



TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN CONSERVACIÓN RESTAURACIÓN DE BIENES
CULTURALES – UNIVERSIDAD DE SEVILLA

CURSO 2018/2019

AUTORA: María Isabel Calvo Bayo

TRABAJO FIN DE GRADO

**GRADO EN CONSERVACIÓN RESTAURACIÓN
DE BIENES CULTURALES- UNIVERSIDAD DE
SEVILLA**

CURSO 2018/2019

**TÍTULO: Estudio de alteraciones y factores de
deterioro en las fuentes del Jardín Inglés del Real
Alcázar de Sevilla.**

TUTOR: D. Julio Romero Noguera

Vº.Bº.DEL TUTOR:

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized 'J' followed by a long horizontal line that ends in a small hook.



DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DE TRABAJO ACADÉMICO
TRABAJO DE FIN DE GRADO/TRABAJO FIN DE MÁSTER

D. /D^a.: María Isabel Calvo Bayo, con DNI 30266788F,

Estudiante del Grado Restauración y Conservación de Bienes Culturales de la
Universidad de Sevilla.

DECLARA QUE:

El Trabajo Fin de Grado/Trabajo Fin de Máster denominado, “Estudio de las alteraciones en las fuentes ubicadas en el Jardín Inglés del Real Alcázar de Sevilla”.

Es de mi exclusiva autoría y ha sido elaborado respetando los derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan en las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Por lo tanto, asumo la responsabilidad de sus contenidos y elaboración, sin incurrir en fraude científico o plagio.

Para que así conste, firmo la presente declaración en

Sevilla a 7 de junio 2019

Fdo. María Isabel Calvo Bayo

Agradecimientos.

Me gustaría dejar constancia de mi más profundo agradecimiento a todas aquellas personas que han hecho posible la realización de este trabajo de fin de grado.

A mi tutor y profesor D. Julio Romero Noguera, por guiarme y ayudarme con sus aportaciones y correcciones en este trabajo que he disfrutado tanto.

Al D. Fernando Bolívar Galiano, por dedicar parte de su tiempo en ayudarme con la caracterización de algas.

A D^a. Rosalía Martín Franquelo, por su interés y por la documentación facilitada.

A mi familia, por la profunda paciencia que han tenido conmigo durante estos meses. Tenéis el cielo ganado por ello.

A mis amigos y compañeros de clase, no diré nombre pues no quiero hacer de esto una guía telefónica, ellos ya saben quiénes son. Por el apoyo incondicional que he sentido de ellos durante todo este tiempo, sus ánimos y las largas horas que hemos vivido juntos en la biblioteca. Con vosotros cualquier situación siempre se ha hecho mucho más llevadera. Ha sido precioso compartir con vosotros no este momento, sino este camino que hemos construido juntos.

Por último y por ello no menos importante, a mis compañeros de trabajo, sin su comprensión y ayuda realizando horarios por mí para poder disponer de más tiempo para este proyecto, ésto no hubiese sido posible.

A todos, gracias de corazón.

ÍNDICE.

1. INTRODUCCIÓN.....	Pág.5
1.1. Objetivos del estudio.....	Pág.5
1.2. El Real Alcázar de Sevilla.....	Pág.7
1.3. Alteraciones en el material pétreo.....	Pág.22
2. LOCALIZACIÓN DE LAS ALTERACIONES EN EL MATERIAL PÉTREO EN EL ALCÁZAR DE SEVILLA.....	Pág.44
2.1. Modificaciones a nivel superficial.....	Pág.44
2.2. Eliminación de materia.....	Pág.56
2.3. Deformaciones.....	Pág.62
2.4. Separación de material.....	Pág.63
2.5. Mapa de alteraciones.....	Pág.67
3. INTEGRACIÓN PROFESIONAL.....	Pág.72
3.1. Estudio biológico.....	Pág.72
3.2. Propuesta de ampliación de estudios analíticos.....	Pág.79
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	Pág.84
5. BIBLIOGRAFÍA Y DOCUMENTACIÓN ELECTRÓNICA.....	Pág.88
5.1. Documentación bibliográfica.....	Pág.88
5.2. Documentación electrónica.....	Pág.91

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. Objetivos del estudio.

La finalidad de este trabajo consiste en realizar un estudio sobre las alteraciones presentes en las fuentes de piedra ubicadas en el Jardín Inglés, localizado en Real Alcázar de Sevilla, con el objetivo de identificar las diferentes patologías que presentan, las cuales ofrecerán las bases para definir los mecanismos de deterioro que determinan el estado de conservación en el que se encuentran.

El estudio de las alteraciones en esta tipología de Bien Cultural irá contrastado y documentado bajo una bibliografía, que proporcionará una guía para su clasificación en función de los indicadores que presenta. La comparación entre las distintas alteraciones presentes en las obras artísticas, en base a la documentación utilizada, aportará una línea de identificación y definición de las mismas. La investigación de los indicadores patológicos presentes en las obras artísticas ofrece la información sobre el mecanismo que las provoca, siendo un factor esencial de conocimiento para la profesión del conservador-restaurador encargado de dictaminar una serie de actuaciones adecuadas, como son la metodología, tratamientos y materiales que funcionen en consonancia a las necesidades que requiera la obra, asegurando de este modo su conservación para las futuras generaciones.

Para ello, es esencial comprender que cada obra histórico-artística contiene una serie de características intrínsecas y extrínsecas concretas que la hace única y especial, por tanto, los factores de deterioro actúan de diferente forma en cada obra que se ubica en este lugar, incluso aun encontrándose en la misma zona.

Sin embargo, cabe destacar que las alteraciones, así como las explicaciones aportadas sobre los factores que las provocan se tratan de meras hipótesis contrastadas con una documentación, ya que no se han realizado estudios analíticos que verifiquen su naturaleza.

Por ello, este trabajo ofrecerá a modo de preámbulo, una documentación sobre los indicadores de alteración que pueden aparecer en el material pétreo, así como los distintos mecanismos de alteración que los generan. Para ello, se aplicarán conocimientos artísticos, técnicos y científicos propios de esta tipología de bienes culturales, poniendo en práctica las capacidades y competencias adquiridas en la titulación.

Los objetivos específicos que se pretenden conseguir con este trabajo son los siguientes:

- Adquirir competencias en documentación y diagnóstico de los mecanismos y factores de deterioro en las obras pétreas ubicadas en el Real Alcázar de Sevilla, así como en la aplicación y utilización de documentación gráfica, fotográfica y científica.
- Capacidad de reconocimiento de las patologías que pueda afectar a un Bien Cultural de tipo pétreo, así como los diferentes factores responsables de su aparición.
- Capacidad de decisión sobre el control y reducción de los factores que inciden de manera nociva en estos bienes culturales, así como establecer medidas correctas de conservación preventiva en las piezas.
- Adquirir experiencia y competencias en la realización de un estudio analítico mediante microscopía sobre el biodeterioro que se desarrolla en las fuentes ubicadas en el Jardín Inglés.
- Capacidad de utilización de lenguaje y vocabulario técnico propio de la profesión del conservador y restaurador de bienes culturales.
- Adquirir competencias en la utilización de fuentes bibliográficas y documentales.
- Creación de un trabajo que proporcione una documentación profundizada y específica en el deterioro del material pétreo con fines didácticos.

1.2. El Real Alcázar de Sevilla.

1.2.1. Datos de la institución.

El Real Alcázar de Sevilla es una institución denominada como Patrimonio Histórico de la Humanidad por la UNESCO en 1987, tratándose de un monumento histórico que se fundó a finales del siglo XI y que se ubica en el Patio de Banderas, s/n, 41004 Sevilla. Su fundación data de finales del siglo XI.

Su entidad administradora pertenece a un patronato que preside el alcalde de Sevilla D. Juan Espadas Cejas. El propósito principal de esta institución es la conservación y el turismo.

La conservación de las colecciones es una de las actividades principales de la institución, con motivo del disfrute colectivo de los ciudadanos y el turismo. El Alcázar se trata de un recinto fortificado que en el siglo XI se convirtió en residencia real. Por tanto, este monumento contiene una amplia diversidad de movimientos artísticos, comenzando por un estilo mudéjar con aportaciones y matices renacentistas hasta remates barrocos propios del siglo XVIII, junto con las últimas reformas realizadas en el siglo XX en los jardines, caracterizadas por un estilo neoromanticista.

El Real Alcázar de Sevilla pretende conservar todas aquellas manifestaciones aportadas a lo largo de la historia, las cuales representan un fiel testigo de la evolución de Sevilla, marcada por una gran diversidad cultural. En cuanto a los problemas existentes de conservación en la institución, son detectables en varias zonas del lugar y muchos de ellos alcanzan un grado avanzado de deterioro, reconocible a simple vista. La prioridad de la institución es la obtención de recursos económicos que faciliten la realización de un plan que radique de manera efectiva en los distintos mecanismos de deterioro, responsables de la problemática existente en su conservación y que coetáneamente, funcione en consonancia con las necesidades que requiere cada una de las obras que alberga en su interior.

1.2.2. El edificio y su entorno.

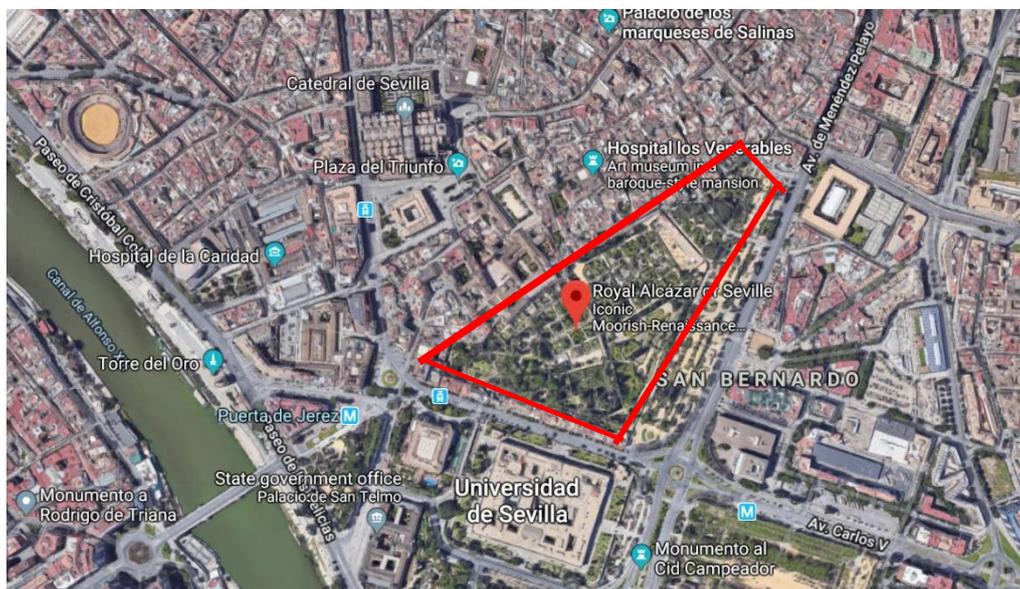


Figura 1. Localización del Real Alcázar de Sevilla, (Google Maps, 2019).

El Real Alcázar de Sevilla se trata de un palacio fortificado compuesto por zonas construidas en diferentes etapas históricas, creando en su interior un paraje natural dentro de las murallas, caracterizado por contener una rica escena acuífera, compuesta por las numerosas fuentes que ornamentan sus jardines junto con una amplia diversidad de especies vegetales que alberga en su interior.

El perímetro de este lugar está delimitado por la línea envolvente que recoge la muralla de la Plaza del Triunfo, la calle Joaquín Romero Murube, de la plaza de la Alianza y de la calle Rodrigo Caro, las traseras por la calle Vida, tratándose del barrio de Santa Cruz y que continúa por el muro del cerramiento del Alcázar en los Jardines de Murillo. En esta delimitación continúa por las traseras de las parcelas en la calle San Fernando, donde se ubica la Real Fábrica de Tabacos de Sevilla y por la trasera de la Plaza de Puerta Jerez, el Palacio de Yanduri, que pasa por delante de las parcelas localizadas en la calle Dean Miranda, hasta el inicio de la Plaza del Triunfo. (Borrego, “et al”, 2015:29-30).

Su localización forma parte del centro histórico de Sevilla, (Fig.1) tratándose de una zona protegida y denominada como Bien de Interés Cultural, con índices de contaminación normales-bajos tras un plan de conservación preventiva del casco histórico de Sevilla que se realizó en 2006 donde se eliminó el tránsito de vehículos tras tenerse en consideración los distintos daños encontrados por esta fuente de contaminación (Gavira, 2010). Este plan se efectuó concretamente en las avenidas de San Fernando y de la Constitución, que rodean la Catedral de Sevilla,

acercándose a la zona del Real Alcázar, suponiendo un factor beneficioso para la conservación de este conjunto histórico respecto a la exposición de este foco emisor de contaminación en casi todo su perímetro, exceptuándose en la zona suroeste de la misma donde se encuentra la avenida de carretera Menéndez Pelayo.

Pese a la exposición a agentes contaminantes a los que se ve expuesto este Bien a causa de los gases emisores procedentes del tránsito de vehículos, uno de los motivos que dan fama al Real Alcázar de Sevilla son sus jardines, enriquecidos por plantas exóticas, presentando un conjunto de 170 especies en 60.000 m² de superficie, absorbiendo una cantidad de 216.618,19 Kg de CO₂ al año (Nomadgarden, 2018). Esta cifra equivale a lo producido por un coche de tipo medio dando 350 vueltas alrededor de la Tierra (Rodríguez, “et al”.., 2014:190), creándose de esta manera un ambiente favorecedor al desarrollo de organismos bióticos que habitan en esta zona, así como un ambiente atmosférico saludable, tanto para las especies que contiene en su interior como para las obras artísticas.

1.2.3. El Real Alcázar de Sevilla. Historia y transformaciones:

La página oficial del Real Alcázar de Sevilla ofrece la siguiente documentación sobre la historia del edificio que aparece a continuación.

La institución ocupa una superficie un total de 2550 m². Su construcción tuvo inicio en la antigua Híspalis Romana en el siglo I. Aunque se desconoce exactamente su función, los primeros cambios de los que se obtiene documentación se experimentaron durante la Alta Edad Media.

A comienzos del año 914, el califa Abderrahmán III an-Násir construyó una alcazaba con una muralla cuadrangular que protegía el interior del recinto, construida por sillares adheridos a la antigua muralla romana.

Un siglo más tarde, la alcazaba se amplió siendo posteriormente reemplazada por el palacio gótico. En la segunda mitad del siglo XI el rey Al-Mutamid amplió la fortaleza construyendo algunos edificios palaciegos. Los almohades en el siglo XII reformaron por completo este espacio, surgiendo de este modo La Casa de la Contratación (Serrera, 2008:137). Las murallas del Alcázar pasaron a ser parte de nuevas y reformadas fortificaciones para la defensa de la ciudad, que culminaron a comienzos del siglo XIII con la construcción de la torre del Oro.

En el siglo XIII con la conquista de los Reyes Católicos se proclamó al Real Alcázar “sede de la Corona y ámbito del poder municipal de Sevilla”. Durante esta época, con Alfonso X se construyó el palacio gótico, los demás edificios del Alcázar de carácter almohade fueron reformados al gusto de la época.

En el siglo XIV, el rey Pedro I derribó tres edificios palatinos almohades para construir el palacio Mudéjar, el cual se adosó al palacio Gótico.

Durante cada construcción arquitectónica en cada marco histórico, los jardines y las fuentes fueron añadiéndose, con motivo de enriquecer la arquitectura con una amplia vegetación, donde el agua es la principal protagonista de este paraje natural. La época del Renacimiento fue donde más transformaciones sufrieron los jardines y más construcciones de estanques, pabellones, portadas y galerías se realizaron.

“El Alcázar es un reflejo de los distintos acontecimientos que ocurrieron en la ciudad relacionados con la Corona española, el cual ha sufrido numerosas transformaciones adaptándose al gusto de la época hasta nuestros días, tratándose de un conjunto representativo de numerosos movimientos artísticos a nivel arquitectónicos, combinados con un paraje natural que proporciona uno de los espacios más hermosos de España”. (Valencia y Valdivieso, 2017).



Figura 2. Planimetría arquitectónica de la planta del Real Alcázar. (Wikipedia, 2019).

- (1). Puerta del León.**
- (2). Sala de Justicia y patio del Yeso (cyan)**
- (3). Patio de la Montería (rosa)**
- (4). Cuarto del Almirante y Casa de la Contratación (crema).**
- (5). Palacio Mudéjar o de Pedro I (rojo).**
- (6). Palacio gótico (azul).**
- (7). Estanque de Mercurio**
- (8). Jardines (verde). Zona marcada en rojo corresponde al Jardín Inglés.**
- (9). Apeadero**
- (10). Patio de Banderas (amarillo).**

1.2.3.1. El jardín inglés.

Los jardines del Real Alcázar presentan un rico y variado conjunto paisajístico creado por diferentes civilizaciones a lo largo de historia. Un conglomerado de numerosas especies y diferentes estilismos que conviven en afortunada sintonía. Este espacio supone casi el 40 % del espacio público ajardinado del centro histórico de Sevilla, transformándose en una infraestructura de valor incalculable para la regulación de la biodiversidad o la atmósfera de la ciudad (Rodríguez “et al”. 2014:164).

El jardín inglés, se ubica en el lateral derecho, lado oeste de la zona de los jardines del Real Alcázar de Sevilla (Fig.4), su nombre se debe a presentación de un paraje influenciado por corrientes artísticas inglesas originadas en las Islas Británicas durante el siglo XVIII (Jiménez, 2019), representando una pequeña pradera con caminos de albero curvos, ornamentados por una hilera de esculturas pétreas. Este jardín se diferencia del resto porque rompe con la composición geométrica con la que se identifica la mayoría de los jardines que alberga el Real Alcázar. Presenta también, ciertos rasgos mediterráneos por la distribución de los árboles, creando un rico juego de luces y sombras que enriquecen visualmente esta zona y que se contraponen con el acentuado contraste de parajes ingleses, caracterizados por suaves praderas abiertas y grandes volúmenes de árboles concentrados en una zona.

El terreno de esta zona se llevó a cabo por el rey Alfonso XIII, aunque hasta 1927 no se finalizó, por voluntad de la Reina Victoria Eugenia para llevar a cabo un jardín de características pintorescas único en Sevilla, (Rodríguez, “et al”, 2014:172; Bonells, 2018), ocupando parte de la antigua Huerta de la Alcoba, tratándose de un antiguo espacio agrario de origen medieval, dentro de los muros del Alcázar.

Los árboles que se aprecian en esta zona es naturaleza nogal, haya, pinos canarios, encinas, robles, ciprés, tipuanas, albizias o ginkgo (Ayuntamiento de Sevilla, 2019) junto con magnolios, olmos y cedros, situados en esta amplia superficie verde a causa de Juan Gras y Prats, jardinero de la Casa de Campo y diseñador de los jardines del Palacio de la Magdalena de Santander traídos desde sitios reales como es la Granja de San Idelfonso y Aranjuez.

Este jardín, con características románticas, los viajeros llegaban buscando no el futuro, sino el pasado con una mirada nostálgica, desarrollándose el paraje natural con pinceladas estilizadas en el siglo XX, en un contexto donde la ciudad realiza importantes cambios de modernización. (Rodríguez, “et al”, 2014:172).

1.2.4. Conjunto y colecciones.

La piedra ornamental es un material muy empleado en numerosos motivos decorativos y arquitectónicos del interior del Real Alcázar de Sevilla. Las propiedades que presenta como fortaleza y gran resistencia frente a variaciones de temperatura y humedad, además de aislar su interior frente a posibles factores de deterioro, favorecen su empleo. Es el elemento principal constitutivo de las numerosas fuentes que alberga en su interior. (Tabales y Vargas, 2014:11-56)

El material que predomina en la colección de fuentes del Jardín Inglés es de naturaleza carbonatada, concretamente de mármol blanco y calizas.

Respecto a las características que presentan estos materiales pétreos, la caliza es un tipo de roca sedimentaria. Este tipo de piedras son las más abundantes de la superficie terrestre, las cuales son muy utilizadas como material de construcción. Su formación es el resultado experimentado de la degradación a la intemperie de rocas ya existentes, ya sean metamórficas u otras sedimentarias, que dan lugar a la formación de una roca nueva bajo la litificación de sedimentos de carácter detrítico, químico u orgánico (Velilla, 1996:12). A este grupo pertenecen las rocas calizas y areniscas. La primera, se caracteriza por estar compuesta por carbonatos, la cual sufre un proceso de evaporación del dióxido de carbono, dando lugar a carbonatos insolubles de calcio y de magnesio. Este material pétreo presenta sensibilidad ante los ácidos. (Carbonell de Masy, 1993:69; Carmona, 2015:24).

Según Gilbert, en la mayoría de las rocas sedimentarias, se distinguen tres componentes que condicionan sus características: el esqueleto, la matriz y el cemento.

