



Diagnostico de *intemperismo* en la catedral de puebla

M. Teutli León
P. N. Madrid Báez
G. Jiménez Suárez
Facultad de Ingeniería
Benemérita Universidad
Autónoma de Puebla (B.U.A.P.)

L. M. Tenorio Téllez
A. Sánchez Hernández
Facultad de Arquitectura
Benemérita Universidad
Autónoma de Puebla (B.U.A.P.)

Abstract

This paper presents a physicochemical approach to diagnose basalt *weathering* at Cathedral of Puebla facade, building located at downtown Puebla, which was built in the XVII century and has the particularity of having three sides exposed to the action of rain, wind and sun. Applied methodology included physical inspection of the building, collection of weathered samples, which were grounded, mixed with distilled water to prepare an analytical sample, determined physicochemical parameters allowed to discriminate which anions are causing basalt weathering.

Resumen

Este artículo presenta una aproximación fisicoquímica para diagnosticar el *intemperismo* de basalto en la fachada de la Catedral de Puebla, edificio localizado en el centro histórico de la ciudad, y que fue construido en el Siglo XVII. Este edificio tiene la particularidad de que tres de sus caras están expuestas a la acción de la lluvia, el viento y el sol. La metodología aplicada incluyó la inspección física del edificio y la recolección de muestras *intemperizadas*, las cuales fueron molidas y mezcladas con agua destilada para preparar una muestra analítica. Los parámetros fisicoquímicos determinados permitieron discriminar que aniones y cationes están causando el *intemperismo* del basalto.

Introducción

Las formas de *intemperismo* en una roca corresponden a una descripción del grado de deterioro de la masa. Esto depende de factores ambientales, para los cuales se debe establecer el tipo y la intensidad del parámetro involucrado (Tavares et al, 2005). La geomorfología es una ciencia interdisciplinaria, ya que contempla aspectos de cambios en la roca que la llevan a un estado de equilibrio. Entre estos se puede mencionar: Diagnénesis superficial, Deterioro, Degradación, Decaimiento, Patología de la piedra (Borrelli, 1999; Svahn, 2006). Por ejemplo, en el caso de basalto que se

página al lado

Catedral iluminada.
Foto: Fauricio Hernandez
Samaca

tiene puede ocurrir un *intemperismo* físico, químico y mecánico cuyas consecuencias pueden manifestarse como fracturamiento.

Diagnóstico del proceso intemperizador en las rocas

La evolución de la roca ante los factores ambientales se puede diagnosticar considerando la información física, química y biológica:

- Determinación de cómo inicia, cuál es su comportamiento, qué factores lo propician y qué procesos ocurren. Mediante este análisis es posible establecer estrategias de control.
- Un diagnóstico contemplando la recopilación de los materiales de construcción y propiedades, la evaluación del estado de deterioro, así como las recomendaciones de preservación (Pope et al, 2002; Fitzner, 2004). Todas ellas deben estar basadas en: decoloración, alteración estructural, precipitación de productos de *intemperismo* (ganancia de masa), y recesión de superficies (pérdida de masa). Este último factor se puede estimar si existe referencia de la geometría previa del objeto de estudio.
- El proceso de *intemperismo* puede ser diferencial en los minerales e inclusiones (picadura/exfoliación), así como incidir en ablandar o endurecer la roca.
- La ocurrencia de *intemperismo* en la parte interna de la roca puede propiciar que el núcleo se reblandezca; con lo cual las zonas que la rodean pueden llegar a fracturarse.
- Las tasas estimadas de *intemperismo* en su mayoría son lineales y con incrementos/decrementos en tiempo. La tasa promedio en general se estima para un proceso de *intemperismo* particular.
- Los cambios químicos y depósitos secundarios requieren la determinación de indicadores (Kryza et al, 2009; Dia et al, 2000; Ahmed et al, 2006; Doehne & Price, 2010; Rodríguez & Sebastian, 1996; Ismail, 2004; El-Gohary&Al-Shorman, 2010) entre los cuales se puede mencionar: la respuesta del material a cambios de temperatura, el impacto de la contaminación atmosférica, el depósito de aerosoles de carbón negro produciendo decoloración, los depósitos secos incluyendo compuestos sulfurosos o nitrogenados que conducen a una disolución ácida, las costras sulfurosas sobre piedra calcárea que ocurren por reacción con el SO_2 atmosférico, los depósitos salinos que propician el crecimiento de cristales, la presencia de microorganismos que llega a producir un decaimiento de tipo biológico.

