

Deterioro atmosférico y microbiológico de la iglesia de la Veracruz en Medellín

*Liz Karen Herrera**, *Carlos Arroyave** y *Héctor Videla***
(Recibido el 26 de julio de 2002)

Resumen

La iglesia de la Veracruz es uno de los edificios más representativos del patrimonio cultural de la ciudad de Medellín. Su frontis está constituido por peridotita, roca ultramáfica con un contenido cercano a 90% de minerales de hierro y magnesio, del tipo de los olivinos y los piroxenos.

En este trabajo se presentan los estudios sobre las causas del biodeterioro del material de la fachada de la iglesia y el efecto sobre el mismo del microclima de la zona, mediante el uso de técnicas que abarcan la evaluación de contaminantes ambientales, aislamiento e identificación de microorganismos, observaciones por microscopía óptica y electrónica de barrido, y análisis de superficies por energía de dispersión de rayos X, difracción de rayos X y espectroscopia de infrarrojo por transformadas de Fourier. Se analiza la incidencia de los factores atmosféricos y biológicos y se formulan los posibles mecanismos de deterioro de la peridotita.

----- *Palabras clave:* biodeterioro, deterioro atmosférico, peridotita, patrimonio cultural, biopelículas, iglesia de la Veracruz.

Atmospheric and microbiological deterioration of the church of Veracruz in Medellín

Abstract

The case history chosen for this study is the church of Veracruz, the most representative temple of the cultural heritage of the city of Medellín, Colombia. Its front was built with peridotite, an ultramafic rock containing more than 90% of iron and magnesium minerals, such as olivine and pyroxene.

The possible causes of biodeterioration are studied by using microbiological techniques of isolation and culture, complemented with optical and electron scanning microscopy observations. The impact of atmospheric factors on the structural material is studied by assessing the characteristics and amounts of

* Grupo de Corrosión y Protección. Departamento de Ingeniería de Materiales. Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia.

** INIFTA. Departamento de Química. Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de La Plata. Argentina.

atmospheric pollutants. Three different surface analysis techniques were used: energy dispersive X-ray analysis, X-ray diffraction and Fourier transform infrared spectroscopy.

----- *Key words:* biodeterioration, weathering, peridotite, cultural heritage, biofilms, church of Veracruz.

Introducción

Hay varios factores involucrados en mayor o menor medida con relación al deterioro de los materiales estructurales de los edificios y monumentos que forman parte del patrimonio cultural. Estos factores son: i) procesos de biodeterioro, ii) deterioro atmosférico de los materiales expuestos al ambiente (o corrosión atmosférica en el caso de metales y aleaciones) iii) contaminación natural y antropogénica [1].

El biodeterioro del patrimonio cultural es el daño físico o químico causado por los agentes biológicos sobre sus objetos, monumentos o edificios.

Además de los procesos de biodeterioro, el ambiente desempeña un papel decisivo en el tipo y extensión del decaimiento de los materiales estructurales, ya que la humedad relativa, las altas temperaturas y la contaminación natural y antropogénica son coadyuvantes de los procesos de biodeterioro.

El biodeterioro microbiológico se produce por la formación de *biopelículas*. Estos depósitos biológicos están constituidos por un mucílago o gel de material polimérico extracelular con un alto grado de hidratación (aproximadamente 95% de agua), que contiene células en suspensión, además de material particulado de origen orgánico o inorgánico [2]. Las biopelículas modifican drásticamente las características fisicoquímicas del medio en contacto con el material pues lo hacen mucho más agresivo [3]. En los materiales estructurales, las biopelículas microbianas pueden encontrarse en forma epilítica (sobre la superficie), casmolítica (en grietas o fisuras) o endolítica (dentro del material) [4].

Las biopelículas formadas sobre edificios o monumentos de piedra o concreto pueden albergar microorganismos fototróficos (con capacidad fotosintética), quimiorganotróficos (requieren una fuente externa de carbono orgánico) o quimiolitotróficos (usan compuestos inorgánicos para obtener energía de su oxidación) y pueden ser de respiración aeróbica o anaeróbica.