El esqueleto se trata de un entramado de elementos de mayor tamaño que da lugar al soporte físico de la roca, mientras que la matriz la componen partículas de menor tamaño y de origen primario que se disponen en el espacio que existe entre los componentes del esqueleto. El cemento, lo constituye todos los minerales de precipitación química que se disponen en el espacio intergranular, tratándose de un elemento secundario. La caliza tiene una resistencia que apenas alcanza los 500 kg/cm², cuya dureza en la escala de Mohs se acerca al valor 3, tratándose de una piedra blanda que facilita su manufactura. (Gisbert, 2014:29).

Por otro lado, el mármol, según Peraza, es la piedra más abundante en los jardines que alberga la institución. Procede de Italia, tratándose de mármol blanco de Carrara. Este material es el más representativo en la realización de obras de arte pétreas en el ámbito del mediterráneo occidental. (2004:64).

Esta piedra, es una roca metamórfica de color blanco, aunque existen muchas más tonalidades, como el gris, verde, negro, verde, entre otras, en función de su composición. Está constituida mayoritariamente por carbonatos (calcita y/o dolomita), derivada de rocas sedimentarias o ígneas, que, expuestas a las condiciones ambientales, sufren una serie de transformaciones de diversa naturaleza. Contiene otros minerales conocidos como impurezas: silicatos magnésicos, mica, cuarzo, óxido de hierro, etc. Es un producto muy empleado en la construcción debido sus propiedades de gran resistencia al desgaste y al choque. En cuanto a las características técnicas del mármol de Carrara, presenta una dureza en la escala de Mohs entre 3 y 4. Su peso específico aparente es de 2.980 gr/cm³, y una de sus características importantes es su coeficiente de absorción del agua de 0.08 %, su resistencia la comprensión es de 67.9 Mpa, a la flexión 10.21 Mpa, al desgaste 5.35 mm y al impacto 36.25 cm y la resistencia a las heladas es de 0.02 % (Torres, García y Molina, 2004:5; Martín, 1990:268; Carmona, 2015:24).

En el espacio del Jardín Inglés, se aprecia un total de tres fuentes (Fig.3). Dos de ellas en funcionamiento con agua mientras que la tercera, con un avanzado estado de deterioro, no se encuentra en funcionamiento desde hace unos meses, siendo original de la zona donde se encuentra (Fig.4a). Aquéllas con agua, no son originales del lugar, sino que son transportadas de otras estancias de la institución, llevadas a cabo por el conservador-restaurador Tabales, como ocurre con aquélla que se localiza en una tarima, envuelta por árboles y bancos, cuya composición es geométrica y su cuerpo se inscribe en un círculo, la cual procede del Jardín de las Doncellas (Fig.4c). Su cronología corresponde entre el siglo XII y XIII. (Información aportada por el organismo perteneciente a la institución).

El material rocoso en este caso toma un carácter esencialmente ornamental y estructural por las propiedades que presenta. Las dos fuentes restantes representan un estilo manierista, caracterizándose por un alto sentido de la elegancia, con figuras esbeltas y alargadas (Robador, 2019:12). Vermondo Resta, arquitecto italiano que pertenece al movimiento artístico que se desarrolla entre el manierismo y el barroco a principios del siglo XVII, fue la persona encargada de diseñar las fuentes que se ubican en el Jardín de las Damas y los demás jardines adyacentes, como son los actuales Jardines de las Flores, Poeta e Inglés. En numerosos documentos de esta época, se cita la presencia de un albañil encargado de construir estas piezas, conocido como Pedro Martín. (Baceiredo, 2019:120; Marín, 2006:222).

Estas fuentes se hallan en contacto directo con una amplia vegetación, tratándose de este jardín uno de los principales exponentes que contiene una amplia diversidad de especies vegetales dentro del Real Alcázar de Sevilla. Por tanto, esto supone un aumento de la humedad de la zona que potencia la aparición de agentes bióticos. Las fuentes se ubican sobre un terreno cubierto de albero, sin seguir una composición geométrica específica, acercándose a la muralla que separa la institución de los Jardines de Murillo y siendo la zona más próxima a la avenida de Menéndez Pelayo, suponiendo de esta forma un acercamiento a los agentes contaminantes que proceden del tránsito de vehículos. No obstante, la especie flora no es la única que se puede encontrar en este lugar, también existen animales, tales como pavos reales y patos, (Fig.4b) que se introducen en las fuentes que contienen agua, suponiendo un agente de deterioro para las piezas constituidas de piedra.

El agua que circula en las fuentes ubicadas en este jardín procede del Aljibe, caracterizada por no estar depurada, con una gran cantidad de microorganismos, limonita y alto porcentaje de calcio, lo cual deteriora considerablemente el material pétreo. (Baceiredo, 2019:118). Las empresas encargadas del mantenimiento de las fuentes de la institución afirman que, tras una intervención de limpieza, a los dos días aproximadamente, vuelve a estar el agua sucia y con ataques de organismos vivos.



Figura 3. Plano de localización de las fuentes del Real Alcázar de Sevilla. (Almagro, 2018: 90). Los círculos rojos indica la localización de las fuentes en el Jardín Inglés.



Figura 4. Fuentes que se ubican en el Jardín Inglés.

- (a). Fuente sin funcionamiento original de la zona.**
- (b). Fuente donde se aprecia la interacción con animales.**
- (c). Fuente trasladada del Jardín de las Doncellas.**

1.2.5. Factores ambientales en el Alcázar de Sevilla.

1.2.5.1. El suelo.

Es necesario comprender el suelo donde se asienta la institución del Real Alcázar de Sevilla, ya que éste puede afectar y condicionar al comportamiento de la misma, donde el terreno actúa como un material de construcción más.

El suelo predominante de la ciudad de Sevilla está compuesto por agregados arcillosos de distinta composición, margas y zahorras procedentes de las antiguas crecidas del río Guadalquivir. Estas arcillas en algunas ocasiones tienen un carácter expansivo que ocasiona problemas en el asentamiento de edificaciones, por los ciclos de expansión y contracción.

- Nivel freático y corrientes subterráneas.

Según el mapa geotécnico ofrecido por diversas fuentes, el nivel freático donde se ubica el Real Alcázar oscila entre unos 3 y 4 metros de profundidad (Fig.5), que combinado con las corrientes de aguas subterráneas contribuyen a la aparición de humedades, que ascienden por capilaridad por los muros y elementos que conforman la institución. Este valor viene influido principalmente por la cota del río, que coinciden con los antiguos cauces del río (Huete “et al”, 2012:5-12).

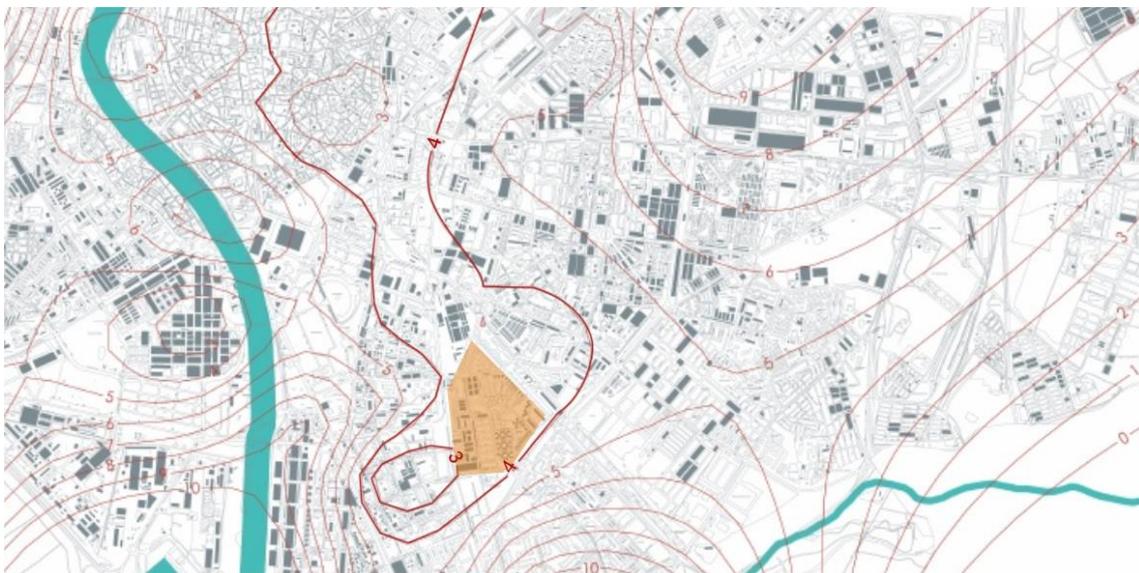


Figura 5. Mapa geotécnico del nivel freático en Sevilla. El Real Alcázar está representado de color naranja. (Adaptado del mapa geotécnico básico de la ciudad de Sevilla, por Huete, R. 2005:15).

- Altitud.

Según la información ofrecida por la Agencia Estatal de Meteorología, la altitud donde se encuentra el monumento de los Reales Alcázares se sitúa entre 11 y 13 metros sobre el nivel del mar, tratándose de un valor bastante alto, teniendo en cuenta que la altitud media de la ciudad de Sevilla se encuentra a 7 metros de altura.

1.2.5.2. Contexto climatológico.

Teniendo en cuenta que las fuentes se ubican a la intemperie, con motivo de obtener un acercamiento de las causas de su deterioro, es interesante conocer las principales características climatológicas del lugar donde se encuentran. Para ello, se ha obtenido información de los datos de los distintos parámetros climáticos en la página web de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), concretamente de la estación meteorológica de Tablada, (Sevilla), siendo la más cercana a la institución.

MESES	T	Tm	TM	P	HR	DR	DT	DD	I	UV
Enero	10.3	5.7	14.9	66	71	6	1	5	169	2
Febrero	11.9	6.8	17	50	67	6	0	7	171	3
Marzo	14.3	9	19.6	36	59	4	2	9	214	5
Abril	16.9	10.9	22.9	54	57	6	1	11	228	7
Mayo	19.9	13.7	26.1	34	53	4	2	14	286	8
Junio	24.3	17.1	31.5	10	48	2	1	17	314	9
Julio	27.8	19.4	36.2	2	44	0	0	18	375	9
Agosto	27.6	19.6	35.7	5	48	0	0	17	341	9
Septiembre	24.7	17.6	31.8	18	54	3	1	15	246	7
Octubre	19.5	13.7	25.4	69	62	6	2	8	197	5
Noviembre	14.6	9.9	19.3	99	70	6	1	7	178	3
Diciembre	11	6.6	15.4	82	74	8	1	6	147	2
AÑO	18.6	5.2	24.6	530	59	51	12	134	2.866	5.75

En la siguiente tabla aparece:

T: temperatura media mensual y anual (°C).

Tm: Temperatura media mensual y anual de las mínimas diarias. (°C).

TM: Temperatura media mensual y anual de las temperaturas máximas diarias. (°C).

P: Precipitación media y anual en mm.

HR: Humedad relativa media mensual y anual (%).

DR: Media mensual y anual de días de precipitación superior o igual a un mm.

DT: Media mensual y anual de los días de tormenta.

DD: Media de número de días despejados.

I: Media del número de horas de sol.

UV: Promedio del índice de radiación ultravioleta mensual y anual. Los índices de radiación ultravioleta se establecen según la AEMET en <2 como baja, moderada de 3 a 5, alta de 6 a 7, muy alta de 8 a 10 y extremadamente alta a partir de 11. Según los datos aportados por la Agencia Estatal de Meteorología, el rango medio al que se expone el municipio de Sevilla es moderado, alcanzando índices peligrosos durante los meses de verano.

Los datos de la tabla aportan una información aproximada sobre la climatología del territorio sevillano, el cual presenta características mediterráneas con influencias oceánicas, debido a su proximidad con el océano Atlántico. Presenta un clima templado-cálido, por su localización geográfica, latitud y entorno, con moderadas oscilaciones de temperatura y con veranos largos, muy calurosos y secos, sin apenas precipitaciones. Los inviernos se caracterizan por ser suaves y húmedos. La baja altitud que presenta, así como su influencia y cercanía al océano, otorga un cierto carácter de clima continental.

En verano se alcanzan temperaturas que superan los 40 °C, concretamente durante los meses de julio y agosto, con numerosos días despejados que provocan insolación y sequedad en los monumentos localizados al exterior. Estos datos contrastan demasiado con las temperaturas que alcanzan en invierno, donde presenta altos porcentajes de humedad relativa y temperaturas bajas muy suaves. Estos cambios drásticos de una estación a otra, aunque se experimenten gradualmente, suponen un factor de deterioro para las obras pétreas que se ubican al exterior, sobre todo en primavera donde se experimentan cambios más drásticos diariamente.

Las precipitaciones se reparten irregularmente durante todo el año, concentrándose en los meses de octubre y abril, sin superar los 600 mm (L/m²). Respecto la humedad relativa anual, la media no supera el 40%, comprendiendo los meses de noviembre y marzo los más húmedos de todo el año.

En cuanto a los vientos predominantes en Sevilla, la velocidad generalmente es de 4.5-5 km/h. La potencia media anual es de 100-150 km/h. La velocidad media estacional: Primavera y verano: 4,5 – 5 km/h mientras que en Invierno y otoño: 5.5 – 6 km/h. Tratándose de un factor que favorece la erosión de los materiales pétreos.

La dirección es de suroeste (SO) provenientes del océano Atlántico y del noreste en invierno (NE) (Rivas, 2015; Weatherspark, 2018).

Respecto a la contaminación existente en el ambiente, con motivo de controlar la calidad del aire en el territorio sevillano, existen una serie de registros que aporta la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Estos registros ofrecen información cualitativa y cuantitativa mensual, sobre la concentración de los distintos contaminantes existentes en la atmósfera. La información ha sido recogida de la estación de control que se ubica en la Calle Pajaritos número 14, 41004, Sevilla, tratándose de la más cercana a la institución de los Reales Alcázares. Para evitar altos niveles de contaminación, se implantan límites muy bajos para realizar una optimización que asegure una buena calidad del aire. Esta estación tiene la peculiaridad de que se ubica en una zona con un tránsito mayor de vehículos, a unos 550 metros de distancia donde se encuentra la institución, por lo que la valoración que se puede obtener es aproximada.

ESTACION	MUNICIPIO	SO ₂	CO	NO	NO ₂	NOX	O ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}	SH ₂	BCN	TOL	PXY	EBCN	Metales	B(a)P	Meteorología
PROVINCIA DE SEVILLA																	
ALCALÁ DE GUADAIRA	ALCALÁ DE GUADAIRA	o	o	o	o	o	o	o									o
COBRE LAS CRUCES	GUILLENA	o	o	o	o	o	o	o									o
DOS HERMANAS	DOS HERMANAS	o	o	o	o	o	o										
ALJARAFE	MAIRENA DEL ALJARAFE	o		o	o	o	o	o									o
SIERRA NORTE	SAN NICOLÁS DEL PUERTO	o		o	o	o	o	o	o						o	o	
BERMEJALES	SEVILLA	o	o	o	o	o	o	o									o
CENTRO	SEVILLA	o	o	o	o	o	o										o
SANTA CLARA	SEVILLA		o	o	o	o	o	o									o
TORNEO	SEVILLA	o	o	o	o	o	o	o	o								o
PRÍNCIPES	SEVILLA	o	o	o	o	o		o	o						o	o	
RANILLA	SEVILLA	o	o	o	o	o					o	o	o				
SAN JERÓNIMO	SEVILLA			o	o	o	o										o

Leyenda:

O₃: Ozono
 SO₂: Dióxido de azufre
 NO: Monóxido de nitrógeno
 NO₂: Dióxido de nitrógeno
 NOx: Óxidos de nitrógeno
 CO: Monóxido de carbono
 PM₁₀: Partículas de tamaño inferior a 10 micras.

PM_{2.5}: Partículas de tamaño inferior a 2,5µ
 SH₂: Ácido sulfhídrico
 EBCN: etil-benceno
 BCN: Benceno
 TOL: Tolueno
 PXY: p-xileno

Metales: As, Cd, Ni y Pb
 B(a)P: Benzo(a)pireno

Figura 6. Tabla de contaminantes en la provincia de Sevilla. (Informes mensuales de la calidad del aire, Junta de Andalucía, 2018.)

Según la información que ofrece la Consejería de Medio Ambiente, los contaminantes más frecuentes que se pueden encontrar en el casco histórico son partículas de SO₂, CO, NOx y O₃, cuyo foco principal reside del tránsito de vehículos (Fig.6).

La información recogida a nivel cualitativo sobre la calidad del aire en el centro de Sevilla durante los meses del año 2018, la concentración de contaminantes tales como SO₂, CO y NOx está valorada como “buena”, mientras que la concentración de O₃ está considerada entre “mala” y

“admisible”, cuya valoración global suele ser “aceptable” para la salud de la vida humana, exceptuando algunos meses donde existe un desequilibrio de este último contaminante. Los meses donde presenta una peor evolución de los contaminantes es en marzo, abril, mayo, junio y julio, coincidiendo con la época más turística y calurosa del año en el centro de Sevilla.

Respecto a los valores cuantitativos que ofrece los informes de las partículas sólidas (PM_{10} y $PM_{2,5}$), éstas son recogidas en filtros y posteriormente analizadas en el Laboratorio de Referencia de la Calidad del Aire (LARCA). Generalmente, estos contaminantes suponen un grave problema en la mayoría de las zonas del territorio sevillano, cuyos valores se acercan a los límites establecidos ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), alcanzando durante el año 2018 un máximo de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un mínimo de $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. No obstante, la evolución respecto los últimos años indica que los niveles de concentración van descendiendo de manera favorable.

Por tanto, se obtiene la información de que la concentración de contaminantes en el ambiente de Sevilla, concretamente en el centro histórico, se adapta a los parámetros establecidos por la Consejería de Medioambiente, ya que en ocasiones no alcanzan siquiera la mitad del valor determinado, lo cual supone un punto a favor para la conservación de obras artísticas frente a los agentes atmosféricos, sin olvidar la excepción existente de partículas sólidas $PM_{2,5}$ y PM_{10} junto con el ozono, el cual tiene como valor límite $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y alcanza una concentración máxima durante el año 2018 de $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y mínima de $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

También se debe de tener en consideración que la información aportada, trata sobre los contaminantes más relevantes, por ello no se debe de dejar pasar por alto otros contaminantes tales como el amoníaco, procedente de materiales de construcción, siliconas y de limpiezas inadecuadas, que causa deterioro debido a su alcalinidad.

Sin embargo, las fuentes se ubican en los jardines donde existe una alta vegetación, la cual absorbe grandes cantidades de CO_2 al año, tratándose de un factor favorecedor para el mantenimiento de las colecciones. Además, la presencia de bioindicadores tales como líquenes que se ubican en las fuentes, indican que no existe demasiada contaminación en la zona ya que son sensibles a la contaminación ambiental (Mares, 2017:8).

No obstante, los valores de contaminación están establecidos para la salud pública. En el caso de bienes culturales requieren dosis más reducidas para asegurar su conservación y aunque las concentraciones de los contaminantes en el aire estén valoradas como “aceptables”, su presencia en la ambiente crea efectos acumulativos, cuyos resultados se observan a largo plazo en las fuentes, traduciéndose en numerosas costras presentes en las superficies de los materiales pétreos calcáreos, así como en las boquillas de plomo que forman parte de muchas fuentes, las cuales se encuentran en un estado pulverulento blanquecino, provocado por la presencia de este factor. Por

ello, no hay que olvidar su presencia e impacto en los monumentos pétreos ubicados a la intemperie, los cuales requieren un constante mantenimiento y control.

Respecto a las condiciones ambientales del microclima donde se localizan las fuentes del Jardín Inglés, las cuales soportan altos porcentajes de humedad (60-70 %) proporcionando a la zona un frescor y clima agradable, donde los visitantes eligen este lugar para practicar actividades artísticas como es la pintura, por el juego de luces y sombras pintorescas que ofrece la gran cantidad de árboles que se ubican en este espacio. La temperatura del agua tras varias mediciones tomadas oscila entre 20-21°C realizadas con un termómetro digital THER-D30-001. El pH del agua oscila entre un valor de 8-9, siendo ligeramente alcalino, medición tomada con tiras reactivas de pH de papel marca TOOGOO 3.

1.3. Alteraciones en el material pétreo.

La piedra es un material bastante común y abundante como soporte de numerosas obras que constituyen el patrimonio histórico cultural andaluz, tratándose de un elemento que predomina en obras de tipo arquitectónico y escultórico a lo largo de la historia.

Tras su extracción en la cantera se ve sometida a un proceso de adaptación a las nuevas condiciones ambientales, que interceden en la composición mineralógica y estructural que contiene, llegándose a erosionar y fracturar de tal modo que, en ocasiones, alcanzan un grado de degradación tan avanzado que conlleva a la pérdida de su fortaleza y un posible derrumbamiento estructural.

La degradación que sufre la piedra debido a la exposición a factores externos se conoce como meteorización. Su resultado es la consecuencia de distintos procesos y mecanismos químicos, físicos, biológicos, dependientes, a su vez, de múltiples factores, extrínsecos o intrínsecos, que provocan una serie de cambios químicos junto con una pérdida de cohesión de los compuestos que conforman la piedra, produciendo su disgregación. Es un proceso natural, sinónimo de alteración atmosférica (Esbert “et al” 1997:39; Martín, 1990:119).