Es importante establecer el origen de las sales presentes en las rocas, lo cual puede ocurrir a partir de procesos como:

- a. Ser parte de la matriz de la roca.
- b. Haber sido transportada desde la base por procesos de capilaridad.
- c. Haber sido incorporada a partir de la ocurrencia de lluvia, polvo y contaminación, lo cual implica fenómenos de cristalización y solubilidad. Estos tienen una fuerte dependencia de la humedad relativa, el pH y la temperatura.

La presencia de sales en la matriz de la roca propicia que se establezcan

sistemas dinámicos complejos que están sujetos a continuas transformaciones de fase a través de fenómenos de hidratación/deshidratación, así como de cristalización/disolución. Lo anterior conduce a procesos de deterioro que se evidencian como: desintegración granular, exfoliación, exfoliación forzada por humedad desde el interior del material y eventualmente un colapso total del material. Las sales más comunes presentes en muestras intemperizadas tienen aniones como carbonatos (CO_3), sulfatos (SO_4), nitratos (NO_3), cloruros (Cl). Asimismo, entre los cationes se pueden mencionar sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca), amonio (NH_4), magnesio (Mg). Entre los problemas asociados a la presencia de las sales se puede mencionar (Ismail, 2004; Borelli, 1999):

- *Presencia de sulfatos y nitratos con un ion común.* En el caso del Na_2SO_4 ocurre que disminuye su solubilidad proporcionalmente al descenso de temperatura; mientras que el NaNO_3 por evaporación se concentra y a saturación produce cristales grandes. En el caso de haber 2 sales con el mismo catión generalmente se favorece la precipitación
- *Ocurrencia de ciclos repetidos de hidratación/deshidratación de sales cristalizadas.* En este caso se llega a producir cambios en el volumen de la roca y, si se agrega la contribución de la temperatura, ocurre una expansión diferencial de las sales. Ejemplo: el paso de thenardita (Na_2SO_4) a Mirabilita ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) crea una expansión del cristal en los microporos.
- La presencia de SO_4 normalmente se evidencia como costras negras sobre material calcáreo. Las eflorescencias pueden ser formación de yeso con apariencia de depósitos blanquecinos. Si existe como agregados entonces se presenta como puntos blancos, apariencia blanquecina de capas que se desprenden. Usualmente está asociado a contenidos elevados de humedad. Asimismo, las picaduras corresponden a la presencia de sub-eflorescencias. Si la migración de la sal a la superficie es más rápida que la velocidad a la que se seca, esto llega a producir eflorescencia por depósito.
- En el caso de los carbonatos al reaccionar con el CO_2 atmosférico pasan de insolubles (CO_3) a solubles (HCO_3), los cuales reaccionan con otra molécula de carbonato aumentando la alcalinidad.
- Las investigaciones han establecido que los cloruros (Cl) son altamente higroscópicos y producen fracturas, mientras que los nitratos (NO_3) son altamente solubles y generan un ambiente corrosivo. Los cloruros son las primeras sales en favorecer la disolución de granos, que aunado a un fenómeno de condensación produce una pulverización de la piedra.
- Las variaciones diurnas de temperatura con adsorción/desorción de agua producen microfacturamiento paralelo a la superficie, lo que se observa como escamas.
- La formación y distribución de las sales en el *intemperismo* de la piedra son función de:
 - a. la clase y concentración de la sal
 - b. la clase de roca y los ciclos de humectación/secado a los que haya estado expuesta

- En objetos al exterior es importante establecer su orientación, la dirección de los vientos preferentes, la incidencia del agua de lluvia, la evolución de la temperatura y la humedad relativa en sus valores extremos (mínimos y máximos). Es importante tener conciencia de que los procesos ambientales de alteración estructural de la piedra ocurren por una acción sinérgica de la lluvia, viento, luz, y ciclos de congelamiento/deshielo.
- En zonas urbanas un factor muy importante es el de la materia particulada emitida por los vehículos, la cual produce sulfatación en las piedras porosas, debido a que el polvo vehicular fija el SO_2 de la atmósfera como $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, lo cual se manifiesta como una costra negra.

El ambiente urbano de la ciudad de Puebla no ha ejercido una acción agresiva sobre el basalto de fachadas en edificios coloniales, sin embargo existen evidencias de que los edificios tienen síntomas de *intemperismo* en sus fachadas.

Como objeto de estudio de este trabajo se seleccionó la Catedral de Puebla, la cual en el cuerpo principal tiene exposición a los agentes ambientales en sus fachadas norte, poniente y sur; sin embargo, en sus torres se tiene exposición a los cuatro puntos cardinales. Asimismo, se procuró estimar el *intemperismo* en estructuras internas de la catedral.