Las algas y cianobacterias son generalmente las colonizadoras primarias de los monumentos del patrimonio cultural por su requerimiento de luz. Pueden deteriorar la piedra tanto química como mecánicamente y su presencia comúnmente se detecta por la aparición de pátinas oscuras o costras. Los líquenes (asociación simbiótica de hongos y algas) están también relacionados con el biodeterioro de la piedra al igual que los musgos y plantas vasculares. Los líquenes tienen alta resistencia a la desecación y a las temperaturas extremas. Las bacterias autotróficas y heterotróficas atacan la piedra por efectos físicos y químicos relacionados con las biopelículas bacterianas. Finalmente, los hongos, son microorganismos heterótrofos que una vez establecidos en el sustrato de piedra lo deterioran tanto por vía química como mecánica [5].

Los microorganismos son capaces de obtener de la piedra varios elementos necesarios para su metabolismo (ej. calcio, aluminio, silicio, hierro, potasio) por procesos de naturaleza biogeoquímica como el proceso de *biosolubilización*. La biosolubilización incluye tanto la producción de ácidos orgánicos como inorgánicos por parte de algas, líquenes, hongos y bacterias que conducen a la biolixiviación de los elementos constitutivos del sustrato, provocando así un debilitamiento de las uniones estructurales del material.

Otro tipo de procesos de biodeterioro, pero de naturaleza biogeofísica, se producen a través de cambios estructurales de la superficie de la piedra que se presentan a través de la formación de costras o pátinas. Las pátinas afectan el aspecto estético del material e inducen diferencias de coloración en el sustrato, mientras que las costras oscuras aceleran procesos de creación de tensiones, debido a un incremento de la capacidad calorífica específica, la alteración del coeficiente de expansión hidrotérmica y de la capacidad de absorción de la humedad. Estos procesos biogeofísicos de deterioro de la piedra sinergizan con los procesos de daño atmosférico o físico debidos a los ciclos de formación de escarcha y deshielo y también a la presión de cris-

talización de sales inorgánicas depositadas en la superficie [6].

El intemperismo tiene alta incidencia en el ataque del material estructural según el grado de agresividad que el ambiente tiene en cada caso. Esta agresividad depende del oxígeno, la humedad y los contaminantes atmosféricos (dióxido de azufre, cloruros, nitratos, etc.) [7].

De acuerdo con la breve introducción precedente, en el deterioro de un monumento de valor cultural prevalecerán los agentes biológicos o los atmosféricos de acuerdo con las características del lugar donde esté ubicado el monumento, el mayor o menor grado de contaminación atmosférica y según la variedad y tipo de contaminantes microbiológicos presentes. Ambos efectos, el biológico y el atmosférico, pueden dar como resultado una acción sinérgica potenciadora, como se ha reportado recientemente [8] para dos sitios arqueológicos maya ubicados en la península de Yucatán.

El sitio del patrimonio cultural elegido para este estudio es la iglesia de la Veracruz, el templo colonial más representativo de Medellín, ubicado en el punto de confluencia de dos calles que por siglos fueron las entradas de los caminos principales de la ciudad (figura 1). Su construcción, que se inició en 1682, terminó treinta años más tarde y fue reedificada completamente entre 1791 y 1803, quedando con un frontis cuidadosamente tallado, que remata en una serie de pirámides cuadrangulares que se elevan escalonándose. Dicha parte de la edificación fue construida con material peridotítico extraído de yacimientos ubicados en las estribaciones del norte del valle donde se asienta la urbe. Este material es una roca ultramáfica rica en minerales de hierro y magnesio (generalmente olivina y piroxeno). Puede contener diversas concentraciones de limonita con agregados de feldespato meteorizado y cuarzo. Una característica de este tipo de roca es que puede convertirse fácilmente en serpentina debido a la inestabilidad del olivino en condiciones atmosféricas.

