Castañeda, José Francisco, Seiichi Nakamura y Otto Ortega Morales
2009 Aportes al estudio del bio-deterioro en la Acrópolis del Norte, Tikal. En *XXII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2008* (editado por J.P. Laporte, B. Arroyo y H. Mejía), pp.357-364. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala (versión digital).

29

APORTES AL ESTUDIO DEL BIO-DETERIORO EN LA ACRÓPOLIS DEL NORTE, TIKAL

José Francisco Castañeda
Seiichi Nakamura
Otto Ortega Morales
Universidad de San Carlos de Guatemala, Universidad Cibernética, Departamento de Patrimonio Mundial, Japón y Universidad Autónoma de Campeche, México

ABSTRACT
CONTRIBUTIONS TO THE STUDY OF BIO-DETERIORATION AT THE NORTH ACROPOLIS, TIKAL

Bio-deterioration can be understood as any undesirable change in the properties of a material caused by the biotic action of living organisms. Bio-deterioration of stone monuments and structures is a known problem in tropical regions, where factors like high temperatures, high levels of relative humidity, and considerable rainfall favor the growth of bio-films on the surface of stone. In general, consensus exists among the scientific community with respect to the changes caused by living organisms on stone monuments, in which the presence of bio-films is an indicator of an advanced stage of deterioration, predetermined by physical and chemical agents. The development of the Project is based on the characterization of the biological agents present in the bio-films found on the large west mask of Structure 5D-33 sub 3 and on the analysis of abiotic agents predominating in this habitat.

La gran mayoría del patrimonio cultural del mundo ha sido construido en piedra, lento pero inexorablemente va desapareciendo debido a su naturaleza. El deterioro de la piedra es bastante familiar para cualquiera que observe un monumento o edificación de este material. Mientras que algunas piedras parecen no haber sido afectadas por los años de exposición a los diferentes agentes atmosféricos, la gran mayoría ya se encuentran en un estado considerable de destrucción (Price 1996:4). Esto podrá no importar mucho cuando se trata de un muro sólido donde sus elementos constructivos pueden ser remplazados. Sin embargo no es lo mismo cuando se trata de una escultura o un mascarón tallado en la roca caliza, ya que no se requiere de un profundo deterioro para que los rasgos de la talla se pierdan.

Las antiguas ciudades de la civilización Maya están entre los sitios de patrimonio cultural más importantes del mundo. La ciudad Maya de Tikal localizada en la Reserva de la Biosfera Maya, donde las condiciones climáticas son severas, con una humedad relativa superior a 80%, alcanzando en casos extremos hasta un 96-97%, con temperaturas que sobrepasan los 35º C (datos proporcionados estación 182 Tikal INSIVUMEH).

Los Mayas de Tikal construyeron sus edificaciones con una roca caliza suave y porosa; esto en conjunto con factores climáticos existentes, crea el ambiente propicio para la colonización biológica de la superficie de la roca. Es importante entender los procesos de bio-deterioro de la roca y no desestimarlos en el proceso de destrucción de los monumentos. El desarrollo específico de especies biológicas sobre la superficie de una roca está determinado por la naturaleza y las propiedades de la misma constitución mineral, pH, salinidad, contenido de humedad, textura. También depende de factores ambientales como temperatura, humedad relativa, condiciones de luz, niveles de contaminación atmosférica, factores eólicos, precipitaciones, etc. En otras palabras, la respuesta de los organismos vivos para colonizar una superficie depende de requerimientos ecológicos y fisiológicos de las especies participantes (Caneva-Salvadori 1989).

ANTECEDENTES

Durante el año 2005 y debido a su preocupación por el estado de conservación de varios sitios en el área Maya, la Fundación Japón, que ha financiado proyectos de rescate, restauración e investigación arqueológica, delega al Dr. Seiichi Nakamura en coordinación con el personal técnico del Parque Nacional Tikal (PANAT), la realización de una propuesta de intervención en este sitio. De tal manera, que a principios del 2006, se determina la necesidad de intervenir en la Acrópolis del Norte, importante sector de Tikal, iniciando el esfuerzo de análisis de los factores de su deterioro.