En la actualidad, el material pétreo ha adquirido una mayor susceptibilidad a los factores externos, debido a la presencia de contaminantes en la atmósfera que aceleran su deterioro, originadas principalmente por el factor antropogénico.

No obstante, las causas que alteran el equilibrio de la piedra ornamental son muchas de distinta naturaleza y origen, responsables de su deterioro y se manifiestan de diferentes formas mostrando la complejidad de su reconocimiento, estudio y su análisis. El conservador, por tanto, debe

investigar, reunir y confrontar todos los elementos de apreciación posibles en torno a los siglos y los síntomas de los daños, para así poder razonar y comprender sus causas (Cabrera 2:1979).

1.3.1. Los mecanismos y factores de alteración en la piedra.

Los agentes que contribuyen a una aceleración del deterioro en el material pétreo son el agua, contaminantes, sales solubles, organismos vivos, temperatura y viento.

1.3.1.1. El agua.

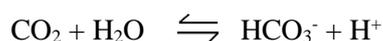
El agua en sus distintos estados de agregación, líquido, gaseoso o sólido en forma de hielo es el factor más importante de alteración de este material. Es un agente polivalente por los cambios que puede experimentar, actúa como vehículo para otras sustancias que, en contacto con este medio, reaccionan químicamente interaccionando con este material y potenciando de esta forma su deterioro. De este modo, también es un agente que facilita la aparición de agentes bióticos que elevan significativamente su degradación.

Para aquellas obras artísticas pétreas que se localizan a la intemperie, su humedad procede principalmente de la atmósfera a causa de fenómenos de condensación o por absorción como es en el caso del agua procedente de la lluvia o por capilaridad, en el caso del suelo.

La cantidad de agua que contiene el material pétreo en su interior está estrechamente relacionada con sus características intrínsecas, como su capacidad de absorción y de desecación.

El agua en el seno de las piedras se distribuye en distintos niveles, existiendo zonas más húmedas y otras menos húmedas relacionadas con la tortuosidad¹ del sistema poroso. Su acción se manifiesta en reacciones químicas con el sustrato pétreo: disolución, hidrólisis, hidratación, oxidación-reducción, entre otros.

La reacción de disolución afecta principalmente a aquellas de naturaleza calcárea como son las calizas, dolomías y mármoles. La calcita es disuelta por el agua en presencia del dióxido de carbono, el cual se encarga de acidificar el agua en forma de ácido carbónico provocando iones bicarbonato y de calcio, que pasan a disolución acuosa.



Reacción 1. Acidificación del agua en presencia de CO₂.

¹ La tortuosidad la definió Sheidegger como la relación entre la longitud de la trayectoria real seguida por una partícula y la línea que une los puntos de inicio y final de dicha trayectoria suponiendo un medio homogéneo. (Custodio, Llamas y Sahuquillo, 2003:15).



Reacción 2. Formación de bicarbonato de calcio soluble en agua.

El bicarbonato de cal es una sustancia muy soluble en agua, ya sea la aportada por la propia fuente o la lluvia. Provoca la pérdida del material pétreo y su empobrecimiento. Sin embargo, la reacción que se produce de disolución es reversible, cuando ésta llega a la superficie y se evapora, se transforma de nuevo en caliza. Este efecto es ambivalente; beneficioso por fortalecer la superficie, pero perjudicial cuando a partir de un determinado grosor se forma una costra conocida como calcín, que se ennegrece si está expuesta a humos y que retiene humedad en el interior de la piedra favoreciendo su degradación (Carbonell de Masy, 1993:71; Esbert “et al.” 1997:43).

No obstante, esta reacción paralelamente se ve condicionada por la temperatura; al aumentar ésta disminuye la capacidad de disolución del dióxido de carbono en agua. La humedad ambiental contribuye también a las reacciones de descomposición mineral.

En el caso de la contaminación, tiende a acidificar las aguas pluviales aumentando el efecto agresivo y de deterioro.

Para las rocas granítica y mármoles, las reacciones de hidrólisis afectan a los componentes silíceos, provocando de esta forma la formación de minerales de arcilla.

En el caso de la hidratación, consiste en la incorporación de moléculas de H₂O por parte de un mineral, como ocurre con el sulfato cálcico cuando se transforma en yeso.

En las reacciones redox, el agua es un componente fundamental. Actúa como un electrolito que afecta a la corrosión de los metales, afectando sobre todo a los componentes férricos presentes en materiales rocosos.

Estos efectos combinados con la acción física del agua en sus cambios de ciclos humedad/sequedad, hielo/deshielo combinado con sales solubles en sus ciclos de cristalización e hidratación, aumenta considerablemente su efecto dañino en el material pétreo.

La acción del hielo crea un deterioro físico para la piedra. La transformación parcial o total del agua contenida en el interior de los poros y en las fisuras de la piedra supone un incremento del su volumen –aumentando hasta aproximadamente un 9%– (generando de este modo tensiones internas en las paredes, traduciéndose en nuevas fisuras, exfoliación y crioclastia, siendo este último, sinónimo de gelifracción.²

² La gelifracción es la fragmentación que sufren las rocas a causa de las tensiones producidas por el proceso físico de hielo y deshielo del agua contenida en el interior del material pétreo. (Bolívar, 1994:24; Sainz, 1999:58; Garrido, 2014:12).

La vulnerabilidad que presenta un material pétreo a la acción física del agua depende principalmente de su porosidad, de su distribución porosa y de su tortuosidad. En el caso de la gelifracción, cuando el poro se encuentra lleno de agua, el cual se enfría hasta el punto de congelarse, se producen una serie de depósitos laminares de hielo desde la superficie hasta el seno de la piedra. Las moléculas de H₂O quedan inmovilizadas por su congelación y por debajo de ella el movimiento molecular disminuye, creándose de esta manera una diferencia de presión – combinado también con la heterogeneidad térmica– entre el resto del agua que transcurre por el interior de la roca y la zona congelada. Para reestablecer el equilibrio, las partículas de hielo emigran hacia el interior del capilar –ya que, en este caso, el agua en estado líquido contiene un mayor porcentaje de tensión superficial— y la partícula de hielo junto con el líquido de agua envolvente que le rodea, crea un aumento de la porosidad interior del material que altera a las características originales del material, debilitándolo. (Esbert, “et al”, 1997:43-45; Tatis y Barbosa, 2013:253).

1.3.1.2. Sales minerales.

La alteración provocada por sales minerales solubles en el agua es la causa más frecuente de deterioro en los materiales pétreos. Éstas se disuelven y transcurren por el interior del material. Cuando el agua donde están disueltas se evapora, cristalizan y se acumulan en la superficie formando un velo blanquecino sobre el sustrato. Dependiendo del tipo de sal, afectan en mayor o menor medida al material pétreo, efecto que está vinculado con las condiciones de humedad, temperatura y la zona donde cristaliza (Carbonell de Masy 1997:75).

La procedencia de estas sales puede ser de distintos orígenes. Algunas están determinadas por las características intrínsecas del material, otras provienen de los materiales de restauración, del aire contaminado, del suelo o de los ácidos orgánicos, como los húmicos. La localización de las mismas en el material se debe a diversas cuestiones, entre ellas a un gradiente con diferencias térmicas. Los componentes iónicos se transportan hacia las zonas más calientes mientras que el agua se mueve hacia las zonas más frías, produciéndose de esta forma una acumulación de compuestos sólidos en un área en concreto, ya sea en la superficie donde el agua se evapora o debajo de ella, cuando el líquido busca zonas más frías por cuestiones de tensión superficial.

El movimiento de las sales solubles en el interior de los poros de los materiales pétreos tiende a hacerlos más frágiles, ya que se rellenan los poros del material, provocando su debilitamiento estructural. Cuando las sales que componen la costra superficial son poco solubles, actúan como pátina estable, compuesta principalmente por fosfatos e hidróxidos de Fe, Al y Mg o por sulfatos y carbonatos. Por ello, hay que saber diferenciar entre sales insolubles, poco solubles y solubles, para conocer el tratamiento adecuado para llevar a cabo su eliminación, así como su efecto nocivo en la piedra (Carbonell de Masy 1993:72; Galán, 2018:7).

Cabe destacar que el cloruro sódico (ClNa) es una sal altamente nociva para los materiales pétreos. Aumenta su volumen al deshidratarse destruyendo a la piedra. Su pequeño tamaño molecular facilita su movimiento por el interior de la piedra (Carbonell de Masy, 1993:18)

Su cristalización puede desarrollarse tanto en la superficie como en el interior, la cual genera una serie de presiones en función del tamaño o del tipo de poro de la piedra ornamental y su grado de saturación, entre otros factores. Este último concepto está relacionado con el hecho de que la presión de cristalización es menor en poros más grandes y mayor en poros más pequeños (Tatis y Barbosa, 2013:257).

Según el nivel donde cristalizan, existen tres tipos:

- Eflorescencia: Aquella que cristaliza en la superficie del material rocoso desarrollándose como costra.
- Subeflorescencia: Aquella que cristaliza por debajo de la capa superficial.
- Criptoeflorescencia: Aquella que cristaliza en el interior del material rocoso. Es causante de grietas, desmoronamiento y pulverización de la construcción.

Cuando se desarrollan en la superficie, eflorescencias, son las menos nocivas, ya que no afectan a las características internas de la piedra. Por tanto, las criptoeflorescencias son las más perjudiciales (Tatis y Barbosa, 2013:258).

La acción física y mecánica provocada por estas sustancias es mucho más dañina que la acción química, ya que producen disgregación y debilitamiento del material (Garrido, 2014:12).

1.3.1.3. Contaminación atmosférica.

La contaminación atmosférica es responsable deterioro tan acelerado que han sufrido los materiales pétreos durante las últimas décadas, en comparación al sufrido durante siglos. Es un agente patógeno que causa daños en la piedra de manera irreversible (Tatis y Barbosa, 2013:275). Su fuente precursora es antropogénica y depende de la combustión de fósiles, combinada con causas naturales, como son las erupciones volcánicas, incendios o putrefacción de la materia orgánica, entre otros.

Estos agentes desarrollados en distintos estados de agregación, sólido, líquido o gaseoso interactúan con los componentes estructurales de la piedra, provocando diversas alteraciones de distinta tipología, como son las eflorescencias, costras y pátinas (Esbert, “et al”, 1997:45).

Los contaminantes más nocivos son los gaseosos:

- Compuestos de azufre: SO_2 , SO_3 , SH_2 .
- Óxidos de carbono (CO_2 y CO).
- Óxidos de nitrógeno (NO_x), amoníaco (NH_3), O_3 ,

- Compuestos orgánicos volátiles como hidrocarburos poliaromáticos, formiatos, acetatos, oxalatos, cloruros y fluoruros,
 - Partículas sólidas. (Tasis y Barbosa, 2013:275).
- Los compuestos de azufre:

El SO₂ en contacto con el aire se oxida originando SO₃ el cual se transforma por hidratación en ácido sulfúrico.

El dióxido de azufre se reconoce como el agente atmosférico más dañino para el material pétreo.

Este ácido descompone todas las rocas carbonatadas y dolomías según la siguiente reacción:



La acción del ácido sulfúrico es responsable de la aparición de compuestos que toman un aspecto oscuro entre gris y negro en la superficie de la piedra.

Las áreas grises son aquellas compuestas por yeso y depósitos superficiales como polvo. Las áreas negras, conocidas como costras negras, no se hallan en contacto directo con el agua procedente de la lluvia y presentan una acumulación de contaminantes. Su composición principalmente es de yeso y se identifica por formar cristales en forma de aguja, que crecen de manera perpendicular a la superficie del material pétreo. También pueden aparecer zonas blancas, debido al contacto que toma el material con el agua de escorrentía, encargada de facilitar el desprendimiento del material depositado en la superficie, como son las sales y las costras (Tasis y Barbosa, 2013:262)

Además, la formación del yeso produce un aumento del volumen del material, provocando una concentración de estrés mecánico dentro del soporte calcáreo, causando la pérdida de cohesión y separación entre los fragmentos rocosos. La presencia de esta alteración provoca también una diferenciación de temperatura en diversas zonas de la piedra, donde las zonas con costras negras son más susceptibles de absorber una mayor cantidad de radiación solar. Paralelamente, la formación del yeso a causa de este contaminante genera una zona del conjunto con mayor higroscopicidad.

La penetración de este contaminante puede ser por vía seca o húmeda. La primera sería mediante adsorción, mientras que la segunda sería mediante disolución de este contaminante en agua de lluvia, conocida como “lluvia ácida” que disgrega y disuelve el material pétreo (Tasis y Barbosa, 2013:260-264).

No obstante, en las rocas calizas la costra que se genera es estable y protege al material, en algunos de los casos. Por tanto, esto explica que, en ocasiones, las causas que provocan la alteración sean muy complejas y son numerosos los factores que intervienen en provocar su deterioro, lo que hace

que el estudio de la resistencia de las piedras a la atmósfera contaminada sólo se conozca de manera empírica bajo la observación (Cabrera, 1979:18).

- Compuestos de nitrógeno.

Cobran especial protagonismo los óxidos de nitrógeno, los cuales proceden en su mayoría de fertilizantes, combustibles y procesos bioquímicos. Su concentración en la atmósfera depende de la cantidad existente de ozono, el cual actúa como agente oxidante. Su interacción con el agua favorece la aparición del ácido nítrico y nitroso. Las piedras de naturaleza carbonatada son las más sensibles a la acción de este tipo de contaminante. El ácido nítrico en disolución acuosa, conocido como lluvia ácida, provoca la aparición de nitrato y nitrito de calcio, sales muy higroscópicas (Tasis y Barbosa, 2013:260-264).

Un dato interesante y que potencia el deterioro del material pétreo mediante el ácido nítrico y el amoníaco, es que toman un papel de catalizador en la reacción de oxidación del SO_2 , por lo que los contaminantes interaccionan entre sí potenciando el deterioro del material (Esbert, “et al”, 1997:49).

- Óxidos de carbono.

El CO_2 es un componente natural y no tóxico de la atmósfera, pero influye en la solubilidad de los compuestos carbonatados y acelera la descomposición del material pétreo (Garrido, 2014:18).

El monóxido de carbono no es uno de los agentes más nocivos para el material pétreo, pero se oxida en presencia del anhídrido carbónico, además de actuar también como catalizador en las reacciones de oxidación del dióxido de azufre (Esbert, “et al”, 1997:47).

- Cloruros y fluoruros.

Cobran especial importancia cuando actúan en forma de ácidos, HCl el cual se encarga de disolver el carbonato, produce sales higroscópicas que originan alteraciones como disgregación y alveolización en la piedra. Proceden de fuentes naturales y del factor antropogénico.

La incidencia de los compuestos fluorados en el material rocoso es relativamente baja. Se encuentra en F_2 en el ambiente y afecta a la piedra en forma de ácido fluorhídrico, generando fluoruro cálcico, que aumenta la porosidad del material y afecta también a los materiales pétreos con componentes de sílice, originando nuevos minerales y sales (Esbert, “et al”, 1997:47).

- Compuestos orgánicos volátiles.

Proceden de los combustibles y contribuyen al ennegrecimiento superficial del material y a la aparición de costras y pátinas negras.

Los principales agentes de deterioro que forman parte de esta tipología de contaminante de naturaleza orgánica son los hidrocarburos aromáticos policíclicos. Su acción consiste en la reacción que se produce del ácido carboxílico con el carbonato de calcio, que produce sal cálcica soluble junto con ácido carbónico. Si el ácido es polifuncional, se produce una reacción de quelación, la cual es responsable de la solubilización del calcio y, por consiguiente, de la degradación de la piedra (Tasis y Barbosa, 2013:267).

- Partículas sólidas.

Existen dos tipos, partículas en suspensión de menos de 2,5 micras ($PM_{2,5}$) y de menos de 10 micras (PM_{10}).

Actúan en la piedra colaborando en la acumulación de suciedad superficial en las mismas, además de aumentar la humedad, absorbiendo el vapor de agua circundante y facilitando reacciones entre los agentes contaminantes y el material pétreo. Participan también deteriorando el material, erosionándolo. Si se combina con una fuerte acción eólica, puede dar lugar a alteraciones como la alveolización (Esbert “et al”, 1997:47).

1.3.1.4. Agentes bióticos.

El daño producido por agentes bióticos se conoce como biodeterioro. Peraza lo define como el resultado de los cambios provocados por la acción de organismos que producen una serie de consecuencias negativas, afectando a la estética e integridad de la obra (2004:13).

Estos agentes de deterioro provocan alteraciones de tipo físico y mecánico, debido a su penetración en el sustrato, creando disgregación y pérdida de cohesión a causa de los cambios de dimensión, contracción y dilatación que experimentan. Los daños de tipo químico son originados por los compuestos que generan a causa de su acción metabólica, provocando acidificación, alcalinación, reacciones de quelación y producción de pigmentos que colorean la superficie del material (Ruiz, 2019:138).

Aunque las rocas calcáreas suelen ser pobres en nutrientes, los cambios de humedad que experimenta y la erosión que causa el viento, favorecen a la colonización de un grupo de organismos vivos, fenómeno conocido como biofilm o biopelícula (Peraza, 2004:3-11). Estas películas biológicas se asocian a una superficie en concreto, las cuales se caracterizan por contener una serie de estructuras funcionales y complejas (Tasis y Barbosa, 2013:267).

Factores como la acidez ocasionada por los agentes contaminantes, así como la humedad, las sales y la suciedad superficial, entre otros, son favorecedoras para el biodeterioro. Así como las propiedades intrínsecas del material, como su composición mineralógica, pH, salinidad,

porosidad, color, textura, forma y humedad junto con las condiciones externas climatológicas, también son determinantes en la aparición de estos organismos.

Estas condiciones definen el nivel de bioreceptividad que contiene un material pétreo, definiéndose como la propensión de un sustrato a ser colonizado por microorganismos (Peraza, 2004:6)

Según las características del material pétreo, existen tres tipos de bioreceptividad:

1. Bioreceptividad primaria o intrínseca. Susceptibilidad de sufrir una colonización un material rocoso por sus características estructurales a nivel morfológico y composicional desde su inicio.
2. Bioreceptividad secundaria. Susceptibilidad de un material pétreo a sufrir ataque biológico tras hallarse ya deteriorada por una serie de factores. Esto propicia el desarrollo de biofilms.
3. Bioreceptividad terciaria. Susceptibilidad de colonización a piedras en proceso de restauración, por los materiales empleados.

Entre los tipos de organismos vivos que deterioran al material pétreo, se pueden encontrar organismos autótrofos, subdividiéndose en quimiolitótrofos y fotolitótrofos que utilizan la materia inorgánica mineralógica que componen el sustrato pétreo, reaccionando químicamente con el mismo. Existen los heterótrofos, que consiguen su fuente de energía a través de la materia orgánica existente en la superficie por causas externas.

Según el nivel de la integridad física que afecta en el material, se pueden dividir en biodeteriorantes superficiales (epífito) o endolíticos, siendo estos últimos subdivididos en chasmoendolíticos y criptoendolíticos, de acuerdo con el hecho de si están establecidos dentro de la roca aprovechando sus fisuras o en sus poros, respectivamente. Los organismos endolíticos son más dañinos que los epífitos, ya que se desarrollan en el interior de la piedra con una capacidad de sobrevivir a condiciones extremas de temperatura, radiación UV y desecación (Tasis y Barbosa, 2013:268-269; Carbonell de Massy, 1993:79).

En cuanto a su clasificación, obtenemos los siguientes colonizantes: algas, bacterias, hongos, líquenes, plantas superiores y animales.

- Líquenes.

Los líquenes son el resultado de la simbiosis entre un alga o cianobacteria y un hongo.

Contienen una estructura conocida como talo que les ayuda a adaptarse a una gran variedad de sustratos a nivel orgánico e inorgánico, como puede ser la madera, piedra, suelos, etc, tratándose de un agente de biodeterioro bastante común en bienes culturales.

En primer lugar, se desarrolla el alga o la cianobacteria, posteriormente una vez que las condiciones sean óptimas, se desarrollarán los hongos, los cuales requieren materia orgánica para su proliferación. Su eliminación es bastante complicada, ya que las esporas presentan una gran resistencia a condiciones extremas de desecación, temperaturas y deficiencia de nutrientes, caracterizándose por ser un agente patógeno bastante nocivo para los bienes culturales de naturaleza pétreo.

Para la colonización que se desarrolla en el material pétreo, la naturaleza del sustrato es un factor determinante para su crecimiento. Suelen desarrollarse en ambientes alcalinos como es el caso de la piedra calcárea.

Dependiendo del organismo con el que se establezca la simbiosis, existe una amplia variedad de líquenes. Se distinguen según su talo: líquenes de talo crustáceo, foliosos, fructiculosos y endolíticos. Los primeros son los que más causan daños a la piedra, debido a la penetración que provoca la unión del talo con el material, proporcionando una potencial dificultad para eliminarlos, tanto es así que habría sustraer la superficie externa de la piedra para realizarlo efectivamente.

Los talos foliosos se adhieren a la superficie a modo de “anclas” hasta distancias de 0,5 mm.

Los líquenes fructiculosos, entre los mencionados anteriormente, son los más fáciles de eliminar, ya que se adhieren al material calcáreo de manera muy superficial.