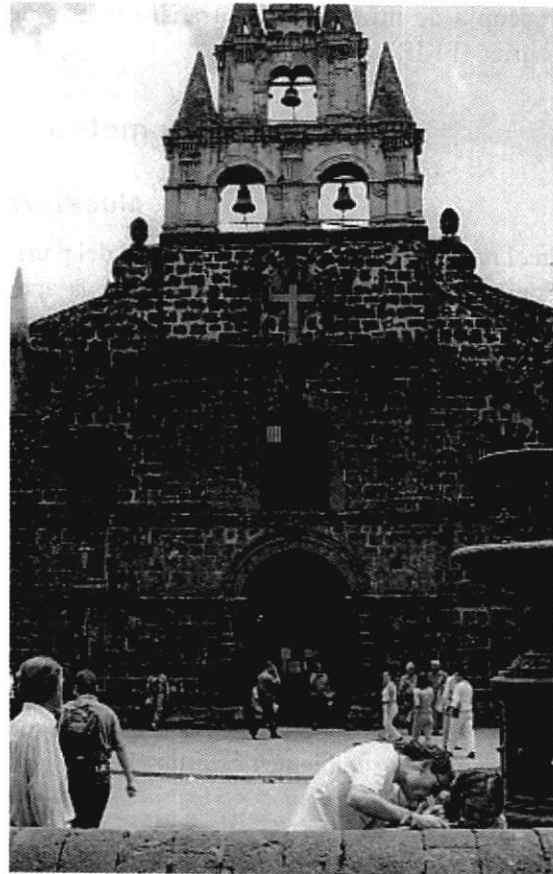


Figura 1 Iglesia de la Veracruz en la ciudad de Medellín

El monumento está enclavado en el sector cultural de Ciudad Botero, zona de intensa actividad comercial, con enorme tránsito vehicular y peatonal, donde se superponen importantes efectos biológicos y atmosféricos que afectan la estabilidad del citado material [9].

El presente estudio incluye una evaluación de los microorganismos contaminantes de las paredes de la iglesia de la Veracruz y su posible efecto biodeteriorante sobre las mismas determinado con técnicas microbiológicas de aislamiento e identificación, complementadas con observaciones de microscopía electrónica de barrido (MEB). Se usaron diversas técnicas de análisis de superficies como energía de dispersión de rayos X (EDAX), difracción de rayos X (DRX) y espec-

troscopia de infrarrojo con transformadas de Fourier (FI-IR).

Materiales y métodos

Muestras

En el muestreo del material estructural del patrimonio cultural es primordial no afectar la apariencia e integridad superficial de la estructura bajo estudio. Sobre las superficies de piedra en general es aconsejable utilizar métodos de raspado (scrapping) aséptico de las superficies en áreas contaminadas donde hay costras o biopelículas visibles.

En la iglesia de la Veracruz se escogieron lugares de muestreo correspondientes a diferentes paredes, materiales estructurales y alturas del nivel de suelo. Se utilizaron espátulas de acero inoxidable (previamente esterilizadas) para desprender películas superficiales del material que se recogían en recipientes estériles herméticos de tapa roscada.

Las muestras fueron conservadas en ambiente fresco o refrigeradas hasta su procesamiento que fue efectuado durante las 24 h después de obtenidas.

Procedimientos microbiológicos

El aislamiento microbiológico fue realizado con medios especiales para cultivo de bacterias aeróbicas heterotróficas mesófilas totales (agar nutritivo y agar CPS), bacterias acidificantes (medio líquido con indicador rojo neutro), bacterias anaeróbicas reductoras de sulfatos (BRS) utilizando medio líquido de Postgate B y bacterias anaeróbicas esporuladas (agar DRCM). El aislamiento de hongos se hizo utilizando agar YGC. Los tiempos de incubación a la temperatura de 28 °C fueron de 48 h para bacterias y de 72 para hongos.

Observaciones microscópicas

Las muestras fueron observadas en fresco mediante microscopio óptico para cianobacterias

mientras que para el estudio de líquenes y musgos se utilizó la lupa estereoscópica. Las observaciones por MEB fueron realizadas previa metalización (sputtering) de las muestras con una película de oro en un equipo Balzers SCD 030. Se utilizó un microscopio Phillips 500 equipado con análisis superficial por EDAX. Técnicas de DRX y de espectroscopia FT-IR se usaron también para el estudio de las alteraciones del mineral estructural.

