

## **INFORME DE ANALISIS MICROQUÍMICOS PARA IDENTIFICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE SALES**

### **Introducción**

La presencia de ciertas sales en los materiales constitutivos de los bienes culturales suelen ser el origen de varios efectos de deterioro que se observan en la superficie de éstos, especialmente en los pétreos, cerámicos y los revestimientos a base de morteros.

Cuando las obras, como la escultura del Tlaloc de Coatlinchán, están en contacto con algún tipo de humedad, agentes biológicos y contaminantes, las sales se depositan en los poros de los núcleos por arrastre y pueden manifestarse de varias formas: las sales insolubles son llevadas a las capas externas cuando el agua busca puntos de evaporación y se observan a simple vista como velos o concreciones que cubren al objeto, el caso típico de esto son los complejos químicos de carbonatos; las sales solubles, por ejemplo los cloruros, crean enlaces con más complejos cristalinos presentes en el agua, registran crecimientos importantes que rebasan la capacidad mecánica del poro rompiéndolo y separando el acabado exterior en folios o en casos graves transformando el mineral en polvo; en el caso concreto de monolitos expuestos a la intemperie en zonas urbanas también influye la interacción de algunos óxidos dispersos en el ambiente y su transformación como lluvia ácida que deteriora al objeto cultural. De lo anterior se entiende la importancia de identificar los tipos de sales presentes, aunque cabe mencionar que las piedras también pueden estar conformadas con arreglos salinos que son parte de su composición mineral.

## DESARROLLO DE LA MARCHA ANALÍTICA<sup>1</sup>

Existen varias formas de identificar sales, pueden hacerse estudios instrumentales muy sofisticados que generalmente son onerosos, pero también hay otros métodos sencillos como los análisis microquímicos a la gota y la medición de conductividad que son relativamente sencillos.

El análisis inició con la toma de muestras, éstas se realizaron en diversas zonas de la escultura en las que se observaron concreciones o velos salinos (ver figura 1). Todas las muestras se numeraron y se registró su localización en la escultura (ver mapas de muestreo para identificación de sales en los anexos al final de este informe), en total se obtuvieron 22 muestras.



Figura 1. Toma de muestras para identificación de sales en diferentes áreas del monolito.

<sup>1</sup> La marcha analítica es una serie de operaciones encaminadas a formar complejos o patrones con características conocidas que sirven para identificar la presencia de un ión determinado.

Como puede observarse en las imágenes anteriores, el tamaño de la muestra que requiere este tipo de examen es mínima (Gómez, 2004:193), son suficientes algunos miligramos para obtener un acercamiento a su caracterización aplicando diversos reactivos químicos que serán mencionados más adelante.

El objetivo de la examinación fue determinar la presencia de las siguientes sales:

- Insolubles: carbonatos, sulfatos insolubles
- Solubles: nitratos, sulfatos solubles y cloruros

Cabe aclarar que las sales son complejos que están formados por dos iones conocidos como anión y catión, las reacciones que se utilizaron en estos análisis solamente dan información sobre el anión, o sea que con el examen se sabrá que se trata de carbonatos pero no se puede afirmar, por ejemplo, si es carbonato de calcio o carbonato de magnesio.

### Desarrollo de la experimentación

En términos generales, el procedimiento que se siguió fue el siguiente: las muestras fueron colocadas en un portaobjetos (ver figura 2), posteriormente se agregó una gota de los reactivos y se observó su comportamiento al microscopio.

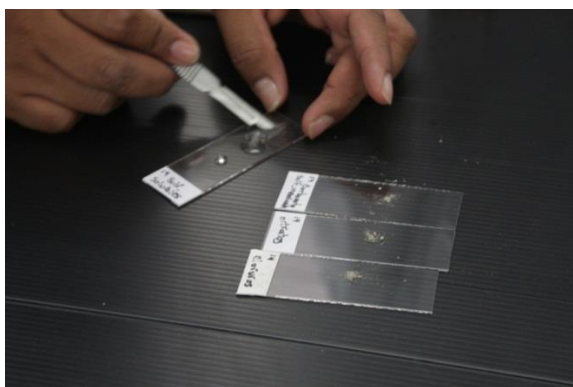


Figura 2. Análisis a la gota

A continuación se mencionan los reactivos utilizados así como el fenómeno que lo caracteriza, estos ensayos a la gota están documentados en Odegaard et al (2000).

Tabla 1. Resumen de marchas analíticas

TIPO DE SAL A IDENTIFICAR	ENSAYO
Carbonatos	<b>Reactivo:</b> ácido clorhídrico diluido <b>Reacción:</b> efervescencia.
Sulfatos solubles	<b>Reactivo:</b> agua destilada y calor <b>Reacción:</b> formación de un patrón de cristalización en agujas
Sulfatos insolubles	<b>Reactivos:</b> ácido clorhídrico y cloruro de bario <b>Reacción:</b> formación de un precipitado blanco
Nitratos	<b>Reactivos:</b> ácido sulfúrico y cristales de difenilamina <b>Reacción:</b> formación de un halo azul alrededor del cristal
Cloruros	<b>Reactivos:</b> ácido nítrico diluido y nitrato de plata <b>Reacción:</b> formación de un precipitado blanco que al contacto con la luz ennegrece

En total se realizaron 105 ensayos pues cada muestra se dividió para las cinco pruebas arriba mencionadas. La reacción más evidentes se presentó en los nitratos (ver figura 3), aunque no necesariamente implica una presencia masiva de esta sal en todo el monolito ya que los análisis a la gota son meramente cualitativos, no cuantitativos.