En agosto de 2006 con la colaboración del Dr. Otto Ortega Morales, director del Departamento de Microbiología Ambiental y Biotecnología de la Universidad de Campeche y Francisco Castañeda, de la unidad de Arqueología del PANAT, se inicia el estudio de bio-deterioro en la Acrópolis del Norte específicamente en los mascarones de la Estructura 5D-33 Sub3 y Sub 2.

PRESENTACIÓN DEL ESTUDIO

Se entiende para este análisis el bio-deterioro como la degradación física y química de la roca provocada por organismos vivos y los objetivos planteados son los siguientes:

- Caracterizar los entes biológicos que conforman la biomasa que cubre los mascarones.
- Recolectar y analizar datos abióticos (microclima, humedad relativa, temperatura, temperatura de superficie, niveles de luz) que afectan el crecimiento biológico sobre los mascarones.

Los mascarones se localizan en el Edificio 5D-33 sub3, la estructura más grande de la Acrópolis Norte, siendo uno de los rasgos más emblemáticos de Tikal y considerado dentro de su Plan Maestro (2003) como uno de los sectores de mayor prioridad por el grado de deterioro que presenta.

Dejados al descubierto por las excavaciones de la Universidad de Pensilvania en la década de 1970, los mascarones flanquean al este y oeste la escalinata central del edificio. El Mascarón Oeste se sitúa en una excavación abierta de unos 4 m por 4.5 m de ancho y largo y unos 4 m de profundidad, donde se observa parte de la escalinata central y parte del primer cuerpo de la Estructura 5D-33 sub 3. Mientras que el Mascarón Este se halla en un túnel de unos 11 m de largo que va de oeste a este. Ambos mascarones presentan diferentes grados de deterioro.

En el Mascarón Este, luego de una inspección visual, no se encontró presencia de colonización biológica en su superficie que represente peligro para su conservación, sin embargo se constataron problemas debido a la presencia de excretas de murciélagos que dañan los estucos del mascarón.

El crecimiento biológico presente en el Mascarón Oeste de la Estructura 5D-33 sub 3 es denso y cubre casi en su totalidad la superficie expuesta de roca caliza, tanto del mascarón como de los muros. Es de color verdoso oscuro, con alguna presencia de líquenes anaranjados, características de una biopelícula formada por comunidades fototroficas epilíticas.

METODOLOGÍA

COMPONENTE BIOLÓGICO

Debido a la importancia del lugar a intervenir, la toma de muestras se realizó utilizando técnicas no destructivas. Para este propósito se usó una espátula de acero inoxidable debidamente esterilizada; con esta se extrajeron muestras de la bio-película. Estas muestras de bio-masa fueron colocadas en cajas de Petri estériles, se procedió a sellarlas y trasportarlas a los laboratorios. Para escoger el lugar de donde se extraerían las muestras se dividió el Mascarón Oeste de la Estructura 5D-33 sub 3 en cuatro cuadrantes, asignándole una letra a cada uno. De esta manera el cuadrante superior izquierdo es el cuadrante A; cuadrante superior derecho, el B; inferior derecho, C; e inferior izquierdo, D (Figura 1).

Se procedió a extraer siete muestras. Estas muestras de la bio-película fueron caracterizadas utilizando técnicas de cultivo, análisis microscópico, análisis espectroscópicos (FTIR Fourier transform infrared Spectroscopy) y de difracción de rayos X (XRD X-Ray Difraction). También se usaron métodos moleculares para detectar mutaciones mitocondriales en el ADN (SSCP-PCR Single strand conformation polymorphism Polymerase chain reaction) con lo que se confirmó la presencia de cianobacterias.

COMPONENTE ABIÓTICO

Se colocaron cuatro termo-hidrógrafos marca Sato Keiryoki MFG. Modelo Aurora-90 III en cuatro puntos en la parte superior e inferior del Mascarón Oeste, en el interior del túnel de acceso al Mascarón Este en frente de las escalinatas de la subestructura, y parte inferior frontal del Mascarón Este (Figura 2). También se realizaron mediciones de la temperatura de superficie de manera sistemática en varios puntos con un termómetro laser Konica-Minolta. Modelo HT-21.