Estudios de deterioro atmosférico

Diversos estudios previos [10] han permitido caracterizar la atmósfera de la zona como urbana moderada, en la que se encuentran niveles elevados de material particulado y cantidades moderadas de óxidos de azufre y de nitrógeno, todos ellos ocasionados principalmente por la contaminación vehicular. Esta situación es corroborada por los valores promedios, meteorológicos y de contaminación obtenidos para el sitio en 1998, para cuya medición se utilizaron la vela húmeda y la de dióxido de plomo (norma ISO 9225) para la medición de cloruros y óxidos de azufre repectivamente, y un cilindro de captación (norma ASTM D 1739) para el material particulado.

Tabla 1 Contaminantes atmosféricos en la ciudad de Medellín (de Calderón y Arroyave, 1999)

Temperatura media (°C)	23,50
Humedad relativa (%)	65,00
Precipitación anual (mm)	1.709,10
Deposición de Cl ⁻ (mg/m ² /día)	6,20
Deposición de SO ₂ (mg/m ² /día)	15,80
Deposición de material particulado (kg x 1000/km ² /mes)	8,61

Resultados y discusión

Resultados microbiológicos

Los resultados de los cultivos efectuados con las muestras en los diferentes medios selectivos, permiten encontrar bacterias aeróbicas heterotróficas mesófilas totales en las ocho muestras analizadas en niveles entre 10^3 y 10^4 ufc/ml. Se han encontrado también bacterias acidificantes en niveles de 10^4 ufc/ml en las muestras 1, 2, 3 y 8. En la muestra 2 se aislaron bacterias del género *Pseudomonas*. Se encontraron bacterias anaeróbicas esporuladas en todas las muestras mientras que no se detectó presencia de BRS. En un muestreo posterior, se detectaron bacterias oxidantes del hierro en el frente y laterales de la iglesia. También se aislaron hongos, pero en concentraciones por lo general un orden de magnitud inferior a las bacterias, con excepción de las muestras 4 y 6 que fueron negativas. Algunos de estos hongos son especies ambientales frecuentes como *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp. y *Dematiacea* sp.

Se encontraron algas y cianobacterias en abundancia, cuyo detalle para las distintas muestras se publicó recientemente [7]. Estos microorganismos son generalmente los causantes de la aparición de costras negruzcas observadas en algunos de los lugares de muestreo (figura 2) y fueron constatados luego durante la observación por MEB (figura 3).

En varias de las muestras se encontraron líquenes y musgos (figura 4) que fueron observados a mayor aumento por MEB (figura 5).

La especie de líquen observada corresponde a *Hyperphysia agglutinata*.

La presencia de bacterias acidificantes en todas las muestras estudiadas indica un riesgo cierto de biodeterioro del material estructural de la iglesia de la Veracruz ya que la liberación metabólica de ácidos agresivos es uno de los mecanismos biogeoquímicos más frecuentes en la destrucción de las superficies de piedra [11]. Este mecanismo transcurre a través del lixiviado de los ele-

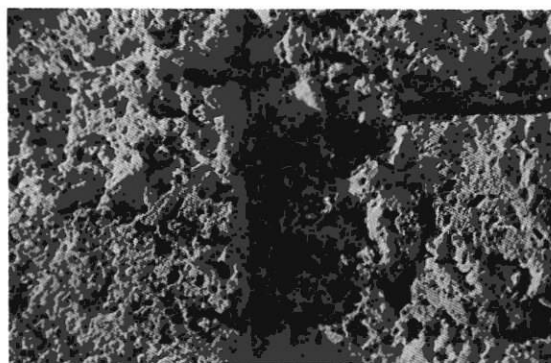


Figura 2 Fotografía de la superficie del costado derecho de la iglesia de la Veracruz (zona de muestra 5 a 1,50 m del nivel del suelo) donde se observan costras negruzcas sobre el material

