

INFORME DEL DETERIORO Y PROPUESTA PARA LA CONSERVACION DE LA ZONA ARQUEOLOGICA DE MALINALCO, ESTADO DE MEXICO

Luis Torres Montes*
Dolores Alvarez Gasca**
Manuel Reyes García***
José Hernández Rivero****

Introducción

El estudio del deterioro de los materiales constructivos de la zona arqueológica de Malinalco, Estado de México, y las recomendaciones para la conservación de los monumentos, es una asesoría del Laboratorio de Química Antropológica y Conservación del Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM, para el Proyecto Arqueológico Malinalco del Centro Regional del INAH en el estado de México. Este trabajo es el resultado de esa asesoría y está dentro del marco del proyecto de investigación de ciencias de materiales de construcción de bienes culturales. El Proyecto Arqueológico Malinalco obtuvo el apoyo de Fonatur y se prevé como una empresa de desarrollo regional, que incluye no sólo la exploración arqueológica sino también la restauración de los edificios de la zona, así como la toma de otras medidas que aseguren la estabilidad de los materiales de construcción y las estructuras arquitectónicas, en un área adecuada y atractiva para recibir una mayor cantidad de visitantes.

La restauración de monumentos comprende las acciones que ponen la edificación nuevamente en funciones para un propósito

* Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM, México.

** Centro de Investigación en Química Inorgánica, Universidad de Guanajuato.

*** Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, México.

**** Centro Regional del Estado de México, INAH, Edo. de México.

determinado; bien sea la que tuvo originalmente, o con un nuevo destino conforme a sus características, que cubra las necesidades de este nuevo propósito; pero siempre respetando sus valores históricos y estéticos. En otros casos se conserva como un testimonio de actividad, cultura y gustos de nuestros antepasados. Si la restauración está bien ejecutada deja las construcciones con un aspecto agradable con apariencia de solidez y durabilidad. Sin embargo, si no se toman las medidas de preservación que controlen y corrijan el deterioro, la restauración será más peligrosa que si el edificio hubiera permanecido en su estado original.

Los arquitectos egresados de cualquier programa para especialistas en restauración de monumentos, del país o del extranjero, así como los arqueólogos responsables de la reparación de zonas arqueológicas, son conscientes de la importancia del deterioro de los materiales y el tratamiento éstos, están dispuestos a afirmar sus méritos; pero en los proyectos donde ellos participan, a pesar de ser los principales defensores de sus ventajas, en pocas ocasiones observan este punto adecuadamente. Se ataca a los opositores por no tomar en cuenta la investigación científica de los materiales y su conservación, pero el atacante mismo rara vez incorpora estos aspectos en sus proyectos. Hay varias razones para ésta incongruencia.

El conocimiento de la meteorización de la piedra y otros materiales es muy completo y está tan avanzado que el libro clásico *The Weathering of Natural Building Stone* de Schaffer, originalmente en 1973, fue reeditado con modificaciones menores en 1972 (Stambolov y de Boer 1984: 132). Los métodos analíticos progresan tan rápidamente, que año con año se hacen obsoletos, pues su aplicación al estudio de la piedra es casi inmediato; a pesar de ello el avance en el conocimiento de mecanismos y agentes de deterioro es en detalles porque ya se conocen los aspectos importantes.

Los métodos de tratamiento efectivo para los materiales situados en exteriores tienen aún muchos problemas; los procedimientos de comprobada utilidad en piedra y cerámica cuando están a cubierto, no son prácticos para exteriores, y salvo excepciones cuando, se aplican a materiales expuestos a la intemperie no son prácticas (Slater 1977).

En los últimos años algunos procedimientos han tenido éxito para detener el deterioro y consolidar el material expuesto a la intemperie, y aunque el tiempo que han probado su efectividad

ha rebasado el periodo en que otros métodos habían sido considerados dañinos, o en el mejor de los casos inefectivos, su éxito debe verse con reservas y la cautela aconseja considerarlos aún como experimentales (Caroe y Caroe 1989). Los tratamientos prometedores para material constructivo exterior, están indicados sólo si se cumplen indicaciones muy rígidas, porque de lo contrario, son inadecuados y peligrosos.

Este estudio es consecuencia del reconocimiento que la restauración de la zona y la investigación arqueológica no serán suficientes para su conservación definitiva, y que el estudio del deterioro y la aplicación de medidas que mejoren la condición de los materiales e inhiban su degradación serán de gran utilidad. Se realiza porque se reconoce que Malinalco es una construcción monolítica de gran belleza e importancia histórica es única en la América Prehispánica. Se sabe que en Latinoamérica y en los países del Tercer Mundo, son pocos los trabajos de este tipo realizados con una metodología científica, los que se hacen casi nunca llegan a la prensa. Esta investigación aportará datos importantes para el patrimonio cultural del país, y será un antecedente para alentar aplicaciones similares en América Latina. Se demuestra también que a pesar de las limitaciones de equipo y laboratorios, existen en el país recursos científicos y técnicos, y personal especializado para efectuar este tipo de estudios.