Durante la investigación se hicieron mediciones de PAR (Photosynthetically active Radiation), la medición se realiza para contar la cantidad de fotones por segundo por metro cuadrado que incide sobre la superficie de los mascarones. Esto se llevó a cabo con un sensor modelo LI-190SA Quantum Sensor y un Data Logger LI-1400. Estas mediciones son de suma importancia, ya que se tienen que dar ciertas condiciones lumínicas para el crecimiento biológico en un determinado lugar.

RESULTADOS COMPONENTE BIOLÓGICO

El cultivo y los análisis de microscopia revelaron que la biomasa estaba compuesta en su mayoría por cianobacterias, algunas de ellas altamente pigmentadas por *scytonemin* que sirve como pantalla molecular protectora contra los rayos UV. Los organismos más abundantes encontrados son *Rhadboderma* sp., *Pseudoanabaena*, y *Chlorogloecapsopsis* sp., seguido de *Gloecpsa, Cyanodiction* y *Chroococcus*. En algunas muestras se pudo detectar *rhodophyte chroothece monococca*. Valiéndose de metodología molecular se localizaron *Halofitas* y *euhalofitas*, la presencia de estos entes biológicos es evidencia del alto contenido salino predominante en la superficie del mascarón, producto de la lixiviación de las sales en la roca caliza. Los organismos halofítos se caracterizan por vivir en condiciones extremas con altos contenidos de sal.

Con este estudio se comprueba la gran diversidad que comprende la bio-película, incluyendo bacterias altamente relacionadas con secuencias bacterianas de hábitats halofíticos. La heterogeneidad de estas comunidades es evidente. El perfil químico de la bio-película extraído por FTIR evidenció la presencia de polisacáridos dominando la fracción orgánica, así como cristales de sal; en su mayoría, sulfato de calcio hidratado.

RESULTADOS DEL COMPONENTE ABIÓTICO

Los termo-hidrógrafos permitieron obtener datos continuos de temperatura y humedad relativa gracias a que los datos son graficados en rollos de papel especial con divisiones de tiempo, grados y porcentajes de humedad relativa. Estos rollos pueden alcanzar a medir más de 30 días consecutivos antes de cambiarlos. Los resultados obtenidos de los dos aparatos colocados en el interior del túnel son concluyentes en dos aspectos:

- Primero, la humedad relativa dentro del túnel es constante y por encima del 90%.
- Segundo, las condiciones de temperatura no se ven afectadas por la temperatura exterior y se mantienen constantes entre 24º y 26º C.

El Mascarón Este no presenta colonización de micro flora a pesar de que existen las condiciones de temperatura y humedad para propiciar la colonización. Sin embargo no cuenta con las condiciones de luz mínimas para el desarrollo de bio-película sobre su superficie.

Los datos proporcionados por los otros dos aparatos son más reveladores en cuanto a las fluctuaciones tanto de temperatura como de humedad relativa que sufre el Mascarón Oeste. Esto es más evidente en la parte superior donde se observa más deterioro, con fluctuaciones diarias que van de entre 23° a 40° C de temperatura y 88% a 36% de humedad relativa.

Los datos recolectados para la parte inferior, que se encuentra a tan solo 3 m, reflejan más estabilidad con fluctuaciones de menos de 3° C y la humedad relativa se mantiene entre 80% y 90% (Figura 3).