Por último, los talos liquénicos endolíticos se desarrollan en el interior de la piedra y es muy complicado su identificación, ya que adquieren un color blanco muy parecido al de la piedra.

Según el nivel en el que se desarrollen y se adapten en la piedra, pueden ser epífitos o endolíticos (Tasis y Barbosa, 2013:275; Ruíz, 2019:138) provocando un deterioro en la piedra tanto a nivel físico, por su penetración en el sustrato, como químico, donde produce cúmulos de oxalato cálcico, debido la interacción química que se obtiene del oxálico metabólico en contacto con la piedra calcárea, que paralelamente, también se producen reacciones de quelación donde solubilizan muchos minerales (Esbert “et al” 1997:49).

Según los agentes ambientales a los que se expone la piedra ornamental, se pueden diferenciar dos tipos de bioalteración en base a la humedad del sustrato pétreo. Cuando la humedad es continua, predominan cianobacterias y algas. Si es ocasional, líquenes crustáceos (Ruíz, 2019:133).

- Bacterias.

Pueden ser de distintas tipologías, tanto autótrofas como heterótrofas. Su colonización se desarrolla en ambientes con altos contenidos de humedad.

Su ataque se traduce en formaciones de costras negras, pátinas de diversos colores y exfoliación del material, tratándose de bioindicadores de la incidencia de estos organismos.

Las bacterias más comunes que colonizan los sustratos pétreos son las siguientes:

1. Actinomicetos. Son organismos autótrofos y se adhieren al sustrato calcáreo de manera muy similar a los hongos. Causan daños provocando eflorescencias salinas, así como la disgregación del material pétreo.
2. Bacterias sulfúreas. Oxidan el azufre, dando lugar al trióxido de azufre que provoca la aparición del yeso y costras negras, provocando un desprendimiento del material y su debilitamiento.
3. Bacterias nitrificantes. Se desarrollan en superficies ya deterioradas de la piedra. Producen nitritos y nitratos que dan lugar a nitrato cálcico, que con la ayuda del agua de escorrentía puede ser eliminado, llevando a cabo la disgregación del material junto con la aparición de sales. No obstante, también interfieren en las propiedades intrínsecas de las piedras, convirtiéndolas en más porosas y pulverulentas, junto con un cambio cromático más amarillento (Tasis y Barbosa, 2013:270-273).

Existen también ferrobacterias que provocan reacciones de oxidación y reducción en los metales e interfiriendo en sus propiedades intrínsecas (Esbert, "et al" 1997:49).

- Algas.

Las algas son protagonistas del biodeterioro en el material pétreo, ya que cuando se adhieren al sustrato, desencadenan una serie de procesos que dan lugar a la aparición de otros organismos vivos y la formación de biofilms (Peraza, 2004:2-3).

Son bioindicadores de zonas de alta humedad, temperaturas medias-altas, iluminación y compuestos inorgánicos, preferiblemente de calcio y magnesio. Su desarrollo requiere una superficie con un pH ácido. Son esencialmente autótrofas y realizan la fotosíntesis (Tasis y Barbosa, 2013:269).

El biodeterioro que provoca en la piedra consiste principalmente en la formación de una pátina, de diferente grosor y color. Según Peraza, cuando el color es verde, el proceso de deterioro en el material pétreo es menos avanzado (2004:69), aunque intervienen también otros factores, como el nivel de profundidad donde se desarrollan, así como su naturaleza.

Su desarrollo biológico propicia la aparición de sales en el material pétreo, además de debilitarlo y solubilizar los compuestos que constituyen a la piedra, a causa de las sustancias quelantes que producen, entre otras (Esbert, “et al”.., 1997:49).

Destacan las cianobacterias, caracterizadas por ser altamente colonizantes, debido a su naturaleza autótrofa. Se desarrollan en forma de múltiples colores debido a una capa pigmentada que las envuelve y que les ayuda a resistir condiciones extremas de radiación lumínica y de sequedad, compuesta por clorofila y carotenoides, entre otros componentes. Normalmente, toman un aspecto negruzco, de ahí su identificación. Su ataque se desarrolla de manera endolítica, causando un deterioro a nivel físico en el interior de la piedra, incrementado el tamaño de los poros y fisuras, proporcionando de esta forma una entrada a la penetración de otros agentes como suciedad, esporas y ácaros, entre otros (Peraza 2004:13; Ruíz, 2019:138-139).

- Hongos.

Su naturaleza heterótrofa limita su desarrollo en el sustrato pétreo. Para que se lleve a cabo su aparición, deben de existir una serie de condiciones, como la presencia de otros organismos que secreten sustancias de naturaleza orgánica.

El biodeterioro que desarrollan se establece a nivel físico y químico, el primero debido a la penetración de las hifas en el interior del sustrato. De esta forma, los hongos provocan un debilitamiento estructural que se traduce en grietas y fisuras, junto con el cambio cromático que puede sufrir a causa de sustancias colorantes. Estas características, combinadas paralelamente con su función metabólica, interaccionan químicamente con el sustrato pétreo, dando lugar a reacciones de quelación que solubilizan los minerales que componen la roca y la aparición de eflorescencias salinas (Esbert “et al” 1997:49).

- Plantas superiores.

El biodeterioro se desarrolla a nivel físico como químico. El primero se traduce en la introducción de las raíces que provoca un daño a nivel estructural, ya que da lugar a la aparición de grietas y fracturas, así como su debilitamiento y pérdida de cohesión. En cuanto al deterioro químico, su acción metabólica donde se libera materia orgánica, debido a la naturaleza autótrofa de las plantas, causa compuestos quelantes que reaccionan con la piedra, ocasionando la disolución del carbonato cálcico.

La materia orgánica que genera, junto el microclima que provoca un aumento de humedad del ambiente, potencia la colonización de otros organismos vivos. No obstante, este factor puede ser a su vez protector, ya que reducen el desarrollo del fenómeno de evaporación, previniendo el avance del deterioro por la cristalización de sales (Tasis y Barbosa, 2013:277; Ruiz, 2019:139).

- Animales.

El daño que provocan en el material pétreo, normalmente se debe a sus productos de metabólicos. Sus excrementos, de naturaleza ácida son depositados en la superficie, como ocurre con el guano de las aves, que interacciona con la piedra a nivel cromático y químico.

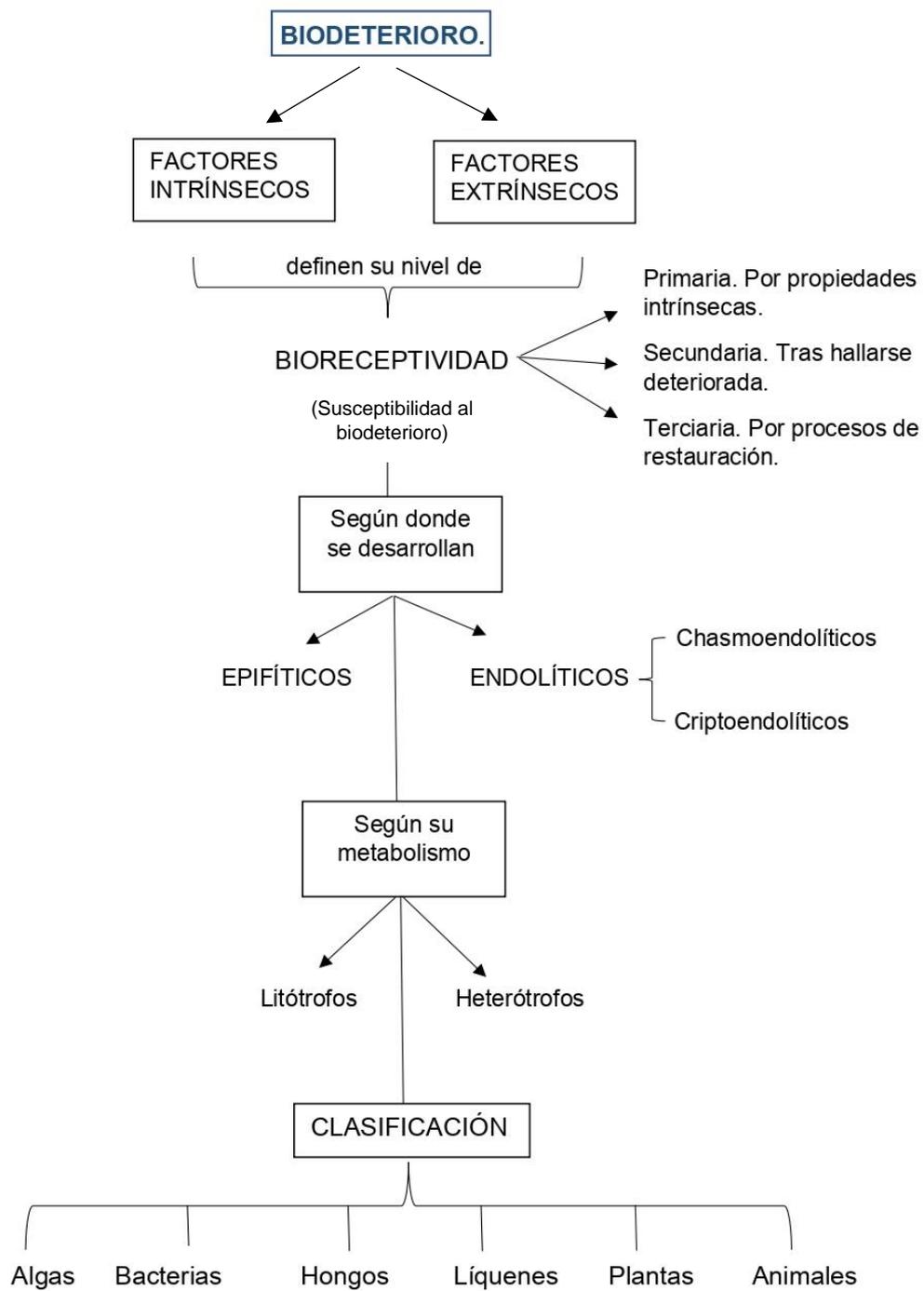


Figura 7. Esquema de biodeteriorantes. (Calvo, 2019)

1.3.1.5. La temperatura.

La temperatura actúa acelerando todas las reacciones químicas, además de ser responsable de los fenómenos de evaporación y congelación. Ésta última provoca la formación del hielo, que da lugar al proceso de gelifración.

Los procesos de evaporación provocan la concentración de sales disueltas en el interior de la piedra, las cuales precipitan y se desarrollan a modo de eflorescencias en distintos niveles del sustrato pétreo.

Además, también es un factor que propicia el desarrollo de agentes bióticos. El rango de temperatura que favorece su aparición oscila entre 20°C y 35 °C (Peraza, 2004:15).

La temperatura y la humedad son dos factores que se relacionan y las oscilaciones de ambos parámetros aceleran el deterioro en la piedra.

Los cambios de temperatura producen a su vez cambios dimensionales en la piedra. Cuando estos cambios son bruscos, afectan de manera más agresiva al material. Los indicadores de alteración producidos por este agente se traducen en rupturas, disyunciones y deformaciones. Según una serie de estudios, el mármol presenta un aumento de la porosidad del 40-50 % tras someterse a ciclos de variaciones térmicas altas (Gómez y Alcalde, 2000:14-15).

1.3.1.6. El viento.

Su importancia radica en la actuación que toma como vehículo de diversas sustancias que colisionan con la piedra ornamental y proporcionan su deterioro.

Cuando transporta sustancias sólidas, como puede ser la arena, ésta colisiona con el material dando lugar a su erosión, tratándose de un indicador de la incidencia de este factor sobre un material rocoso. En el peor de los casos, provoca la alveolización del material.

En el caso del transporte de sustancias químicas tales como contaminantes, entre otras, facilitan su meteorización (Tasis y Barbosa, 2013: 253). Además, este factor se relaciona también con los fenómenos de evaporación, afectando a la exudación de sales solubles (Gómez y Alcalde, 2000:14).

Aquellos monumentos que se localizan cerca de zonas costeras son más susceptibles a sufrir un deterioro más agresivo, por el transporte de iones de cloruro que interaccionan químicamente con el material pétreo (Tasis y Barbosa, 2013:253).

Finalmente, no hay que olvidar las lesiones provocadas por el factor antrópico, que combinadas con los agentes mencionados anteriormente, aceleran su deterioro considerablemente. No obstante, también existen agentes de deterioro que están relacionados con el mecanismo funcional de la obra, proceso que define Peraza como “soiling” (2004:12).

1.3.2. Principales indicadores de alteración en la piedra.

La actuación de los factores de alteración, generan una serie de mecanismos en el material pétreo que modifican las características originales de la obra. Se manifiestan como cambios cromáticos, de textura, composición química, mineral, entre otros. Estos cambios se conocen como alteraciones y son indicadores del efecto que causan los distintos mecanismos de alteración y de la interacción entre los mismos.

Debido a la información que ofrecen, su reconocimiento e identificación es de vital importancia para el conservador-restaurador, siendo su estudio el primer paso a realizar para poder llevar a cabo un plan de conservación y preservación de los monumentos pétreos.

Entre los numerosos indicadores de alteración existentes, se enumerarán y clasificarán en función del efecto que causen en el material, dividiéndose de esta forma en cuatro apartados: modificaciones superficiales, eliminación de materia, disyunciones, deformaciones y rupturas (Gómez y Alcalde, 2000:19-20; Martín, 1990:126).

1.3.2.1. Modificaciones superficiales.

Las alteraciones que producen modificaciones superficiales se traducen en cambios en el exterior del material rocoso, generalmente sin provocar un grave deterioro al material subyacente, sino a la capa exterior (Alcalde, 1996:70).

Se subdividen en tres tipos: cromatización, costras y depósitos (Alcalde y Villegas, 1996:60).

- Cromatización.

Se trata de una modificación superficial que afecta al exterior de la piedra, generalmente se desarrollan de manera muy ligera en la superficie, variando propiedades como el brillo y el color original.

Dentro de este tipo, la alteración se puede desarrollar en la superficie de diferentes formas:

- a) Moteado. Desarrollo de pequeñas manchas. Suelen ser de tipo biológico (Gómez y Alcalde, 2000:19).
- b) Tinción. Alteración cromática local generada por agentes adyacentes, como puede ser la mancha generada por la oxidación del hierro, clavos, etc.

- c) Limonitización. Amarillamiento de la superficie, a causa de la transformación de óxidos de hierro en limonita (Alcalde, 1996:61).

- d) Pátina. Capa formada en la superficie del material rocoso por diversas causas como es el envejecimiento natural, biológica, por limonitización, contaminantes, etc. (González, 2016:27). A menudo, con una connotación positiva, ya que puede llegar a proteger la superficie de otros agentes (ICOMOS, 2011:46). Por tanto, no siempre implica la degradación del material. Cuando esta alteración es producida por el factor antrópico se conoce como panitura (*pátina cromática*, tratándose de una película coloreada) (Esbert “et al” 1997:39).

- Costra.

Acumulación de una serie de compuestos en el exterior del material pétreo, en forma de corteza endurecida y diferenciable del material subyacente. Su formación puede ser por diversas causas e incluir depósitos exógenos, combinados con materia de la propia piedra (ICOMOS, 2011:42). Su espesor puede ser variable, siguiendo la superficie del material o de manera irregular, dificultando la lectura de la piedra ornamental. Se pueden encontrar tres tipos de costras: calcín, sulfín y biocostras (Alcalde, 1996:70). Adquieren un color negro aquellas que se desarrollan en zonas abrigadas, no expuestas a la lluvia o escorrentías de agua.

- Depósito.

Acumulación en la superficie del material pétreo de sustancias ajenas al material. Pueden ser de diversa naturaleza (Gómez y Alcalde, 2000:19):

- a) Superficial.

Depósito de materia de diversa naturaleza como puede ser polvo, humo, hollín y guano. Su espesor es variable y presenta una escasa cohesión con el material rocoso (Esbert “et al”., 1997:49).

- b) Eflorescencia.

Capa cristalina compuesta por sales solubles que adquieren un color blanquecino. Su aparición de manera visible en la superficie, se produce por la migración de las sales solubles, bajo el sometimiento a ciclos de humedad y sequedad (ICOMOS, 2011:42).

c) Concreción.

Depósito de pequeñas dimensiones, producidas generalmente por la precipitación del carbonato cálcico de aguas con cierta alcalinidad o de la recristalización en la superficie del carbonato cálcico que procede del substrato (*incrustación*) (Ordaz y Esbert, 1988:40). Su presencia, también puede deberse a los depósitos proporcionados por la presencia de organismos vivos.

1.3.2.2. Eliminación de materia.

En cuanto a las alteraciones relacionadas con la eliminación de materia, se organizarán en dos apartados, en función de si su incidencia, crean o no huecos en el material (Alcalde, 1996:70; Martín, 1990: 167-171).

- Con formación de huecos.

La formación de las pérdidas en el material pétreo con huecos se debe a varios factores, entre ellos los originados por agentes externos, mecánicos y físicos-químicos, donde ambos factores pueden interactuar entre sí ocasionando este tipo de alteración.

Las generadas principalmente por factores mecánicos son las siguientes:

- a) Excoriaciones: Rayaduras que implican pérdidas del material en la capa más superficial de la piedra. Aparecen como surcos provocado por un posible frotamiento de manera violenta (Gómez y Alcalde, 2000:23).
- b) Estriado: Alteración que se manifiesta en forma de líneas, surcos horizontales o inclinados. Este deterioro se suele desarrollar en zonas expuestas a un impacto fuerte del viento o a una posible humedad interna. Según el trazo generado en la superficie, se habla de acanalación o vermiculación. El primero para surcos grandes y definidos, el segundo cuando alcanza una mayor grado de profundidad y deterioro, semejante a las trazas de un gusano y generalmente de manera vertical (Alcalde, 1996:23).

Alteraciones generadas por factores físico-químicos:

- a) Alveolización: Formación de huecos en formas de alveolos que pueden encontrarse interconectados y de tamaño variable. Ocasionalmente, cuando la alteración es agresiva, el tamaño puede ser métrico, pero generalmente las cavidades miden centímetros. Se asemeja a las celdas de abejas. (ICOMOS, 2011:28). Suele estar también relacionada con la presencia de sales solubles (Esbert, “et al”., 1997:41).

- b) Picado: Generalmente conocido como “pitting”, que corresponde a la formación de agujeros milimétricos, sin presentar interconexión entre los mismos (Gómez y Alcalde, 2000:23).
- c) Karstificación o excavación: Depresiones provocadas por la disolución del material (ICOMOS, 2011:28). Cuando la cavidad es de gran tamaño, se conoce como caverna (Ordaz y Esbert, 1988:40). En otros documentos se reconoce esta alteración como “cancerización”, cuando alcanza un estado avanzado (Alcalde, 1996:70). Las rocas carbónicas son las más susceptibles a sufrir esta alteración (Galán, 1991:3). El SO₂ provoca este tipo de daño.
- Sin formación de huecos.

Pérdida del material sin desarrollarse cavidades en la estructura del material pétreo. Se manifiesta en forma de pérdidas de cohesión intergranular (Gómez y Alcalde, 2000:25). Frecuentemente esta alteración se le reconoce como erosión, aunque dependiendo del mecanismo que genere el daño, así como del aspecto estético que presente la eliminación del material, existen varios tipos:

Provocadas por principalmente por mecanismos físicos:

- a) Erosión.

La erosión consiste en la pérdida de la superficie original, ocasionando un ligero suavizado de las formas. Puede desarrollarse de manera diferencial en piedras que no son homogéneas, donde contienen zonas más duras y/o menos porosas. También puede desarrollarse por el ataque selectivo por un biodeteriorante (ICOMOS, 2011:30). Existe numerosos documentos que incluye el término “Corrosión” para especificar el redondeamiento que sufren las aristas de la piedra por la acción eólica, con finalidad de diferenciar la pérdida que sufre el material a causa del viento respecto al que puede sufrir por el ataque de líquenes o algas (Alcalde, 1996:71).

El desprendimiento del material pétreo a causa de pérdidas de cohesión intergranular, adhesión y unión de los componentes, se le conoce como descohesión (Villegas y Alcalde, 1996:65). Es sinónimo también de disgregación y desagregación (ICOMOS, 2011:20), por lo que en numerosos documentos se puede encontrar varios términos que tratan de la misma alteración. Cuando los granos se asemejan al tamaño de la arena, se le denomina “arenización”, “disgregación arenosa” o “pulverización” (ICOMOS 2011:20). En el caso de la textura sacaroidea que contienen algunas rocas, como ocurre en el mármol, se le denomina a la disgregación que sufre el material como “sacarificación” (Esbert, “et al”., 1997:42).

1.3.2.3. Deformaciones.

Las alteraciones que producen deformaciones en la piedra, se manifiestan sin pérdida de material, produciéndose un cambio de las características originales. Es una alteración que afecta principalmente a materiales rocosos como el mármol (ICOMOS, 2011:12). Su aparición puede deberse a una separación interna de la piedra o al hinchamiento del material (Alcalde,1996:72). Este hecho puede presentarse de manera general en todo el sistema rocoso o de forma aislada.

