún los más fuertes. Los morteros se encuentran en diversos estados de conservación y varias de las juntas completamente abiertas se registraron como pérdidas de mortero. Esta condición no tiene ningún impacto en la estabilidad estructural de la Escalinata ya que se reemplazaron bloques durante la reconstrucción y, por lo tanto, ya no tienen una función estructural. No obstante, la pérdida de mortero sí permite y fomenta la actividad de animales, en particular, las excavaciones de roedores grandes entre los bloques de la Escalinata. Existen asimismo muchas grietas verticales entre el mortero de relleno y la piedra a lo largo y ancho de la Escalinata, pero no se les estudió. Estas grietas no parecen seguir desarrollándose, de acuerdo con una comparación de fotografías históricas, por lo que es posible que sean el resultado de un asentamiento de la Escalinata inmediatamente después de la reconstrucción.

Conclusiones

El análisis del mapeo de las condiciones revela que por lo general la condición de los bloques no se relaciona con su ubicación en la Escalinata, sino que es específica a cada uno de ellos. Cualquier tipo dado de condición está presente generalmente en toda la Escalinata y se pueden encontrar bloques en buenas condiciones al lado de otros que están en muy mal estado.

Esta conclusión no es de sorprender si se considera que más de tres cuartos de los bloques no están en su sitio original y que sólo llevan en su ubicación actual cerca de 70 años. Los bloques con fisuras estructurales y con el mayor grado de pérdidas estructurales se encuentran predominantemente en los 15 escalones de la parte inferior continúan en su posición original. Esto resulta por el hecho que estos bloques siempre han estado in situ, por lo que han estado más expuestos que los bloques más altos que cayeron sobre ellos durante el proceso de enterramiento y, además, sujetos al crecimiento de árboles y plantas superiores durante varios siglos. También han estado más expuestos a los elementos ambientales, durante casi 50 años, como parte de la estructura de la Escalinata mientras que los otros bloques estuvieron en la plaza antes de la reconstrucción. La sección de doce escalones inmediatamente encima de los que siempre estuvieron en el mismo lugar está en general más erosionada y no tiene restos visibles de tallados de jeroglíficos. Esta condición uniforme está relacionada con su ubicación y es el resultado de la decisión que se tomó durante la reconstrucción de la década de 1930 de colocar juntos en un sitio en la Escalinata todos los bloques fuertemente erosionados y sin ningún glifo reconocible (ver sección 'Historia de las intervenciones').

En general, en toda la Escalinata el deterioro depende más de las características del bloque específico que de su ubicación en la misma, su color o su entorno inmediato. Por lo tanto, las condiciones de los bloques varía dependiendo principalmente de la geología de cada uno de ellos, incluido el tamaño del grano, su ubicación en la cantera y su plano de formación con respecto a la orientación en que fue colocado en la estructura de mampostería. Otro factor del deterioro individual de los bloques es su historia previa, incluyendo su ubicación entre el tiempo del abandono del sitio y el presente. Como resultado, en este caso, el registro de conservación ha tenido una utilidad limitada para diagnosticar las causas de deterioro de los bloques. No obstante, será una herramienta esencial para planificar los tratamientos futuros para la Escalinata.

Para determinar si el deterioro continúa en la Escalinata, además de determinar las posibles causas, uno puede analizar, si están disponibles, los diferentes tipos de documentación realizadas en diferentes momentos (como se presentó en ‘Comparación de la documentación fotográfica de la Escalinata a través del tiempo’) y uno puede comenzar a monitorear las condiciones de manera constante si se hace un registro de condiciones a lo largo del tiempo. El análisis de la documentación fotográfica más reciente mostró que el deterioro activo está generalmente restringido a las superficies de los bloques en el escalón superior de la Escalinata. Sin embargo, no todos los bloques tienen deterioro. El deterioro activo en algunos de los bloques individuales del escalón 63 puede estar relacionado con la presencia de un borde de cemento y la plataforma de mortero en la parte superior. El mortero y el cemento son las fuentes potenciales de sales solubles. Los ciclos de cristalización y disolución de estas sales en y bajo las superficies de la piedra pueden producir disgregación o exfoliación. Para confirmar esta observación, que el deterioro está limitado principalmente a los bloques del escalón superior de la Escalinata, se decidió registrar todos los bloques de control para verificar la pérdida de superficies desde 1987, utilizando las fotografías tomadas en ese año como base para el registro gráfico.

Este registro se repitió cinco veces entre abril del 2002 y agosto del 2004. Se observó que todos los bloques de control han tenido algunas pérdidas limitadas desde 1987 y que la cantidad de pérdida varía considerablemente de un bloque a otro; los bloques 375–376 son los que presentan la mayor cantidad de pérdidas y el deterioro más activo, desde disgregación hasta exfoliación. La pérdida de superficies en los bloques de control está generalmente localizada en áreas ya deterioradas, donde existían desprendimientos, exfoliación e incluso tratamientos en 1987. Sin embargo, algunos de los bloques de control presentaron pérdidas en superficie, entre abril de 2002 y agosto de 2004, en áreas que no habían sido tratadas. Muchas de estas pérdidas aparentemente son el resultado de impactos, generados por la gente que accede a la Escalinata para reparar o cambiar la cubierta de protección; estas tareas se realizaron cuatro veces entre enero y julio de 2003. En conclusión, el deterioro activo de las superficies de los bloques por disgregación y exfoliación no está limitado a ciertos bloques en el escalón superior. De hecho existen algunos pocos bloques localizados en otras áreas de la Escalinata que continúan teniendo pérdidas, a pesar de la protección de la cubierta. La pérdida de superficies relacionada con el impacto del acceso humano a la Escalinata es, sin embargo, la causa más importante de deterioro en todos los bloques.

Análisis de materiales

El análisis científico de los materiales constitutivos de la Escalinata Jeroglífica se llevó a cabo como parte de la investigación para el diagnóstico del deterioro del monumento. Se analizaron varios tipos de materiales: muestras grandes de bloques de piedra de Copán y muestras tomadas de la Escalinata como pequeñas escamas de piedra, mortero de intervención y materiales para el tratamiento de superficies. Los resultados de estos análisis contribuyen al desarrollo de un plan integral de conservación para la Escalinata Jeroglífica.

Procedimientos experimentales

MATERIALES

Se analizaron cuatro tipos de muestras:

1. Cuatro muestras de gran volumen de piedra utilizada para la construcción de la Escalinata Jeroglífica, para caracterizar a la piedra y realizar pruebas físico – mecánicas (muestras BF1, BF2, BF5 y BF6).

2. Trece muestras de pequeñas escamas de piedra procedentes de la Escalinata Jeroglífica, para investigar los mecanismos de deterioro y para comprobar la presencia de sales en las piedras del monumento.

3. Once muestras de mortero de diferentes áreas de la Escalinata. Incluyen morteros de las diferentes fases de reconstrucción de la Escalinata durante los 30 y algunas más limitadas de intervenciones posteriores. Estos morteros se analizaron para determinar la presencia de sales potencialmente dañinas.

4. Once muestras de tratamientos anteriores aplicados en décadas recientes a las superficies de piedra de la Escalinata, para confirmar el tipo de adhesivos usados que no habían sido documentados con precisión.

MÉTODOS ANALÍTICOS

Se utilizaron métodos estándares para caracterizar las muestras. En la Tabla 2 se resumen los análisis llevados a cabo, así como los procedimientos que se siguieron.

Tabla 2. Análisis y procedimientos.

<i>Composición mineralógica y química</i>	
Difracción de rayos X (DRX)	
Fluorescencia de rayos X (FRX)	
Cromatografía de iones (CI)	
Espectroscopia infrarroja transformada por Fourier (EITF)	
Análisis químico en húmedo - mortero	BS4551:Parte 2:1998
Concentración de sales - mortero	NORMAL 13/83
<i>Microanálisis y definición de características de textura</i>	
Microscopía de luz polarizada (MLP)	
Microscopía electrónica de barrido ambiental/ espectroscopia de energía dispersiva (MEBA/EDS)	
Análisis de Microsonda Electrónica (AME)	
<i>Propiedades y características relativas al espacio de poros</i>	
Porosidad accesible al agua	RILEM I.1
Porosidad libre y coeficiente de saturación	RILEM II.1
Densidad de masa principal y densidad real	RILEM I.2
Porosimetría de intrusión de mercurio (PIM)	
<i>Características de transporte de humedad</i>	
Coficiente de absorción de agua	ISO 15148
Permeabilidad al vapor de agua y factor de resistencia al	ISO 12572

vapor de agua	
Cinética de secado	RILEM II.5
Dilatación hídrica	RILEM II.7
Resistencia mecánica	
Resistencia a compresión - piedra	BS EN 1926 (1999)
Otros	
Dilatación térmica	RILEM VI.3
Color	
Velocidad ultrasónica	

Partiendo de las propiedades físico-mecánicas medidas en la piedra, se utilizó el programa Wärme und Feuchte Instationär (WUFI) (Künzel 1995) para calcular el calor transitorio y el transporte de humedad. Este programa de simulación genera una representación gráfica de los perfiles de profundidad tanto de la humedad como de la temperatura para un ciclo anual, considerando condiciones ambientales aproximadas. Los parámetros básicos de medición, considerados aproximados, son: densidad aparente, porosidad, capacidad de calor específico y conductividad térmica, factor de resistencia al vapor de agua y coeficiente de transporte de líquidos en succión y redistribución. En ausencia de datos ambientales relativos a la región de Copán en un formato apropiado para el programa WUFI, se utilizaron como aproximación datos ambientales correspondientes a Nueva Orleans, EE.UU. disponibles a través del programa.

Resultados

CARACTERIZACIÓN DE LA PIEDRA DE COPÁN

Descripción petrográfica y mineralógica

El sitio arqueológico de Copán se ubica en la bolsa de un valle aluvial a lo largo del río Copán, a unos 620 metros por encima del nivel del mar; las cumbres que rodean el valle se alcanzan hasta alcanzar los 1,400 metros (Webster 1999). La roca madre del valle de Copán consiste fundamentalmente en depósitos volcánicos de la era Terciaria, producidos por el flujo de tufas riolíticas y andesíticas, de tufas de biotita y algo de basalto conocido regionalmente como el Grupo del Padre Miguel (Heiken et al. 1991; Kozuch 1991).

Con base en los análisis químicos y mineralógicos llevados a cabo utilizando difracción por rayos X (DRX) y fluorescencia por rayos X (FRX), así como con la microscopía óptica y la electrónica de barrido, puede afirmarse que la piedra del Valle de Copán utilizada principalmente en la construcción de la Escalinata Jeroglífica es una tufa verde vulcanoclástica de composición andesítica a riolítica. Esta tufa, cuyo color oscila entre el verde y el marrón amarillento, tiene una edad de 14 millones de años y originalmente contenía ceniza (vidrio volcánico) y grandes fragmentos minerales, tales como feldespato, cuarzo, mica y clorita alterada. Esta piedra ha sufrido alteraciones importantes desde su depósito y las zeolitas, el cuarzo y la sanidina han reemplazado en gran medida la matriz de vidrio original, mientras que los granos minerales que

se encontraban englobados en la misma han quedado reducidos debido a procesos de disolución o alteración. (Figs. 58a, b).

Tabla 3. Composición química y mineralógica correspondientes a cuatro muestras de bloques de piedra de Copán (BF1, 2, 5 y 6). (Las desviaciones estándar aparecen entre paréntesis. Cuando no hay desviación estándar, esto indica que la medición se llevó a cabo utilizando sólo una muestra.)

	<i>BF1</i>	<i>BF2</i>	<i>BF5</i>	<i>BF6</i>
Contenido de SiO ₂ (%)	70.45 (±0.07)	70.2	71.6	72.3
Contenido de fracción fina (<2 µm)				
Esméctica (arcillas expansivas)	Medio	Medio	Alto	Alto
Mordenita (zeolita)	Alto	Medio	Bajo	Bajo
Ilita (arcillas no expansivas)	Mediano	Bajo	Bajo	Bajo
Cuarzo	Trazas	Bajo	Trazas	Trazas

El contenido silíceo de la piedra, determinado mediante FRX, es de alrededor del 71% de SiO₂ por peso (promedio de las cuatro muestras). Existen variaciones importantes en el tipo, la cantidad y la homogeneidad de distribución de los cristales de mayor tamaño (feldespato, cuarzo, mica, etc.) y las de inclusiones basálticas oscuras entre las diferentes muestras de piedra de Copán. No obstante, la matriz de grano fino, que constituye la mayor parte de la piedra, tiene una composición más consistente, en la que microcristales de mordenita, cuarzo y sanidina han reemplazado en gran medida los fragmentos de vidrio volcánico durante el proceso de desvitrificación (Tabla 3).

El análisis por DRX de la fracción fina (<2 µm) de piedra molida de Copán muestra la abundancia de mordenita zeolítica en todas las muestras. No se detectó vidrio; sin embargo, hay presencia de arcillas: ilita (arcilla no expansiva) y una pequeña cantidad (entre el 2 y el 6%) de esméctica (arcilla expansiva). Cuando hay cantidades importantes de arcillas expansivas; la expansión debida a la exposición al agua líquida puede ser causa de estrés físico en la piedra, lo que puede constituir un factor importante en el proceso de deterioro (Figs. 59a, b).

Propiedades y características relacionadas con la porosidad

En la Tabla 4 se presentan las principales propiedades relativas a la porosidad de la piedra de Copán.

La piedra de Copán tiene una porosidad relativamente alta. La muestra BF6 presenta una porosidad total (N_t , medida en vacío) y una porosidad libre (N_{48} , porosidad abierta al agua por capilaridad) mayores a la de la muestra BF1. Esto demuestra que BF6 tiene más poros conectados, lo que permite que el agua penetre fácilmente por capilaridad (Fig. 60). Estas propiedades dan como resultado un mayor coeficiente de saturación (S_{48}) para ambas piedras. El coeficiente de saturación está relacionado con la susceptibilidad de la piedra ante la helada, en caso de que la temperatura descienda por debajo de los 0 grados centígrados. De igual modo, se relaciona con la

susceptibilidad a sufrir deterioros ocasionados por sales, en caso de haber presencia de éstas. Cuando el coeficiente de saturación (S_{48}) está más que 0.85, se considera que la piedra es susceptible de sufrir daños; cuando S_{48} está entre 0.75 y 0.8, la piedra tendrá una resistencia moderada; cuando S_{48} está menos de 0.75, se considera que la piedra tiene una buena resistencia al congelamiento y al deterioro por sales.

La distribución de tamaño de poro, obtenida mediante Porosimetría por Intrusión de Mercurio (Fig. 61) revela que todas las muestras tienen más de la mitad del volumen total de poros compuesto por poros menores a $0.1 \mu\text{m}$. Estos poros generalmente se consideran microporos en los que puede producirse condensación por capilaridad. En contraste con esta alta microporosidad, todas las muestras exhibieron un pequeño porcentaje (de entre el 1.2% y el 7.2%) de poros mayores a $5 \mu\text{m}$, que es la dimensión en la que el agua líquida puede circular libremente dentro de dichos poros.

Tabla 4. Principales propiedades relacionadas con la porosidad de las cuatro muestras de bloques de piedra de Copán (BF1, 2, 5 y 6). (Las desviaciones estándar se muestran entre paréntesis. Cuando no hay desviación estándar, esto indica que la medición se llevó a cabo utilizando sólo una muestra. PIM = porosimetría por intrusión de mercurio.)

	<i>BF1</i>	<i>BF2</i>	<i>BF5</i>	<i>BF6</i>
Porosidad accesible al agua - N_t (%)	23.8 (± 2.2)	/	/	33.8
Porosidad libre - N_{48} (%)	19.4 (± 3.3)	/	/	31.9
Coefficiente de saturación - S_{48} (sin unida de medida)	0.81 (± 0.08)	/	/	0.94
Densidad aparente - ρ_{aparente} (kg/m^3)	2323.8 (± 80.5)	/	/	2473.0
Densidad real - ρ_{real} (kg/m^3)	1769.1 (± 36.2)	/	/	1636.0
Porosidad total - PIM (%)	32.15 (± 2.98)	20.06	24.92	32.17
Porcentaje de volumen total de poros - PIM (%)	<i>BF1-1</i>	<i>BF1-2</i>		
Diámetro de poro $> 5 \mu\text{m}$	3.3	2.9	7.2	2.8
$0.1 \mu\text{m} < \text{diámetro de poro} < 5 \mu\text{m}$	28.3	43.3	9.0	21.9
Diámetro de poro $< 0.1 \mu\text{m}$	68.4	53.8	83.8	75.3

Figura 60. Datos sobre porosidad correspondientes a las muestras BF1 y BF6.

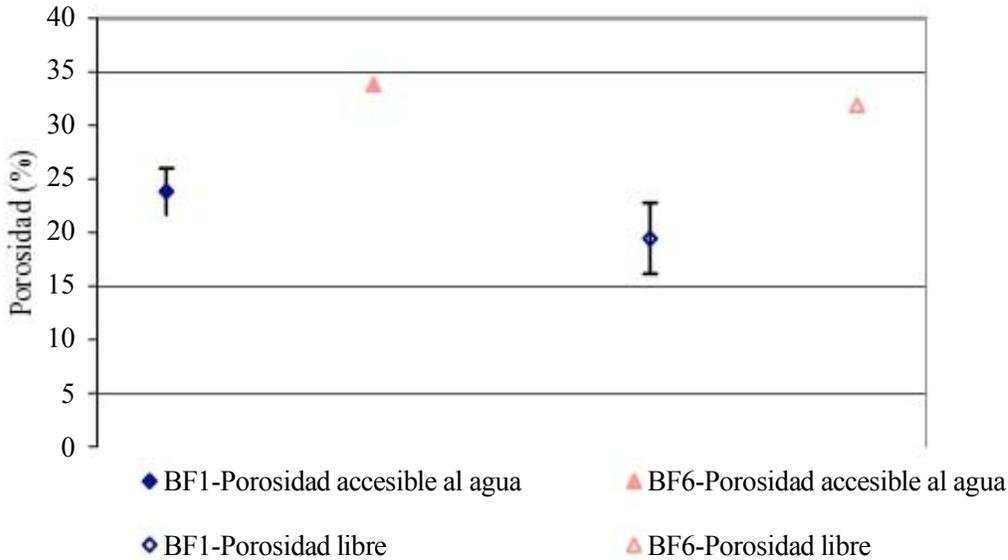
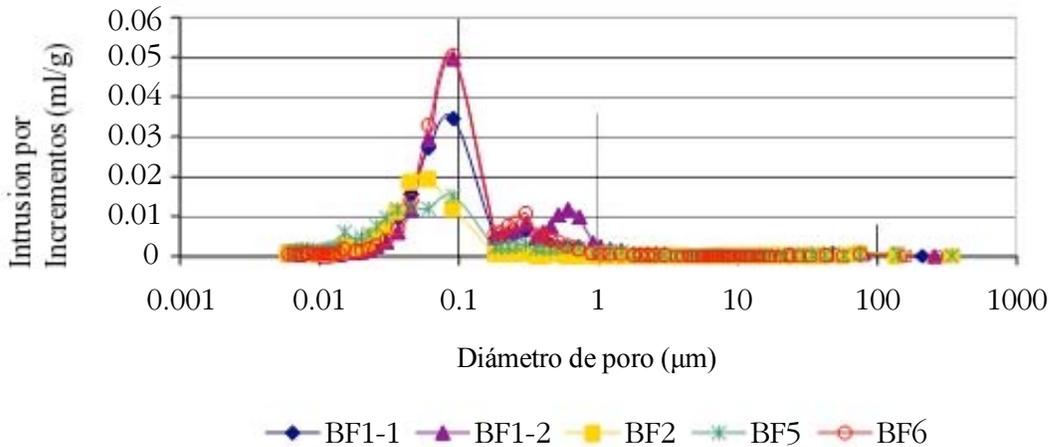


Figura 61. Distribución de tamaño de poro, determinada mediante porosimetría por intrusión de mercurio.



Características de transporte de humedad

Las principales propiedades relativas a las características de transporte de humedad de la piedra de Copán se presentan en la Tabla 5.

Las muestras presentan una amplia gama de valores de coeficiente de absorción de agua (valores W), que oscilan entre los $0.66 \text{ kg/m}^2 \sqrt{\text{h}}$, valor muy bajo y similar al que presenta una piedra caliza muy densa o un mármol alterado, y los $3.24 \text{ kg/m}^2 \sqrt{\text{h}}$, valor típico de una piedra caliza o arenisca porosa. El amplio rango de valores en el coeficiente de absorción de agua indica que las diferentes muestras de piedra de Copán presentan distintos comportamientos en relación con su capacidad de transporte de agua en estado líquido. Algunas muestras, la muestra BF1 en particular, absorben el agua de manera mucho más lenta que otras. El coeficiente de absorción de

agua es un parámetro importante, pues controla en parte la ubicación de la superficie de contacto entre el agua y el aire, lo que afecta al lugar donde se acumulan las sales solubles, en caso de haberlas, así como las tensiones que sufre la piedra al mojarse y secarse.

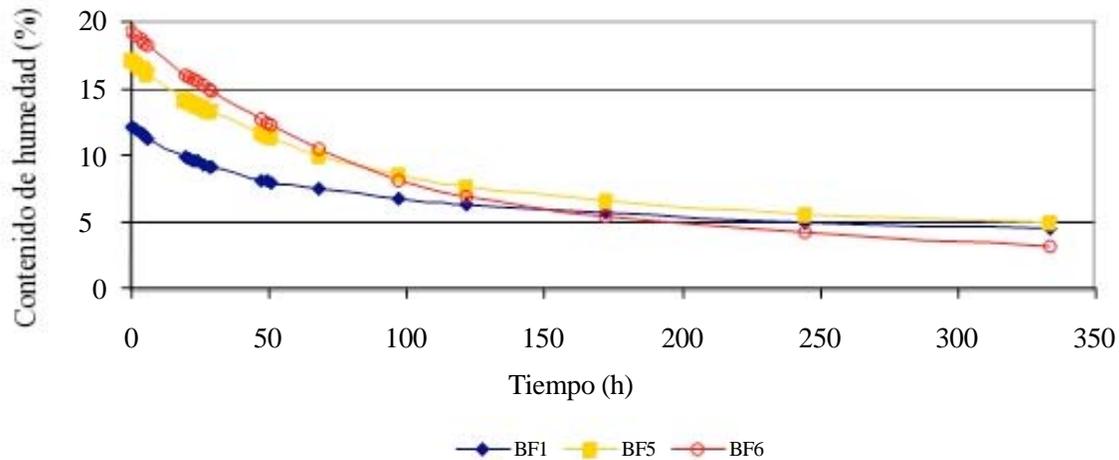
Tabla 5. Propiedades relacionado a características de transporte de humedad en las cuatro muestras de piedra de Copán (BF1, BF2, BF5, y BF6). (Las desviaciones estándar se dan en paréntesis. Cuando no hay desviación estándar, esto indica que la medición se llevó a cabo utilizando sólo una muestra.)

	<i>BF1</i>	<i>BF2</i>	<i>BF5</i>	<i>BF6</i>
Coefficiente de absorción de agua - W (kg/[m ² •√h])	0.66 (±0.03)	2.39 (±0.18)	1.54 (±0.09)	3.24 (±0.26)
Permeabilidad al vapor de agua - δ_p (g/[m•h•Pa])	2.15 (±0.05)•10 ⁻⁵	/	2.83 (±0.32)•10 ⁻⁵	2.82 (±0.12)•10 ⁻⁵
Factor de resistencia al vapor de agua - μ (adimensional)	29.1 (±0.8)	/	22.3 (±2.7)	22.2 (±0.9)
Cinética de secado				
Densidad de tasa de flujo de vapor - g (g/[cm ² •s])	2.4•10 ⁻⁶	/	2.4•10 ⁻⁶	2.7•10 ⁻⁶
Tiempo crítico - t_c (h)	10-15	/	19-24	17-22
Dilatación hídrica				
Orientación 1- ϵ (µm/m)	277 (±20)	/	252	268 (±16)
Orientación 2- ϵ (µm/m)	590 (±76)	/	442 (±42)	/

Los resultados indican que las tasas relativas de transporte de vapor son bajas y similares para todas las muestras, con variaciones entre 22.2 y 29.1. Para efectos de comparación, un valor μ de 40 es la media para las piedras calizas, en tanto que 200 es la media para un mármol. Estos bajos valores de μ explican en parte, el lento proceso de secado observado en todas las muestras (Fig. 62).

Tras casi dos semanas, todas las muestras seguían teniendo un contenido importante de humedad y ninguna alcanzó el nivel (T_{eq}). Sin embargo, se pudieron observar diferencias en la velocidad de secado entre las diferentes muestras; BF1, la muestra con el menor nivel inicial de contenido máximo de humedad resultó ser la de secado más lento. El horizonte de evaporación se anula por debajo de la superficie, distinguiendo el final del período de secado debido totalmente al transporte de agua en estado líquido, aproximadamente entre 10 y 15 horas (T_C) después del último humedecimiento capilar máximo, mientras que las muestras BF5 y BF6 alcanzan su tiempo crítico (T_C) después de alrededor de 20 horas aproximadamente.

Figura 62. Tiempos de secado de las tres muestras de piedra de Copán.



Las mediciones de dilatación hídrica en la piedra de Copán se encuentran dentro del rango esperado para este tipo de piedra, presentando variaciones significativas dependiendo de la orientación de la muestra. Un factor importante que contribuye a esta dilatación hídrica es la cantidad de arcillas expansivas que contiene el material; sin embargo, los resultados de la DRX correspondientes a estas tres muestras indican una cantidad media de esmectita en la muestra BF1 y una cantidad alta para las muestras BF5 y BF6, diferencia que no se correlaciona con los datos de dilatación hídrica.

Otras características físico-mecánicas

Las muestras de piedra de Copán generalmente presentan una resistencia a la compresión bastante alta, lo que indica que se trata de un material resistente. Como comparación, una resistencia a la compresión de 100 N/mm^2 sería un valor típico para una piedra caliza densa y resistente, en tanto que un valor de 50 N/mm^2 correspondería a una piedra caliza del tipo más débil. Sin embargo, existe una diferencia importante entre las muestras: BF6 presenta una resistencia de aproximadamente la mitad de la de BF1, mientras que la muestra BF5 se ubica en el punto medio entre una y otra. Las piedras con mayor resistencia a la compresión tienden a tener una menor porosidad, tendencia que se verifica en las muestras BF1 y BF6 (Tabla 6).

Los coeficientes de dilatación térmica muestran una amplia gama de valores, que van desde un nivel bajo (BF5, $4.00 \mu\text{m/m}\cdot^\circ\text{C}$) hasta uno alto (BF1, $8.25 \mu\text{m/m}\cdot^\circ\text{C}$). Según el monitoreo ambiental, la piedra no protegida de Copán puede experimentar una variación diaria de temperatura próxima a los 50°C , lo que se traduce en una dilatación térmica de entre 200 y $412.5 \mu\text{m/m}$ en el curso de un día, medida que se halla en el mismo orden de magnitud que la obtenida por dilatación hídrica. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el enfriamiento o el calentamiento de las superficies es un proceso mucho más lento que el proceso de humedecimiento por lo cual, en un momento determinado, el gradiente térmico entre la superficie de la piedra y su interior probablemente sea menor que el gradiente hídrico. En consecuencia, aún si la dilatación térmica e hídrica presentan el mismo orden de magnitud, la tensión que las piedras experimentan por efecto de la variación de temperatura muy probablemente sea menor que la tensión ejercida por la variación en el contenido de agua.

Tabla 6. Otras características físico-mecánicas de las cuatro muestras de bloque de piedra de Copán (BF1, 2, 5 y 6). (Las desviaciones estándar se dan en paréntesis. Cuando no hay desviación estándar, esto indica que la medición se llevó a cabo utilizando sólo una muestra.)

	<i>BF1</i>	<i>BF2</i>	<i>BF5</i>	<i>BF6</i>
Resistencia a la compresión - (N/mm ²)	104.1 (±12.8)	/	81.5 (±9.6)	54.1 (±2.9)
Dilatación térmica - α (µm/m•°C)	8.25 (±1.06)	/	4.00 (±2.83)	6.25 (±0.35)
Color - L*a*b*	66.24/-3.14/+10.26	/	/	70.85/+0.55/+9.03
Velocidad ultrasónica - V _L (km/s)	2.6 (±0.1)	/	2.6 (±0.3)	/

Las mediciones de color de piedras recientemente cortadas llevadas a cabo en el laboratorio utilizando un colorímetro muestran que la muestra BF1 es una piedra verde, en tanto que la muestra BF6 es una piedra parda amarillenta. Ambas muestras difieren esencialmente en su valor a*; la piedra verde de la muestra BF1 tiene un valor a* negativo, mientras que la piedra parda amarillenta de la muestra BF6 tiene un valor a* positivo (ver Fig. 63).

La velocidad ultrasónica es similar en todas las muestras en un rango medio para piedras.

CARACTERIZACIÓN DE LAS ESCAMAS DE PIEDRA DE COPÁN DE LA ESCALINATA JEROGLÍFICA

Microanálisis y determinación de características de textura

En la Escalinata Jeroglífica con frecuencia se han observado eflorescencias blancuzcas en la parte posterior de las escamas que se desprenden de la superficie de la piedra. Un examen microscópico con luz polarizada de secciones de seis escamas de piedra típicas muestra la presencia de grietas paralelas a la superficie de las mismas, las cuales están parcialmente rellenas por cristales blancos. Bajo luz ultravioleta, este material de relleno resulta ser más fluorescente que la piedra, lo que sugiere la incorporación de material orgánico (Druffel 1997). El análisis por Microscopía Electrónica de Barrido Ambiental/Espectroscopia de Energía Dispersiva (ESEM/EDS por sus siglas en inglés) revela una precipitación de calcita a lo largo de dichas grietas (Figs. 64a–e). El mismo análisis muestra que en la superficie interna de las escamas, superficie que forma el plano de desprendimiento, hay una menor proporción de sílice y oxígeno, lo que sugiere una disolución selectiva de estos componentes a lo largo del proceso de alteración.

Adicionalmente, las grietas presentes en las escamas a menudo están rellenas con materia orgánica, incluyendo restos de hifas de hongos (Figs. 65a, b), que algunas veces se asocian con la formación de calcita (Chen, Blume y Beyer 2000).

Contenido de sales

El contenido de sales solubles en siete escamas de piedra de Copán procedentes de la Escalinata se midió utilizando Cromatografía de Iones (ver Tabla 7).

Tabla 7. Resultados de la cromatografía de iones para aniones y cationes solubles en agua procedentes de muestras de siete escamas de piedra de Copán.

<i>Muestras</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Aniones (mg/g)</i>				<i>Cationes (mg/g)</i>				
		<i>Cl⁻</i>	<i>NO₃⁻</i>	<i>PO₄³⁻</i>	<i>SO₄²⁻</i>	<i>C₂O₄²⁻</i>	<i>Na⁺</i>	<i>K⁺</i>	<i>Mg²⁺</i>	<i>Ca²⁺</i>
EE-06	12/172-173	0.06	0.54	0.00	1.11	Bajo	0.90	0.20	0.10	4.00
EE-07	12/Fig. Sedente 1	0.04	0.10	0.00	0.38	Mod.	0.60	0.30	0.10	4.70
EE-14	50/462	0.05	0.06	0.00	0.10	Bajo	0.30	0.60	0.10	3.80
EE-19	63/595	0.22	0.37	0.16	17.19	Mínimo	1.80	0.70	0.20	7.00
EE-20	63/589	0.27	1.35	0.00	19.43	Mínimo	1.40	0.70	0.20	12.40
EE-21	11/71	0.04	0.30	0.00	0.23	Mod.	0.00	0.10	0.10	4.00
EE-24	Fig. Sedente 1	0.06	0.07	0.11	0.34	Mod.	1.30	0.20	0.10	3.30

Los resultados muestran generalmente concentraciones bajas y moderadas de sales, excepto para los sulfatos observados en las muestras EE-19 (bloque 595) y EE-20 (bloque 589) del escalón 63 que, en correlación con altas cantidades de calcio, pueden atribuirse a la presencia de sulfato de calcio o yeso. Todas las muestras presentan una gran cantidad de calcio que puede atribuirse, según se ha visto anteriormente, a la presencia de calcita, generalmente observada detrás de las escamas desprendidas de la Escalinata Jeroglífica.

MODELO WUFI

Se midieron las propiedades físico-mecánicas de la piedra y, debido a la ausencia de datos ambientales relativos a Copán en un formato apropiado, se utilizaron datos climáticos correspondientes a Nueva Orleans, Louisiana, en los Estados Unidos, para calcular las representaciones gráficas de los perfiles de profundidad de humedad y temperatura de la piedra a lo largo de un año, para lo cual se utilizó el programa informático WUFI (Künzel 1995). Las Figuras 66a y 66b muestran los resultados de las simulaciones realizadas bajo dos situaciones diferentes. El lado izquierdo (Fig. 66a) simula una situación sin protección, mientras que el lado derecho (Fig. 66b) simula una situación con protección equivalente a la que brinda la lona que actualmente protege las piedras de la Escalinata.

Las gráficas superiores representan los perfiles de profundidad calculados para la temperatura de la piedra, mientras que las gráficas inferiores representan los perfiles de contenido de agua en la piedra (en azul) y los perfiles de humedad relativa de la piedra (en verde). Las líneas no representan el promedio, sino el estado final al concluir el ciclo anual. Las áreas coloreadas ilustran el rango típico de valores abarcados en un año.

Como era de esperar, el modelo WUFI indica que la piedra sin proteger (es decir, la que no está cubierta por la lona) presenta una temperatura máxima de superficie significativamente superior a la de la piedra protegida, llegando a alcanzar valores por encima de los 45° C. En el caso de la piedra protegida, la temperatura de superficie considerada por el modelo está más amortiguada y no excede los 35° C.

Los diagramas inferiores muestran la interacción de la piedra con el agua. Sin la protección que brinda la lona, la piedra podría contener una importante cantidad de agua, que podría alcanzar hasta los 200 kg/m³ de agua en la superficie, lo que corresponde al contenido de agua máximo de la piedra a presión atmosférica, con una profundidad de penetración máxima de la zona húmeda de 5 mm. La extensión de la zona húmeda corresponde al grosor típico de las escamas halladas en la Escalinata, las cuales son el resultado de anteriores procesos de alteración. En el caso de la

piedra protegida, puede producirse un proceso de secado continuo de la piedra. Los cálculos del programa WUFI finalmente ilustran la influencia benéfica de la protección que proporciona la lona, al evitar ciclos regulares de humedecimiento/secado.

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DE TRATAMIENTO PREVIOS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA ESCALINATA

Tanto las fuentes orales como las escritas mencionan el uso, en décadas pasadas, de la resina acrílica Paraloid B-72, así como de la resina de acetato de polivinilo Mowilith 30 para tratar las superficies de piedra de la Escalinata Jeroglífica. Se caracterizaron once muestras de materiales previamente tratados, con el fin de confirmar su naturaleza, utilizando Espectroscopia Infrarroja transformada por Fourier. El análisis reveló que se usaron tanto Paraloid B-72 como Mowilith 30 mezclados con polvo de piedra para llevar a cabo ribeteos y que también se utilizó Paraloid B-72 como consolidante de superficie. También se confirmó el hecho de que estos dos productos pueden distinguirse correctamente en el campo por su comportamiento ante la impregnación con acetona: el Paraloid B-72 se reblandeció con la acetona, permitiendo su eliminación gradual, mientras que el Mowilith 30 permanece quebradizo y compacto y es más difícil de eliminar.

CARACTERIZACIÓN DE MORTEROS DE INTERVENCIÓN UTILIZADOS EN LA ESCALINATA

La investigación documental indica que todos los morteros de intervención utilizados en la Escalinata muy probablemente sean modernos y han sido elaborados a base de cemento; datados desde el período de reconstrucción de finales de la década de 1930 en adelante. Se tomaron nueve muestras de diferentes áreas de la Escalinata para llevar a cabo su caracterización.

Composición química y caracterización de textura

Se analizaron tres muestras para determinar los componentes de mezcla, la relación aglutinante/agregado, la granulometría de los agregados y la presencia de sales solubles. Además, se determinó la absorción de agua para dos muestras, y se llevó a cabo un examen petrográfico en una tercera muestra. Los resultados se resumen en la Tabla 8.

Se determinó que el aglutinante en todas las muestras estaba compuesto por cemento Portland en proporciones que oscilaban entre 1:6 (S1) y 1:3 (S2). La muestra S1, además de presentar la menor cantidad de cemento Portland, contiene una arena mucho más fina, inferior a 75µm, mientras que de las muestras S2 y S3 contienen arenas razonablemente bien graduadas.

Tabla 8. Datos de composición química para las tres muestras (S1, S2 y S3) de morteros de resane de la Escalinata Jeroglífica.

	S1	S2	S3
Constituyentes de la mezcla	Cemento Portland: arena		
Proporciones de la mezcla (por volumen)	1 : 6	1 : 3	1 : 4
Absorción de agua (% por peso)	/	7.1	9.8
Sales solubles			
Cloruros	Nada	Nada	Nada
Nitrato	Nada	Pequeña cantidad	Nada

A excepción del tamaño de partícula, en general se identificaron arenas similares en las tres muestras. Como era de esperar, la muestra S2, que contiene la mezcla más rica, presenta una absorción de agua menor que la muestra S3. El examen petrográfico de la muestra S1 indica una mezcla y compactación pobres, razón por la cual cabría esperar que su porosidad fuese mayor que la de las muestras S2 y S3 (Sandberg Consulting Engineers 2000). Las verificaciones cualitativas revelaron una pequeña cantidad de nitratos en la muestra S2. El contenido de sulfatos solubles en ácido que se determinó durante el análisis general indicó niveles normales de sulfatos.

El análisis de textura de láminas delgadas de seis muestras adicionales de mortero de intervención tomadas de la Escalinata confirmaron los resultados previos. Estas últimas muestras revelan un amplio rango de textura y de graduación granulométrica, según se ilustra en la Figuras 67a y 67b.

Contenido de sales

Se midió el contenido de sales solubles en ocho muestras de mortero tomadas de la Escalinata, utilizando el método de cromatografía de iones (ver Tabla 9).

Los resultados indican contenidos en sales de bajos a medianos en todas las muestras de mortero, excepto en las muestras M5, M6, EE-02 y EE-03.

Tabla 9. Resultados de la cromatografía de iones para aniones y cationes solubles en agua, procedentes de ocho muestras de mortero de intervención tomadas de la Escalinata. N.A. = no se analizó.

Muestras (Ubicación)	Aniones (mg/g)					Cationes (mg/g)				
	F -	Cl -	NO ₃ -	PO ₄ 3-	SO ₄ 2-	Na +	NH ₄ ⁺	K +	Mg 2+	Ca 2+
M1 (13/93-94)	0.01	0.08	0.68	0	0.62	0.07	0	0.13	0.06	0.46
M2 (Fig. Sedente 3, Escalones 34-35)	0.03	0.37	0.23	0	0.67	0.40	0.04	0.41	0.01	0.33
M3 (53/501-Bal. S.)	0.01	0.03	0.13	0	0.40	0.08	0.01	0.19	0	0.39
M4 (57-58/Bal. N.)	0.03	0.13	0.15	0	0.52	0.19	0	0.10	0	0.37
M5 (63/589-Bal. N.)	0.06	1.36	6.66	0	3.55	0.14	0	0.45	0	4.84
M6 (63/599-Bal. S.)	0	0.30	3.73	0	0.58	0.11	0.02	0.21	0	1.48
EE-02 (4/11)	N.A.	0.08	1.96	0.10	0.27	0.10	N.A.	0.30	0.10	4.80
EE-03 (25/216)	N.A.	0.54	5.63	0	1.91	0.10	N.A.	0.10	0	14.40

Estas cuatro muestras presentan concentraciones muy altas de nitratos (6.66 mg/g y 3.73 mg/g, respectivamente) y de calcio (4.84 mg/g y 1.48 mg/g). Además, la muestra M5 y, en menor medida, la muestra EE-03, presentan altas concentraciones de sulfatos (3.55 mg/g) y de cloratos (1.36 mg/g). Debe hacerse notar que las dos muestras de escamas de piedra del escalón 63 no presentaron altas concentraciones de cloratos ni de nitratos, pero ambas exhibieron una altísima concentración de sulfatos.

Conclusiones

PIEDRA DE COPÁN

Los análisis científicos han demostrado que la piedra de Copán es tufa volcánica andesítica a riolítica, con contenido de ceniza (vidrio volcánico) y de grandes fragmentos minerales, así como una pequeña cantidad de arcillas expansivas (2%–6%). A su vez, presenta una porosidad total relativamente alta, así como una alta microporosidad.

Sus características de transporte de humedad abarcan un amplio rango de valores; en particular, el valor más alto de coeficiente de absorción de agua detectado es casi cinco veces mayor que el valor de la muestra que presentó el valor más lento de absorción de agua. Todas las muestras de piedra de Copán presentaron un secado lento, lo que hace que mantengan humedad en su interior de manera prolongada; sin embargo, la muestra con una absorción de agua más lenta también resultó ser la de secado más lento.

Todas las muestras de piedra de Copán presentan una resistencia a la compresión bastante alta; pero en este caso, una vez más, la variación entre muestras es importante, ya que algunas presentan el doble de resistencia a la compresión que otras. Pueden observarse diferencias similares en los índices de dilatación térmica.

El perfil de características obtenido muestra que se trata de una piedra que, a pesar de presentar una composición general bastante homogénea, presenta importantes variaciones en el tipo, cantidad y homogeneidad de distribución de los cristales minerales mayores que contiene, así como un amplio rango de valores en relación con varias propiedades físicas y comportamientos mecánicos.

POSIBLES CAUSAS DE DETERIORO E HIPÓTESIS SOBRE MECANISMOS DEL MISMO

Presencia de agua

Una característica importante de las escamas de piedra desprendidas de la Escalinata que se identificó a través del análisis de láminas delgadas fue la presencia de grietas paralelas en superficie, parcialmente rellenas de calcita precipitada. No pudo esclarecerse por completo el origen de estas grietas paralelas a la superficie que, con el tiempo, ocasionan el desprendimiento de láminas o escamas superficiales de piedra (exfoliación) que es el fenómeno de deterioro más común en la Escalinata. Podrían ser el resultado de ciclos sucesivos de humectación y secado, asociados con la dilatación de la superficie de la piedra por efecto del agua provocado por la lluvia, mientras que la parte interior de la piedra se mantiene seca. Esto genera un diferencial que, a su vez, produce tensiones de corte. De hecho, el grosor de las escamas corresponde a la ubicación, en profundidad, del máximo contenido de humedad en la piedra de Copán, en un promedio temporal calculado por el informático WUFI en el caso de una de las muestras de piedra. La disolución selectiva del sílice amorfo más soluble en el horizonte de contenido máximo de humedad, manifestado por la disminución en la proporción de sílice observada; también se detectó en las láminas delgadas y puede asociarse con el fenómeno de exfoliación.

Además, la presencia de agua genera tensiones cíclicas debidas a la expansión y contracción física de las arcillas y/o del material orgánico que contiene la piedra, en respuesta a los ciclos de humedecimiento y secado. Estas tensiones parecen haber favorecido el desarrollo de microgrietas y contribuyen al desprendimiento de escamas en la superficie de la piedra.

La instalación de la lona para proteger la Escalinata desde el año 1985 prácticamente ha eliminado la presencia de agua. Se supone que el transporte prevaleciente de vapor de agua a través de la piedra, desde el interior hacia el exterior, según es de esperar en las condiciones actuales bajo la lona, supuestamente no tiene un impacto negativo en el proceso de alteración. Los datos del monitoreo ambiental reciente muestran condiciones relativamente secas en el área cubierta de la Escalinata, en contraste con la situación antes de que fuese instalada la cubierta, cuando la lluvia mojaba regularmente las superficies de la piedra.

Sales

La mayoría de los materiales de la escalinata se encuentran actualmente contaminados con concentraciones relativamente bajas de sales y, en la mayoría de los casos, no se considera que la presencia de estas sales sea una causa de deterioro. Sólo se han detectado altas concentraciones de sales en algunas secciones de la Escalinata, en particular en el escalón 63, tanto en las escamas desprendidas de la piedra como en las muestras de mortero analizadas, aunque esta situación no representa actualmente un problema para el resto de la Escalinata. Se detectaron altas concentraciones de sulfatos tanto en las muestras de piedra como en las muestras de mortero; sólo las muestras de mortero presentaron nitratos. Esas concentraciones probablemente se deban a la plataforma adyacente, elaborada principalmente a base de cemento. El nitrato a menudo se asocia con la presencia de materia orgánica y de desechos de aves y actualmente presenta niveles más bajos en el resto de la Escalinata, como cabría esperar en un área con abundante materia orgánica y una alta tasa de descomposición de la misma.

Morteros de cemento

El análisis de morteros confirmó el hecho, conocido a través de la investigación documental, de que los morteros de intervención presentes en la Escalinata son modernos y han sido elaborados a base de cemento y presentan diversas resistencias y calidades de aplicación. Antes de que se instalara la lona, las juntas de mortero de cemento, podrían haber sido una fuente potencial de deterioro, no tanto por su elevada resistencia mecánica, ya que la piedra de Copán presenta una resistencia a la compresión comparativamente alta, sino debido a la densidad del mortero y a su baja capacidad de transporte de agua. Las diferencias en comportamiento de transporte de agua entre la piedra y el mortero podrían forzar la evaporación de humedad y su salida a través de las superficies de las piedras adyacentes y no en lugar de a través de las juntas de mortero, lo que aumentaría la posibilidad de la aparición de daños inducidos por la presencia de agua (cristalización de sales, dilatación hídrica, etc.). Sin embargo, no se observó evidencia alguna de deterioro en la piedra adyacente a las juntas de cemento; y a menudo, sí se observó la aparición de grietas en la interfase entre la piedra y el cemento, debidas sobre todo a una mano de obra pobre en el momento de la aplicación del mortero.

Materiales de intervención anteriores

Las resinas Paraloid B-72 y Mowilith 30 que se utilizaron en tratamientos anteriores de superficie y de ribeteo podrían haber tenido efectos perjudiciales en los materiales, al reducir las tasas de transferencia de agua en los sitios en los que se aplicaron; no obstante, esto sólo es una hipótesis que aún no se ha podido confirmar a partir de los datos obtenidos

Transformación química de minerales

Muchos informes científicos previos consideraron que la transformación química de los minerales que componen la piedra constituye el mecanismo principal de deterioro de la piedra de Copán.

Sin embargo, a partir de lo publicado en la bibliografía geológica, actualmente sabemos que la mayor parte de las transformaciones de los minerales compuestos por silicatos, tales como la transformación de feldespatos en arcillas, son procesos demasiado lentos como para constituir un factor importante en el deterioro de la piedra de la Escalinata a partir del momento de su excavación.

Monitoreo ambiental

En septiembre de 2000, se sostuvieron varias reuniones de trabajo para discutir los esfuerzos de conservación que se estaban realizando para la Escalinata Jeroglífica de Copán, Honduras. Los participantes incluyeron miembros del Getty Conservation Institute (GCI) y del Instituto Hondureño de Antropología e Historia (IHAI), así como varios consultores externos (Getty Conservation Institute 2000b). Una de las conclusiones derivadas de estas reuniones fue la necesidad de realizar el monitoreo ambiental como un complemento necesario para el estudio de las condiciones y análisis de la piedra, que el GCI ya había puesto en marcha, enfatizando la necesidad de investigar temas como la filtración de humedad y el drenaje en la Escalinata, así como la colección de datos de la velocidad y dirección del viento y la intensidad de la precipitación pluvial.

En los años 1985 y 1986, la cubierta de lona se colocaba únicamente durante las estaciones de lluvias de los años (Larios V. 1985c: 3), pero a partir de 1987 se dejó de manera permanente para proteger la Escalinata Jeroglífica contra los efectos del medio y en particular de la lluvia. Aunque se consideró que la presencia de esta protección había sido beneficiosa para las condiciones generales de la Escalinata, el microclima resultante bajo la lona, así como el medio ambiente en la superficie y sub-superficie de la Escalinata aún no habían sido examinados. Adicionalmente, se necesitaba un monitoreo ambiental para aumentar la escasa información climática que se tenía en general para el sitio arqueológico.

En respuesta a estas lagunas de conocimiento, el GCI estableció dos estaciones de monitoreo ambiental en Copán en marzo del año 2001: una de ellas ubicada en la parte superior de la Escalinata Jeroglífica (Estación Escalinata) y la otra en la Plaza de los Jaguares (Estación Jaguares) (Fig. 68).

Estaciones de monitoreo ambiental

La estación de monitoreo ambiental de la Escalinata Jeroglífica se diseñó para registrar las condiciones climáticas, así como las condiciones de superficie y sub-superficie de la Escalinata, con el fin de comprender mejor su interacción. Se midieron parámetros climáticos generales (temperatura del aire, humedad relativa, precipitación pluvial, radiación solar, velocidad y dirección del viento) en el extremo sur de la plataforma que corona la Estructura 26 (la Escalinata está construida en la cara oeste de esta estructura). A pesar de su elevación, 35 metros por encima del nivel del piso de la Gran Plaza, los datos climáticos colectados en la Estación Escalinata están influenciados por la presencia de vegetación hacia el norte y por las estructuras cercanas hacia el sureste y el suroeste, que le proporcionan una protección parcial del entorno natural (Fig. 69).

La red de sensores, colocada a lo largo de la Escalinata cubierta, permitió conocer las condiciones ambientales de superficie y sub-superficie de ésta. Entre los parámetros ambientales medidos de manera directa en la Escalinata Jeroglífica se incluyen la temperatura de superficie, la temperatura de sub-superficie y la humedad relativa, la iluminación y el tiempo de humedad del perímetro.