Metodología

Como primera aproximación se consideró una visita de inspección para detectar la ocurrencia de *intemperismo* en las diferentes áreas estructurales de la catedral. Posteriormente se realizan visitas para recuperar las eflorescencias y desprendimientos, para lo cual se aplicaron pruebas destructivas como la recuperación por raspado procurando recuperar aquel material que fácilmente se desprendía.

Posteriormente se consideró el tomar una fotografía microscópica usando un lente 40x, esta fotografía permitió tener una aproximación al tipo de cristales presentes.

La detección de sales solubles se realizó colocando el material recuperado en agua destilada (en proporción 1:2, muestra:agua). En esta solución se determinaron los parámetros de pH y conductividad eléctrica. Posteriormente, se hicieron las diluciones pertinentes con la finalidad de determinar aniones ya sea por pruebas gravimétricas o por espectroscopía visible con el aparato HACH DR2500.

Resultados

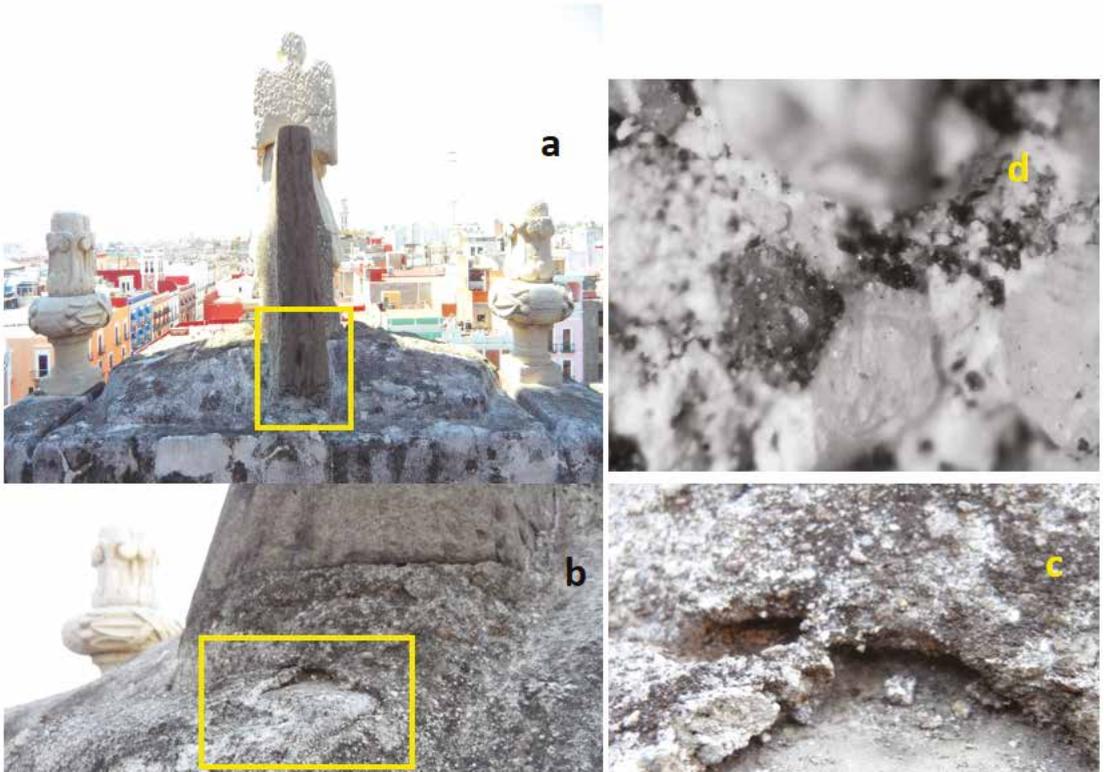
El edificio de Catedral se ubica en el centro histórico de la ciudad de Puebla. Las calles adyacentes a la Catedral corresponden: al norte la calle 3 oriente, al sur la calle 5 oriente, al poniente la calle 16 de septiembre. Se presentan imágenes de algunos puntos donde se evidencia el *intemperismo*, ya sea en esculturas ubicadas en espacios abiertos como la azotea del edificio, elementos arquitectónicos del interior como columnas, y muestras colectadas del basalto recubriendo el exterior del edificio de Catedral, o presentes

en la barda atrial. La discusión de resultados se presenta por cada muestra y al final se incluye una tabla donde se concentran los valores de los parámetros químicos.