- a) Hinchamiento. Se produce por un aumento del volumen de la piedra debido a la absorción del agua. Se manifiesta produciendo combamiento en las capas externas del material rocoso (Gómez y Alcalde, 2000:27). Es sinónimo también de expansión. Los constantes ciclos de expansión/retracción a los que pueda estar sometida la piedra ornamental, produce un debilitamiento estructural que se traduce en fisuras y fracturas (Ordaz y Esbert, 1988:42).
- b) Ampollas. Se tratan de elevaciones semiesféricas en la superficie de la piedra. Su aparición puede deberse a causa del ataque de organismos vivos, a la aparición de costras o la exudación de sales solubles, que deterioran la superficie original de la piedra ornamental. El desprendimiento de las ampollas es conocido como descamación (ICOMOS, 2011:14).

1.3.2.4. Separación.

Las alteraciones que implican la separación del material rocoso pueden reproducirse de manera perpendicular a la superficie de la piedra, tratándose de rupturas; o paralelamente, conocida como disyunciones.

- Rupturas.

La ruptura consiste en una separación del material pétreo en dos o más partes, provocada por fuerzas mecánicas que crean una discontinuidad del conjunto original. Estas fuerzas son ejercidas en dirección perpendicular a la superficie de la piedra.

Entre los distintos tipos de rupturas que existen, se pueden encontrar:

- a) Fracturas: Grieta que atraviesa la piedra por completo. *Proceso conocido como fracturación*. Se confunde con la alteración de “fragmentación” la cual implica la separación en numerosas piezas y pérdida de materia (Gómez y Alcalde, 2000:27).
- b) Fisura: Grieta de pequeñas dimensiones. *Proceso conocido como fisuración*.

- c) Fisuración radial: Fisuras que parten de un centro, ocasionadas por el impacto o la presión de un elemento. Su origen frecuentemente es causado por la oxidación de elementos metálicos en el interior de la piedra (ICOMOS, 2011:10).

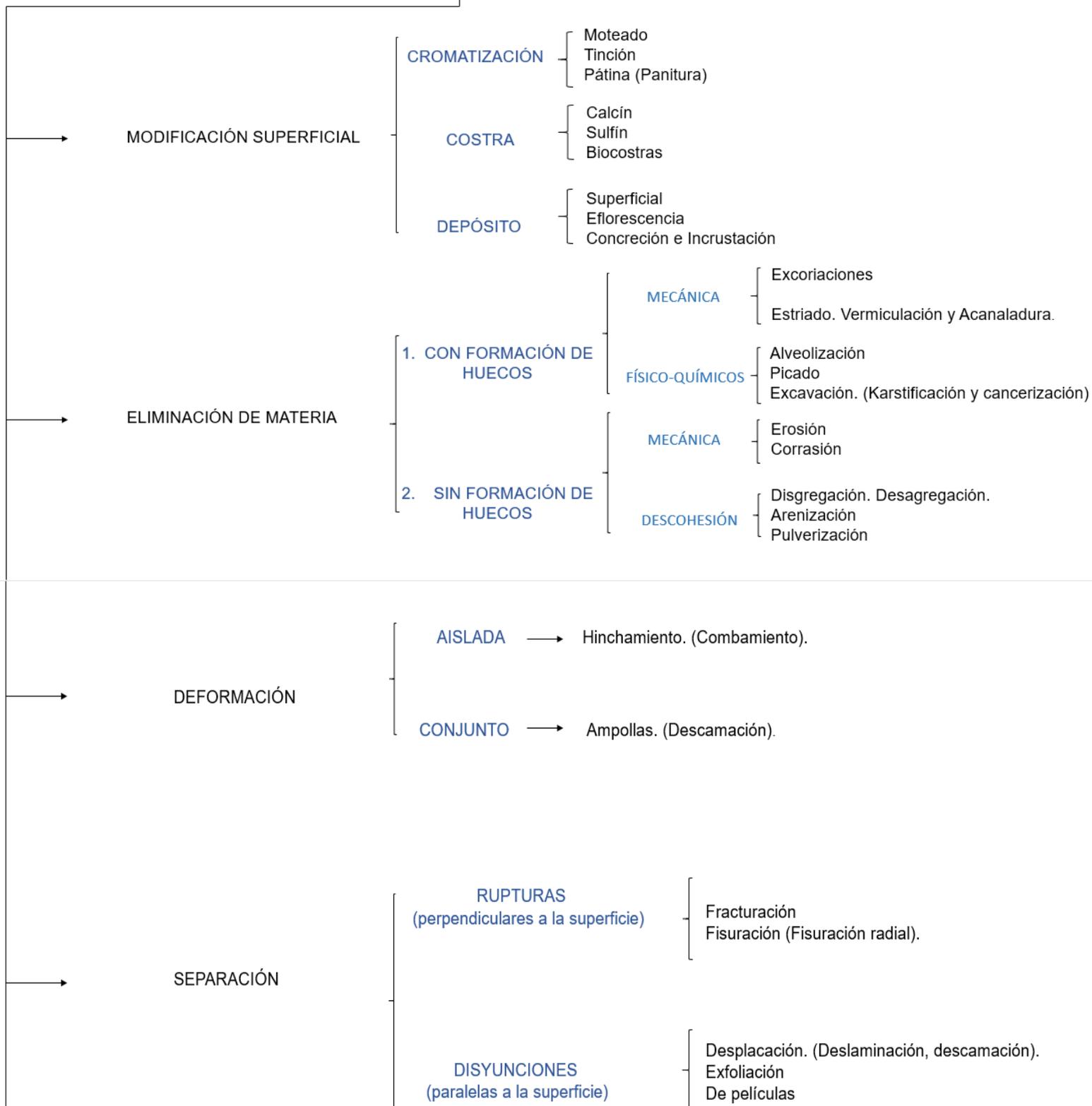
- Disyunciones.

Esta alteración está relacionada con la separación del material rocoso en forma de láminas de reducido grosor. Es sinónimo también de “peeling”, por su similitud al despellejamiento que puede sufrir una superficie. Asimismo, esta alteración se confunde con las ampollas, las cuales se manifiestan en pequeñas esferas mientras que ésta, lo hace en forma de capas que se desprenden de forma paralela a la superficie de la piedra. Su aparición se debe a dilataciones a nivel diferencial en el material, por su exposición a ciclos de humedad-sequedad y al hielo, junto con la presión que ejerce la exudación de sales minerales (Añorbe, 1997:224).

El proceso de disyunción en la piedra se puede desarrollar de distintas formas:

- a) Desplacación. Capa o lámina compacta de cierta extensión y grosor que se desprende de la superficie en forma de placas del mismo material de la piedra (Añorbe, 1997:222). Este proceso puede verse condicionado por la presencia de subeflorescencias, las cuales pueden verse combinadas con agentes externos como temperatura, humedad y viento. Es sinónimo también de deslaminación (Esbert “et al”. 1997:42). En algunos documentos utiliza también el término descamación, el cual está referido al desprendimiento ocasionado por las ampollas. Cuando la separación del material es de películas muy finas, se conoce como “separación de películas”.
- b) Exfoliación. Separación en múltiples capas muy finas, otorgándole a la superficie la similitud de las hojas de un libro dispuestas una detrás de otra. Este deterioro suele desarrollarse más en piedras de tipo arenisca (ICOMOS, 2011:18).

INDICADORES DE ALTERACIÓN



Esquema tomado de Gómez y Alcalde, (2000). "Factores, mecanismos e indicadores de alteración. En *Metodología de estudio de la alteración y conservación de la piedra monumental*. Sevilla: Universidad de Sevilla. Pág. 21

Figura 8. Indicadores de alteración. (Calvo, 2019).

2. Indicadores de alteración en los materiales pétreos en el Alcázar de Sevilla.

A continuación, se realizará un estudio sobre las alteraciones presentes en la piedra ornamental que conforman las fuentes ubicadas en el Jardín Inglés, así como de los distintos mecanismos que provocan sus apariciones.

2.1. Modificaciones superficiales.

2.1.1. Alteración cromática.

2.1.1.1. Cromatización.

1. Biopátina.



Figura 9. Biopátina desarrollada en las fuentes. (Calvo, 2019).

Descripción: Capa que envuelve la superficie del material pétreo, compuesta por organismos vivos.

Factor de deterioro:

- Agua.
- Condiciones climatológicas favorables (humedad, temperatura e iluminación).

- Materia inorgánica para organismos quimiolitótrofos (factores intrínsecos del material) y orgánica para heterótrofos.
- Contaminación ambiental.
- Factor antropogénico. Sistemas de riego de los jardines.

Mecanismo de deterioro: Las algas se adhieren a la superficie del material pétreo, cubriendo casi la totalidad el estrato original. Según los pigmentos fotosintéticos que contengan, presentan varios colores y existiendo de este modo, varios tipos. En una biopátina, no suelen ser las algas los únicos agentes bióticos que se adhieren a la superficie. Se suele generar una colonización por varios tipos de microorganismos, conocida como “biofilm”. Por tanto, la biopátina está conformada por una comunidad de organismos vivos de distinta naturaleza que se adhieren a una superficie, desde organismos quimiolitótrofos que se nutren del sustrato inorgánico hasta heterótrofos debido a la presencia de materia orgánica adherida a la superficie. Cuando envuelve casi la totalidad de la superficie se le conoce como “biopátina” y cuando su presencia es en zonas aisladas, se conoce como “biocostra”. Se desarrollan en los huecos porosos de la propia superficie y la acción metabólica de estos biodeteriorantes, genera ácido oxálico que actúa como agente quelante, debilitando el material.

Esta alteración se aprecia en las tres fuentes, sobre todo en aquellas que se encuentran en funcionamiento (Fig.4b; Fig.4c), siendo identificadas concretamente en el depósito de agua (Fig.9c) y en el pie de la fuente, coincidiendo con las zonas donde existe agua de escorrentía (Fig.9a y 9b).

El contexto donde se encuentran estas fuentes, tratándose de un jardín con plantas superiores, incrementa la humedad ambiental que facilita la aparición de estos organismos vivos. No obstante, este factor también se ve favorecido por los sistemas de riego del césped de la propia institución, que incrementan la humedad ambiental.

El agua que contiene estas fuentes procede del Aljibe del Chorrón del Alcázar, la cual no está depurada, presentando un alto porcentaje de microorganismos que facilita de esta forma su desarrollo en el sustrato. Además, el carácter ligeramente alcalino del agua (pH 8-9) favorece la aparición de organismos vivos, como cianobacterias.

Se ha realizado un estudio de caracterización sobre los agentes bióticos que se encuentran las distintas biopátinas de las fuentes, para más información, véase el punto “3.1. Estudio biológico”.

2. Limonitización.



Figura 10. Limonitización. (Calvo, 2019).

Descripción: Pátina de color amarillento que adquiere la superficie del material pétreo.

Factor de deterioro:

- Agua.
- Agentes metálicos.
- Contaminación.

Mecanismo de deterioro: Producida por la oxidación de los componentes de hierro que constituyen la piedra de mármol, así como de los elementos metálicos que se encuentran en contacto con el material rocoso, como puede ser la boquilla o los pernos internos.

Los agentes contaminantes contribuyen a la oxidación de estas sustancias. El agua, es el principal agente que provoca la corrosión de los elementos metálicos, además, su procedencia del Aljibe del Chorrón, con altos contenidos de limonita, favorece el cambio cromático que experimenta el material.

3. Moteado.



Figura 11. Moteado en la superficie llevado a cabo por insectos. (Calvo, 2019).

Descripción: Pequeñas manchas que aparecen en la superficie. Normalmente, su naturaleza suele ser de origen biológico.

Factor de deterioro:

- Condiciones climáticas favorables con presencia de vegetación.
- Superficie de la piedra deteriorada.

Mecanismo de deterioro: Las condiciones climáticas favorables como son la temperatura, humedad e iluminación, favorecen la aparición de los agentes bióticos dentro de un contexto con alta vegetación, como son los jardines. La superficie del material pétreo ya deteriorada presenta una textura rugosa que facilita su asentamiento, en este caso, se aprecia en la imagen el caso de insectos (Fig.11).

2.1.1.2. Costras.

4. Calcín.



Figura 12. Costra en la superficie del material calcáreo. (Calvo, 2019).

Descripción: Costra compacta desarrollada en la superficie del material calcáreo.

Factor de deterioro:

- Altos contenidos de CO₂ en el ambiente.
- Agua.
- Condiciones climatológicas favorables (ciclos de temperatura y humedad).
- Contaminación ambiental.

Mecanismo de deterioro: El CO₂ del ambiente se disuelve con el agua, dando lugar al ácido carbónico que, en contacto con el material pétreo calcáreo, produce bicarbonato de cal, tratándose de una sustancia muy soluble en agua. Cuando llega a la superficie y el agua se evapora, se convierte de nuevo en caliza, la cual retiene humedad en su interior y se oscurece debido a su exposición a los agentes externos. En un principio, endurece la superficie de la piedra, pero a largo plazo alcanzan un nivel de compacidad más alto que la propia piedra, que, sometida a lavados meteorológicos, provocan disgregación, adquiriendo la superficie una textura rugosa (Fig.12).

5. Sulfin. (Costra negra).

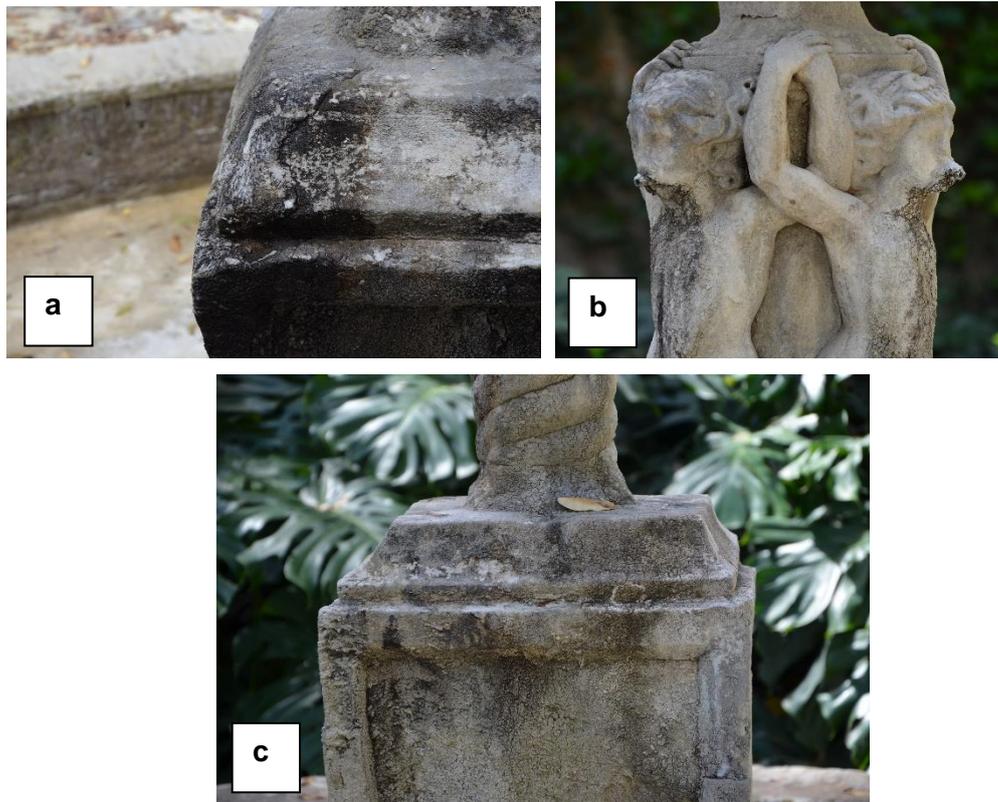


Figura 13. Costra negra en la superficie del material calcáreo. (Calvo, 2019).

Descripción: Costra compacta compuesta por yeso y contaminantes, que se asienta sobre la superficie del material pétreo.

Factor de deterioro:

- Contenidos de óxidos de carbono en la atmósfera.
- Contenido de dióxido de azufre.
- Agua.
- Condiciones climatológicas favorables (temperatura y humedad).
- Factor antrópico. (Tránsito de vehículos).
- Suciedad superficial, (polvo, partículas, humo, etc.)

Mecanismo de deterioro: El SO_2 se oxida bajo la presencia de los óxidos de carbono, generándose ácido sulfúrico por hidratación. Esta sustancia reacciona con el carbonato cálcico, dando lugar a sulfato cálcico hidratado, que al evaporarse el agua forma una costra conocida como sulfín, de color oscuro. Es más dañina que el calcín, ya que el sulfato es mucho más agresivo que el carbonato, caracterizándose por ser una costra con mayor grosor y más higroscópica. Se debe tener en consideración que este contaminante se halla en la atmósfera a causa del tránsito de vehículos, entre otros. Las fuentes se ubican cerca de la avenida Menéndez Pelayo, confirmando de esta forma la presencia de este contaminante en el Jardín

Inglés. Aunque los niveles de este contaminante sean bajos en la atmósfera, la exposición a este agente provoca este tipo de daño a largo plazo.

6. Biocostra.

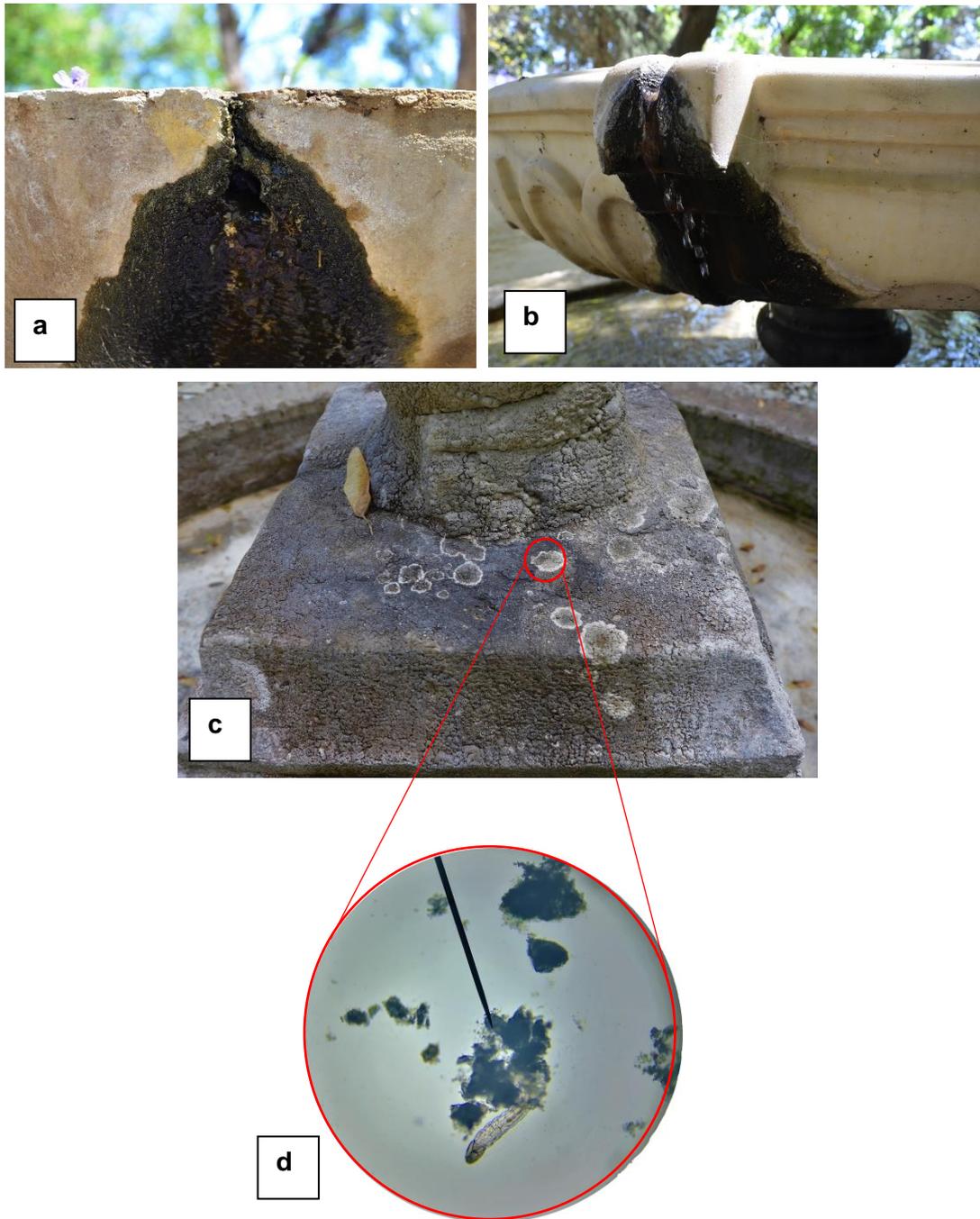


Figura 14. (a) y (b). Biocostras. (d) Presencia de nemátodos en costras. (Calvo, 2019).

Descripción: Material compacto compuesto por organismos vivos sobre la superficie del material pétreo.

Factor de deterioro:

- Agua.
- pH alcalino.
- Condiciones climatológicas favorables (temperatura, humedad, iluminación y viento).
- Exposición a la intemperie.
- Sustrato de carácter inorgánico.
- Superficie deteriorada.
- Características formales de la piedra, como la textura, que facilita el asentamiento.
- Contaminación.