En la estación de monitoreo ambiental Jaguares, ubicada en el borde oriental de la Plaza de los Jaguares, también se colectó información climática del lugar. Aunque los parámetros medidos en ambas estaciones resultaron similares, los datos climáticos colectados en la Estación Jaguares proporcionaron una caracterización más general de las condiciones ambientales del sitio arqueológico, debido a que sus alrededores presentan menos obstrucciones que el lugar en el que se ubicó la Estación Escalinata (Fig. 70). Por este motivo, las condiciones climáticas generales de Copán se tienen que basar fundamentalmente en datos recolectados en la Estación Jaguares.

En ambas estaciones, se colectaron datos a intervalos de 15 minutos. Estos datos fueron transferidos diariamente, mediante transmisiones de radio de frecuencia ultra alta (UHF), a una estación base localizada en el Centro Regional de Investigaciones Arqueológicas (CRIA). El personal del IHAH enviaba los datos de monitoreo al GCI semanalmente mediante correo electrónico. El análisis presentado en esta sección reúne los datos colectados entre marzo de 2001 y septiembre de 2003 en la Estación Escalinata, así como los datos colectados entre marzo de 2001 y julio de 2003 en la Estación Jaguares (no hay datos para los meses de agosto y septiembre de 2003 en esta última estación). Apéndice E es el inventario del equipo utilizado a los dos sitios y en la estación central.

Clima general

El sitio arqueológico maya de Copán (latitud: 14°51'30" N, longitud: 89°09' W) está situado cerca de la frontera con Guatemala y El Salvador, en la llanura aluvial de los márgenes del río Copán en Honduras occidental. A pesar de encontrarse dentro de una región tropical, el clima de Copán es templado debido a su mayor elevación (a 600 m sobre el nivel del mar (Webster 1999). Por la falta de una estación climatológica activa, a una distancia razonable del sitio, el monitoreo del clima general en Copán fue un componente necesario del estudio de monitoreo ambiental. En este texto, los datos climáticos se presentan en formato de tabla (Tablas 10, 11); las cifras estacionales de los parámetros individuales se muestran también en el Apéndice E.

PRECIPITACIÓN PLUVIAL

El clima en el sitio arqueológico de Copán puede dividirse, a grandes rasgos, en una estación húmeda (de mayo a octubre) y una seca (de noviembre a abril), siendo la cantidad de precipitación pluvial la principal diferencia entre ambas. La precipitación pluvial de la estación húmeda en la Estación Jaguares constituyó el 90% del total acumulado (2,936 mm) durante el período de estudio (Apéndice E, Fig. E.1); de igual modo, los 15 minutos y las 24 horas de precipitación más abundante (19.4 mm el 13 de junio de 2001 y 71.6 mm entre el 23 y el 24 de octubre de 2001, respectivamente) también se registraron durante la estación húmeda. La precipitación pluvial anual promedio registrada en Copán en el período de estudio (1,013 mm) es similar a la de Tegucigalpa (918 mm - 14°05'N, 87°20'W), capital de Honduras, que tiene una elevación de 1,007 m sobre el nivel del mar, pero mucho menor que la registrada en la ciudad costera de Tela (2,786 mm - 15°72'N, 87°40'W) (Vose et al. 1992).

Aunque las tendencias se mantuvieron similares entre las dos estaciones, el total acumulado de precipitación pluvial en la Estación Escalinata (1,962 mm) fue aproximadamente un 20% menor al registrado en la Estación Jaguares. Esta reducción en la captación de precipitación podría deberse a la protección que ofrecen los árboles que rodean a la parte superior de la Estructura 26.

TEMPERATURA DEL AIRE Y RADIACIÓN SOLAR

La existencia de tendencias estacionales con referencia a la temperatura del aire (TA) y la radiación solar (RS) también resultó evidente en el sitio arqueológico de Copán. En ambos casos, el valor promedio de la estación húmeda (TA: 24.2°C, RS: 213.6 watts/m²) fue superior al de la estación seca (AT:22.0°C, SR: 170.3 w/m²) (Tabla 10). Este patrón puede atribuirse a las diferencias en la duración del día durante el verano (días más largos) y durante el invierno (días más cortos). A pesar de esta evidencia estacional, debe recalarse que la radiación solar diaria puede variar mucho con base en la cantidad de nubosidad presente. Las temperaturas estacionales promedio del aire registradas en Copán a lo largo de este estudio resultaron ser intermedias en relación con las observadas en las ciudades de Tegucigalpa (estación húmeda: 22.2° C; estación seca: 20.7° C) y Tela (estación húmeda: 27.5° C; estación seca: 25.0° C) (Vose et al. 1992).

Tabla 10. Estadísticas estacionales de la temperatura del aire (TA), humedad relativa (HR), temperatura del punto de rocío (TPR), relación de humedad (W), radiación solar (RS), precipitaciones (P), velocidad del viento (VV) y velocidad del viento de ráfaga (VVR) en a) la Estación de Monitoreo Ambiental Jaguares y b) la Estación de Monitoreo Ambiental Escalinata. Los datos se recolectaron de marzo del año 2001 a enero del año 2005 para la Estación Jaguares y de marzo del año 2001 a agosto del año 2004 para la Estación Escalinata. Las temporadas de lluvias y de secas van de mayo a octubre y de noviembre a abril, respectivamente (desv. est. = desviación estándar; DER = desviación estándar relativa; N = número de observaciones).

a) Jaguares

	TA (°C)		HR (%)		TPR (°C)		V (g/kg)		RS (W/sqm)		VV (m/seg.)		VVR (m/seg.)	
	Húm.	Seca	Húm.	Seca	Húm.	Seca	Húm.	Seca	Húm.	Seca	Húm.	Seca	Húm.	Seca
Promedio	24,14	22,07	79,49	75,82	19,70	16,76	15,89	13,32	216,35	178,09	1,25	1,51	1,74	2,12
Máx.	38,34	38,06	100,00	100,00	23,49	23,04	18,51	17,89	1224,00	1162,00	8,31	8,11	11,73	13,19
Mín.	16,70	9,82	18,46	13,81	8,11	1,92	6,73	4,34	0,00	0,00	0,45	0,45	0,45	0,45
Desv. est.	3,75	4,68	18,33	19,73	1,24	2,34	1,14	1,74	305,38	277,82	1,10	1,31	1,68	1,96
DER (%)	15,55	21,20	23,06	26,03	6,29	13,93	7,83	14,34	141,15	156,00	87,99	86,74	96,48	92,19
N	38623	35591	38623	35505	38623	35505	38623	35505	38623	35591	38623	35591	25029	23043

b) Escalinata

	TA (°C)		HR (%)		TPR (°C)		V (g/kg)		RS (W/sqm)		VV (m/seg.)	
	Húm.	Seca	Húm.	Seca	Húm.	Seca	Húm.	Seca	Húm.	Seca	Húm.	Seca
Promedio	24,20	22,34	78,46	74,45	19,49	16,66	15,68	13,13	185,42	179,38	0,90	1,07
Máx.	39,16	38,82	100,00	100,00	23,78	22,90	20,46	19,34	1150,00	1133,00	5,51	5,12
Mín.	14,42	9,85	18,24	13,23	8,19	1,64	7,37	3,79	0,00	0,00	0,45	0,45
Desv. est.	3,85	4,71	18,61	19,854	1,26	2,27	1,26	1,87	272,58	282,97	0,66	0,81
DER (%)	15,89	21,31	23,73	25,97	6,48	13,62	8,04	14,24	147,01	157,75	73,93	75,44
N	55409	49148	55409	49148	55409	49057	55409	49148	55409	49148	55409	49148

Durante el período de estudio, los valores máximo y mínimo de temperatura del aire que se registraron fueron 38.3° C (en ambas estaciones) y 9.8° C (durante la estación seca), respectivamente (Tabla 10). Aunque la variación diaria de la media de temperatura del aire (11° C) se mantuvo durante todo el año, el rango de variación diaria de temperatura durante la estación húmeda (2.3°C, desviación estándar) fue menor que la registrada para la estación seca (4.5° C, desviación estándar) (Tabla 11).

Tabla 11. Estadísticas estacionales de la temperatura del aire (TA), humedad relativa (HR), temperatura del punto de rocío (TPR), relación de humedad (W), en a) la Estación de Monitoreo Ambiental Jaguares y b) la Estación de Monitoreo Ambiental Escalinata. Los datos se recolectaron de marzo del año 2001 a enero del año 2005 para la Estación Jaguares y de marzo del año 2001 a agosto del año 2004 para la Estación Escalinata. Las temporadas de lluvias y de secas van de mayo a octubre y de noviembre a abril, respectivamente (desv. est. = desviación estándar; DER = desviación estándar relativa; N = número de observaciones).

a) Jaguares

	<i>TA (°C)</i>		<i>HR (%)</i>		<i>TPR (°C)</i>		<i>W (g/kg)</i>	
	<i>Húm.</i>	<i>Seca</i>	<i>Húm.</i>	<i>Seca</i>	<i>Húm.</i>	<i>Seca</i>	<i>Húm.</i>	<i>Seca</i>
Promedio	10,52	11,10	48,98	48,99	3,52	4,40	3,94	4,41
Máx.	16,89	21,82	72,64	82,28	13,50	12,90	8,12	12,97
Mín.	2,73	2,53	17,06	17,27	1,23	0,82	0,08	0,08
Desv. est.	2,26	4,48	8,21	15,38	1,31	2,25	1,24	2,65
DER (%)	21,49	40,39	16,77	31,40	37,24	51,08	31,48	60,02
N	406	381	406	381	406	381	406	381

b) Escalinata

	<i>TA (°C)</i>		<i>HR (%)</i>		<i>TPR (°C)</i>		<i>W (g/kg)</i>	
	<i>Húm.</i>	<i>Seca</i>	<i>Húm.</i>	<i>Seca</i>	<i>Húm.</i>	<i>Seca</i>	<i>Húm.</i>	<i>Seca</i>
Promedio	11,04	11,35	49,94	49,41	3,51	4,29	3,24	3,30
Máx.	17,19	23,24	73,42	82,22	13,25	15,28	9,31	8,59
Mín.	2,67	2,49	15,97	16,73	1,38	0,89	1,31	0,89
Desv. est.	2,20	4,44	7,60	14,87	1,23	2,23	0,96	1,50
DER (%)	19,91	39,13	15,21	30,09	34,97	51,95	29,61	45,91
N	575	487	575	487	575	487	575	487

HUMEDAD RELATIVA, TEMPERATURA DE PUNTO DE ROCÍO Y RELACIÓN DE HUMEDAD

Los datos de humedad relativa (HR), temperatura de punto de rocío (TPR) y relación de humedad (W) también mostraron variaciones estacionales marcadas. (La temperatura de punto de rocío y la relación de humedad se calcularon a partir de los datos de temperatura del aire y de humedad relativa.) Los valores medios de humedad relativa de la estación húmeda (79.5%), de temperatura de punto de rocío (19.7° C) y relación de humedad (15.9 g de agua/kg de aire seco) fueron superiores a los valores correspondientes a la estación seca (HR: 75.8%; TPR: 16.8° C; W: 13.3 g/kg) (Tabla 10). Esto se debe a que estos parámetros dependen de la presencia de agua, pues cada uno de ellos presenta fundamentalmente valores más elevados durante períodos de mayor humedad atmosférica.

Para cada una de estas variables, se registraron valores máximos (HR: 100%; TPR: 23.5° C; W: 20.2 g/kg) en ambas estaciones, mientras que los valores mínimos (HR: 13.8%; TPR: 1.9° C; W: 4.7 g/kg) se presentaron sólo durante la estación seca (Tabla 10). Las variaciones promedio diarias de humedad relativa (49%), la temperatura de punto de rocío (4° C) y la relación de humedad (4 g/kg) tampoco mostraron cambios drásticos de una estación a otra, sin embargo el rango de valores de variación diaria de estas variables aumentó durante la estación seca (Tabla 11).

VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO

Los vientos predominantes y las ráfagas en el sitio arqueológico de Copán proceden en gran parte de direcciones nor-noreste y este-noreste durante todo el año (Apéndice E, Figs. E.2a, b)). Aunque esta dirección del viento se mantuvo constante durante las lluvias, la infiltración de lluvia llevada por el viento bajo la protección de la Escalinata Jeroglífica podría estar relacionada principalmente por el perfil del viento localizado, resultante de la presencia de estructuras y vegetación circundantes.

Aunque la velocidad máxima promedio del viento, medida a intervalos de 15 minutos, fue de 8.3 m/s, se registraron ráfagas (promedio de 5 segundos) hasta de 13.1 m/s (**Tabla 10**). La velocidad promedio del viento durante la estación seca (1.51 m/s) también fue mayor que la registrada durante la estación húmeda (1.25 m/s) y las velocidades máximas del viento generalmente se produjeron entre el mediodía y las 6 de la tarde durante todo el año. Aunque la dirección del viento fue similar en ambas estaciones de medición, las velocidades del viento registradas en la Estación Escalinata fueron de alrededor de un 30% menores a las observadas en la Estación Jaguares, por lo que es posible que la vegetación circundante próxima a la parte superior de la Estructura 26 esté actuando como un cortavientos natural.

El perfil del viento en las cercanías inmediatas a la Escalinata Jeroglífica está afectado por la presencia de vegetación y estructuras cercanas, así como por la orientación hacia el oeste de la pirámide de la Estructura 26. Se presume que esta posición relativa crea un perfil del viento altamente variable y complejo, muy diferente al medido en la Estación Jaguares o en la Estación Escalinata (ubicada en la parte superior de la Estructura 26). Durante el período de estudio, la cubierta protectora sostuvo daños en dos ocasiones (la primera en fecha desconocida, la segunda el 17 de marzo de 2003), posiblemente como resultado de ráfagas de viento localizadas. Ambas roturas ocurrieron en el borde norte de la lona, aproximadamente a dos tercios de la parte superior de la estructura, midiendo desde el piso de la Gran Plaza; las roturas fueron de entre dos y tres metros de largo, en dirección perpendicular al borde. El estudio detallado del perfil del viento que rodea a la Escalinata posiblemente proporcionaría información muy útil para el diseño de una nueva cubierta de protección.

Escalinata Jeroglífica

Los parámetros ambientales medidos en la Escalinata Jeroglífica incluyeron temperatura de superficie, temperatura de sub-superficie, así como humedad relativa, iluminación y tiempo de humedad del perímetro. Se colocaron múltiples sensores para medir cada variable a lo largo y ancho de toda la Escalinata (Apéndice E, Figs. E.3a–c, E.4), con el fin de obtener la máxima cobertura y permitir la creación de mapas de contorno. Dentro del texto de este documento se muestra una selección de ilustraciones y en el Apéndice E se incluyen figuras adicionales, en relación con los parámetros de la Escalinata.

TEMPERATURA DE SUPERFICIE

Reflejando las tendencias en temperatura del aire, las temperaturas de superficie de la Escalinata Jeroglífica mostraron diferencias estacionales. Las temperaturas promedio de superficie durante la estación húmeda en la Escalinata oscilaron entre 25.8° C y 27.4° C, dando lugar a valores superiores al rango obtenido en la estación seca (23.4° C a 24.5° C) (Figs. 71a, b). Las temperaturas de superficie también fueron superiores a las temperaturas del aire, tanto durante el

día como durante la noche, lo que evita la formación de condensación en la interfaz entre la superficie y el aire y limita la actividad microbiana en la superficie.

Excluyendo los días en los que la cubierta fue retirada, las temperaturas máximas de superficie en la Escalinata oscilaron entre 38.9° C y 43.6° C durante la estación húmeda y entre 34.5° C y 47.5° C durante la seca. No obstante, los valores de temperatura de superficie por encima de los 40° C representan menos del 0.2% de los datos obtenidos en la Escalinata cubierta durante el período de estudio y bien podrían ser resultado de una exposición de corto plazo a la luz solar a través de algunos orificios y costuras sueltas en la lona. La variación diaria mínima de temperatura de superficie fue de 8° C a 12° C a lo largo de todo el año (Figs. 72a, b), pero los valores de variación diaria durante la estación seca cubrieron un rango mayor que los de la estación húmeda. La variación diaria máxima registrada por un sensor de temperatura de superficie bajo la cubierta durante el período de estudio fue de 25.5° C (lado sur del escalón 12).

Los patrones espaciales de temperatura promedio de superficie y su variación diaria se mantuvieron similares durante ambas estaciones - las secciones superiores de la Escalinata mostraron valores promedio superiores a los de la base (Figs. 71a, b, 72a, b). Esto se debe al movimiento ascendente natural de aire caliente bajo la cubierta y a las distancias más cortas entre la lona y la piedra conforme se asciende por la Escalinata. Un estudio preliminar de temperatura del aire bajo la cubierta, realizado en el año 2000, indicó la observación de valores elevados en las secciones superiores de la Escalinata debido a la radiación del calor absorbido por la lona durante el día (Maekawa 2000) y en su momento se mostró preocupación por el diferencial de calentamiento de la superficie de la Escalinata. No obstante, las variaciones espaciales de la temperatura promedio en la superficie de la piedra son relativamente pequeñas (aproximadamente 1.6 ° C durante la estación húmeda y 1.0 ° C durante la estación seca).

Durante el período de estudio, la lona protectora se retiró al menos en cuatro ocasiones (17 de marzo, 10 de abril, 10 de julio y 16 de julio del año 2003), con el fin de repararla o de reemplazarla, lo cual supuso tener que exponer la Escalinata Jeroglífica a la luz solar directa. Los datos recolectados durante estos períodos en los cuales la Escalinata no estuvo protegida revelaron temperaturas de superficie de la piedra y variaciones diarias de hasta 67° C y 47° C, respectivamente, registrándose ambos valores el 16 de julio. (Aunque las temperaturas de superficie aumentaron durante todos los períodos de exposición de la Escalinata, los incrementos mostrados en la temperatura de superficie con relación a los días anteriores y posteriores al retiro de la cubierta sólo se observaron en días con altos niveles de radiación solar; es decir, en días despejados y soleados.) Estos elevados valores indican que la presencia de la cubierta limita de manera eficaz este aumento de calor por exposición solar durante el día y reduce la pérdida de calor por radiación durante la noche, lo que resulta particularmente importante para evitar la condensación durante las primeras horas de la mañana.

TEMPERATURA DE SUB-SUPERFICIE, HUMEDAD RELATIVA Y RELACIÓN DE HUMEDAD

Se colocaron sensores en las juntas de mortero entre los bloques de piedra para medir la temperatura y la humedad relativa a profundidades de 30 cm (entre marzo de 2001 y enero de 2002) y 12 cm (entre enero de 2002 y agosto de 2003) por debajo de la superficie del mortero. Aunque no se colocaron directamente dentro de la piedra, la medición en los morteros puede proporcionar datos de las condiciones de sub-superficie en las piedras adyacentes.

Las temperaturas de sub-superficie en la Escalinata cubierta mostraron variaciones tanto estacionales como relativas a la profundidad. Reflejando los cambios estacionales de temperatura, las temperaturas internas promedio de la estación húmeda (30 cm: 25.5° C a 26.5° C; 12 cm: 26.3°

C a 27.4° C) superaron a las de la estación seca (30 cm: 22.1° C a 23.3° C; 12 cm: 23.4° C a 24.4° C). Las temperaturas máximas de sub-superficie bajo la cubierta protectora que se registraron durante el estudio fueron 33.9° C y 37.4° C a profundidades de 30 cm y 12 cm, respectivamente (Apéndice E, Figs. E.5a, b, E.6a, b).

Mientras que las temperaturas promedio de superficie fueron más o menos similares a las obtenidas a 12 cm por debajo de la superficie, los valores promedio a 30 cm fueron algo menores que las dos primeras y se mantuvieron más próximas a la temperatura más estable del suelo a niveles subterráneos. No obstante, en las diversas ocasiones en las que la cubierta se retiró durante el estudio y los cielos estuvieron despejados y los días soleados (16 de marzo y 17 de julio de 2003), las temperaturas promedio de sub-superficie a 12 cm de profundidad fueron notablemente menores que los valores promedio de superficie, registrándose una divergencia de unos 4.5° C.

En comparación con la variación promedio diaria de la temperatura de superficie, la variación promedio diaria de temperatura de sub-superficie registrada por los sensores en áreas cubiertas arrojó valores mucho menores a ambas profundidades. A una profundidad de 12 cm, la variación promedio diaria de temperatura osciló entre 1.3° C y 5.0° C durante ambas estaciones. Las variaciones estacionales resultaron más evidentes en la variación promedio diaria de temperatura a una profundidad de 30 cm, oscilando entre 0.1° C y 1.6° C durante la estación húmeda y entre 0.3° C y 4.4° C durante la estación seca (Apéndice E, Figs. E.7a, b, E.8a, b).

Los datos de humedad relativa de sub-superficie tuvieron influencia de la importante cantidad de humedad presente en la tierra y de las piedras que conforman la estructura de la pirámide bajo la Escalinata. Ubicándose por encima de los niveles de humedad relativa del ambiente, la humedad relativa interna promedio fue del 93% al 100% a una profundidad de 30 cm y del 85% al 99% a una profundidad de 12 cm; los valores mínimos registrados de humedad relativa de sub-superficie fueron de 91% y 68% a 30 cm y 12 cm, respectivamente (Apéndice E, Figs. E.9a, b, E.10a, b). Aunque estos espacios internos mantienen un ambiente de humedad relativa alta, la ausencia de luz evita cualquier actividad microbiana importante en el interior. La variación promedio diaria de humedad relativa de sub-superficie a 12 cm por debajo de la superficie del cemento (1.5% a 9.3%) fue superior a la observada a una profundidad de 30 cm (0.0% a 2.1%), pero ambas fueron muy inferiores a la variación diaria de humedad relativa en el ambiente (Apéndice E, Figs. E.11a, b, E.12a, b).

Aunque hay aire saturado o casi saturado a profundidades de 30 cm y 12 cm, la transferencia de humedad de los espacios porosos del mortero a la superficie se limita a la fase vapor. Esto resulta congruente al detectar la ausencia de agua líquida y la presencia de relleno arenoso (lo que limita el ascenso por capilaridad) durante la perforación de orificios en las juntas de mortero para colocar los sensores de sub-superficie. La actual configuración de la protección (una lona elevada por encima de la Escalinata, con la parte superior, la inferior y los lados abiertos) mantiene una tasa de intercambio de aire elevada, que permite la disipación de la humedad de la superficie. Limitar la tasa de intercambio de aire podría exponer la superficie de la piedra a condiciones húmedas o incluso saturadas, lo que muy probablemente promovería crecimientos microbianos.

Con base en los datos de temperatura y humedad relativa de sub-superficie, también se calculó la relación de humedad de sub-superficie a profundidades de 30 cm y de 12 cm por debajo de la superficie del cemento, lo que permite una mejor medición del contenido de humedad que la proporcionada por la humedad relativa. Aunque se detectaron diferencias estacionales, los valores de relación de humedad de sub-superficie fueron en términos generales iguales a ambas profundidades: la relación de humedad interna promedio osciló entre 21.4 g/kg y 24.3 g/kg

durante la estación húmeda y entre 17.6 g/kg y 20.3 g/kg durante la estación seca (Apéndice E, Figs. E.13a, b, E.14a, b).

Los valores promedio de relación de humedad de sub-superficie, indicativos de su elevado contenido de agua, excedieron por mucho los valores promedio del ambiente. Este gradiente de humedad entre las relaciones de humedad internas y externas indica la transferencia de vapor de agua que va de la base de la piedra al aire ambiente durante todo el año. Además, la variación diaria promedio de relación de humedad de sub-superficie (0.2 g/kg a 3.6 g/kg) fue mucho menor que la del aire ambiente (Apéndice E, Figs. E.15a, b, E.16a, b).

ILUMINACIÓN

Es difícil apreciar la superficie de la Escalinata Jeroglífica durante el día, debido a las grandes variaciones espaciales en la iluminación de la Escalinata, así como el incremento de la distancia entre la piedra y el observador. Por la mínima distancia que existe entre la piedra y la lona, hacia mediodía el tercio superior de la Escalinata exhibe valores de iluminación por debajo de los 750 lux (ambos estaciones) y 280 lux (lado sur del escalón 63, durante la estación seca) (Figs. 73a, b). En contraste con lo anterior, la iluminación hacia mediodía correspondiente a los dos tercios inferiores de la Escalinata, en donde la distancia entre la piedra y la lona es mucho mayor, supera los 1120 lux y los 940 lux durante las estaciones húmeda y seca, respectivamente. Adicionalmente, debido al amplio contraste entre la parte superior de la Escalinata, débilmente iluminada y el brillante cielo (aproximadamente 3000 lux), el cual se observa a través de la apertura de la parte superior de la cubierta, las porciones más altas de la Escalinata son muy difíciles de ver desde la base. Minimizar este contraste de iluminación daría un mejor aspecto visual de la Escalinata.

Aunque resulta un factor de menor importancia en lo referente a la apreciación de la Escalinata, se pudo observar un patrón espacial constante durante todo el año en la iluminación de la Escalinata, debido a la orientación de la cubierta de lona. Dado que el costado norte de la Escalinata está relativamente libre de obstrucciones (el lado sur está bloqueado por una estructura adyacente) y dada la mayor distancia entre la lona y la piedra cerca de la base, los valores de iluminación máxima promedio (de 1,500 a 2,350 lux) se observaron fundamentalmente en el costado norte de los escalones 5, 6 y 27 (Figs. 73a, b).

TIEMPO DE HUMEDAD DEL PERÍMETRO

Se ubicaron sensores de tiempo de humedad a intervalos regulares al norte y sur de la balaustrada de la Escalinata y por encima del escalón superior para examinar la presencia de agua alrededor del perímetro de la Escalinata Jeroglífica (Apéndice E, Fig. E.4). Las medidas de resistencia de tiempo de humedad se dividieron en cuatro categorías: mojada (0–10 k Ω), húmeda (10–100 k Ω), seca (100–1000 k Ω) y muy seca (+ de 1000 k Ω). Considerando que la cubierta evita que la lluvia caiga directamente en la Escalinata y su balaustrada, se asumió que la Escalinata permanecía seca en todo momento para los propósitos de este ejercicio.

Durante la estación de lluvias, los dos tercios inferiores del perímetro de la Escalinata se mantuvieron mojados (Figs. 74a, b). Un factor podría ser la variación en la distancia entre la Escalinata y la lona desde su parte superior hasta la inferior. Las mayores distancias entre la lona y la piedra en las secciones más bajas de la Escalinata pueden hacer que la lluvia llevada por el viento penetre por la base de la balaustrada e incluso hasta la Escalinata misma. La presencia de

agua en la Escalinata se ha observado en ocasiones, probablemente debido a que el viento condujo la lluvia por debajo de la cubierta.

Otro factor más importante acerca de la humedad perimetral es el drenaje de superficie que rodea a la Escalinata. La humedad registrada en el lado norte de la Escalinata en las Figuras 74a y 74b es el resultado de una pendiente de piedra consolidada entre el piso de la plaza y el punto medio de la Escalinata, que canaliza el agua hacia la balaustrada, en lugar de alejarla. Una situación similar, aunque menos drástica puede observarse en los escalones del lado sur de la Escalinata que van desde la base de la misma hasta más o menos el escalón 45 (por encima, hay piedras sueltas consolidadas). Esta geometría ofrece condiciones de drenaje poco favorables y se han observado acumulaciones de agua en los escalones en períodos de mucha lluvia. Aunque no se instalaron sensores de humedad en la base, la inundación de la parte inferior de la Escalinata también se ha podido observar cuando hay mucha lluvia. Estos problemas de drenaje deberían corregirse para permitir un drenaje rápido del agua de lluvia, alejándola de la balaustrada y de la base de la Escalinata, lo que minimizaría el potencial de erosión, crecimientos microbianos y la migración de sales.

Aunque el perímetro de la Escalinata se mantuvo seco debido a la ausencia de lluvia, el área entre los escalones 54 y 62 del lado norte de la balaustrada y, en menor medida, del lado sur, mostraron una posible humedad (baja resistencia eléctrica) durante todo el año (Figs. 75a, b). Dado que el agua se elimina de estas áreas por efecto de la cubierta durante las lluvias y éstas pueden desestimarse como factor durante la estación seca, estos parches de baja resistencia podrían estar señalando la presencia localizada de sales.

En trabajos previos de restauración se utilizó cemento Portland en las secciones superiores de la Escalinata (Larios V. 1985c: 3) y la presencia de sulfatos y sales de nitrato ha sido confirmada mediante el análisis de muestras de mortero (ver 'Análisis de materiales'). Adicionalmente, la ubicación de muestras de mortero con elevadas concentraciones de sales de nitrato muestra una buena correlación con las áreas de baja resistencia eléctrica que aparecen cerca de la parte superior de la Escalinata en las Figuras 75a y 75b. Podría haber daños ocasionados por sales si existiese la posibilidad de que las intrusiones de agua en esta área disolvieran y transportaran sales. Las futuras cubiertas deberán ser capaces de ofrecer el mismo nivel de protección que la cubierta actual en esta área vulnerable.

Conclusiones

En este estudio se ha caracterizado el clima general del sitio arqueológico de Copán, así como los ambientes de superficie y sub-superficie de la Escalinata Jeroglífica a lo largo de un período de más de dos años. Los siguientes apartados muestran un breve resumen de los principales hallazgos ambientales.

VIENTO Y LLUVIA

La dirección predominante del viento en el sitio arqueológico proviene de direcciones nor-noreste y este-noreste y la velocidad máxima de ráfagas de viento (en promedio de 5 segundos) que se registró durante el estudio fue de 13.1 m/s. No obstante, la excepcional ubicación de la Escalinata probablemente da lugar a un perfil del viento muy variable y complejo, lo que limita la aplicabilidad de los datos recabados sobre el viento para el diseño de futuras cubiertas protectoras.

Como se esperaba, la precipitación pluvial en el sitio arqueológico de Copán se limita fundamentalmente al período de la estación húmeda, entre los meses de mayo y octubre. Los períodos más intensos de lluvia que se registraron fueron 19.4 mm en un período de 15 minutos y 71.6 mm en un período de 24 horas. Aunque la duración del estudio fue limitada, estos valores de intensidad pueden servir como guía para planificar los requisitos máximos de drenaje en el lugar.

SUPERFICIE DE LA PIEDRA

La presencia de la cubierta protectora en la Escalinata Jeroglífica ha logrado una reducción tanto en los ciclos térmicos como en los de ganancia/pérdida de calor en la superficie de la piedra. En comparación con las temperaturas de superficie máximas que se alcanzaron al retirarse la cubierta y exponerse la Escalinata a la luz solar directa, las temperaturas máximas de superficie bajo la cubierta mostraron valores mucho menores. La temperatura de superficie también fue más alta de manera continua que la aire ambiental, pues la lona limita eficazmente el aumento de calor por efectos de la radiación solar durante el día y la pérdida de calor por radiación durante la noche; esto resulta particularmente importante para evitar la condensación durante las primeras horas de la mañana, lo que limita la actividad microbiana de superficie.

SUB-SUPERFICIE DEL MORTERO

Las temperaturas de sub-superficie bajo la cubierta mostraron valores a 12 cm de profundidad comparables con los de la superficie, en tanto que las temperaturas a una profundidad de 30 cm se mantuvieron ligeramente por debajo de las anteriores. No obstante, al exponer la Escalinata a la luz solar directa durante los períodos en que se retiró la lona, se produjo un claro gradiente de temperatura entre la superficie y una profundidad de 12 cm.

Aunque la humedad relativa promedio de sub-superficie a una profundidad de 30 cm fue ligeramente mayor a la registrada a una profundidad de 12 cm, la relación promedio de humedad interna se mantuvo más o menos equivalente en ambas profundidades. Sin embargo, la relación de humedad de sub-superficie fue mucho mayor que la del aire ambiental, lo que indica una transferencia constante de vapor de agua desde la piedra hacia el exterior. A pesar de las condiciones de elevada humedad relativa en el interior, la falta de luz frena el crecimiento microbiano en sub-superficie.

ILUMINACIÓN

Debido al acortamiento de la distancia entre la piedra y la lona conforme se asciende, la iluminación del tercio superior de la Escalinata Jeroglífica se ve reducida en comparación con sus secciones inferiores. Este hecho, en combinación con el cielo brillante que puede verse a través de la apertura en la parte superior de la lona, hace que las porciones superiores de la Escalinata sean muy difíciles de apreciar dado el gran contraste de iluminación. Minimizar este contraste mejoraría mucho el aspecto visual de la Escalinata.

HUMEDAD PERIMETRAL

La humedad del perímetro a lo largo de las balaustradas de la Escalinata Jeroglífica resultó evidente durante la época de lluvia, particularmente en los dos tercios inferiores de la estructura. El principal factor en este asunto es la canalización de agua hacia la balaustrada norte y la acumulación de agua en los escalones terracedos adyacentes a la balaustrada sur. Deberá

corregirse el drenaje de superficie con el fin de minimizar la erosión potencial, la actividad microbiana y la migración de sales.

También se observaron secciones de baja resistencia eléctrica durante todo el año cerca de la parte superior de las balaustradas norte y sur. Esto podría deberse a la presencia de sales, pues estas áreas están estrechamente correlacionadas con la localización de muestras de cemento con una elevada concentración de sales de nitrato. Se debería limitar la intrusión de agua en estas regiones específicas, con el fin de evitar posibles daños ocasionados por la migración de sales.

Análisis biológico

El papel que juegan los líquenes, algas, musgos, plantas superiores y otras poblaciones biológicas en el deterioro de monumentos de países tropicales se ha destacado ampliamente en la bibliografía relativa a la conservación. Sin embargo, las publicaciones acerca de la colonización biológica en monumentos de Mesoamérica son muy escasas (Hale 1979a; Guiamet, Gómez de Saravia, y Videla 1998; Maldonado et al. 1998; Videla, Guiamet, y Gómez de Saravia 2000; Videla y Sáiz-Jiménez 2002).¹

El sitio arqueológico de Copán está situado en una región tropical con un clima templado por su elevación de unos 600 m sobre el nivel del mar. En las partes bajas del valle de Copán aún existe un bosque mixto típico, estacional y parcialmente de hojas caducas, en el cual hay muchos árboles grandes (de más de 30 metros de altura), que forman una estructura bien estratificada. En este bosque, las especies dominantes son *Ficus* sp., *Simarouba glauca*, *Trichilia cuneata*, *Ceiba pentandra* (el árbol sagrado de los mayas), *Hura crepitans*, *Prockia crucis*, *Guazuma ulmifolia*, *Acacia* sp. (Fig. 76). En el pasado, muchas comunidades naturales de plantas fueron destruidas o modificadas con el fin de ganar espacio para actividades agrícolas y forestales. Tras el colapso de la cultura maya y el abandono del territorio, estos bosques volvieron a colonizar la ciudad, ocultando y sepultando la evidencia de la actividad maya.

La Escalinata Jeroglífica, junto con otras estructuras de la Acrópolis de Copán, fue excavada entre 1892 y 1900 por el Museo Peabody. La eliminación de la tierra y de la densa cubierta de árboles que rodeaba al monumento creó nuevas condiciones favorables para el crecimiento de nuevas poblaciones biológicas que eran mucho más agresivas para la piedra que aquellas que existían cuando la Escalinata estuvo enterrada. El incremento en la luminosidad, la circulación de aire y la acción del agua de lluvia favorecieron una intensa colonización de líquenes saxícolas (líquenes que crecen sobre las rocas).

En la década de 1970, el liquenólogo Mason Hale, de la Institución Smithsonian de Washington, D. C., analizó la colonización biológica y elaboró una lista detallada de las especies que encontró, incluyendo cianobacterias y algas (*Oscillatoria* sp., *Trentepohlia* sp.), musgos (*Calymperes richardii*, *Frullania riojaneiriensis*, *Lejeunea flava*, *Mastigolejeunea auriculata*, *Neohyophila sprengelii*, *Papillaria nigrescens*, *Rhacomitrium tomentosum*, *Stereophyllum cultelliforme*) y especialmente líquenes (*Caloplaca* sp., *Candelaria concolor*, *Candelariella* sp., *Candelina* sp., *Chiodecton antillarum*, *Coccocarpia cronia*, *Dirinaria confluens*, *D. picta*, *Heterodermia casarettiana*, *H. Leucomelaena*, *Lecanora* sp., *Lepraria* sp., *Leptogium* sp., *Letotrema* sp., *Parmelina dissecta*, *Parmotrema crinitum*, *P. dilatatum*, *P. endosulphureum*, *P. mordenii*, *P. sancti-angelii*, *P. sulphuratum*, *P. tinctorum*, *Physcia solediosa*, *Pyxine* sp., *Sticta weigeli*, *Usnea rubiginea*, *Xanthoparmelia congensis*). Las especies más comunes de líquenes fueron *Physcia solediosa*, *Parmotrema mordenii* (en lugares sombreados) y *Dirinaria confluens* (en áreas soleadas).

Debido a una notable colonización biológica y al gran deterioro inducido por el crecimiento de líquenes, Hale enfatizó la necesidad de emplear agentes biocidas para su control. Bajo su supervisión, se aplicaron diferentes tratamientos con agentes biocidas desde mediados hasta finales de la década de 1970. Los monumentos, incluyendo a la Escalinata Jeroglífica, se rociaron inicialmente con una solución diluida de Clorox (al 5.25% en agua hasta los 300 cc/m²) y Borax (5% en agua hasta 500 cc/m²) y el tratamiento se repitió seis meses y un año después.

En 1985, unos cuantos años después de los tratamientos con agentes biocidas, se instaló una cubierta de lona sobre la Escalinata Jeroglífica. Al principio, esta cubierta se empleaba solamente durante la temporada de lluvias, pero dos años después su uso se hizo permanente.

Materiales y métodos

Se tomaron cuarenta muestras del sitio y áreas circundantes con el fin de analizar el biodeterioro (Fig. 77). En términos generales, el muestreo se llevó a cabo en lugares en donde los fenómenos de biodeterioro macroscópicos eran apreciables; en algunos casos, también se recolectaron muestras de pátinas de origen desconocido, con el fin de establecer su naturaleza química o biológica. Cuando fue posible, también se tomaron pequeños fragmentos de piedra ya desprendidos, para investigar, mediante secciones pulidas un posible deterioro en profundidad. Cuando esto no se pudo hacer, se colectó polvo de piedra obtenido mediante un raspado suave de la superficie, con el fin de evitar un proceso destructivo de muestreo.

La mayor parte de las muestras que se tomaron de la Escalinata Jeroglífica se seleccionaron teniendo en cuenta varios factores en el momento de decidir su localización procurando, entre otras cosas, obtener una amplia distribución desde la parte inferior hasta la parte superior de la Escalinata y tomando muestras de piedras de diferentes colores y en diferentes condiciones. Se tomaron muestras de otros cuatro monumentos (Altar 41, Estela H, el Juego de Pelota y una estela próxima a la entrada al sitio), para obtener una mayor información de las áreas del sitio donde todavía se producen fenómenos de biodeterioro (Figs. 78a, b). Asimismo, se tomaron muestras de la vieja cantera maya con el propósito de contar con una representación adecuada de los procesos comunes de biodeterioro en un ambiente natural y sobre la misma piedra con la que están construidos los monumentos del sitio (Fig. 78c). Finalmente, se tomó una muestra de un altar en el museo de escultura del sitio, con el fin de analizar la vitalidad residual de las comunidades biológicas en un espacio confinado, protegido de la lluvia pero expuesto a los demás elementos.

Todas las muestras se observaron microscópicamente con diferentes magnificaciones y utilizando diversas técnicas. Se observaron secciones pulidas preparadas mediante la inclusión de muestras de piedra en resinas de poliéster utilizando para ello la microscopía de luz reflejada, con el fin de investigar la relación existente entre los microorganismos y la piedra, la forma y profundidad de la penetración, el grosor de la colonización y su distribución.

Se utilizaron algunos métodos de tinción para resaltar algunas características que, de otra forma, no resultaban fácilmente visibles utilizando un microscopio óptico (Whitlach y Johnson 1974):

- Azul Algodón de Lactofenol, para resaltar las estructuras de hongos;
- Schiff de Ácido Periódico (PAS, por sus siglas en inglés), para resaltar los carbohidratos totales de polisacáridos insolubles; esta técnica da color especialmente a la membrana celular, aunque el almidón también reacciona fuertemente ante ella;
- Azul de Metileno, con el fin de resaltar los materiales nucleares.

También se empleó la Microscopía Electrónica de Barrido (SEM, por sus siglas en inglés) en determinadas muestras (recubiertas con oro mediante vacío), para comprender mejor algunas características microscópicas y evaluar las relaciones de las especies con el sustrato.

La determinación de las diferentes especies de algas se llevó a cabo mediante la observación directa con microscopía óptica de polarización; la identificación taxonómica se realizó apoyándose en varias monografías (Desikachari 1959; Bourrelly 1966; Bourrelly 1970), así como en revisiones actualizadas de ciertos grupos de cianobacterias (Komárek y Anagnostidis 1986; Anagnostidis y Komárek 1988). Con relación a los líquenes, se empleó la clasificación de Nash y sus colegas (Nash et al. 2002; Nash et al. 2004).

Los conteos de los diferentes grupos taxonómicos de cada muestra se llevaron a cabo calculando los valores de cobertura de cada especie individual en relación con la totalidad de la masa biológica presente en la lámina y expresándolos conforme a la escala de valores de Braun-Blanquet, utilizando la siguiente conversión: 1 = rara; 3 = +/- esporádica; 5 = +/- común; 9 = +++/abundante (el método utilizado por Rizzi Longo, Poldini y Goia 1980).

Para el análisis ecológico, se organizaron los resultados del muestreo biológico colectado en la Escalinata Jeroglífica y en otras partes del sitio, usando los datos cuantitativos, en una matriz numérica (especie/muestra), utilizando los datos cuantitativos con dos variables. La matriz (que consta de 26 filas x 40 columnas) se analizó empleando los programas informáticos SYN-TAX 5.1 (Podani 1995), así como algoritmos de similitud y enlace promedio o enlaces completos que ejecutan un programa estadístico por medio de los métodos de clasificación y ordenación.

Resultados

COLONIZACIÓN BIOLÓGICA DE LA ESCALINATA JEROGLÍFICA

Los climas tropicales presentan altos valores de biodiversidad y de biomasa, así como un aumento de las sucesiones ecológicas que van desde las primeras etapas de colonización hasta las más maduras; en consecuencia, los procesos de biodeterioro en estos climas son igualmente diversos.

La caracterización analítica muestra un bajo nivel de colonización biológica en las superficies de piedra de la Escalinata Jeroglífica (ver Tabla 12). El análisis microscópico indica únicamente una presencia relativamente alta de cianobacterias, tales como *Gloecapsa kuetzingiana*, *G. rupestris*, *Stigonema hormoides* y unas pocas algas verdes (*Apatococcus lobatus*), esporas de hongos y fragmentos de musgo. Las especies identificadas resultan típicas de las primeras etapas de colonización, pero son capaces de promover una evolución a etapas más avanzadas (Golubic, Friedmann y Schneider 1981; Anagnostidis, Economou-Amilli y Roussomoustakaki 1983; Caneva y Salvadori 1989; Hoffmann 1989; Warscheid y Braams 2000).

En contraste con este nivel relativamente bajo de colonización de superficie, el crecimiento biológico en profundidad parece importante y algunas veces resultó ser muy denso; esto se atribuyó fundamentalmente a los residuos de crecimientos anteriores (Tabla 13). Se observaron varios tipos de estructuras en profundidad:

- Protonemas de musgo, filamentos de color marrón café de gran tamaño (0.05 mm), con membranas oblicuas entre las células que no se tiñen con el Azul Algodón de Lactofenol.

- Filamentos de hongos, muy evidentes en las microfotografías obtenidas mediante SEM y algunas veces también con el método de tinción con PAS. A veces producen una penetración profunda de micelios en la piedra.
- Sustancias extrapoliméricas, que a veces forman estructuras filamentosas con diámetros variables, diferentes formas y morfologías de agregación.

En toda la Escalinata Jeroglífica, la colonización biológica muestra algunas diferencias, tanto cualitativa como cuantitativamente y algunas partes de la Escalinata están más dañadas que otras. La colonización biológica interna y en la superficie podría contribuir de manera importante a los procesos de deterioro de la piedra y en particular a la exfoliación superficial debido a diferentes procesos físicos y químicos. Además, algunas algas presentes en las fisuras (grupos casmo-endolíticos) pueden acelerar este desprendimiento por exfoliación.

Sin embargo, como se ha enfatizado anteriormente, no resulta fácil distinguir entre efectos primarios y efectos secundarios. De hecho, cuando la piedra se ve afectada por cualquier tipo de agente, las poblaciones biológicas pueden colonizar con mayor facilidad el sustrato, lo que contribuye a un incremento en el ritmo del deterioro. En este caso, las poblaciones biológicas pueden considerarse agentes secundarios de deterioro, aún cuando ciertas especies biológicas, especialmente en las condiciones climáticas de Copán, algunas veces pueden resultar más dañinas que los factores físico-químicos.

COLONIZACIÓN BIOLÓGICA EN OTROS MONUMENTOS Y RELACIONES ECOLÓGICAS

En muchos monumentos del sitio se encontraron, aunque especialmente en áreas no protegidas de la lluvia, diferentes pátinas de cianobacterias ampliamente distribuidas (por ejemplo, *Gloecapsa rupestris*, *G. kuetzingiana* y, especialmente, *Stigonema hormoides* y *Scytonema javanicum*), de algas verdes (*Trentepohlia aurea*), de líquenes foliosos y costrosos (por ejemplo, *Parmelia incurva*, *Parmotrema crinitum*, *Candelaria concolor*, *Dirinaria picta*, *Buellia* sp.) (Figs. 79a–c) y algunas capas de musgo.

La colonización biológica en la cantera resultó ser bastante densa y se observaron muchas poblaciones diferentes (especialmente algas verdes, tales como *Trentepohlia aurea* y *Coccomyxa confluens* y líquenes tales como *Buellia* sp. y *Porinia chlorotica*) en diversos gradientes ecológicos. Las diferencias en las condiciones de iluminación y, en particular, la filtración de agua de lluvia de la parte superior al área de toma de muestras, que enriquece la piedra con agua y sales, puede explicar la existencia de dichos gradientes. La colonización biológica más profunda (excluyendo la colonización de algas casmoendolíticas) se observó en una muestra tomada de la cantera. A una profundidad de hasta 3 mm en el interior de la piedra se desarrolló un hongo de color negro, aún no identificado con precisión, que comienza su crecimiento en los residuos de un líquen blanco costroso (Fig. 80a). También se observó una amplia producción de polisacáridos (Fig. 80b).

Tabla 12. Crecimientos biológicos de superficie observados en las muestras de la Escalinata y en el sitio (r = raro; + = esporádico; ++ = común).

Sample	1a-b	2	3a	3b	4a	4b	5a	5b	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
<i>Navicula</i> sp.										+													
<i>Nitzschia</i> sp.										r	r												
<i>Gloeocapsa rupestris</i>			+						+	+	+	+	+	++	+	++			r				+
<i>Gloeocapsa kuezingiana</i>			+											+	r								
<i>Stigonema hormoides</i>															+								
<i>Apatococcus lobatus</i>																							r
<i>Moss protonema</i>			r										r										
<i>Hyphae and conidia</i>										+				+	r							+	+
<i>Bacteria</i>													++									++	
<i>Fragments of plants</i>				+								++	+		r								

Tabla 13. Comparación entre muestras de la Escalinata de crecimiento biológico superficial y de colonización profunda (1 = bajo crecimiento; 2 = presencia de crecimiento; 3 = crecimiento pronunciado; - = no existen datos).

Muestra	1a-b	2	3a	3b	4a	4b	5a	5b	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Crecimientos biológicos superficiales	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2	2	2	3	3	3	3	2	1	1	2	2	2
Colonización biológica profunda	1	.	2	2	2	2	2	2	.	.	.	2/3	3	.	3	3	1/2	.	1/2	2	2	2

fuerte actividad biológica anterior (de color rojo intenso, que rodea un cristal no atacado). Antes de su instalación en el Museo, es muy probable que el monumento hubiera sido atacado intensamente por líquenes y otras poblaciones biológicas que, con casi total certidumbre, fueron eliminados mediante el tratamiento biocida. Las actuales condiciones climáticas, que son más secas que en el pasado, no permiten una recolonización de líquenes, lo que explica porque sólo se observaron cianobacterias.

La comparación de todas las observaciones permite concluir que las muestras tomadas en la Escalinata Jeroglífica se parecen más entre sí que a otras muestras. Presentan ciertas similitudes con la muestra tomada en el Museo y con algunas de las muestras tomadas en la Estela H y esto podría explicarse en virtud de que todas estas muestras parecen tener una ligera cubierta biológica similar y por la frecuente presencia de las mismas especies de algas y de cianobacterias. Las muestras tomadas en la Escalinata Jeroglífica no son tan diferentes a la muestra procedente del juego de pelota, a pesar de existir diferencias importantes en la cubierta biológica de las mismas. Esto podría explicarse por el hecho de que la diferencia es sobre todo cuantitativa, más que cualitativa. La diferencia más importante, tanto cuantitativa como cualitativa está entre las muestras tomadas de la Escalinata Jeroglífica y aquellas tomadas en la cantera. También existe una diferencia importante entre las muestras tomadas de la Escalinata y las tomadas de la estela que se encuentra cerca de la entrada del sitio, la cual presenta microflora típica de lugares oscuros y húmedos.

CAMBIOS EN LA BIOCOLONIZACIÓN DE LA ESCALINATA JEROGLÍFICA A LO LARGO DEL TIEMPO

La documentación fotográfica y científica previa indica un alto nivel de colonización biológica en la Escalinata Jeroglífica en el pasado, al igual que en otros monumentos del sitio en el que se destaca particularmente una cubierta abundante de líquenes y de musgos. Este tipo de colonización se debe a condiciones húmedas y soleadas, derivadas de la exposición directa del monumento a la lluvia y a la luz solar.