Otro factor del cual se recolectaron datos fue el de temperatura de superficie, realizándose sistemáticamente en diferentes horarios ya establecidos: mañana, medio día y tarde. Estos datos fueron comparados con los datos de temperatura ambiental del termo-hidrógrafo instalado en la parte inferior del Mascarón Oeste. Promediados los resultados marcaron diferencias con la temperatura ambiental de -1° a -3° (Figura 4), reflejando que la incidencia de la luz solar provoca estas variaciones, ya que por la mañana y por la tarde esta incide directamente sobre la parte superior, elevando la temperatura superficial y provocando en algunos sectores, sobre todo en temporada seca, la pérdida de la bio-película. Al perderse esta capa deja al descubierto la roca caliza que presenta algún grado de deterioro, evidenciado en la pulverización de al menos unos 1.5 mm de profundidad de la superficie afectada, que posteriormente se vuelve a colonizar en la temporada de lluvias.

CONCLUSIONES

Los resultados indican que estas comunidades epilíticas se ven más afectadas en su crecimiento y desarrollo por el régimen de luz que por la disponibilidad de agua.

La asociación de bio-películas fototróficas dominadas por poblaciones de cianobacterias con el detrimento estético y físico, deteriora la superficie de los mascarones, sugiriendo su rol en este sentido debido al transporte de iones a nivel microbiano. La retención de agua en los componentes celulares polisacáridos higroscópicos, aumenta los niveles de humedad por debajo de la bio-película. El viento y la incidencia de la luz solar en algunas secciones del mascarón producen efectos negativos bajo la presencia de sales y humedad agravando los procesos de cristalización y alveolización.

PROPUESTA

Con lo anteriormente expuesto se considera la siguiente propuesta, basada en una propuesta presentada por CRISARCONSULT en 1997. Dicha propuesta fue analizada y modificada en el marco de este proyecto por Rudy Larios en el 2007. Basada en los resultados dados por los termo-hidrógrafos y las mediciones de temperatura de superficie, se demostró que las condiciones micro climáticas dentro del túnel son estables; y que esta estabilidad ha permitido que el Mascarón Este tenga en un estado de conservación aceptable manteniéndose de esta forma tras 45 años de exposición. Por lo que se propone lo siguiente:

Reponer los rellenos de la Estructura 5D-33 1a, eliminados para exponer los mascarones, formándose túneles como el que contiene al Mascarón Este. El túnel estaría formado en sección por la forma propia de la bóveda Maya construida con muros rústicos. Debido a que la piedra caliza de Tikal no soporta flexión y el espacio interno recomendable es de 1.20 m se propone utilizar vigas estructurales fabricadas con fibra de vidrio y resina poliéster moldeadas de tal forma que asemejen piedra. Estas vigas se usarán únicamente en los sectores frente al mascarón. Al frente o al lado de cada mascarón, de acuerdo con su posición, se propone colocar ventanas dobles para evitar condensación (Figura 5). El ingreso de turistas será determinado oportunamente por la unidad Técnica y la Administración del PANAT.

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de microbiología ambiental y biotecnología, Universidad Autónoma de Campeche. CINVESTAV unidad Mérida. Al Laboratorio de Ficología, Facultad de Ciencias Universidad Autónoma de México. Al Institut Für Agrarökologie de Alemania por su apoyo con los análisis y pruebas de laboratorio. A la fundación Japón por su apoyo financiero y logístico. A la Administración y Unidad Técnica del Parque Nacional Tikal por su apoyo constante durante todo el proceso de investigación. Y en Especial a Rudy Larios por su apoyo y experiencia invaluable.

REFERENCIAS

Caneva, G. y O. Salvadori

1996 Biodeterioration of Stone. En *The Deterioration and Conservation of Stone: Notes from The international Venetian Courses on Stone Restoration* (editado por L. Lazzarini y R Pieper), pp.$. Documentos y estudios sobre patrimonio cultural, UNESCO, Paris.

Price, C.A.

1996 *Stone Conservation: An Overview of Current Research.* The Getty Conservation Institute.

