
Contaminación en la Ciudad de México y el Deterioro de la Pintura Mural de Tenochtitlan

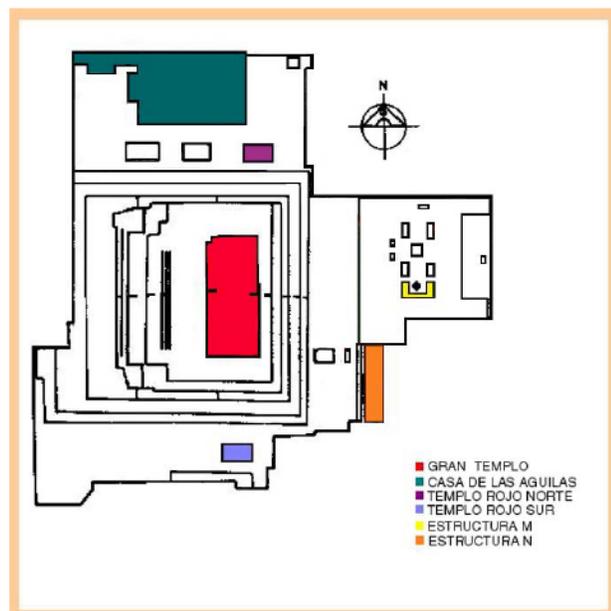
Mtra. Dulce María Grimaldi*
SCAA – CNCPC – INAH

Introducción

Durante los años 1999 y 2000 se llevaron a cabo análisis de muestras de pintura mural procedente de algunos edificios de la Zona Arqueológica del Templo Mayor de Tenochtitlan, ubicada en el centro de lo que actualmente es la Ciudad de México. Los análisis tenían como objetivo comprender algunos aspectos de la influencia de la contaminación ambiental en la Ciudad de México como causa del deterioro observado en la pintura mural. Esta investigación constituye uno de los esfuerzos por conocer los aspectos que se relacionan con la conservación de vestigios de la cultura mexicana y se suma a numerosos esfuerzos realizados por más investigadores del Instituto Nacional de Antropología e Historia de México.

La Pintura Mural de Tenochtitlan

Las pinturas murales de la Zona Arqueológica del Templo Mayor de Tenochtitlan fueron elaboradas por los mexicas entre los años 1325 y 1521, fechas que corresponden a la fundación de la ciudad y a su caída frente a los conquistadores españoles. Las pinturas formaban parte de las edificaciones localizadas dentro del recinto ceremonial de la ciudad, en donde destacaba la edificación principal llamada el Templo Mayor. Los edificios mostraban diferentes etapas constructivas, y frecuentemente se aplicaron capas de pintura mural sobrepuestas. Entre los edificios que actualmente muestran restos de pintura mural destacan el Adoratorio a Tlaloc, el Adoratorio a Huitzilopochtli, la Casa de las Águilas, los Templos Rojos Norte y Sur, la Estructura M y la Estructura N. En ellos se observan



* Lic. En Conservación de Bienes Muebles por el Encrym. Maestría en Ciencias de Arte por la Universidad de Queen's en Kingston, Canadá. De 1994 a 2002 formo parte del equipo de conservación del Museo y Zona Arqueológica de Templo Mayor. Actualmente es Subdirectora de Conservación Arqueológica y Acabados Arquitectónicos de la CNCPC

motivos geométricos y elementos figurativos. Las observaciones detalladas de la arqueóloga Olmedo detectaron en los Templos Rojos iconos representados frontalmente, diseños geométricos y rectilíneos, representaciones de parafernalia ritual, así como figuras y representaciones zoomorfas (Olmedo 2002).

En los elementos se percibe que no existió un interés por representar fielmente la realidad, sino plasmar elementos simbólicos, por lo que no existe el manejo de perspectiva y las figuras se realizaron del fondo mediante el uso de líneas de contorno pintadas o incisas.

Las pinturas se realizaron sobre muros de piedra con un aplanado de lodo o de cal sobre los que aplicaron pigmentos identificados como hematita, limonita o geotita, azul maya, carbonato de calcio, caolín, negro de carbón y negro de humo (Franco 1990).