Los cambios que han tenido lugar entre la situación anterior y la actual son tanto cuantitativos como cualitativos. Actualmente, la colonización biológica de la Escalinata y de otros monumentos cubiertos (la Estela H, por ejemplo) ha quedado reducida a escasas algas y cianobacterias. La disminución cuantitativa se debe a las aplicaciones anteriores de agentes biocidas y a la instalación de cubiertas tanto sobre la Escalinata como sobre otros monumentos del sitio, las cuales crearon condiciones más oscuras y más secas. El cambio cualitativo muy probablemente se deba a que ciertas cianobacterias aisladas presentan una mayor tolerancia a la escasez de agua que los líquenes.

Una comparación entre la lista florística elaborada por Hale y la situación actual muestra que, en el caso de los monumentos protegidos, la población de algas y de cianobacterias generalmente aparece como dominante en la actualidad, mientras que los líquenes y los musgos parecen haber sido mucho más abundantes en el pasado. El número de especies de algas también parece haber aumentado (probablemente la lista de algas elaborada por Hale estuviera incompleta y, debido a una revisión de nomenclatura y taxonomía, a la *Oscillatoria* actualmente se le conoce como *Scytonema*), mientras que la diversidad de líquenes en general parece haber disminuido, incluso la lista actual de líquenes no puede considerarse completa, debido al limitado número de áreas de muestreo.

Los monumentos tratados con agentes biocidas en el pasado, pero que han seguido expuestos a los agentes atmosféricos, han sido recolonizados de manera diferente, dependiendo de las condiciones ambientales. En el Juego de Pelota, que había sido tratado con agentes biocidas pero

que aún está expuesto y sin cubierta de árboles, se observó un alto número de cianobacterias y de algas que forman una pátina negra continua (Fig. 81). En este caso, la nueva colonización biológica parece estar más correlacionada con un mayor nivel de radiación solar, y con los mayores niveles de temperatura y de la desecación que esto conlleva, que con la reducción absoluta de exposición al agua. Por el contrario, el Altar 41, especialmente en el lado frontal, que también se limpió en 1985 (Fig. 82), actualmente muestra una rápida recolonización de líquenes (Fig. 83). Esto puede explicarse por las condiciones ambientales, que son muy favorables para el crecimiento de líquenes, pues el monumento en cuestión se encuentra en sombra parcial y sin protección contra la lluvia, situación que presenta algunas similitudes con la situación anterior de la Escalinata Jeroglífica.

En la Tabla 14 se resumen de las relaciones existentes entre las condiciones ecológicas, la microflora y la apariencia visual de la colonia biológica presente en el sitio arqueológico de Copán, así como del ritmo esperado de biodeterioro. En la Figura 84 se muestran las condiciones ecológicas, definidas por los dos factores principales, agua y luz, de los diversos monumentos de Copán que se analizaron, así como el aspecto visual de las diferentes colonias biológicas.

Tabla 14. Relaciones ecológicas y biodeterioro del sitio arqueológico de Copán.

<i>Condiciones ecológicas</i>	<i>Microflora</i>	<i>Fenomenología del biodeterioro</i>	<i>Velocidad del daño por exposición al medio ambiente</i>
Muy oscuro y húmedo	Hongos y bacterias dominantes	Pátinas negras o cafés	Variable
Oscuro y húmedo	Algas verdes dominantes (por ejemplo: <i>Pseudococcomyxa</i> sp., <i>Stichococcus bacillaris</i> , <i>Monoraphidium pusillum</i> , <i>Trentepohlia umbrina</i>) musgos y hepáticas (<i>Jugermannia atrovirens</i>)	Pátinas verdes	No es despreciable, pero de crecimiento lento
Semisombreado y húmedo	Poblaciones mixtas: Algas verdes (<i>Trentepohlia aurea</i> , <i>Coccomyxa confluens</i> , <i>Stichococcus bacillaris</i> , <i>Pseudococcomyxa</i> sp.), algunas cianobacterias (<i>Phormidium</i> sp.), musgos y líquenes sciafilosos (por ejemplo: <i>Porinia clorotica</i> , <i>Physcia solediosa</i> , <i>Parmotrema mordenii</i>)	Pátinas rojizas y cafés	No es despreciable, pero de crecimiento lento
Luz promedio y semi-húmedo	Líquenes dominantes (<i>Candelaria concolor</i> , <i>Parmotrema tinctorum</i> , <i>Dirinaria picta</i> , <i>D. confluens</i>), pero hay presencia de algas y de cianobacterias	Costras blanquecinas a cafés	Mayor daño biológico
Buena luz, niveles variables de agua de xérico a húmedo	Cianobacteria dominante (<i>Scytonema javanicum</i> , <i>Stigonema hormoides</i> , <i>Gloeocapsa rupestris</i>), y algunas líquenes	Pátinas negras y grises	Biodeterioro generalmente bajo
Alta iluminación y seco	Crecimiento biológico muy pobre	Piedra más o menos libre de crecimientos, color original de piedra	Bajo biodeterioro

Conclusiones

El análisis ecológico y la hipótesis sugerida para explicar los cambios en la colonización biológica que ha ocurrido en la Escalinata Jeroglífica en función de las diferentes intervenciones anteriores resultan útiles para evaluar posibles acciones futuras de conservación. Considerando el

actual nivel de colonización biológica y el hecho de que ésta es menor en la superficie de la piedra y se presenta con mayor frecuencia a profundidades mayores, el uso de agentes biocidas no parece ser eficaz como intervención. Los tratamientos anteriores con agentes biocidas, aún siendo eficaces y satisfactorios, dejaron hifas de hongo dentro de la piedra, las cuales probablemente pertenecieron a los líquenes que crecieron previamente en la superficie. No se puede descartar que se produzca algún fenómeno de recolonización futura por parte de organismos heterotróficos; probablemente ningún tratamiento nuevo que emplee agentes biocidas resulte completamente eficaz, debido a la dificultad que existe para eliminar microorganismos en el interior del material. Adicionalmente, este tipo de tratamientos presenta el riesgo de no ser de largo plazo y de ser demasiado agresivos, considerando el estado de conservación de la piedra.

Para lograr una reducción eficaz del crecimiento biológico, el mejor sistema consiste en modificar las condiciones ambientales, hasta alcanzar niveles que no resulten favorables para el crecimiento de los organismos presentes. En muchos casos, esto no detendría por completo el desarrollo de los organismos, pero induciría cambios en la comunidad hacia etapas menos agresivas. En la práctica, la reducción del contenido de humedad en la piedra parece ser el método de control indirecto más eficaz. Por lo tanto, el diseño de las cubiertas y su eficacia para detener el agua de lluvia tienen una importancia fundamental; no obstante, también deberán considerarse cuidadosamente las consecuencias que producen las cubiertas sobre la ventilación y la reducción de la luminosidad, ya que éstas ejercen una gran influencia en los organismos fotosintéticos. Las condiciones de mayor oscuridad tienden a incrementar la humedad y no detienen el crecimiento biológico, pues muchos hongos y bacterias son capaces de desarrollarse en ausencia de luz solar directa.

El desplazamiento de la Escalinata Jeroglífica al museo de escultura del sitio no sólo sería muy costoso, sino que también provocaría la pérdida irremediable del contexto original del monumento, sin ofrecer condiciones ambientales significativamente mejores. El Museo tiene mucha circulación de aire e intercambio con el exterior y es tan sólo ligeramente menos húmedo y menos oscuro que las condiciones que existen actualmente en la Escalinata Jeroglífica. El ambiente del museo no permite una nueva colonización de líquenes; sin embargo, todo líquen y, especialmente, toda cianobacteria que no haya sido completamente destruida podrían sobrevivir. Sólo mediante reducciones adicionales de ventilación y humedad podría asegurarse que estos crecimientos desaparecieran por completo.

Otro problema importante con relación a la conservación de edificios arqueológicos deriva de la proximidad de los árboles, cuyas fuertes raíces penetran profundamente y dañan las subestructuras. La presencia de bosque y pastizales en las plazas también influye en el microclima del sitio. Esto crea una mayor humedad ambiental, por la sombra que generan, pero también reducen el calentamiento de las superficies de piedra durante el día, lo que reduce tanto la evaporación como el enfriamiento durante la noche. La cubierta de árboles también protege parcialmente a los monumentos de las fuertes lluvias. Las relaciones existentes entre la vegetación más alta y los monumentos del sitio arqueológico son, por lo tanto, una consideración importante. Deberá desarrollarse una planificación botánica adecuada, con el fin de aumentar los efectos positivos de los árboles, al tiempo que se disminuyen los negativos.

Notas

1. El tema de esta sección, que es el análisis biológico, también se discute en una publicación del año 2005 (Giulia Caneva, Ornella Salvadori, S. Ricci y S. Cechin, *Ecological analysis and biodeterioration processes over time at the Hieroglyphic Stairway in the Copán (Honduras) archeological site*, *Plant Biosystems [Società Botanica Italiana]* 139, n° 3 [noviembre de 2005]: 295–310). La autora principal de ese artículo, Giulia Caneva, es también la autora de esta sección en el presente volumen.

Evaluación estructural

En esta sección se resumen los dos informes producidos por los ingenieros consultores después de las misiones realizadas en Copán; una de 1999, a principios del proyecto (Wenzel 1999) y otra en el año 2002 (Gemperline y Rutenbeck 2002). El resumen se centra en los asuntos relativos a la Escalinata Jeroglífica y a la Estructura 26, en tanto que los informes contienen un enfoque más amplio e incluyen consideraciones acerca de la estabilidad de los túneles, los sistemas de drenaje y el impacto de la presencia de árboles en otras áreas del Grupo Principal de Copán.

Ambas misiones de consultoría se llevaron a cabo para evaluar la estabilidad estructural de la Escalinata Jeroglífica y de la Estructura 26, sobre la que se ubica. La primera misión tenía como objetivo realizar una evaluación preliminar de la estabilidad estructural del monumento e identificar las necesidades potenciales de estudios adicionales. La segunda misión tuvo el propósito de analizar las grietas observadas anteriormente en la Escalinata, revisar la estabilidad estructural integral de la Estructura 26 y la de sus túneles (Fig. 85), evaluar el impacto del crecimiento de árboles en los edificios arqueológicos y evaluar la eficacia de los sistemas de drenaje del sitio.

Los diagnósticos se realizaron mediante observaciones visuales en la superficie, inspecciones de los túneles subterráneos y con entrevistas al personal local a cargo del mantenimiento de los túneles y de la Escalinata. Además, los arqueólogos del sitio facilitaron ciertos planos, secciones y elevaciones de la Acrópolis de Copán para ayudar a los ingenieros. Las fotografías históricas de la Escalinata fueron útiles para obtener información relacionada con sus condiciones a través del tiempo.

Estabilidad estructural de la Escalinata Jeroglífica

Aun cuando no se identificaron deformaciones o desplazamientos importantes en la Escalinata Jeroglífica hay evidencias muy claras de ciertos movimientos. Existen dos grietas ubicadas entre los escalones y entre las balaustradas norte y sur, respectivamente, que corren hacia arriba desde aproximadamente la mitad de la Escalinata Jeroglífica. También hay grietas verticales entre algunos bloques de piedra, en la mitad superior de la Escalinata, hacia el sur de la línea central. La comparación fotográfica de las áreas afectadas tomadas en el año 1987 muestra que los movimientos que produjeron de estas grietas verticales no son recientes y que no ha habido modificaciones recientes en la amplitud de las grietas (Fig. 86). Es muy posible que estas grietas se deban a asentamientos que ocurrieron tras la reconstrucción de la Escalinata Jeroglífica en la década de 1930; también es posible que ocurrieran como consecuencia de eventos sísmicos del pasado.

También se observó una deformación hacia abajo en la parte superior de la balaustrada sur, junto con algunas grietas relacionadas que posiblemente pueden estar relacionadas con la más reciente reconstrucción de las terrazas de la fachada oeste de la Estructura 26, hacia el sur de la Escalinata (Fig. 87). Finalmente, la grieta que corre a través de una de las grandes piedras horizontales de la balaustrada sur es el resultado de un desafortunado intento de levantar la piedra con un gato durante las obras de estabilización ejecutadas en 1987 (Fig. 88).

Ninguna de las grietas o asentamientos observados representa una amenaza para la estabilidad de la Escalinata, ya que no parecen haberse generado recientemente. Además, debido a la geometría estructural estable de la Escalinata Jeroglífica, no existe una amenaza que el monumento entero pueda colapsar por completo como consecuencia de movimientos progresivos. Adicionalmente, la falta de movimiento en la Escalinata indica que la estructura piramidal que la sostiene está estable

y no se está moviendo. Esto se confirma por la ausencia de grietas tanto en las terrazas reconstruidas al sur de la Escalinata como por el relleno consolidado al norte de la misma. Sin embargo, como es el caso de todas las estructuras de mampostería no reforzada de Honduras, siempre existe la amenaza de un derrumbe instantáneo en caso de ocurrir un evento sísmico importante.

Con base en los resultados arrojados por la evaluación de la estabilidad de la Escalinata, no se consideró necesario el uso de instrumentos para monitorear movimientos estructurales; sin embargo, se recomendó continuar con las inspecciones visuales e iniciar acciones de respuesta inmediata en caso de observarse fallas.

Estabilidad estructural de los túneles

A través de los años, se han creado numerosos túneles bajo la Acrópolis de Copán con fines de investigación arqueológica. Algunos túneles se volvieron a rellenar posteriormente pero la mayoría se han dejado abiertos con el fin de tener acceso a las estructuras enterradas (Fig. 89).

Bajo la fase constructiva final de la Estructura 26, que incluye a la Escalinata Jeroglífica, hay una serie sucesiva de construcciones monumentales a las que los arqueólogos han tenido acceso a través de una red de túneles (Fig. 90). No se identificaron problemas específicos en los túneles próximos a la Escalinata, en particular fracturas por presión que pudieran indicar la concentración de fuerzas de carga. Una sección poco profunda del túnel, que se había excavado directamente bajo la Escalinata hacia la mitad de la altura de la Estructura se volvió a rellenar con pedruscos, grava, lodo y algo de cemento. Otro túnel, ubicado más lejos de la Escalinata que el apenas citado, no ha sido rellenado, pero se encuentra a una distancia tal que no representa amenaza inmediata alguna para la estabilidad. No obstante, la filtración de agua y la actividad sísmica representan amenazas para la estabilidad de cualquier túnel y un derrumbe podría llevar a una perturbación seria de la Estructura 26 y a daños en la Escalinata.

Daño potencial por efecto de los árboles

Los árboles brindan sombra a los visitantes e influyen en el ambiente micro climático de las estructuras en formas que podrían ser benéficas para la conservación de la piedra. Sin embargo, la presencia de árboles también es una de las fuentes importantes de daño a los monumentos. El crecimiento de sus raíces levanta y perturba las estructuras de mampostería de manera directa (Fig. 91), además de crear canales para la filtración de agua en dichas estructuras. En presencia de vientos fuertes, los árboles pueden ser arrancados desde las raíces y caer, llevando consigo muchos metros cúbicos de suelo y restos de tierra. Finalmente, cuando los árboles se enferman o mueren, dejan tras de sí canales abiertos para la penetración del agua, así como estructuras debilitadas.

No existen árboles en la elevación occidental de la Estructura 26, en donde está ubicada la Escalinata Jeroglífica, pero sí hay árboles de talla mediana y pequeña en las fachadas norte y oriente (Fig. 92). Dada la importancia de la Escalinata, deberá considerarse especialmente la importancia de evitar daños ocasionados por árboles en la Estructura 26 a la cual, dado el hecho de que sustenta la Escalinata, deberá prácticamente dársele el mismo mantenimiento cuidadoso que recibe la Escalinata misma. En particular, la fachada oeste deberá mantenerse libre de árboles, si bien también debería considerarse eliminar la totalidad de los árboles de la Estructura 26. La relación existente entre la presencia de árboles y la conservación de las estructuras en el parque arqueológico Copán es un asunto complejo y deberá considerarse detenidamente para establecer un programa de manejo de árboles.

Asuntos relativos al drenaje

La Plaza de la Escalinata Jeroglífica es parte de un área más amplia que incluye la Gran Plaza, la Plaza Media y el Juego de Pelota. En toda esta área, de 250 x 100 metros, no existe un sistema de drenaje moderno, aunque el terreno tiene una ligera pendiente hacia la esquina suroeste de la Plaza de la Escalinata Jeroglífica, lugar en el que se ha localizado un antiguo drenaje de forma rectangular (Fig. 93). Un cálculo estimado sugiere que este drenaje puede ser adecuado para drenar la Plaza de la Escalinata Jeroglífica durante una tormenta intensa, pero no sería suficiente para eliminar el agua de lluvia de toda el área contigua. El drenaje de las plazas principales es un punto crítico para la estabilidad de los túneles en el interior de las estructuras, tanto a nivel de la plaza como por debajo de éste (Fig. 94).

Cuando llueve con fuerza, el agua que capta la lona que cubre la Escalinata Jeroglífica fluye principalmente hacia abajo y se acumula en la plaza, alrededor del extremo inferior de la lona, al igual que la lluvia que cae sobre la fachada occidental de la Estructura 26. El agua que se acumula en la plaza generalmente no llega a tocar el primer escalón de la Escalinata gracias a una hilada de piedras que se ha colocado frente al mismo, pero en caso de una tormenta particularmente intensa, esta hilada de piedras no es una barrera suficiente, por lo que deberá pensarse en ampliarla.

La actual pendiente del relleno consolidado al norte de la Escalinata canaliza algo de agua de regreso a la balaustrada norte. Para resolver esta situación, deberán agregarse mortero y piedras pequeñas en ciertas áreas.

Conclusión

Las grietas y los asentamientos que existen actualmente en la Escalinata se deben a acontecimientos del pasado, ocurridos posiblemente tras la reconstrucción realizada en la década de 1930. No se ha presentado desplazamiento reciente alguno ni en la Escalinata ni en la Estructura 26, en la cual se sustenta la primera. Adicionalmente, la geometría estructural de la pirámide y la de la Escalinata son muy estables, por lo cual el monumento no tiene riesgo estructural inminente. Sin embargo, deberán conducirse inspecciones con regularidad, manteniéndose un registro fotográfico y gráfico adecuado, y se deberán tener condiciones adecuadas para actuar con prontitud y tomar acciones correctivas inmediatas en caso de que ocurrieran cambios.

Dada la importancia de la Escalinata, deberá controlarse estrechamente el crecimiento de árboles en la Estructura 26, quizás eliminándolos por completo, con el fin de reducir los daños al monumento. La presencia de un drenaje inadecuado alrededor de la Escalinata es también asunto que debe ser atendido, pues esta situación podría provocar inundaciones y el derrumbe de los túneles cercano. Esto deberá resolverse como parte de un plan integral de recolección y drenaje del agua de las plazas del sitio.

Conclusiones principales

Cuando se excavó la Escalinata Jeroglífica a fines de la década de 1890, las condiciones de los bloques variaban enormemente, desde los que estaban muy erosionados y no presentaban restos de superficie tallada hasta los que todavía tenían detalles en la superficie claramente definidos. Por lo tanto, el rango de las condiciones se debía en gran parte a lo que le había ocurrido a cada

bloque con el paso de tiempo y después que el monumento quedó abandonado. Por ejemplo, algunos bloques siguieron expuestos mientras que otros se cubrieron rápidamente con tierra y derrumbe durante el colapso gradual de la Escalinata. Desde su excavación, los bloques de piedra han estado expuestos al medio ambiente tropical de Copán y no han tenido la cubierta de cal que les protegía originalmente en el período maya. Las fotografías históricas muestran con claridad que en los últimos cien años algunos de los bloques de piedra se han deteriorado en forma considerable mientras que otros sólo han sufrido cambios insignificantes. Los que se deterioraron estuvieron en ese estado en el pasado ya que hoy día, excepto por algunos bloques, las superficies se encuentran en una condición estable. En diferentes áreas de la Escalinata, se ha observado que han ocurrido ciertas pérdidas recientes de escamas de piedra, aunque la mayoría se encuentran en áreas tratadas con anterioridad en donde las intervenciones previas no están funcionando o se pueden atribuir como resultado del impacto mecánico de la gente que camina sobre la Escalinata.

Cualidades intrínsecas de la piedra

El estudio detallado de las condiciones muestra que el deterioro es específico por bloque y no se relaciona con la ubicación de los bloques en la Escalinata reconstruida. Esto no es de sorprender si se considera que más de tres cuartos de las piedras han estado en su ubicación actual durante los últimos 70 años solamente. Los bloques bien conservados, ubicados al lado de los bloques con superficies exfoliadas y disgregadas, indican que, en las mismas condiciones ambientales, determinados bloques son más propensos a sufrir daños que otros. Por consiguiente, las condiciones se relacionan específicamente con las características y durabilidad de cada bloque de piedra. La forma en que está colocado cada bloque en la Escalinata con respecto a su orientación y ubicación natural en la cantera también juega un papel en su condición. Los estudios mecánicos y físicos demostraron que la tufa volcánica de Copán es un tipo de piedra con variaciones significativas en una escala macro. Sus propiedades físicas y mecánicas (entre ellas su resistencia a la compresión, tamaño de grano, distribución del tamaño de los poros, almacenamiento de agua y propiedades para transportarla) cubren una amplia gama de valores y, por lo tanto, los bloques extraídos en diferentes áreas reaccionan en forma diferente al medio ambiente tropical agresivo cuando hay cambios bruscos de temperatura y humedad.

Exposición al medio ambiente

El entorno tropical de Copán tiene un impacto particularmente fuerte en la piedra y en otros monumentos, ya que a lo largo de la zona arqueológica se puedan observar superficies de piedras exfoliadas y disgregadas. Las causas principales del deterioro de las piedras en Copán están relacionadas tanto con la combinación de ciclos rápidos de mojado-secado como con las variaciones extremas en la temperatura de las superficies que ocurren en particular durante la temporada de lluvias estivales. Estas condiciones ambientales son también favorables para las actividades biológicas. El líquen y el musgo, y en menor grado las algas y las cianobacterias, colonizan todas las piedras expuestas, explotando las grietas minúsculas y las áreas débiles, lo que contribuye al proceso general de deterioro.

La principal forma de deterioro en las superficies de piedra de la Escalinata es la exfoliación milimétrica, acompañada de grietas paralelas a la superficie. Los análisis han demostrado que el espesor de las escamas corresponde en gran medida a la posición del contenido de humedad máximo promedio de las piedras de Copán con el paso del tiempo. Una hipótesis acerca del mecanismo de deterioro es que la formación de esas escamas se debe a los ciclos de mojado y secado relacionados con la dilatación hídrica de la superficie inmediata de la piedra y la disolución del sílice amorfo más soluble. La fuerza de corte, que incrementa por efecto de las

lluvias en la superficie exterior de la piedra, con el paso del tiempo conduce a la creación de micro grietas y genera exfoliación.

Cerca de tres cuartos de todos los bloques de la Escalinata tienen evidencia de esta clase de deterioro. Es posible que la variación en el grado de alteración se deba a la diferencia entre el comportamiento del transporte de agua y el contenido de arcilla expansible entre un bloque y otro. Los coeficientes de absorción y penetración del agua controlan la ubicación del punto de contacto del agua y del aire durante las fases de mojado y secado y, por consiguiente, de la localización de la fuerza de dilatación, además de la disolución y acumulación de sales, si las hubiera. Las diferentes piedras de Copán tienen diversas características de transporte de agua lo que hace que algunas piedras sean más propensas a la exfoliación y otras más sensibles a la recesión uniforme por desintegración intergranular.

Los datos del monitoreo ambiental indican que existen condiciones para la cristalización de sales por debajo de la superficie a lo largo y ancho de la Escalinata; sin embargo, los análisis indican que las sales altamente solubles sólo se encuentran en algunas de las piedras del escalón en la parte superior. Por lo tanto, hoy en día la disolución/cristalización de las sales no es un factor importante de deterioro, excepto en algunas de las piedras del escalón de la parte superior en donde se observa deterioro activo que se podría atribuir a la presencia de sales solubles producto de los morteros de cemento que se aplicaron en la superficie inmediata en los últimos 20 años.

Los estudios demostraron que detrás de las superficies disgregadas de la Escalinata, existen restos de crecimientos anteriores de organismos biológicos, como las hifas de hongos, que podrían disminuir y aumentar de acuerdo con los cambios en la humedad de la superficie, además de exacerbar el mecanismo de disgregación y exfoliación de la piedra, aunque eso no está ocurriendo actualmente gracias a la presencia de la lona protectora.

Intervenciones anteriores

En el caso de la Escalinata Jeroglífica, las anteriores campañas de intervención también han jugado un papel importante en el deterioro de la piedra. De acuerdo con las investigaciones, en la década de 1890 se moldearon con papel muchos de los bloques de la Escalinata. Es probable que en años subsiguientes y sin haberlo documentado, se repitiera esta actividad en determinados bloques usando materiales sintéticos. Es posible que estos moldes hayan causado daños a algunos bloques; no obstante, no se puede llegar a conclusiones por la falta de documentación sobre el tema.

La reconstrucción de la Escalinata, que se efectuó hace casi setenta años para asegurar su conservación a largo plazo, dejó a los bloques expuestos a un medio ambiente más agresivo que el que existía cuando se les colocó en la Plaza sobre piedras. Esta es quizá una de las acciones más perjudiciales que se han aplicado al monumento. Es muy probable que se haya limpiado mecánicamente las piedras antes de colocarlas en la escalinata reconstruida y que después se hayan dejado expuestas en el lado occidental de la pirámide durante más de cuarenta años. Durante ese período, las piedras quedaron expuestas a la acción mecánica del agua de lluvia que caía en cascada y pasaba por encima de las superficies en volúmenes y a velocidades mayores que antes; a la acumulación de agua de lluvia en los peldaños de la Escalinata; a la exposición más directa al sol; y al aumento de crecimiento microbiológico (incluso líquenes, hongos y algas). Un efecto colateral de la reconstrucción es que posteriormente hubo visitantes que subieron la Escalinata, lo cual sin duda alguna causó daños mecánicos significativos y la pérdida de superficies frágiles. Estos efectos negativos de la reconstrucción son evidentes cuando se comparan las fotografías históricas que muestran mayor deterioro de las superficies entre la

década de 1940 y 1987 en comparación con la forma en que estaba antes o después de ese período.

Aun cuando los morteros con base de cemento que se usaron para colocar de nuevo los bloques durante la reconstrucción realizada en la década de 1930 ya no contienen sales solubles, estos pudieron haber sido una fuente productora de sales lo que generó posiblemente deterioro. No obstante, hasta los morteros más duros de la Escalinata no han causado daño mecánico visible en las piedras adyacentes. Esto tal vez se deba en parte al mal trabajo inicial, que no sólo condujo a la formación de grietas de contracción en algunas de las interfases entre la piedra y los morteros, sino también a la resistencia a la compresión comparativamente alta que tiene la piedra de Copán. Mientras que los morteros de la reconstrucción de la década de 1930 no parecen haber sido una fuente de deterioro, la plataforma de cemento que se agregó en la parte superior de la Escalinata en los últimos 20 años puede haber influido de alguna manera en el deterioro activo que se observa en el escalón superior pues podría ser una fuente de sales solubles.

Otra intervención, la de aplicación de biocidas entre 1978 y 1979, causó efectos negativos en la conservación de las superficies de las piedras. Es posible que estas intervenciones, en las cuales se utilizaron Clorox y Borax, hayan tenido algún efecto directo de filtración temporal en la piedra, aunque es probable que sea leve en comparación con la exposición a largo plazo de la piedra al medio ambiente tropical. La muerte y desprendimiento posterior de organismos biológicos dejó superficies frágiles más expuestas a la erosión física. Asimismo, el posible retiro por medios mecánicos del líquen, que había penetrado al interior de las piedras, quizá provocó también más daños a las superficies. No obstante, no se pueden confirmar estos efectos potenciales negativos ni en las fotografías históricas ni en los documentos en archivo.

Las intervenciones de consolidación y ribeteo durante los últimos 25 años, para las cuales se utilizó principalmente resina acrílica Paraloid B-72 y resina de acetato de polivinilo Mowilith 30 en menor grado, no han producido deterioros adicionales en las superficies de las piedras y se ha demostrado que estas áreas se pueden volver a tratar. Sin embargo, las resinas han tenido un impacto estético negativo cada vez mayor debido a que la superficie de la piedra se oscurece de una manera considerable con el paso del tiempo, dificultando aun más la lectura de muchos de los glifos. Los resanes que se hicieron con Paraloid B-72 o Mowilith 30 y con polvo de piedra han tenido el efecto de sostener y mantener las escamas en su lugar. Si no se hubiera hecho esto, algunas de ellas se hubieran desprendido y perdido por completo.

La construcción en 1985 de una cubierta de protección encima de la Escalinata ha sido, después de su reconstrucción, la segunda intervención más importante desde su excavación. Aunque las cubiertas de protección a veces pueden provocar los daños que supuestamente van a prevenir, los datos sobre el medio ambiente indican que la estructura de protección de la Escalinata ha creado un entorno mucho más estable para las piedras y ha sido la intervención individual más importante que se ha realizado para la conservación de la Escalinata (ver sección sobre 'Control del medio ambiente'). La estructura ha tenido un efecto directo en la eliminación de la exposición de la Escalinata a casi toda el agua líquida y a la luz directa del sol, lo que reduce de manera significativa tanto los ciclos rápidos de mojado-secado como la amplitud de los ciclos termales. La lona de protección limita el calor del sol que se obtiene durante el día y la pérdida de calor por radiación en las noches, por lo que la temperatura de la superficie de la piedra se mantiene continuamente a un nivel más alto que la del aire del medio ambiente, lo que previene la condensación por las mañanas. La disminución drástica del agua disponible de la lluvia directa o de la condensación también ha limitado en gran medida la actividad biológica. Este medio ambiente estable es el motivo principal de las condiciones generalmente estables de las piedras que se observan en las comparaciones fotográficas de los últimos quince años. Un factor

perjudicial desconocido es el efecto inmediato que la construcción de la estructura de protección ha tenido en las piedras cuando éstas empiezan a secarse. Este período breve de cambio drástico en el medio ambiente de las piedras puede tener un impacto negativo en sus condiciones.

Y, por último, la restricción del acceso del público a la Escalinata que se implementó a mediados de la década de 1970 ha contribuido a la conservación de las piedras al limitar en gran medida el impacto mecánico y la abrasión física de las superficies frágiles.

Resumen

La integración exitosa de la información de archivos, el estudio de las condiciones, los análisis de laboratorio y los datos del medio ambiente han demostrado que aunque ha ocurrido un deterioro significativo en las piedras desde que se excavó la Escalinata Jeroglífica, el monumento se encuentra en una condición estable, salvo algunas excepciones. La dilatación hídrica se considera como la causa primaria del deterioro previo de las superficies de las piedras de la Escalinata. Las acciones mecánicas producto del crecimiento biológico, la erosión por el agua de lluvia y la exposición de la Escalinata a tráfico humano han jugado un papel secundario. Otro factor perjudicial es la expansión/contracción térmica; a pesar de que el gradiente de temperatura esperado entre el interior y el exterior de las piedras genera menos fuerza de dilatación que la dilatación hídrica. Las intervenciones previas han contribuido al deterioro, siendo la principal la reconstrucción de la Escalinata que expuso las piedras a un medio ambiente más agresivo.

La condición estable que tienen las piedras de la Escalinata en la actualidad se debe ante todo a la estructura de protección que se instaló a mediados de la década de 1980, la cual mantiene secas las superficies de la piedra, reduce de manera significativa las variaciones ambientales diarias y limita el crecimiento biológico en la piedra. Se puede mantener esta estabilidad asegurando la continuación de las condiciones ambientales actuales que produce la estructura de protección, con excepción de algunas modificaciones limitadas y localizadas, y de que se siga restringiendo lo más posible el acceso directo del público a la Escalinata.

Historia de la conservación / Pies de ilustración

(Ver la versión en inglés para las figuras.)

Registro foto-topográfico

Figura 51. Consultores de Photarc Survey Ltd. toman estereofotografías del bloque 2, usando una cámara de formato mediano.

Figura 52. Modelo digital de superficie del glifo B, bloque 20, escalón 6, con las imágenes sobre la superficie.

Figura 53a y b. Estereofotografías del bloque 410, escalón 43 (negativo 1361 [a]; negativo 1362 [b], 2000).

Registro de condiciones

Figura 54. Estudio de condiciones mediante registro digital directo con una computadora en campo.

Figura 55. Grado y ubicación de deterioro por desprendimientos de superficie en la Escalinata Jeroglífica.

Figura 56. Estudio de condiciones del bloque 551, escalón 59, en el que se muestra el grado de formación de hojuelas y desprendimiento de superficies.

Figura 57. Estudio de condiciones del bloque 197, escalón 23, que muestra una falta general de deterioro.

Figura 58a y b. Imágenes de secciones delgadas, utilizando microscopía de luz polarizada, de piedra genérica de Copán. La muestra BF1 bajo condiciones normales de luz (a) muestra poros en azul, en los que se disolvió el vidrio volcánico; la muestra iluminada con luz polarizada cruzada (b) muestra un grano parcialmente disuelto de feldespatos en una matriz de zeolita.

Análisis de materiales

Figura 59a y b. Expansión (a) y contracción (b) de arcilla en el ESEM durante ciclos de humedecimiento-secado (muestra BF1).

Figura 60. Datos sobre porosidad correspondientes a las muestras BF1 y BF6.

Figura 61. Distribución de tamaño de poro, determinada mediante Porosimetría por Intrusión de Mercurio.

Figura 62. Tiempos de secado de las tres muestras de piedra de Copán.

Figura 63. Diagrama de cromaticidad $L^*a^*b^*$.

Figura 64a–e. Imágenes ESEM/EDS de la hojuela de piedra C1 de Copán en modo BSE, con capas en rayos X de cuatro elementos que muestran la distribución de calcita en las fracturas (color falso-rojo) (a), capa de calcio con rayos X (b), capa de silicón con rayos X (c), capa de aluminio con rayos X (d) y capa de oxígeno con rayos X (e). La barra de escala es de 400 μm .

Figura 65a y b. Imagen ESEM/EDS de hojuela de piedra C5 de Copán, en la que se muestran cristales de calcita y hongos sobre su superficie (a); el 'espectro 1' EDS con rayos X muestra picos de calcio y de oxígeno que identifican los cristales como calcita (b).

Figura 66a y b. Cálculo WUFI de los perfiles de profundidad de temperatura, contenido de agua y humedad relativa. Las líneas no representan la media, sino el estado final al final del ciclo anual. Las áreas de color ilustran el rango de valores cubiertos en un año típico en el caso de piedras sin protección (a) y de piedras protegidas (b).

Figura 67a y b. Láminas delgadas de dos muestras diferentes de morteros de intervención en la Escalinata. En la muestra M2 (a), el mortero de cemento presenta partículas angulares a subredondeadas, clasificadas de manera moderada. En su mayoría están formadas por granos flotantes, con unos cuantos contactos largos, alto contenido de aglutinante y sin orientación de los granos. El volumen de los poros es, sobre todo, intersticial, con pocos vacíos de aire y presencia de algunas grietas. En la muestra M4 (b), el mortero de cemento denso con granos finos, de subangulares a subredondeados, bien clasificados. Fundamentalmente, granos flotantes, con un alto contenido de aglutinante. Presencia de algunos poros intersticiales, con pocos poros redondeados y grietas finas.

Monitoreo ambiental

Figura 68. Ubicación de las estaciones de monitoreo ambiental de la Escalinata y Jaguares. Además de los datos climáticos recolectados en ambos sitios, se utilizaron complejos de sensores específicos a cada estación para examinar tanto a la Escalinata Jeroglífica como al Patio Oriental o Plaza de los Jaguares.

Figura 69. Vista de la estación de monitoreo ambiental Escalinata desde el sur.

Figura 70. Vista de la estación de monitoreo ambiental Jaguares desde el noroeste. Si bien la presencia de vegetación alrededor de la estación de monitoreo Escalinata puede influir en los datos climáticos registrados, el ambiente relativamente sin obstrucciones de la Estación Jaguares permite que sus datos brinden una caracterización más general del clima del sitio.

Figura 71a y b. Mapas de contorno que muestran la temperatura media de superficie (en °C) de la Escalinata Jeroglífica durante la temporada de lluvias, entre mayo y octubre (a) y durante la temporada seca, de noviembre a abril (b). Los valores indican el nivel estacional medio de sensores específicos en la Escalinata. Los datos se recolectaron entre marzo del año 2001 y agosto del 2004 (se omitieron las fechas conocidas en que se haya retirado la lona).

Figura 72a y b. Mapas de contorno que muestran la variación media diaria de la temperatura de superficie (en °C) de la Escalinata Jeroglífica durante la temporada de lluvias, de mayo a octubre (a) y la temporada seca, entre noviembre a abril (b). Los valores indican el nivel estacional medio de sensores específicos en la Escalinata. Los datos se recolectaron entre marzo del año 2001 y agosto del 2004 (se omitieron las fechas conocidas en que se haya retirado la lona).

Figura 73a y b. Los mapas de contorno muestran la iluminación media (en lux), hacia mediodía, en la Escalinata Jeroglífica, durante la estación de lluvias, entre mayo y octubre (a) y durante la estación seca, entre noviembre y abril (b). Los valores indican el nivel estacional medio de sensores específicos en la Escalinata. Los datos se recolectaron entre marzo del año 2001 y agosto del año 2004 (se omitieron fechas conocidas en las cuales se hubiera retirado la lona).

Figura 74a y b. Mapas de contorno que muestran el tiempo de humedad perimetral de la estación de lluvias a mediodía del 24 de septiembre de 2001 (a) y el 10 de septiembre de 2002 (b). El registro de resistencia de los sensores se categorizó de la manera siguiente: mojado (0–10 k Ω), húmedo (10–100 k Ω), seco (100–1000 k Ω) y muy seco (>1000 k Ω). Gracias a la lona protectora, se asumió que la Escalinata Jeroglífica se mantendría seca. Los bordes negros de las figuras delimitan el escalón superior de la Escalinata Jeroglífica, así como los bordes norte y sur de la balaustrada de la misma.

Figura 75a y b. Mapas de contorno que muestran el tiempo de humedad perimetral de la estación de lluvias a mediodía del 17 de marzo de 2001 (a) y el 1° de abril de 2002 (b). El registro de resistencia de los sensores se categorizó de la manera siguiente: mojado (0–10 k Ω), húmedo (10–100 k Ω), seco (100–1000 k Ω) y muy seco (>1000 k Ω). Gracias a la lona protectora, se asumió que la Escalinata Jeroglífica se mantendría seca. Los bordes negros de las figuras delimitan el escalón superior de la Escalinata Jeroglífica, así como los bordes norte y sur de la balaustrada de la misma.

Análisis biológico

Figura 76. Sitio arqueológico de Copán bajo la densa cubierta de árboles, visto desde el norte.

Figura 77. Ubicación de las muestras biológicas tomadas de la Escalinata Jeroglífica, expresadas como número de escalón/letra del glifo: 1=2/B; 2=2/d; 3=7/J; 4= Figura Sedente 1 (en la parte inferior); 5=12/D; 6=Figura Sedente 1 (boca); 7=14/B; 8=23/J; 9=23/Q; 10=34/H; 11=35/B; 12=45/M; 13=50/D; 14=53/C; 15=56/J; 16=63/H; 17=36/F; 18=33/D (huella); 19=59/B (huella).

Figura 78a–c. Condición actual de la Estela H, de la que se extrajo una muestra (a), de una estela de cerca de la entrada, de la que se extrajo una muestra (b) y de un área de muestra de la cantera (c).

Figura 79a–c. Vista microscópica de (a) muestra de algas de *Trentepohlia monilia* (X500), (b) muestra de líquen *Dirinaria picta* y (c) muestra de cianobacteria *Gloeocapsa rupestris* y *Scytonema javanicum* (X280) de Copán.

Figura 80a y b. Sección (a) y sección teñida con PAS (b) (X114), que muestra una profunda penetración de hongo en las muestras de la cantera.

Figura 81. Condición actual del campo para el Juego de Pelota, que muestra una pátina negra en las superficies horizontales y su ausencia en las superficies verticales.

Figura 82. Altar 41 en 1985, tras el tratamiento con agentes biocidas para la eliminación de líquenes.

Figura 83. Abundante crecimiento de líquenes en el Altar 41 (*Candelaria concolor*, *Parmotrema tinctorum*, *Dirinaria picta*), que revela una rápida recolonización.

Figura 84. Ubicación ecológica de los monumentos analizados en el sitio arqueológico de Copán, así como los principales patrones de deterioro biológico (nótese también los cambios en los fenómenos de biodeterioro en la Escalinata Jeroglífica).

Evaluación estructural

Figura 85. Entrada al túnel en el lado norte de la Estructura 26.

Figura 86. Extremo norte del bloque 375, escalón 41, cerca de la balaustrada, visto en abril del año 2002, con una fotografía de la misma sección tomada en 1987. Se ve el mismo espacio ente la balaustrada y la escalera en ambas fotografías.

Figura 87. Mapa de las principales grietas en la Escalinata Jeroglífica.

Figura 88. Grieta en una gran roca horizontal (6S/107) de la balaustrada sur, cerca del escalón 37.

Figura 89. Plan del sistema de túneles bajo la Estructura 26.

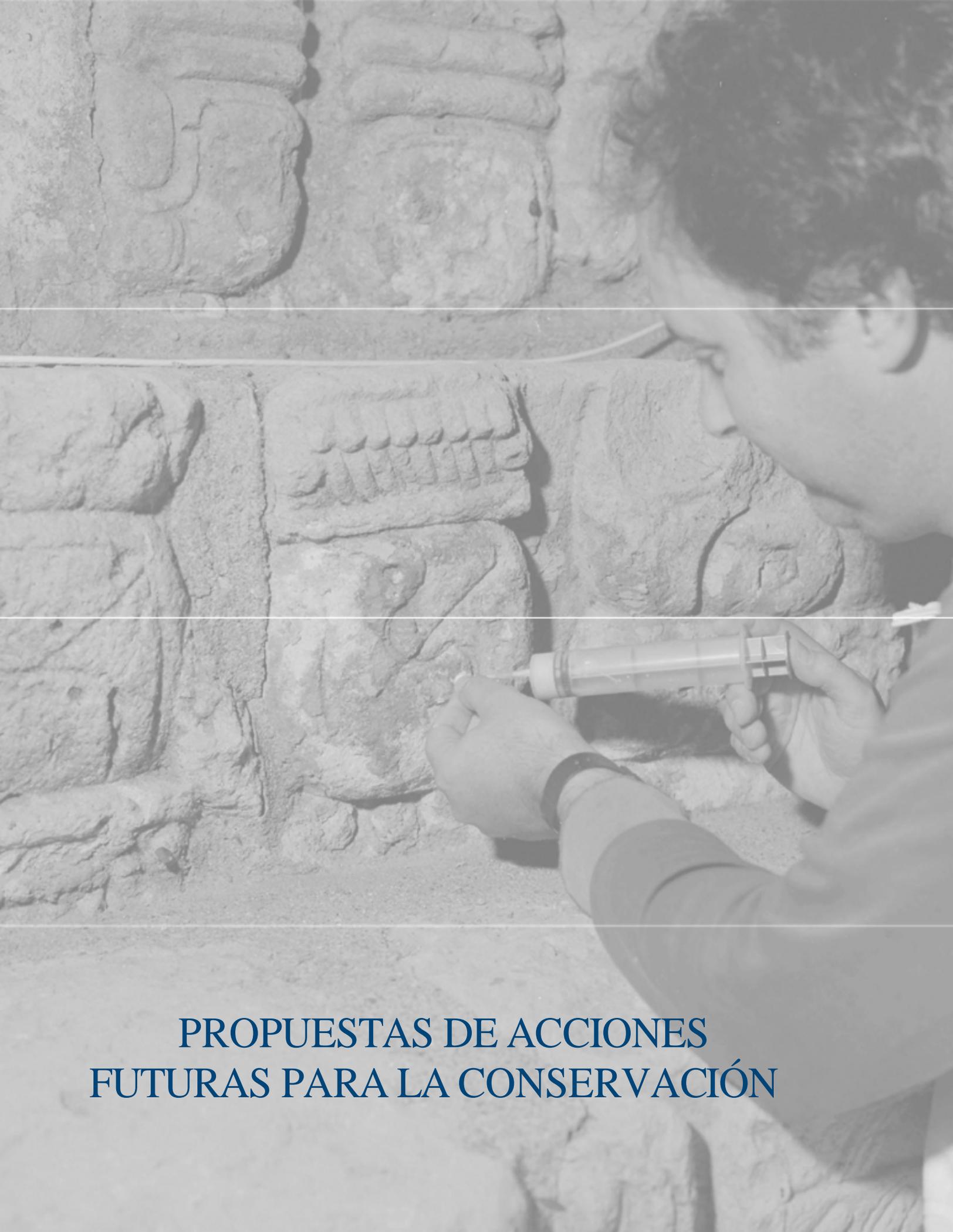
Figura 90. Vista de un túnel en la Tumba Margarita, que muestra el avance de los trabajos.

Figura 91. Vista de los escalones de piedra de la Estructura 9, mostrando la deformación causada por las raíces de los árboles.

Figura 92. Pequeño árbol que crece en el extremo norte de la cara oriental de la Estructura 26; podría quitarse fácilmente antes de que crezca hasta alcanzar un tamaño capaz de ocasionar daños.

Figura 93. Salida de antiguo drenaje en la esquina suroeste de la Plaza de la Escalinata Jeroglífica.

Figura 94. Plano de la Gran Plaza y la Plaza de la Escalinata Jeroglífica, mostrando el lugar del drenaje antiguo.



**PROPUESTAS DE ACCIONES
FUTURAS PARA LA CONSERVACIÓN**

Experimentación con técnicas y materiales para la conservación de piedra y mampostería

Con base en los resultados de la evaluación de condiciones, se ha concluido que existen dos tipos principales de intervenciones de conservación que serán apropiados en el futuro. Uno de ellos es el relleno de las juntas entre los bloques de la Escalinata con mortero y otro es la limpieza y estabilización de las superficies talladas de los bloques (Fig. 95). Estos dos tipos de intervención fueron investigados en campo y en las pruebas de laboratorio.

Es importante que las propuestas de intervención sean sustentables en el futuro, por lo que se consideraron criterios en la selección de métodos como disponibilidad y costo, tanto de materiales como del equipo necesario para trabajar. El primer paso para desarrollar propuestas de intervención consistió en determinar el tipo de materiales y equipo disponible localmente.

Obtención de materiales para la intervención

MATERIALES Y HERRAMIENTAS PARA LOS MORTEROS

Arena

El río Copán, que corre inmediatamente al sur y al este de la Acrópolis Central de Copán, ha sido la fuente tradicional de materiales para los trabajos de restauración y mantenimiento del sitio. El uso de arena del río Copán tiene las obvias ventajas de su proximidad y ausencia de costo; sin embargo, no hay consistencia en la distribución del tamaño de su grano de un lote de material al siguiente, por los cambios estacionales y por su ubicación. Por tanto, se buscaron empresas que ofrecen arena graduada de manera más consistente. Las fuentes más próximas están en las afueras de San Pedro Sula, sobre la carretera a Copán, en donde varios negocios (incluyendo a INDECO) procesan arena del río Chamelecón. La principal ventaja de las arenas procesadas es la consistencia del producto, lo que debe sopesarse contra el costo de su compra y su transporte hasta Copán.

Se llevaron a cabo análisis sencillos de la distribución del tamaño de partículas en varias muestras de arenas de diferentes grados del río Copán, así como en muestras proporcionadas por las empresas que venden arena del río Chamelecón. Al final, se seleccionaron dos lotes de arena del río Copán para utilizarse mezclados entre sí, en partes iguales, con el fin de llevar a cabo pruebas de tratamiento: una arena fina ('arenilla') y una más gruesa ('arena colada'). En el caso del segundo tipo, primero se eliminaron los granos más grandes (de más de 5 mm). Antes de usarlos, ambos tipos de arena se dejaron secar sin lavado previo. La mezcla de las dos muestras de arena del río Copán dio como resultado una distribución del tamaño de partículas similar a la arena comprada proveniente del río Chamelecón que, además, es comparable con las normas establecidas para la industria (Fig. 96).

Polvo pétreo

Para obtener elementos de mezcla más finos para la preparación de mortero y también para poder influir en el color de éste, se utilizó polvo de piedra. Actualmente, en el valle de Copán se sigue explotando la misma piedra volcánica verde que se utilizó para la construcción del edificio de la Escalinata Jeroglífica. Esta piedra se molió a mano, eliminándose las fracciones mayores a 2 mm, para crear polvo pétreo. También se utilizó polvo pétreo de color amarillo obtenido a partir de tufa de Copán, que se encontró en el Centro Regional de Investigaciones Arqueológicas (CRIA). Hace algunos años, el IHAH mandó moler mecánicamente un gran lote de dicha piedra amarilla, pero no fue posible identificar donde se había hecho.

Cal

La cal es otro material tradicional que se utiliza en Copán. La fuente de cal más próxima a Copán es la aldea de Llanatillos, en las colinas al norte del valle de Copán. Se compró cal viva en Llanatillos, apagándola y cerniéndola para utilizarla en pruebas de tratamiento. Chiquilas, aldea que queda a una hora de Copán en el camino hacia San Pedro Sula, es un centro importante de obtención de cal. Tiene más de doce hornos, todos de leña, que procesan piedra caliza procedente de dos canteras locales (Fig. 97). Muchos negociantes venden cal viva y existen dos marcas comerciales importantes de este producto: Honducal y 5 Estrellas (también conocida como Super Estrellas). No se puede esperar control de calidad en cuanto a las fuentes locales de cal.