Figura 3. Coloración azul característica de nitratos vistos al microscopio.

## Resultados

A continuación se presenta la tabla de resultados de las zonas muestreadas y se anexan los esquemas donde puede observarse la distribución en el monolito.

Tabla2. Resultados de los análisis a la gota  
Las celdas marcadas con "X" tuvieron resultados positivos para esa sal

Muestra Núm.	Carbonatos	Sulfatos solubles	Sulfatos insolubles	Nitratos	Cloruros	Observaciones
1	-	X	-	X	-	
2	X	-	-	X	-	
3	-	-	-	X	-	
4	-	-	-	X	-	
5						Muestra insuficiente
6						Muestra insuficiente
7	-	-	-	X	X	
8	-	-	-	X	X	
9	-	-	-	X	X	
10	-	-	X	X	X	
11						Muestra insuficiente
12	-	-	-	X	X	

13	-	-	-	X	X	
Muestra Núm.	Carbonatos	Sulfatos solubles	Sulfatos insolubles	Nitratos	Cloruros	Observaciones
14	X	X	-	X	-	
15	-	-	-	X	-	
15-A	-	-	-	X	-	
16	-	-	-	X	X	
17	X	X	-	X	-	
18	-	X	X	X	-	
19	-	X	X	X	X	
20	X	X	X	-	X	
21	-	X	X	X	-	
22						Muestra insuficiente
23						Muestra insuficiente
24						Muestra insuficiente
25						Muestra insuficiente
26						Muestra insuficiente

## Discusión de resultados

Se observó una importante presencia de nitratos, aún en la parte superior de la escultura (ver muestra 1 y 3 en los esquemas de distribución de sales); la evidencia de dichas sales está asociada a actividad biológica ya que son parte del ciclo del nitrógeno, tal elemento químico se encuentra en las proteínas y enzimas en los seres vivos (Molina Ceballos, 2012) así que tiene que ver con sus procesos de digestión. El resultado es coherente con la actividad biológica alrededor de la escultura del Tlaloc de Coatlinchan, se trata de la evidencia del contacto directo con deyecciones de ave, líquenes y musgo sobre la superficie de la obra, y algas provenientes del espejo de agua de la fuente (ver figura 4).





Figura 4. Algas en el fondo del espejo de agua durante el desecado de la fuente.

En segundo término se encuentra la presencia de cloruros, especialmente en las muestras 8, 9, 12 y 13 que corresponden al pie derecho (ver esquemas de distribución de sales); hasta el momento de la toma de muestras esta zona de la escultura tenía contacto directo con el espejo de agua, así que probablemente ese sea su origen principal (ver figura 5) pues el agua debió obtenerse del suministro público, lo cual implica que debe estar clorada de acuerdo a las normas para consumo humano.



Figura 5. Espejo de agua tocando el pie derecho de la escultura.

Los sulfatos son complejos formados por azufre y oxígeno, la mayoría del sulfato se deriva



Figura 6. Automóviles circulando por Avenida Paseo de la Reforma, a un lado de la escultura del Tlaloc de Coatlinchán.

del agua de lluvia, es el segundo anión de mayor abundancia en ella, se deriva probablemente del azufre presente en el aire en forma de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) (Fuentes & Massol-Deyá, 2002), esto significa que la presencia de los sulfatos solubles puede deberse a las emisiones contaminantes de los automóviles que circulan por las avenidas aledañas (ver figura 6) y a la lluvia ácida. Por otra parte, la actividad biológica dentro de la fuente y sobre la superficie del monolito (líquenes), también podría aportar elementos que expliquen la presencia de los sulfatos insolubles pues existen ciertas bacterias que se

desarrollan en ese medio y son reductoras de azufre, así que la mayoría de los velos blanquecinos en la parte inferior de la escultura pueden estar vinculados a esto (ver mapa de distribución de sales tomas 10 y 18-21).

Finalmente, los carbonatos son un anión constituido por carbono y oxígeno, generalmente esta sal presenta un patrón de concreciones o velos salinos y son susceptibles a cualquier tipo de ácido, es pertinente entonces suponer que su mínima presencia en el muestreo puede deberse a la lluvia ácida.