Metodología de la conservación de los materiales de construcción

El prerrequisito para aplicar tratamientos en la conservación de cualquier tipo de bien cultural, es un diagnóstico adecuado del deterioro de los materiales y sus causas, esto implica un estudio preliminar para determinar su condición actual. El término preliminar no significa algo realizado a la ligera, se efectúa antes de la restauración, es una investigación científica completa de la naturaleza y composición de los materiales constructivos, los deterioros presentes y las causas que lo han producido, determinando de ser posible, los mecanismos de alteración, particularmente la humedad, su acción específica y la exposición a otros agentes.

Este estudio proporciona un diagnóstico de la "enfermedad" y sus causas que sufren los monumentos, con lo cual se podrá "recetar" la medicina: medidas que inhiban el deterioro y elimi-

nen o controlen las causas que lo producen. Son propuestas técnicas del proyecto arquitectónico, trabajo que se especifica en la bitácora del arquitecto residente, o en el diario de campo del arqueólogo.

Estas recomendaciones deben tener estrictamente la secuencia, tiempo y forma indicada para poder usarse. Los tratamientos pueden ser aplicados de acuerdo con su complejidad, por peones no calificados, albañiles, canteros, artesanos, obreros de la construcción, técnicos restauradores o conservadores profesionales. En cualquier caso se requiere la supervisión responsable de un arquitecto arqueólogo.

Normalmente la intervención de los especialistas termina al entregarse la obra; en nuestro país no existe el seguimiento de los arreglos para verificar su efectividad. En el mejor de los casos puede axistir una reclamación del custodio si al poco tiempo de entregada la obra, se presenta una falla en la restauración o en la funcionalidad del monumento. La carencia de inspección continua es una de las causas de la lentitud en las técnicas aplicadas incluso de graves daños a los elementos arquitectónicos; indudablemente no habrá evaluación de la efectividad de los tratamientos a mediano y largo plazo. Además, al carecer de informes detallados los futuros restauradores no tendrán suficientes datos para diagnosticar los problemas.

Cuando un conservador científico es requerido para realizar la investigación del material se sigue el procedimiento normal.

- 1) Inspección del monumento para evaluar la magnitud del problema, la factibilidad y las necesidades del estudio. Es conveniente y recomendable la compañía del cantero o maestro albañil, quien puede estar muy familiarizado con la obra y los materiales de construcción. En el estudio de zonas arqueológicas conviene la compañía del arqueólogo residente, si lo hay así como del custodio o encargado de la zona.
- 2) Examen preliminar del monumento mediante un estudio megascópico y mesoscópico (a simple vista y a mediano aumento) para determinar su condición y los diversos tipos de materiales; las áreas donde estén alterados por la exposición a diversos fenómenos y las causas que pudieron actuar para provocar el deterioro.
- 3) Muestreo de productos, incluyendo los materiales originales con pruebas de zonas sin alterar y de áreas degradadas;

además de agentes de deterioro como agua del subsuelo o de lluvia, plantas y microorganismos que proliferen sobre el monumento, sales solubles, etcétera.

- 4) Análisis químico para determinar las características de los materiales y agentes de deterioro.
- 5) Interpretación de los análisis para evaluar las alternativas de tratamiento.
- 6) Proponer métodos para la conservación del material constructivo.
- 7) Asesoría para seguir estos tratamientos.
- 8) Inspección periódica para evaluar los resultados a mediano y largo plazo.

Existen trabajos como el de Angelis Dossat (Italia 1972), que describen la metodología para estudiar la condición de los materiales, con sistemas de arquitecto restaurador, Mamillan (1976), en Francia, Weber (1976), en Alemania y Lindquist y otros (1988) en Suecia, describen la metodología del conservador científico.

Hemos solicitado a los alumnos de los cursos de restauración de monumentos en la Universidad de Guanajuato y la Escuela Nacional de Restauración, Conservación y Museografía del INAH -ENCRYM-, propongan una metodología para este tipo de investigación, tomando en cuenta las posibilidades y problemas de nuestro país; y de acuerdo con su preparación, las normas para sus proyectos de restauración. Estos trabajos se aplican y si es posible se mejoran y se adecuan.

La zona arqueológica de Malinalco

La zona arqueológica de Malinalco se encuentra en una meseta semiartificial sobre una montaña conocida como "Cerro de los Idolos", es un afloramiento de rocas situado a suroeste del pueblo de Malinalco que está aproximadamente a 10 km de la ciudad de Tenancingo y seis y medio km al oeste de Chalma. Es un municipio del sur del estado de México; que colinda con Zumpahuacán, Tenancingo, Ocuilan, Joquicingo y estado de Morelos.

Se localiza a 18 57' 11" de latitud norte y a 99 30' 00" de longitud oeste, su altura sobre el nivel del mar es de 1750 m. Está ubicado en un valle en forma de "L" que reúne condiciones fisiográficas y geomorfológicas especiales, su clima es semicálido

subhúmedo tipo {(A)c (W)2 (W)ig}; con abundantes lluvias en verano. La circundan elevadas serranías de clima más frío, la vegetación es de coníferas; la planicie está en un área de transición climática de zonas templadas, bosque tropical subcaducifolio y caducifolio o selvas bajas de tierra caliente. De este a oeste hay una cadena montañosa del Terciario, geológica más antigua, que es parte de la llamada "formación Tepoztlán" de menor altitud, que presenta alfloraciones de formas caprichosas, con fracturas escalonadas, causadas por la erosión. A esta cadena montañosa pertenece el "Cerro de los Idolos" y la zona arqueológica.