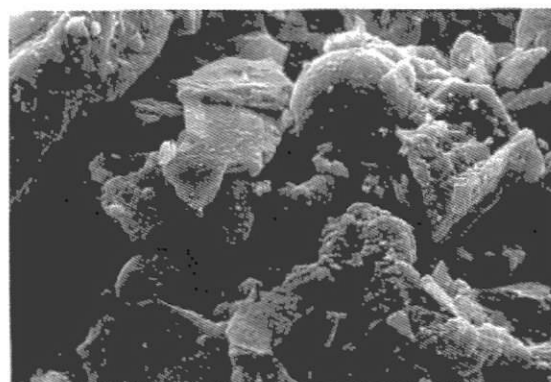


Figura 3 Microfotografía MEB que muestra dos cianobacterias entre material particulado (x 1.000). Escala 10 μ m

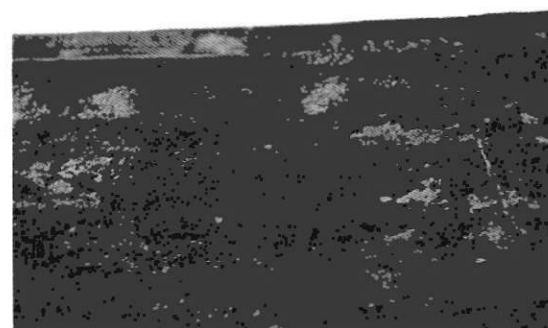


Figura 4 Fotografía de la pared de la iglesia de la Veracruz (zona de muestreo a 5,5 m del nivel del suelo) donde se puede observar el crecimiento de musgos y líquenes sobre el material estructural

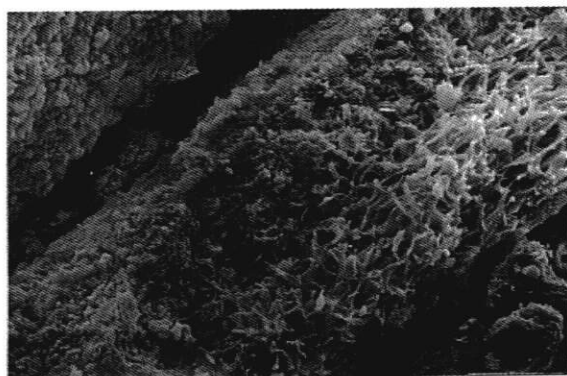


Figura 5 Microfotografía MEB que muestra la estructura de un líquen de la muestra 8 (campanario) a bajo aumento (x 400). Escala 100 mm. Puede apreciarse la médula y las cortezas líquénicas inferior y superior

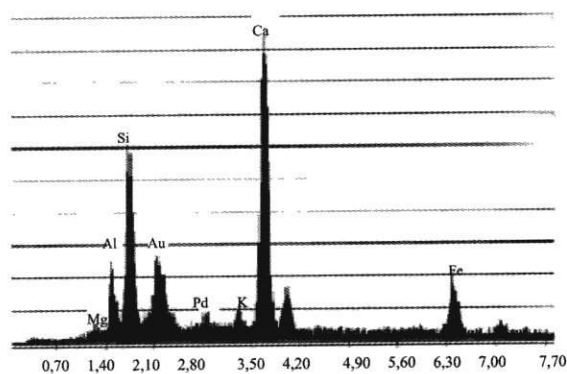


Figura 6 Perfil por EDAX de la muestra 1 (parte inferior del frente a 3,15 m del nivel del suelo)

mentos ligantes del material con el consiguiente debilitamiento de la estructura cristalina y su resultado final es la ruptura mecánica y física de la roca. Nuestros resultados del análisis por EDAX de la muestra 1 (figura 6), corroboran esta hipótesis de acuerdo con los altos porcentajes de calcio y silicio encontrados.

Estos altos valores de calcio en los perfiles EDAX son, según una publicación reciente [12] clara indicación de la alteración del material base. Por otra parte, la liberación de iones sodio, potasio,

calcio, magnesio y aluminio pueden ser usados como indicadores del deterioro del material estructural [4].

El biodeterioro debido a los microorganismos fototróficos (algas y cianobacterias) es principalmente estético debido a la aparición de pátinas y puede ser considerado como el primer impacto biogeofísico precursor de la posterior formación de depósitos o costras. Estos cambios superficiales conducen a alteraciones en la termohigroscopicidad del sustrato y han sido atribuidos a los productos de mineralización de la clorofila contenida en las biopelículas de cianobacterias y algas [13]. A estos productos se les suman los pigmentos bacterianos (por ejemplo, las melaninas) y elementos minerales como el hierro y óxidos de manganeso, provenientes del desarrollo de los hongos heterótrofos [4].