Figura 1 Mascarón Oeste Estructura 5D-33 sub 3. División de cuadrantes utilizado para localización de muestras y recolección de datos abióticos (Medición de temperatura de superficie)
Dibujo: Tikal Report No.14 modificado por autor

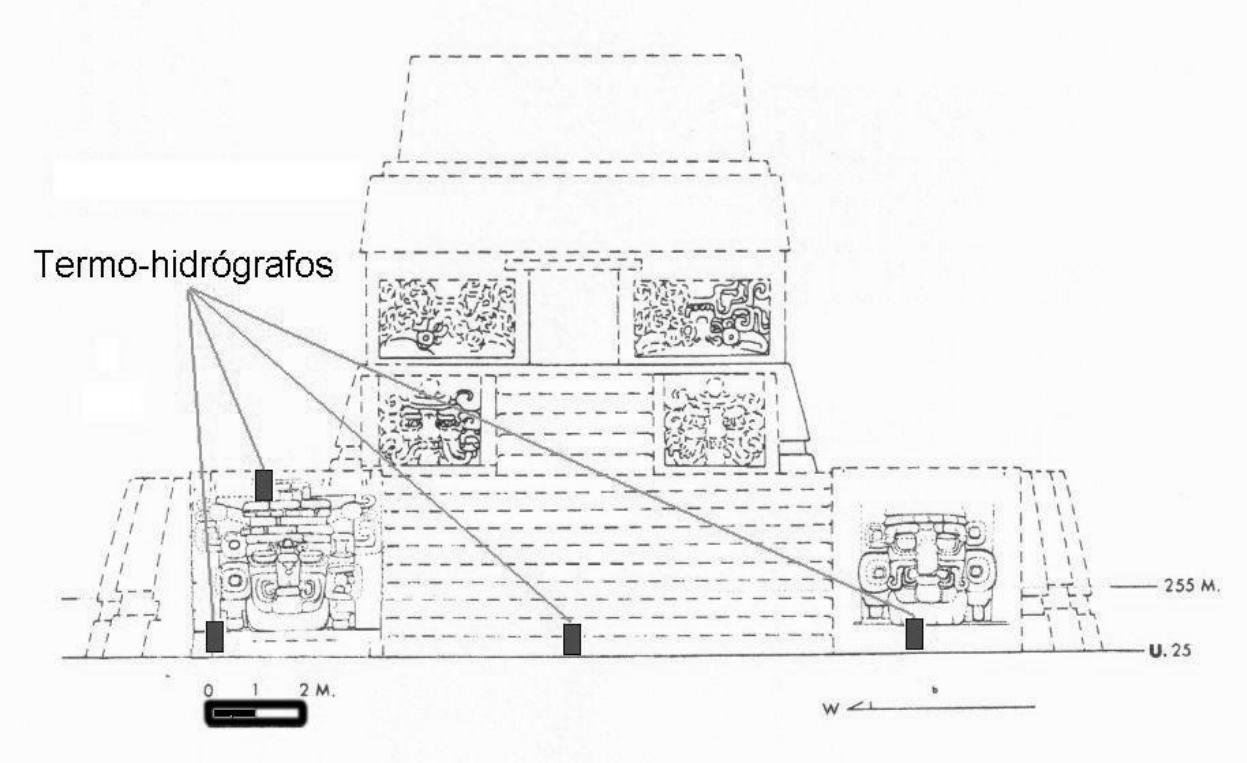

Figura 2 Localización de Termo-hidrógrafos Estructura 5D-33 sub 3

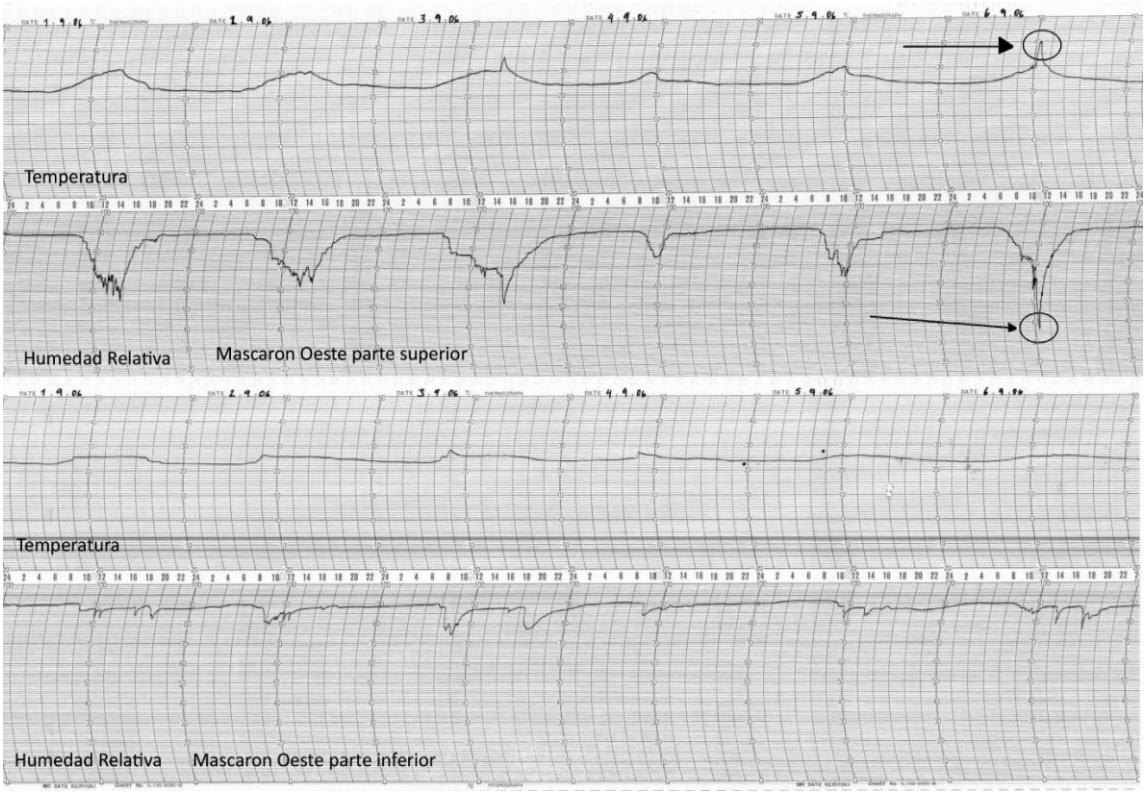