Por el régimen pluvial y su tipo de suelos, (luvisol crómico, feozem lúvico y hálpico) el valle es muy fértil en contraste con las montañas de la formación geológica del Terciario, cuyo suelo es tipo litosol. Sin embargo, éstas no son menos fértiles, porque existen especies vegetales adaptadas a este ambiente, que crecen con gran exuberancia sobre todo en época de lluvias.

El nombre de Malinalco deriva de la palabra *malinalli*, significa zacate, yerba. También se interpreta como una abreviación de *malinalxoxhco* y quiere decir "lugar donde se adora a Malinalxóchil", hermana del dios Huitzilopochtli.

La zona arqueológica fué excavada originalmente entre 1936 y 1939, por el arqueólogo García Payón (1947). La altura de las ruinas sobre el nivel del pueblo es de unos 125 m, la vista sobre el valle y la población es extraordinaria, constituye un magnífico punto de vigilancia. Desde que García Payón dio a conocer las exploraciones arqueológicas (1936), a nivel mundial es un ejemplo relevante de arquitectura monolítica. Lo más notable es su templo principal, denominado *cuauhcalli*, que significa casa de las águilas, "morada del sol, casa de los cabelleros águilas, lugar de valerosos hombres que rinden culto al sol". Los elementos asociados con el templo son de tipo bélico: esculturas de águilas, ocelotes, la serpiente de la guerra llamada Izcóatl, portaestandartes, las fauces devoradoras de una serpiente que se identifica como tlaltecutli, una advocación de Coatlicue, madre de Huitzilopochtli, dios del sol, pero también dios de la guerra para la cual vivían los guerreros mexicas.

Según García Payón (1947), estos edificios datan aproximadamente de 1476, año en que Atzayacatl conquistó ésta región. Ahuizotl, otro de los señores mexicas, ordenó la construcción de los monumentos entre 1487 y 1490, siendo entonces cuando el gremio de los canteros o "tetelepance" realizó la talla de los

templos monolíticos. Moctezuma Xocoyotzin, sucesor de Ahuizotl continuó en 1503 con la construcción de los edificios, aunque uno de ellos quedó inconcluso a causa de la Conquista.

Anexo al Cuauhcalli se encuentran varias estructuras de mampostería, una de ellas semimonolítica. Estos basamentos piramidales constituyen el conjunto demoninado *cuauhtinchan*, nombre derivado del anterior. De acuerdo con la numeración de García Payón, el templo número I corresponde a las órdenes militares cuauhtli-océlotl; el número II son las ruinas de una pirámide, el III corresponde a los salones para incinerar a los guerreros muertos; el IV son las ruinas del Templo del Sol, el V es una estructura circular muy destruída y el VI son las ruinas de otra estructura monolítica.

El templo I o Cuauhcalli consta de un basamento piramidal tallado en la roca con dos cuerpos en talud, una escalinata central limitada por alfardas a cuyos lados se encuentran los restos de dos ocelotes y entre los escalones 4 y 7, la parte central tiene la escultura de un portaestandartes. En el piso superior, está el Santuario completamente tallado en la roca con planta circular, la entrada es una puerta que representa la boca una serpiente, con ojos y cejas salientes, colmillos curvos y la lengua bífida tallada sobre el suelo; a los lados se sitúan dos pedestales con restos de esculturas. En el interior existe una banca perimetral sobre la cual hay esculpidas una piel de ocelotes en la parte central profunda; en cada lado de ésta sobre la misma banqueta, hay esculpidas sendas águilas.

El monumento tiene una perfecta orientación hacia el sur, de manera que la puerta de acceso, su pórtico, las escalinatas, la pequeña plataforma superior y los cuerpos piramidales, tienen como objetivo la observación solar en el transcurso del día, situación que aunada a los elementos alegóricos, le imprimen un carácter profundamente esotérico. Este esoterismo se plasma en las características arquitectónicas que con el esteticismo con que fué desarrollado por los aztecas, resaltan el valor místico del templo, a grado tal que desde el inicio de su exploración fue denominado "el Santuario"; nombre que posiblemente esté acorde con la mitología azteca y con las prácticas allí ejercidas. Por ello actualmente merece ser considerado único una obra cumbre de la humanidad.

Frente a éste se encuentra el edificio número II, una pirámide muy deteriorada, planta rectangular, escalera y alfardas. A su

lado está el monumento número V, de mampostería, con planta circular, es muy pequeño y está destruido casi por completo. Hacia el este formando parte del talud del cerro se sitúa el edificio número III, consta de dos aposentos, contruidos con piedra unida con mortero de tierra y cal. El templo número IV es un gran salón rectangular, tiene dos sistemas de construcción, está tallado parcialmente en la roca y también es de mampostería.