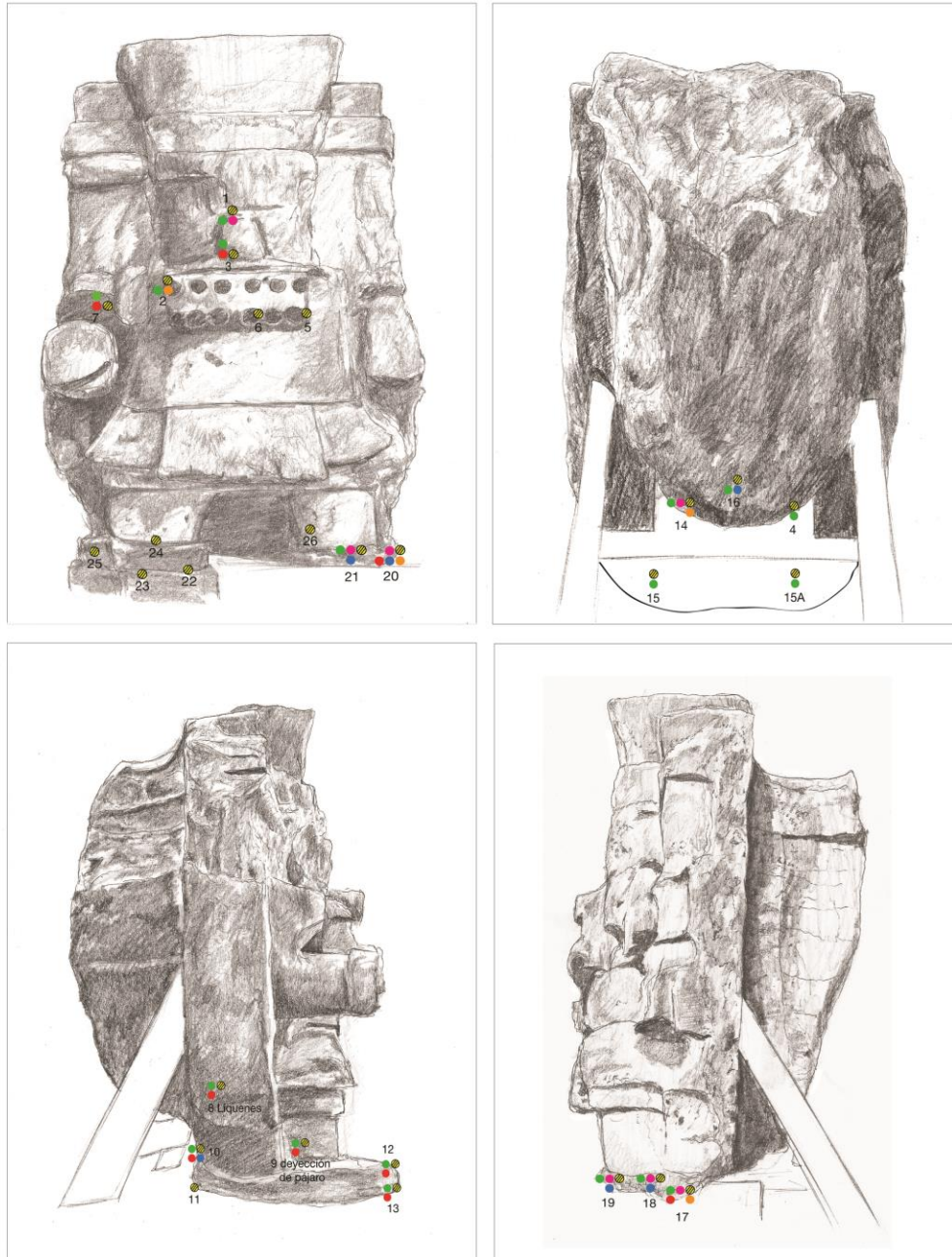
## Conclusión

Los análisis microquímicos aplicados a la muestras obtenidas del Tlaloc de Coatlinchán revelan que las sales depositadas son predominantemente solubles, se trata de nitratos y en menor medida cloruros.

Las pruebas fueron realizadas con el apoyo de Gilda Salgado Manzanares y Eva Sánchez, personal de restauración del MNA, así como las prestadoras de servicio social de especialidad técnica auxiliar museógrafo restaurador de la Escuela Nacional Preparatoria: Fernanda de los Santos, Paulina Angelaes y Rocío Mota.



## Mapas de distribución de sales y toma de muestras



CARBONATOS Sulfatos Solubles Sulfatos Insolubles Nitratos Cloruros PUNTO DE MUESTRA

## Fuentes consultadas

Fuentes, F. & Massol-Deyá, A., 2002. *Manual de Laboratorio. Ecología de microorganismos*. [En línea]

Available at: <http://ocw.um.es/ciencias/ecologia/lectura-obligatoria-1/p1-intro.pdf>

[Último acceso: 06 septiembre 2012].

Gómez, M. L., 2004. *La Restauración. Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte*. 2004 ed. Madrid: Instituto del Patrimonio Histórico Español.

Molina Ceballos, J. A., 2012. *monografías.com*. [En línea]

Available at: <http://www.monografias.com/trabajos82/nitrogeno-fertilizantes-nitrogenados/nitrogeno-fertilizantes-nitrogenados.shtml#Relacionados>

[Último acceso: 5 septiembre 2012].

Odegaard, N., Carroll, S. & Zimmt, W. S., 2000. *Material characterization test for objects of art and archaeology*. London: Archetype Publications Ltd.