Las muestras de mezcla de cal preparadas tanto con cal viva de Llanatillos y de Chiquilas, como con cal apagada 5 Estrellas comprada en Chiquilas, se analizaron con difracción de rayos X (DRX). Los resultados muestran que todas las pastas contienen calcita, si bien las cales de Chiquilas presentan una cantidad considerablemente mayor que la de Llanatillos. Las pastas con menor contenido de calcita tienen mejores propiedades adhesivas y una mejor plasticidad. Se llevó a cabo un análisis del tamaño de las partículas en las dos pastas preparadas con cal viva y los resultados indicaron una distribución similar del tamaño de sus partículas, con un máximo de entre 3 y 4 μm . La cal de Llanatillos es ligeramente más rica en partículas pequeñas (alrededor de un 35% de subfracción de 2 μm , en comparación con un 20% en la muestra de cal de Chiquilas), lo que tiene un efecto positivo en su plasticidad; esto puede deberse a un menor grado de carbonatación.

El lote analizado de pasta de cal de Llanatillos es mejor que las muestras provenientes de Chiquilas, tanto porque tiene un menor contenido de calcita como por su mayor contenido de partículas menores por lo que fue el material que se utilizó en la mayor parte de la experimentación.

Se utilizaron otras cales en algunos de los experimentos, tales como la cal de Chiquilas de 10 años de edad almacenada en uno de los túneles arqueológicos de Copán, si bien estas otras cales no se sometieron a pruebas de laboratorio.

Fue imposible ubicar en Honduras fuentes de cal hidráulica, ni local ni importada.

Aditivos puzolánicos

Debido a la ausencia de cal hidráulica en Honduras, se investigó la disponibilidad de agregados puzolánicos. Éstos son materiales que, por sí mismos, apenas poseen propiedades hidráulicas (definidas éstas como la capacidad de fraguar parcial o totalmente bajo agua) o no las presentan en lo absoluto, pero son capaces de reaccionar químicamente en presencia de agua para crear un

fraguado más rápido y fuerte. Hay muchos materiales, tanto naturales como artificiales, que son potencialmente puzolánicos, como la ceniza y la tierra volcánica, así como los ladrillos cocidos a 850° C o menos y que contienen ciertos tipos de arcillas (ver el Proyecto Smeaton de English Heritage [Teutonico et al. 1994]).

Se sometieron varios materiales locales a pruebas de puzolanidad. Entre ellos se probaron diversos tipos de ‘tierra blanca’ procedentes de distintos lugares de Honduras, así como un número de tejas y ladrillos fabricados en hornos de madera en operaciones caseras en el área de Copán. En una escala regional, también se probó la ‘tierra blanca’ de El Salvador, así como un material pómez procedente de Guatemala y disponible en Copán.

Las muestras se hicieron reaccionar en lechada de cal en tubos de ensayo y se utilizó agua pura como referencia. El hidróxido de calcio (la cal pura) reaccionará con el elemento puzolánico presente en la muestra, formando un coloide de hidratos de silicato aluminico de calcio. El incremento en volumen del material fraguado tras el paso de siete días da una indicación cualitativa del grado de puzolanidad (Cowper 1927: 46–50). En la Tabla 15 se presentan las descripciones de las muestras, así como una evaluación de su puzolanidad.

Tabla 15. Resultados de la prueba de puzolanidad.

<i>Muestra</i>	<i>Grado de puzolanidad</i> (- = ninguna, + = reacción moderada, ++ = reacción fuerte)
Tierra blanca - Llanatillos (cerca de Copán Ruinas) Tipo blanco 1	+
Tierra blanca - Llanatillos (cerca de Copán Ruinas) Tipo blanco 2	+
Tierra blanca - Llanatillos (cerca de Copán Ruinas) Tipo gris	-
Tierra blanca - Barrio San Pedrito (en Copán Ruinas)	+
Tierra blanca - Jacaleapa (al suroeste de Tegucigalpa)	-
Tierra blanca - San Salvador	++
Ladrillo - Quimistan (ladrillera Ladrillo Rafon)	+
Ladrillo - Florida (a las afueras de La Entrada)	+
Ladrillo - Los Planes (cerca de Santa Rita)	-
Ladrillo - En Copán Ruinas	+
Teja - En Copán Ruinas	++
Pómez - Guatemala	++

Varios de los materiales tuvieron grados importantes de puzolanicidad: la tierra blanca de El Salvador (que es una tefra volcánica con alto contenido de pómez), el material pómez procedente de Guatemala y las tejas de arcilla cocida obtenidas en Copán Ruinas (Fig. 98). Estos materiales deberán considerarse si llegaran a requerirse aditivos puzolánicos en el futuro.

Herramientas y equipo para preparar mortero

Muchas herramientas y equipo especializados para la preparación de morteros no se pudieron encontrar en Honduras, incluyendo mezcladoras, cuñas para el junteo, espátulas, cubetas de plástico y cernidores. Si bien mucho de este equipo fue traído del extranjero, los tratamientos con mortero pueden llevarse a cabo utilizando solamente materiales y herramientas locales, tales como cucharas de albañil y cubetas metálicas.

MATERIALES Y HERRAMIENTAS PARA EL TRATAMIENTO DE SUPERFICIES

Los tratamientos de superficie pueden dividirse en tres intervenciones principales: limpieza general, eliminación/reducción de intervenciones anteriores y estabilización; cada una de ellas requiere diferentes materiales y equipo.

Limpieza general

Para la limpieza en seco se necesitan cepillos de cerdas suaves. Después se aplica agua, aplicada con capillo o por aspersión, para la limpieza en húmedo. Todo esto se puede conseguir localmente, aunque no se encontraron aspersores manuales. Para uno de los experimentos, se utilizó como agente de limpieza una solución en agua al 4% de un surfactante no-iónico, Triton XL-80N (de la Dow Chemical Company), aunque cabe mencionar que tuvo que importarse a Honduras.

Reducción/eliminación de tratamientos anteriores

Para la reducción/eliminación de los tratamientos anteriores aplicados a la Escalinata, principalmente resinas acrílicas o a base de acetato de polivinilo (PVAc), se necesitan solventes químicos. Algunos de éstos, como la acetona y el agua destilada, existen en farmacias y ferreterías locales, pero otros solventes básicos, como el tolueno, no pueden comprarse al menudeo en Honduras occidental, aunque es posible comprarlos al mayoreo en San Pedro Sula (en empresas como Transmerquim y Honduchem).

Todas las herramientas y materiales básicos para la eliminación/reducción de tratamientos previos (bisturís, cepillos, hisopos de algodón, etc.) existen en San Pedro Sula. No obstante, los hisopos especializados de hule espuma (marca VWR y Texwipe), que mostraron ser extremadamente eficaces durante los experimentos, no se consiguen localmente, aunque pueden importarse fácilmente, gracias a su bajo costo y su poco peso. Otros elementos, tales como pulpa de papel y arcilla de atapulgita, se mezclaron con solventes y se emplearon en la preparación de papetas para los tratamientos de superficie. Los materiales utilizados se importaron a Honduras, pero es posible que se consigan materiales locales con los que se puedan sustituir.

Estabilización

Además de los materiales para la preparación de mortero anteriormente descritos, se requiere el uso de pigmentos para igualar el color de los materiales de acabado a base de cal con los diferentes colores de la piedra de la Escalinata. Los pigmentos utilizados durante los experimentos para el tratamiento se trajeron de Estados Unidos (pigmentos Kremer). No obstante, existen algunos pigmentos en ferreterías grandes de San Pedro Sula, probablemente importados de México, incluyendo un verde (probablemente hecho a base de óxido de cromo) y varios ocres. No se encontraron en Honduras espátulas para el terminado fino de bordes o el resane, pero estas fueron fabricadas por un herrero local. El equipo para la inyección de lechadas, como jeringas y agujas, se puede obtener localmente.

Se han utilizado ciertos adhesivos y consolidantes en el sitio desde hace muchos años por lo que se hicieron algunas pruebas con los mismos. Entre éstos, se cuentan la resina acrílica Paraloid (Acryloid) B-72 y la emulsión acrílica acuosa Rhoplex (Primal) AC-33 (ambas fabricadas por Rohm & Haas, de Filadelfia, EE.UU.), importadas desde México.

Los productos de silicón coloide Ludox® HS-40 y Syton® X-30 (ambos fabricados por DuPont, de Wilmington, EE.UU.) también se utilizaron los experimentos, pero no se les puede conseguir localmente.

Experimentación de tratamientos

MORTEROS PARA RESANES DE JUNTAS

Preparación

Antes de llevar a cabo experimentos in situ con mortero, se prepararon diferentes mezclas, colocándolas en moldes de madera hechos localmente (Fig. 99) (Martin 2001). Dos juegos de estas muestras se dejaron en el sitio para las pruebas de exposición comparativa. Un juego se colocó bajo una lona, en tanto que el otro quedó totalmente expuesto. Otros seis juegos (medios cubos, medios prismas) se enviaron al GCI para someterlos a diferentes pruebas.

Se hicieron diversas mezclas de mortero en el sitio en diciembre de 2001 para probar las características de los diferentes materiales disponibles localmente. Los dos aglutinantes sometidos a pruebas fueron una cal viva recientemente apagada procedente de Llanatillos y una cal hidratada empacada (5 Estrellas: una marca de Chiquilas) preparada como pasta antes de usarse. Ambos tipos de cal fueron cernidos antes de su utilización. Se utilizó arena gruesa y arena fina del río Copán y polvo de piedra verde de Copán como agregados. Después de someterlos a análisis de distribución de tamaño de partículas, se descartó la fracción grande (de más de 5 mm) de ambas arenas y se agregaron las arenas por partes iguales para preparar la llamada 'arena mezclada de Copán'. Se agregó un 10% de polvo pétreo para aumentar la proporción de fracción inferior (elementos de mezcla de más de 600 µm) en la mezcla resultante. Esta mezcla (4.5:4.5:1 arena fina: arena gruesa: polvo pétreo) se utilizó para todas las muestras. Se probaron dos relaciones de aglutinante a elementos de mezcla. Una de 1:2.5 y la otra de 1:3. El único otro material utilizado en las mezclas experimentales fue la metacaolina (nombre comercial: Metastar 501), que se agregó como una pasta suave a dos de las mezclas como aditivo puzolánico. La metacaolina es un material altamente puzolánico y reactivo, creado mediante la calcinación de una caolina a temperaturas moderadamente altas (entre 650 y 850°C). Este material fue importado a Honduras.

Los cinco tipos de mezcla de mortero que se probaron fueron:

LP1 1 pasta de cal de Llanatillos: 2.5 mezcla de arena de Copán

LP2 1 pasta de cal de Llanatillos: 2.5 mezcla de arena de Copán + 10% de Metastar

LP3 1 pasta de cal de Llanatillos: 3 mezcla de arena de Copán

HLP1 1 pasta de cal hidratada 5 Estrellas: 2.5 mezcla de arena de Copán

HLP2 1 pasta de cal hidratada 5 Estrellas: 2.5 mezcla de arena de Copán + 10% de Metastar

Todos los morteros se mezclaron a mano en una tabla, comprimiéndolos después en una cubeta antes de colocarlos en los moldes. Las muestras se cubrieron luego con arpillera húmeda, colocándolas luego por espacio de 6 semanas en un túnel en la base de la Escalinata, para que se mantuvieran húmedas. Al final de este período, se enviaron seis cubos y prismas al GCI para su análisis (Fig. 100).

Análisis

Después de curar los prismas de mortero por más de 6 meses, estos se sometieron a pruebas de laboratorio. Las propiedades físico-mecánicas determinadas para las formulaciones de mortero de reparación fueron: fuerza de compresión (DIN EN 1015-11, 1999), módulos estáticos de elasticidad, absorción capilar de agua y coeficiente de penetración capilar de ésta (valores W y B, respectivamente) (DIN 52617), velocidad ultrasónica, coeficiente de porosidad Hirschwald (RILEM II.1) y densidad de volumen. Las principales propiedades de los morteros sometidos a prueba se presentan en la Tabla 16.

Tabla 16. Propiedades de la pruebas de morteros para resanes de juntas.

<i>Propiedad</i>	<i>LP1</i>	<i>LP2</i>	<i>LP3</i>	<i>HLP1</i>	<i>HLP2</i>
Resistencia a la compresión (N/mm ²)	1.9	2.5	1.8	2.8	2.1
Módulo de elasticidad E _{stat} (kN/mm ²)	3.1	0.3	3.6	3.2	0.3
Coeficiente W de absorción capilar de agua (kg/m ² √h)	9.4	8.6	9.6	6.3	8.4
Coeficiente de penetración capilar de agua B (cm/√h)	5.8	4.0	6.1	3.7	6.0
Velocidad ultrasónica (km/s)	1.6	1.9	1.7	1.9	1.9
Porosidad accesible al agua (%)	13.7	15.6	14.2	12.9	16.8
Coeficiente de Hirschwald (%)	90	92	89	88	93
Densidad de volumen (kg/m ³)	1860	1788	1840	1881	1800

Todos los morteros del experimento presentaron valores dentro del rango típico de los morteros a base de cal: densidad de volumen ($1788\text{--}1881\text{ kg/m}^3$), porosidad ($12.9\text{--}16.8\%$), capilaridad (valor W: $6.3\text{--}9.6\text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$, valor B: $3.7\text{--}6.1\text{ cm}/\sqrt{\text{h}}$), en combinación con altos coeficientes de Hirschwald ($88\text{--}93\%$), que indican un valor bajo de congelamiento/descongelamiento y baja resistencia a la cristalización de sales. Los valores de fuerza de compresión también están en el rango típico ($1.8\text{--}2.8\text{ N/mm}^2$), pues los morteros a base de cal pueden alcanzar fuerzas compresivas mayores a 1 N/mm^2 en 28 días. Las velocidades ultrasónicas medidas ($1.6\text{--}1.9\text{ km/s}$) indican una buena correlación con la fuerza de compresión.

Agregar Metastar, no aumenta considerablemente la fuerza de compresión en los morteros a base de cal ($1.9\text{--}2.5\text{ N/mm}^2$) la cual incluso disminuyó en el caso de los morteros a base de cal hidratada ($2.8\text{--}2.1\text{ N/mm}^2$). Fue particularmente sorprendente constatar que los morteros a los que se les agregó Metastar presentaron un Módulo de Elasticidad muy bajo. Una posible explicación para este extraño comportamiento podría ser que las considerables cantidades de aditivo puzolánico no pudieron reaccionar con el hidrato de calcio (cal pura) debido a la ausencia de agua. Por lo tanto, el aditivo se mantiene presente en el mortero como componente fino y lleva a cabo una función similar a la de la caolina al reducir el módulo de elasticidad. Esta interpretación se ve apoyada por el bajo incremento en fuerza y en velocidad ultrasónica.

Los requerimientos normales de compatibilidad en morteros para resanes de juntas consisten en que los parámetros de la mayoría deberán tener valores similares o menores a los de la piedra. La fuerza de compresión del mortero es muy baja en comparación con la del sustrato de piedra y sus características de almacenamiento y transporte de agua son también muy diferentes. Sin embargo, estas diferencias no tienen un efecto negativo, pues el mortero para resanes de juntas tiene un papel estructural sumamente limitado en la Escalinata reconstruida y, además, está protegida de la lluvia por una cubierta. Por lo tanto, todas las mezclas de mortero analizadas pueden considerarse adecuadas.

Pruebas de exposición en el sitio

Las muestras dejadas en el sitio, tanto bajo la lona como expuestas a los elementos en la parte superior de la Escalinata, se han evaluado visualmente con regularidad desde el año 2001 (Figs. 101, 102). Tras dos años, se encontró que las muestras tenían un buen estado, sin pérdidas y sin grietas debidas al encogimiento interno, si bien presentaron algo de espacio entre el molde de madera y el borde de las muestras, por el encogimiento. Estos espacios pueden atribuirse a la dilatación hidrológica de los moldes de madera. Las muestras bajo la lona no mostraron cambios tras dos años. Las muestras expuestas a los elementos muestran una erosión ligera, con superficies rugosas producidas por la erosión pluvial y una de las muestras ha comenzado a presentar un crecimiento de algas negras en su superficie.

Se prepararon cuatro mezclas adicionales de mortero en febrero de 2003, para conocer lo que ocurría al agregar material pómez de Guatemala como aditivo puzolánico, así como el comportamiento de otras cales (pasta de cal de Chiquilas de 1992 y pasta de cal de Chiquilas de 2002) y arenas (arena del río Chamelecón de INDECO) hondureñas. Estas cuatro mezclas se colocaron en moldes de madera y se dejaron bajo la lona. La mezcla de mortero con agregado de material pómez también se colocó entre dos piedras no esculpidas tomadas de los materiales acumulados cerca a la estación de monitoreo ambiental en la parte superior de la Escalinata. Un año después, la muestra de mortero con material pómez expuesta a los elementos está en buenas condiciones, a pesar de la presencia de una grieta vertical, que se formó inmediatamente después de su colocación y de presentar áreas de erosión ligera por efecto de la lluvia (Fig. 103). La

muestra de la misma mezcla que se dejó bajo la lona no sufrió cambios, pero la superficie de las otras tres muestras de mortero se ha hecho rugosa, en contraste con la superficie aún lisa del mortero con mezcla de material pómez. Dada la protección brindada por la lona, la erosión de estas tres muestras resulta difícil de explicar.

TRATAMIENTOS DE SUPERFICIE

No se llevaron a cabo pruebas de laboratorio de los tratamientos de superficie debido porque las condiciones de la piedra deteriorada y de tratamientos anteriores no pueden replicarse con facilidad en un laboratorio.

Experimentos para el tratamiento in situ

SELECCIÓN DE BLOQUES DE EXPERIMENTACIÓN

Se escogieron varios bloques de piedra de la Escalinata Jeroglífica para llevar a cabo experimentos. Para su selección se consideraron diferentes criterios: se escogieron bloques que presentaban diferentes condiciones, en particular distintas cantidades de tratamientos anteriores, diferentes colores y bloques que requirieran diferentes tipos de tratamiento (limpieza de superficie, tratamiento de superficie, aplicación de mortero para resanes de juntas). Finalmente, se escogieron bloques ubicados en diferentes lugares en la Escalinata, intentando en la medida de lo posible seleccionar bloques de la mitad superior de la Escalinata, con el fin de que los resultados no fueran demasiado evidentes visualmente. La Figura 104 muestra la ubicación de los bloques utilizados para llevar a cabo experimentos para el tratamiento en la Escalinata.

Se escogieron tres bloques para recibir un tratamiento completo; es decir, eliminación de mortero anterior, aplicación de mortero para resanes de juntas y tratamiento completo de superficie. Los bloques se escogieron porque presentaban mortero para resanes de juntas deteriorado pero sin juntas demasiado profundas que pudieran requerir una intervención más prolongada. Un bloque de color bufa (488) presentaba una muy pequeña cantidad de tratamientos anteriores y una superficie estable, en tanto que dos bloques verdes (406 y 407) mostraban una cantidad importante de tratamientos anteriores.

Se escogieron tres bloques para recibir un tratamiento parcial de superficie, tratándose sólo algunos de sus glifos. Se seleccionaron los bloques 576 y 578 por ser algunos de los bloques que más tratamiento habían recibido anteriormente. Estos presentaban superficies deterioradas con desprendimientos y disgregación, además de presentar variaciones importantes de color en superficies pequeñas. Estos dos bloques presentaban las peores condiciones posibles en cuanto a escenarios de tratamiento. También se escogió el bloque 513 para practicarle un tratamiento parcial de superficie por su color y por la cantidad de tratamientos de superficie a los que se le había sometido con anterioridad.

Se escogieron dos bloques para hacer tratamientos experimentales de limpieza. Ambos presentaban poca intervención anterior y sus superficies eran estables. Se seleccionó un bloque verde (463) con una banda de colonización microbiológica en la parte superior con el fin de practicar una eliminación experimental de microorganismos en áreas selectas. Asimismo, se escogió un bloque verde pálido para hacer pruebas de limpieza en una piedra sin microorganismos (197).

Finalmente, el bloque 71, seleccionado inicialmente como bloque de control, por lo que no habría de recibir tratamiento experimental alguno, tuvo que intervenir de emergencia porque se detectaron desprendimientos importantes en su superficie en el año 2003. Posteriormente, se decidió darle un tratamiento completo. El bloque 409, otro bloque de control que no se había seleccionado para recibir tratamiento experimental, también recibió un tratamiento de emergencia muy localizado tras sufrir el desprendimiento de un fragmento de piedra que se había reintegrado previamente. Procede lo mismo en el caso del bloque 463 al cual, durante el período de pruebas, se readhirieron algunos fragmentos que se le habían desprendido.

ELIMINACIÓN Y REPARACIÓN DE MORTEROS DE RESANE DE JUNTAS

Se llevaron a cabo experimentos in situ para la sustitución de mortero en Enero de 2003, en dos porciones diferentes de la Escalinata: entre los bloques 406–407 y alrededor del bloque 488, utilizando mezclas de mortero similares a la probada en laboratorio. El mortero de las intervenciones anteriores se eliminó con martillo y cincel, hasta alcanzar una profundidad equivalente al ancho de las juntas, por lo que no necesariamente se le eliminó por completo. La eliminación de morteros en estas dos áreas confirme lo que se había ya observado, que dependiendo de la localización en la Escalinata, los morteros de juntas pueden ser difíciles o fácil de remover. Además una vez se ha quitado la superficie del mortero, se encuentran vacíos alrededor de los bloques así como áreas donde estas juntas han sido rellenadas por mortero y fragmentos de piedras.

Las juntas se rellenaron con mortero hasta un nivel ligeramente por debajo del nivel del bloque y, en aquellos sitios en los que se presentaban grandes huecos, se insertaron fragmentos de piedra. El mortero se compactó utilizando claves de relleno y se dio el acabado superficial el mismo día o al día siguiente, manteniendo el mortero mojado todo un día. La mezcla de mortero utilizada alrededor de los bloques 406–407 fue una pasta a base de cal procedente de Llanatillos, en proporción 1:2.7, con agregados (4.5:4.5:1 arena fina de Copán: arena gruesa de Copán: polvo pétreo verde fino de Copán). El mortero para resanes de juntas utilizado alrededor del bloque 488 es una mezcla similar, pero con una proporción mucho más elevada de polvo pétreo de Copán (1:1 mezcla de arena de Copán: polvo pétreo de Copán, en lugar de la proporción 9:1 anterior) (Figs. 105a, b). La mayor relación de polvo pétreo en relación con el contenido de arena se escogió por razones estéticas, para intentar igualar el color de la superficie del mortero con el de los bloques. La mayor proporción de polvo pétreo en el mortero de resane del bloque 488 produjo un color mucho más claro, más próximo a la apariencia de algunos de los bloques; sin embargo, el color gris rosáceo del mortero de resane de los bloques 406–407 corresponde mejor al de los morteros de cemento de resane existentes (Figs. 106a, b).

Al día siguiente después de la aplicación de los morteros, estos mostraban una firmeza considerable, presentando sólo unas cuantas grietas en las superficies mayores que se habían cerrado con claves de relleno. El mortero que no había recibido acabado de superficie el mismo día resultó más difícil de retocar y limpiar con esponja al día siguiente.

Después de transcurridos más de dos años, los dos morteros experimentales de reparación aplicados entre los bloques 406–407 y alrededor del bloque 488, se mantenían en buenas condiciones y sin modificaciones. Cualquiera de estos dos morteros, elaborados con materiales disponibles localmente y sin aditivos sintéticos, puede utilizarse en la Escalinata con resultados adecuados, tanto desde el punto de vista funcional como desde el estético.

Debe señalarse, sin embargo, que los requisitos de desempeño de los morteros de reparación de la Escalinata son mucho menos estrictos que los que deben cumplir la mayoría de los morteros de

resane. Esto se debe a que su función estructural es muy limitada, ya que los bloques descansan en una escalinata reconstruida y la presencia de una cubierta protege al mortero de la lluvia directa.

TRATAMIENTOS DE SUPERFICIE

Los experimentos para el tratamiento de superficies se llevaron a cabo en varias temporadas, entre los años 2001–03, durante las cuales se fue desarrollando y sometiendo a prueba en todas sus fases el procedimiento de tratamiento que se describe a continuación.

Limpieza

Los resultados de los experimentos iniciales para el tratamiento indicaron que se requería una limpieza general preliminar de superficie antes de efectuar tratamientos adicionales de manera eficaz y eficiente. La limpieza general ayuda a evaluar qué partes de la superficie se habían tratado con anterioridad y cuáles no, así como qué partes presentan crecimiento microbiológico. En todos los casos, se demostró la necesidad de llevar a cabo una limpieza previa antes de aplicar tratamientos de estabilización.

Las primeras pruebas de limpieza eran para determinar la limpieza previa a la aplicación de tratamientos de estabilización podía producir la pérdida de superficie. Al principio, se aplicó agua con hisopo y, al no generar pérdidas de superficie, se experimentó con agua rociada con aspersor y cepillado suave con cepillo dental (Fig. 107). En la mayoría de las superficies, este método resultó seguro y eficaz, si bien en algunas áreas más deterioradas, generalmente aquellas que habían sido tratadas previamente, este método podría ser potencialmente demasiado agresivo. También se hizo un experimento utilizando un aditivo detergente (Triton XL-80N diluido al 4% en agua), pero esto no mejoró considerablemente la operación de limpieza, por lo que no se siguió aplicando en experimentos posteriores para el tratamiento.

Se escogieron bloques de diferentes colores para llevar a cabo experimentos para la limpieza, con el fin de determinar el resultado estético del procedimiento de limpieza. Específicamente, se buscó determinar si los resultados de la limpieza en bloques de bufa de color eran diferentes de los obtenidos mediante limpieza con agua sobre los bloques verdes. Los experimentos para la limpieza llevados a cabo con diferentes bloques mostraron que pueden obtenerse cambios dramáticos mediante operaciones muy rápidas de limpieza de bloques sin tratamientos anteriores (Fig. 108). La eliminación de depósitos de polvo y telarañas de la superficie de la piedra revela la variedad de colores de la piedra utilizada para construir la Escalinata. Estos colores, sin embargo, no habrían sido visibles originalmente, debido a la capa de estuco aplicada sobre los bloques por los mayas.

Readhesión de fragmentos de superficie

La pérdida observada de un fragmento de 2 cm de grosor de la superficie del bloque 409 propició la experimentación para la readhesión de fragmentos desprendidos. Dado que el fragmento mencionado se había adherido previamente utilizando un adhesivo desconocido, esto brindaba también la oportunidad de probar diferentes medios para la preparación de papetas con miras a eliminar adhesivos de las superficies sólidas de la piedra. Se hicieron experimentos con papetas a base de pulpa de papel, de arcilla de atapulgita y de una mezcla 1:1 de estos dos compuestos, mezclados con acetona y aplicados a la superficie interna del fragmento desprendido. Los tres compuestos resultaron eficaces, pero los mejores resultados se obtuvieron con la mezcla de arcilla

y papel. Aunque ambos materiales se importaron, es posible que se encuentren equivalentes locales de menor calidad.

Una vez eliminado el adhesivo de las uniones entre el fragmento y el bloque, se experimentó la readhesión. Esto se realizó utilizando Paraloid B-72, diluido al 40% en acetona. Se escogió trabajar con Paraloid B-72 se puede obtener localmente y porque, bajo la lona, la superficie de la piedra rara vez sobrepasa los 40° C (temperatura de liquidación del Paraloid B-72). Asimismo, el tamaño moderado del fragmento no requería el uso de un adhesivo más fuerte. Mientras fraguaba el adhesivo, se sostuvo el fragmento colocando cuñas de piedra debajo del mismo. Al día siguiente, el fragmento estaba firmemente readherido y así se ha mantenido por más de un año.

Reducción de tratamientos previos

Tras llevar a cabo experimentos para la limpieza general con agua y cepillado ligero o bien con agua y aplicación de hisopos, dependiendo de las condiciones de superficie, se probó la reducción o eliminación de tratamientos de consolidación anteriores. Es recomendable intentar reducir los tratamientos anteriores por dos razones: para permitir un tratamiento de estabilización en aquellos casos en los que fuera necesario y para mejorar la legibilidad de las superficies talladas y la apariencia estética general de los bloques. Los materiales utilizados anteriormente para estabilizar las superficies, que se han oscurecido considerablemente con el tiempo, así como la mala calidad en la aplicación de dichos tratamientos ha conllevado a que muchas de las superficies talladas resulten irreconocibles actualmente.

Con el fin de reducir el material previamente aplicado a las superficies, se experimentó con diferentes solventes y técnicas de aplicación, incluyendo la aplicación de papetas y el uso de hisopos. Aunque se utilizaron diversos materiales para la elaboración de papetas, esta técnica no es apropiada para la mayoría de las superficies estabilizadas, por el potencial de desprendimiento de muchas superficies frágiles al momento de retirar la papeta.

El método preferido, que permite un mayor control, es el uso de hisopos. Después de varias pruebas para la reducción o eliminación de intervenciones anteriores mediante la aplicación de hisopos de algodón (Fig. 109), se utilizaron varios tipos y tamaños de hisopos de espuma sintética, lo que fue mucho más eficaz, por la capacidad de este tipo de hisopos de retener mayores cantidades de solvente por más tiempo. Este tipo de hisopos resulta esencial para obtener tiempos razonables de tratamiento. Desgraciadamente no se les consigue en Honduras, aunque resulta fácil importarlos o aún ordenarlos por Internet a un precio modesto. Se experimentó con los pocos solventes disponibles en Honduras occidental y se encontró que la mejor alternativa es la acetona, por su capacidad de disolver el Paraloid B-72 utilizado en los tratamientos, la facilidad de su obtención y su baja toxicidad para el usuario.

El uso de acetona y de hisopos sintéticos resultó exitoso en la eliminación de Paraloid B-72 de la superficie de la piedra y, como consecuencia, de cualquier oscurecimiento de la misma. No obstante, las superficies tratadas con anterioridad mantuvieron ciertas propiedades repelentes al agua, debido a los restos de Paraloid B-72 presentes justo por debajo de la superficie. En algunas áreas, en las que la superficie estaba extremadamente frágil, aún la cuidadosa aplicación de hisopos con acetona produjo una pérdida muy limitada de material, aunque esto se consideró un resultado aceptable, porque con el tratamiento se logró una mejoría general en las condiciones de la superficie.

Cuando la reducción de ribeteos no amenazaba la estabilidad de las superficies, estos fueron eliminados completamente; en otros casos, tan sólo se les redujo. Se descubrió que algunos

ribeteos resultaban más solubles en acetona y mucho más fáciles de eliminar que otros. Los primeros probablemente se llevaron a cabo utilizando resina acrílica Paraloid B-72, dada su mayor solubilidad, en tanto que las reparaciones más difíciles de disolver probablemente se hicieron con acetato de polivinilo (PVAc) Mowilith 30. Éstas requirieron de una acción mecánica más vigorosa, mediante el uso de un bisturí, para poder eliminarlas (ver sección 'Análisis de materiales').

La reducción/eliminación de tratamientos anteriores produjo cambios sumamente dramáticos en la apariencia visual de las superficies de piedra. El oscurecimiento de ambos tipos de materiales por el paso del tiempo se podía revertir con su eliminación de las superficies, revelándose así el color natural de la piedra y, lo que resulta aún más importante: los detalles tallados vuelven a ser tan visibles como antes de aplicarse los tratamientos previos (Fig. 110).

Estabilización

La reducción o eliminación de tratamientos previos de estabilización/consolidación a menudo dejó las superficies frágiles y vulnerables a sufrir pérdidas adicionales; por lo tanto, fue necesario efectuar tratamientos de estabilización inmediatamente después de la reducción de tratamientos anteriores para evitar pérdidas.

Se probaron y emplearon dos tratamientos principales para la estabilización: la inyección con lechada de cal para rellenar vacíos tras las superficies desprendidas, así como hojuelas mayores inaccesibles al mortero sólido normal (Fig. 111), y el resane de bordes para rellenar, cerrar y proteger los bordes abiertos de las áreas desprendidas (Fig. 112). Muchos de estos desprendimientos se habían tratado anteriormente, sujetándolos con ribeteos, aunque sin llenar las oquedades internas, lo que dejaba a estas piezas vulnerables en caso de impacto físico. La inyección con lechada de los desprendimientos de superficie era particularmente importante para llenar las oquedades y para apoyar y readherir las piezas desprendidas al bloque de piedra sólida.

Se evaluaron dos tipos principales de materiales para estos tratamientos. Se experimentó con la inyección de oquedades y con el ribeteo utilizando lechada a base de cal, pues la cal es el material más fácil de obtener localmente; como alternativa, también se experimentó con silicón coloidal, dada la compatibilidad química de estos materiales con la tufa volcánica. Los productos de silicón coloidal también se seleccionaron por ser fáciles de importar, ya que se trata de productos con base de agua y no de solvente, como es el caso de la mayoría de los demás consolidantes a base de silicón.

Para el resane de bordes en piezas desprendidas, se experimentó con pasta de cal, polvo pétreo de Copán (tanto verde como amarillo) y mezcla de arenas de Copán y se comprobó que estos materiales se adaptan bien a las necesidades. No obstante, los materiales generalmente tuvieron tonos demasiado claros al secar, por el efecto blanqueador de la cal. Ni el aumento en el contenido de polvo pétreo en la mezcla (en proporción 1:1.5 arena: polvo pétreo) ni la disminución en la proporción de cal (que disminuimos hasta una proporción de 1:5) presente en la mezcla mejoró de manera importante la correspondencia cromática con la mayoría de las piedras. Sólo agregando pigmentos secos se pudo obtener una correspondencia cromática satisfactoria entre los materiales de tratamiento a base de cal y las superficies de las piedras. Se experimentó con varios pigmentos Kremer en diferentes concentraciones (desde 0.5% hasta 10% v/v). También se experimentó con diferentes proporciones relativas de materiales agregados y se encontró que los pigmentos influyen en el color del mortero seco únicamente si la mezcla de agregados contiene más polvo pétreo que mezcla de la oscura arena de Copán. El tamaño máximo de los ingredientes, el color del polvo pétreo de Copán y el tipo y la concentración de pigmentos

siguen siendo variables a ajustar, dependiendo del ancho del resane y del color local de la superficie de la piedra a tratar (Figs. 113a, b, 114a, b).

Se experimentó con lechadas a base de cal y se encontró que su uso resultaba exitoso aún cuando la superficie exfoliada se hubiera consolidado previamente utilizando Paraloid B-72. Sin embargo, en algunos casos, cuando existía una aplicación previa de Paraloid B-72 y tierra detrás de un desprendimiento, resultó difícil hacer que la lechada penetrara. Para resolver este problema, se llenaron estas oquedades con acetona antes de aplicar la lechada, pero en estos casos la adhesión de la lechada a las superficies de piedra sigue siendo problemática.

También se experimentó la consolidación de oquedades con una mezcla de silicón coloidal (Syton X-30), polvo pétreo y mezcla de arena de Copán con silicón ahumado para ayudar a mantener los ingredientes en suspensión. Después de la inyección de lechada, las áreas desprendidas estaban sólidas y los desprendimientos ya no se movían al golpearlos ligeramente; no obstante, se encontró que el flujo de lechada resulta más difícil de controlar. También se experimentó con ribeteos a base de Syton, lo que resultó exitoso, aunque estas reparaciones se endurecieron mucho al secar. Tanto para la consolidación de oquedades como para el ribeteo, se considera que los materiales a base de Syton son muy duros y más quebradizos que la misma piedra, por lo que son menos preferibles para el uso general para el tratamiento de la Escalinata.

En algunos casos específicos, donde los desprendimientos eran pequeños y demasiado inestables para soportar un ribeteo, se utilizó una emulsión acuosa de acrílico a base de Rhoplex AC-33 (diluido al 30% en agua) para obtener algo de adhesión entre la pieza desprendida y la piedra sólida del bloque antes de proceder al ribeteo. En algunos casos, el Rhoplex AC-33 también se utilizó con éxito en casos de desprendimientos muy finos en los que no era posible que penetrara la lechada de cal.

Consolidación de superficies

Existe un pequeño porcentaje de bloques de superficie que presenta micro desprendimientos y pulverulencia y que podría beneficiarse con tratamientos de consolidación para evitar mayores pérdidas. El uso de lechada a base de cal no es una opción viable para el tratamiento de estas superficies, pues constituiría un recubrimiento opaco que alteraría excesivamente la apariencia de superficie de la piedra. El silicón coloidal (Syton X-30) se probó como consolidante de superficie sobre partes de los bloques modernos no tallados de los escalones reconstruidos de la parte superior de la Escalinata. Tras la limpieza general con agua y el posterior secado, el producto se aplicó con cepillo en dos diferentes diluciones: 1:1 y 1:2 en agua destilada. La solución más diluida pareció penetrar mejor en la superficie, con lo que se obtuvieron condiciones de superficie más estables sin alterar el color (Figs. 115a–c).

Conclusiones

RESANE DE JUNTAS

Los experimentos para el tratamiento para la eliminación de mortero de intervenciones anteriores han mostrado que, en algunas áreas de la Escalinata, es muy difícil de eliminar, en tanto que en otras éste es muy suave y fácil de retirar con martillos y cinceles pequeños. Los experimentos para la sustitución de mortero indican que los morteros preparados con cal, arena y polvo pétreo locales, en proporción 1:3 de cal e ingredientes de mezcla, resultan adecuados y pueden utilizarse con éxito para rellenar faltantes de mortero entre los bloques de la Escalinata o para reemplazar

todas las intervenciones anteriores si esto se considerara preferible. Con el ajuste entre el tipo y los agregados de la mezcla, se puede modificar el color del mortero para lograr una mejor correspondencia cromática con los morteros existentes, en caso de que esto se lleve a cabo tan sólo en aquellas lugares en los que el mortero se haya desprendido. Si ha de llevarse a cabo una aplicación de mortero en toda la Escalinata, se puede modificar el tipo y proporción entre los agregados de la mezcla para lograr un buen color neutral que se adapte visualmente con los diferentes colores de los distintos bloques de piedra. La profundidad de los huecos existentes entre bloques que deban rellenarse variará y en el caso de huecos muy profundos pueden utilizarse pequeños fragmentos de piedra o ladrillo junto con el mortero, debiendo colocarse éste en más de una aplicación, con el fin de asegurar un fraguado apropiado. El material pómez de Guatemala se usó con éxito como ingrediente de mezcla y podría utilizarse en el futuro si se prefiriera o se requiriera un mortero con mayores propiedades hidráulicas.

TRATAMIENTOS DE SUPERFICIE

Los experimentos realizados han demostrado que la limpieza con pequeñas cantidades de agua y el uso suave y cuidadoso de cepillos dentales puede mejorar de manera importante la apariencia y la visibilidad de las superficies talladas, sin provocar pérdidas de material. Este es un primer paso necesario para el tratamiento de bloques con tratamientos anteriores de consolidación de superficie que deban reducirse o eliminarse.

Los experimentos para la estabilización de superficies han mostrado que los materiales inorgánicos, en particular la cal, pueden utilizarse para el resane y para el ribeteo de desprendimientos, así como para la consolidación de oquedades y su uso sería preferible al uso de resinas acrílicas o de acetato de polivinilo, tales como el Paraloid B-72 y el Mowilith 30, que se han utilizado en la Escalinata anteriormente. Se considera que la cal es un material más apropiado para la estabilización de piedra, pues se parece más a ésta en términos de propiedades mecánicas. La disponibilidad local de la cal es otro factor a su favor. No obstante, en áreas con mucho deterioro en las cuales pudiera requerirse un material con mayores cualidades adhesivas, podría utilizarse una emulsión de resina acrílica junto con el tratamiento a base de cal.

Un obstáculo importante para el tratamiento con cal de las superficies estabilizadas anteriormente es la presencia de resina en la superficie, ya que esta evita la penetración o la adhesión de la cal. Por este motivo, se deberá eliminar la resina de la superficie mediante la aplicación de solventes. Esto se logró con mayor éxito utilizando acetona aplicada con hisopos de espuma sintética. Los experimentos para el tratamiento han demostrado que la eliminación/reducción de tratamientos previos puede llevarse a cabo con seguridad y con un riesgo mínimo de pérdida de material en la mayoría de las áreas con deterioro severo. También se considera recomendable la eliminación de tratamientos previos en las superficies consolidadas que se han oscurecido, haciendo la legibilidad del tallado mucho más difícil en muchos casos (Fig. 116). Muchos desprendimientos previamente tratados, aún cuando han sido readheridos con resina, siguen teniendo huecos en su parte posterior y su condición puede mejorarse mediante la inyección con lechada de cal o de otro material, para que estos fragmentos sean menos susceptibles a desprendimientos por efectos de un impacto mecánico.

Se ha demostrado que los tratamientos a base de silicón coloidal son una alternativa viable y son mejores que los sistemas a base de resina acrílica utilizados con anterioridad; no obstante, estos productos no se encuentran en Honduras, lo que hace que su uso continuo en Copán sea problemático. Estos tratamientos son irreversibles y además, según han arrojado los experimentos llevados a cabo, el material parece ser demasiado duro y excesivamente quebradizo en comparación con la piedra misma. Por estas razones, los tratamientos con materiales a base de cal

son preferibles para los trabajos futuros de mantenimiento de la Escalinata. Sin embargo, los tratamientos a base de silicón coloidal podrían ser la mejor alternativa para la consolidación de superficie de áreas con desprendimientos finos, en las cuales el tratamiento de bordes y la inyección de oquedades no sean tratamientos viables.

La readhesión de fragmentos desprendidos se llevó a cabo únicamente utilizando Paraloid B-72 y no se probaron otros adhesivos, ya que el Paraloid B-72 puede conseguirse localmente y los tratamientos anteriores con este material han resultado exitosos y reversibles. El monitoreo de temperaturas en la Escalinata en los dos últimos años indican que hay poco riesgo de que el Paraloid B-72 se suavice, debido a la protección brindada por la lona.

Las pruebas de tratamiento de superficie han mostrado en general que la cantidad de trabajo de conservación por bloque que se requiere actualmente -si se considera un tratamiento completo y no sólo una estabilización de emergencia- depende, en gran medida, de qué tan grandes hayan sido las intervenciones anteriores en la superficie de cada bloque. Con el fin de estimar la cantidad de trabajo de tratamiento requerido para la totalidad de la Escalinata, se llevó a cabo un intento de cuantificar qué tanto tratamiento previo había recibido cada bloque, utilizando para ello una escala de cuatro puntos (Fig. 117). Este estudio cuantitativo se usó como base para estimar el tiempo de tratamiento que se presenta en la sección que sigue

Propuestas y opciones técnicas para la conservación

El análisis tanto de la información en archivos como en las publicaciones acerca de la Escalinata, junto con la evaluación de condiciones realizada en los últimos cinco años, permite concluir que actualmente la Escalinata se encuentra en condiciones estables. Como se discutió en la sección de 'Evaluación de condiciones actuales', la Escalinata tiene un buen estado estructural y el medio ambiente bajo la lona de protección es constante, lo que es en gran parte responsable de las condiciones generalmente estables de la piedra.

Las comparaciones de materiales fotográficos han mostrado que las grandes grietas que existen tanto en los bloques de piedra como entre ellos se formaron hace varias décadas y desde entonces no han sufrido cambios de importancia, pues se ha logrado establecer un equilibrio estructural desde la reconstrucción efectuada en la década de 1930. En las últimas décadas, se ha llamado la atención hacia el problema de la pérdida gradual de las superficies talladas de la Escalinata Jeroglífica. Sin embargo, aun cuando la documentación fotográfica ha confirmado que la superficie de algunos bloques de la Escalinata se ha deteriorado rápidamente a partir de su excavación, hace ya más de 100 años, en la actualidad existe un equilibrio entre la piedra y el ambiente, lo que ha disminuido de manera significativa el ritmo de deterioro de las superficies. Este equilibrio es resultado de la instalación de la lona de protección que, desde 1987, mantiene condiciones constantes de humedad relativa y temperatura durante todo el año, al bloquear tanto el agua de lluvia como la luz solar directa, y al impedir la condensación de humedad, lo que ha evitado que se presenten ciclos de humectación y secado y variaciones drásticas en la temperatura. Los cambios ambientales externos normales son los responsables de la contracción y expansión de las superficies pétreas, que al repetirse múltiples veces conduce a la formación de micro grietas y a la exfoliación de la superficie en algunos bloques de la Escalinata. A nivel visual, es más evidente cómo los efectos de la lluvia y de la exposición al sol favorecen el crecimiento de microorganismos, tales como líquenes y algas, en las superficies de la piedra, lo que contribuye al deterioro de dichas superficies. No obstante, la lona de protección impide, casi por completo, que estos crecimientos se desarrollen en la Escalinata. Por consiguiente, no es

necesario desplazar el monumento al interior de un museo para asegurar la futura conservación de la Escalinata y de sus superficies talladas.

En los últimos cinco años, se han dado pequeñas y muy limitadas pérdidas de superficie en algunos bloques de la Escalinata, pero en la mayoría de los casos esto se ha podido atribuir a daños mecánicos, ocasionados por caminar en la Escalinata, a pesar de que a los visitantes al sitio no se les ha permitido acceso a la Escalinata desde la década de 1970. Las ocasiones poco frecuentes y excepcionales en las que personal autorizado tiene acceso a la Escalinata continúan teniendo un impacto negativo en las superficies de los bloques, pero este problema puede resolverse sin tener que recurrir a mover la Escalinata de su ubicación original. Para mantener las actuales condiciones de estabilidad de la Escalinata in situ, se deben continuar aplicando dos medidas básicas de prevención: en primer lugar, el acceso directo a la Escalinata debe limitarse al mínimo absoluto; en segundo lugar, la Escalinata debe tener una cubierta de protección en todo momento. Además, existen diversos tratamientos de conservación y restauración que podrían aplicarse para mejorar las condiciones actuales de las superficies de piedra. Tanto las medidas preventivas como las intervenciones de conservación se detallan a continuación, proponiéndose las opciones a seguir para cada uno de ellos.

Medidas preventivas

MINIMIZACIÓN DEL ACCESO A LA ESCALINATA

En la actualidad, no se permite al público tener acceso a la Escalinata; sin embargo, resultaría muy benéfico si el acceso se restringiera aún más, de manera que sólo lo tuviera un selecto y bien capacitado grupo de personas de mantenimiento del IHAH, compuesto por individuos conscientes de la frágil naturaleza de las superficies de piedra. Estas pocas personas autorizadas deberán usar ropa apropiada, con el fin de minimizar los daños accidentales a la Escalinata; para ello, al acceder a la misma deberán quitarse los zapatos y no usar pantalones sueltos y/o anchos. Con el fin de minimizar la necesidad de subir y bajar por la Escalinata, en 2000 se construyó una escalera de acceso de madera, que corría paralela a la Escalinata de piedra, a lo largo de la alfarda Norte. Esta escalera fue reemplazada en 2004 por un acceso más permanente, que corre a lo largo de la alfarda Sur de la Escalinata. Actualmente, existen tres puentes metálicos que pasan por encima de la balaustrada en diferentes puntos, con lo que se da acceso lateral a la Escalinata. (Figs. 118, 119). Estos puntos de acceso son los que deberán utilizar el personal autorizado para acceder a la Escalinata con fines de mantenimiento. En el futuro, en caso de llevarse a cabo un proyecto de conservación importante que requiriera que más gente tuviera acceso a la misma, se deberá incrementar el número de puntos de acceso.

Anteriormente, el mantenimiento de la Escalinata contemplaba retirar, de manera regular, las hojas llevadas por el viento. Esta ha sido hasta ahora una de las principales razones para dar al personal acceso a la Escalinata. Con el propósito de limitar este tipo de acceso en la medida de lo posible, deberán considerarse diferentes formas de evitar que las hojas lleguen hasta la Escalinata. Dado que eliminar la fuente de las hojas (es decir, los árboles cercanos) no es una opción aceptable, debido al impacto negativo que esto tendría en el sitio como parque natural, se consideró erigir una barrera cerca de la Escalinata para coleccionar las hojas. Se construyó una barrera metálica experimental al norte de la Escalinata, desde donde soplan los vientos predominantes, con el fin de probar la viabilidad de un proyecto semejante (Fig. 120). Dado que la cobertura del espacio existente entre la pirámide y la lona de protección era parcial y porque no se erigió barrera alguna en el lado sur de la Escalinata, se continuaron acumulando algunas hojas en la Escalinata, aunque en una cantidad menor a la habitual (Fig. 121). Esto evidenció que instalar barreras más altas a ambos lados de la Escalinata resultaría aún más eficaz. El uso de un

material de red flexible deberá ser suficiente para evitar que las avispas formen sus nidos en estas barreras. Colocar barreras como la descrita reduciría la necesidad de acceder a la Escalinata para retirar hojas acumuladas, aunque existiría un impacto en la percepción del monumento.

Otros aspecto de mantenimiento de limpieza que se suspendió temporalmente en la Escalinata durante el proyecto fue la eliminación de telarañas que se acumulan en las superficies de piedra de todo el sitio (Figs. 122, 123). Aunque no existe una solución viable para evitar la formación de telarañas, su eliminación periódica deberá llevarla a cabo únicamente personal capacitado, de manera simultánea a la limpieza de hojas y esto deberá hacerse tan sólo unas cuantas veces al año. Para esto, deberán usarse con sumo cuidado cepillos de cerdas suaves, cuidando evitar el contacto directo con la piedra tanto como sea posible.

PREVENCIÓN DE INTRUSIÓN DE ANIMALES

Los animales que cavan madrigueras y que hacen sus nidos en la Escalinata como, por ejemplo, los zorrillos, han tenido un impacto negativo en su conservación. No hay evidencias claras de daños en las superficies de los bloques debidos a la actividad animal, pero se han registrado muchos casos en los que diversos animales han retirado el mortero de entre los bloques en un intento por encontrar un sitio para hacer su nido debajo o detrás de ellos (Fig. 124). En la medida de lo posible, se debe desalentar que los animales excaven madrigueras, rellenando los huecos existentes entre bloques con mortero y evitando la acumulación de hojas en los escalones, lo que brinda a los animales materiales para elaborar sus madrigueras.