En 1521 llegó allí Andrés de Tapia al frente de un grupo de soldados. Según referencias éste incendió y destruyó los edificios; pero Clavijero (1964, 408) dice que el conquistador guerreó con los indígenas, los derrotó y persiguió hasta las faldas del cerro, al cual no pudo hacerle daño porque el monte era inaccesible a la caballería.

Material constructivo de los templos de Malinalco

El "Cerro de los Idolos" según la descripción de Fries: (1960: 108-113) es "El nombre de la formación Tepoztlán se propone para los afloramientos cercanos al pueblo de ese nombre"... aflora a unos tres kilómetros al norte y al sur de esta población y continúa hacia San Agustín; después está sepultada por el Grupo Chichinautzin y no reaparece más hacia esa dirección. La formación reaparece hacia el oriente abajo de la formación Cuernavaca y del Grupo Chichinautzin, continúa unos 15 kilómetros en el Estado de México, Fries no especifica que la formación llegue hasta el lugar donde se encuentra Malinalco; sin embargo, Palacios (1982) en su tesis de maestría si se refiere a este hecho.

La formación está compuesta predominantemente por detritos volcánicos andesíticos, que se depositan en capas cuyo espesor varía desde 0.50 hasta 10 m. Las muestras analizadas de la formación Tepoztlán son descritas como esquilas de andesita porfírica, con orthopiroxenas, clinopiroxenas y anfíbola; concuerda con Malinalco cuyas capas tienen componentes tobaceos y detríticos con texturas que van desde arcilla fina hasta grava de más de 5 a 6 cm de tamaño. Las capas formadas con fragmentos de diferentes tamaños se alternan, aunque a diferencia de otras partes de la formación no existen en el Cerro de los Idolos espesores de capas de más de dos metros, sobre todo de fragmentos grandes. En general las capas de roca donde se encuentran tallados los edificios tienen fragmentos de tamaños no muy bien clasificados, de textura fina a media.

El color va de gris claro a gris oscuro, sin las zonas rojizas, verduzcas o amarillentas que suelen tener en otras partes. Se tomaron varios fragmentos para estudiar la naturaleza de los minerales, así como de las porciones deterioradas de la roca. Las muestras se emplearon para el estudio de petrografía óptica y los análisis por difracción de rayos X.

El informe petrográfico de las muestras de los templos 1 y 6 revelan la presencia de feldespatos, principalmente plagioclasa, esmectita y piroxenos: augita y enstatita. También se presenta materia orgánica.

Descripción petrográfica de la muestra

a) Mineralogía

Feldespatos, plagioclasa, microfenocristales de aproximadamente 0.1 mm de largo sin alterar.

Ferromagnesianos: olivino alterado a idingsita, principalmente en sus bordes; algunos cristales también están alterados por minerales del grupo de la serpentina; los fenocristales miden hasta 1 mm de largo.

Clinopiroxeno

Minerales opacos: gránulos diseminados en la matriz. El Centro de Geología de la UNAM en Guanajuato anota la presencia probable de magnetita y pirolusita.

b) Composición modal estimada.

plagioclasa olivino > clinodpiroxeno minerales opacos.

c) Textura: merocristalina, inequigranular, porfídica, los cristales son de olivino euhedral a subeuhedral de 1 mm de largo. Constituyen menos del 5% de la roca. La plagioclasa ocurre únicamente como microfenocristales, orientados al azar. Uno de los rasgos más relevantes de la roca es la presencia de fragmentos líticos de composición basáltica, de 3 mm de largo, lo que no concuerda con el informe de Fries para la formación Tepoztlán, que habla de composición andesítica, probable causa de los colores negruzcos y más oscuros, con ausencia de claros y verdosos. La matriz es vítrea, de color ámbar y se caracteriza por tener diminutos cuerpos esferoidales ligeramente birrefringentes. El índice de refracción es menor al del termoplástico, por lo que se cree que es palagonita (vidrio basáltico hidratado). La presencia de los fragmentos líticos sugiere que puede ser una roca piroclástica.

tica, aunque en la matriz -posiblemente a causa de la hidratación- no se observan los rasgos texturales propios de una toba.

d) Clasificación toba (?) basáltica palagonizada

La difracción de rayos X de la misma muestra indica la existencia de plagioclasas tipo alvita y arcillas del grupo de las esmectitas (montmorillonita), así como ilmenita -óxido doble de hierro y titanio- clinohumita y ferromagnesianos tipo piroxenos: augita y enstatita. Como minerales probables se han encontrado la smythita, fayalita y rodonita. Se hizo el examen petrográfico y el análisis por difracción de rayos X de otra muestra procedente de un área alterada de color blanco, donde se supuso presencia de sales, que quizá corresponde a una porción de material alterado por hidrólisis. Hay disminución de clinohumita, en cambio la cantidad de montmollinonita es mayor y parece indicar que los feldespatos y la clinohumita se transforman, la primera en arcilla y la segunda en silicato de hierro -fayalita-. Tampoco se encuentra en esta muestra la ilmenita, posiblemente porque cambia a fayalita.