Figura 3 Comparación de datos de Termo-hidrógrafos Mascarón Oeste

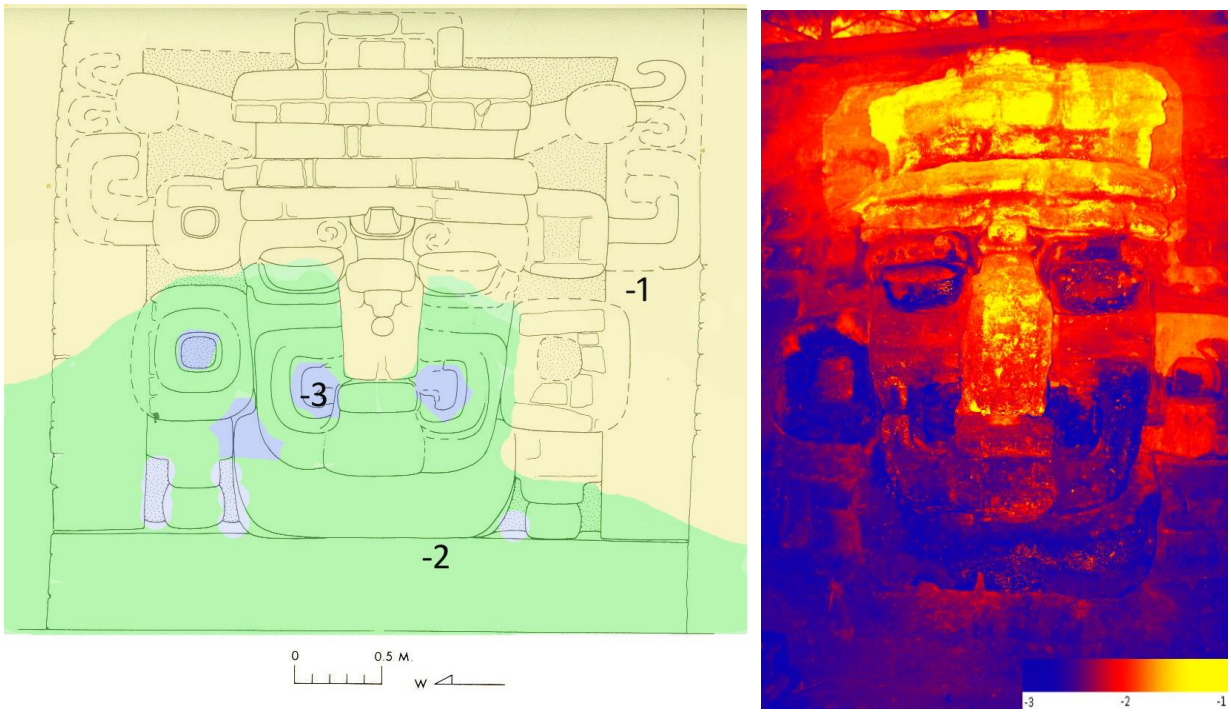

Figura 4 Temperaturas de superficie

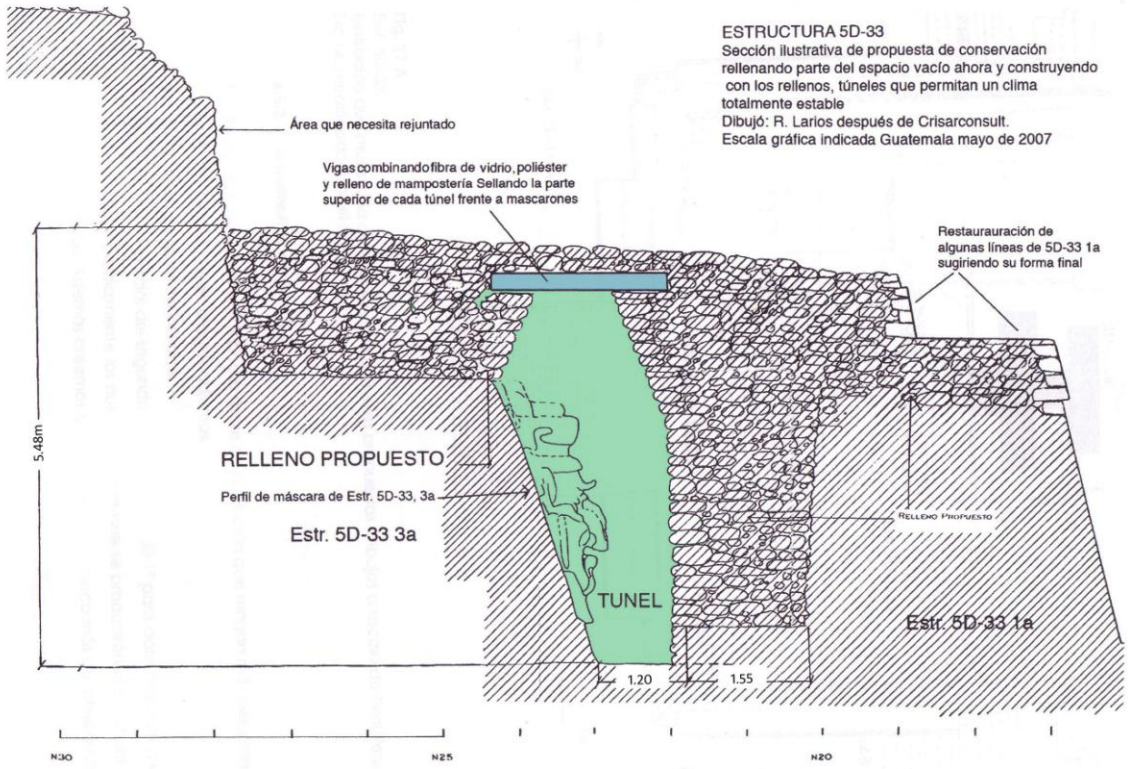

Figura 5 Propuesta