Muestra exterior 1. Corresponde a material recuperado en una escultura localizada en la azotea, sobre la portada lateral colindante con la calle 5 oriente (fachada oeste). La Figura 1 muestra: a) la ubicación de la escultura, la cual está totalmente expuesta a factores atmosféricos; b) se muestra un acercamiento a la escultura y al daño detectado; c) una aproximación del sitio donde se recuperó la muestra en la que se observa una textura muy granular, y d) una vista microscópica de la muestra, donde se observa que hay una gran cantidad de cristales. El análisis químico (Tabla 1) evidenció que en orden de importancia los aniones incorporados son carbonatos (dureza total), bicarbonatos (alcalinidad), cloruros, nitratos, sulfatos, fosfatos. (Figura 1)

Muestra exterior 2. Corresponde a una muestra colectada en la azotea de la Catedral, en una escultura ubicada sobre la portada de la fachada sur sobre la calle 5 Oriente. En la Figura 2 se muestra: a) la ubicación de la escultura; b) un acercamiento a la escultura; c) acercamiento al punto del cual se recuperó la muestra, y d) micrografía con detalles de las estructuras cri-

Fig. 1
Daño en escultura localizada en la azotea de la Catedral en la sección sur de la fachada oeste



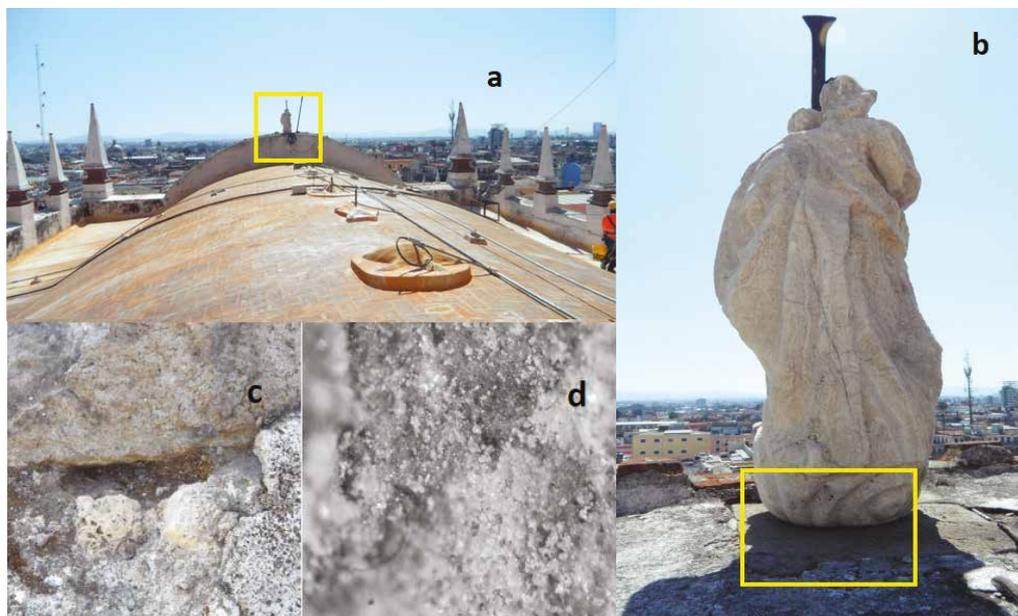


Fig. 2
Daño en la
escultura
localizada en la
azotea sobre la
portada sur de la
Catedral

stalinas. Se puede observar que la estructura del basalto ha sido bastante afectada por gránulos intruidos de diferente tamaño y grado de cristalinidad. Esta escultura tiene mayor exposición a tráfico vehicular, lo cual se evidencia en su contenido de sulfatos y nitratos. En orden de importancia los aniones determinados corresponden a sulfatos, bicarbonatos (alcalinidad), nitratos, cloruros y fosfatos. No se detectó presencia de carbonatos (Tabla 1 – Figura 2).

Muestra exterior 3. Muestra colectada sobre la vista interna de la barda atrial, frente a la fachada oeste (avenida 16 de septiembre), obtenida a 50 cm sobre el nivel del atrio. En esta zona de la barda se tiene la conjunción de materiales, ya que sobre la barda existe herrería y esculturas de ángeles coronando las columnas. En la Figura 3 se muestra: a) Vista de la barda atrial en el lado oeste; b) acercamiento a la zona donde se detectó el daño; c) vista del sector donde se colectó la muestra que evidencia ser un desprendimiento laminar, y d) micrografía de la muestra colectada. Como puede observarse, la muestra mantiene en cierto grado la estructura basáltica con mínima intrusión de cristales; sin embargo, en orden de abundancia se tiene sulfatos, carbonatos (dureza total), bicarbonatos (alcalinidad), nitratos, cloruros, fosfatos; siendo importante notar que sulfatos, carbonatos y bicarbonatos están en cantidades similares (Tabla 1 – Figura 3).