Mecanismo de deterioro: Los agentes contaminantes generan una fuente de proliferación de agentes bióticos, ya que acidifican el agua, suponiendo un factor favorecedor para el desarrollo de las algas. Las condiciones ideales de humedad, iluminación y temperatura, (25°C-30°C y un porcentaje mayor de 40 % de HR) propician la aparición de los organismos vivos en la piedra ornamental, así como la característica compositiva inorgánica de la piedra, favorecedora para los organismos quimiolitótrofos. Además, los altos contenidos de vegetación que alberga el contexto donde se ubican las fuentes, favorecen la aparición de animales, tales como gusanos nemátodos (Fig.14d) que se alimentan de algas y que deterioran la piedra tanto por su acción física como por su acción metabólica, la cual genera ácido oxálico, que deteriora el material calcáreo. El agua es un mecanismo importante para la proliferación de organismos vivos, observándose su asentamiento en zonas donde circula el agua. El color negro de estas costras es un indicador de cianobacterias, tratándose de un agente bastante común en el material pétreo. Su presencia genera un deterioro en la piedra a nivel químico, por las sustancias que excretan y mecánico, penetrando en el material de manera endolítica.

2.1.1.3. Depósitos.

1. Superficiales.



Figura 15. Depósitos superficiales en las fuentes. (Calvo, 2019).

Descripción: Acumulación de sustancias ajenas en la superficie del material pétreo.

Factor de deterioro:

- Limpieza de los jardines.
- Factores externos como el viento y la lluvia.
- Falta de mantenimiento.
- Exposición al intemperismo y contexto con mucha vegetación.

Mecanismo de deterioro: La limpieza llevada a cabo en los jardines por el personal contratado en la institución, se realiza todas las mañanas de lunes a viernes y consiste en enrastrillar las hojas caídas de los árboles, tanto en el césped como en los caminos de albero. Este mecanismo provoca el levantamiento de una masa de polvo procedente de la tierra, depositándose sobre las fuentes, disturbando su cromatismo original, además de ser una fuente que propicia la aparición de agentes bióticos.

Los factores externos como el viento y la lluvia transportan sustancias ajenas al material pétreo, entre ellas polvo, esporas y contaminantes, que contribuyen al deterioro de la piedra ornamental. No obstante, su localización en un jardín con una gran riqueza de vegetación, donde las copas de los árboles proporcionan sombra a las fuentes, la caída de las flores y las hojas se depositan sobre la superficie de las mismas, potenciando la aparición de otros seres vivos, como son los organismos nemátodos y contribuyendo a la humedad en el interior de la pieza. Asimismo, debido a su exposición a la intemperie, reciben el guano procedente de aves (Fig.15b), que alteran el material calizo considerablemente debido a su carácter ácido. Estos factores acompañados con la falta de un mantenimiento que trate de eliminar estos depósitos pueden crear una costra densa, compacta y muy adherente sobre la superficie, que cierra y permeabiliza los poros de las piedras, contribuyendo a un aumento de salinidad y facilitando las reacciones químicas y físicas. Este proceso se desarrolla en los recovecos de las fuentes y en zonas resguardadas de la lluvia sin sufrir un “lavado meteorológico” (Galán, 2018:11).

2. Concreciones.



Figura 16. Concreciones. (Calvo, 2019).

Descripción: Depósitos en la superficie de pequeño tamaño sobre el material calcáreo.

Factor de deterioro:

- Agua.
- Condiciones climáticas favorables (humedad y temperatura). Junto con las oscilaciones de ambos parámetros.
- Contaminación.
- Material previamente deteriorado.
- Presencia de organismos vivos.

Mecanismo de deterioro: La presencia de organismos vivos genera una serie de concreciones sobre la superficie del material pétreo por diversas causas, como pueden ser los productos de sus reacciones metabólicas que reaccionan químicamente con el material subyacente, originando sales. La aparición del carbonato cálcico en la superficie por la presencia de aguas duras provoca una serie de concreciones en la superficie, así como la exudación de la costra del calcín en pequeñas áreas, que contribuyen a la aparición de este tipo de depósito sobre la superficie.

7. Eflorescencias.



Figura 17. Eflorescencias salinas en la superficie del material. (Calvo, 2019).

Descripción: Depósitos cristalinos blanquecinos generados en la superficie de la piedra.

Factor de deterioro:

- Agua.
- Ciclos de humedad y temperatura.
- Presencia de sales solubles en el interior de los poros del material.
- Organismos vivos.
- Contaminación ambiental.
- Características compositivas del material pétreo.

Mecanismo de deterioro: La aparición de las sales solubles puede ser por distintas causas: sus propiedades intrínsecas, materiales de restauración inadecuados, contaminación, clima, biodeterioro, etc. El agua es el principal mecanismo de deterioro que conlleva la aparición de estas sustancias, ya que es el medio donde están disueltas, que, combinadas con fenómenos de sequedad y humedad, provoca su cristalización a distintos niveles en el interior de la piedra. Su aparición en determinados lugares del material pétreo indica las zonas donde presenta un mayor porcentaje térmico. Las sustancias excretadas por los organismos vivos que se desarrollan en el sustrato, así como la acidez que proporcionan los agentes contaminantes, propician también este fenómeno.

2.2. Eliminación de materia.

1. Estriado.



Figura 18. Estriado. (Calvo, 2019).

Descripción: Alteración relacionada con la pérdida de material, que se manifiesta en forma de surcos horizontales que se asemejan a las estrías. Pueden desarrollarse en distintos niveles de profundidad.

Factor de deterioro:

- Agua.
- Localización del monumento pétreo. Condiciones ambientales.
- Ciclos de humedad y temperatura.
- Viento.

Mecanismo de deterioro: El agua depositada en la fuente toma contacto con el material pétreo, generando una humedad interna que es favorecida a su vez por el contexto donde se encuentra, con altos índices de humedad. Estas condiciones, junto con las oscilaciones de temperatura-humedad a las que se exponen las fuentes, debido a su intemperismo, provocan un debilitamiento del material que, expuesto también a la acción eólica, conlleva a la pérdida del material calcáreo con estas características.

2. Vermiculación.



Figura 19. Vermiculación. (Calvo, 2019).

Descripción: Surcos verticales, curvos y profundos que se desarrollan en la superficie.

Factor de deterioro:

- Agua.
- Contenidos de CO₂ en el aire.
- Contaminación ambiental.
- Contexto de la pieza (Jardín).
- Humedad en el interior de la piedra.

Mecanismo de deterioro: Mediante la disolución del CO₂ en presencia del agua, se produce ácido carbónico que provoca la disolución del carbonato y otros componentes solubles constituyen el material pétreo.

El ácido carbónico reacciona con el carbonato de calcio, dando lugar bicarbonato de calcio, que es soluble en agua y que bajo ciclos de humedad y temperatura se solidifica, ocasionando la costra conocida como calcín, soluble en agua. La formación de esta costra bajo la escorrentía de agua, junto con la exposición de los ácidos excretados por los organismos vivos y la presencia de contaminación, produce la disolución del material, generando una serie de huecos verticales en la superficie, tal y como se aprecia en la imagen (Fig.19).

3. Formación de cavernas.

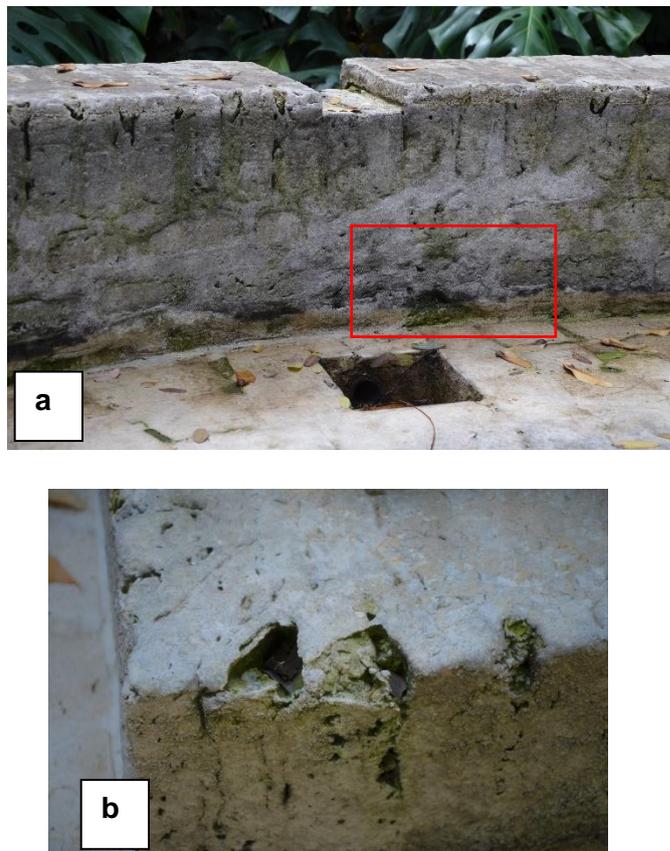


Figura 20. Presencia de cavernas en el material pétreo. (Calvo, 2019).

Descripción: Creación de concavidades profundas en el material pétreo.

Factor de deterioro:

- Agua.
- Humedad interna.
- Diferencias compositivas y térmicas en el material.
- Exudación de sales minerales.
- Contaminación ambiental.

Mecanismo de deterioro: Las propiedades intrínsecas de la pieza, donde existen diferencias compositivas en numerosas zonas de la fuente, la exudación de sales minerales que proporcionan una zona de mayor de higroscopicidad, así como el deterioro que sufre el propio material a causa del ataque de agentes bióticos y la exposición directa a la contaminación ambiental, generan un debilitamiento estructural en la roca, que al exponerse al agua de escorrentía, favorece su disolución provocando una serie de concavidades y pérdidas del material.

4. Karstificación/excavación.



Figura 21. Excavación en el material pétreo. (Calvo, 2019).

Descripción: Depresiones provocadas por la disolución del material, proporcionando una textura rugosa.

Factor de deterioro:

- Agua de esorrentía.
- Humedad interna.
- Presencia de contaminantes.
- Biodeterioro.
- Sales solubles.

Mecanismo de deterioro: La humedad interna del material ocasionada por el agua depositada en la fuente, a causa de su funcionamiento junto con aquella procedente de la atmósfera (humedad ambiental o aportada por la lluvia), así como el ataque de biodeteriorantes que producen sustancias ácidas que atacan el material disolviéndolo junto con los contaminantes, como es el SO_2 , genera zonas del material más susceptibles que otras, bajo la exposición al agua de esorrentía, provocan la disolución del material, dando lugar a una serie de irregularidades en la superficie.

5. Erosión y corrosión.



Figura 22. Excavación en el material pétreo. (Calvo, 2019).

Descripción: Pérdida del material de la superficie, eliminando los detalles y adquiriendo una forma redondeada, (*corrosión*). Estas alteraciones conllevan también a la deformación del material pétreo.

Factor de deterioro:

- El viento.
- Agua.
- Biodeteriorantes.
- Contaminantes.

Mecanismo de deterioro: La acción del viento, elimina gran parte del material, que combinada con la acción física del agua de escorrentía y los ácidos proporcionados por la contaminación y los organismos vivos, conllevan a la eliminación de la piedra ornamental.

6. Disgregación.



Figura 23. Disgregación del material en el depósito de la fuente. (Calvo, 2019).

Descripción: Descohesión intergranular de los componentes que conforman el material pétreo, conllevando su pérdida. En el caso del mármol se conoce como “sacarificación”. Esta pérdida genera una deformación de las características originales de la piedra ornamental.

Factor de deterioro:

- Agua.
- Viento.
- Contaminantes.
- Organismos vivos.
- Características intrínsecas del material.

Mecanismo de deterioro: La acción física llevada a cabo por los organismos vivos, las sustancias que producen ácidas, junto con los contaminantes y las características intrínsecas del propio material, provocan su disolución en forma de gránulos, proceso que se ve favorecido por el agua de escorrentía procedente del funcionamiento de la fuente, así como por los factores atmosféricos, como son la lluvia y el viento.

2.3. Deformaciones.

1. Hinchamiento y ampollas.



Figura 24. (a). Hinchamiento en la zona inferior del material, (b). Presencia de ampollas en la totalidad de la superficie. (Calvo, 2019).

Descripción: Cambio de las características originales del material, donde se aprecia un aumento del volumen. Esta alteración puede ir subordinada a la aparición de ampollas, tratándose éstas de elevaciones semiesféricas sobre la superficie.

Factor de deterioro:

- Ciclos de humedad y temperatura.
- Agua.
- Sales minerales.
- Desarrollo de costras de calcín y sulfín.
- Características intrínsecas del material (porosidad).
- Contaminación.

Mecanismo de deterioro: Los constantes ciclos de humedad y sequedad generan la cristalización de sales en la superficie, provocando de esta forma cambios físicos en el interior de los poros que producen hinchamiento y deformación del material. Cuando presenta una porosidad baja, la cristalización de las sales es más agresiva, ocasionando un deterioro más violento en la superficie.

El desarrollo de costras de calcín y sulfín, a causa de los contaminantes atmosféricos, generan un aumento del material que proporcionan la deformación de sus características originales.

2.4. Separación del material.

2.4.1. Rupturas.

1. Fracturación.

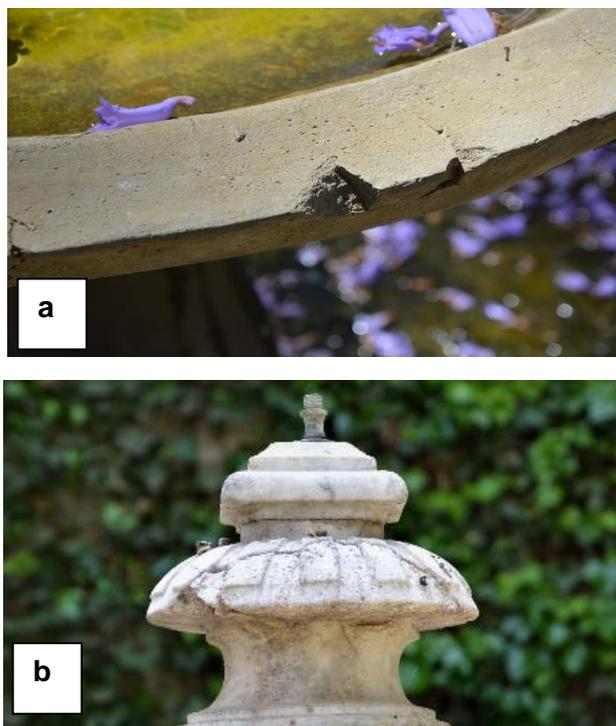


Figura 25. Fracturas en varias zonas del material pétreo. (Calvo, 2019).

Descripción: Grieta que atraviesa la piedra por completo, el avance de esta alteración puede conllevar a la fragmentación. Este indicador se localiza en numerosas zonas de las piezas, tanto en el depósito del agua, como en el pie y la boquilla de la fuente.

Factor de deterioro:

- Ciclos de humedad y temperatura.
- Agua.
- Oxidación de metales.
- Factor antrópico. Posible accidente.
- Intemperismo.

Mecanismo de deterioro: Los ciclos de humedad y sequedad junto con la acción del agua, provocan la corrosión de los materiales metálicos que se localizan en el interior del material pétreo, creando cambios de volumen que generan tensiones en el interior de la piedra, traduciéndose en fracturas y proporcionando un riesgo de desprendimiento.

Su localización a la intemperie supone una exposición a una serie de agentes que pueden impactar sobre la pieza y fracturar el material, como puede ser la caída de una rama de un árbol, como ya ha ocurrido en ocasiones anteriores en las fuentes del Alcázar de Sevilla.

No obstante, la aparición de estas fracturas se puede originar por un posible debilitamiento del material a causa de su meteorización o posibles accidentes provocados por el factor antrópico.

2. Fisuración.

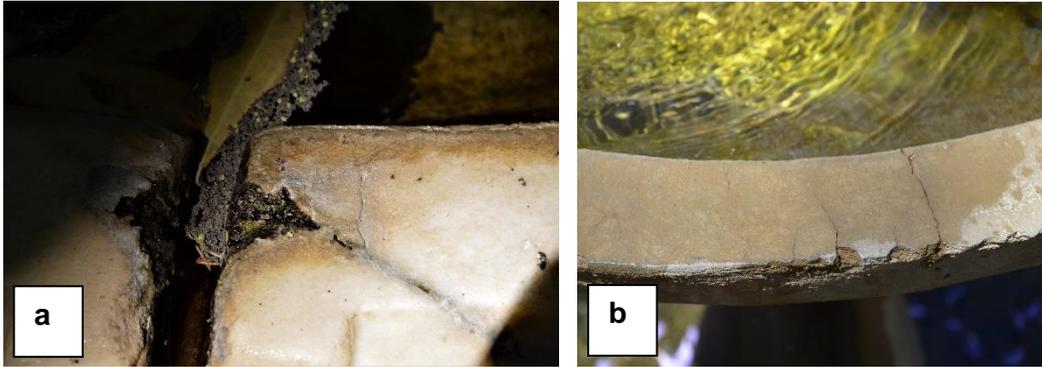


Figura 26. Fisuras en la piedra ornamental. (Calvo, 2019).

Descripción: Grieta de pequeñas dimensiones.

Factor de deterioro:

- Corrosión de elementos metálicos.
- Agua.
- Ciclos de humedad y temperatura.
- Biodeteriorantes.
- Factor antrópico.
- Movimientos del suelo.

Mecanismo de deterioro: Las tensiones generadas por la acción física de los organismos vivos y del suelo donde se asientan, así como los ciclos de humedad y temperatura que crean la expansión y retracción del material, provocan grietas que proporcionan su debilitamiento. La oxidación de los elementos metálicos en el interior de la piedra, generan tensiones que se traducen en este tipo de alteración.

La aparición de este tipo de alteración también se debe a su exposición a la intemperie, siendo una característica común del proceso de meteorización. El factor antrópico puede provocar un posible impacto sobre el material que conlleve la aparición de grietas en el sustrato.

2.4.2. Disyunciones.

1. Descamación.



Figura 27. Proceso de descamación. (Calvo, 2019).

Descripción: Proceso de separación del material pétreo en escamas.

Factor de deterioro:

- Exudación de sales solubles.
- Agua de escurrimiento.
- Biodeteriorantes.
- Ciclos de humedad y sequedad.
- Contaminación.

Mecanismo de deterioro: Los ciclos de humedad y sequedad generan tensiones en el proceso de cristalización de las sales en el interior de los poros, cuya exudación en la superficie se genera en forma de ampollas, que se desprenden a causa del agua de escurrimiento, encargada de facilitar su separación.

La penetración endolítica de los biodeteriorantes, contribuyen también a la separación de las ampollas que se localizan en la superficie. Los mecanismos mencionados anteriormente, junto la existente contaminación ambiental que provoca el debilitamiento del material y su disolución, favorecen este proceso.

1. Deslaminación.

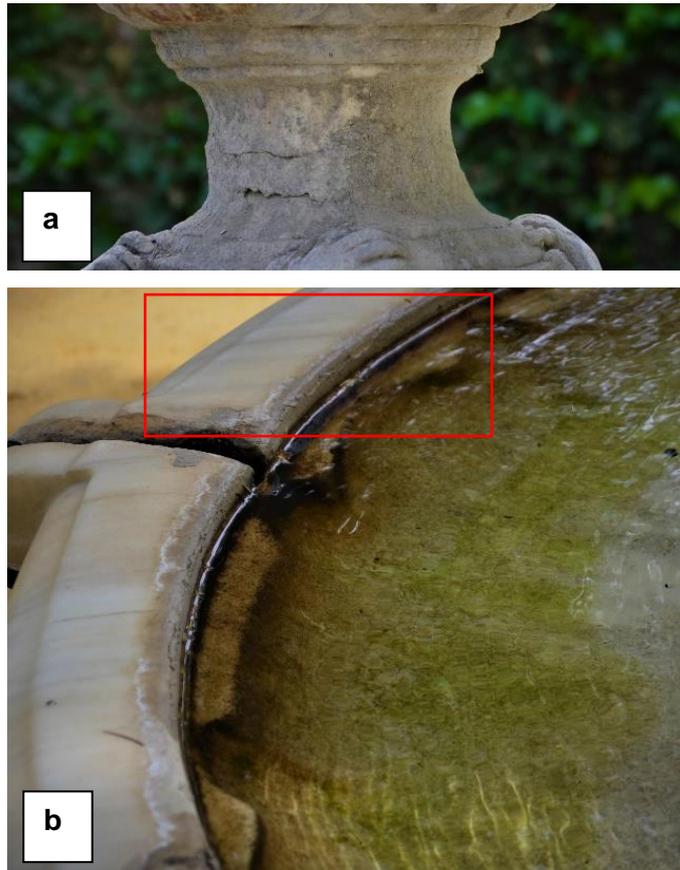


Figura 28. Proceso de deslaminación. (Calvo, 2019).

Descripción: Separación del material en forma de láminas.