El deterioro de la esculturas y el edificio es avanzado en las capas más porosas, aunque en los análisis las composición mineral es muy parecida a las capas más finas. En cuanto a esta observación los peones y trabajadores del proyecto afirman que hay rocas de diferente durabilidad, y corresponden a las capas más y menos porosas. Se buscaron muestras menos deterioradas con las características de las capas de grano grande, y capas de grano fino con mayor deterioro, como en las esculturas de los acelotes, laterales del templo, para determinar la porosidad y la razón del deterioro en cada caso. En ocasiones se siguieron los estratos hasta zonas aledañas para muestrear material idéntico al de las esculturas.

Se tomaron dos fragmentos de lugares diferentes al Cuauhalli, con las mismas características de los estratos encontrados en el templo. Se dividió cada uno en dos fragmentos más pequeños, uno para determinar el peso específico y el otro la densidad aparente.

Determinación del peso específico

Para determinar el peso específico se empleó "método de frasco", que es el más común y accesible, se basa en el mismo

principio de la balanza hidrostática. Inicialmente se pesa el cuerpo sólido en el aire, se pone agua hasta el borde en un pignómetro, y se introduce la muestra en el frasco, con lo cual desplazara un volumen de agua igual al del sólido, el cual será la diferencia. El peso específico es el cociente del peso del sólido entre el volumen del mismo.

$$Pe = \frac{Pc}{(Pf + Pc) - Pfc}$$

Donde: Pe = peso específico de la muestra
 Pc = peso del cuerpo en el aire
 Pf = peso del frasco con agua
 Pfc = peso del frasco con agua y la muestra dentro

La determinación de la densidad aparente se hace por medio del método del terrón (Blake 1965); y puede calcularse a partir de su masa y volumen. Para esto se recubre el fragmento con una sustancia repelente al agua y se pesa, primero al aire y después sumergido en un líquido cuya densidad sea conocida; se aplica el principio de Arquímedes.

Inicialmente se seca el material a 105C, se enfria en un desecador y una vez frío se pesa la muestra, se sumerge momentáneamente en parafina derretida, y se escurre el exceso. Al solidificarse se pesa nuevamente, se quita el material cubierto por el agua y se vuelve a pesar.

La densidad aparente se calcula con la fórmula siguiente:

$$Da = \frac{Dw - Posm}{\{Pma - Pmpw + Pmpw - (Ppa - Dw/Dp)\}}$$

Donde: Da = densidad aparente
 Dw = densidad del agua
 Posm = peso del terrón secado en la estufa
 Pma = peso neto del terrón en el aire
 Pmpw = peso neto de la muestra + parafina en el agua
 Ppa = peso neto de la parafina en el aire
 Dp = densidad de la parafina, aproximadamente 0.9

Con estos valores se calculó la porosidad según el método de Davis (1954).

$$\text{Porosidad} = 1 - \frac{\text{densidad aparente}}{2.65} \times 100$$

Para la muestra de grano grueso la densidad fué de 1.7, con porosidad de 35.8%, su peso específico fue de 2.24 gr/cm³.

Los valores obtenidos son conforme a los resultados de la literatura para areniscas. La densidad de las arenas es de 1.6 y 2.50 con porosidad de 6 al 40%. Athy (1930) ha dado para la mayoría de las areniscas un rango de densidad entre 1.85 a 2.40 y porosidad entre 9 y 30. Se comenta que el método de Blake da valores con densidad aparente más alta, porque no considera los espacios entre los agregados. Otra razón que se argumenta es que el volumen del terrón se determina en suelos secos y otros métodos que realizan con la humedad que tienen *in situ* los agregados; pero la observación no es muy válida para muestras de roca de mayor solidez.

En las rocas de grano fino la porosidad es alta y la densidad aparente es baja. La fina estructura porosa y el tamaño de la partícula motiva una gran superficie específica y la absorción de líquidos y gases es enorme; los fenómenos químicos y físicos de meteorismo son rápidos produciendo un mayor deterioro. Así en Malinalco, los estratos mas degradados contienen más arcilla por lo cual son de textura más fina y mayor porosidad.

Otra causa importante para la degradación es que aunque existe relación entre la porosidad, la densidad aparente y la compactación causada por presión de las capas superiores, la diferencia entre porosidad y densidad se debe al tamaño de los fragmentos y a las formas de los granos, así como a la cantidad de material semejante que presentan en sus poros.

La humedad favorece la proliferación de microorganismos, que colaboran al meteorismo de la roca. Estos fenómenos se observan en la piedra de Malinalco, donde se reproducen líquenes del orden foliosa; otros crecen sobre los materiales de construcción, son probablemente de la especie *Pseudoparmelia baltimorensis*, presenta las características descritas por Hale (1969; 38).

Las razones del deterioro producido por los líquenes se debe a:

- 1) Los líquenes foliosa y crustosa dificultan la evaporación del agua y mantienen la roca húmeda por largos períodos.
- 2) Al secarse e hincharse por los cambios estacionales de humedad, los líquenes ejercen fuerzas que producen deterioro mecánico a la roca.
- 3) Sus mecanismos de sostén y alimento se introducen en la estructura porosa de la piedra y provocan la fragmentación y pérdida del material.
- 4) Se alimentan por intercambio iónico y generan ácidos que degradan a la piedra de la cual extraen iones de ciertos metales por acción quelante, que incorporan a sus organismos.