Muestra Exterior 4. Muestra colectada en el guardapolvos de la fachada oeste de la torre norte, colectada a una altura de 1.35 m del nivel del atrio. En la Figura 4 se muestra: a) la vista de la torre norte sobre la fachada poniente, la cual está próxima a la 3 poniente; b) acercamiento a la zona dañada;

c) acercamiento al área dañada, así como d) una micrografía de la muestra colectada. Como puede observarse, en esta muestra la estructura del basalto está consistente; sin embargo, sí se nota una sección diagonal donde la textura se ve pulverizada y de un color blanquecino. Para esta muestra, los aniones en orden de abundancia corresponden a sulfatos, carbonatos (dureza total), alcalinidad (bicarbonatos) nitratos, cloruros y fosfatos (Tabla 1). Cabe mencionar que en esta muestra los carbonatos y bicarbonatos prácticamente están en la misma cantidad, y son aproximadamente 40% de los sulfatos. (Figura 4)

Muestra exterior 5. Muestra colectada en la fachada norte de Catedral a una altura de 1.60 m, en la Figura 5 se muestra: a) Vista panorámica lateral de la fachada norte de Catedral; b) vista frontal de la zona dañada; c) aproxi-

Fig. 3
Daño en la barda atrial del lado oeste, muestra colectada en la parte interna

Fig. 4
Daño en el guardapolvos de base de pilar en la torre norte, fachada oeste





Fig. 5
Daño en el
guardapolvos en
fachada norte

mación al punto donde se colectó la muestra y d) micrografía de la muestra colectada en la cual puede observarse que hay varias franjas cristalinas que varían en color y magnitud. El análisis químico de esta muestra evidencia una altísima incorporación de sales ya que su conductividad es de 7.87 mS cm^{-1} , cuando que las muestras 1-4 presentaron una conductividad inferior a 1 mS cm^{-1} . Los aniones en orden de abundancia corresponden a sulfatos, carbonatos, bicarbonatos, nitratos, cloruros, fosfatos; aunque resulta muy marcado que esta muestra exhibe una concentración de sulfatos aproximadamente 4 veces la de carbonatos. La alcalinidad y nitratos tienen la misma concentración, y los cloruros están en una cantidad mínima (Tabla 1). Es importante puntualizar que esta fachada norte es la más afectada por lluvia y viento ya que en Puebla la prevalencia de los mismos ocurre en dirección noreste-suroeste la mayor parte del tiempo. (Figura 5)

página al lado

Fig. 6
Daño en la vista interior
de la barda atrial del
lado norte de Catedral

Fig. 7
Daño en la entrada de
la fachada norte de
Catedral

Muestra exterior 6. Muestra colectada en la vista interna de la barda atrial del lado norte de la Catedral, la muestra corresponde a una de las columnas coronada por una escultura en bronce de un ángel, y que fue colectada a 60 cm sobre el nivel del atrio. En la Figura 6 se muestra: a) panorama de la barda atrial; b) vista de la zona dañada; c) acercamiento a la zona dónde se colectó la muestra, d) micrografía de la muestra colectada. En esta muestra se puede observar que la estructura del basalto está consistente, con incorporación de cristales diferentes, pero que no forman vetas como ocurrió en la muestra 5. El análisis químico evidencia una incorporación de sales aproximadamente 2 veces la de las muestras 1-4 ya que su conductividad es de 1 mS cm^{-1} , la abundancia de aniones está en el orden de sulfatos, carbonatos (dureza total), bicarbonatos (alcalinidad), nitratos, cloruros, fosfatos (Tabla 1). Esta sección de la barda está en una zona de alta