El actual diseño de la lona de protección, que cuenta con un sistema de apoyo interior mínimo, resulta muy eficaz para evitar que aves y murciélagos se posen o hagan sus nidos dentro de la misma, lo que evita casi totalmente la acumulación de guano en las superficies de la Escalinata. Sin embargo, se ha detectado una pequeña cantidad de guano en las Figuras Sedentes de la Escalinata, pues éstas si resultan sitios atractivos para que este tipo de animales se posen en ellas (Fig. 125). Comercialmente, existen varios sistemas para evitar que las aves se posen en donde no se quiere, pero quizás el más sencillo consiste en un conjunto de delgadas púas metálicas que se colocan en las áreas en donde se posan las aves. Si se instalaran varias de éstas en las superficies horizontales de las Figuras Sedentes, se podría evitar la acumulación de guano en estas áreas.

PROTECCIÓN DE LA ESCALINATA CONTRA LA LLUVIA Y LA RADIACIÓN SOLAR

Un factor crucial para asegurar la estabilidad de la Escalinata en el futuro es la presencia continua de una lona o cubierta de protección. Como lo han demostrado los datos del monitoreo ambiental, la actual cubierta, gracias a su casi total exclusión de la lluvia y la luz solar directa, que a la vez permite la circulación del aire, brinda condiciones ambientales suficientemente estables como para evitar la mayor parte de los factores de deterioro de la Escalinata. Sin embargo, podrían realizarse ciertas modificaciones para mejorar su función de protección y para mejorar la visibilidad y la presentación de la Escalinata. Como alternativa, se podría considerar la construcción de un tipo diferente de cubierta, que podría ser de naturaleza más permanente que la actual que en su momento fue concebida únicamente para funcionar durante la temporada de lluvias.

Modificaciones a la cubierta existente

Desde la instalación inicial de la lona, en 1985, se han hecho modificaciones para mejorar su función de protección. Fundamentalmente, se extendió la longitud de la lona para que cubriera una porción mayor de la parte superior de la pirámide (Figs. 126, 127a, b) y, a consecuencia de

esto, ya no hay acumulación de agua de lluvia encima de la Escalinata. Durante este proyecto, también se han propuesto informalmente algunas otras modificaciones a la cubierta y algunas de ellas, de hecho, ya se han puesto en práctica, tales como las mejoras al sistema de anclaje lateral de la lona, de forma que permanezca más tensa y sea menos susceptible a rasgarse en presencia de vientos fuertes (Figs. 128, 129). Se podrían poner en práctica las siguientes modificaciones adicionales para mejorar el desempeño actual de la cubierta protectora.

1) Ampliar la cobertura lateral de la lona

Se ha observado que, actualmente, el viento y la lluvia provenientes del norte mojan la superficie de la piedra cerca de la parte inferior de la Escalinata, en el punto en el que la lona está a mayor altura sobre la misma.

2) Reinstalar el soporte del cable central o reemplazarlo

El incremento en la frecuencia de retiro y reinstalación de la lona ha ocasionado que el actual soporte del cable central en la parte superior de la Escalinata se incline hacia abajo. Como resultado de esto, la lona está cada vez más cerca de la parte superior de la Escalinata (Fig. 130) y toca las superficies de la piedra cuando hay vientos fuertes. La proximidad de la lona con la parte superior de la Escalinata reduce asimismo la circulación del aire y aumenta la temperatura del mismo en esta parte de la Escalinata (ver sección 'Monitoreo ambiental'). Sin embargo, el aumento en la temperatura de la superficie de la piedra es ligero, por lo que no parece ser un factor importante en el deterioro de la piedra. Como solución temporal, se ha sujetado un cable metálico corto a la parte superior del soporte en cuestión, con el fin de tirar de él y regresarlo a una posición vertical (Fig. 131). Si el soporte del cable se reinstalara o se reemplazara por otro, deberá de hacerse de forma que se incremente la altura de la lona por encima de la Escalinata.

3) Reinstalar las protecciones de cable faltantes

Originalmente, la tela de la lona estaba protegida contra la fricción de los cables de acero con tubos protectores; estos tubos de protección prácticamente se han perdido en todas partes. La instalación de nuevos tubos protectores prolongaría la vida útil de la lona.

4) Mejorar la calidad y la durabilidad de la lona

La experiencia ha demostrado que la lona se ha tenido que reemplazar cada vez con mayor frecuencia desde que la protección se instaló por primera vez, en 1985 (Fig. 132). Esto posiblemente se deba a los cambios en la calidad de las lonas con los años o bien que la calidad del tratamiento impermeabilizante aplicado ha ido disminuyendo. En el futuro, deberán usarse lonas de mejor calidad o con mejores tratamientos, para que dure más de los 2 a 3 años como es actualmente. Como alternativa, en lugar de lona de algodón se podría utilizar un material sintético más ligero y resistente, similar al usado para elaborar velas de navegación, si bien esto representaría un aumento importante en los costos y probablemente tendría que ser importada.

5) Mejorar la luz natural bajo la cubierta

Actualmente, la visibilidad de la parte superior de la Escalinata desde el nivel de la Plaza es mala, por el fuerte contraste entre la parte superior de la Escalinata, pobremente iluminada, y el brillante cielo visible en la parte superior de la pirámide (Fig. 133). Suponiendo que se siguiera utilizando la actual lona en el futuro, deberá buscarse reducir este contraste de iluminación, para mejorar la visibilidad en la parte superior de la Escalinata. Esto podría lograrse instalando una

tela o red que cubra la parte superior de la pirámide, con el fin de bloquear la luz del cielo que puede verse entre la parte superior de la pirámide y la parte superior de la lona. Se realizó una prueba en la que se cubrió parcialmente esta parte del edificio con un material de red de tono oscuro, disponible localmente, para verificar el efecto logrado (Fig. 134); el resultado indica que el uso de una cobertura similar pero completa mejoraría significativamente la visibilidad de la parte superior de la Escalinata. Esta última modificación está más relacionada con la presentación de la Escalinata al público que con la conservación del monumento, pero se incluye de todas maneras pues puede tener un impacto importante en la experiencia de los visitantes.

Nuevo diseño de la cubierta protectora

Una segunda opción, en vez de realizar las modificaciones propuestas, sería diseñar y construir una nueva cubierta que brinde, como lo hace la actual, los parámetros básicos requeridos de un ambiente seco, sombreado y estable. Cualquier diseño nuevo deberá incorporar los aspectos positivos de la cubierta actual (bajo costo, baja tecnología, fácil de revertir), mejorando sus puntos débiles (cubierta no durable, permite la exposición lateral a la lluvia y las hojas, brinda una visibilidad pobre de la Escalinata). Para lograr una sostenibilidad en el largo plazo, cualquier protección idealmente deberá estar hecha de materiales sencillos y de bajo costo, que no sean difíciles de adquirir, reemplazar o mantener. Como parte de este proyecto, un arquitecto consultor formuló varios diseños conceptuales como alternativas para la protección de la Escalinata (ver Apéndice G), que podrían ser el punto de partida para una discusión interdisciplinaria acerca de las características de futuras estructuras de protección, así como de los elementos de una solución de diseño alternativa, en caso de ser esta la decisión que se tome.

MEJORAMIENTO DEL DRENAJE ACTUAL

Sin importar la decisión en cuanto a la cubierta, que se modifique la actual o que se diseñe y construya una nueva, el drenaje del agua de lluvia en las inmediaciones de la Escalinata es un problema que debe resolverse. Actualmente, el agua de lluvia que baja por la pendiente de la pirámide al norte de la Escalinata fluye en parte hacia ésta, lo que ocasiona el crecimiento de microorganismos y plantas en su proximidad y crea condiciones inestables de humedad para la superficie de la piedra en la parte adyacente a la Escalinata (Fig. 135). La superficie de la pirámide debe modificarse ligeramente, agregando mortero y piedras pequeñas, en ciertas áreas localizadas en las que el agua de lluvia se canaliza hacia la Escalinata, para que fluya directamente pendiente abajo.

Cuando llueve fuertemente, se ha observado que el agua se acumula en la plaza e inunda el área que se halla frente a la Escalinata, bajo la lona (Fig. 136). Por esta razón, se debe mejorar el drenaje de la plaza adyacente a la Escalinata, para evitar inundaciones ocasionales. Para esto se tiene que alterar la pendiente actual, de forma que el agua fluya lejos de la base de la Escalinata. Una alternativa sería construir una barrera más eficaz, con piedra y mortero, a lo largo de la línea del actual perímetro de piedra que separa el pasto de la plaza del área de tierra que se halla bajo la cubierta de protección, para redirigir el agua que baja tanto de la lona como de la pirámide lejos de la Escalinata.

MONITOREO Y MANTENIMIENTO DE LOS TÚNELES EN EL INTERIOR DE LA PIRÁMIDE

En las dos evaluaciones estructurales independientes, llevadas a cabo por ingenieros consultores, se estuvo de acuerdo en que la Escalinata Jeroglífica no presenta deterioro estructural activo alguno, si bien existen puntos que deberán monitorearse en el futuro, para determinar si se están desarrollando problemas estructurales. Algunos de estos puntos son los túneles excavados debajo

o cerca de la Escalinata y que representan una causa potencial de inestabilidad estructural. El túnel que se localiza directamente bajo la Escalinata pero está a gran profundidad dentro de la pirámide y durante su inspección no mostró signos de tener grietas en el núcleo de relleno (Fig. 137). Deberá desarrollarse un programa de mantenimiento para los túneles caso por caso, para realizar acciones de estabilización estructural en algunos de ellos; por ejemplo, podría ser necesario construir arcos de mampostería en ciertos puntos o bien rellenar algunos túneles en lugares en donde ya no se requiriera tener acceso. En aquellos túneles que se estime deban permanecer abiertos, deberán llevarse a cabo inspecciones con regularidad, para detectar cualquier colapso de materiales en el futuro.

MONITOREO DE GRIETAS EN LA ESCALINATA

De manera similar, aquellas grietas estructurales visibles en la superficie de la Escalinata, que se ha determinado que no se encuentran activas (ver sección 'Evaluación estructural') deberán, sin embargo, inspeccionarse y monitorearse con regularidad, con el fin de determinar si éstas sufren movimientos estructurales en el futuro. Se podría llevar a cabo un monitoreo fotográfico regular en aquellos puntos en los que existan grietas o bien podrían instalarse dispositivos de monitoreo de grietas, dándoles seguimiento con regularidad. En especial, existen varias grietas en las balaustradas de la Escalinata que deberán monitorearse con regularidad (Figs. 138, 139).

Intervenciones de conservación

Además de las medidas o intervenciones que podrían tomarse para evitar el deterioro futuro de la Escalinata, las siguientes propuestas y opciones abarcan los posibles tratamientos para la piedra de la Escalinata, con el objeto de corregir o mejorar las condiciones de la misma y buscar la mejor manera de conservarla y presentarla in situ. La Escalinata ya ha pasado por una larga historia de intervenciones desde su reconstrucción en la década de 1930, comenzando por los tratamientos biocidas de la década de 1970 (ver sección 'Historia de las intervenciones'). Posteriormente, y durante décadas, se llevaron a cabo tratamientos de estabilización de superficies en diversos bloques y esculturas de la Escalinata, como parte de un proceso intermitente de mantenimiento ejecutado por el personal local, con el fin de reparar y evitar las pérdidas de superficie en el material. Estos tratamientos generalmente incluyeron ribeteos de los desprendimientos superficiales de la piedra, así como la infiltración de adhesivo líquido en los vacíos existentes detrás de los desprendimientos. Estos tratamientos son considerables en número y en grado y tienen un fuerte impacto tanto sobre el tipo como sobre la profundidad de las opciones futuras de tratamiento. En el pasado, prácticamente no se han llevado a cabo tratamientos de estabilización estructural, tales como el relleno de grietas presentes en los bloques, la fijación de fragmentos y la recolocación de bloques en una nueva cama de mortero. Esto se debe al hecho de que la Escalinata, salvo por los primeros 15 escalones encontrados in situ, descansa sobre una nueva base construida durante la reconstrucción llevada a cabo en la década de 1930.

ESTABILIZACIÓN ESTRUCTURAL DE BLOQUES DE PIEDRA Y FIGURAS SEDENTES

Existen sólo unos cuantos bloques tallados cerca de la porción inferior de la Escalinata que presentan grietas estructurales que corren a través del bloque, en forma paralela a su superficie (Fig. 140). Mientras la gente no camine sobre ellos y mientras no estén sujetos a la acción de la lluvia, no existe riesgo alguno de que sus superficies puedan llegar a desprenderse y, por lo tanto, no hay necesidad inmediata alguna de fijar dichas superficies o de estabilizarlas de alguna otra manera. Varios de los bloques de las Figuras Sedentes se unieron como parte de la reconstrucción

llevada a cabo en la década de 1930, pero no existe signo alguno de que estas intervenciones estructurales requieran reparaciones o reemplazos.

ESTABILIZACIÓN DE SUPERFICIE EN LOS BLOQUES DE PIEDRA Y DE LAS FIGURAS SEDENTES

Si bien la pérdida de superficies ha disminuido dramáticamente desde la construcción de la cubierta de protección en 1985, después de dicha construcción el personal del IHAH ha llevado a cabo numerosos tratamientos de estabilización. Desde el inicio del presente proyecto hace seis años, se han observado algunas pérdidas localizadas y ocasionales de material de superficie. A pesar de haber recibido tratamiento anteriormente, muchas superficies están lo suficientemente frágiles como para desprenderse cuando hay un impacto mecánico, por ejemplo como el que genera el paso de un zapato. Actualmente, y debido a las condiciones actuales de las superficies de piedra, muchas de las cuales ya han recibido tratamiento, existen dos opciones básicas para el tratamiento correctivo de superficie.

La primera opción consiste en estabilizar sólo aquellas superficies que enfrenten un peligro inminente de desprendimiento. La segunda opción consiste en llevar a cabo un programa amplio de limpieza y estabilización de superficies en la Escalinata, que considere tanto los problemas estéticos (Fig. 141) como los de estabilización (Fig. 142), ya que muchos tratamientos anteriores se ejecutaron de manera deficiente o incompleta, y existen áreas no tratadas con anterioridad que podrían beneficiarse con tratamientos en la actualidad. Estas dos diferentes opciones requieren tiempos muy diferentes para su ejecución, aunque se utilizan esencialmente la misma metodología y los mismos materiales.

La mayor cantidad de tiempo requerida para un tratamiento de conservación completo está relacionada con la necesidad de reducir o eliminar los tratamientos anteriores, para luego volver a tratar aquellas áreas que pudieran requerir de estabilización. Eliminar en la medida de lo posible los tratamientos anteriores de estabilización es importante por razones estéticas, pues dichos tratamientos se han ido oscureciendo y haciéndose evidentes con el paso del tiempo y actualmente afectan de manera negativa la legibilidad de las superficies talladas. En algunos casos, la reducción de los tratamientos anteriores también es importante por razones de conservación, ya que la presencia de materiales adhesivos (consolidantes) dificulta el nuevo tratamiento de ciertas áreas. La experimentación de diversos tratamientos ha destacado que la eliminación parcial de consolidantes puede permitir la introducción de nuevos materiales de consolidación en las superficies desprendidas, lo que puede dar como resultado una mejor estabilización. No obstante, se debe tener cuidado al reducir o eliminar el consolidante de ciertas áreas localizadas, pues el proceso puede provocar pequeñas pérdidas de superficie durante el mismo.

Limpieza de superficies

Si se eligiera un tratamiento completo de conservación, por lo general deberán llevarse a cabo operaciones de limpieza antes de proceder a la estabilización de superficies. Las intervenciones de limpieza deberán comenzar con la eliminación de polvo y telarañas, con un cepillado ligero con cepillos pequeños y de cerdas suaves. El polvo y los microorganismos más difíciles de eliminar deberán retirarse utilizando aspersiones finas de agua y una acción de cepillado suave, utilizando cepillos dentales suaves y asegurándose evitar el contacto entre el cepillo y aquellas superficies particularmente frágiles. La operación final de limpieza implica la reducción o eliminación de aplicaciones excesivas previas de consolidantes acrílicos o vinílicos (Paraloid B-72 o Mowilith 30) en aquellas superficies en las que pudieran estar presentes. Esto puede hacerse

mediante el uso de acetona, aplicada de preferencia con hisopos sintéticos más absorbentes y eficientes o bien con hisopos de algodón ordinarios.

Tratamiento de resanes anteriores

Tras llevar a cabo las operaciones de limpieza, deberá tomarse la decisión de si se deben o no reducir o eliminar los ribeteos anteriores en aquellas superficies que estuvieran en proceso de desprendimiento y que fueron hechos con Paraloid B-72 o Mowilith 30 mezclados con polvo de piedra. Durante la experimentación, estas intervenciones anteriores se eliminaron con aplicaciones de solvente (acetona) y el uso de un bisturí, reemplazándoseles luego con materiales diferentes. El reemplazo de estos materiales se llevó a cabo fundamentalmente por razones estéticas, pues las reparaciones anteriores resultaban muy evidentes, ya que con frecuencia diferían en color y apariencia de superficie de la piedra adyacente. Sin embargo, si los ribeteos anteriores no afectan la legibilidad de los tallados y continúan sosteniendo en su sitio aquellas superficies en peligro de desprenderse, no se recomienda su eliminación, aunque sí se les puede reducir con el fin de mejorar la apariencia estética general.

Estabilización de superficies desprendidas o en proceso de desprendimiento

En áreas en proceso de desprendimiento, existen básicamente dos tratamientos de estabilización posibles: el ribeteo para ayudar a readherir los bordes de las superficies desprendidas con las superficies sólidas adyacentes, cerrando aperturas en la superficie y el relleno de grietas en pequeña escala (con inyección de mortero líquido), para llenar las oquedades detrás de las áreas en desprendimiento y ayudar a éstas últimas a readherirse con la piedra sólida detrás de ellas. En aquellos casos en los que el desprendimiento de superficie sea suficiente como para permitir la consolidación con morteros líquidos, ésta deberá realizarse antes del ribeteo.

Todos los tratamientos anteriores hechos en la Escalinata en las décadas de 1980 y 1990 consistían básicamente en lo mismo: inyección de consolidante detrás de los desprendimientos y ribeteo de los bordes. Los materiales usados en el pasado para estos tratamientos (Paraloid B-72 y Mowilith 30) generalmente han funcionado bien, pero las intervenciones se han oscurecido considerablemente con el tiempo, en gran parte porque han atraído polvo. Durante la fase de experimentación, se hicieron pruebas con dos materiales alternativos, obteniéndose resultados positivos (ver sección 'Experimentación con técnicas y materiales para la conservación de piedra y mampostería'). Ambos son inorgánicos y, por lo tanto, más estables que los consolidantes orgánicos anteriores, si bien su adhesividad es mucho menor. Se hicieron pruebas con cal como aglutinante alternativo para efectuar ribeteos y para la consolidación por inyección, ya que este material está disponible localmente, tiene bajo costo, es reversible y es estable. También se probó el silicón coloidal (Syton X-30 y Ludox HS-40) como aglutinante alternativo para efectuar reparaciones en bordes y llevar a cabo rellenos, dada su compatibilidad química con la piedra de Copán y su facilidad de uso en relación con otros materiales sintéticos, particularmente aquellos con base de algún solvente. Ambos materiales dieron buenos resultados en las respectivas pruebas de campo pero, por razones de sostenibilidad y dado que la cal es lo suficientemente resistente bajo la protección de la lona, se recomienda el uso de materiales a base de cal para efectuar tanto ribeteos como consolidaciones para los tratamientos de estabilización de superficies en el futuro. No obstante, para usar la cal será necesario añadir pigmentos en los morteros para ribeteo, pues las mezclas de cal y otros materiales locales por sí solas tienen un color muy diferente al de la piedra adyacente. Considerando que la Escalinata presenta varios colores de piedra, los pigmentos necesarios también deberán variar. Las pruebas de campo han definido qué mezclas de pigmento resultan buenas para facilitar la integración de las reparaciones con bloques de piedra de diferentes colores (Fig. 143).

Metodología de estabilización

La reparación de bordes o ribeteo deberá llevarse a cabo usando espátulas metálicas pequeñas para escultura o para aplicación de mortero, aplicando el mortero a base de cal, una vez que el área se haya humedecido con agua, tan profundamente como se pueda detrás de la sección desprendida. Deberá eliminarse todo sobrante de mortero de la superficie de piedra adyacente a la intervención y luego deberá aplicarse una esponja a la superficie de mortero, con el fin de dejar una superficie ligeramente rugosa apenas por debajo del nivel de la piedra. El ribete aplicado deberá mantenerse húmedo tanto tiempo como sea posible, cubriéndolo con una tela de algodón húmeda y con película plástica de cocina, para evitar un secado rápido que pudiera agrietar el mortero.

Para efectuar resanes y consolidación en superficie, dadas las pequeñas dimensiones de los huecos que pudiera haber detrás de las áreas de desprendimiento, será necesario valerse de mezclas finamente cernidas, aplicándolas con jeringa y teniendo cuidado de limpiar los huecos antes de efectuar dicho relleno, ya sea con agua o con una mezcla de agua y etanol, con el fin de eliminar el polvo y la tierra (Fig. 144). Si el área se hubiera tratado previamente con consolidante, entonces es recomendable aplicar cantidades generosas de acetona en el hueco, con el fin de reducir la cantidad de consolidante en el mismo para que pueda aplicarse una mayor cantidad de lechada de cal. A menudo, estas dos operaciones se llevan a cabo simultáneamente, pero generalmente los ribeteos se hacen después de haber efectuado la consolidación de oquedades.

Consolidación de superficies

Los ribeteos y la consolidación con lechada pueden estabilizar el desprendimiento de escamas de piedra y las superficies de piedra en proceso de desprenderse y que constituyen el tipo de deterioro más común en la Escalinata. Sin embargo, existen áreas localizadas de algunos bloques cuya superficie está disgregada o pulverulenta. En estos casos, la aplicación de cal como material consolidante no es apropiada, pues no es transparente y puede terminar por alterar el color de la superficie de la piedra. Como alternativa, se probaron distintos consolidantes en superficies pulverulentas aplicando silicón coloidal con cepillos, previa limpieza con agua y cepillo, obteniéndose resultados satisfactorios. Aunque la operación de limpieza eliminó algo de la superficie pulverulenta de la piedra, el tratamiento dejó la superficie inalterada en apariencia y sólida al tacto aún después de transcurridos 6 meses.

RESANES DE JUNTAS Y REPARACIONES CON MORTEROS

El tratamiento de las juntas entre bloques y entre los diferentes escalones está estrechamente relacionado con el tratamiento de las superficies de los bloques de la Escalinata. Durante la reconstrucción de la Escalinata en la década de 1930, los huecos existentes se llenaron con mortero pero este no cumplía función estructural real alguna, pues el peso de los bloques se apoyaba en la cimentación moderna de la Escalinata y en pequeñas piedras de nivelación bajo la misma. Algunas de estas juntas se han vuelto a rellenar o se han retocado en décadas recientes, utilizando para ello diversos tipos de mortero, mismos que son reconocibles con una inspección cuidadosa. Actualmente, hay juntas que carecen de mortero, lo que se debe en parte a la presencia de animales que cavan madrigueras. Para evitar la presencia de animales que hagan sus nidos y acumulen desperdicios entre las piedras, así como para mejorar la presentación de la Escalinata al público, aquellas áreas que actualmente carezcan de mortero deberán rellenarse con mortero a base de cal y con pequeñas piedras como material de relleno.

Al igual que en el caso de tratamientos de superficie para los bloques, existen dos opciones para el tratamiento de juntas en la Escalinata. Una de ellas consiste en llevar a cabo el mínimo requerido, lo que implica rellenar áreas en las que hubiera podido perderse algo de mortero. No obstante, dado que se han utilizado diferentes tipos de mortero en la Escalinata y algunas intervenciones son de pobre ejecución, llegando inclusive a cubrir el borde de algunos bloques en algunos casos (Fig. 145), también deberá considerarse la aplicación de un programa de reducción o eliminación de todo el mortero que hay entre los bloques, volviendo a intervenir toda la Escalinata. La justificación de un programa así sería fundamentalmente estética, buscándose mejorar y regularizar su apariencia general. Los morteros existentes, aunque sobre todo de naturaleza de cemento, no representan una fuente de deterioro para los bloques adyacentes.

Al considerar la opción de volver a tratar toda la Escalinata, también es importante considerar el efecto que podría tener en las piedras adyacentes la eliminación del mortero existente. Durante las pruebas realizadas para la eliminación del mortero, se encontró que algunos de estos son muy duros y difíciles de quitar con martillo y cincel. Por tanto, existe el riesgo de provocar pequeñas pérdidas de piedra cerca de los bordes de los bloques durante la eliminación. Por lo tanto, si se escogiera esta opción de tratamiento, la eliminación de mortero, al igual que los tratamientos de superficie, deberán ser realizados por personal debidamente capacitado. Deberán emplearse martillos y cinceles de diferentes tamaños para llevar a cabo esta operación, rompiéndose el mortero en fragmentos pequeños antes de intentar una eliminación manual. No es necesario eliminar todo el mortero existente si estuviese presente a gran profundidad y esto dificultara romperlo y extraerlo. La eliminación de entre 2.5 y 5 centímetros por debajo de la superficie del bloque sería suficiente para permitir que se le cubra con un nuevo mortero.

Materiales para el resane de juntas

Para el tratamiento de juntas se probaron dos mezclas diferentes de mortero; una de ellas con una apariencia similar a la de la mayoría de los rellenos de mortero existentes, que sería apropiada en caso de rellenar sólo los faltantes. Si, en lugar de esto, se reparara toda la Escalinata, entonces podría utilizarse un mortero diferente, que se integrara bien con la variedad de colores de los bloques existentes, de forma que su presencia resultara menos evidente al contemplar el monumento desde cierta distancia. La segunda mezcla de mortero probada tenía como propósito satisfacer este criterio estético para el caso de que se decidiera ejecutar la segunda opción. Ambos morteros utilizados en la Escalinata como pruebas (ver sección 'Experimentación con técnicas y materiales para la conservación de piedra y mampostería') eran morteros a base de cal, utilizando para su preparación cal viva y agregados (arena de río y polvo de piedra, únicamente) conseguidos localmente y en distintas proporciones aunque se buscó mantener una relación básica de cal a agregados de 1:3. Tanto los análisis de laboratorio como las pruebas de campo mostraron que los morteros son lo suficientemente fuertes y resistentes para usarse en una situación en la que no deban soportar cargas y en un ambiente protegido, en el que no haya ni erosión por efecto de la lluvia ni crecimientos microbiológicos.

Metodología para el resane

Antes de aplicar mortero en el área a tratar, se deberá eliminar todo el polvo, las hojas y los desechos presentes, con una brocha o con succión de aire, de ser posible. Los costados de los bloques adyacentes deberán mojarse abundantemente para eliminar residuos de polvo y favorecer la adherencia del mortero. El mortero a base de cal deberá aplicarse con una cuchara de albañil, una espátula o una media cuchara de retoque, buscando introducirlo tan profundamente como sea posible entre los bloques y, dependiendo de la profundidad del hueco, limpiando y humedeciendo aquellos fragmentos de piedra o de ladrillo que se vayan a insertar como material de relleno junto

con el mortero. El mortero puede aplicarse durante varios días en caso de que el hueco sea profundo, para permitir un fraguado adecuado. Deberá aplicarse el mortero hasta que alcance un nivel apenas por debajo del borde de la piedra adyacente, compactándose luego lo más posible. Inmediatamente después, deberán eliminarse los excedentes de cal de la superficie del mortero, utilizando para ello una esponja y agua por aspersión, con el fin de exponer los componentes y hacer la superficie un tanto rugosa. Se deberá entonces evitar que el mortero seque, cubriéndolo con una tela o arpillera húmeda, lo que evitará la aparición de grietas por contracción y garantizará un buen fraguado del mortero (Fig. 146).

Inspección de la plataforma existente de mortero y eliminación del borde de cemento por encima del escalón 63

Además del tratamiento de juntas en la Escalinata, se propone otra operación de eliminación de mortero y reparación para la plataforma arriba del escalón 63 (Fig. 147). Durante el diagnóstico de condiciones, se detectó que existe deterioro activo en varios bloques del escalón superior y, sin embargo, no se ha encontrado documentación alguna relativa a los tipos de morteros que se utilizaron para construir la plataforma localizada inmediatamente detrás de estos bloques. Por lo tanto, se propone eliminar la capa superior del mortero cerca del escalón superior, para inspeccionar la capa de mortero subyacente. Si se encontrara una mezcla de cemento que estuviera en contacto con la parte posterior de los bloques del escalón superior, sería beneficioso eliminarla. Se utilizaría después mortero a base de cal para reconstruir la plataforma, dándole una pendiente suave hacia los lados para que no se acumule el agua de lluvia por encima de la Escalinata.

El borde de cemento que corre a lo ancho de la parte superior del escalón 63 se aplicó hace ya muchos años, para evitar que el agua de lluvia se colectara en la plataforma y corriera por encima de la Escalinata (las primeras versiones de la lona de protección no cubrían toda la plataforma). Ahora que la lona se ha modificado para evitar que el agua de lluvia se acumule en esta área, este borde ya no tiene función alguna. La presencia del borde de cemento aplicado directamente en la parte superior del último escalón también podría estar contribuyendo al deterioro de las superficies evidenciado en algunos bloques del escalón superior, por lo que se recomienda que el borde de cemento se elimine cuidadosamente, valiéndose para ello de martillo y cincel.

ESTIMACIÓN DEL TIEMPO REQUERIDO PARA LLEVAR A CABO LOS TRATAMIENTOS EN LA ESCALINATA

La experimentación realizada durante el proyecto dio la experiencia necesaria para desarrollar estimaciones del tiempo necesario para llevar a cabo dos diferentes niveles de intervención: 1) tratamiento completo de toda la Escalinata y 2) tratamiento mínimo requerido.

Estabilización de superficies

- Tratamiento de emergencia en áreas selectas: 72 semanas de trabajo para una persona.
- Tratamiento de superficie integral en todos los bloques de piedra: 357 semanas de trabajo para una persona.

Resanes de juntas y reparaciones con morteros

- Relleno de juntas en las que se ha perdido el mortero: 4 semanas de trabajo para una persona.

- Reducción/eliminación completa del mortero de intervenciones anteriores y tratamiento de todas las juntas de la Escalinata: 45 semanas de trabajo para una persona.

La semana de trabajo calculada consta de 8 horas por día y 5 días por semana. El trabajo no incluye el tiempo requerido para preparar los materiales del mortero, sino sólo su aplicación.

PROPUESTA PARA LA PUESTA EN PRÁCTICA

Estas estimaciones muestran que el trabajo de conservación propuesto requiere una cantidad de tiempo importante por parte de trabajadores capacitados, especialmente si se escogiera la opción de tratamiento completo y no la de tratamiento mínimo. La Escalinata es, desde luego, sólo uno de los muchos monumentos que hay en Copán que requieren tratamientos de mantenimiento y algunos de estos monumentos, tales como los jaguares del Patio Este, presentarán el problema adicional de haber sido tratados con frecuencia anteriormente. Los materiales y el equipo necesarios para llevar a cabo el mantenimiento de monumentos en Copán no son costosos, pues la mayor parte del material, cal y componentes de mezcla, pueden obtenerse localmente y a precios muy razonables, si bien es necesario contratar una fuerza de trabajo debidamente capacitada para esta labor.

Para cumplir con las necesidades de conservación de la Escalinata, así como con las del sitio en su totalidad, el IHAH requiere conformar un pequeño equipo de cuatro o cinco técnicos capacitados en conservación, que trabajen bajo la guía de un conservador profesional debidamente capacitado. La única responsabilidad de este grupo sería monitorear condiciones, llevar a cabo medidas preventivas y tratamientos correctivos, según fuera necesario, y documentar su trabajo de mantenimiento. De esta forma, la opción de tratamiento mínimo de la Escalinata podría llevarse a cabo en aproximadamente 4 meses. Este equipo podría entonces pasar a dar mantenimiento a otros monumentos del sitio y posiblemente a otros sitios de la región, a lo largo del año.

Si se decidiera a favor de la opción de un tratamiento completo para la Escalinata, entonces este mismo equipo podría hacer frente al proyecto, pero requerirá de más tiempo. Dada la gran cantidad de trabajo que se requiere para llevar a cabo un tratamiento integral de la Escalinata, resultaría ventajoso contar con un grupo mayor de trabajadores, incluyendo albañiles especializados, que pudieran emplearse exclusivamente para el tratamiento de juntas, dejando los tratamientos de superficie a técnicos de conservación más especializados. Los trabajos en las juntas de la Escalinata deberán hacerse antes de los tratamientos de superficie por razones prácticas, si bien deberán tomarse precauciones para evitar que las superficies más frágiles no reciban impactos durante la operación. Se necesitará una cantidad importante de tiempo para preparar la cal y los componentes de mezcla con anticipación, así como para asegurar una fuente de agua y preparar a la Escalinata para el tratamiento de juntas. Se requerirán asimismo el diseño y la instalación de una plataforma de trabajo móvil, de forma que otras secciones de la Escalinata queden protegidas en la medida de lo posible durante el tiempo que duren las obras, mismas que comenzarían en la parte superior de la Escalinata, terminando en la inferior.

Si el IHAH cuenta con albañiles especializados y técnicos de la conservación en otras partes del país, éstos podrían transferirse a Copán para colaborar con los pocos trabajadores locales debidamente capacitados y con el personal capacitado externo durante el tratamiento de conservación de la Escalinata completa. Si el IHAH no contara con dicho personal capacitado, entonces deberá, ya sea contratar el trabajo de conservación de manera externa o esperar hasta contratar al personal requerido, en caso de elegirse la opción de tratamiento completo.

En cualquiera de los dos casos, con el fin de asegurar en el futuro la sostenibilidad de una actividad de mantenimiento continua en sitios, deberá desarrollarse en el país un programa de capacitación de técnicos en conservación de sitios, al tiempo que se identifica a potenciales conservadores para el IHAH y se obtiene financiamiento para la capacitación profesional en conservación en el extranjero. La capacitación profesional de un conservador puede tomar de dos a cuatro años, dependiendo del tipo de programa y del programa de estudios elegido, en tanto que la capacitación de técnicos en esta área deberá durar un mínimo de cuatro meses de instrucción teórica y trabajo práctico supervisado, seguido de trabajo independiente que habrá de ser revisado por los instructores. De esta forma, el IHAH sería capaz de desarrollar su propia capacidad de conservación de los monumentos y sitios a su cargo.

A menos de que el IHAH lo haya hecho ya de manera reciente sería importante, como primer paso, que identificara los recursos de conservación con los que cuenta actualmente en términos de personal en todo el país; asimismo, deberá identificar sus necesidades de personal adicional, sean éstos albañiles, técnicos en conservación o conservadores/restauradores. Podría entonces desarrollar una estrategia para hacerse del personal de conservación y del financiamiento necesario para hacer frente no sólo a las necesidades de conservación de la Escalinata y del sitio de Copán, sino de los sitios, monumentos y edificios históricos que se encuentren en todo el país.

Monitoreo de condiciones en la Escalinata

Todas las intervenciones de conservación propuestas arriba, sean preventivas o correctivas, habrán de requerir de un monitoreo y un mantenimiento futuros, para asegurarse que continúen funcionando de manera adecuada. Deberá establecerse un régimen o programa de mantenimiento para todos y cada uno de los monumentos de Copán, que consiste en inspecciones programadas a intervalos regulares, para monitorear las condiciones del monumento y que contemple, según lo requieran las condiciones, el diseño de un programa de tratamiento o intervención. La frecuencia y programación de las inspecciones habrá de depender del grado de deterioro que se observe a lo largo del tiempo y del período del año en el cual sea más probable que, debidos a factores climáticos, se presenten daños en cada uno de los monumentos. No obstante lo anterior, a continuación se sugiere un régimen de posibles intervalos de inspección, mismos que deberán verificarse a lo largo del tiempo.

En relación con la Escalinata Jeroglífica, existe una amplia gama de actividades regulares de monitoreo y mantenimiento que deberán llevarse a cabo, partiendo del supuesto de que las condiciones actuales se mantengan:

- Durante precipitaciones pluviales particularmente fuertes o inmediatamente después de ellas, deberá monitorearse el flujo del agua tanto de la lona como de la pendiente de la pirámide, para determinar si la Escalinata se mantiene seca, asegurándose de que el agua de lluvia no se junte bajo la lona en la base de la pirámide.
- Eliminar la acumulación de hojas y de telarañas en la Escalinata y revisar que no haya actividad de animales que cavén madrigueras (a mediados y a finales de la temporada de caída de hojas, que comprende el período entre octubre y enero de cada año).
- Monitorear las condiciones de la lona y de su sistema de apoyo y anclaje, para evitar rasgaduras en la tela y asegurarse que no haya contacto de la lona con la Escalinata (esto deberá hacerse cada tres meses, particularmente antes del comienzo de la temporada de lluvias).

- Monitorear grietas estructurales en la Escalinata y documentar su tamaño y orientación fotográficamente, con o sin ayuda de equipo de monitoreo de grietas (antes y después de la temporada de lluvias, entre los meses de mayo y diciembre).
- Monitorear las condiciones de los túneles del interior de la pirámide, para determinar si se han desarrollado nuevas grietas o han ocurrido colapsos en ellos (antes y después de la temporada de lluvias, entre los meses de mayo y diciembre).
- Verificar rápidamente las condiciones de todos los bloques, buscando evidencia de deterioro tanto en la piedra como en las intervenciones anteriores, así como de pérdidas de material, utilizando para ello el dibujo de elevación de la Escalinata para documentar la ubicación de fenómenos de deterioro y anotando las observaciones de cada inspección en un cuaderno (cada seis meses). Este procedimiento lo deberá poder realizar una persona en dos días. En caso de requerirse intervenciones correctivas, éstas deberán planearse y ejecutarse conforme a su urgencia, documentándose gráfica y fotográficamente.
- Verificar detalladamente la condición de bloques selectos de control, siguiendo para ello el glosario de condiciones utilizado durante el proyecto; asimismo, deberá efectuarse un monitoreo fotográfico de dichos bloques, siguiendo para ello la metodología establecida durante el proyecto, utilizando equipo analógico y también, de ser apropiado, equipo digital (cada año) (ver Apéndice H) (Fig. 148). La documentación, tanto gráfica como fotográfica, deberá etiquetarse, compilarse y almacenarse en el CRIA para poder utilizarla como referencia en el futuro. Completar este proceso debería tomar de dos a tres semanas. Algunas personas que forman parte del personal del IHAH ya han recibido la capacitación necesaria para llevar a cabo este tipo de monitoreo y ya se cuenta con el equipo fotográfico (tanto analógico como digital) necesario para llevarlo a cabo.

Las inspecciones necesarias deberán llevarlas a cabo técnicos en conservación debidamente capacitados para ello e, idealmente, profesionales en conservación, incluyendo a aquel personal del IHAH que hubiera intervenido en tratamientos o intervenciones anteriores, pues en general se carece de una documentación detallada de intervenciones anteriores. Durante el presente proyecto, varios empleados del IHAH, así como personal externo, adquirieron algo de experiencia y capacitación en verificación de condiciones y documentación de tratamientos, así como en técnicas de tratamiento y mantenimiento. Estas personas deberán constituir el núcleo de un equipo de mantenimiento futuro para todos los monumentos de Copán. El IHAH también deberá identificar a personas en la localidad que pudieran potencialmente convertirse en técnicos en conservación, dándoles la capacitación necesaria para hacerse cargo de los monumentos del sitio, con lo cual se aseguraría contar con los recursos humanos necesarios y capacitados para sacar adelante estas tareas, lo que constituye el factor más importante para garantizar la conservación a largo plazo de la Escalinata.

Propuesta de acciones futuras para la conservación / Pies de ilustración

(Ver la versión en inglés para las figuras.)

Experimentación con técnicas y materiales para la conservación de piedra y mampostería

Figura 95. Bloque 408, escalón 43. Pueden apreciarse tanto tratamientos de consolidación previos, como crecimientos biológicos y pérdidas de mortero de resane.

Figura 96. Distribución del tamaño de partículas de la mezcla de arenas procedentes del río Copán (la mezcla utilizada para los tratamientos experimentales), de la arena del río Chamelecón (INDECO) y de la norma ASTM (C144-99).

Figura 97. Hidrato de cal en polvo listo para envasarse (en primer plano) y cal descartada sin quemar (en el fondo). Chiquilas, Honduras.

Figura 98. Imagen ESEM de material pómez de Guatemala que presenta un alto contenido de área en la superficie.

Figura 99. Preparación de morteros para conducir pruebas de laboratorio.

Figura 100. Moldes cúbicos y prismáticos para los morteros de prueba, antes de curarse.

Figura 101. Muestras de prueba de mortero a base de cal, hechas en diciembre de 2001, después de su exposición protegida por dos años y medio en la Escalinata. Agosto de 2004.

Figura 102. Muestras de prueba de mortero a base de cal, hechas en diciembre de 2001, después de su exposición sin protección por tres años en la parte superior de la Escalinata. Diciembre de 2004.

Figura 103. Muestras de prueba de mortero a base de cal con agregado de piedra pómez, hechas en febrero de 2003, después de su exposición sin protección por diez meses en la parte superior de la Escalinata. Diciembre de 2003.

Figura 104. Ubicación de los bloques de pruebas de tratamiento (en naranja) en la Escalinata Jeroglífica.

Figura 105a y b. Bloque de tratamiento de prueba 488, escalón 52, antes (a) y después (b) de la eliminación del mortero previo y de su resane.

Figura 106a y b. Comparación de dos morteros de prueba de resane: en el caso del bloque 406, escalón 43, se escogió un mortero que coincidiera con el mortero de resane ya presente (a); en el caso del bloque 488, escalón 52, se escogió un mortero que se pareciera a los colores de varios bloques.

Figura 107. Bloque de tratamiento 463, escalón 50, glifos F y G, mostrados después de la limpieza del glifo F (a la izquierda) con agua y una aplicación ligera de cepillo dental; el glifo G (a la derecha) no se ha limpiado.

Figura 108. Bloque de tratamiento 197, escalón 23, mostrado después de su limpieza con agua y una aplicación ligera de cepillo dental.

Figura 109. Reducción de tratamientos previos de una superficie de piedra, mediante acetona aplicada con un hisopo de algodón.

Figura 110. Superficie de piedra después de reducción de consolidante oscurecido (a la izquierda); el procedimiento no se llevó a cabo en el lado derecho.

Figura 111. Resane de un área desprendida del bloque 71, escalón 11, con lechada a base de cal.

Figura 112. Resane de bordes de hojuela en el bloque 578, escalón 61, mediante lechada a base de cal.

Figura 113a y b. Prueba de tratamiento, bloque 406, escalón 43, antes (a) y después (b) del tratamiento. Hay un mejoramiento en la legibilidad de las superficies después de la reducción del consolidante oscurecido de los tratamientos anteriores y de la estabilización con resanes de bordes y rellenos a base de lechada de cal, pigmentadas para corresponder al color de la piedra.

Figura 114a y b. Prueba de tratamiento, bloque 407, escalón 43, antes (a) y después (b) del tratamiento. Hay un mejoramiento en la legibilidad de las superficies después de la reducción del consolidante oscurecido de los tratamientos anteriores y de la estabilización con resanes de bordes y rellenos a base de lechada de cal, pigmentadas para corresponder al color de la piedra.

Figura 115a–c. Bloque no tallado 68-2e de los escalones superiores reconstruidos, antes del tratamiento (a), después de la limpieza con agua de los dos tercios de la izquierda (b) y ocho meses después de la aplicación con brocha de Syton X-30 en agua destilada (c) (a la izquierda de la cinta, concentración 1:1; a la derecha de la cinta, 1:2).

Figura 116. Bloque de prueba de tratamiento 578, escalón 61, glifo Q, a la izquierda, tras la reducción de los tratamientos anteriores y de los nuevos tratamientos de estabilización; glifo R, a la derecha, muestra el oscurecimiento ocurrido a lo largo del tiempo de los tratamientos de estabilización previos.

Propuestas de acciones futuras para la conservación

Figura 117. Grado de tratamiento de consolidación previo de las superficies de los peraltes de la Escalinata. Los diferentes niveles de tratamiento de los distintos bloques se muestran en una escala de 0 a 3.

Figura 118. Actual acceso a la Escalinata a través de la balaustrada sur, mediante escalones en varios puntos de las terrazas reconstruidas al sur de la Escalinata. 2004.

Figura 119. Escalones de acceso que llevan a un puente que pasa por encima de la balaustrada sur.

Figura 120. Rejilla metálica de protección contra las hojas al norte de la Escalinata, que muestra un avispero.

Figura 121. Acumulación de hojas en el lado sur de la porción inferior de la Escalinata.

Figura 122. Telarañas y hojas en los escalones de la Escalinata.

Figura 123. Personal del IHAH utilizando una brocha para retirar telarañas de una estela.

Figura 124. Área de pérdida de mortero entre bloques, ocasionada por excavaciones animales.

Figura 125. Figura Sedente utilizada por aves como sitio de aterrizaje. Pueden verse las marcas de guano en la superficie tallada.

Figura 126. Parte superior de la pirámide de la Escalinata. La lona se extiende más allá de la plataforma de la parte superior de la Escalinata.

Figura 127a y b. Cubierta de la Escalinata jeroglífica en 1992, cuya cobertura se detenía poco antes de la parte superior de la pirámide (a); una nueva lona, colocada en 2001, ofrece una mayor cobertura en la parte superior de la pirámide (b).

Figura 128. Cubierta en 1998, con el sistema anterior de soportes laterales.

Figura 129. Cubierta en el año 2003, con un sistema modificado de soporte lateral, que mantiene tensa la lona.

Figura 130. Cubierta en el año 2000; nótese la proximidad de la lona con la parte superior de la Escalinata.

Figura 131. El soporte central de cables de la cubierta. El cable adicional de la izquierda sostiene el soporte vertical.

Figura 132. La cubierta, instalada en febrero de 2001, con una rasgadura ocasionada por fuertes vientos en el año 2003 en el mismo lugar en el cual la lona se había reparado anteriormente.

Figura 133. Vista desde la Plaza, mostrando la visibilidad de la Escalinata Jeroglífica. Resulta difícil ver la parte superior, dado el contraste con el cielo brillante de la parte superior de la Escalinata, pobremente iluminada.

Figura 134. Prueba con red oscura colocada en la parte superior de la Escalinata, con el fin de reducir el contraste visual y mejorar la visibilidad de la Escalinata desde la Plaza.

Figura 135. Área de mayor vegetación cerca de la Escalinata, en la parte en la que el agua de lluvia fluya hacia ésta.

Figura 136. Acumulación de agua de lluvia en la base de la Escalinata durante una fuerte lluvia.

Figura 137. Plano del sistema de túneles bajo la Estructura 26.

Figura 138. Vieja grieta entre la balaustrada norte y los escalones.

Figura 139. Grieta dentro de los bloques de la balaustrada norte.

Figura 140. Superficie de huella de un bloque in situ, visto desde arriba; las grietas paralelas se hallan detrás de la cara tallada del bloque.

Figura 141. Glifo A, bloque 513, escalón 55, con oscurecimiento de superficies causado por tratamientos previos de consolidación.

Figura 142. Bloque 71, escalón 11, con escamas y superficies desprendidas que requieren estabilización.

Figura 143. Bloque 407, escalón 41, tras tratamiento de prueba en el cual el color del mortero de resane y relleno se hizo de un color correspondiente al de la superficie de la piedra mediante el agregado de pigmentos minerales a la lechada de cal (a la izquierda).

Figura 144. Microrelleno de superficie desprendida de bloque de tratamiento de prueba 578, escalón 61.

Figura 145. Vista del escalón 42, en el primer plano, mostrando la ausencia de mortero de resane de juntas (a la derecha) y el resane previo, en donde el mortero cubre los bordes de los bloques (izquierda).

Figura 146. Resane del bloque de tratamiento de prueba 407, escalón 43 (izquierda) y mortero faltante bajo el bloque adyacente (derecha).

Figura 147. Vista de la plataforma de mortero y del labio de cemento sobre el último escalón de la Escalinata reconstruida, viendo hacia el sur.

Figura 148. Personal del IHAH y GCI practicando el protocolo de monitoreo fotográfico de condiciones de los bloques de control.



APÉNDICES

Apéndice A

Sistema de identificación para los bloques y glifos de la Escalinata Jeroglífica

(Ver la versión en inglés para las figuras.)

Figura A.1. Sistema de identificación de bloques y glifos de la Escalinata Jeroglífica, con base en el sistema desarrollado por Barbara Fash.

Apéndice B

Resumen cronológico de la historia de conservación de la Escalinata Jeroglífica

1885

Descubrimiento de la Escalinata Jeroglífica por parte de Alfred Percival Maudslay. La porción visible de la Escalinata en esa época es la sección de escalones que se deslizó como una sola pieza desde la parte más alta de la estructura piramidal.

Diciembre de 1892 – enero de 1893

La segunda expedición a Copán del Museo Peabody retira la vegetación del montículo de la Escalinata (Estructura 26) y el director de la misma, John G. Owens, da inicio a su excavación. Se descubren por completo los bloques jeroglíficos de la sección caída y se descubren los escalones que permanecían en su sitio sepultados bajo más de cuatro metros de escombros; se les excava parcialmente.

Mayo de 1893

La segunda Figura Sedente, cortada en pedazos, así como varios bloques jeroglíficos, adelgazados hasta formar planchas de entre 4 y 5 pulgadas de espesor, son enviados a Boston entre otros hallazgos de la temporada.

Diciembre de 1894 – junio de 1895

Bajo la dirección de George Byron Gordon, los bloques jeroglíficos de la sección caída, así como otros bloques sueltos encontrados entre los escombros, se limpian y se bajan al nivel de la plaza, en donde se les coloca en soportes de piedra, se les fotografía y se sacan moldes hechos de papel de la mayoría de ellos.