También se observa la presencia de algas, identificadas como cianoficias y cloroficias, posiblemente también la *Oscillatoria sp.*

Los análisis petrográficos y la difracción de rayos X muestran una hidrólisis acelerada de la piedra, en los laterales componentes ferromagnesianos y los feldespatos están siendo degradados. La presencia de arcillas indica una caolinización mientras que los ferromagnesianos no atestiguan la típica limonitización o hematización, como es característico de climas húmedos, sino que se alteran a serpentina.

Tratamientos anteriores efectuados en la zona arqueológica

Además de la restauración de los edificios, al derrumbarse parte de una pared de adobe a causa de los fuertes aguaceros, dejó al descubierto varios fragmentos de pintura mural que se borraba con la mayor facilidad, pues no podía "cepillarse" (García Payón 1947:20). Inmediatamente se aplicó por aspersión, una capa de "duco transparente", sobre las manchas de lodo que la recubrían; se aplicó el mismo tratamiento a la pared porque se estaba desmoronando. Después de las lluvias se eliminaron los recubrimientos de lodo y se aplicó una "gruesa capa de barniz duco transparente y más tarde el artista y arqueólogo Miguel Angel Fernández hizo su reconstrucción" (García Payón 1947:20).

Un dato de interés para la historia de la restauración en México fue la aplicación superficial de "duco"; un adhesivo de la

Compañía Dupont a base de carboximetil celulosa, que reafirma la capa pictórica de vasijas y pinturas murales; una práctica común entre los arqueólogos mexicanos de hace unos 50 años. Este procedimiento produjo resultados desastrosos pues el adhesivo se amarilla y encoge con el tiempo; al contraerse se desprende de la capa de pintura. Esta práctica se continuó hasta que en los sesenta se fundó, en el Departamento de Prehistoria del INAH, el Laboratorio de Conservación de Materiales Arqueológicos donde llegaron ejemplares patéticos de vasijas teotihuacanas tratadas con "duco". El deterioro observado hizo que el "duco" dejara de emplearse.

Con el fin de erradicar la microflora y buscar el control biológico a largo plazo, el "Proyecto arqueológico Malinalco 1987-1988" realizó varios tratamientos en el monumento principal (Cuauhcalli) y en otras construcciones aledañas. El objetivo fue controlar el deterioro de los materiales para preservar a largo plazo la forma y estructura del basamento monolítico. Se procuró eliminar el crecimiento de líquenes y musgo, aunque en las partes examinadas éstos no se encontraron.

Se inició el trabajo limpiando la gruesa capa de microflora que cubría la superficie de la piedra, una de las causas más importantes de degradación del material. De acuerdo con los informes, el crecimiento vegetal tenía de 1 a 5 cm de espesor, y estaba relación directa con el grado de humedad. Este tipo de limpieza incluyó no solo el templo principal, sino también la estructura VI y al porción de roca natural. Esta intervención fue asesorada en primera instancia por la restauradora Esperanza Teyssier Mont de la Zona Arqueológica de Teotihuacan con un dictamen de la eficiencia del tratamiento por el biólogo Pablo Torres de la ENCRYM, ambos del INAH. Torres concluyó que ésta limpieza no era la adecuada y se dedicó a investigar las causas del deterioro. Desgraciadamente por la dificultad de coordinación entre ambos conservadores y la interrupción brusca de los trabajos en diciembre de 1987, la labor ya se continuó.

Durante la segunda temporada se continuó el trabajo con la colaboración de la restauradora Guadalupe Peredo R. del Instituto Mexiquense de Cultura. Se realizó la limpieza mecánica del templo principal, área donde se concentraron los trabajos, efectuados con bisturí y cepillo de cerdas metálicas. Posteriormente se efectuó una limpieza con agua amoniacal y formol y se hicieron aplicaciones con peróxido de hidrógeno -agua oxigenada- para eliminar toda actividad microbiológica.

Durante este periodo participó el agrónomo Vicente Zacarías, quien realizó pruebas con varios bioácidas buscando la destrucción de la clorofila, incluyendo óxido cuproso (Cu_2O) que es un anticriptogámico que no deja remanentes ácidos que pudieran dañar la piedra. También se hicieron pruebas con oxiclóruo de cobre de 20 gr/l de agua, que como el anterior es un desencate de la clorofila. Otro producto utilizado fué el *gramoxome* a 10 cm^3/l .

El empleo de estas sustancias no produjo resultados satisfactorios; por lo cual se considera que el tratamiento más efectivo fue la limpieza mecánica profunda efectuada por Peredo. Los microorganismos encuentran medio propicio cuando se aplica un bioácida soluble en agua que es lavada por las lluvias; si en el área existen propágulos que podrían resistir al bioácida si existe material degradado que no se elimina por el proceso y proporciona nutrientes a los líquenes, hay el medio propicio para la reiniciación del ataque. En la limpieza profunda se aplicó un oxidante energético -el agua oxigenada- se eliminaron los productos de deterioro superficial y los propágulos, dejándose quizás un estrato sin nutrientes para apoyar la reinfestación.