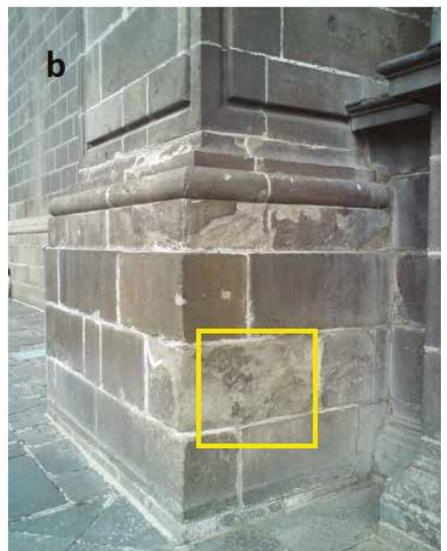
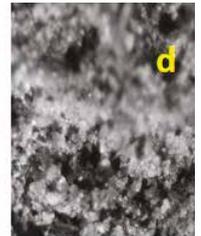
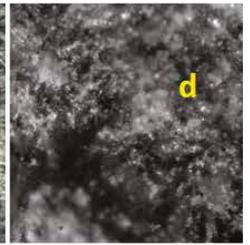
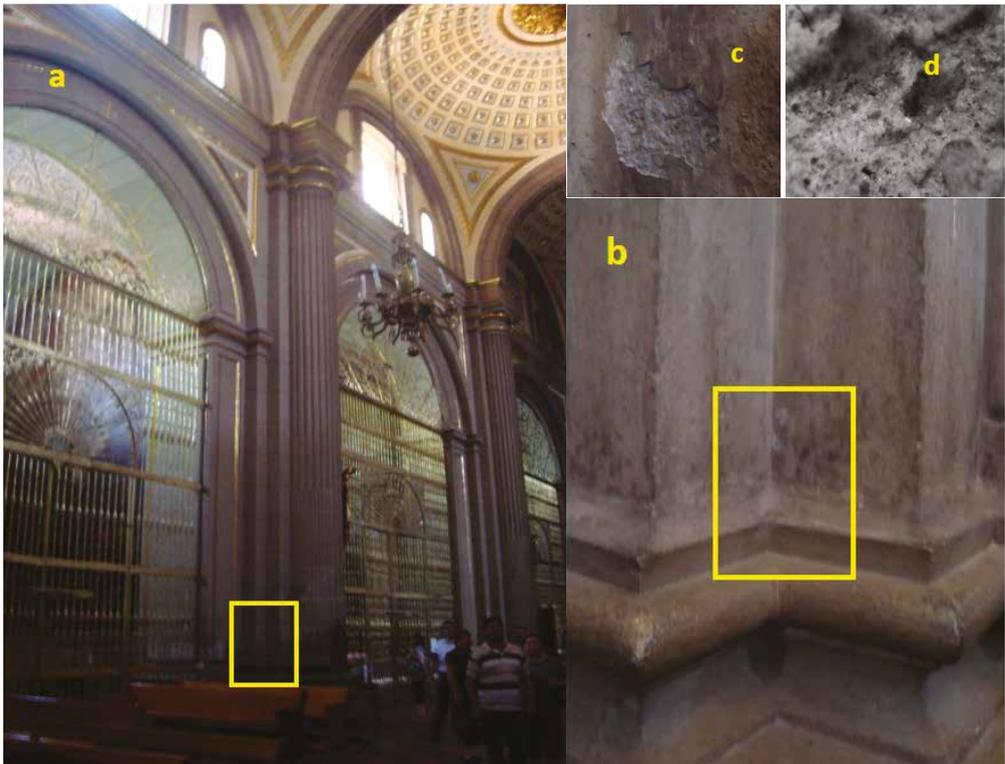


Fig. 8
Daño en columna
de la nave lateral
norte de la
Catedral

incidencia de lluvia y viento; aunque al estar en la parte interna de la barda, minimiza el impacto de iones que en el caso de los sulfatos es aproximadamente la mitad de la concentración detectada en la fachada norte (muestra 5 – Figura 6).

Muestra Exterior 7. Colectada en la entrada de la fachada norte a 53 cm del nivel del atrio, esta muestra exhibe daño pero tiene una incorporación menor de sales ya que la zona muestreada está orientada hacia el poniente. En la Figura 7 se muestra: a) el pórtico de entrada en la fachada norte; b) vista frontal de la zona muestreada; c) detalle del punto donde se colectó la muestra y d) micrografía de la muestra colectada. Como puede observarse, la incorporación de sales corresponde a pequeños gránulos finos, pero abarcando sectores donde ya existe una cierta continuidad, la caracterización química permite observar que la cantidad de carbonatos (dureza total) es similar a la de bicarbonatos (alcalinidad) y ambos son aproximadamente la mitad de los sulfatos. En orden de abundancia se tiene sulfatos, bicarbonatos, carbonatos, nitratos, cloruros, fosfatos (Tabla 1 – Figura 7).