Una sola técnica pictórica se empleó para la pintura sobre aplanado de lodo, y varias para la pintura sobre aplanado de cal, de acuerdo a los resultados de investigaciones recientes (Grimaldi 2002). Aquellas sobre aplanado de lodo se pintaron cuando éste se encontraba aún húmedo, para favorecer la adherencia entre la base y la capa pictórica. Los análisis realizados sugieren que también se empleó agua o lechada de cal junto con un aglutinante orgánico, probablemente un mucílago de alguna planta de la región, para favorecer la adherencia de los pigmentos al muro. Por su parte, las pinturas realizadas sobre enlucido de cal emplearon la técnica al fresco o la técnica al secco, al parecer asociadas con la etapa constructiva a la que pertenecieron. En la técnica al secco es probable que se empleara el mismo aglutinante orgánico de planta de la región, tal vez una cactácea. No ha sido posible identificar tal aglutinante hasta el momento debido a la alteración en la información provocada por contaminación con materia orgánica en descomposición; hecho muy común en este sitio con importante actividad humana desde la época prehispánica hasta nuestros días.

Las pinturas murales de esta zona arqueológica presentan un alto deterioro. Actualmente, y durante algunos años, han estado protegidas de la lluvia



Pintura mural sobre enlucido de cal del Adoratorio de Tlaloc



Pintura mural del Templo Rojo Norte protegida por cubierta y cortinas

y el viento mediante techos de metal con cortinas de tela que cuelgan para proteger las construcciones con pintura mural. A pesar de las protecciones implementadas, en diversas áreas se observa desprendimiento de capa pictórica y base de preparación, agrietamiento, alteración cromática y obscurecimiento de la superficie, y sobretodo presencia de eflorescencias y sub-florescencias salinas.

Contaminación en la Ciudad de México

La Ciudad de México ocupa, como ya se mencionó, lo que antiguamente fuera la ciudad mexicana de Tenochtitlan, incluyendo los lagos que la rodeaban. En la actualidad, el sitio está densamente poblado, con 20 millones de habitantes aproximadamente, y es un centro urbano altamente contaminado, en donde los lagos se han secado y el ambiente ha sufrido un cambio drástico. La Ciudad esta en un valle rodeado de altas montañas, lo que dificulta la circulación del aire. La densa población, desfavorables condiciones geográficas y numerosas fuentes de contaminación, principalmente motores de vehículos e industriales, se combinan para producir una alta contaminación del aire, la cual se dispersa lentamente del valle. El problema se incrementa cuando la fuerte radiación solar promueve la acelerada formación fotoquímica de contaminantes (Gobierno del Distrito Federal 1997). De acuerdo a los monitoreos de la calidad del aire realizados por la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de Distrito Federal, existen altos niveles de ozono y partículas suspendidas en el aire. En contraste, se ha logrado realizar un control efectivo de las emisiones al aire de plomo y bióxido de azufre, las cuales hace algunos años resultaban alarmantes.



La zona arqueológica del Templo Mayor en el centro de la actual Cd. de México

Independientemente de los niveles que registran los elementos contemplados por el monitoreo, el ambiente de la Ciudad de México es oxidante y en consecuencia favorece la transformación del bióxido de azufre en sulfatos y ácido sulfúrico cuando existen las condiciones adecuadas de humedad (Departamento del Distrito Federal-Gobierno del Estado de México 1996). Además, a este problema se suma el efecto catalizador de partículas atmosféricas que se depositan como polvo en las superficies, incluyendo la superficie de las pinturas murales, y que aceleran la reacción entre los contaminantes y los materiales con los que entran en contacto. El análisis elemental de partículas atmosféricas de muestras de polvo proveniente del Centro Histórico ha permitido detectar la presencia de azufre, cloro, titanio, hierro, cobre, zinc, bromuro y plomo; con alta concentración sobretodo de azufre, cloro, hierro y titanio (Barfoot *et al.* 1984).

Contaminación en Templo Mayor y estudios previos

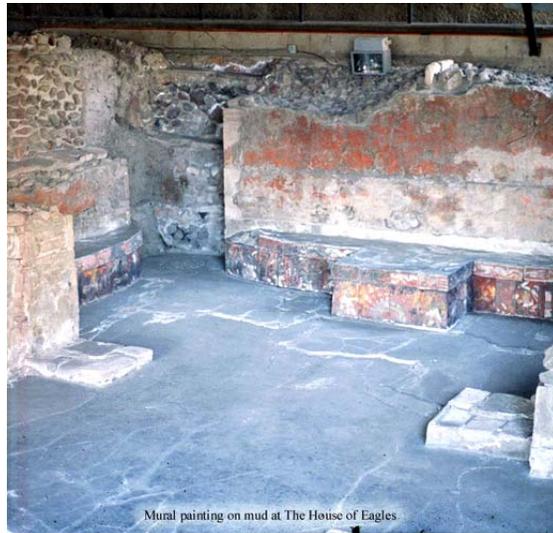
A pesar de que los edificios con pintura mural en la zona arqueológica se encuentran techados, las partículas en el polvo y los gases junto con el vapor de agua pueden formar soluciones líquidas como es el caso del ácido sulfúrico y entonces reaccionar con los constituyentes de los murales. En esta zona arqueológica existen fluctuantes condiciones de humedad relativa que van desde 17% hasta 98% (Gallardo y Grimaldi 1998), y que promueven la formación de esas soluciones líquidas, así como la hidratación y cristalización de las sales.