Una sola aplicación de bioácida no es suficiente para erradicar los ataques, de manera que para evaluar su efectividad debe seguirse un programa que incluya aplicaciones periódicas por varios años, no menos de cuatro.

Proyecto de trabajo para el control biológico

El deterioro por hidrólisis y por acción de microflora, es consecuencia de la humedad. Para preservar los materiales es necesario que disminuya la filtración del agua de lluvia; para que no alcance a los monumentos. Se recomienda construir desagües que dirijan los escurrimientos hacia partes alejadas del "Cerro de los Idolos". Otra medida recomendable es construir en la roca, alrededor de la terraza. En 1988 al final de la temporada de lluvias, se hicieron zanjas en la parte superior cerca de los edificios y se comprobó su efectividad; en 1989 grandes volúmenes de agua pudieron ser fácilmente desviados hacia otros lugares del cerro.

El control de los líquenes fue más efectivo con la limpieza profunda que eliminó mecánicamente la capa vegetal; aunque su acción es destructora. Para hacer una propuesta final se presenta más información para tomar una decisión más adecuada.

En la zona arqueológica de Copán, Honduras, existió un ataque muy grave de líquenes. Las pruebas realizadas por Guido

D. Castell en mayo de 1975, consistieron en la desinfección energética con un preparado de ácido clorhídrico que no solo eliminó la microflora, sino también los productos superficiales de alteración. Los tratamientos posteriormente de Hale (1975, 1979), fueron aplicaciones alternadas de soluciones de hipoclorito de sodio y soluciones de borax. Este proceso eliminó los líquenes, pero la reinfestación ocurrió más pronto que en las piedras tratadas drásticamente por Castell, que aún después de 10 años se mantenían sin ataque microorgánico. Estas experiencias indican que un tratamiento drástico mantiene más tiempo los monumentos libres de microflora, pero el proceso puede provocar daños al material destructivo; mientras que los tratamientos inocuos para la piedra, requieren un programa continuo para lograr el control biológico.

Los biocidas empleados por Hale (1979) fueron soluciones de cloro activo al 5.25%, que se diluía con 5 litros de agua y una solución de bórax -tetraborato de sodio- al 4%. Se aplicaba primero el cloro, que es un destructor de la clorofila, y después la solución de borax, en días alternados, a razón de 300 ml/m². Como la penetración del bórax es más difícil, en las áreas de infestación abundante se aumentó a 500 ml/m². Posteriormente Hale aplicó un preparado a base de óxido-tributil-estaño, con resultados satisfactorios. Los tratamientos se repitieron -cada seis meses- y cuando se eliminaron los líquenes se continuó observando, para aplicar un nuevo tratamiento al reaparecer el ataque, unos cuatro años después de la última aplicación.

Las ventajas de las soluciones de cloro y bórax es que a) son baratos y fácilmente obtenibles, b) no son tóxicos para el hombre y pueden aplicarse sin peligro para el usuario c) no requieren equipo complicado y d) los crecimientos orgánicos se desprenden solos o con una ligera ayuda mecánica.

Para Malinalco se propone el método de Hale, en un programa que incluye el primer tratamiento al final de la temporada de lluvias, con aplicaciones cada seis meses hasta lograr la completa desaparición de la microflora; con inspecciones anuales para determinar el tiempo en que reaparece el ataque y aplicar a tiempo un nuevo tratamiento.

Es conveniente evaluar también otros bioácidas como el óxido cuproso, el oxiclورو de cobre, el gramoxone, el óxido tributil estaño y las aminas cuaternarias de amonio, para compararlos con el procedimiento de Peredo y la recomendación para Mali-

nalco; pero usando áreas de piedra sin tallar las paredes de las escaleras de acceso a la terraza. Así se adquirirá una experiencia que permita conocer su efectividad, y desde el principio se prestará la atención a los edificios con un método de efectividad probada; que podría ser sustituidos si se encuentra otro con mejores resultados.

Agradecimientos

En todo trabajo científico hay personas e instituciones que aportan recursos y esfuerzos para que éste llegue a buen término, en el Proyecto Malinalco queremos agradecer a todos los que dieron soporte definitivo.

Agradecemos a la doctora Mari Carmen Serra Puche, Directora del Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM, al ingeniero Salvador Aguilar, Director del Centro de Investigación en Química Inorgánica de la Universidad de Guanajuato, al arquitecto Carlos Martínez Ortigoza, Director del Centro Regional del Estado de México; del INAH el apoyo y los recursos prestados para la realización del trabajo de campo y los análisis de laboratorio, sin ellos ésta publicación no hubiese sido posible.

En la zona arqueológica de Malinalco recibimos la asistencia de Daniel Granados Vázquez, arqueólogo residente, quien con los encargados y trabajadores contribuyeron con su experiencia para facilitar el trabajo de campo. El ingeniero Gregorio Solorio de la Estación Guanajuato del Instituto de Geología de la UNAM, realizó el examen petrográfico y nos guió con asistencia capacitada en San Luis Potosí. En el Centro de Investigación de Química Inorgánica, la química Yolanda Gallaga corrió la difracción de rayos X. La M. en C. María de los Angeles Herrera Campos, profesora de la Facultad de Ciencias de la UNAM, ayudó en la identificación de los líquenes y el químico Daniel Alfonso Hernández Santiago, del Instituto de Geología de la UNAM asesoró para la determinación de la densidad de las muestras de roca.