Muestra Interior 1. Colectada al interior de Catedral, corresponde a daño localizado sobre una columna ubicada en la nave lateral norte. En la Figura 8 se muestra; a) una panorámica de la nave donde esta ubicada la columna; b) una aproximación a la columna; c) detalle del punto donde se colectó la muestra, y d) micrografía de la muestra colectada. Esta muestra corresponde a un recubrimiento aplicado sobre la columna para simular



pedra. Sin embargo, es importante caracterizar este tipo de daños, ya que la atmósfera interna del templo también representa un daño para el edificio. En el caso de esta muestra se tiene que hay una incorporación muy alta de sulfatos casi igual a la encontrada en la muestra exterior 5 colectada en la fachada norte. La disolución tiene una conductividad alta (1.76 mS cm^{-1}), la cantidad de carbonatos y bicarbonatos es similar, pero es aproximadamente $1/6$ respecto a los sulfatos; asimismo, los cloruros son mucho más elevados que los de las muestras del exterior; y en cuanto a los nitratos, esta muestra tiene una concentración menor que la muestra exterior 4. El orden de abundancia corresponde a sulfatos, carbonatos (dureza total), bicarbonatos (alcalinidad), nitratos, cloruros y fosfatos. (Figura 8)

Fig. 9
Daño en la entrada
del coro en la nave
lateral sur

Muestra interior 2. Corresponde al interior de la Catedral de Puebla en el acceso al coro, localizado en la nave lateral sur. En este sitio es dónde se encuentra ubicado el órgano monumental, así como órganos históricos utilizados desde la época virreinal hasta el siglo pasado. La muestra se colectó a una altura de 35 cm respecto al nivel del templo. En la Figura 9 se muestra: a) una panorámica de la nave lateral sur; b) una aproximación al área que exhibe el daño; c) el área donde se colectó la muestra, y d) una micrografía de la muestra. Como puede observarse, el daño está localizado sobre una unión de materiales diferentes con lo cual se buscó adosar un elemento decorativo pero que está totalmente fracturado. La micrografía muestra



Tabla 1.
Parámetros
físicoquímicos de
muestras de daño
por intemperismo:

que la estructura de la muestra tiene una incorporación importante de cristales salinos, teniendo una cantidad de carbonatos que es aproximadamente el doble de los bicarbonatos y la mitad de los sulfatos. También éstos se hallan en concentración similar a los hallados en la fachada norte. En orden de abundancia se tiene sulfatos, carbonatos (dureza total), nitratos, bicarbonatos (alcalinidad), cloruros y sulfatos.

En la Tabla 1 se presenta el concentrado de los parámetros físicoquímicos determinados en las muestras colectadas. Como puede observarse, el pH exhibe valores entre 7 y 8, lo cual permite afirmar que las muestras han tenido cierta acidificación; pero ésta no les da características ácidas, lo cual sería indicativo de un proceso de corrosión acelerada. (Figura 9)

La conductividad eléctrica en la mayoría de las muestras exteriores exhibe valores inferiores a 1, excepto la Exterior 5 que corresponde a una zona de alta frecuencia en lluvia y viento, y por lo mismo resulta ser la de mayor concentración en carbonatos y sulfatos. La exterior es la que tiene mayor contenido de nitratos, lo cual puede deberse a que el polvo atmosférico (de características alcalinas) y el excremento de aves pueden llegar a acumularse. Caso inusual lo presentan las muestras colectadas al interior de la Catedral, ya que ambas exhiben alta concentración de sulfatos; y la Interior 2 aparte presenta la mayor concentración tanto de carbonatos como de nitratos (Tabla 1).

Conclusiones

En este trabajo se presenta una aproximación al diagnóstico de *intemperismo* presente en un edificio de relevancia histórica, como es la Catedral de Puebla. Se evidencia la contribución del medio ambiente en cuanto a

Parámetro	Ext 1	Ext 2	Ext 3	Ext 4	Ext 5	Ext 6	Ext 7	Int 1	Int 2
pH	8.1	8.0	7.5	7.3	7.4	7.2	7.5	7.9	7.22
Conductividad mS/cm	0.4	0.4	0.1	0.6	7.9	1.0	0.7	1.8	9
Dureza Total, mg/Kg	96.8	0.0	145.1	145.2	387.1	258.1	177.4	209.7	709.6
Alcalinidad, mg/Kg	300.0	140.0	120.0	140.0	80.0	140.0	180.0	180.0	300
Cloruros, mg/Kg	69.8	29.9	31.0	39.4	9.8	39.4	59.0	98.5	98.5
Nitratos, mg/Kg	48.0	72.0	72.0	232.0	80.0	112.0	88.0	128.0	424
Fosfatos, mg/Kg	2.4	3.2	3.2	2.4	4.4	5.2	12.4	2.4	2.4
Sulfatos, mg/Kg	20.0	480.0	160.0	320.0	1520.0	640.0	380.0	1200.0	1300

lluvia, viento y en consecuencia al polvo atmosférico. Es importante puntualizar que aunque las muestras no exhiben pHs ácidos, las muestras colectadas en el exterior cubren aproximadamente las expectativas de mayor contenido de sulfatos ya sea por acción de viento y lluvia en la fachada norte (exterior 5 y 6), o por estar próximas a zonas de alta concentración vehicular (exterior 2).