Pintura mural sobre enlucido de cal de uno de los templos rojos

Como es de esperar, no sólo el aire de la ciudad está contaminado; también lo está el agua del subsuelo, el cual tiene, por cierto, un alto y fluctuante nivel. El agua del subsuelo entra frecuentemente en contacto con los muros de los edificios del Templo Mayor, y ha acarreado materia contaminante al interior de los mismos. Análisis del agua del subsuelo en el Templo Mayor llevados a cabo en 1994 mostraron una fuerte contaminación con materia orgánica, como lo prueba el alto contenido de nitrógeno. También se detectaron en el agua cloruros, sulfatos, fosfatos, fluoruros, así como bióxido de silicio, sodio, hierro, calcio, magnesio, aluminio y manganeso (Fermi 1994).

En estudios previos acerca del Templo Mayor de Tenochtitlan, la contaminación en el aire ha sido mencionada como una causa importante de deterioro de las pinturas murales. Franco (1990) ha relacionado la contaminación del aire con el deterioro de los estucos de cal que cubren los muros de varias de las edificaciones en el sitio arqueológico. Estos estucos no estaban cubiertos por techo y en consecuencia, la lluvia ácida disolvió el carbonato de calcio de los estucos. Un segundo proceso de deterioro se observó cuando partículas sólidas en el aire se depositaron en el estuco de cal y formaron una costra porosa que retuvo gases y humedad de la atmósfera y favoreció la reacción entre los ácidos y el carbonato de calcio.



Banquetas de la Casa de las Águilas

En esta zona arqueológica también se han estudiado los efectos de la contaminación del aire sobre banquetas policromas de piedra en la Casa de las Águilas. De acuerdo a los resultados de los análisis realizados, gases de azufre se mezclaron con vapor de agua y transformaron el carbonato de calcio de las banquetas en yeso (Miranda *et al.* 1999). Este mismo estudio detectó una importante concentración de zinc en las banquetas, el cual funciona como agente catalizador de las reacciones de transformación de los materiales constitutivos.

En elementos del Templo Mayor también se ha detectado la presencia de sales de cloruro y azufre, aunque no siempre se ha estudiado su relación con la contaminación ambiental. Sales aparecieron en la superficie de las pinturas después de su descubrimiento. A pesar de que las pinturas murales fueron posteriormente tratadas varias veces, eflorescencias y subeflorescencias salinas de cloruros y sulfatos se han reportado en múltiples ocasiones (Franco 1990, Xelhuantzi 1997). Las sales han producido un extenso deterioro debido a su proceso de cristalización e hidratación asociado con la expansión de volumen que ha afectado la estructura interna de las pinturas murales y las estructuras de la zona arqueológica.

La reciente investigación

Se analizaron un total de cincuenta y cuatro muestras de los edificios con pintura mural en la zona arqueológica con métodos complementarios de macro y microanálisis. La investigación incluyó la observación *in situ* y observación con microscopio óptico del total de las muestras, a partir de donde se realizó una selección de muestras para analizarlas mediante microscopía electrónica de barrido acoplada con microanálisis de rayos X dispersivo de energía, difracción de rayos X y espectroscopía infrarroja¹

El análisis de las muestras registró principalmente la transformación de algunos materiales constitutivos de la pintura mural; transformaciones producto de la reacción con alguna forma de óxido de azufre proveniente de la contaminación ambiental. Al realizar el microanálisis elemental en muestras de pintura sobre lodo se detectó un alto contenido de azufre en las capas cercanas a la superficie,

¹ La microscopía óptica se realizó empleando un Microscopio Nikon S-Kt. Se observaron muestras de cortes estratigráficos con luz reflejada.

Los análisis de microscopía electrónica de barrido con microanálisis de rayos X dispersivo de energía emplearon un Microscopio Electrónico de Barrido Amray 1810 acoplado con un Espectrómetro Dispersivo de Energías DEVEX Quantex Version VI. El análisis se corrió con un voltaje de aceleración de 20kV, a una distancia de trabajo de 21 mm durante 200 segundos. La magnitud en la mayoría de las ocasiones fue de 105X. Se recubrieron las muestras con carbón o con oro. Se analizaron áreas específicas en el microanálisis de rayos X dispersivo de energía y se tomaron tres lecturas en cada punto para obtener un valor promedio.