Los líquenes y musgos encontrados en las muestras tomadas en la zona ubicada a 15,5 m del nivel del suelo (paredes del campanario) son causantes de biodeterioro de diversos materiales de construcción (piedra caliza, granitos, arenisca, tejas, losas y morteros) como se ha encontrado en diversas catedrales españolas [14]. Esta colonización se ve favorecida por el aporte de materia orgánica proveniente de las excretas de palomas y otras aves, circunstancia frecuente en iglesias como la Veracruz. Los rizoides de los musgos crecen preferentemente en morteros donde causan una desintegración mecánica del material ligante. Líquenes y briofitas conducen por su parte al ataque mecánico y químico de la piedra. El ataque mecánico ocurre por la penetración de las hifas fúngicas en el material y el desprendimiento periódico del talo debido a las fluctuaciones de la humedad, que causa pérdida de adhesión de los fragmentos minerales. El ataque químico incluye la producción de ácido carbónico, oxálico y compuestos que actúan como agentes quelantes. Los perfiles EDAX efectuados en las zonas cubiertas por líquenes revelan alto porcentaje de calcio (figura 7) que ratifica este tipo de biodeterioro.

Resultados del análisis de superficies

Los estudios de análisis de superficie efectuados sobre la roca madre (peridotita proveniente del yacimiento sin exponer a la atmósfera) y la roca de las paredes de la iglesia, que ha estado expuesta a la atmósfera de la ciudad de Medellín revelan cambios significativos en el aspecto del material estructural (figuras 8 y 9), en los porcentajes elementales obtenidos por EDAX (tablas 2 y 3), por espectroscopia FT-IR (tabla 4) y según los diagramas de XRD (no mostrados en este trabajo).

Estos resultados indican una meteorización de la peridotita original que resulta principalmente en

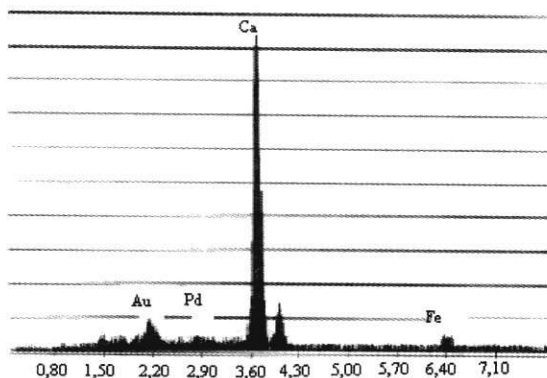


Figura 7 Perfil por EDAX de la muestra 8 (pared posterior del campanario a 15,5 m del nivel del suelo, en zona cubierta por líquenes)