Factor de deterioro:

- Exudación de sales solubles. (Subeflorescencias y eflorescencias).
- Agua de escorrentía.
- Biodeteriorantes.
- Ciclos de humedad y sequedad.
- Contaminación. Costras de calcín y sulfín.

Mecanismo de deterioro: Los ciclos de humedad y sequedad provocan la cristalización de las sales, en forma de subeflorescencias y eflorescencias, que generan tensiones en el interior del material, provocando su desprendimiento en forma de láminas. No obstante, la formación de costras que producen los agentes contaminantes también ayuda a este tipo de desprendimiento, debido a las tensiones que crean en el interior de la piedra. La acción endolítica generada por los organismos vivos beneficia también su separación. Este proceso se ve favorecido a su vez, por la humedad y el agua estancada en las fuentes, que producen un debilitamiento del sustrato que, combinada con el agua que cae alrededor de la superficie, facilitan la disyunción del material.

2.5. Mapas de alteraciones.

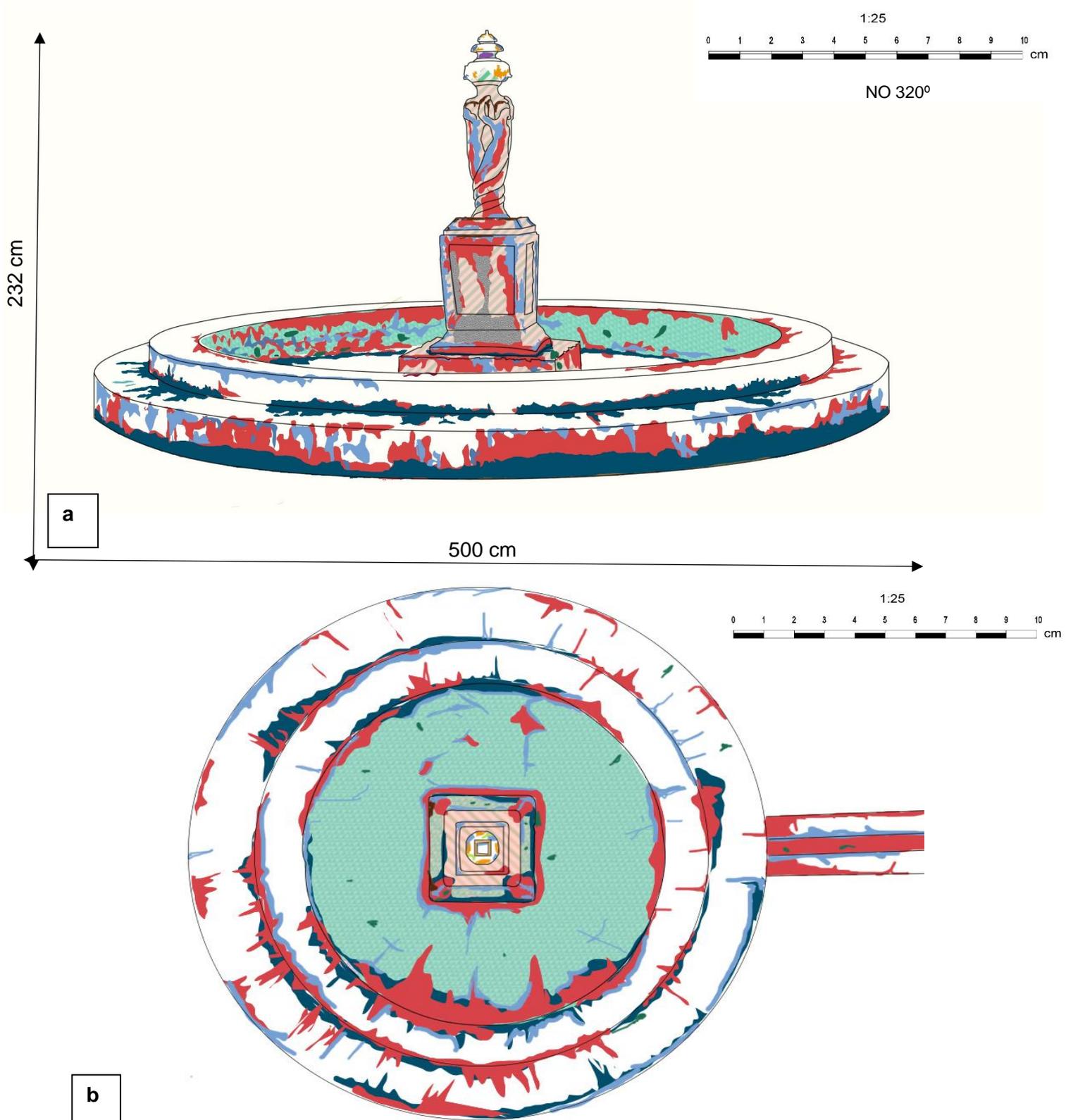


Figura. 29. Mapa de alteraciones. (Fig.4a), (a). Vista frontal, (b). Vista superior. (Calvo, 2019).

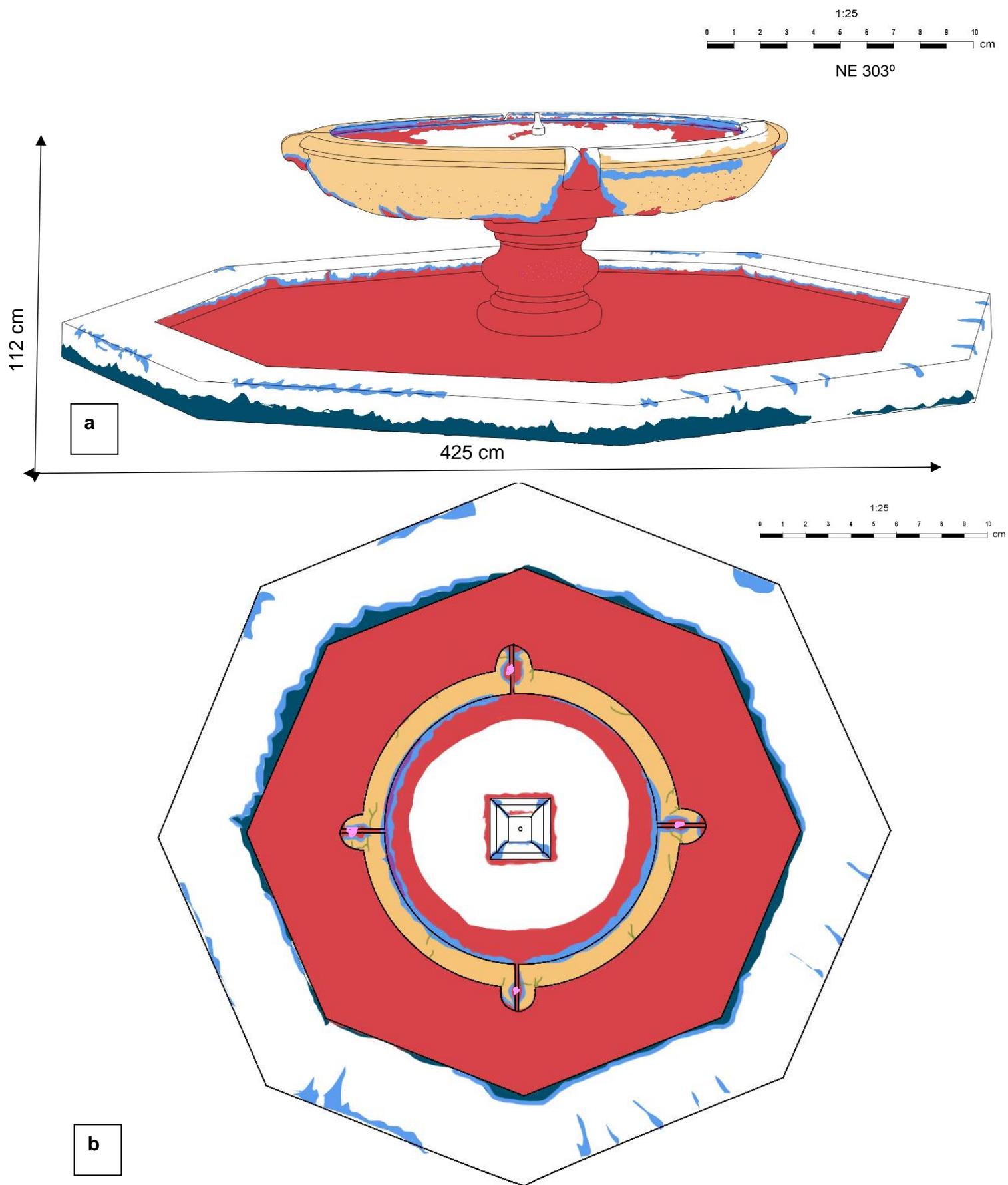


Figura 30. Mapa de alteraciones. (Fig.4b), (a). Vista frontal, (b). Vista superior. (Calvo, 2019).

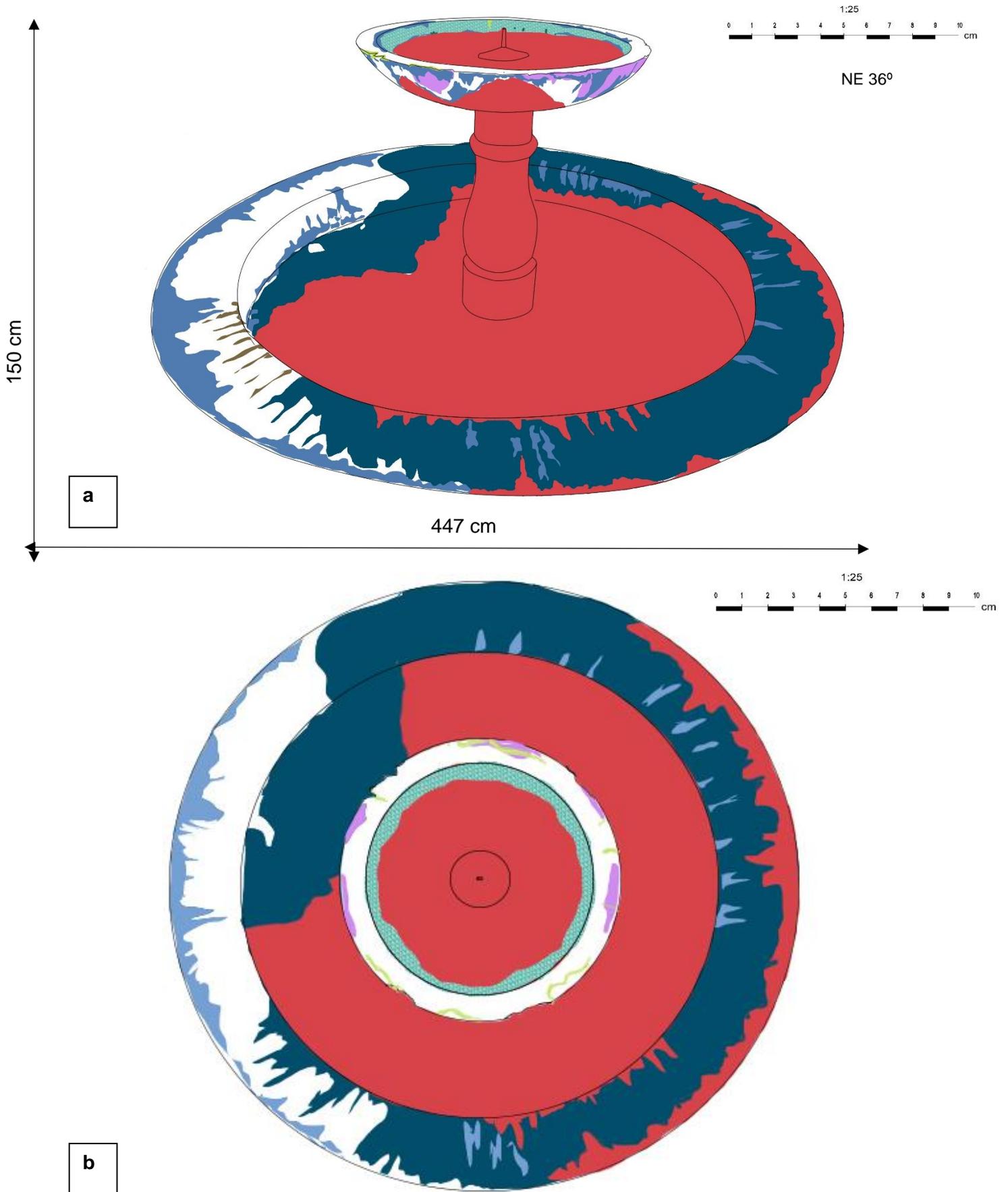


Figura 31. Mapa de alteraciones. (Fig.4c), (a). Vista frontal, (b). Vista superior.
(Calvo, 2019)

LEYENDA

	Organismos vivos		Disgregación
	Manchas de humedad		Karstificación
	Eflorescencias salinas		Concreciones
	Limonitización		Moteado
	Calcín		Costra negra
	Grietas		
	Cavernas		
	Deslaminación		

Las alteraciones representadas en los distintos gráficos muestran su localización en las piezas pétreas, lo cual informa a su vez sobre su estado de conservación, así como de los distintos mecanismos de deterioro que las generan.

Son numerosas alteraciones las que participan en el deterioro de estas fuentes y muchas de ellas se superponen. Por ello, con motivo de no crear confusión en la lectura de los distintos gráficos, aparecen sólo aquellas más relevantes y que deterioran considerablemente la piedra ornamental. Las tres fuentes, presentan suciedad alrededor de toda la superficie, debido a su intemperismo. Esta alteración no se representa en los mapas, pero está presente alrededor de todas las piezas y en aquellas zonas de color blanco. Asimismo, la erosión es una alteración que se desarrolla también en las tres piezas ornamentales, a causa de distintos factores, como es el agua y la acción eólica. Este daño tampoco ha sido representado para no crear desvirtualización con las otras alteraciones, pero se desarrolla concretamente en las esquinas y aristas de las tres fuentes.

Se puede observar que el daño más característico que sufren estas piezas es a causa del factor biológico, representándose mediante color rojo. Su presencia a debe a la exposición directa a los altos índices de humedad que existen en el ambiente (± 65 % HR). También, se puede apreciar una mayor acumulación de organismos vivos en la zona noroeste, coincidiendo con la parte donde existe una mayor humedad en el jardín. De la misma manera, también se percibe su existencia en zonas donde circula el agua de escorrentía, debido al propio funcionamiento de la fuente y en

áreas donde existe humedad en el material pétreo. Esto, paralelamente, genera también eflorescencias salinas, concretamente alrededor del agua de escorrentía y de los organismos vivos, representándose en los gráficos en azul claro. Grietas (verde oliva) y disgregación del material (violeta) aparecen por el ataque producido por este agente y las características del agua, produciendo limonitización en el mármol (Fig.30a; Fig.31a), alteración representada en color amarillo.

Las paredes del depósito encargado de retener el agua de las fuentes se hallan altamente deterioradas, presentando la disolución del material pétreo, alteración conocida como karstificación y mostrándose en el mapa en color verde. Esta alteración genera a su vez, excavación siendo representada en el primer gráfico mediante el color verde oscuro (Fig.29a). La deslaminación o separación del material pétreo se representa en color morado en los mapas (Fig.30a).

El primer mapa, presenta un mayor porcentaje de alteraciones en comparación con los otros dos restantes. El pedestal de esta fuente, encargado de arrojar agua, se encuentra totalmente envuelto en calcín y ampollas, representándose en el mapa con líneas verdes con fondo rosa (Fig.29a). Las dos fuentes restantes contienen exudación de costras del calcín en niveles más reducidos, tratándose de concreciones (Fig.30a; Fig.31a) representándose en color rosa fucsia. Las superficies rugosas y deterioradas de las fuentes presentan moteado, de color azul añil en los gráficos.

3. Integración profesional.

3.1. Estudio biológico.

3.1.1. Toma de muestras.

Es fundamental que para un posible tratamiento de limpieza de las biopátinas presentes en el material pétreo, así como para valorar el grado de deterioro que sufre el sustrato a causa de estos agentes, se realice una identificación de estos organismos.

Para ello, se ha realizado una toma de muestras por cada organismo más representativo en cada una de las fuentes. Aquélla que se encuentra sin funcionamiento (Fig.4a), se han extraído un total de dos muestras. Esta fuente contiene una biopelícula con colores amarillentos de posibles líquenes, negruzcos de cianobacterias y verdosos de algas, en un estado seco a causa de la falta de agua. De las otras dos fuentes restantes, (Fig.4b y Fig. 4c) se tomó una muestra por cada una de ellas, una procedente del pedestal que expulsa agua y otra de la biocostra que se desarrolla en el agua de esorrentía que cae en el depósito del agua. De esta forma, se obtiene un total de cuatro muestras destinadas a su estudio.

Cabe destacar que los muestreos se realizaron en primavera, coincidiendo en una época con mayor proliferación de organismos vivos. La recolección de especies se realizó mediante bisturí y pinzas. Se conservaron en un recipiente estéril, sumergidas en 25 ml de agua procedente de la fuente donde se desarrollan, con un pH alcalino que oscila entre el valor 8 y 9 y una temperatura de 21°C (Peraza, 2004:40).

Las extracciones de muestras se realizaron de las siguientes zonas:



Figura 32. Extracción de la muestra número 1. Tomada de la fuente sin funcionamiento ubicada en el Jardín Inglés. (Calvo, 2019).



Figura 33. Extracción de la muestra número 2. Tomada del pedestal de la fuente sin funcionamiento ubicada en el Jardín Inglés. (Calvo, 2019).



Figura 34. Extracción de la muestra número 3. Tomada de una de las fuentes en funcionamiento ubicada en el Jardín Inglés. (Calvo, 2019).



Figura 35. Toma de muestra número 4. Tomada del suelo del depósito de una de las fuentes ubicadas en el Jardín Inglés.

3.1.2. Imágenes microscópicas.

Para realizar su estudio, se prepararon cada una de las muestras en un portaobjetos sin tratar. Previamente se descompusieron para facilitar de esta forma su análisis estructural. Sobre la placa, se aplicaron dos gotas del agua procedente recipiente donde se conservaron las muestras, mediante pipeta.

El instrumental utilizado para su estudio fue un microscopio estereoscópico de la marca Motic BA210 con un aumento de 40X, el cual ofrece la posibilidad de estudiar los parámetros microestructurales de los organismos. La documentación fotográfica se realizó mediante cámara Nikon D5100.

La identificación de los microorganismos presentes en las muestras ha sido llevada a cabo por el catedrático de la Universidad de Bellas Artes de Granada, Fernando Bolívar Galiano, experto en estudios de biodeterioro en bienes culturales.

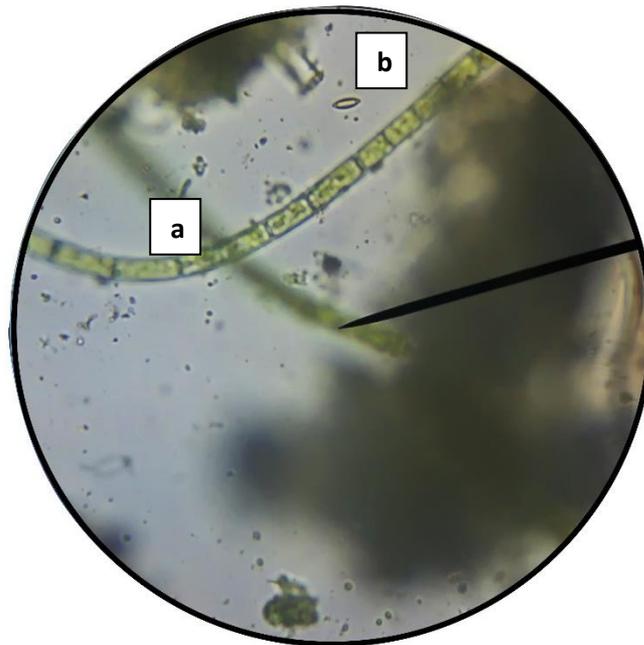


Figura 36. Muestra número 1. (a). *Chlorophyceae* género *Ulothrix*. **(b).** *Diatomea pennada* del género *Navicula* (Calvo, 2019).

La *Chlorophyceae* es un alga verde filamentosa que pertenece a la familia *Ulothrichaceae*. Se suelen encontrar tanto en agua dulce como marina. Contienen células amplias y alargadas, y aguantan climas de baja temperatura. Su pared celular está compuesta por celulosa (Fig.36a).

El género *Ulothrix* se caracteriza por ser un alga que no contiene vaina. No es habitual encontrar este tipo de organismo en bienes culturales, aunque según los estudios que Peraza realiza sobre

las algas presentes en el Alcázar de Sevilla, en esta zona es bastante común. No obstante, su presencia ocasional en los materiales pétreos revela su poca resistencia a condiciones de baja humedad, por tanto, se deben de dar una serie de parámetros idóneos de alta humedad y temperatura que condicionen su aparición. Además, su carácter epífita proporciona una fácil remoción en tratamientos de limpieza (Peraza, 2004:105; Bolívar, 1994:48).