Marzo – mayo de 1900

Gordon descubre completamente los escalones inferiores en su posición original, revelando un total de 15 escalones y la primera Figura Sedente. Se fotografían en detalle y se hacen moldes en papel de todos los escalones encontrados en su sitio y de todos los bloques sueltos de los que no se habían hecho moldes.

1910 – 11

El arqueólogo estadounidense Sylvanus Griswold Morley, junto con el Dr. Edgar L. Hewett y Jesse L., visita Copán en representación de la Escuela de Arqueología Estadounidense. El grupo vuelve a limpiar los escalones, que habían sido cubiertos nuevamente por escombros.

Enero – junio de 1935

La Institución Carnegie de Washington comienza a trabajar en Copán, bajo la dirección del ingeniero noruego Gustav Strømsvik. Se elimina la vegetación del montículo de la Escalinata y se estabiliza el altar hallado en la base de la Escalinata.

Enero – mayo de 1937

La reconstrucción de la Escalinata comienza con la estabilización de los escalones encontrados en su sitio. Se bajan y fotografian los bloques de los cuatro escalones y, junto con la primera Figura Sedente, se vuelven a colocar, fijándolos con cemento. El espacio por detrás de los bloques se rellena con piedras sueltas, fijadas con cemento, y las juntas entre bloques se rellenan con este material.

Se excava y se construye la nueva escalinata de soporte sobre la que habrán de colocarse los bloques jeroglíficos, hasta el nivel del escalón 43. Se colocan los bloques jeroglíficos de la sección caída entre los escalones 29 a 43. Se utilizan piedras no talladas, remetidas unos cuantos centímetros, para llenar áreas en las que faltan piedras. En la parte superior del último escalón reinstalado se construye un canal para desviar el agua proveniente de la parte superior del montículo hacia los lados de la Escalinata. Se llenan de cemento tanto las grietas como las juntas entre los bloques. Se reconstruye la parte más baja del panel de balaustrada inclinada.

Enero – mayo de 1938

Se reconstruyen algunos otros paneles de balaustrada en ambos lados de la Escalinata y se reinstala una media docena de bloques jeroglíficos en el lado Norte de los Escalones 18 a 21. Se efectúan reparaciones en la primera Figura Sedente.

Marzo – mayo de 1939

En el área entre la sección de escalones encontrados en su sitio y las secciones derrumbadas se restituyen bloques de piedra tallados, utilizando las piedras más deterioradas con glifos irreconocibles. También se vuelven a poner en su sitio varios elementos de la Balaustrada. La Figura Sedente, instalada el año anterior en mitad de los escalones 31 a 36 (y que actualmente se conoce como Figura Sedente 4) se retira de ese lugar y se le reemplaza con la Figura Sedente 3. Por encima de este nivel, se construyó apenas un poco menos de una docena de escalones de apoyo en la parte central, si bien no se colocó sobre ellos bloque jeroglífico alguno.

Alrededor de diciembre de 1939 – mayo de 1940

Se construyeron escalones de soporte hasta el escalón 63 y luego se colocaron sobre cemento los mismos bloques jeroglíficos. Se reconstruyeron ambos lados de la Balaustrada; finalmente se construyeron los escalones lisos superiores, más estrechos, instalándose la Figura 6. Se rellenaron con cemento las grietas y pérdidas en los bloques de piedra.

Diciembre de 1940 – julio de 1941

Se encontraron y colocaron en su sitio unos cuantos elementos de la Balaustrada Norte.

Marzo de 1946

Es posible que la Escalinata haya recibido un ‘lavado de cemento’ después de una cuidadosa limpieza a fondo.

1949

Como prueba para la conservación de piedra, Strømsvik limpia y seca cuidadosamente los 6 escalones más bajos de la Escalinata Jeroglífica y les aplica con brocha una capa de laca transparente DuPont #1234, misma que le envió Robert Eliot Smith, un arqueólogo mesoamericanista y colega suyo de la Institución Carnegie.

1952

Creación del Instituto Hondureño de Antropología e Historia (IHAH), institución gubernamental responsable del sitio.

Alrededor de 1975

El IHAH prohíbe a los visitantes caminar en la Escalinata.

Enero de 1977, julio de 1977 y enero de 1978

Tres áreas de prueba de la Escalinata reciben tratamiento con biocidas, aplicado por Mason Hale: una sección de aproximadamente 1.5 metros del peralte del escalón 2, en el lado sur; una sección de 2 metros del peralte del escalón 28, en el lado norte; y una sección de 2 metros del peralte del escalón 53, en el lado sur. El tratamiento consiste en una aplicación de Clorox, seguida de una aplicación de Borax un día después, en enero y en julio de 1977; tan sólo se utiliza Clorox en enero de 1978.

Septiembre de 1978, diciembre de 1978 y marzo de 1979

Se trata toda la Escalinata tres veces con Clorox, seguido de Borax un día después, eliminando la microflora en las superficies horizontales y eliminando el 95% de los líquenes más grandes de los peraltes. En contra de lo recomendado por Hale, es posible que se haya practicado un cepillado mecánico en la Escalinata para eliminar los restos de microflora.

Alrededor de 1979 – 1980

Es posible que se hayan aplicado tratamientos con agentes biocidas en la Escalinata, utilizando para ello Thaltox Q.

1980

El sitio arqueológico de Copán es inscrito en la Lista de Patrimonio Mundial de la UNESCO.

Marzo/abril de 1982

Se lleva a cabo una prueba de tratamiento utilizando Paraloid B-72 en un área pequeña, de 5 glifos de ancho, de la Escalinata Jeroglífica, en la porción central de los escalones 6 y 7. Se limpia la superficie de la piedra y las escamas desprendidas se readhieren, utilizando una solución en acetona de Paraloid B-72 al 20%, aplicándose luego una solución en acetona de Paraloid B-72 al 5% a toda la superficie de los peraltes. No se aplica tratamiento alguno en las huellas de los escalones.

Verano de 1982

Para esta fecha, se utiliza el Paraloid B-72 habitualmente como tratamiento de las superficies de piedra. Se llevaron a cabo tres tipos principales de tratamiento: consolidación de superficies frágiles de piedra, utilizando una solución de baja concentración (1–5% en acetona) de Paraloid B-72, readhesión de escamas de piedra desprendida, utilizando una solución de Paraloid al 15–20% como agente adhesivo y ribeteo de los bordes de las escamas desprendidas utilizando una mezcla de Paraloid B-72 y polvo de piedra de Copán.

Mayo de 1985

La cubierta de la Escalinata se coloca en su sitio, inicialmente sólo durante la temporada de lluvias (mayo a octubre). Al mismo tiempo, se construyó un borde de cemento por encima del escalón 63, con el fin de evitar que el escurrimiento de agua de lluvia sobre la Escalinata.

Agosto de 1986

Un programa de trabajo incluye específicamente una propuesta de tratamiento de conservación de superficies de la Escalinata Jeroglífica, utilizando Paraloid B-72 al 12%, mezclado con polvo de piedra de Copán para el ribeteo de los bordes y Paraloid al 5% para la consolidación de superficies.

1987

Se excavaron y restauraron las terrazas del lado sur de la Estructura 26.

Alrededor de 1987

A partir de ese momento, se deja la cubierta de protección sobre la Escalinata todo el año.

Finales de la década de 1980

El uso de Mowilith 30 reemplaza parcialmente al uso de Paraloid B-72 como adhesivo para el ribeteo de bordes del sitio, incluyendo la Escalinata.

Primavera de 1991

La lona protectora de la Escalinata es sustituida por primera vez.

Primavera de 1998

Se instala la tercera lona. Ésta es más ancha y más larga que las dos anteriores, lo que protege de la lluvia a los tres escalones superiores de la Escalinata. Se suspenden todos los tratamientos de superficie en la Escalinata.

2000

Se suspenden todas las demás actividades de conservación y mantenimiento de la Escalinata, incluyendo el cepillado semestral de los peraltes y las huellas de sus escalones.

Febrero de 2001

Se instala la cuarta lona. Sus dimensiones son idénticas a las de la anterior.

Abril de 2003

Se instala la quinta lona. Sus dimensiones son idénticas a las de la anterior.

Septiembre de 2006

Se instala la sexta lona.

Documentación fotográfica de los bloques de la Escalinata seleccionados para el monitoreo de condiciones

# de escalón / # de bloque	Musco Peabody 1891-1901 # de negativo	Carnegie Institution of Washington 1915-1953 # de negativo	Raúl Pavón Abreu 1946-48 # de rollo - # de negativo*	Maya Bracher Junio-Agosto de 1979 # de rollo - # de negativo	Jean-Pierre Courau Mayo de 1987 # de hoja de contacto - # de negativo	Photarc Surveys Ltd/GCI Junio de 2000 # de negativo	GCI Abail Julio de 2003	Photarc Surveys Ltd/GCI Diciembre de 2004 # de negativo
1/2	1872	H-15-93, 40-13-54	55-10, 55-11, 55-12	No existe [1]	1522-11	23-25, 1508-1309	Si	1-16
11/71	1869	37-13-133	51-14	No existe	1519-3A	1313	Si	17-20
12/83	1868	37-13-133	51-5, 51-6	No existe	1518-24, 1518-25	1320-1321	Si	21-28
12/86	1867	37-13-133	51-8, 51-9	No existe	1518-29	1328-1329	Si	29-36
23/203	No hay	No hay	45-2	No existe	1514-36	248	Si	37-42
23/204	No	No hay	45-2	No existe	1514-36	248	Si	37-42
36/342	414	No hay	39-11	404-28	1510-42	360	Si	43-45, 47-49
36/343	414	No hay	39-11	404-29, 404-30	1510-42	361	Si	44-46, 48-50
41/375	403	No hay	37-5	No existe	1507-42	1373	Si	51-53, 56-58
41/376	403	No hay	37-5, 37-6	No existe	1507-42, 1507-43	1374-1375	Si	52-55, 57-60
43/409	401	No hay	36-16, 35-17	403-12, 403-13	1506-10, 1507-21	1356-1357	Si	61-68
43/410	401	No hay	36-17, 35-18	403-13, 403-14, 403-15	1507-21, 1507-24	1359-1361	Si	69-76
45/422	No	No hay	35-17	402-24	1506-30	462	Si	77-82
50/462	No	No hay	33-12, 33-13	No existe	1504-28, 1504-29	1378-1380	Si	83-87
52/483	377	No hay	9-29	379-22	1503-41A	510	Si	88-93
58/549	No	No hay	13-6	335-31A	1500-42A	578	Si	94-96
59/551	381	No hay	13-1	338-27, 338-28, 338-29	1500-25A	584	Si	97-100
61/575	386	No hay	12-26	357-12A	1499-19	1383	Si	101-103
61/576	386	No hay	12-26, 12-27	357-13A	1499-19	1384	Si	102-104
61/578	386	No hay	12-28	357-15A, 357-16A	1499-21	1386, 1388	Si	105-108
63/592	294	H-15-89	12-4	354-3	1406-32	633	Si	109-110
63/594	388	H-15-90, 37-13-145	12-5, 12-6	338-20A	1406-33	1391	Si	111-113
63/595	388	H-15-90, 37-13-143	12-6	338-19A	1406-34	1392	Si	112-114

[1] No existe una fotografía de Bracher, pero se encontró una fotografía de 1979 del bloque 1/2 en los archivos del IIAH en Tegucigalpa. Rollo etiquetado como "Copán Ruinas, Microflora, 2 de Febrero de 1979". Número de negativo: 28.

Apéndice D

Glosario ilustrado de condiciones en la piedra de la Escalinata Jeroglífica

Características del material

Veta

Característica geológica de la piedra que presenta la apariencia de una delgada capa irregular, constituida por un mineral, con un color y/o textura diferentes del resto de la piedra.

Condiciones actuales

Desprendimiento

Sección intacta de la superficie de la piedra separada del sustrato subyacente y que puede detectarse dando ligeros golpecitos en la superficie e identificando un sonido hueco. Los desprendimientos pueden ser ciegos (es decir, sin señal visual de su presencia) o abiertos.

Disagregación

Pérdida de cohesión en la superficie de la piedra, que se ha desintegrado formando polvo o partículas pequeñas.

Fisura

Ruptura lineal fina (grieta) de la superficie de la piedra.

Escamación / Exfoliación

Desprendimiento total o parcial de pequeños elementos planos y delgados (escamas) de forma o grosor irregular, que sigue el perfil de la superficie de la piedra.

Organismos microbiológicos

Área colonizada por hongos, algas, líquenes, musgos y/o bacterias.

Pérdida de mortero

Área en la que falta algún relleno de mortero.

Pérdida de superficie

Pérdidas en la superficie de piedra, comparado con la superficie más externa que permanezca en el bloque de piedra (y no con relación a la superficie original conjeturada).

Intervenciones anteriores

Relleno / Resane de bordes

Tratamiento de estabilización para rellenar áreas con pérdidas o exfoliación con una mezcla de adhesivo y agregado.

Consolidación superficial

Tratamiento de estabilización de la superficie de la piedra con un material ligante líquido.

Mortero 1

Mortero cementante débil de color gris rosáceo.

Mortero 2

Mortero cementante duro con agregado de arena de río gruesa.

Mortero 2 BIS

Mortero cementante duro con agregado de arena de río gruesa, similar al Mortero 2, pero con menos agregado.

Mortero 3

Mortero cementante duro de color rosa con agregado fino.

Mortero 4

Mortero suave, a base de cal, mezclado con arena fina y tierra.

Mortero 5

Mortero cementante blanco y duro con agregado fino.

Apéndice E

Datos adicionales del monitoreo ambiental

Inventario de equipo utilizado en las estaciones de monitoreo ambiental Escalinata y Jaguares en Copán y en la estación de base, localizada en el Centro Regional de Investigaciones Arqueológicas (CRIA), al noreste del sitio.

Estación de monitoreo ambiental Escalinata

(descripción / # de serie)

Módulo de medición y control Campbell Scientific, Inc. (CSI) SI CR 10X, con panel de cableado y memoria de 2 M / 5795

Multiplexer relevador de 16 canales (4 cables) CSI AM416, con caja térmicamente aislada / 11969

Multiplexer de estado sólido y 25 canales CSI AM25T para termocoples / 2719

Sensor de dirección del viento Met One 024 / H5071

Anemómetro (medición de velocidad del viento) Met One 012 / H2233

Medidor de precipitación de cubo basculante Texas Electronics TE525 / 20392-1297

Sonda de medición de temperatura y humedad relativa Vaisala HMP45C / T1730017

Piranómetro Licor LI200X / PY32300

Sensores fotométricos (iluminación de la Escalinata) Li-Cor LI210SZ

Termocoples y cables tipo E Omega (temperatura de superficie de la Escalinata)

Pasadores (2) de acero inoxidable soldados al cableado (tiempo de humedad del perímetro de la Escalinata)

Sensores Rotronic de temperatura y humedad relativa (por debajo de la superficie de la Escalinata) / 69272 a 69288

Radio FM Motorola / 519FQW3030

Módem RF RF95 / 1223

Antena unidireccional Yaga / 23052

Pánel solar de 20 Watts Solarex SX20U / F10004051625431

Cargador/regulador CSI CH12R de 12 voltios / 2949

Batería ácida de plomo Yuasa, de 12 voltios

Módulo de almacenamiento de tarjeta CSI CSM1 / E3040

Tarjeta CSMC4M 4 M PCMCIA / 6JA

Caja de equipo térmicamente aislada CSI

Trípode de acero CSI CM6 de 6 pies, con juego de conexión a tierra

Estación Jaguares de monitoreo ambiental

(descripción / # de serie)

Módulo de medición y control CSI CR10X con panel de cableado y memoria de 2 M / 5794

Multiplexer relevador de 16 canales (4 cables) CSI AM416, con caja térmicamente aislada / 11968

Multiplexer de estado sólido y 25 canales CSI AM25T / 2710

Sensor de dirección del viento Met One 024 / H5068

Anemómetro (velocidad del viento) Met One 012 / K2561

Sensor de humedad de suelo Modelo 257

Medidor de precipitación de cubo basculante Texas Electronics TE525 / 20661-198

Sonda de medición (ambiente) de temperatura y humedad relativa Vaisala HMP45C / T2130014

Piranómetro Licor LI200X / PY32301

Termocoples y cables tipo E Omega (temperatura de superficie y de sub-superficie para experimento en piedra)

Pasadores (2) de acero inoxidable, soldados al cableado (para experimento en piedra para medir tiempo de humectación)

Reflectómetros de contenido de agua CSI CS615 (humedad de suelo en el Patio de los Jaguares)

Radio FM Motorola / 519FQW3028

Módem RF RF95 / 1097

Antena unidireccional Yaga / 14310

Panel solar de 20 Watts Solarex SX20U / F10004061627686

Cargador/regulador CSI CH12R, de 12 voltios / 2948

Batería ácida de plomo Yuasa, de 12 voltios

Módulo de almacenamiento de tarjeta CSI CSM1 / E3041

Tarjeta CSMCR4M 4 M PCMCIA / 6GA

Caja de equipo térmicamente aislada CSI

Trípode de acero CSI CM6, de 6 pies, con equipo de conexión a tierra

Estación base

(descripción / # de serie)

Estación de base RF RF232

Radio FM Motorola / 519FQW3029

Antena unidireccional Yaga / 14303

Trípode de acero CSI CM6, de 6 pies, con equipo de conexión a tierra. SPU

APC / NS0037244324

Teclado CSI CR10KD / 11001

Apéndice E

Monitoreo ambiental / Pies de ilustración de las figuras

(Ver la versión en inglés para las figuras.)

Figura E.1. Precipitación diaria máxima de 15 minutos (eje superior izquierdo) y precipitación acumulada (eje derecho inferior). Datos colectados en la Estación Jaguares de monitoreo ambiental, entre marzo de 2001 y enero de 2005. Las interrupciones en la gráfica de precipitación acumulativa indican períodos para los cuales no hay datos.

Figura E.2a y b. Rosa de viento que ilustra la velocidad y la dirección de los vientos (promedio de vector de 15 minutos) durante la temporada de lluvias, entre mayo y octubre (a), y en la temporada seca, entre noviembre y abril (b) de acuerdo a los datos colectados en la Estación Jaguares de monitoreo ambiental entre marzo de 2001 y enero de 2005.

Figura E.3a–c. Mapas de sensores, que muestran la ubicación de (a) los sensores de temperatura de superficie (ST), (b) los sensores de temperatura y los sensores de humedad relativa (TBS/RHBS) por debajo de la superficie y (c) los sensores de luz (LUM) en la Escalinata Jeroglífica de Copán, Honduras. La instalación de los sensores en la Escalinata se hizo en marzo de 2001.

Figura E.4. Mapas de sensores que muestran la ubicación de los sensores de tiempo de humedad alrededor del perímetro del escalón superior de la Escalinata Jeroglífica y de los bordes norte y sur de la Balaustrada de la Escalinata. No se colocaron sensores de tiempo de humedad a lo

ancho de la base de la Escalinata. La instalación de sensores de tiempo de humedad de la Escalinata se llevó a cabo en marzo del año 2001.

Figura E.5a y b. Mapas de contorno que muestran las temperaturas promedio (en °C) por debajo de la superficie de la Escalinata Jeroglífica durante la temporada de lluvias, entre mayo y octubre (a) y durante la temporada seca, entre noviembre y abril (b). Los valores mostrados en los mapas de contorno indican el nivel medio estacional de sensores específicos en la Escalinata. Las estadísticas se basan en datos recolectados entre marzo del año 2001 y aproximadamente enero del año 2002.

Figura E.6a y b. Mapas de contorno que muestran la temperatura promedio (en °C) a una profundidad de 12 cm por debajo de la superficie de la Escalinata Jeroglífica, durante la temporada de lluvias, entre mayo y octubre (a) y durante la temporada seca, entre noviembre y abril (b). Los valores mostrados en los mapas de contorno indican el nivel medio estacional de sensores específicos en la Escalinata. Las estadísticas se basan en los datos colectados aproximadamente entre enero del año 2002 y agosto del 2004, excluyendo las fechas en las que se retiró la cubierta.

Figura E.7a y b. Mapas de contorno que muestran la variación media diaria de la temperatura (en °C) 30 cm por debajo de la superficie de la Escalinata Jeroglífica durante la estación de lluvias, entre mayo y octubre (a) y durante la temporada seca, entre noviembre y abril (b). Los valores que aparecen en los mapas de contorno indican el nivel medio estacional para sensores específicos de la Escalinata. Las estadísticas se basan en datos colectados entre marzo del año 2001 y aproximadamente enero del año 2002.

Figura E.8a y b. Mapas de contorno que muestran la variación media diaria de la temperatura (en °C) a 12 cm por debajo de la superficie de la Escalinata Jeroglífica durante la estación de lluvias, entre mayo y octubre (a) y en la temporada seca, entre noviembre y abril (b). Los valores mostrados en los mapas de contorno indican el nivel estacional promedio en sensores específicos en la Escalinata. Las estadísticas se basan en datos recolectados entre aproximadamente enero del año 2002 y agosto del 2004, excluyendo fechas en las que retiró la cubierta.

Figura E.9a y b. Mapas de contorno que muestran la humedad relativa (en %) a una profundidad de 30 cm por debajo de la superficie de la Escalinata Jeroglífica durante la temporada de lluvias, entre mayo y octubre (a) y durante la temporada seca, entre noviembre y abril (b). Los valores mostrados en los mapas de contorno indican el nivel promedio estacional de sensores específicos en la Escalinata. Las estadísticas se basan en datos colectados entre marzo del año 2001 y aproximadamente enero del año 2002.

Figura E.10a y b. Mapas de contorno que muestran la humedad relativa (en %) a una profundidad de 12 cm por debajo de la superficie de la Escalinata Jeroglífica durante la estación de lluvias, entre mayo y octubre (a) y durante la temporada seca, entre noviembre y abril (b). Los valores que se muestran en los mapas de contorno indican el nivel promedio estacional de sensores específicos de la Escalinata. Las estadísticas se basan en datos colectados aproximadamente entre enero del año 2002 y agosto del año 2004, excluyendo fechas en las que se retiró la cubierta.

Figura E.11a y b. Mapas de contorno que muestran la variación promedio diaria de la humedad relativa (en %) a una profundidad de 30 cm por debajo de la superficie de la Escalinata Jeroglífica durante la temporada de lluvias, entre mayo y octubre (a) y durante la temporada seca, entre noviembre y abril (b). Los valores que se muestran en los mapas de contorno indican

el nivel estacional promedio de sensores específicos en la Escalinata. Las estadísticas se basan en datos colectados entre marzo del año 2001 y aproximadamente enero del año 2002.

Figura E.12a y b. Mapas de contorno que muestran la variación promedio diaria de humedad relativa (en %) a una profundidad de 12 cm por debajo de la superficie de la Escalinata Jeroglífica durante la temporada de lluvias, entre mayo y octubre (a) y durante la temporada seca, entre noviembre y abril (b). Los valores mostrados en los mapas de contorno indican el nivel estacional promedio de sensores específicos en la Escalinata. Las estadísticas se basan en datos colectados entre aproximadamente enero del año 2002 y agosto del año 2004, excluyendo fechas en las que se retiró la cubierta.

Figura E.13a y b. Mapas de contorno que muestran la relación de humedad (g de agua/kg de aire seco) a una profundidad de 30 cm por debajo de la superficie de la Escalinata Jeroglífica durante la temporada de lluvias, entre mayo y octubre (a) y durante la temporada seca, entre noviembre y abril (b). Los valores que se muestran en los mapas de contorno fueron calculados a partir de datos de temperatura y humedad relativa por debajo de la superficie e indican el nivel estacional promedio en sensores específicos de la Escalinata. Las estadísticas se basan en datos colectados entre marzo del año 2001 y aproximadamente enero del año 2002.

Figura E.14a y b. Mapas de contorno que muestran la relación de humedad (g de agua/kg de aire seco) a una profundidad de 12 cm por debajo de la superficie de la Escalinata Jeroglífica durante la temporada de lluvias, entre mayo y octubre (a) y durante la temporada seca, entre noviembre y abril (b). Los valores que se muestran en los mapas de contorno fueron calculados a partir de datos de temperatura y humedad relativa por debajo de la superficie e indican el nivel estacional promedio para ubicaciones específicas de sensores en la Escalinata. Las estadísticas se basan en datos colectados aproximadamente entre enero del año 2002 y agosto del año 2004, excluyendo fechas en las que se retiró la cubierta.

Figura E.15a y b. Mapas de contorno que muestran la variación promedio diaria de la relación de humedad (g de agua/kg de aire seco) a una profundidad de 30 cm por debajo de la superficie de la Escalinata Jeroglífica durante la estación de lluvias, entre mayo y octubre (a) y durante la estación seca, entre noviembre y abril (b). Los valores que se muestran en los mapas de contorno fueron calculados a partir de datos de temperatura y humedades relativas por debajo de la superficie e indican el nivel estacional promedio para diversas ubicaciones específicas de sensores en la Escalinata. Las estadísticas se basan en datos colectados entre marzo del año 2001 y aproximadamente enero del año 2002.

Figura E.16a y b. Mapas de contorno que muestran la variación promedio diaria de relación de humedad (g de agua/kg de aire seco) a una profundidad de 12 cm por debajo de la superficie de la Escalinata Jeroglífica durante la estación de lluvias, entre mayo y octubre (a) y la estación seca, entre noviembre y abril (b). Los valores que aparecen en los mapas de contorno fueron calculados a partir de datos de temperatura y humedad relativa por debajo de la superficie e indican el nivel estacional promedio para ubicaciones específicas de sensores en la Escalinata. Las estadísticas se basan en datos colectados entre aproximadamente enero del año 2002 y agosto del año 2004, excluyendo fechas en las que se hubiera retirado la cubierta.

Apéndice F

Proveedores de productos y equipo para la experimentación de tratamientos de conservación

Materiales y productos

Resane de juntas y reparaciones con morteros

ARENA

Arena del río Copán: recolectada directamente del río, al sur de la Acrópolis Principal de Copán.

Arena del río Chamelecón: obtenida del plantel INDECO, Sector Chamelecón, El Palmar. El área de extracción de arena está justo en las afueras de San Pedro Sula, en donde inicia la carretera a Copán.

Oficina de INDECO
23-24 Ave, 9 Calle N.O.
San Pedro Sula, Honduras
Tel: 553-4700; Fax: 552-6943

POLVO PÉTREO

Polvo de tufa volcánica verde: obtenido localmente en Copán Ruinas, molido a mano.

Polvo de tufa volcánica amarilla: de una bolsa de piedra ya molida en el Centro Regional de Investigaciones Arqueológicas (CRIA); se desconoce su procedencia exacta.

CAL

Cal viva de Llanatillos: proveniente del pueblo de Llanatillos, situado en las colinas al norte del valle de Copán.

Cal de Chiquilas: obtenida con diferentes proveedores de Chiquilas, pueblo situado a una hora de Copán Ruinas, en la carretera hacia San Pedro Sula. Varios proveedores venden cal viva y existen dos marcas principales de cal apagada: Honducal y 5 Estrellas (también conocida como Súper Estrellas).

ADITIVOS PUZOLÁNICOS

Metacaolina MetaStar 501: producto comercial obtenido en el Reino Unido, a través de Imerys Minerals, Limited.

Imerys Minerals Limited
John Keay House, St Austell
Cornwall PL25 4DJ, U.K.
Tel: 01726 74482; Fax: 01726 623019

Tierra blanca de San Salvador (tefra volcánica con alto contenido de piedra pómez): de Joya de Cerén, San Salvador.

Piedra pómez de Guatemala: adquirida localmente en Copán Ruinas, se desconoce su origen exacto.

Teja de arcilla de Copán: adquirida localmente en Copán Ruinas.

MATERIALES NO PUZOLÁNICOS SOMETIDOS A PRUEBAS DE PUZOLANICIDAD

Tierra blanca de Llanatillos: proveniente del pueblo de Llanatillos, situado en las colinas al norte del valle de Copán.

Tierra blanca de Copán: del Bario San Pedrito, Copán Ruinas.

Tierra blanca de Jacaleapa: del poblado de Jacaleapa, al suroeste de Tegucigalpa.

Ladrillo de arcilla Quimistán: ladrillo cocido a la leña del fabricante Ladrillo Rafón, del poblado de Quimistán, a medio camino entre San Pedro Sula y La Entrada.

Ladrillo de arcilla de Copán: de Copán Ruinas.

Ladrillo de arcilla de Florida: ladrillo cocido a la leña del poblado de Florida, justo antes del poblado La Entrada, en la carretera entre Copán Ruinas y La Entrada.

Ladrillo de arcilla de Los Planes: del poblado de Los Planes, ubicado en las colinas arriba del poblado de Santa Rita, justo al este de Copán Ruinas.

PIGMENTOS

Todos los pigmentos utilizados se obtuvieron en los EE.UU., comprándoselos a Kremer Pigment Conservation Supplies, Inc. Se utilizaron los siguientes pigmentos en el curso de las pruebas de tratamiento:

Óxido de Cromo Opaco K44200
Umbrío Crudo, Verdoso oscuro, Alemania K40630
Amarillo ocre Avana francés, verdoso K40200

Kremer Pigment Conservation Supplies Inc.
(Pigmentos Kremer, Materiales de Conservación)
228 Elizabeth Street
New York, NY 10012, USA
Tel: 800 995-5501 o 212 219-2394; Fax: 212 219-2395
<http://kremer-pigmente.de/home.htm>

En Honduras occidental, se pudieron encontrar algunos pigmentos en las ferreterías Comercial Larach y ACE/Fermosa. Es probable que puedan conseguirse pigmentos adicionales en México:

Comercial Larach (pigmentos alemanes amarillo y rojo ocre)

Las Acacias, 4 Ave, 13 y 14 Calle S.O.
San Pedro Sula, Honduras
Tel: 552-9500

ACE/Fermosa (pigmentos, incluyendo óxido de cromo verde y amarillo ocre)

En el centro comercial Multiplaza y en
Avenida Junior, 3 ave. y 4 calle,
Barrio Borondillas,
San Pedro Sula, Honduras
Tel: 558 1470

Estabilización de superficies

LIMPIEZA GENERAL

Triton™ XL-80N: surfactante no iónico fabricado por la Dow Chemical Company; puede adquirirse en los EE.UU. en la empresa Conservation Support Systems.

Conservation Support Systems
924 West Pedregosa Street
Santa Barbara, CA 93101, USA
Tel: 805 682 9843 o 800 482-6299; Fax: 805 682 2064/69
<http://www.silcom.com/~css/>

REDUCCIÓN/ELIMINACIÓN DE TRATAMIENTOS PREVIOS

Acetona y agua destilada: disponibles en Honduras, en farmacias y ferreterías.

Tolueno y otros solventes comunes: disponibles en San Pedro Sula, Honduras; vendidos por las compañías Transmerquim y Honduchem.

Grupo Transmerquim, S.A. de C.V.
Apartado Postal 2091
San Pedro Sula, Honduras
Tel: 556-7781, 556-8770, 556-8403
Fax: 556-8809; Fax ventas: 556-7590
Contacto: Ing. Juan Manuel Torres (Gerente de Ventas), jmtorres@hn2.com

Honduchem
27 Calle N.E.
Colonia Calpules Autopista hacia La Lima
San Pedro Sula, Honduras
Tel: 559-2043/44/45/46/47
Fax: 559-2042

MATERIALES PARA HACER COMPRESAS

Polvo de celulosa: Fibras Whatman de Polvo de Celulosa CF11, fabricadas por Whatman, Inc., disponibles en los EE.UU. por medio de Markson LabSales o de Fisher Scientific International, Inc.

Ventas de Laboratorio Markson
661 Route 23 South
Wayne, New Jersey 07470, USA
Teléfono: 800-528-5114
Fax: 800-858-2243
E-mail: CustService@markson.com
<http://www.markson.com>

Fisher Scientific International Inc
Liberty Lane
Hampton, NH 03842, USA
Teléfono de Servicio General a Clientes: 1-800-766-7000
Fax 1-800-926-1166
<http://www.fishersci.com>

Arcilla de atapulgita: obtenida en los EE.UU. por medio de Conservation Support Systems.

Conservation Support Systems
924 West Pedregosa street
Santa Barbara, CA 93101, USA
Tel: 805 682 9843 o 800 482-6299
Fax: 805 682 2064/69
<http://www.silcom.com/~css/>

FIJADO DE SUPERFICIES DESPRENDIDAS

Paraloid® B-72 (también llamado Acryloid B-72): resina acrílica fabricada por Rohm & Haas, Filadelfia, PA; disponible en Honduras a través de México; en los EE.UU., por medio de Talas.

Talas
568 Broadway
New York, NY 10012, USA
Tel.: 212 219 0770; Fax 212 219 0735
<http://www.talas-nyc.com/>

Rhoplex™ AC-33 (también llamado Primal AC-33): emulsión acrílica acuosa, fabricada por Rohm & Haas, Filadelfia, PA; disponible en Honduras a través de México; en los EE.UU., se puede adquirir de Conservation Support Systems.

Conservation Support Systems
924 West Pedregosa Street
Santa Barbara, CA 93101, USA
Tel: 805 682 9843 o 800 482-6299
Fax: 805 682 2064/69

<http://www.silcom.com/~css/>

CONSOLIDACIÓN DE SUPERFICIES

Productos de sílice coloidal: Tanto el Ludox® HS-40 como el Syton® X-30 son fabricados por DuPont, de Wilmington, DE, y están disponibles en los EE.UU. por medio de la rama de nanomateriales de esa compañía.

DuPont Air Products NanoMaterials L.L.C.

Tel. de Nanomateriales DuPont: 800 356 7632

Tel. de fábrica productora de Syton en Filadelfia: 800 243 2143 x3636

Representante de ventas: Mac Anderson: 760 889 2407 (celular), 936 760 0426 (trabajo)

<http://www.nanoslurry.com>

Herramientas y equipo especializado

Cedazos finos

Juego de seis cedazos de plástico (las medidas de los cedazos son: 4.0 mm (#5), 2.0 mm (#10), 500 mm (#35), 250 mm (#60), 125 mm (#120), 63 mm (#230)) fabricados por Hubbard Scientific, también disponibles en los EE.UU. a través de Forestry Suppliers.

Hubbard Scientific
401 W. Hickory Street
P.O. Box 2121
Fort Collins, CO 80522 USA
Tel: 970 484-7445 o 800 289-9299; Fax: 970 484-1198
<http://www.shnta.com/about.aspx>

Forestry Suppliers, Inc.
205 West Rankin Street
P. O. Box 8397
Jackson, MS 39284-8397, USA
Tel: 601 354-3565; Fax: 601 292-016
Ventas: 800 647 5368
Apoyo técnico: 800 430 5566
Servicio a clientes: 800 752 8460
<http://www.forestry-suppliers.com/>

Hisopos 'críticos' de espuma sintética

Disponibles en los EE.UU. por medio de VWR y de ITW Texwipe.

Oficina Central de VWR
1310 Goshen Parkway
West Chester, PA 19380, US

Teléfono: 610 431-1700 Orders: 800 932 5000
Fax: 610 431-9174
<http://www.vwr.com>

ITW Texwipe
300B Route 17 South
Mahwah, New Jersey 07430, USA
Teléfono: 800.TEXWIPE
Fax: 201 684 1801
Email: info@texwipe.com
<http://www.texwipe.com>

Espátulas metálicas pequeñas

Espátulas Casselli forjadas a mano, disponibles en los EE.UU. a través de Talas. No se hallaron espátulas para resane fino en Honduras, pero éstas se pueden mandar a hacer con un herrero local.

Talas
568 Broadway
New York, NY 10012, USA
Tel.: 212 219 0770
Fax 212 219 0735
<http://www.talas-nyc.com/>

Cinceles de piedra pequeño

Alec Tiranti, Ltd. vende cinceles Tiranti en el Reino Unido; en América del Norte, pueden conseguirse cinceles Rebit a través de Micon Products, Ltd. No fue posible hallar cinceles pequeños para piedra en Honduras, pero los puede hacer un herrero local.

Alec Tiranti, Ltd
70 High Street
Theale, Reading
Berkshire, RG7 5AR, UK.
Tel: 0118 930 2775
Fax: 0118 932 3487
e-mail: enquiries@tiranti.co.uk
<http://www.tiranti.co.uk/>

Micon Products, Ltd
1325 Cartwright Street, Granville Island
Vancouver BC, Canada V6H 3R7
Tel.: 866 683-1285 o 604 683-1285
Fax: 604 683-1597
www.miconproducts.com/index.html

Otras herramientas de conservación

Todas las herramientas y equipo básicos para la conservación, como bisturís, hojas de bisturí, pinceles, hisopos de algodón, jeringas, agujas, guantes quirúrgicos, palillos de dientes, tazones de hule para mezclado de mortero, etc., pueden encontrarse en San Pedro Sula, Honduras, en

farmacias grandes, tales como Súper Farmacia Siman y en tiendas de artículos dentales grandes, tales como Depósito Dental Moderno.

Súper Farmacia Siman
6a Avenida, 5a Calle, S.O. No.32
Apartado Postal 116
San Pedro Sula, Honduras
Tel: 553 0321, 553 1265, 552 2675

Depósito Dental Moderno
Edificio Alexandria
5 Calle, 7 y 8 Avenida S.O.
Apartado Postal 883
San Pedro Sula, Honduras
Tel: 550 2165, 550 1380, 550 4620
Fax: 550 4549

Apéndice G

Conceptos de diseño para una nueva cubierta de protección para la Escalinata Jeroglífica

Estas son notas preparadas por el arquitecto Gionata Rizzi y describen un estudio realizado con el fin de proponer diseños para una cubierta de protección para la Escalinata Jeroglífica de Copán, Honduras. Junto con los dibujos que se presentan en las Figuras G.1 a G.6, constituyen un anteproyecto, una fase preliminar de diseño para explorar y proponer ideas para proteger la superficie original de los escalones y preservar los glifos.

Las ideas que se sugieren aquí se basan en dos visitas, por parte del consultor, al sitio y en información proporcionada al GCI acerca de análisis científicos realizados en los últimos años. Estos conceptos de diseño no deben considerarse como propuestas listas para su ejecución sino más bien como la base para discusiones más amplias con conservadores, científicos y arqueólogos.

Parámetros ideales para una nueva cubierta

Con base en los conocimientos derivados de la evaluación de las actuales condiciones de la Escalinata Jeroglífica (**Fig. G.1**), se han identificado una serie de parámetros ideales para el diseño de una cubierta permanente:

- Deberá proteger a la Escalinata contra la lluvia.
- Deberá proteger a la Escalinata de la luz solar directa.
- Deberá limitar la temperatura de la piedra y, en todo caso, deberá evitar cambios térmicos.
- No deberá generar condiciones que favorezcan la presencia y anidación de aves.
- Deberá evitar la acumulación de hojas llevadas por el viento.
- Deberá tener un impacto físico limitado en los materiales arqueológicos.
- Deberá ser resistente ante las condiciones climáticas locales.
- Deberá ser fácil de mantener y de reemplazar.
- Deberá ofrecer un buen grado de luminosidad.
- Deberá permitir un intercambio suficiente de aire para la comodidad de los visitantes.
- Deberá incluir un sistema que permita que se lleven a cabo trabajos en la Escalinata, a la vez de minimizar el contacto directo con la piedra.
- Deberá incorporar medidas de seguridad para la gente que necesite trabajar en los escalones.
- Finalmente, deberá tomar en consideración el impacto estético en el sitio y en el paisaje circundante.

Los primeros intentos

Los primeros intentos para generar un proyecto arquitectónico con base en los parámetros anteriores (Fig. G.2) surgió de la idea de la necesidad de explorar diferentes soluciones antes de concentrarse en unas cuantas hipótesis que pudieran representar las soluciones más apropiadas. El común denominador de estos intentos es el esfuerzo de imaginar una estructura que, aun cuando tenga un diseño moderno, se integre visualmente en el sitio: dada la imposibilidad de que sea neutral, la cubierta deberá, por lo menos, ser elegante.

El *velarium*

Este diseño involucra una cubierta móvil, un toldo que pueda colocarse o retirarse de acuerdo a las condiciones climáticas, exactamente como hacían los romanos con el *velarium* colocado sobre sus anfiteatros. Este enfoque tiene la enorme ventaja de dejar a la Escalinata prácticamente sin modificaciones cuando no hay lluvia y hay visitantes. Un toldo móvil, sin embargo, no brinda protección contra la radiación solar y no genera condiciones estables a nivel de microclima.

Una réplica

Esta es una cubierta que reproduce la geometría y la forma de la Escalinata, un “molde arquitectónico,” que se alce por encima del original para servir como techo. Esta hipótesis ciertamente permitiría una protección adecuada de los glifos sin distorsionar la imagen de la pirámide. Por otra parte, sin importar de qué material se hiciera la réplica, ésta sería una estructura enorme, lo que requeriría demasiado apoyo en la pirámide misma. El riesgo de un colapso debido a actividad sísmica o a un huracán, y el daño que podría ocasionar a los escalones originales en estos casos una estructura así pesada, es una desventaja de gran importancia con relación a esta solución.

El ‘zeppelin’

La posibilidad de construir una cubierta suspendida, en forma de ‘colchón volador’, que no tenga necesidad de apoyo, sino solo de cables de retención, se ha consultado con un ingeniero francés especializado en zeppelines y globos y es técnicamente posible (la única cuestión a resolver es el número de cables necesario para mantener la cubierta estable en caso de viento). La hipótesis soluciona el problema que la cubierta no sea un elemento arquitectónico haciéndola, literalmente, lo más ligera posible. No obstante, una estructura inflada con helio es una solución de muy alta tecnología y requiere de un control y de un reinflado de gas constantes lo cual, siendo realistas, es poco probable que pueda llevarse a cabo en Copán.

Alas 1

Los techos compuestos por dos o más secciones que se traslapan, fabricados con textiles de alta tecnología y montados en estructuras ligeras se pueden asociar tanto con formas cóncavas como convexas. Visualmente, esta solución podría recordar las alas de un gigantesco murciélago, animal que a menudo aparece en la escultura de Copán. Su desventaja principal es la inestabilidad en condiciones de vientos fuertes.

Alas 2

Pueden fijarse a cables suspendidos hojas rígidas que se traslapan, construidas como se construyen las alas de los aviones, con el fin de conformar algo parecido a una sombrilla.

Visualmente, esta solución recordaría el lomo de una langosta y podría ser mucho más estable que las alas hechas de tela tensada, pero también sería más pesada. Su principal desventaja es que, bajo un ‘carapacho’ semejante, la Escalinata ya no podría verse desde el sitio.

Las velas

Una estructura de tensión, con un sistema de velas planas como las de un velero clipper, podría proteger a la Escalinata de la lluvia, sin dejar de permitir que se vieran diversas secciones de la misma. Pero las velas de un velero clipper requieren de un viento constante para no perder tensión y una estructura de tensión debe ser tridimensional para no oscilar. El problema radica en que una vela tridimensional resulta visualmente más obstructiva.

Las plumas

Las escamas de un pez, la piel de un armadillo, las plumas: la Naturaleza nos ofrece prototipos de cubiertas protectoras concebidas como un sistema de elementos pequeños, ligeros y fáciles de reemplazar. Esta hipótesis se traduciría en una cubierta que no es una estructura sino varias y que evocaría el arte plumario de Mesoamérica. Su principal desventaja es la falta de antecedentes y la dificultad implícita que involucra poner en práctica cualquier tipo nuevo de construcción.

Las cuatro propuestas

Las ideas descritas arriba llevaron a desarrollar cuatro propuestas alternativas, todas ellas con características diferentes, diferente contenido tecnológico, diferentes resultados estéticos y todas ellas con ventajas y desventajas específicas.

Todas las propuestas presentan estructuras ligeras (todas las cubiertas descansan en cables suspendidos), buena durabilidad y la posibilidad de montarlas con un contacto mínimo con la piedra. Dada la dificultad de construir una cubierta suspendida paralela a la Escalinata, todas las propuestas, salvo una, están concebidas para permitir la circulación de aire, con el fin de evitar el ‘efecto de estiba’ y que el aire bajo la cubierta se sobrecaliente.

En todas las propuestas se intenta evitar el bloqueo por completo de la vista de la Escalinata y hacer que la cubierta sea armónica con el sitio, dada la imposibilidad de hacerla invisible. Para lograr un mejor control tridimensional de las soluciones propuestas, se ha utilizado un modelo de madera de la pirámide junto con los modelos de simulación por computadora.

Los proyectos desarrollados hasta ahora están enfocados en encontrar tipos alternativos de cubiertas y no se abocan a resolver otros aspectos de forma específica. Por ejemplo, todas las propuestas suponen que los visitantes seguirán subiendo por la escalera de madera adyacente a la balaustrada; quizás con una escalera a cada lado de la Escalinata: una para subir y la otra para bajar.

El drenaje del suelo en la base de la Escalinata evidentemente es algo crucial y debe diseñarse de acuerdo con el flujo calculado de agua; no se plantea aquí, pues debe considerársele tomando en cuenta el drenaje de esta área como parte del drenaje de todo el sitio.

La protección contra la luz y el agua en la parte superior de la pirámide también es un asunto muy importante que sólo puede resolverse directamente en el sitio. Desde el punto de vista estructural, los elementos de carga de todas las soluciones propuestas consisten en cables que cubren desde la base hasta la parte superior de la pirámide. En la base de la pirámide se ubica el punto de anclaje

de los cables, con un peso suficiente como para garantizar la estabilidad en presencia de viento. En la parte superior, estará el punto de apoyo sobre el cual, en la parte más alta de la catenaria, los cables se pliegan hacia un segundo punto de anclaje, similar al de la base. Para una cubierta de 15 metros de ancho y 40 metros de largo, que se apoya en dos cables y que esté sujeta a los vientos registrados en el estudio del clima, podrían resultar necesarios cuatro zócalos de anclaje, cada uno de unos 15 m³ de concreto (aproximadamente, 3 x 3 x 1.6 m), así como dos cimientos ligeramente menores para los soportes de la parte más alta. Estas dimensiones podrían reducirse sensiblemente si la acción del viento se equilibrara a lo largo de toda la catenaria mediante el empleo de cables transversales. Además, los zócalos de la parte superior de la pirámide podrían reemplazarse por 'postes de arraigo' con un diámetro y longitud adecuados.

Toda vez que los cables se tensen, se pueden erigir todo tipo de cubiertas con una intervención mínima sobre los escalones y lo mismo procede en el caso del mantenimiento y el reemplazo de estos elementos: en los dos primeros casos, tirando de los elementos protectores a lo largo de los mismos cables; en los dos últimos, operando directamente desde la parte superior de una red estructural.

Velas en cascada

Partiendo de lo que se ha resuelto con la lona actual, esta propuesta (Fig. G.3) busca mejorar la apariencia y resolver las preocupaciones de conservación existentes, manteniendo un sistema similar en cuanto a materiales y estructura. El diseño evolucionado partió de la idea minimalista de sencillamente reutilizar la cubierta existente, al tiempo que le permitía respirar, tanto visual como físicamente. Al igual que la cubierta existente, la estructura de tensión no tiene un impacto demasiado fuerte sobre las partes no esculpidas del templo, pues requiere puntos de anclaje mínimos. El diseño también garantiza un grado equivalente de protección contra el sol y la lluvia, permitiendo libertad en la elección de la lona. Para estabilizar el sistema, las velas de velero clipper se han reemplazado con hojas romboidales plegadas simétricamente a lo largo de un eje central. Con el fin de permitir la circulación del aire, así como el ajuste angular de cada vela, se introdujeron dos cables centrales, uno por encima del otro. Cada vela se fija a lo largo de este eje central entre los dos cables y se ancla al piso en sus dos puntos externos. Cada vela deberá ser de diferente tamaño para adaptarse al distinto ángulo de los cables. El diseño final que aquí se presenta utiliza esta modulación para evocar una forma casi orgánica, similar a algunas conchas del reino animal. La repetición de sus terrazas también evoca la forma inmediata de la pirámide escalonada de Copán y de todo el mundo maya.

Desde el punto de vista de la conservación, este tipo de cubierta parece brindar una buena protección a los lados, tanto contra la lluvia como contra las hojas impulsadas por el viento (es evidente que disminuye la visibilidad de la Escalinata desde los lados) y permite una buena circulación del aire. La tela puede tratarse con un agente biocida de larga duración, con el fin de mitigar el crecimiento de vegetación, y su color puede estudiarse para obtener el nivel deseado de luminosidad. Con las telas sintéticas que se utilizan en la actualidad, se calcula que las estructuras de tensión de este tipo tienen una vida útil de más de treinta años. El flujo de agua se concentra tanto en la parte inferior de la Escalinata como en sus lados y deben protegerse con un 'desagüe de escalón', posiblemente hecho de cobre.

Como el sistema de velas es estructuralmente muy sencillo se puede montar como se hace en un yate: valiéndose de un malacate instalado en la parte superior de la pirámide.

Series de alas

De forma similar al del diseño de las Velas en Cascada, la serie de Alas se presenta visualmente como un conjunto de miembros rígidos horizontales que cubren el ancho de la Escalinata Jeroglífica (Fig. G.4). Su semejanza con el perfil conocido de las pirámides mayas es evidente de inmediato ya que se forman escalones muy claros en su descenso desde lo alto del templo. Además, la superficie continua en desnivel de cada ala establece un paralelo contextual aún más acentuado con el Juego de Pelota adyacente.

Este sistema es similar a una cortina veneciana monumental, con ligeros miembros rígidos en forma de ala de ave colgando desde dos cables paralelos externos. El ángulo y el traslape de las hojas garantiza protección contra la lluvia, en tanto que el espacio existente entre ellas permite la circulación del aire.

Cada ala se construiría con la misma tecnología utilizada para las alas de los aviones o de los planeadores; la superficie puede ser de metal (posiblemente de cobre) o de tela sintética recubierta con resina, quedando sujeta a discusión la opción del color. Cada ala es capaz de rotar a lo largo del eje horizontal entre dos puntos de sujeción (un dispositivo de ajuste vertical fija el ala en el ángulo deseado) y esto agrega un componente visual único e impactante al diseño. La Escalinata sería visible desde una distancia específica: de hecho, las hojas se inclinan en un ángulo que corresponde al punto de vista de una persona parada a unos 30 metros de la base de la pirámide. Desde este punto, el único obstáculo visual sería el grosor de las alas, por lo que se daría al visitante una imagen de la Escalinata como si fuera “a través” de la cubierta, un efecto imposible de obtener de cualquier otra manera.