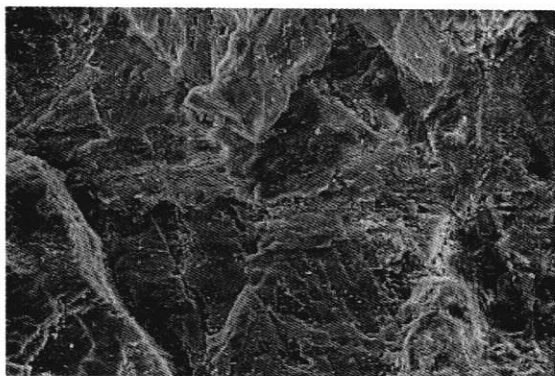


Figura 8 Microfotografía MEB de la roca madre (x 200). Escala 100 μm

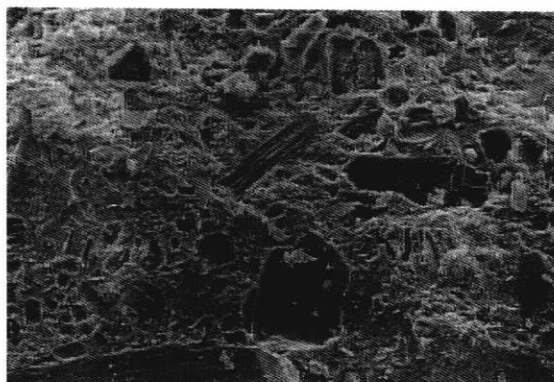


Figura 9 Microfotografía MEB de la peridotita meteorizada (x 200). Escala 100 μm

Tabla 2 Composición elemental (en porcentajes) de la roca madre

<i>Elemento</i>	<i>Peso %</i>
MgK	30,31
AlK	6,83
SiK	44,22
FeK	16,67
NiK	1,97
Total	100,00

Tabla 3 Composición elemental (en porcentajes) de la peridotita meteorizada

<i>Elemento</i>	<i>Peso %</i>
MgK	8,46
AlK	9,68
SiK	18,99
CaK	1,04
CrK	1,59
FeK	60,24
Total	100,00

Tabla 4 Bandas IR y especies químicas relacionadas

<i>Banda, cm⁻¹</i>		<i>Especie correspondiente</i>
<i>Roca del frontis</i>	<i>Roca madre</i>	
465*	480*	SiO ₂
601		α-FeOOH
642		
669*	657	α-FeOOH
743*	~ 700	γ-FeOOH, SiO ₂
804*	~ 800	α-FeOOH, SiO ₂
908*	~ 900	α-FeOOH
1.019*	1.017*	γ-FeOOH
	1.071	Variedades de hidroxisilicatos de Al, Fe; Mg y otros elementos en menor cantidad
	1.129	
	1.186	
	1.314	
1.385	1.400	
1.457	1.471	
1.559	1.514	
1.636*	1.571	
1.734		
2.361*		
2.852	2.714	
2.923*		
3.216*	3.350*	Óxidos hidratados y oxihidróxidos como γ-FeOOH y α-FeOOH.

* *Bandas principales*

la presencia de olivino y diversos óxidos de hierro, en especial lepidocrocita y goethita. La alteración observada es principalmente la hidratación de los óxidos de hierro que genera tensiones mecánicas en la roca con su posterior fisuración.

Conclusiones

La iglesia de la Veracruz, ubicada en pleno centro de la ciudad de Medellín, está expuesta a

agentes deteriorantes de origen biológico y atmosférico.

Los resultados de este estudio revelan para los diversos sitios de muestreo una población variada de contaminantes microbiológicos que incluye microorganismos heterotróficos como bacterias aeróbicas mesófilas, bacterias acidificantes, bacterias anaeróbicas esporuladas y hongos de diversos géneros y especies.

Se ha constatado una gran diversidad de microorganismos fototróficos como algas, líquenes y musgos que en muchos casos son los causantes de la aparición de pátinas y costras observadas en varios lugares del edificio.

Los perfiles de análisis superficial por EDAX corroboran los mecanismos de biodeterioro atribuidos en la literatura a los contaminantes microbiológicos aislados, entre ellos las bacterias acidificantes que atacan la roca por procesos de biosolubilización, o los líquenes que deterioran el material por la producción de metabolitos secuestrantes de los iones calcio, así como por efectos mecánicos debidos a la penetración de los rizoides.

La peridotita del frontis de la iglesia sufre meteorización que lleva a la presencia de diversos óxidos de hierro (lepidocrocita, goethita, limonita) cuya mayor hidratación en la roca expuesta al ambiente explica las diferencias encontradas con la roca madre original y la aparición de frecuentes fisuras en su superficie.

Se puede concluir finalmente que el deterioro experimentado por la estructura del frontis de la iglesia de la Veracruz, está relacionado principalmente con la acción microbiológica de los organismos que se han depositado sobre los materiales mientras que la incidencia del deterioro atmosférico es menor, por la agresividad atmosférica moderada que revelan los estudios de caracterización ambiental efectuados en este trabajo.

Agradecimiento

Héctor Videla agradece a la doctora Vilma Rosato por su asesoramiento con los líquenes aislados. También se agradece la colaboración de las doctoras Patricia Guiamet y Sandra G. de Saravia en el desarrollo experimental de la parte microbiológica de este estudio.