Caso inusual es lo hallado en las muestras interiores, ya que exhiben concentraciones muy altas de sulfatos, nitratos y cloruros, que son precursores de acidez. Sin embargo, el pH de estas muestras está bastante cercano a la neutralidad.

References

- Ahmed, H., Torure, A., Lacsei, J. 2006. "Performance of some commercial consolidating agents on porous limestones from Egypt, Turs and Morattan Quarry". In *Heritage, Weathering & Conservation*. International Conference Madrid, 21-24 Junio. Book of abstracts, ISBN 84-00-08421-7.
- Borrelli, E. 1999. *Conservation of Architectural heritage, historic structures and material salts*, ROMA ICCROM, UNESCO, WHC, ARC laboratoy Handbook. vol 2, ISBN 92-9077.
- Borrelli, E. 1999. *Salts. Laboratory Handbook 3. Conservation of architectural heritage, historic structures and materials*. ICCROM, UNESCO, WHC, Rome.
- Cnudder, V., Jacobs, P.J. S. 2004. "Monitoring of weathering and conservation of building materials through non-destructive X-Ray computed microtomography". *Environmental Geology*, vol. 46, pp.477-485.
- Dia, A., Benedetti, M., Riotte, J., Chabauz, F., Boulegere, J., Bulovide, M., Chauvel, C., Gerard, M., Dervelle, B., Ildefonse, P. 2000. "Chemical weatehring of basaltic lava flows suffering extreme climatic conditions". In *The water geochemistry record. Journal of Conference Abstracts*, vol. 52, pp. 247. Oxford, U. K.
- Doehne, E., Price, C. A. 2010. *Stone conservation. An Overview of current research*. 2nd Edition. ISBN: 978-1-60606-046-9.
- El-Gohary, M. A., Al-Shorman, A. A. 2010. "The impact of the climatic conditions on the decaying of Jordanian basalt at Umm-Qeis: exfolition as a major deterioration symptom". *Mediterranean Achaeology and Archaeometry*, vol.10, no. 1, pp.143-158.
- El-Gohary, M. 2011. "Chemical deterioration of egyptian limestone affected by saline water". *International Journal of Conservation Science*, vol.2, no.1, pp.17-28.
- Fitzner, B. "Damage diagnosis on Stone monuments. In-situ investigation and Laboratory studies". Geological Institute. Aachen University of Technology. Working Group "Natural stones and weathering".
- Gokaltum, E., 2011. "The changes in the structure of limestone as a result of calcium sulfat (gypsum Stone) formation caused by atmospheric polluters". *World Applied Sciences Journal*, vol. 13, no. 9, pp. 2082-2088.
- Ismail, B. 2004. "Environmental deterioration and conservation of monumental basalt", *Egypt. Ass. Univ. Bull. Environ Res.* vol. 7, no.1, March, pp.153-161.
- Kryza, R., Prell, M., Czechowski, F., Domaradzka, M. 2009. "Acidic weathering of carbonate building stones experimental assesment (preliminary results). *Studia Universitatis Babes-Bolyay*". *Geologia*, vol. 54, no.1, pp. 33-36.
- Pope, G. A., Meierding, T. C., Paradise, T. R. 2002. "Geomorphology's role in the study of weathering of cultural stones". *Geomorphology*, vol.47, pp. 211-225.
- Prasad Gupta, S. 2011. "Conservation of Stone structure by impregnation with tetraethoxysilane". *Int. Journal of Chemical and Analytical Science*, vol. 2, no. 8, pp.115-119.
- Rodriguez Navarro, C., Sebastian, E. 1996. "Role of the particulate matter from vehicle exhaust on porous Stone (limestone) sulfation". *The Science of the Total Environment*, Elsevier, vol.187, pp. 79-91.
- Svahn, H. 2006. "Non destructive field testing" in *Stone conservation*. Riksanstievaneambetet. ISBN 10:91-7209-4345
- Tavares, M., Magalhaes, A.C. Veiga, M. R. Aguilar, J. 2005. "Métodos de diagnóstico para revestimientos de edificios antiguos. Importancia y aplicabilidad de los ensayos in-situ". *Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*. PH. vol. Abril.
- Undrum, H. 2006. Silicate or epoxy zinc primers. The superior protection. *JOTUN AS, JOTUN Coatings Marine and Protective Coatings Lab*, vol. April, pp.1-16.