La difracción de rayos X se llevó a cabo en dos equipos dependiendo de la cantidad de muestra disponible. Para muestras pequeñas se empleó la Cámara Gandolfi de 114.2 mm de diámetro. El análisis se corrió durante 18 horas. Los parámetros empleados fueron 40kV y 20mA, en atmósfera de cobalto. Muestras con mayor cantidad de material se analizaron empleando un Difractómetro de Polvo Phillips 1010. El análisis se corrió durante una hora empleando los mismos parámetros de trabajo mencionados. Los resultados se compararon con patrones de referencia del programa X-Plot™ de Windows, versión 1.29.

El análisis de espectroscopía infrarroja empleó un Espectrómetro FTIR Nicolet 510P acoplado con un Microscopio Infrarrojo NIC-plan. El tamaño de apertura fue de 30 X 30µ. Se reunieron los espectros de 100 barridos recolectados entre 4000- 650cm⁻¹, a una resolución de 4 números de onda. Las muestras se presionaron en una celda de diamante para adelgazarlas.

mayores al contenido de las capas interiores. Mientras tanto, el análisis de difracción de rayos X y la espectroscopia infrarroja identificó yeso en muestras de la superficie de los murales sobre lodo. La presencia de yeso se asocia con áreas pulverulentas y desprendimiento de material constitutivo.



Eflorescencias salinas en uno de los Templos Rojos



Corte estatigráfico de pintura mural sobre enlucido de cal, en donde el área oscura registró un alto contenido de azufre en el microanálisis elemental

Por otra parte, en los murales sobre enlucido de cal también se registró la presencia de azufre en el microanálisis elemental. Así mismo, se identificó, mediante difracción de rayos X, yeso, thenardita y darapskita. La presencia de estas sales se asocia con alteración física en la superficie de las pinturas debido a la presencia irregular de una capa blanca que impide la clara observación de las pinturas, pulverulencia y desprendimiento de capa pictórica de los murales provocada por las subflorescencias. Este fenómeno observado en el microscopio óptico mostró áreas oscuras que en el microanálisis registraron una alta concentración de azufre

De entre las sales identificadas destaca la thenardita, sulfato de sodio, la cual se detectó como eflorescencia y subflorescencia en los murales. Esta sal es reconocida por su alta peligrosidad para la conservación de muros y edificaciones al cristalizar como una sal hidratada o deshidratada, dependiendo de la temperatura y humedad en el entorno. La thenardita (Na_2SO_4) es la forma deshidratada de la sal, la cual mantiene su estabilidad abajo de 71% de humedad relativa a 20°C. Cuando esta sal se hidrata se convierte en mirabilita ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), la cual es 314% más grande en volumen que la thenardita, y esto ocurre al incrementar la humedad relativa arriba del 71%. Cuando la humedad relativa alcanza el 93%, la sal es absorbida por la humedad y se disuelve. El daño más grande provocado por esta sal es la conversión de thenardita en mirabilita y viceversa, al fluctuar la humedad relativa por arriba de 71% y abajo de 93% (Price y Brimlecombe 1994). La expansión de volumen

produce la desintegración de los enlucidos y el desprendimiento de capas de enlucido y de pintura.

Por su parte, la darapskita ($\text{Na}_3(\text{SO}_4)(\text{NO}_3)\cdot\text{H}_2\text{O}$) es un mineral raro que ha sido encontrado ocasionalmente como eflorescencia salina en materiales de construcción. La formación de esta sal podría guardar relación con la presencia de microorganismos en la superficie de los murales o con la contaminación del aire como fuente de los nitratos que forman parte de la sal.

Es importante considerar que el comportamiento individual de las sales se ve modificado debido a la presencia y consecuente interacción entre las tres sales. Mientras que el comportamiento individual de las sales ha sido estudiado y se reporta en la bibliografía, el comportamiento de la mezcla de las tres sales no se conoce, aunque se sabe que existe una alta probabilidad de que el rango de humedad relativa en el que pueda tener lugar la cristalización de las sales puede verse extendido, aumentando así su potencial destructivo (Price y Brimblecombe 1994). Un rango tan amplio de humedad relativa como el observado en Templo Mayor en donde las fluctuaciones son constantes, fácilmente favorecerá la formación de cristales y su disolución así como la transformación de thenardita en mirabilita y viceversa, y en consecuencia acelerará el deterioro que provocan sobre los materiales constitutivos de los murales.