Liz Karen Herrera y Carlos Arroyave desean expresar su agradecimiento a las personas que

ayudaron en la toma de muestras y suministraron la información sobre el material: estudiante Alejandro Otero y técnico Alonso Bedoya.

Referencias

1. Videla, H. A. "Biodeterioration of the Ibero American cultural heritage. A problem to be solved". En: *3rd Latin American Region Corrosion Congress (LATINCORR '98)*. Paper No. S 11-02. CD-ROM Proceedings. Cancún, México. 1998.
2. Geesey, G. G. "Microbial exopolymers, ecological and economic considerations". En: *Am. Soc. Microbiol. News*. Vol. 48. 1982. pp. 9-14.
3. Videla, H. A. y Characklis, W. G. "Biofouling and microbially influenced corrosion". En: *International Biodeterioration & Biodegradation*. Vol. 29. 1992. pp. 195-212.
4. Warscheid, Th. y Braams, J. "Biodeterioration of stone: a review". En: *International Biodeterioration & Biodegradation*. Vol. 46. 2000. pp. 343-368.
5. Griffin, P. S., Indictor, N. y Koestler, R. J., "The biodeterioration of stone: a review of deterioration mechanisms, conservation case histories, and treatment". En: *International Biodeterioration*. Vol. 28. 1991. pp. 187-207.
6. Videla, H. A. "Biodeterioro de monumentos históricos de la zona Maya". En: *Memorias de las Jornadas sobre Prevención y Protección del Patrimonio Cultural Iberoamericano de los Efectos del Biodeterioro Ambiental*. 2002. pp. 11-29.
7. Herrera, L. K., Arroyave, C. y Videla, H. A.. "Protección y prevención del biodeterioro de materiales estructurales del patrimonio cultural colombiano. Iglesia de la Veracruz en Medellín". En: *Memorias del Curso sobre Prevención y Protección del Patrimonio Cultural Iberoamericano de los Efectos del Biodeterioro Ambiental*. Medellín. 2002. pp. 155-196.
8. Videla, H. A. Guiamet, P. S. y Gómez de Saravia, P. S., "Biodeterioration of Mayan archeological sites in the Yucatan peninsula, Mexico". En: *International Biodeterioration and Biodegradation*. Vol. 46. 2000. pp. 335-341.
9. Restrepo Uribe, J. *Medellín, su origen, progreso y desarrollo*. Editorial Servigráficas. Medellín. 1981. p. 160.
10. Calderón, J. A. y Arroyave, C. E. (1999) *XX Congreso Colombiano de Ingeniería Química*, 4-6 de agosto de 1999. p. 205.

11. Resende, M. A., Rezende, G. C., Viana, E. M., Becker, T. W. y Warscheid, T. "Acid production by fungi isolated from historic monuments in the Brazilian state of Minas Gerais", *LABS 2, Biodegradation & Biodeterioration in Latin America* (Gaylarde C. C., Sa, E. L. S., Gaylarde, P. M. eds.), UNEP/UNESCO/ICRO-FEPAGRO/UFRGS. Porto Alegre, Brasil. 1996. pp. 65-67.
12. McCormack, K., Morton, L. H. G., Benson, J., Osborne, B. N., McCabe, R. W. "A preliminary assessment of concrete biodeterioration by microorganisms", *LABS 2, Biodegradation & Biodeterioration in Latin America* (Gaylarde, C. C., Sa, E. L. S., Gaylarde, P. M. eds.), UNEP/UNESCO/ICRO-FEPAGRO/UFRGS, Porto Alegre, Brasil. 1996. pp. 68-70.
13. Warscheid, Th. y Krumbein, W. E. "General aspects and selected cases". En: *Microbially Influenced Corrosion of Materials* (E. Heitz, H. C. Flemming, W. Sand, eds.), Springer-Verlag, Berlín. 1996. pp. 273-295.
14. García-Rowe, J. y Saiz-Jiménez, C. "Lichens and bryophytes as agents of deterioration of building materials in Spanish cathedrals". En: *International Biodeterioration*. Vol. 28. 1991. pp. 151-163.