Desde el punto de vista de la conservación, este tipo de cubierta puede ofrecer una buena protección contra la lluvia y contra la radiación solar, pero resulta ligeramente menos eficaz que la propuesta de las velas en cascada en cuanto a la protección lateral contra la lluvia y las hojas empujadas por el viento. Los materiales presentan una buena durabilidad, aunque la opción de un material metálico para su construcción es más confiable sería más pesada. La luminosidad podría ser un problema, pues las alas son totalmente opacas, pero la cantidad de luz que penetra al interior a través de las alas y desde los lados sería más que suficiente. El flujo de agua se acumula sólo en la parte inferior de la escalinata y por lo que deberá drenarse de manera apropiada.

Estructuralmente, este tipo de cubierta requiere dos cables paralelos, uno a cada lado, para sostener las alas. Los elementos de la cubierta se construyen al igual que las alas de un aeroplano, pero se sostienen en ambos extremos. Los puntos de fijación a los cables se encuentran en la parte posterior, donde la sección más gruesa se adapta al elemento transversal de carga. Durante la fase del armado, cada ala se coloca sobre los cables y, tirando de una soga, se desliza sobre dos poleas hasta alcanzar su posición. Con el fin de garantizar la estabilidad lateral de la cubierta, el sistema contaría con cables laterales para el anclaje de los cables principales.

Cubierta de plumas

Esta propuesta se inspira formalmente en el arte plumario mesoamericano y en la parvada de guacamayas escarlata que habita en Copán (Fig. G.5). El escudo protector ante la intemperie, que parece una sola superficie desde la distancia, consiste en realidad de un conjunto de módulos individuales, de alta tecnología, adyacentes y suspendidos, con sus ‘plumas’ construidas como se hacen los cometas modernos, utilizando un textil de Kevlar tensado sobre un bastidor de fibra de vidrio. Todas las ‘plumas’ son idénticas en geometría y construcción, de forma sencilla, ligera y fácil de reemplazar. Se montan en un grupo de cables de acero que corren paralelos a la parte

superior e inferior de la pirámide. La porción central parece cóncava cuando se observa la cubierta desde arriba. La geometría y disposición de las plumas permite que la lluvia drene hacia los lados y a lo largo de la cubierta, sin que haya riesgo de que penetre entre las unidades individuales. Dado que se dispone de una paleta ilimitada de colores, la cubierta se convierte en una tela en blanco, en una matriz de píxeles con los cuales puede experimentarse de manera creativa. Las innumerables subdivisiones descomponen el todo, haciendo de la superficie algo casi sin sustancia. Es un recubrimiento de plumas que respiran y vibran suavemente con el paso de la brisa.

Desde el punto de vista de la conservación, este tipo de cubierta puede ofrecer una buena protección contra la lluvia y contra el sol aun cuando sus lados están bastante abiertos. El textil del cual están hechas las plumas puede recibir un tratamiento biocida de largo plazo, con el fin de evitar el crecimiento vegetal y se puede estudiar el color para lograr el grado de luminosidad deseado. Con el sistema se asegura una circulación del aire en toda la cubierta, lo que evita el sobrecalentamiento del aire y mejora la comodidad de los visitantes.

El agua de la precipitación se concentra en la parte inferior de la escalinata y en los lados, mismos que deben protegerse con un ‘drenaje de escalón’, posiblemente hecho de cobre.

Estructuralmente, este tipo de cubierta requiere una serie de cables longitudinales atravesados por otros transversales, lo que forma la red a la cual se fijan los ‘mosaicos flexibles’. Las plumas se fijan en su vástago contra dos cables adyacentes, con el fin de asegurar su estabilidad y el ángulo apropiado. Las plumas se montan una por una sobre la red metálica previamente tensada.

Cubierta vegetal

La decisión de utilizar una cubierta vegetal como material de protección primario está relacionada con las tradiciones constructivas locales, que existen desde la antigüedad hasta nuestros días. A diferencia de los techos de guano que comúnmente se siguen utilizando en esta parte del mundo, la cubierta vegetal se fija a una red tecnológicamente compleja, suspendiéndose en el aire como una estructura de tensión (Fig. G.6). La cubierta de guano que se considera es del mismo tipo que aún utilizan los habitantes de Copán. El uso de prácticas y materiales de construcción de la región agrega un elemento valioso de participación, de orgullo y para la economía local. Al ser un material orgánico natural, la paja puede envejecer con gracia, reemplazándose con facilidad mediante mano de obra y materiales locales. El grosor requerido para la cubierta vegetal hace de este tipo de cubierta algo sumamente visible, pero su presencia y finalidad resultan muy familiares en este contexto. El diseño sugiere la imagen inusual de una avalancha de paja, que termina a nivel de la plaza con un lóbulo que se levanta como la esquina de un cobertor, revelando visualmente el monumento protegido e invitando a los visitantes.

Desde el punto de vista de la conservación, la cubierta de paja ciertamente puede ofrecer una buena protección contra la lluvia y el sol, si bien sus lados estarían algo abiertos. No permite la circulación de aire, pero ofrece el mejor aislamiento térmico, por lo que es improbable que el sobrecalentamiento del espacio bajo la cubierta se convierta en un problema. La iluminación puede constituir un pequeño problema, pero la intensidad de la luz no debería ser muy diferente de la que ofrecería la serie de alas. Una cubierta vegetal, si se le fija de manera adecuada y recibe un mantenimiento apropiado, puede durar más de 20 años y es muy fácil de reparar.

El agua de las precipitaciones se concentra sólo en la parte inferior de la Escalinata, debiendo drenarse de manera apropiada.

Estructuralmente, este tipo de cubierta es muy similar al de la Cubierta de Plumas, con una serie de cables longitudinales que sostienen una red metálica a la cual se ata la cubierta vegetal. Ésta se fija manualmente, una vez que la estructura suspendida se ha tensado, trabajándose desde la parte superior de la misma.

La verdadera debilidad de esta propuesta es la propensión a incendiarse, particularmente si se hiciera de manera intencional. Sin embargo, es posible hacer que una cubierta de guano a prueba de incendio si se le trata con una solución adecuada de sulfato de amonio, carbonato de amonio, ácido bórico y alumbre (el tratamiento funciona mejor si se empapa el guano antes de fijarlo al cableado, pero debe repetirse periódicamente).

Conclusiones

Por el momento, hay diversos aspectos que quedan por explorar. Por ejemplo, resulta muy difícil efectuar una estimación del costo de estructuras tan poco convencionales y sin antecedentes; únicamente en el caso de la propuesta de las Velas en Cascada resultó posible estimar el precio de las velas mismas (€55,000), pero esto no fue posible para su sistema de cables, para los cuales deben investigarse los costos locales.

Ciertamente puede diseñarse, como parte del sistema de cableado, una plataforma móvil para que resulte posible trabajar sobre la Escalinata sin tener que caminar físicamente sobre ella. No obstante, el mecanismo necesario, el peso de la plataforma y los daños que todo esto podría ocasionar en caso de colapso parecerían sugerir que caminar de manera restringida sobre los escalones, utilizando un calzado adecuado, representa un riesgo mucho más aceptable. En cuanto a la seguridad de los operarios, la mejor respuesta parece residir en el uso de arneses.

Finalmente, evitar el acceso de gente a la Escalinata resulta algo que difícilmente puede resolverse mediante el uso de una cubierta cuya intención es la de resultar visualmente lo más permeable posible.

Apéndice H

Protocolo de monitoreo fotográfico para la Escalinata Jeroglífica

La fotografía ofrece una forma de monitorear las condiciones de la Escalinata Jeroglífica en el futuro. Al tomar regularmente fotografías de áreas selectas de la Escalinata en condiciones idénticas y después compararlas se pueden detectar cambios en las condiciones y se puede monitorear el rango de deterioro. Esta práctica es útil para la formulación de decisiones informadas de conservación y permite que los custodios del sitio ejecuten acciones de remedio conforme sea apropiado.

Se han seleccionado varios bloques de piedra, denominados bloques de control, para que se fotografíen de manera periódica y regular. Los bloques fueron seleccionados en diversos lugares de la Escalinata y son representativos de las diferentes tipos de condiciones que afectan al monumento. Varios de ellos están entre los bloques con mayores posibilidades de deteriorarse en el corto plazo, por lo que darán indicaciones de los problemas que potencialmente podrían afectar a toda la Escalinata.

Protocolo

Para producir fotografías similares en diferentes momentos, se estableció un protocolo de monitoreo fotográfico basado en la fotografía no estereoscópica, utilizando cámaras digitales y analógicas de 35 mm. El protocolo considera las diversas variables para la toma de fotografías, reduciendo dichas variables a un grupo de instrucciones específicas. Es necesario seguir estas instrucciones de manera estricta para que la fotografía resulte una herramienta de monitoreo exitosa. El protocolo incluye especificaciones en los siguientes aspectos (ver Tabla H.1):

- * Ubicación
- * Distancia (escala)
- * Longitud focal del objetivo
- * Traslape de imágenes
- * Cobertura
- * Escala de referencia
- * Tipo de película y tipo de sensor
- * Sensibilidad de la película y sensibilidad del sensor
- * Tipo de iluminación
- * Dirección de la iluminación
- * Velocidad de exposición
- * Apertura del diafragma

Tabla H.1 Parámetros del protocolo de monitoreo fotográfico.

Ubicación	Al centro de cada glifo
Distancia (escala)	A 1 m. (+/- 2-3 cm.) de distancia – garantiza el traslapamiento mínimo del 20%
Longitud focal del lente	Cámara de película convencional: 35 mm. Cámara digital: 28 mm.
Barra de escala y referencia	Barra de escala, número de bloque y fecha de la toma dentro del campo visual de la toma. De ser posible, las barras de escala deberán permanecer en la misma posición para la fotografía de cada bloque.
Tipo de película o de sensor	Cámara convencional de película: Película monocromática Kodak T-Max Cámara convencional: sensor digital de dos tercios (23 mm. x 15 mm.)
Sensibilidad de la película o del sensor	100 ASA tanto para película como para toma digital
Tipo de iluminación	Un solo flash
Dirección de la iluminación	1m. por encima de la cámara. Toma general: a 0.65 m. de distancia de la piedra (a unos 60° del plano horizontal) Toma con luz rasante: a 0.35 de distancia de la piedra (a unos 70° del plano horizontal)
Velocidad de exposición	1/60 de segundo (en modo de sincronización de flash)
Apertura del diafragma	F/22 para la mayoría de las tomas (f/20 a f/25 para algunas). Todas las fotografías del mismo bloque se toman con la misma apertura. Todas las fotografías se respaldan con variaciones sobre la exposición base, utilizando para ello las aperturas más próximas disponibles tanto hacia abajo como hacia arriba.

Ubicación

Se debe tomar una fotografía de cada glifo en cada bloque de control, directamente perpendicular al centro de dicho glifo. Este es el procedimiento más sencillo en lugar de tomar fotografías separadas por un intervalo fijo.

Dado que los glifos individuales a menudo abarcan dos bloques y algunas veces sólo una pequeña porción de un glifo se ubica en un bloque, se pueden fácilmente capturar en la fotografía del glifo contiguo. Tomando esto en consideración, el protocolo contempla tomar un total de 42 fotografías, mismas que aparecen en la lista de bloques de control que además indica en qué glifo deberá centrarse cada una de las tomas.

Distancia (escala)

Se escogió una distancia de un metro entre la cámara y el bloque de piedra, lo que equivale aproximadamente a la anchura de tres escalones. El rango de error puede ser entre 2 y 3 cm. Se debe notar que la distancia se mide de la piedra a la parte trasera de la cámara, donde se localiza la película o el sensor digital, y no del bloque al lente de la cámara.

Longitud focal del objetivo

La cámara analógica para el protocolo está equipada con un lente de 35 mm. Se trata de un lente gran angular, pero su ángulo de cobertura no es tan amplio como para producir distorsión. La cámara digital está equipada con un lente de 28 mm. Se utiliza un lente de mayor cobertura angular en el caso de la cámara digital porque las dimensiones de la matriz de células sensibles a la luz o sensor (23 mm x 15 mm) es dos tercios del área que abarca la película de una cámara de película convencional (36 mm x 24 mm). Esto produce el efecto de hacer que un lente, que sería gran angular en una cámara analógica, se transforme en un lente normal cuando se le usa en una cámara digital, en tanto que un lente normal se transforma en un telefoto corto. Así pues, un lente de 28 mm utilizado en una cámara digital equipada con un sensor de dos tercios se convierte en el equivalente de un lente de 44 mm en una cámara analógica en términos de su ángulo de cobertura.

Traslape entre imágenes

Centrándose en cada glifo al fotografiarlo, el traslape entre imágenes es de entre el 40% y el 50%, lo que cumple con el requisito de un traslape mínimo del 20%. Esto garantiza que cualquier detalle perdido en los extremos de la fotografía, debido al relieve de los glifos, quede cubierto en la fotografía adyacente.

Cobertura

Trabajando a un metro de distancia con un lente de 35 mm de distancia focal en una cámara convencional, la cobertura de la toma es aproximadamente de 1.0 m de ancho por 0.65 m de alto. Trabajando al mismo metro de distancia pero utilizando un lente de 28 mm en una cámara digital, la cobertura de toma es de alrededor de 0.8 m de ancho por 0.5 m de alto.

Escala de referencia

Todas las fotografías que se hagan conforme a este protocolo deberán incluir una escala de referencia métrica, así como información de referencia (número de bloque y fecha de toma)

dentro del campo visual. Si se tomara más de una fotografía por bloque de control, la barra de escala deberá permanecer en la misma posición en todas las tomas, siempre que esto resulte posible. En caso de usarse una escala de un metro, la única excepción a lo anterior será el bloque 2, debido a su longitud de aproximadamente 1.9 m, lo que hace necesario mover la barra de escala.

Película y tipo de sensor digital

La película utilizada en la cámara analógica es Kodak T-Max de blanco y negro, misma que puede procesarse en el CRIA. El sensor digital de la cámara digital recomendada (una Canon EOS300D/Digital Rebel) es un sensor de dos tercios (23 mm x 15 mm) capaz de producir archivos de seis megapíxeles.

Sensibilidad de la película y del sensor digital

La velocidad o sensibilidad de la película es de 100 ASA. El ajuste del sensor empleado en la cámara digital es de 100 ASA.

Tipo de iluminación

Para reducir la complejidad y cantidad de equipo utilizado en campo, se decidió el uso de flash directo, sin reflector y separado del eje de toma de la cámara.

Dirección de la iluminación

Para este protocolo, se decidió que el relieve de los glifos deberá acentuarse mediante el uso de una iluminación desde arriba, con el fin de que dicha iluminación sea consistente entre los bloques. Como varios de los bloques de control están inmediatamente adyacentes a las balastradas o a las esculturas o figuras sedentes de la Escalinata, cualquier iluminación lateral tendría que variarse de izquierda a derecha o viceversa y, aunque no sería difícil recordar la dirección empleada, iluminar desde la parte superior brinda una respuesta más consistente. La iluminación desde la parte superior también elimina los puntos cálidos que aparecen cuando se ilumina desde un lado.

Todas las fotografías se toman con el flash colocado un metro por encima de la cámara. Se decidió que el flash debía acentuar el relieve de los glifos, pero no de tal forma que se pierdan el detalle de los espacios más profundos de los glifos. La posición del flash es aproximadamente a dos pasos del glifo (aproximadamente unos 0.6–0.7 m) y 1 m por encima de la cámara. El ángulo de iluminación es de entre 55 y 60° considerando el plano horizontal y la línea de iluminación del flash, brindando un buen equilibrio entre la acentuación del relieve y la cantidad de sombra generada.

Para ciertos bloques y en caso de ser necesario, además de la dirección de iluminación a 60° ya descrita, puede emplearse una luz más rasante, con el fin de enfatizar el relieve de superficie y revelar las variaciones más sutiles de ésta, pero esto siempre se logra a expensas del detalle en las áreas más profundas del bloque. Para este fin, colocar el flash a un escalón de distancia del glifo (aproximadamente a unos 0.35 m) y 1 m por encima de la cámara, lo que corresponde a un ángulo de unos 70° por encima del plano horizontal, da como resultado una buena posición. Toda fotografía iluminada desde este ángulo deberá considerarse no como un reemplazo, sino como un complemento de la fotografía iluminada a 60°, pues introducir esta variación como una

sustitución eliminaría la consistencia que se busca con el protocolo, inutilizando las tomas para efectos de comparaciones futuras.

Velocidad de exposición

Con el fin de garantizar la consistencia en la iluminación entre bloques de control y entre tomas hechas en diferentes fechas, siempre deberá usarse flash para la fotografía. Esto significa que la velocidad de exposición será determinada por la velocidad de obturación adecuada para la sincronización de flash de la cámara, que es de 1/60 de segundo.

Apertura

Para obtener una imagen de calidad y con mayor profundidad de campo es preferible utilizar aperturas pequeñas de diafragma. Esta apertura es determinada por la cámara según la cantidad de luz disponible, pues la velocidad de exposición de sincronización con el flash siempre es la misma. Las pruebas mostraron que, bajo la lona de la Escalinata, las aperturas generalmente varían entre $f/16$ y $f/22$, debido a pequeñas variaciones en la reflectividad de las superficies de los bloques. En Tabla H.2 la lista de bloques de control que aparece más adelante indica la apertura recomendada para cada bloque. Cuando en esta lista aparece más de una fotografía para cada bloque de control (por ejemplo, cinco fotografías [glifos] en el caso del bloque 2), todas las fotografías dentro del bloque en cuestión se toman con la misma apertura.

Es importante contar con un respaldo de todas las exposiciones por lo que se sugiere tomar exposiciones adicionales con variación en la apertura. Es decir, por cada fotografía se toman dos fotografías adicionales utilizando un valor de apertura por encima y uno por debajo de la apertura óptima. Por ejemplo, si la apertura óptima es de $f/22$ y la cámara utilizada ofrece la posibilidad de hacer ajustes de un tercio de paso (esto es posible con la cámara digital recomendada), entonces deben tomarse dos fotografías adicionales, una en $f/20$ y la otra en $f/25$ de apertura. La cámara analógica recomendada ofrece intervalos de medio paso.

También debe entenderse que cualquier pequeña variación en el ángulo o la posición del flash afecta la exposición. Dado que el flash es sostenido manualmente por encima de la cámara, será inevitable que haya algo de variación de una toma a la siguiente. Es esta una muy buena razón para tomar exposiciones alternativas.

La Figura H.1 es un ejemplo de fotografía de protocolo. Toda la fotografía de protocolo deberá incluir una barra de escala, número de bloque y la fecha de la fotografía colocada encima del bloque.

La Tabla H.2 presenta un resumen de las fotografías de protocolo a tomarse para cada uno de los bloques de control. Como puede verse, algunos de los bloques más largos requieren varias fotografías de protocolo individuales, con el fin de lograr una cobertura completa del bloque.

Tabla H.2 Lista de bloques de control.

<i>Escalón</i>	<i>Bloque</i>	<i>Glifo(s) a fotografiar</i>	<i>Número de fotografías a tomar</i>	<i>Aperturas recomendadas (f)</i>
1	2	FGHIJ	5	22
11	71	F	1	22
12	83	DE	2	25
12	86	IJK	3	22
23	203	P	1	22
23	204	Q	1	22
36	342	H	1	20
36	343	IJ	2	20
41	375	A	1	22
41	376	BC	2	22
43	409	PQ	2	22
43	410	RS	2	22
45	422	MN	2	22
50	462	ABC	3	22
52	483	HI	2	22
58	549	LM	2	20
59	551	ABC	3	22
61	575	M	1	20
61	576	N	1	20
61	578	QR	2	22
63	592	F	1	25
63	594	H	1	20
63	595	I	1	20

Las Figuras H2a y b muestran las dos imágenes individuales de cuadro completo que necesitan tomarse para obtener una cobertura completa del bloque 376. Nótese el traslape y la forma en que el glifo B ocupa más de un bloque.

Se dio el siguiente equipo fotográfico al IHAH para el monitoreo fotográfico futuro de los bloques de control de la Escalinata Jeroglífica:

Cámara digital

Cuerpo: Canon EOS 350D/Digital Rebel XT 8 mp

Lente: Canon 28mm f1.8 EF USM

Cámara analógica

Cuerpo: Canon EOS Rebel K2

Lente: Canon 35mm f1.8 EF USM

Flash

Canon Speedlite 550 DFX

Tripié y cabeza del tripié

Manfrotto 3021PRO (tripié) y Manfrotto 329RC4 (cabeza del tripié)

Las Figuras H.3 a H.25 presentan todos los bloques de control, cada uno en una imagen individual, con el fin de ayudar a reconocer los bloques cuando se tomen las fotografías de protocolo en la Escalinata. Las cruces blancas indican los centros aproximados de cada fotografía. Cuando hay varias fotografías (y glifos) por bloque, las imágenes se han combinado en mosaicos para hacer la presentación más conveniente. Algunos de los mosaicos están hechos con imágenes recortadas de aquellos glifos que sólo se encuentran parcialmente en el bloque en cuestión. Por ejemplo, en el bloque 578, la cruz del lado izquierdo del glifo Q se halla en el borde del extremo izquierdo, pues el centro del glifo corresponde aproximadamente con el borde izquierdo del bloque. Los mosaicos no son geoméricamente correctos (especialmente en el caso del bloque 2) y se crearon con el programa de Canon (Zoom-Browser EX) que venía con la cámara digital.

Apéndice H / Pies de ilustración

(Ver la versión en inglés para las figuras.)

Figura H.1. Ejemplo de imagen de protocolo, incluyendo barra de escala y número de bloque (faltan datos).

Figura H.2a y b. Ejemplo de dos imágenes individuales de cuadro completo a tomarse del bloque 376, escalón 41, con el fin de obtener una cobertura completa del bloque; (a) muestra el glifo B y (b) muestra el glifo C.

Figura H.3. Escalón 1, bloque 2, glifos F–J.

Figura H.4. Escalón 11, bloque 71, glifo F.

Figura H.5. Escalón 12, bloque 83, glifos D, E.

Figura H.6. Escalón 12, bloque 86, glifos I–K.

Figura H.7. Escalón 23, bloque 203, glifo P.

Figura H.8. Escalón 23, bloque 204, glifo Q.

Figura H.9. Escalón 36, bloque 342, glifo H.

Figura H.10. Escalón 36, bloque 343, glifos I, J.

Figura H.11. Escalón 41, bloque 375, glifo A.

Figura H.12. Escalón 41, bloque 376, glifos B, C.

Figura H.13. Escalón 43, bloque 409, glifos P, Q.

Figura H.14. Escalón 43, bloque 410, glifos R, S.

Figura H.15. Escalón 45, bloque 422, glifos M, N.

Figura H.16. Escalón 50, bloque 462, glifos A–C.

Figura H.17. Escalón 52, bloque 483, glifos H, I.

Figura H.18. Escalón 58, bloque 549, glifos L, M.

Figura H.19. Escalón 59, bloque 551, glifos A–C.

Figura H.20. Escalón 61, bloque 575, glifo M.

Figura H.21. Escalón 61, bloque 576, glifo N.

Figura H.22. Escalón 61, bloque 578, glifos Q, R.

Figura H.23. Escalón 63, bloque 592, glifo F.

Figura H.24. Escalón 63, bloque 594, glifo H.

Figura H.25. Escalón 63, bloque 595, glifo I.

Nota bibliográfica y abreviaturas

Los principales lugares en los que hay materiales de archivo sobre Copán se hallan en los Estados Unidos y en Honduras. Los registros de Copán se encuentran fundamentalmente en las colecciones siguientes cuyas abreviaturas, como se utilizaron en este volumen, son las que aquí se consignan:

Archivos PMAE

La mayoría de los registros, documentos y fotografías relativos al sitio hasta antes de que pasara a estar bajo la autoridad del Instituto Hondureño de Antropología e Historia (IHAH), en el año 1952, se encuentran en el Museo Peabody de Arqueología y Etnología (PMAE, por sus siglas en inglés), Archivos de la Universidad de Harvard, Cambridge, Massachussets.

CAER

Registros de la Expedición Centroamericana (Honduras, Guatemala) de 1891–1901, Archivos del Museo Peabody de Arqueología y Etnología (Archivos PMAE), Universidad de Harvard, Cambridge, Massachussets. Colección abreviada: CAER, número de registro, número de caja, carpeta, número.

Documentos Bowditch

Documentos, entre 1869–1918, de Charles P. Bowditch (1842–1921), Archivos del Museo Peabody de Arqueología y Etnología (Archivos PMAE), Universidad de Harvard, Cambridge, Massachussets. Colección abreviada: Documentos Bowditch, #41-7, número de caja, carpeta.

Registros Putnam

Registros del Director del Museo Peabody - Frederic W. Putnam (1839–1915), 1870–1923, Museo Peabody de Arqueología y Etnología (Archivos PMAE), Universidad de Harvard, Cambridge, Massachussets.

Registros CIW

Institución Carnegie de Washington (CIW, por sus siglas en inglés), Departamento de Registros Arqueológicos, 1914–55, n.d., Archivos del Museo Peabody de Arqueología y Etnología (Archivos PMAE), Universidad de Harvard, Cambridge, Massachussets. Colección abreviada: Registros CIW, número de ubicación del antiguo gabinete, # de carpeta.

Dado que algunos arqueólogos estadounidenses que trabajaron en la región maya durante la primera parte del siglo veinte también trabajaron o estuvieron asociados con los trabajos llevados a cabo en el Suroeste Estadounidense, algunos documentos de archivo relacionados con Copán pueden hallarse en Santa Fe, Nuevo México, en los siguientes lugares:

LAMNM

Biblioteca y archivos fotográficos del Laboratorio de Antropología, Museo de las Artes y la Cultura Indígenas, Museo de Nuevo México, Santa Fe.

PGMNM

Archivos fotográficos del Palacio de los Gobernadores, Museo de Nuevo México, Santa Fe.

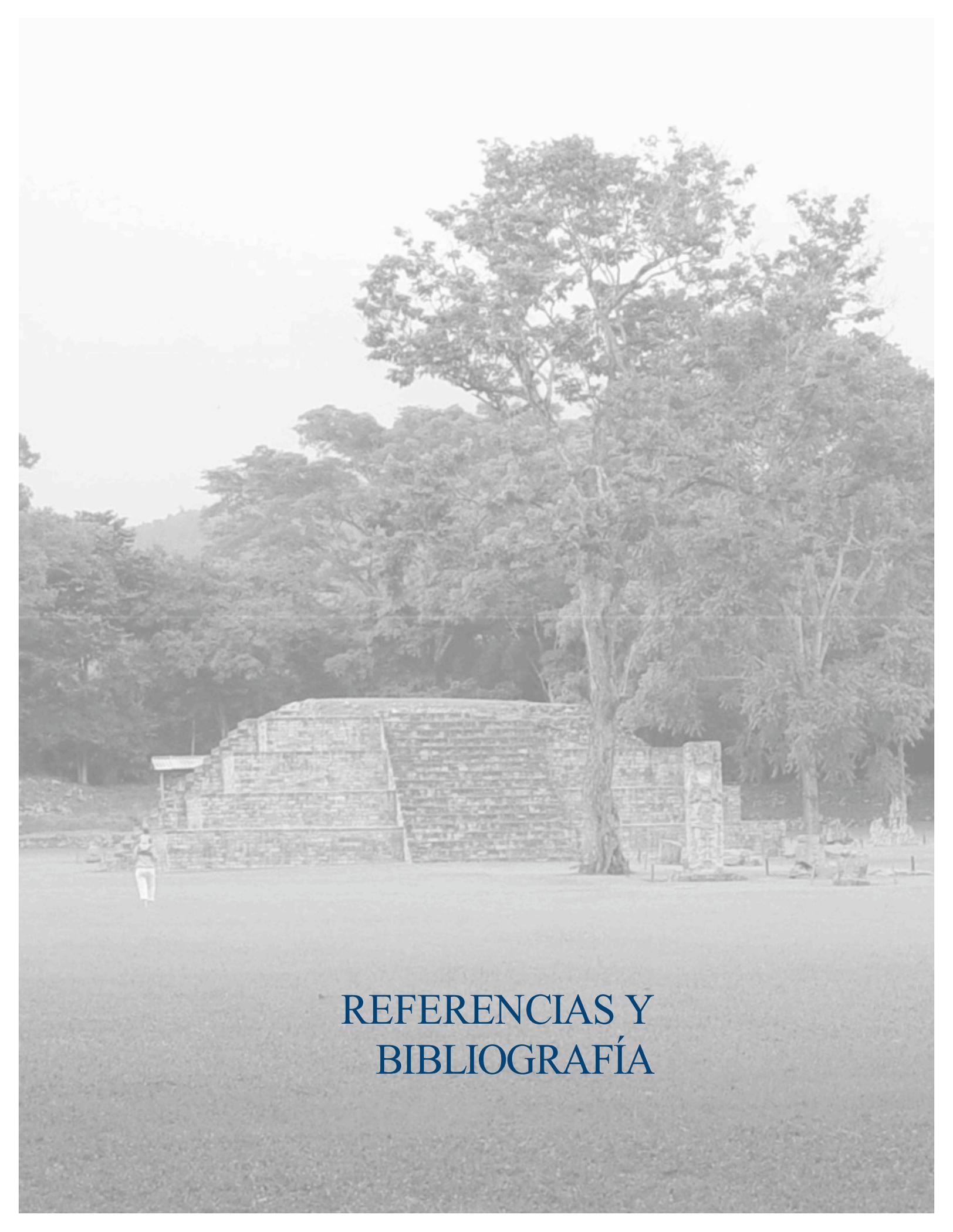
Finalmente, la mayoría de los documentos relativos al sitio posteriores a 1952 pueden hallarse en Honduras, en los archivos del IHAH, ya sea en Copán Ruinas o en Tegucigalpa.

Archivos CRIA

Archivos del Centro Regional de Investigaciones Arqueológicas (CRIA), Instituto Hondureño de Antropología e Historia (IHAH), Copán Ruinas, Honduras.

Archivos del IHAH en Tegucigalpa

Archivos centrales del Instituto Hondureño de Antropología e Historia (IHAH), Tegucigalpa, Honduras.

A black and white photograph of an ancient stone ruin, possibly a Mayan or Aztec structure, situated in a grassy field. The ruin is a long, low wall with a slightly curved top. To the right of the main structure, there is a smaller, more ornate stone structure. A large, leafy tree stands to the right of the main structure. In the background, there are more trees and a person walking in the distance. The sky is overcast.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Referencias y bibliografía

La sección que sigue contiene referencias a las que se alude en el texto, así como fuentes consultadas durante la preparación del presente informe y que son importantes para comprender la historia y la conservación de la Escalinata Jeroglífica y del sitio de Copán. Nótese que los corchetes indican información extrapolada.

- Agurcia Fasquelle, Ricardo. 1996. Rosalila, el corazón de la Acrópolis el templo del Rey-Sol. *Yaxkin* 14, nos. 1-2: 5-18.
- Anagnostidis, K., A. Economou-Amilli, and M. Roussomoustakaki. 1983. Epilitic and chasmolitic microflora (Cyanophyta, Bacillariophyta) from marbles of the Parthenon (Acropolis, Athens, Greece). *Nova Hedwigia* 38: 227-81.
- Anagnostidis, K., and J. Komárek. 1988. Modern approach to the classification system of cyanophytes, 3-Oscillatoriales. *Archiv für Hydrobiologie Supplementband* 80: 1-4, *Algological Studies* 50-53: 327-472.
- Andrews, E. Wyllys, and William Leonard Fash, eds. 2005. *Copán: The history of an ancient Maya kingdom*. Santa Fe, N.M.: School of American Research Press.
- Año de la recuperación del patrimonio monumental de América. 1978. 14 Nov. 14 pp. Archivos personales de Oscar Cruz, Copán Ruinas.
- Antiquities of Central America. 1900. May. 6 pp. Bowditch Papers, #41-7, 11.1. Correspondence Undated; also, C.A. Expedition Correspondence, 1900, 12.3. PMAE Archives.
- Axume, Ramón. 1987-89. Fotos del tratamiento de la piedra. 64 fotos, 34 pp. Archivos CRIA, 1.3.20.
- Barborak, James R., Roger Morales, and Craig MacFarland. 1984. Plan de manejo y desarrollo del monumento nacional Ruinas de Copán, sitio de patrimonio cultural mundial. *Boletín Técnico* 11. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Baudez, Claude F., ed. 1983. *Introducción a la arqueología de Copán, Honduras*. 3 vols. Tegucigalpa, Honduras: Secretaria de Estado en el Despacho de Cultura y Turismo.
- Bell, Ellen E., Marcelo A. Canuto and Robert J. Sharer, eds. 2004. *Understanding Early Classic Copán*. Philadelphia: University of Pennsylvania Museum of Archeology and Anthropology.
- Bleekman, John E. 1901. Carta a F. W. Putnam. 13 Mar. 1 p. Bowditch Papers, #41-7, 12.4. PMAE Archives.
- Bourrelly, Pierre. 1966. *Les algues d'eau douce : Initiation à la systématique*. Vol 1. Les algues vertes. Paris: N. Boubée et Cie.
- . 1970. *Les algues d'eau douce : Initiation à la systématique*. Vol 3. Les algues bleues et rouges, les Eugléniens, Péridiniens et Cryptomonadines. Paris: N. Boubée et Cie.

- Bowditch, Charles P. 1890. Honduras trip. 2 vols., 210 pp. Typescript in two parts: part I, pp. 1–71; part II, pp. 1–139 (with photos). 1 Feb.–15 April. Bowditch Papers, #41-7, 1. PMAE Archives.
- [———?]. 1895a. Telegramma a George B. Gordon. 23 Mar. CAER, #95-42, 6.1. Correspondence, 1894–95. PMAE Archives.
- . 1895b. Carta a George B. Gordon. 3 May. 3 pp. CAER, #95-42, 6.1. Correspondence, 1894–95. PMAE Archives.
- . 1895c. Carta a George B. Gordon. 11 May. 2 pp. CAER, #95-42, 6.1. Correspondence, 1894–95. PMAE Archives.
- . 1895d. Carta a George B. Gordon. 19 June. 3 pp. CAER, #95-42, 6.1. Correspondence, 1894–95. PMAE Archives.
- . 1899. Carta a Frederic W. Putnam. 15 June. Bowditch Papers, #41-7, 12.2. C.A. Expedition Correspondence, 1899. PMAE Archives.
- . 1900a. Carta a Frederic W. Putnam. 21 Feb. 1 p. Bowditch Papers, #41-7, 12.3. C.A. Expedition Correspondence, 1900. PMAE Archives.
- . 1900b. Carta a Frederic W. Putnam. 23 Mar. 1 p. Bowditch Papers, #41-7, 12.3. C.A. Expedition Correspondence, 1900. PMAE Archives.
- . 1900c. Carta a Frederic W. Putnam. 12 Nov. 1 p. Bowditch Papers, #41-7, 12.3. C.A. Expedition Correspondence, 1900. PMAE Archives.
- . 1900d. Carta a Frederic W. Putnam. 13 Nov. 2 pp. Bowditch Papers, #41-7, 12.3. C.A. Expedition Correspondence, 1900. PMAE Archives.
- . 1901a. Carta a George B. Gordon. 28 Jan. 1 p. CAER, # 01-40 4.5. Correspondence. PMAE Archives.
- . 1901b. Carta a Frederic W. Putnam. 21 Oct. Bowditch Papers, #41-7, 12.4. C.A. Expedition Correspondence, 1901. PMAE Archives.
- . 1901c. Carta a George B. Gordon. 16 Nov. 3 pp. CAER, # 01-40, 4.5. Correspondence. PMAE Archives.
- . 1901d. Carta a George B. Gordon. 18 Nov. 4 pp. CAER, # 01-40, 4.5. Correspondence. PMAE Archives.
- Bowditch, Charles P., and Francis C. Lowell. 1891. Exploration in Honduras. Oct. 2 pp. Bowditch Papers, #41-7, 14.5. PMAE Archives.
- . 1893. Carta a George B. Gordon. 25 Feb. 6 pp. Bowditch Papers, #41-7, 11.4. C. A. Expedition Correspondence, 1893. PMAE Archives.
- Brunhouse, Robert L. 1971. Sylvanus G. Morley and the world of the ancient Maya. Norman: University of Oklahoma Press.

- Cabrera, José María. 1978. Carta a Miguel A. Rodríguez G. 16 may. 3 pp. Archivos IHAH Tegucigalpa.
- Cama Villafranca, C. Jaime, and Luis Torres Montes. 1975. Proyecto de conservación para la zona arqueológica de Copán, Honduras. 21 junio. Instituto Nacional de Antropología y Historia, Churubusco, Mexico. 30 pp. Archivos CRIA.
- Caneva, Giulia, and Ornella Salvadori. 1988. Biodeterioration of stone. In *The deterioration and conservation of stone: Notes from the international Venetian courses on stone restoration*. Ed. Lorenzo Lazzarini and Richard Pieper. Pp. 182–234. Paris: UNESCO Publishing.
- Castell, Darnell. 1972. Report of the Copán ruins project. Lyndon State College, Lyndonville, VT.
- . 1974. Vermont-Honduras Copán ruins preservation project. Lyndon State College, Lyndonville, VT.
- Chen, Jie, Hans-Peter Blume, and Lothar Beyer. 2000. Weathering of rocks induced by lichen colonization—a review. *Catena* 39: 121–46.
- [Chronology of pre-1975 reports on the site of Copán]. 1975. Enero Archivos IHAH Tegucigalpa.
- Coe, Michael D. 1993. *The Maya*. London: Thames and Hudson.
- Conclusiones y recomendaciones de la reunión de expertos para la conservación de la escalinata jeroglífica del parque arqueológico Ruinas de Copán, 13 y 14 de julio de 1997, Copán Ruinas, Copán, Honduras. [1997]. Julio. 4 pp. Archivos CRIA.
- Cowper, Alfred Denys. 1927. Lime and lime mortars. Building Research Station Special Report 9. London: Her Majesty's Stationary Office. Reprint, Dorset, Eng.: Donhead Publishing, 1998.
- Crosby, Elisha O. 1892. Carta a Frederic W. Putnam. 27 April. 4 pp. CAER, #92-49, 5.4. Correspondence. PMAE Archives.
- Cruz M., Oscar. 1983. Microflora. Registro fotográfico. Monumento cultural, Ruinas de Copán. Instituto Hondureño de Antropología y Historia, Tegucigalpa, Honduras. 27 pp. Archivos CRIA.
- . 1985. Tratamiento para eliminar la microflora de los monumentos arqueológicos en Copán. 3 pp. Archivos IHAH Tegucigalpa.
- . 1986. Informe. Asunto: Proyecto arqueológico Copán (PAC) III Etapa. 31 mayo. Correspondencia Recibida Gerencia. Archivos IHAH Tegucigalpa.
- . 1987. Carta a Rolando Soto. Oficio no. 149. Legajo 1087006. Archivos IHAH Tegucigalpa.
- Cruz Torres, Daniel. 1991. Informe de actividades desarrolladas durante el mes de abril de 1991 en Copán Ruinas. 2 mayo. Legajo 0591001. Archivos IHAH Tegucigalpa.
- Cueva, Juan R. 1894a. Telegrama a George B. Gordon. 27 Nov. CAER, # 95-42, 6.1. Correspondence, 1894–95. PMAE Archives.

- . 1894b. Telegramma a George B. Gordon. 29 Nov. CAER, # 95-42, 6.1. Correspondence, 1894–95. PMAE Archives.
- . 1895. Telegramma a George B Gordon. 3 April. CAER, # 95-42, 6.1. Correspondence, 1894–95. PMAE Archives.
- Cueva V., J. Adán. 1972. Carta a Arturo López Rodezno. 2 Aug. 3 pp. Archivos CRIA.
- . 1975. Carta a Luis Torres Montes. Oficio no. 305 G. 30 July. 1 p. Archivos IHAH Tegucigalpa.
- Culbert, T. Patrick, ed. 1973. *The Classic Maya collapse*. Albuquerque: University of New Mexico Press.
- , ed. 1991. *Classic Maya political history: Hieroglyphic and archaeological evidence*. Cambridge, Eng.: Cambridge University Press.
- Desikachari, T. V. 1959. *Cyanophyta*. New Delhi: Indian Council of Agricultural Research.
- Druffel, Ellen R. M. 1997. Geochemistry of corals: Proxies of past ocean chemistry, ocean circulation, and climate. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 94: 8354–61.
- Extractos de informes relacionados con el tratamiento de la microflora en las ruinas de Copán. 1978. 14 nov. 14 pp. Oscar Cruz personal files, Copán Ruinas.
- Fash, Barbara W. 1979. Carta a Adán Cueva. 11 abril. 1 p. Archivos IHAH Tegucigalpa.
- . 1992. Late Classic architectural sculpture themes in Copán. *Ancient Mesoamerica* 3, no. 1: 89–104.
- Fash, Barbara, William L. Fash, S. Lane, R. Laríos, L. Schele, J. Stomper, and D. Stuart. 1992. Investigations of a Classic Maya council house at Copán, Honduras. *Journal of Field Archaeology* 19, no. 4: 419–42.
- Fash, William L. 1977. Carta a J. Adán Cueva. 24 oct. 2 pp. Archivos IHAH Tegucigalpa.
- . 1988. A new look at Maya statecraft from Copán, Honduras. *Antiquity* 62, no. 234: 157–69.
- . 1991. *Scribes, warriors, and kings: The city of Copán and the ancient Maya*. New York: Thames and Hudson.
- . 2002. Religion and human agency in ancient Maya history: Tales from the Hieroglyphic Stairway. *Cambridge Archaeological Journal* 12, no. 1: 5–19.
- Fash, William L., and David Stuart. 1991. Dynastic history and cultural evolution at Copán, Honduras. In *Classic Maya political history: Hieroglyphic and archaeological evidence*. Ed. T. Patrick Culbert. Pp. 147–79. Cambridge, Eng.: Cambridge University Press.

- Fash, William L., Richard V. Williamson, Carlos Rudy Larios, and Joel Palka. 1992. The Hieroglyphic Stairway and its ancestors: Investigations of Copán structure 10L-26. *Ancient Mesoamerica* 3, no. 1: 105–15.
- Feugueur, Léon. 1969. *Compte-rendu d'examen des altérations en croûtes, des monuments mayas de Copán (Honduras)*. 23 Jan. 6 pp. Archivos CRIA.
- Galindo, Juan. 1836. A description of the ruins of Copán in Central America. *Archaeologia Americana. Transactions and Collections of the American Antiquarian Society* 2: 543–50.
- . 1920. A description of the ruins of Copán in Central America. In Sylvanus Griswold Morley. *The inscriptions at Copán*. Carnegie Institution of Washington Publication 219. Pp. 593–604. Washington, D.C: Carnegie Institution of Washington.
- Garcia de Palacio, Diego. 1860. Letter to the King of Spain, being a description of the ancient provinces of Guazacapan, Izalco, Cuscatlan, and Chiquimula, in the Audiencia of Guatemala, with an account of the languages, customs, and religion of their aboriginal inhabitants, and a description of the ruins of Copán. [8 March 1576]. Trans. E. G. Squier. Albany: J. Munsell. Reprint, with additional notes by Alexander von Frantzius, ed. Frank E. Comparato, Culver City, Calif.: Labyrinthos, 1985.
- Gemperline, Mark, and Todd Rutenbeck. 2002. Copán, documentation of April 2002 site visit and report of findings. 16 July. 61 pp. Getty Conservation Institute, Los Angeles.
- Getty Conservation Institute [GCI]. 2000a. Maya initiative, Hieroglyphic Stairway, Copán, Honduras, Progress report September 2000. Getty Conservation Institute, Los Angeles.
- . 2000b. Summary of interdisciplinary meeting, 11–16 September 2000—archaeological site of Copán, conservation of the Hieroglyphic Stairway. Getty Conservation Institute, Los Angeles.
- Golubic S., I. Friedmann, and J. Schneider. 1981. The lithobiontic ecological niche, with special reference to microorganisms. *Journal of Sedimentology and Petrology* 51, no. 2: 475–78.
- Gomez, and Jeronimo Zelaya. 1891. [Copán concession], traducido de español. 20 July. 3 pp. CAER, #92-49, 5.5. Expedition Reports. PMAE Archives.
- Gonlin, Nancy. 1993. Rural household archaeology at Copán, Honduras. Ph.D. diss., Department of Anthropology, Pennsylvania State University.
- Gordon, George Byron. 1893a. Carta a Charles Pickering Bowditch. 21 Feb. 5 pp. Bowditch Papers, #41-7, 11.4. C. A. Expedition Correspondence, 1893. PMAE Archives.
- . 1893b. Carta a Charles P. Bowditch. 4 April. 3 pp. Bowditch Papers, #41-7, 11.4. C.A. Expedition Correspondence, 1893. PMAE Archives.
- . 1893c. Carta a Charles P. Bowditch. 25 April. 3 pp. Bowditch Papers, #41-7, 11.4. C.A. Expedition Correspondence, 1893. PMAE Archives.
-
- . 1893d. Carta a Charles P. Bowditch. 28 June. 2 pp. Bowditch Papers, #41-7, 11.4. C.A. Expedition Correspondence, 1893. PMAE Archives.

- . [1893e]. Report on the work of the Peabody Museum expedition at the ruins of Copán during the season of 1892–93. Handwritten. 22 pp. CAER, #93-27, 2.3.
- . 1895a. Field notes March–June [1895]. 30 pp. CAER, # 01-40, 4.4. PMAE Archives.
- . 1895b. Carta a Charles P. Bowditch. 2 Feb. 3 pp. Bowditch Papers, #41-7, 11.6. C.A. Expedition Correspondence, 1895. PMAE Archives.
- . 1895c. Carta a Charles P. Bowditch. 2 Mar. 6 pp., plus 1 p. with a drawing. Bowditch Papers, #41-7, 11.6. C.A. Expedition Correspondence, 1895. PMAE Archives.
- . 1895d. Carta a Charles P. Bowditch. 9 April. 7 pp. Bowditch Papers, #41-7, 11.6. C.A. Expedition Correspondence, 1895. PMAE Archives.
- . 1895e. Carta a Charles P. Bowditch. 16 April. 4 pp. Bowditch Papers, #41-7, 11.6. C.A. Expedition Correspondence, 1895. PMAE Archives.
- . 1895f. Carta a Charles P. Bowditch. 20 May. 6 pp. Bowditch Papers, #41-7, 11.6. C.A. Expedition Correspondence, 1895. PMAE Archives.
- . 1895g. Carta a Charles P. Bowditch. 27 May. 3 pp. Bowditch Papers, #41-7, 11.6. C.A. Expedition Correspondence, 1895. PMAE Archives.
- . 1895h. Carta a Charles P. Bowditch. 3 June. 2 pp. Bowditch Papers, #41-7, 11.6. C.A. Expedition Correspondence, 1895. PMAE Archives.
- . 1895i. Report of the Honduras expedition. Oct. 30 pp., plus cover and cover letter. CAER, # 01-40, 4.3. PMAE Archives.
- . 1896. Prehistoric ruins of Copán, Honduras: A preliminary report of the explorations by the Museum, 1891–1895. *Memoirs of the Peabody Museum of American Archaeology and Ethnology*, Harvard University, vol. 1, no. 1. Cambridge, Mass.: The Museum.
- . 1898a. Caverns of Copán: Report on explorations by the Museum, 1896–1897. *Memoirs of the Peabody Museum of American Archaeology and Ethnology*, Harvard University, vol. 1, no. 5. Cambridge, Mass.: The Museum.
- . 1898b. Researches in the Uloa valley, Honduras: Report on explorations by the Museum, 1896–1897. *Memoirs of the Peabody Museum of American Archaeology and Ethnology*, Harvard University, vol. 1, no. 4. Cambridge, Mass.: The Museum.
- . 1900a. Carta a Charles P. Bowditch. 8 April. 3 pp. Bowditch Papers, #41-7, 6.12. Correspondence. PMAE Archives.
- . 1900b. Carta a Charles P. Bowditch. 14 April. 4 pp. Bowditch Papers, #41-7, 6.12. Correspondence. PMAE Archives.
- . 1900c. Carta a Charles P. Bowditch. 5 May. 4 pp. with 13 photos. Bowditch Papers, #41-7, 6.12. Correspondence. PMAE Archives.