Conclusiones

El dióxido de azufre y el polvo cargado con partículas de azufre y partículas catalizadoras parecen ser los elementos de la contaminación ambiental en la Ciudad de México que más han influido en el deterioro de las pinturas murales del Templo Mayor. Sin embargo, para poder llevar a cabo una evaluación completa del deterioro en los murales provocado por la contaminación en el aire se requiere de mayor estudio. Sería necesario emplear otras técnicas de análisis que permitan detectar la presencia de elementos traza que influyen en los procesos de oxidación y reacción de los contaminantes y los materiales constitutivos de las pinturas murales. Sin embargo, los resultados obtenidos explican algunos de los deterioros más importantes que tienen lugar constantemente en las pinturas murales y remarcan la necesidad de diseñar medidas para contrarrestar los daños.

El estudio realizado hasta este momento destaca la importancia de contar con el registro y análisis de la depositación de polvo y el monitoreo de las condiciones ambientales en las áreas cercanas a las pinturas. También se hace evidente la necesidad de eliminar y evitar la depositación de polvo sobre la superficie de los murales. Sin embargo, la eliminación del polvo puede convertirse en un proceso complejo debido a la poca adherencia de partículas de pigmento y enlucido, las cuales pueden desprenderse durante una limpieza.

Para concluir, sería importante que al esfuerzo actual por conservar las pinturas murales del Templo Mayor se sumaran las siguientes acciones de conservación preventiva: a) el levantamiento y registro periódico de los deterioros, incluyendo la distribución de sales en la pintura mural; b) el monitoreo durante al menos un año y medio de las condiciones ambientales en los espacios directamente

relacionados con la pintura mural; c) el control de las condiciones y fluctuaciones de humedad relativa mediante la revisión e implementación de cubiertas, cortinas y canales para conducir adecuadamente el agua de lluvia y del subsuelo; d) la desalinización de las pinturas murales y eliminación de sales cristalizadas en época de lluvias y secas respectivamente; e) la eliminación del polvo acumulado y evitar la futura depositación del mismo sobre la superficie de las pinturas, y f) el uso exclusivo durante las intervenciones de materiales basados en sustancias minerales, que impidan la formación de una capa impermeable sobre la pintura mural.

Agradecimientos

Deseo agradecer a las instituciones y personas que apoyaron la realización de esta investigación: al Arqlo. Matos Moctezuma del Museo del Templo Mayor, INAH, en México; a Alison Murray, Krysia Spirydowicz, Gus Shurvell y Alan Grant de la Universidad de Queen's en Canadá; a Joy Moyle y John Stewart del Canadian Heritage Parks Canada; a Richard Newman y Michelle Derrick del Museo de Bellas Artes de Boston. La investigación estuvo apoyada por becas del Gobierno de Canadá, del Natural Sciences and Engineering Research Council de Canadá y por el Instituto Nacional de Antropología e Historia de México.

Referencias

Barfoot, K. M. et al.

1984. "Multi-Elemental Measurements of Air Particulate Pollution at a Site in Mexico City." Atmospheric Environment. 18 (2): 467-471.

Departamento del Distrito Federal y Gobierno del Estado de México, Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca y Secretaría de Salud, eds.

1996. Programa para mejorar la calidad del aire en el Valle de México, 1995-2000. México.

Fermi.

1994. Análisis de agua residual. Reporte del Laboratorio Fermi, S.A. a la Asociación de Amigos del Templo Mayor.

Franco Brizuela, M. L.

1990. Conservación del Templo Mayor de Tenochtitlan. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Gallardo, M. L. and D. M. Grimaldi.

1998. Informe del estudio del entrono en el Recinto de los Guerreros Águila del Templo Mayor. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Grimaldi, D. M.

2002. "Painting techniques of the Mexicas at the Great Temple of Tenochtitlan in Mexico City" Preprints of the 13th Triennial Meeting Rio de Janeiro. 22-27 September. ICOM.

Gobierno del Distrito Federal, ed.

1997. Informe anual de la calidad del aire en el valle de México. México.

Miranda, J. et al.

1999. "Pollution Effects on Stone Benches of the Eagle Warriors Precinct at the Major Temple, Mexico City." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. 150: 611-615.

Olmedo, B.

2002. Los Templos rojos del Recinto Sagrado de Tenochtitlan. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia

Price, C. and P. Brimblecombe.

1994. "Preventing Salt Damage in Porous Materials." Preventive Conservation: Practice, Theory and Research. Preprints of the Contributions to the Ottawa Congress. London: International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works. 90-93.

Xelhuantzi, S.

1997. Estudio difractométrico en muestras de pigmentos de los Templos Rojo Norte y Rojo Sur del Templo Mayor (Tenochtitlan), D.F. Informe. Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

[INDICE](#)