Finalmente agradecemos al licenciado Mario Sánchez Oviedo, al licenciado Ruben Sánchez Pulido, y a la arquitecta Dora Luz Nieto Enríquez, director, subdirector y coordinadora de proyectos especiales, de FODETUR del Estado de México, respectivamente por el apoyo que en todo momento nos prestaron para la realización de este trabajo.

ABSTRACT

The Aztec monolithic temples at Malinalco are carved on a basaltic tuff over an artificial terrace of the "Cerro de los Idolos". Climate, horography and geology are know, as in the history of the site since its construction. Petrographic and X-ray Diffraction analysis were performed as well as the determination of porosity and density on samples of stone with and without deterioration. The stone is a basaltic palagonized tuff with feldspars (albite), ferromagnesian minerals (clinopiroxenos), smectite, ilmenite, smithite, fayalite and rodonite. The weathered samples has less albite and clinohumite but more smectite; ilmenite disappears due to its trasformation to tayalite. The main deterioration agent is percolating rain water that promotes hidrolisis of the minerals, and is noted that deterioration rate has a direct relation to porosity. Lichens *foliosa sp.* are present. Recommended conservation measures were to carve drain courses around the constructions, to keep the protecting roof and to apply a lichens control program.

REFERENCIAS

ATHY, L. F.

1930 "Density, Porosity and Compation of Sedimentary Rocks"
Bulletin of the American Society of Petrology and Geology 14:1.

BLAKE, G. R.

1965 "Bulk Density", *Methods of Soil Analysis* Part 1, American Society of Agronomy 9:381-382.

CAROE, A. D. R. y M. B. CAROE

1989 *La Cantera: Mantenimiento y reparación superficial*, Antropología y Técnica No. 3, México, UNAM, Instituto de Investigaciones Antropológicas.

CLAVIJERO, Francisco Javier

1964 *Historia Antigua de México*, México, Editorial Porrúa

DAVIS, D. H.

1954 "Estimating Porosity of Sedimentary Rocks from Bulk Density", *Journal of Geology* 62:102.

DE ANGELIS D'ossat, G.

1972 *Guide to the Methodological Study of Monuments and to their Causes of Deterioration*. Rome, ICCROM.

FRIES, Carl Jr.

- 1960 *Geología del estado de Morelos y de partes adyacentes del Estado de México y Guerrero, región central meridional de México*. México, UNAM, Instituto de Geología.

GARCIA PAYON, José

- 1947 *Los monumentos arqueológicos de Malinalco*, México, Gobierno del Estado de México.

HALE, Mason E.

- 1969 *How to Know the Lichens* 2a. ed, Iowa, Dubuque, Wm. C. Brown Co. Publishers.

- 1975 "Informe sobre el crecimiento de líquenes en los monumentos de Copán, Honduras" *Yaxkin* (1): 6-9 y 16.

HALE, Mason Jr.

- 1979 "Conservación de Monumentos Arqueológicos Mayas en Copán, Honduras" *Yaxkin* 3 (2): 135-149.

LINDQUIST, O., R. E. MANGIO, L. E. OLSSON y J. ROS-VALL

- 1988 "A Case Study on the Deterioration of Stone. The Cathedral Well (Domkykobrunnen) in Goteborg" *Durability of Building Materials* 5: 581-611.

MAMILLAN, M.

- 1976 "Métodes d'essais physiques pour évaluer l'altération des pierres des monuments", Rossi-Maneresi, R. (ed.), *The Conservation of Stone, I*, Proceedings of the International Symposium, Bologna, June 19-21, Bolonia, Centro per la Conservazione delle Sculture all aperto, 789 p., + ill.

PALACIOS PRIETO, José Luis

- 1982 *Análisis geomorfológico de la región de Cuernavaca, Tenancingo-Ixtapan de la Sal, estados de Morelos y México*. México, UNAM, Facultad de Filosofía y Letras, tesis de maestría.

SCHAFFER, R. J.

- 1972 *The Weathering of Natural Building Stone*, Garstone, Building Research Establishment, (Reimpresión facsimilar con notas de la edición de 1932).

SLATER, G. A.

- 1977 *Stone Preservatives: Methods of Laboratory Testing and Preliminary Testing Criteria*, Technical Note 941, Washington, D. C., National Bureau of Standards, 79 pp.

STAMBOLOV, T. y J.R. van ASPEREN de BOER

- 1984 *Deterioro y la conservación de materiales porosos de construcción en monumentos. Una revisión bibliográfica*, México, UNAM, Instituto de Investigaciones Antropológicas.

WEBER, H.

- 1976 "Stone Renovation and Consolidation using Silicons and Silisic Esters", Rossi-Maneresi, R. (ed.) *The Conservation of Stone I*: 375-385, Bolonia.