- . [1900d?]. Carta a Charles P. Bowditch. [Mid-May 1900?]. 5 pp. Bowditch Papers, #41-7, 6.12. Correspondence. PMAE Archives.
- . 1900e. Carta a Charles P. Bowditch. 27 May. 3 pp. Bowditch Papers, #41-7, 6.12. Correspondence. PMAE Archives.
- . 1900f. Carta a Charles P. Bowditch. 11 Aug. 2 pp. CAER, # 01-40, 4.5; copy, Bowditch Papers, #41-7, 12.3. C.A. Expedition Correspondence, 1900. PMAE Archives.
- . 1900g. Carta a Charles P. Bowditch. 11 Aug. 5 pp. Bowditch Papers, #41-7, 12.3. C.A. Expedition Correspondence, 1900. PMAE Archives.
- [———?]. 1900h. Carta [¿a funcionario Hondureño?]. 11 Oct. 3 pp. Bowditch Papers, #41-7, 12.3. C.A. Expedition Correspondence, 1900. PMAE Archives.
- . 1901a. Carta a Charles P. Bowditch. 30 Jan. 4 pp. Bowditch Papers, #41-7, 6.12. Correspondence. PMAE Archives.
- . 1901b. Report on expedition of 1900–1901. 24 June. 13 pp. CAER, # 01-40, 4.3. Expedition Reports. PMAE Archives.
- . 1902. The Hieroglyphic Stairway, ruins of Copán: Report on explorations by the Museum. *Memoirs of the Peabody Museum of American Archaeology and Ethnology*, Harvard University, vol. 1, no. 6. Cambridge, Mass.: The Museum.
- Grissom, Carol A. 1994. The deterioration and treatment of volcanic stone: A review of the literature. In *Lavas and volcanic tuffs, proceedings of the international meeting, Easter Island, Chile, 25–31 October 1990*. Ed. A. Elena Charola, Robert J. Koestler, and Gianni Lombardi. Pp. 3–29. Rome: International Centre for the Study of the Preservation and the Restoration of Cultural Property.
- Grupo de trabajo para el tratamiento de la piedra de las ruinas de Copán. 1988. Resultado de la visita de estudio a las Ruinas de Copán durante agosto 16–19 1988. 31 agosto. Memorandum, 7 pp. Archivos IHAH Tegucigalpa.
- Guiamet Patricia S., Sandra G. Gómez de Saravia, and Hector A. Videla. 1998. Biodeteriorating microorganisms of two archaeological buildings at the site of Uxmal, Mexico. Paper S11-01, *Proceedings of Latincorr'98, 3rd NACE Latin American corrosion congress, 6th congreso iberoamericano de corrosión y protección, Cancun, Mexico, Aug. 30–Sept. 4, 1998*. Houston: NACE [National Association of Corrosion Engineers] International.
- Hale, Mason E. Jr. 1975. Informe sobre el crecimiento de líquenes en los monumentos de Copán, Honduras. *Yaxkin* 1, no. 1: 6–9, 16.
- . 1977. Carta a Jorge Adán Cueva. 4 Feb. 1 p. Archivos IHAH Tegucigalpa.
- . [1978a?]. Fourth report on control of biological growths on the Mayan ruins at Copán, Honduras, 18–20 January 1978. [Jan. 1978?]. 15 pp. Archivos CRIA.
- . [1978b?]. Control of biological growths on Mayan archeological ruins in Guatemala and Honduras. Final report on National Geographic Society research project “Control of lichen

- growths on Mayan archeological ruins,” awarded 25 June 1975, with work completed in February 1978. [Feb. 1978?]. 24 pp. Archivos CRIA.
- . 1979a. Conservación de monumentos arqueológicos mayas en Copán, Honduras: El programa biológico. *Yaxkin* 3, no. 2: 135–49.
- . 1979b. Carta a Claude F. Baudez. 6 Feb. 1 p. Archivos CRIA.
- . 1979c. Carta a Claude F. Baudez. 27 Feb. 2 pp. Archivos CRIA.
- . [1979d?]. Observations at Copán, Honduras, 7–8 June 1979, and recommendations for further treatments for controlling biological growths. [June 1979?]. 3 pp. Archivos CRIA.
- . 1984. Control of biological growths on Mayan archeological ruins in Guatemala and Honduras. In *National Geographic Society research reports—1975 projects*. Ed. Paul H. Oehser, John S. Lea, and Nancy Link Powars. Vol. 16, pp. 305–21. Washington, D.C.: National Geographic Society.
- Hamburger, Hans H. 1983. Carta a Ricardo Agurcia Fasquelle. 5 dic. 2 pp. Archivos IHAH Tegucigalpa.
- Heiken, G., N. Ramos, W. Duffield, J. Musgrave, K. Wohletz, S. Priest, J. Aldrich, W. Flores, A. Ritchie, F. Goff, D. Eppler, and C. Escobar. 1991. Geology of the Platanares geothermal area, departamento de Copán, Honduras. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 45: 41–58.
- Historia breve de la investigación y la conservación de la escalinata de los jeroglíficos, Ruinas de Copán, Honduras. Preparado para la conferencia de 1997 sobre la conservación del monumento 13–14 de julio de 1997, Copán Ruinas, Copán, Honduras. [1997]. 4 pp. Archivos CRIA.
- Hoffmann, L. 1989. Algae of Terrestrial Habitats. *The Botanical Review* 55, no. 2: 77–105.
- Instituto Hondureño de Antropología y Historia [IHAH]. 1997. Reunión de expertos para la conservación de la escalinata de los jeroglíficos del parque arqueológico ruinas de Copán. Memoria, 13 y 14 julio de 1997, Copán Ruinas, Copán, Honduras. July. 43 pp. IHAH, Tegucigalpa, Honduras. Archivos IHAH Tegucigalpa.
- . 1998. Perfil del programa piloto de preservación integral del patrimonio cultural en el área Maya: Copán. 26 pp. IHAH, Tegucigalpa, Honduras. Archivos IHAH Tegucigalpa.
- Instituto Hondureño de Antropología y Historia [IHAH], Centro de Patrimonio Mundial, and UNESCO. 1997. Seminario-taller centroamericano de directores de sitios de patrimonio mundial y parques eco-arqueológicos. Memoria de la reunión Febrero 1997, Copán Ruinas, Honduras. Tegucigalpa, Honduras: IHAH.
- Instructions to George Byron Gordon. [1899?]. 6 pp. CAER, # 01-40, 4.3. Expedition reports. PMAE Archives.
- International Council on Monuments and Sites [ICOMOS]. 1980. ICOMOS recommendation to the World Heritage Committee on the nomination of the Maya site of Copán to the World Heritage list. ICOMOS, Paris.

- Kidder, Alfred V. 1943. Division of Historical Research: Activities, 1942–1943. Carnegie Institution of Washington Year Book 42: 177–86.
- . 1944. Division of Historical Research: Activities, 1943–1944. Carnegie Institution of Washington Year Book 43: 167–87.
- . 1945. Division of Historical Research: Activities, 1944–1945. Carnegie Institution of Washington Year Book 44: 164–85.
- Komárek, J., and K. Anagnostidis. 1986. Modern approach to the classification system of cyanophytes, 2—Chroococcales. *Archiv für Hydrobiologie Supplementband* 73: 2, *Algological Studies* 43: 157–226.
- Kozuch, M. 1991. Mapa geológico de la republica de Honduras, sécala 1: 500,000. Tegucigalpa, Honduras: Dir. General Mines e Hidrocarburos, Instituto Geográfico Nacional.
- Kumar, Rakesh, and Anuradha V. Kumar. 1999. Biodeterioration of stone in tropical environments: An overview. Los Angeles: Getty Conservation Institute.
- Künzel, Hartwig M. 1995. Simultaneous heat and moisture transport in building components: One- and two-dimensional calculation using simple parameters. Stuttgart: IRB Verlag.
- Larios V., Carlos Rudy. 1985a. Informe 1-85. Labores realizados durante el mes de enero (14–31). Enero. 3 pp. Archivos CRIA.
- . 1985b. Informe 2-85. Labores realizados durante el mes de febrero de 1985. 1 mar. 4 pp. Archivos CRIA.
- . 1985c. Informe 5-85. Actividades del mes de mayo. 3 junio. 4 pp. Archivos CRIA.
- Lincoln, Edmund. [1893a]. Catalogue of other objects, including sculptures. 9 pp. CAER, #93-27, 2.2. PMAE Archives.
- . [1893b]. Catalogue of the photographs taken by the Peabody Museum Honduras expedition at Copán season 1892–93. 12 pp. CAER, #93-27, 2.2.
- [———?]. [1893c]. [List of photographs captions]. [5–12 Jan. 1893]. 2 pp. Bowditch Papers, #41-7, 11.4. C. A. Expedition Correspondence, 1893. PMAE Archives.
- [List of paper molds to be sent to the Peabody Museum]. N.d. Putnam Papers, IV.5.36. 1870–1923 Records. Incoming Correspondence, Maya Sites. Putnam Records. PMAE Archives.
- [List of photographs]. [1893?]. 4 pp. (incomplete; only pages 2–3, 7–8 exist). CAER, #92-49, 5.2. Drawings and Plans. PMAE Archives.
- Lopez, Gorgonio. 1895. Carta a George B. Gordon. 16 Oct. 1 p. CAER, # 95-42, 6.1. Archivos PMAE.
- Madride, Carlos. 1893a. 18 April. 1 p. CAER, #93-27, 2.6. Archivos PMAE.
- . 1893b. Carta a George B. Gordon. 14 mayo. 4 pp. CAER, #93-27, 2.6. Archivos PMAE.

- Maekawa, Shin. 2000. Report on preliminary environmental monitoring at the Copán site. In Getty Conservation Institute. *Maya initiative, Hieroglyphic Stairway, Copán, Honduras: Progress report*, September 2000. Pp. 74–83. Getty Conservation Institute, Los Angeles.
- Maldonado, Luis, Luis Diaz, Armando Cabrera Sensores, Julia Pacheco Avila, and David Halsey. 1998. Natural and accelerated dissolution of limestones used in monuments under tropical atmospheres. In *Corrosion '98, proceedings of the 53rd annual conference of the National Association of Corrosion Engineers*, March 22–27, 1998, San Diego, California. Conference paper no. 350. Optical disc. Houston: NACE [National Association of Corrosion Engineers] International.
- Manahan, T. Kam. 2004. The way things fall apart: Social organization and the Classic Maya collapse of Copán. *Ancient Mesoamerica* 15: 107–25.
- Martin, William. 2001. Mortar trials carried out at Copán, December 10–14, 2001. Getty Conservation Institute, Los Angeles.
- Martínez, René. 1983. Informe: Evaluación de afecciones de los monumentos escultóricos de Copán. 22 oct. 30 pp. Archivos CRIA.
- . 1986. Carta a Oscar Cruz M. Presentar programa de actividades de preservación de los rasgos arqueológicos del monumento cultural las ruinas de Copán. 4 agosto. 3 pp. Archivos IHAH Tegucigalpa.
- . 1987. Propuesta de implementación de techos protectores para los monumentos escultóricos de Copán. 22 sept. Legajo 0987021. Archivos IHAH Tegucigalpa.
- Maudslay, Alfred P. 1894. Notes from Mr. Maudslay in relation to work in Copán. May. 4 pp. CAER, # 93-27, 2.4. PMAE Archives.
- . 1889–1902. *Biologia Centrali-Americana; or, contributions to the knowledge of the fauna and flora of Mexico and Central America: Archaeology*. Vol. 1. Ed. Frederick Ducane Godman and Osbert Salvin. London: R. H. Porter and Dulau. Reprint, New York: Milpatom, 1974.
- . 1900. Carta a George B. Gordon. 14 Oct. 4 pp. CAER, # 93-27, 2.4. PMAE Archives.
- Meteorological record [daily temperature, atmospheric pressure], December 1892–March 1893. [1892–93]. 4 pp. Bowditch Papers, #41-7, 11.3. PMAE Archives.
- Miller, Mary Ellen. 1988. The meaning and function of the Main Acropolis, Copán. In *The Southeast Classic Maya zone: A symposium at Dumbarton Oaks, 6th and 7th October 1984*. Ed. Elizabeth Hill Boone and Gordon Randolph Willey. Pp. 149–94. Washington, D.C.: Dumbarton Oaks Research Library and Collection.
- Ministry of Culture and Tourism of Honduras. 1979. Nomination of the Maya site of Copán to the World Heritage List.
- Morley, Sylvanus Griswold. 1910. Carta a Charles P. Bowditch. 6 June. 4 pp. Bowditch Papers, #41-7, 5.1. PMAE Archives.

- . 1915. Archaeology. Carnegie Institution of Washington Year Book 14: 343–47.
- . 1916. Archaeology. Carnegie Institution of Washington Year Book 15: 337–42.
- . 1918. Archaeology. Carnegie Institution of Washington Year Book 16: 285–89.
- . 1919. Archaeology. Carnegie Institution of Washington Year Book 17: 269–76.
- . 1920. The inscriptions at Copán. Carnegie Institution of Washington Publication 219. Washington, D.C.: Carnegie Institution of Washington.
- . 1924. Archaeology. Carnegie Institution of Washington Year Book 22: 267–73.
- . 1926. Archaeology. Carnegie Institution of Washington Year Book 25: 259–86.
- . 1935a. [Original field diary]. Book II #86. Handwritten. CIW Records, III-V#1. PMAE Archives.
- . 1935b. [Original field diary]. Book III #88. Handwritten. CIW Records, III-V#1. PMAE Archives.
- . 1937. [Original field diary]. Book II #164. Handwritten; typed transcript by Sarah Jackson. CIW Records, II-II#4. PMAE Archives.
- . 1947. Yucatán, Guatemala, Honduras. Carnegie Institution of Washington Year Book 46: 187–88.
- Nash, Thomas H. III, B. D. Ryan, P. Diederich, C. Gries, and F. Bungartz. 2004. Lichen flora of the greater Sonoran Desert region. Vol. 2. Tempe, Ariz.: Lichens Unlimited, Arizona State University.
- Nash, Thomas H. III, B. D. Ryan, C. Gries, and F. Bungartz. 2002. Lichen flora of the greater Sonoran Desert region. Vol. 1. Tempe, Ariz.: Lichens Unlimited, Arizona State University.
- Nusbaum, Deric. [1935a]. Field note book #98. CIW Records, III-II#4. PMAE Archives.
- . [1935b?]. Foundation constructions of Copán monuments. Honors thesis. Extracts. CIW Records, #58-34 II-V#6. PMAE Archives.
- [“Obituary of Alfred Percival Maudslay, 1850–1931”]. 1931. Times (London). Jan. 24. Bowditch Papers, #41-7, 9.13. PMAE Archives.
- Owens, John Gundy. 1892a. Carta [a Charles P. Bowditch?]. 19 Jan. Bowditch Papers, #41-7, 14.5. Miscellaneous Reports and Papers. PMAE Archives.
- . 1892b. Carta a W. F. Curtis. 26 julio. 1 p. CAER, #92-49, 5.4. Correspondence. Archivos PMAE.
- . 1892c. Carta a Frederic W. Putnam. Statement of the diplomatic relations between the governments of Guatemala and Honduras and the Peabody Museum Honduras

- expedition during the season 1891–92. 29 July. 18 pp. CAER, #92-49, 5.5. Expedition Reports. PMAE Archives.
- . 1892d. Carta a Charles P. Bowditch. 13 Dec. 2 pp. CAER, #93-27, 2.6. PMAE Archives.
- . 1892e. Carta a Charles P. Bowditch. 20 Dec. 3 pp. CAER, #93-27, 2.6. PMAE Archives.
- . 1892f. Carta a Charles P. Bowditch. 27 Dec. 2 pp. CAER, #93-27, 2.6. PMAE Archives.
- . 1893a. Carta a Charles P. Bowditch. 12 Jan. 2 pp. CAER, #93-27, 2.6. PMAE Archives.
- . 1893b. Peabody Museum Honduras expedition, Copán. Season 1891–92. Notebook. CAER, #93-27, 3.2. PMAE Archives.
- [Owens, John G., and Marshall H. Saville]. 1892. Carta [a Charles P. Bowditch?]. 29 Feb. Bowditch Papers, #41-7, 11.3. C.A. Expedition Correspondence, 1892; also, selected extracts in Bowditch Papers #41-7, 14.5. Miscellaneous Reports and Papers. PMAE Archives.
- Patton, G. Farrar, M.D. 1901. Carta a Dr. P. R. Outlaw. 4 June. 1 p. CAER, # 01-40, 4.5. Correspondence. PMAE Archives.
- [Pavón Abreu, Raúl, and Hipolito Sanchez Vera]. 1989. El archivo ‘Raul Pavon Abreu’ de las inscripciones jeroglíficas de Copán, Honduras (1946–48) con dibujos por Hipolito Sanchez Vera. Presentado al Instituto Hondureño de Antropología y Historia por George E. Stuart, The National Geographic Society y The Center for Maya Research. Junio. Archivos CRIA.
- Photographs, 1869 and 1856. [1900?]. [Site notes written by George B. Gordon?]. 4 pp. (incomplete). Bowditch Papers, #41-7, 9.1. PMAE Archives.
- Podani, J. 1997. SYN-TAX 5.1. Computer programs for multivariate data analysis in ecology and systematics, version 5.0. Budapest: Scientia Publishing.
- Proskouriakoff, Tatiana. [1939]. C.I.W. Copán project original field diary #233. CIW Records, III-I#18a. PMAE Archives.
- . 1946. An album of Maya architecture. Carnegie Institution of Washington Publication No. 558. Washington D.C.: Carnegie Institution of Washington. Reprint, Norman: University of Oklahoma Press, 1963.
- Putnam, Frederic W. 1891. Carta a Mrs. Saville, Owens, Price, and Dodge. Honduras expedition. 5 Nov. 10 pp. CAER, #92-49, 5.3; copy, CAER, 1.1. Correspondence. PMAE Archives.
- . [1892]. Carta a John G. Owens. 12 Mar. 6 pp. Bowditch Papers, #41-7, 11.3. C.A. Expedition Correspondence, 1892. PMAE Archives.
- . 1900. Carta a George Byron Gordon. 9 June. 3 pp. Bowditch Papers, #41-7, 12.3. C.A. Expedition Correspondence, 1900. PMAE Archives.

- . 1901. Carta a Charles P. Bowditch. 25 July. 4 pp. Bowditch Papers, #41-7, 12.4. C.A. Expedition Correspondence, 1901. PMAE Archives.
- Riederer, Josef. 1982. Conservación de los monumentos de piedra de Copán, Honduras. Traducción 105-600.56|00 HON-82-3037. 15 pp. Archivos CRIA.
- . 1983. Die Erhaltung von Steindenkmälern in Copán, Honduras. *Berliner Beiträge zur Archäometrie* 8: 325–36.
- [———]. 1985. Carta a Instituto Hondureño de Antropología y Historia. 12 agosto. 1 p. Archivos CRIA.
- . 1986a. Conservación de los monumentos de piedra de Copán, Honduras. *Yaxkin* 9, no. 1: 65–76.
- . 1986b. Protection from weathering of building stone in tropical countries. In *Case studies in the conservation of stone and wall paintings: Preprints of the contributions to the Bologna Congress, 21–26 Sept. 1986*. Ed. N. S. Brommelle and Perry Smith. Pp. 151–54. London: International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works.
- Riederer, Josef, Mason E. Hale Jr., Sigfrido Sandoval, Wilmer S. Flores, Rolando Soto G., Erasmo Sosa, Miguel Antonio Rodríguez Gudiel, Oscar Cruz Melgar, Giorgio Stangalino, Edmee Fchalkx, and Ilse Zanoletti de Giuliani. 1986. Mesa redonda ‘Acerca de la Conservación de la Piedra de los Monumentos de las Ruinas de Copán’. Conclusiones y recomendaciones de las reuniones sobre la conservación de los monumentos de piedra de las Ruinas de Copán, 29 de agosto al 4 de septiembre 1986. 4 sept. 10 pp. Archivos IHAH Tegucigalpa.
- Riese, Berthold. 1978. Bibliografía arqueológica y epigráfica del valle de Copán, Honduras, hasta 1977. Part 9 of the unpublished report *Abriß der archäologischen Feldforschung im Tal von Copán*. Mar. 21 pp. Archivos CRIA.
- . 1979. Proyecto Arqueológico Copán, estudios epigráficos. Informe final de la segunda temporada. Nov. Archivos CRIA.
- . 1983. Protección y conservación de las esculturas mayas de Copán. 8 agosto. 1 p. Archivos IHAH Tegucigalpa
- Rizzi Longo, L., L. Poldini, and F. Goia. 1980. La microflora algale delle pareti calcaree del Friuli Venezia Giulia (Italia nord-orientale). *Studia Geobotanica* 1, no. 1: 231–63.
- Rodríguez Gudiel, Miguel Antonio. 1977a. Proyecto para la eliminación biológica de la microflora que afecta a los principales monumentos de piedra de las ruinas de Copán. 29 julio. 3 pp. Archivos CRIA.
- . 1977b. Carta a Mason E. Hale. 10 nov. 2 pp. Archivos CRIA.
- . 1979. Tratamiento de la microflora en las Ruinas de Copán. Enero. 7 pp. Archivos IHAH Tegucigalpa.
- . 1980. Informe de viaje: Copán Ruinas, Comayagüa, San Pedro Sula del 19 al 23 de mayo de 1980. Mayo. Legajo: Restauración 0080028. Archivos IHAH Tegucigalpa.

- . 1981a. Informe de viaje no. 9. Copán Ruinas 26, 27, 28 de mayo 1980. May. Legajo: Restauración 05810019. Archivos IHAH Tegucigalpa.
- . 1981b. Informe de viaje no. 11. San Pedro Sula, La Ceiba, Pinalego y Copán Ruinas 10 al 14 agosto de 1981. Aug. Legajo: Restauración 08810029. Archivos IHAH Tegucigalpa.
- . 1985a. Carta a Ricardo Agurcia Fasquelle. 12 nov. 2 pp. Archivos CRIA.
- . 1985b. Informe sobre las actividades realizadas en la Republica federal de Alemania, 1985-30-9-8. 3 pp. Archivos CRIA.
- . 1987. Oficio no. 63 a Don Victor C. Cruz Reyes. 14 oct. D.P. Legajo 1087022. Archivos IHAH Tegucigalpa.
- . [Ca. 1992]. El tratamiento de la piedra en Copán. 14 pp. Unfinished[?] personal report obtained from the author.
- Rodriguez Gudiel, Miguel Antonio, Rolando Soto G., Oscar Cruz Melgar, Erasmo Sosa y Sigfrido Sandoval. 1988. Resultado de la visita de estudio a las ruinas de Copán durante agosto 16–19 1988. 31 Aug. 7 pp. Archivos IHAH Tegucigalpa.
- Rodriguez Gudiel, Miguel Antonio, Rolando Soto G. y Sigfrido Sandoval. 1984. II sesión de trabajo de la comisión técnica para la restauración y conservación de la piedra de las ruinas de Copán celebrada los días del 28 y 29 de julio de 1984 en el salón de conferencias del centro de visitantes del Parque Arqueológico de las ruinas de Copán. July. 4 pp. Archivos CRIA .
- Rodriguez Navarro, Carlos. 1998. Mineralogy and texture of the stones used in the Hieroglyphic steps of Copán (Honduras). 5 pp. Getty Conservation Institute, Los Angeles.
- Rudy Larios, Carlos. 1985a. A Vito Véliz R. Informe no. 1-85. Labores realizadas durante el mes de enero (14–31). Jan. 2 pp. Archivos CRIA.
- . 1985b. A Vito Véliz R. Informe no. 2-85. Labores realizadas durante el mes de febrero de 1985. 1 Mar. 4 pp. Archivos CRIA.
- . 1985c. A Vito Véliz R. Informe no. 5-85. Actividades del mes de mayo. 3 junio. 3 pp. Archivos CRIA.
- Sabloff, Jeremy A. 1990. *The new archaeology and the ancient Maya*. New York: Scientific American Library.
- Sandberg Consulting Engineers. 2000. Hieroglyphic Stairway, analysis of mortar samples, report 21190/C. Aug. Getty Conservation Institute, Los Angeles.
- Sanders, William. 1983. Carta a Ricardo Agurcia F. 19 abril. 2 pp. Archivos IHAH Tegucigalpa.
- Sanders, William T., ed. 1986–90. *Excavaciones en el área urbana de Copán*. 3 vols. Tegucigalpa, Honduras: Instituto Hondureño de Antropología y Historia y Secretaría de Cultura y Turismo.

- Sandoval, Sigfrido Antonio. 1983. Proyecto de investigación geoquímica de conservación de los monumentos de las ruinas de Copán. 10 junio. 12 pp. Archivos IHAH Tegucigalpa.
- . 1984. Acera de la investigación geoquímica del proceso de deterioro de los monumentos de las ruinas de Copán. 13 mar. 54 pp. Archivos CRIA.
- . 1988. Memorandum to Víctor C. Cruz Reyes. Resultados de la visita de estudio a las Ruinas de Copán durante noviembre 13–16 de 1987. 22 Jan. 5 pp. IHAH Tegu. Archives.
- Saville, Marshall Howard. 1929a. Letter [to Charles P. Bowditch?]. 25 Jan. Bowditch Papers, #41-7, 14.5. Miscellaneous Reports and Papers. PMAE Archives.
- . [1892b]. Catalogue of photographs taken at Copán, Honduras 1891–1892. 24 pp. CAER, #92-49, 5.6. PMAE Archives.
- . [1892c]. Report of the Honduras expedition 1891–1892. 16 pp. CAER, #92-49, 5.6. PMAE Archives.
- [———?]. [1892d?]. The stelae of Copán. 12 pp. CAER, #92-49, 5.6. PMAE Archives.
- . 1893. Carta a Prof. [D.?] T. Mason. 16 May. 2 pp. Bowditch Papers, #41-7, 11.4. C.A. Expedition Correspondence, 1893. PMAE Archives.
- Schele, Linda, and David Freidel. 1990. *A forest of kings: The untold story of the ancient Maya*. New York: William Morrow.
- Schele, Linda, and Rudy Larios. 1991. Stairway dedication dates in the Hieroglyphic Stairway inscription. Copán Notes 101. Tegucigalpa, Honduras: Instituto Hondureño de Antropología y Historia.
- Schenker and Co. Carta a Instituto Hondureño de Antropología y Historia. N.d. 1 p. Archivos CRIA.
- Schumann de Baudez, Isabelle. 1983. Agrícola y agricultores en la región de Copán. In *Introducción a la arqueología de Copán*. Ed. C. F. Baudez. Pp. 195–228. Tegucigalpa, Honduras: Secretaría de Estado en el Despacho de Cultura y Turismo.
- Shook, Edwin M. 1936. Field notebook, Copán 1936(1) #99. 75 pp. CIW Records, III-II#9. PMAE Archives.
- . 1937. Field notebook, Copán 1937(1) #100. 59 pp. CIW Records, III-II#9. PMAE Archives.
- . 1940. Field notebook, Copán 1940(1) #225. 75 pp. CIW Records, III-II#9. PMAE Archives.
- Smith, Robert Eliot. 1949. Carta a Gustav Strømsvik. 23 Feb. Box 2, series I: Correspondence, Robert Eliot Smith Papers, NSD-7. Special Collections and University Archives, Malcolm A. Love Library, San Diego State University.

Snethlage, Rolf. 1997. Leitfaden Steinkonservierung: Planung von Untersuchungen und Massnahmen zur Erhaltung von Denkmälern aus Naturstein. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

Soto G., Rolando. [1984?]. Conservación y restauración de las ruinas de Copán. 6 pp. Archivos IHAH Tegucigalpa.

———. 1985. Carta a R. Agurcia. Viaje realizado a Copán Ruinas no. 11. Asunto: Revisión de los trabajos de restauración en el proyecto a Copán. 8–10 mayo. Legajo 0585007. Archivos IHAH Tegucigalpa.

———. 1987. Carta a Oscar Cruz. 28 sept. Of. no. 056-DR-87. Legajo 0987031. Archivos IHAH Tegucigalpa.

———. 1991. Para Arq. José Maria Casco. Informe de viaje no. 24-DR-91. Asunto: Intervenir la estela 'A' en su consolidación, asistir a las ceramistas que elaboran las replicas y supervisar los trabajos de consolidación de estucos. 27–30 agosto. Legajo 0891043. Archivos IHAH Tegucigalpa.

Stephens, John Lloyd. 1841. Incidents of travel in Central America, Chiapas, and Yucatán. Drawings by Frederick Catherwood. London: John Murray.

Strømsvik, Gustav. 1935a. Copán. Carnegie Institution of Washington Year Book 34: 118–20.

———. 1935b. Copán field notebooks. Book I #96; Book II #94. CIW Records, III-III#3. PMAE Archives.

———. 1935c. Copán project. Diary of Gustav Strømsvik 1935. Typescript, bound volume. 161 pp. LAMNM.

———. 1936a. Copán. Carnegie Institution of Washington Year Book 35: 117–20.

———. 1936b. Copán field notebooks. Book I #92; Book II #91. CIW Records, III-III#3. PMAE Archives.

———. 1936c. Copán project. Diary of Gustav Strømsvik 1936. Typescript, bound volume. 184 pp. LAMNM.

———. 1937a. Copán. Carnegie Institution of Washington Year Book 36: 137–39.

———. 1937b. Copán field notebooks. Book I #107; Book II #108; Book III #109. CIW Records, III-III#3. PMAE Archives.

———. 1937c. Copán project. Diaries Gustav Strømsvik 1936–1937. Typescript, box of 274 loose sheets. LAMNM.

———. 1938a. Copán. Carnegie Institution of Washington Year Book 37: 147–52.

———. 1938b. Copán field notebooks. Book I #110; Book II #113. CIW Records, III-III#3. PMAE Archives.

———. 1938–41. Copán project. Diaries Gustav Strømsvik 1938–1941. Typescript, box of 486 loose sheets. LAMNM.

- [———]. 1939. Copán. *Carnegie Institution of Washington Year Book* 38: 241–42.
- . 1940. Copán. *Carnegie Institution of Washington Year Book* 39: 264–65.
- . 1941a. Copán 1941 report. 52 pp. CIW Records, “Not in 1963” inventory, no. 11. PMAE Archives.
- . 1941b. Honduras. *Carnegie Institution of Washington Year Book* 40: 292–95.
- . 1942. Honduras. *Carnegie Institution of Washington Year Book* 41: 249–50.
- . 1942–46. Copán project. Diaries Gustav Strømsvik 1942–1946. Typescript, box of 136 loose sheets. LAMNM.
- . 1946. Copán project. *Carnegie Institution of Washington Year Book* 45: 201–3.
- . 1949. Honduras and Guatemala. *Carnegie Institution of Washington Year Book* 48: 231–32.
- Stuart, David. 1988. Notes on the inscription from Temple 26. *Copán Notes* 56. Tegucigalpa, Honduras: Instituto Hondureño de Antropología y Historia.
- . 1992. Hieroglyphs and archaeology at Copán. *Ancient Mesoamerica* 3, no. 1: 169–84.
- . 2005. A foreign past: The writing and representation of history at a royal ancestral shrine at Copán. In *Copán: The history of an ancient Maya kingdom*. Ed. E. Wyllys Andrews and William F. Fash. Santa Fe, N.M.: School of American Research Press.
- Stuart, David, and Linda Schele. 1986. Interim report on the Hieroglyphic Stairs of Structure 26. *Copán Notes* 17. Austin, Tex.: Copán Mosaics Project / Tegucigalpa, Honduras: Instituto Hondureño de Antropología y Historia.
- Tashiro, Toshiharu. 1992. Informe sobre el estado actual de deterioro en estelas A y C de Copán Ruinas desde el punto de vista de geología. Jan. 30 pp. Archivos CRIA.
- Terms of concession applied for in the autumn of 1899. [1899]. 2 pp. Bowditch Papers, #41-7, 12.2. C. A. Expedition Correspondence, 1899. PMAE Archives.
- Teutonico, Jeanne Marie, Iain McCaig, Colin Burns, and John Ashurst. 1994. The Smeaton Project: Factors affecting the properties of lime-based mortars. *APT Bulletin* 25, nos. 3–4: 32–49.
- [To the Friends of Archaeological Research in America (draft)]. 1898. Bowditch Papers, #41-7, 12.1. C.A. Expedition Correspondence, 1898. PMAE Archives.
- To the Friends of Archaeological Research in America. [1899?]. [Written by Frederic W. Putnam, Francis C. Lowell, and Charles P. Bowditch?]. 3 pp. CAER, #01-40, 4.5. PMAE Archives.
- Torres Montes, Luis, y Francisca Franco V. [1980?]. Proyecto para continuación del estudio para el deterioro y conservación de la piedra en la ciudad arqueológica de Copán. 3 pp. Archivos IHAH Tegucigalpa.

- Turner, B. L., II, William C. Johnson, Gail A. Mahood, Frederick M. Wiseman, B. L. Turner y Jackie Poole. 1983. Hábitat y agricultura en la región de Copán. In *Introducción a la arqueología de Copán, Honduras*. Ed. Claude F. Baudez. Vol. 1, pp. 35–142. Tegucigalpa, Honduras: Secretaria de Estado en el Despacho de Cultura y Turismo.
- Véliz R., Vito. 1983a. Carta a Ricardo Agurcia F. 14 feb. 1 p. Archivos IHAH Tegucigalpa.
- . 1983b. Problema de los monumentos de Copán. Reunión especialistas, Copán Ruinas, 23 y 24 de abril de 1983. 11 mayo. 4 pp. Archivos IHAH Tegucigalpa.
- . 1984a. A Ricardo Agurcia F. Informe no. 7-84. Actividades realizadas en el proyecto arqueológico Copán durante el mes de julio. Sept. 3 pp. Archivos IHAH Tegucigalpa.
- . 1984b. A Ricardo Agurcia F. Informe no. 8-84. Labores realizadas durante el mes de agosto en las diferentes secciones del proyecto. Sept. Correspondencia Lic. Vito Veliz, 1984. Archivos IHAH Tegucigalpa
- . 1985. A Ricardo Agurcia F. Informe no. 12-84. Actividades realizadas en las diferentes secciones del P.A.C. durante el mes de diciembre 1984. 18 enero. Archivos IHAH Tegucigalpa.
- Videla, Héctor A., Patricia S. Guimet y Sandra G. Gómez de Saravia. 2000. Biodeterioration of Mayan archaeological sites in the Yucatan Peninsula, Mexico. *International Biodeterioration & Biodegradation* 46, no. 4: 335–41.
- Videla, Héctor A. y Cesáreo Sáiz-Jiménez. 2002. *Biodeterioro de monumentos de Iberoamérica*. Madrid: Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED).
- Villela, Khristaan D. 2002. Morley hires Tatiana Proskouriakoff. *Precolumbian Art Research Institute Journal* 1, no. 2: 1–11.
- Vose, Russell S., Richard L. Schmoyer, Peter M. Steurer, Thomas C. Peterson, Richard Heim, Thomas R. Karl, and Jon K. Eischeid. 1992. The global historical climatology network: Long-term monthly temperature, precipitation, sea level pressure, and station pressure data. ORNL/CDIAC-53, NDP-041. Environmental Sciences Division publication no. 3912. Oak Ridge, Tenn.: Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory. (Available to the public from National Technical Information Service, Springfield, Va.)
- Warscheid, Thomas, and Joanna Braams. 2000. Biodeterioration of stone: A review. *International Biodeterioration & Biodegradation* 46, no. 4: 343–68.
- Webster, David, ed. 1989. *The House of the Bacabs, Copán, Honduras*. *Dumbarton Oaks Studies in Pre-Columbian Art and Archaeology* No. 29. Washington, D.C.: Dumbarton Oaks Research Library and Collections.
- . 1999. The archaeology of Copán, Honduras. *Journal of Archaeological Research* 7, no. 11: 1–53.
- Wenzel, Fritz. 1999. Visit to Copán from 4th to 6th November 1999. Initial expert assessment. 17 pp. Getty Conservation Institute, Los Angeles.

- Whitlach, Robert B., and R. G. Johnson. 1974. Methods for staining organic matter in marine sediments. *Journal of Sedimentary Petrology* 44: 1310–12.
- Williamson, Richard V. 1996. Excavations, interpretations, and implications of the earliest structures beneath structure 10L-26 at Copán, Honduras. In *Eight Palenque round table, 1993*. Ed. Merle Greene Robertson, Martha J. Macri, and Jan McHargue. pp. 169–76. San Francisco: Pre-Columbian Art Research Institute.
- Wright, Fred E. 1920. A petrographic description of the material of the Copán monuments. In *Sylvanus Griswold Morley. The inscriptions at Copán*. pp. 463–64. Carnegie Institution of Washington Publication 219. Washington, D.C.: Carnegie Institution of Washington.
- Zelaya Rubi, Virgilio y Mason Hale. 1983. Observaciones en Copán, Honduras, el 7–8 de junio de 1979 y recomendaciones para nuevos tratamientos para controlar crecimientos biológicos. En *La pietra: Interventi, conservazione, restauro: Atti del convegno internazionale, Lecce, 6–8 novembre 1981*. Ed. Antonio Cassiano, Orazio Curti, and Giovanna Delli Ponti. pp. 159–70. Galatina, Italy: Congedo Editore.

Créditos del texto

El personal del GCI y los consultores que siguen contribuyeron a la elaboración del presente informe:

Vincent Beltrán, Científico, Laboratorio de Estudios de Medio Ambiente, escribió ‘Monitoreo ambiental’.

Clive Boardman, Photarc Survey, Ltd., Fotogrametrista, contribuyó a la sección de ‘Registro fototopográfico’ y escribió el Apéndice H, ‘Protocolo de monitoreo fotográfico para la Escalinata Jeroglífica’.

Elsa Bourguignon, Conservadora de Arquitectura, Proyectos de Campo, escribió ‘Historia de las intervenciones’, ‘Estudios anteriores acerca de la conservación de piedra en Copán’, ‘Registro foto-topográfico’, ‘Registro de condiciones’ y ‘Análisis de materiales’. También contribuyó a las secciones ‘Conclusiones principales’ y ‘Experimentación de técnicas y materiales de tratamiento para la conservación de piedra y mampostería’.

Giulia Caneva, Bióloga, Universidad de Roma, escribió ‘Análisis biológico’.

Jennifer Carballo, Arqueóloga, Proyectos de Campo, escribió las secciones ‘Descripción del sitio arqueológico de Copán’ y ‘Historia del Sitio y de la Escalinata Jeroglífica’; además, contribuyó a la sección ‘Significado y importancia de la Escalinata Jeroglífica’.

Françoise Descamps, Arquitecta, Proyectos de Campo, escribió ‘Evaluación estructural’ y contribuyó a ‘Significado y importancia de la Escalinata Jeroglífica’.

Eric Doehne, Científico, Laboratorio de Materiales de Construcción, contribuyó a las secciones ‘Análisis de materiales’, ‘Estudios anteriores acerca de la conservación de piedra en Copán’, ‘Conclusiones principales’ y ‘Experimentación de técnicas y materiales de tratamiento para la conservación de piedra y mampostería’.

Rand Eppich, Arquitecto, Proyectos de Campo, contribuyó a la sección de ‘Registro fototopográfico’.

Shin Maekawa, Científico, Laboratorio de Estudios de Medio Ambiente, escribió ‘Monitoreo ambiental’.

Gionata Rizzi, Arquitecto, escribió el Apéndice G, ‘Conceptos de diseño para una nueva cubierta de protección para la Escalinata Jeroglífica’.

Thomas Roby, Conservador de Arquitectura, Proyectos de Campo, escribió ‘Significado y importancia de la Escalinata Jeroglífica’, ‘Comparación de documentación fotográfica de la Escalinata Jeroglífica a través del Tiempo’ y ‘Propuestas y opciones técnicas para la conservación’. Asimismo, contribuyó a ‘Conclusiones principales’ y a ‘Experimentación de técnicas y materiales de tratamiento para la conservación de piedra y mampostería’.

Stefan Simon, Científico, Laboratorio de Materiales de Construcción, contribuyó a las secciones ‘Análisis de materiales’, ‘Conclusiones principales’ y ‘Experimentación de técnicas y materiales de tratamiento para la conservación de piedra y mampostería’.

Elsa Bourguignon y Thomas Roby realizaron la edición de todas las secciones. Elsa Bourguignon recopiló y formateó el documento, así como todas las ilustraciones.

Créditos fotográficos

Figura 1. Mapa de la Colección de Mapas de la Biblioteca Perry-Castañeda. Cortesía de las Bibliotecas de la Universidad de Texas, Austin. <http://www.lib.utexas.edu/maps/index.html>.

Figura 2. Mapa por Rick Miller.

Figura 3. Del dibujo por Barbara Fash y Refugio Murcia, cortesía de Barbara Fash. De W. Fash y Sharer 1991, fig.1.

Figuras 4 y 5. Fotos por Vincent Beltran.

Figura 6. Foto por Richard Ross.

Figura 7. Dibujo: Akademische Druck-u. Verlagsanstalt, Austria.

Figura 8. Foto por Elsa Bourguignon.

Figura 9. Dibujo cortesía de Barbara Fash. De W. Fash 2002, fig. 4.

Figura 10. Foto por Elsa Bourguignon.

Figura 11. Detalle del dibujo por Hipólito Sánchez Vera, cortesía de IHAH. De [Pavón Abreu y Sánchez Vera] 1989.

Figura 12. Foto por Richard Ross.

Figura 13. Foto por Elsa Bourguignon.

Figura 15. Foto por Alfred P. Maudslay. Reproducción cortesía de Dr. Francis Robicsek. De Archaeology por A. P. Maudslay.

Figura 16. Foto © 2006, Harvard University, Peabody Museum, 2004.24.284.

Figura 17. Foto © 2006, Harvard University, Peabody Museum, 2004.24.285.

Figura 18. Foto © 2006, Harvard University, Peabody Museum, 2004.24.361.

Figura 19. Foto © 2006, Harvard University, Peabody Museum, 2004.24.421.

Figura 20. Foto © 2006, Harvard University, Peabody Museum, 2004.24.386.

Figura 21. Foto © 2006, Harvard University, Peabody Museum, 2004.24.1855.

Figura 22. Foto © 2006, Harvard University, Peabody Museum, 2004.24.1848.

Figura 23. Foto por Jesse L. Nusbaum. Cortesía del Palacio de los Gobernadores (MNM/DCA), neg. #60172.

Figura 24. Foto por Jesse L. Nusbaum. Cortesía del Palacio de los Gobernadores (MNM/DCA), neg. #60166.

Figura 25. Foto © 2006, Harvard University, Peabody Museum, 58-34-20-64976.

Figura 26. Foto © 2006, Harvard University, Peabody Museum, 58-34-20-64988.

Figura 27. Foto © 2006, Harvard University, Peabody Museum.

Figura 28. Foto © 2006, Harvard University, Peabody Museum, 58-34-20-35514.

Figura 29. Foto por Vincent Beltran, cortesía de la familia Welchez.

Figura 30. Foto cortesía de Luis Torres Montes.

Figura 31. Foto de IHAH. De Hale [1978a?], fig. 5.

Figura 32. Foto cortesía de Luis Torres Montes.

Figura 33. Foto cortesía de IHAH. De Martínez 1983.

Figura 34. Foto cortesía de IHAH. Rollo etiquetado ‘Copan Ruinas. Microflora. Abril 1982’, neg. n.18, IHAH Tegu. archivos de Foto.

Figura 35. Foto cortesía de IHAH. De Cruz M. 1983.

Figura 36. Foto cortesía de René Martínez.

Figuras 37–39. Fotos por Françoise Descamps.

Figura 40a y b. Fotos cortesía de IHAH. De Hale [1978b?], fig. 2.

Figura 41. Foto cortesía de IHAH. De Hale [1978b?], fig. 4.

Figura 42a y b. Fotos cortesía de IHAH. De Axume 1987–89.

Figura 43. Dibujo por Toshiharu Tashiro, cortesía de IHAH. De Tashiro 1992, fig. 1.

Figura 44. Sobreposición de mapeo hecho sobre el dibujo de Eliud Guerra. Adaptado de los dibujos de Barbara Fash y Sarah Nunberg. Cortesía de Barbara Fash.

Figura 45a–f. (a) Detalle de foto © 2006, Harvard University, Peabody Museum, 2004.24.401; (b) adaptado de detalles de fotos por Raúl Pavón Abreu, cortesía de IHAH, negs. 36-16, 36-17; (c) adaptado de detalles de fotos por Maya Bracher, cortesía de IHAH, negs. 403-12, 403-13; (d) adaptado de detalles de fotos por Jean-Paul Courau, cortesía de IHAH, negs. 1506-10, 1507-21; (e) adaptado de detalles de fotos por Photarc Surveys, el Reino Unido, negs. 1356, 1357; (f) detalle de foto por Françoise Descamps y Reyna Flores.

Figuras 46a y b. (a) Adaptado de detalles de fotos por Raúl Pavón Abreu, cortesía de IHAH, negs. 36-16, 36-17; (b) adaptada de detalles de fotos por Maya Bracher, cortesía de IHAH, negs. 403-12, 403-13.

Figura 47a y b. (a) Detalle de foto por Raúl Pavón Abreu, cortesía de IHAH, neg. 39-11; (b) adaptado de detalles de fotos por Maya Bracher, cortesía de IHAH, negs. 404-29, 404-30.

Figura 48a y b. (a) Adaptado de detalles de fotos por Maya Bracher, cortesía de IHAH, negs. 403-12, 403-13; (b) detalle de foto por Françoise Descamps y Reyna Flores.

Figura 49a y b. (a) Adaptado de detalles de fotos por Maya Bracher, cortesía de IHAH, negs. 404-29, 404-30; (b) detalle de foto por Françoise Descamps y Reyna Flores.

Figura 50a-h. (a) Detalle de foto © 2006, Harvard University, Peabody Museum, 2004.24.388; (b) detalle de foto © 2006, Harvard University, Peabody Museum, 58-34-20/64575; (c) detalle de foto © 2006, Harvard University, Peabody Museum, 58-34-20/64996; (d) adaptado de detalles de fotos por Raúl Pavón Abreu, cortesía de IHAH, negs. 12-5, 12-6; (e) detalle de foto por Maya Bracher, cortesía de IHAH, neg. 338-20A; (f) detalle de foto por Jean-Paul Courau, cortesía de IHAH, neg. 1496-33; (g) detalle de foto por Photarc Surveys, el Reino Unido, neg. 1391; (h) detalle de foto por Françoise Descamps y Reyna Flores.

Figura 51. Foto por Elsa Bourguignon.

Figura 52. Foto © Photarc Surveys, Ltd.

Figura 53a y b. Fotos por Photarc Surveys, Ltd., negs. 1361, 1362.

Figura 54. Foto por Evin Erder.

Figuras 55–57. Imágenes por Elsa Bourguignon.

Figura 63. L*a*b* carta de color. Cortesía de Konica Minolta Sensing Americas Inc.

Figura 68. Adaptado de dibujo por Fernando López. Cortesía de Proyecto Arqueológico Acrópolis de Copán.

Figuras 69 y 70. Fotos por Shin Maekawa.

Figura 76. Foto por Giulia Caneva.

Figura 77. Sobreposición de mapeo hecho sobre el dibujo de Eliud Guerra. Adaptado de los dibujos de Barbara Fash y Sarah Nunberg. Cortesía de Barbara Fash.

Figuras 78–80. Fotos por Giulia Caneva.

Figura 81. Foto por Vincent Beltran.

Figura 82. Foto cortesía de Luis Torres Montes.

Figura 83. Foto por Giulia Caneva.

Figura 84. Dibujo por Giulia Caneva.

Figuras 85 y 86. Fotos por Mark Gemperline y Todd Rutenbeck.

Figura 87. Mapeo y dibujo por Eliud Guerra. Adaptado de los dibujos de Barbara Fash y Sarah Nunberg. Cortesía de Barbara Fash.

Figura 88. Foto por Mark Gemperline y Todd Rutenbeck.

Figura 89. Dibujo por Carlos Rudy Larios, cortesía de Barbara Fash. De W. Fash et al. 1992, fig. 2.

Figuras 90 y 91. Fotos por Mark Gemperline y Todd Rutenbeck.

Figura 92. Foto por Vincent Beltran.

Figura 93. Foto por Mark Gemperline y Todd Rutenbeck.

Figura 94. Adaptado de Dibujo por Barbara Fash y Refugio Murcia, cortesía de Barbara Fash. De W. Fash y Sharer 1991, fig. 1.

Figuras 95 y 97. Fotos por Elsa Bourguignon.

Figura 99. Foto por Richard Ross.

Figuras 100–3. Fotos por Elsa Bourguignon.

Figura 104. Sobreposición de mapeo hecho sobre el dibujo de Eliud Guerra. Adaptado de los dibujos de Barbara Fash y Sarah Nunberg. Cortesía de Barbara Fash.

Figuras 105–8. Fotos por Elsa Bourguignon.

Figura 109. Foto por Richard Ross.

Figuras 110–16. Fotos por Elsa Bourguignon.

Figura 117. Sobreposición de mapeo hecho sobre el dibujo de Eliud Guerra. Adaptado de los dibujos de Barbara Fash y Sarah Nunberg. Cortesía de Barbara Fash.

Figuras 118–26. Fotos por Elsa Bourguignon.

Figura 127a y b. (a) Foto por Neville Agnew; (b) foto por Richard Ross.

Figura 128. Foto por Christopher Gray.

Figura 129. Foto por Elsa Bourguignon.

Figura 130. Foto por Evin Erder.

Figura 131. Foto por Elsa Bourguignon.

Figura 132. Foto cortesía de Hiroyuki Ikarashi.

Figura 133. Foto por Evin Erder.

Figuras 134–36. Fotos por Elsa Bourguignon.

Figura 137. Dibujo por Carlos Rudy Larios, cortesía de Barbara Fash. De W. Fash et al. 1992, fig. 2.

Figuras 138–41. Fotos por Elsa Bourguignon.

Figura 142. Foto por Thomas Roby.

Figura 143. Foto por Elsa Bourguignon.

Figura 144. Foto por Richard Ross.

Figuras 145 y 146. Fotos cortesía de Hiroyuki Ikarashi.

Figuras 147 y 148. Fotos por Elsa Bourguignon.

Figura A.1. Dibujo por Eliud Guerra. Adaptado de los dibujos de Barbara Fash y Sarah Nunberg. Cortesía de Barbara Fash.

Figuras D.1–D.7. Fotos por Elsa Bourguignon.

Figura D.8. Foto por Evin Erder.

Figuras D.9–D.20. Fotos por Elsa Bourguignon.

Figuras D.21–D.23. Fotos por Bettina Lucherini.

Figura D.24. Foto por Elsa Bourguignon.

Figura D.25. Foto por Evin Erder.

Figura D.26. Foto por Bettina Lucherini.

Figuras E.3 y E.4. Sobreposición de mapeo hecho sobre el dibujo de Eliud Guerra. Adaptado de los dibujos de Barbara Fash y Sarah Nunberg. Cortesía de Barbara Fash.

Figuras G.1–G.6. Propuestas por Gionata Rizzi.

Figuras H.1–H.25. Fotos por Photarc Surveys, Ltd.



The Getty Conservation Institute