Las diatomeas o algas bacilariofitas forman parte de uno de los biodeteriorantes más comunes en la piedra ornamental. Las condiciones más importantes para su establecimiento son: humedad, calor, luz, sustratos de naturaleza inorgánica, (concretamente calcio y magnesio) y un pH ligeramente ácido (Ruíz, 2019:139; Bolívar y Sánchez, 1998:63). Se trata de un organismo epífita que crece en la superficie del sustrato. Asimismo, es un organismo muy extendido en nuestro planeta, ocupando un 70 % de la superficie. Este biodeteriorante se caracteriza por estar recubierto de una pared de silicatos y polisacáridos, propiedad exclusiva de este tipo de algas. Se clasifica como pennata, debido a la configuración del frústulo³ (Fig.36b), el cual se desarrolla de manera alargada (Peraza, 2004:34; Villalba y Malagón, 2011:71).

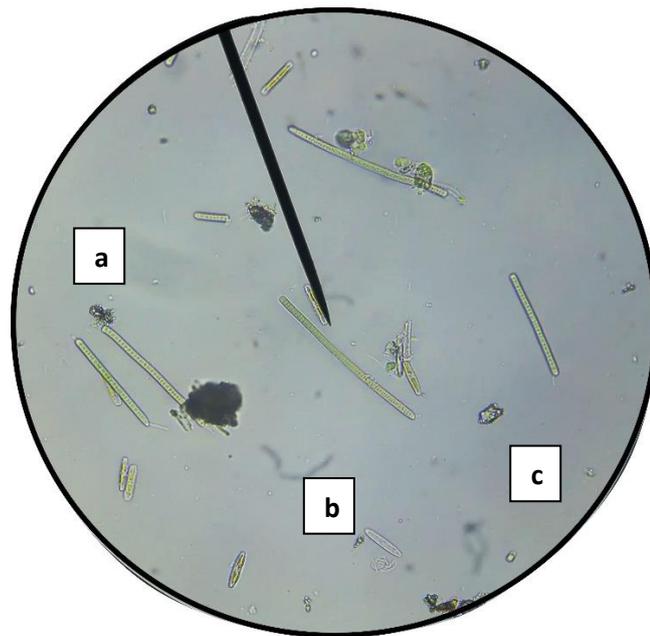


Figura 37. (a). Tricomas de cianobacteria filamentosa orden *Oscillatoriales*. (b). Diatomeas pensadas, género *Nitzschia*. (c). Célula móvil de *chloroficea* género *Chlamydomona* (Calvo, 2019).

Las cianobacterias filamentosas son algas de células procariotas que carecen de flagelos. Sus pigmentos fotosintéticos se encuentran en tilacoides libres, entre ellos contienen reservas de

³ Frústulo o frústula se identifica como la pared celular dura y porosa de la capa externa de las diatomeas. (Berkeley, 1997).

polisacáridos. Su desarrollo se puede dar en agua dulce, salada y ambientes terrestres. Este tipo de orden es frecuente en las fuentes de los Reales Alcázares de Sevilla, según los estudios de Peraza. Presenta vaina, propiedad que le otorga una resistencia a condiciones climatológicas muy diversas. Este tipo de orden, indica que se desarrolla en ambientes preferiblemente de aguas duras, con ausencia del elemento de nitrógeno, lo cual facilita su desarrollo (Fig.36a).

Las diatomeas *Nitzschia* (Fig.37b), es una bacilariofícea bastante común en monumentos pétreos con altos porcentajes de humedad y muy abundantes en las fuentes del Real Alcázar de Sevilla, su estructura y comportamiento es bastante similar a la diatomea *pennada Navicula*. Se suele desarrollar en aguas dulces y en procesos iniciales de colonización, por lo que no es frecuente encontrar este tipo de organismos en biopátinas envejecidas. Sin embargo, su presencia es bastante común en fuentes de renovación continua de agua, indicando a su vez, que posiblemente el material pétreo haya pasado por un proceso de limpieza superficial, ya sea por un tratamiento o por lavados meteorológicos. Su presencia no degrada el material de manera muy significativa. (Bolívar y Sánchez, 1995).

Las *Chlamydomonas* (Fig.37c) son algas verdes unicelulares flageladas. Se caracterizan por contener un único cloroplasto y existen bajo un complejo sistema de canales iónicos que se activan bajo la presencia de luz. Este tipo de algas se desarrollan en ambientes no acuáticos y en costras carbonadas de piedras ornamentales, de manera endolítica. Además, activa la precipitación de carbonatos, provocando de esta manera un daño potencial al patrimonio lapídeo. Es bastante común su desarrollo en substratos pétreos y desarrollan pátinas de color negro y manchas de color verde en el soporte (Peraza, 2004: 66-68; Villalba y Malagón, 2011:65).

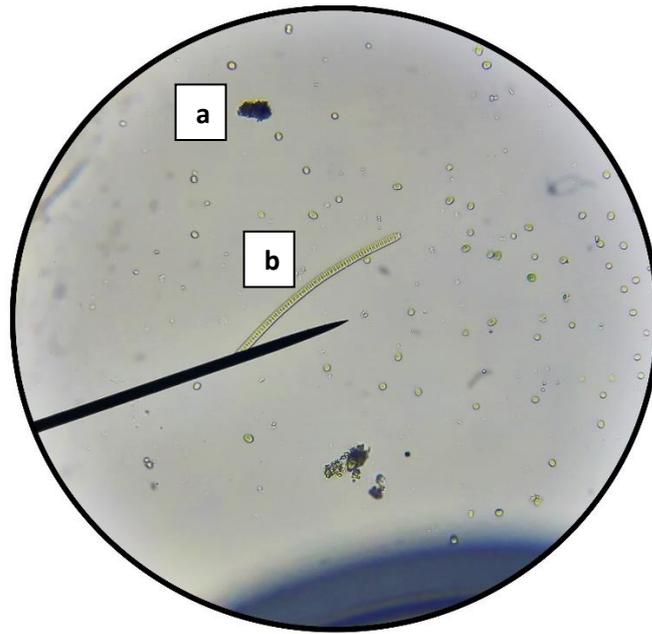


Figura 38. (a). Tricoma de cianobacteria sin vaina. (b). *Cyanoficea cocoide* (Calvo, 2019).

Los tricomas de cianobacterias sin vainas (Fig.38a) se caracterizan por ser organismos procariotas unicelulares. Se desarrollan en ambientes muy variados de alta humedad, presentan una gran resistencia a contaminantes como el ácido sulfúrico y a ciclos de humedad y sequedad (Lecciones hipertextuales de botánica, 2008). Producen daño en el material rocoso debido a su manifestación de manera endolítica.

Las cianofíceas (Fig.38b) son un tipo de cianobacteria unicelular, un alga recubierta por secreciones poliméricas que su propio organismo produce. Presenta una morfología filamentosa con una vaina gelatinosa que las mantiene agrupadas, adquiriendo de esta manera una gran resistencia para soportar condiciones ambientales extremas. El deterioro que provocan en el material se debe a las reacciones químicas que desarrollan entre el biodeteriorante y el sustrato, donde fijan carbonatos (Peraza, 2004:65-67).

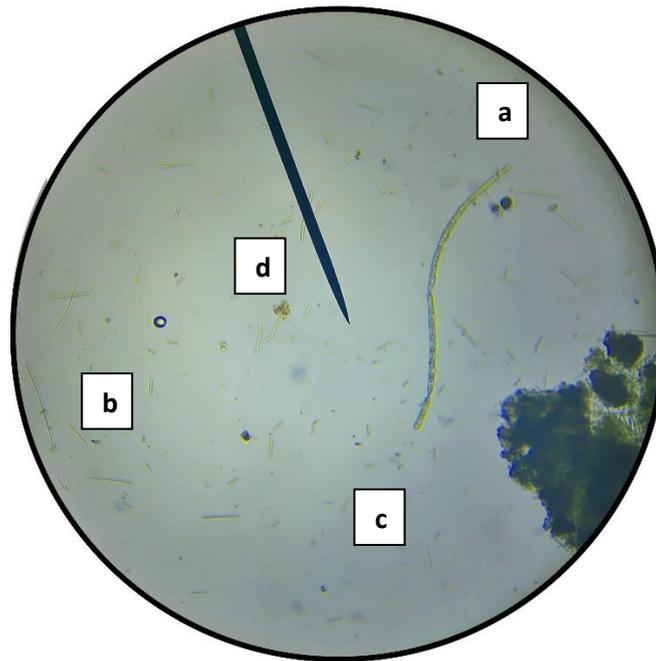


Figura 39. (a). Filamento de Ulohrix, (b). Tricotas de *Oscillatoriaceae*, (c). *Diatomeas pennadas*, (d). Isogamentos procedentes de 2 zoosperas de un alga verde cocoide (Calvo, 2019).

Se observan en esta imagen, los mismos organismos extraídos en las anteriores muestras. (Fig.39a, 39b, 39c) De esta forma, se obtiene un tipo de colonización de biodeteriorantes característicos de la piedra ornamental y de la zona del Jardín Inglés del Alcázar de Sevilla.

Sin embargo, en las anteriores muestras no se obtiene la presencia de zoosperas (Fig.39d). Estos organismos son esporas móviles, contienen flagelos alrededor del cuerpo que les permiten el movimiento. Se desarrollan dentro de esporangios propios de algunos hongos y algas e invitan a la proliferación de otros organismos vivos. Su aparición en la muestra indica la creación de una biopelícula provista de numerosos colonizantes. Esto informa sobre un biodeterioro avanzado en el sustrato, donde adquiere presencia de organismos tanto autótrofos como heterótrofos.

Estas sustancias se caracterizan por presentar una gran resistencia a los agentes climatológicos externos, a una amplia variedad de pH e incluso a contaminantes y se desarrollan de manera endolítica, de tal modo que dificulta de manera considerable su remoción. (Assinder, 2004; Wikipedia, 2018).

3.2. Propuesta de ampliación de estudios analíticos.

3.2.1. Caracterización del material pétreo.

Para poder llevar a cabo una metodología de trabajo, que cumpla con las necesidades que requiera la pieza y su estado de conservación, es necesaria la constatación de las hipótesis de los distintos mecanismos de deterioro que dañan el material pétreo bajo análisis científicos. Para ello, intervienen numerosas técnicas de identificación, que irán encaminadas a reconocer la naturaleza del material rocoso y los principales biodeteriorantes que se adhieren a la superficie del material.

En primer lugar, para conocer las características de los materiales pétreos que conforman las fuentes que se ubican en el Jardín Inglés, se ha de identificar de qué tipo de roca están compuestas, mediante estudios arqueométricos que informan sobre las propiedades del material. Su estudio debe de realizarse en varias zonas, ya que su composición no es homogénea.

Tradicionalmente se utilizan técnicas de análisis con microscopía óptica de luz transmitida (MO) y luz polarizada (MOP), difracción de rayos X (DRX) y técnicas de espectroscopía como la transformada de infrarrojos de Fourier (FTIR).

Mediante la microscopía óptica, se obtiene información a nivel cualitativo sobre la mineralogía, porosidad y textura del material pétreo en cuestión. Para llevar a cabo este estudio, las muestras se preparan en forma de láminas envueltas con resina poliéster y pulidas mecánicamente con discos de carburo de silicio, a través del empleo de una máquina devastadora que facilite su preparación para ser estudiada mediante luz transmitida (Ruíz, 2019: 57-59).

El microscopio óptico petrográfico, ofrece la posibilidad de análisis de la composición mineralógica, textural y estructural. La muestra se prepara en láminas delgadas, cuyo espesor oscila hasta 30 micras. Se coloca sobre un portaobjetos y se recubre con un cubreobjetos de vidrio o se realiza un pulido de alta definición. (Universidad de Alicante, 2019).

La difracción de rayos X (DRX) informa sobre la mineralogía del material en superficie, proporcionando datos también de la posible contaminación adherida al sustrato.

La espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), es aplicable para el estudio pétreo, ya que posibilita el análisis mineralógico de los materiales. Ofrece también información sobre los agentes orgánicos presentes en la superficie, los cuales pueden proceder de antiguas restauraciones, de materia adherida al sustrato por factores externos o de una posible policromía desaparecida (Ruíz, 2019:57).

Para estudiar la porosidad del material, se aplica una metodología de reconocimiento mediante el cálculo de su densidad. Este parámetro es el resultado de la masa entre el volumen y se subdivide en densidad aparente y densidad real. La aparente es el resultado de la relación del volumen y el

peso seco, que incluyen los huecos y poros que contenga el sustrato. A partir de los valores que se obtengan se puede calcular la porosidad, la cual se define como el volumen ocupado por los espacios vacíos por unidad de volumen de roca, incluyendo los poros. Se expresa en porcentaje mediante la fórmula:

$$\varepsilon (\%) = \frac{P_{aparente} - P_{real}}{P_{real}} \times 100$$

Fórmula 1. Cálculo del porcentaje de porosidad. (Ruíz, 2019:177; Custodio, Llamas y Sahuquillo, 2003:15-16).

Para obtener el valor de la densidad aparente, se pesan las muestras pétreas en estado seco, donde se obtiene la información de la masa seca. Luego, se sumerge en un recipiente lleno de agua, calculando el empuje que experimenta cuando se estabiliza, que ofrece el valor de la masa hidrostática. Se secan las muestras de manera superficial, sin intervenir en aquella penetrada en los poros y se anota el valor del peso: masa saturada.

$$P_{aparente} = \frac{\text{masa en seco}}{\text{masa saturada} - \text{masa hidrostática.}}$$

Fórmula 2. Cálculo de la densidad aparente. (Ruíz, 2019:177).

$$P_{real} = \frac{\text{masa en seco}}{\text{masa en seco} - \text{masa hidrostática.}}$$

Fórmula 3. Cálculo de la densidad real. (Ruíz, 2019:177).

Los recursos científicos no sólo ofrecen información acerca de las propiedades del material pétreo y la naturaleza de las alteraciones que contiene, sino también sirve para valorar la eficacia de los productos aplicados en el material pétreo en un tratamiento. Un ejemplo muy útil es realizar un ensayo de absorción de agua en la piedra, la velocidad con la que absorbe las gotas de agua, define el tiempo que tarda una determinada cantidad en penetrar a través de la superficie de un material. El tiempo de absorción se mide con un cronómetro y mide la eficacia de un consolidante o hidrofugante según el grado de permeabilidad. (Ruíz, 2019:126).

Estos estudios, a su vez, también son bastante útiles porque pueden ofrecer información sobre la manufactura, a través de micromuestras procedentes de incisiones en el material pétreo que, mediante depósitos, revelen los materiales que forman parte de las herramientas empleadas en su elaboración.

Los instrumentales MO, MOP, DRX y FTIR serán aplicables en las tres fuentes ubicadas en el Jardín Inglés, con la finalidad de obtener información sobre las propiedades del material constitutivo.

3.2.2. Propuesta de identificación de agentes bióticos.

Para obtener un mayor acercamiento sobre el impacto que crean los biodeteriorantes en el sustrato, se recurren a métodos analíticos que favorecen su estudio y análisis. Esto proporciona una guía que servirá como base para establecer una metodología de actuación, dentro del ámbito de la restauración y la conservación, en función de las necesidades que requieran las obras pétreas.

Para la identificación de los agentes bióticos, la microscopía óptica es la más idónea para su reconocimiento y evaluación de los parámetros microestructurales. (Martín, 1990:569; Carmona, 2014:85; Ruíz, 2019:39-55). Se extraerán tantas muestras como organismos predominantes existan en cada una de las fuentes. En este caso, será una muestra por cada fuente.

El instrumental aplicable para su estudio es el microscopio estereoscópico biológico de luz transmitida.

Uno de los métodos para conocer las interacciones entre microalgas y materiales rocosos, es realizando un estudio experimental mediante la elaboración de probetas pétreas. Sus características deben de aproximarse o igualarse a las originales. Posteriormente, se realizan cultivos biológicos que proporcionarán el conocimiento sobre las propiedades de adhesión y colonización de microorganismos en la piedra.

Para ello, las probetas deben de contener una cierta rugosidad superficial, factor que favorecerá la proliferación de organismos vivos (Peraza, 2004:107-108)

Previamente, deben de conocerse los biodeteriorantes más predominantes que atacan a la piedra ornamental, en este caso son las algas bacilariofitas, cianobacterias *Oscillatorias*, *Chlamydomonas* y *Chlorophyceae* género *Ulothrix*

El ensayo se realiza en un laboratorio, donde se trabajan con las algas de manera aislada, protegiéndolas de posibles agentes que puedan contaminar el estudio. Para ello, se utilizan placas Petri, que servirán como soporte para sembrar las muestras biológicas extraídas de los distintos sustratos pétreos. Se utilizan medios de cultivo, como BG11 con agua, que favorece su desarrollo y se consolida con polisacáridos, como es el Agar-Agar. Posteriormente, una vez creado el cultivo, se somete a tratamientos de aislamiento y de temperatura durante un tiempo que asegure su desarrollo (Peraza, 2004:99-113; Ruíz, 2019:143).

La realización de estos ensayos proporciona una herramienta muy útil de conocimiento, ya que con ellos se pueden realizar pruebas experimentales que informan sobre el comportamiento que

toma un organismo vivo con un sustrato pétreo, el cual previamente debe de ser imitado mediante probetas. De este modo, se puede poner también a prueba la eficacia de distintos productos y tratamientos para llevar a cabo la remoción de un biodeteriorante en un material rocoso.

3.2.3. Presupuesto de los estudios analíticos propuestos.

A continuación, se realizará una estimación sobre el coste de los análisis con el instrumental necesario, cuyo presupuesto se basa en las tarifas que propone el centro de Servicios Generales de Investigación (CITIUS) en 2019 de la Universidad de Sevilla, para trabajos ajenos a la Universidad con la asistencia de personal técnico (EXT./PRIV), la estimación de los tiempos de trabajo es aproximada.

Presupuesto para el estudio arqueométrico, donde se aplican técnicas MO, MOP y FTIR. Se recogerán un total de dos muestras procedentes de la fuente que se encuentra sin funcionamiento (Fig.4a) y una muestra por cada una de las dos fuentes restantes (Fig.4b, 4c).

Concepto	Precio	Horas	Precio total.
Microscopio óptico petrográfico Nikon LV	15 € / muestra.	1,5 horas	22,5 €
Espectrofotómetro de transformada de Fourier (532,785,1065 nm)	80 € /muestra	1,5 horas	120 €
Asistencia de personal técnico	120 €/ hora	4,5 horas	540 €
Total por muestra			682,5 €

Para la caracterización de agentes bióticos se basará en una identificación de los mismos mediante microscopía óptica, con personal técnico. En este caso, se prescinde de la realización de cultivos por la complejidad y coste económico tan elevado que implica su elaboración.

Concepto	Precio	Horas	Precio total.
Uso del microscopio óptico confocal Leica TCS-SP2 y preparación de muestras.	30 € /hora.	1 hora	30 €
Identificación de microorganismos e informe.	30 € / muestra.	1,5 horas	45 €
Asistencia de personal técnico	20 € / hora	2, 5 horas	50 €
Total por muestra	-	2,5 horas	125 €

Presupuesto total de los estudios analíticos.

Concepto	Precio por muestra	Muestras	Precio total.
Microscopio óptico petrográfico Nikon LV	22,5 € / muestra	4	90 €
Espectrofotómetro de transformada de Fourier	120 € / muestra	4	480 €
Microscopio óptico	125 € / muestra.	3	375 €
Asistencia de personal técnico. (Estudios para caracterización de los materiales pétreos + organismos vivos).			590 €
Precio sin IVA			1.535 €
IVA (21 %)			322,35 €
Coste total			1.857,35 €

4. Conclusiones y recomendaciones.

Para poder aumentar la durabilidad del soporte pétreo, es necesario realizar la identificación de aquellos parámetros que son capaces de inducir cambios perjudiciales en las propiedades originales del material, así como minimizar los provocados por las propias características intrínsecas de la piedra. Su estudio debe de considerarse como parte integrante de un conjunto y de un ambiente climático que configura su comportamiento y estado de conservación.

Cuando su localización es a la intemperie, no es un mecanismo específico el que deteriora la obra, sino varios que interaccionan entre sí, donde la incidencia de uno suele verse subordinada por el ataque de otro, como es el deterioro llevado a cabo por los contaminantes en un ambiente húmedo o la aparición del ataque de agentes bióticos por la misma razón. He aquí la complejidad que conlleva su identificación y la necesidad de la figura del profesional conservador-restaurador para realizar este trabajo, cuya investigación debe de ser contrastada bajo un riguroso estudio científico.

Tras el estudio de las alteraciones de las fuentes ubicadas en el Jardín Inglés, se obtienen las siguientes conclusiones:

1. El agua es el principal mecanismo de deterioro que desencadena la mayoría de las alteraciones presentes en el sustrato pétreo. Provoca daños a nivel físico, porque erosiona y disgrega el material pétreo, también es el principal mecanismo que potencia la proliferación de organismos vivos. Además, es el medio por el que circula las sales solubles y donde se desarrollan las reacciones químicas entre el material y el factor de alteración. A este agente se le suma, además, los factores externos como la humedad y temperatura, el viento y la contaminación ambiental que, combinados con este componente, aceleran su deterioro. No obstante, el agua que circula sobre las fuentes no es la más apropiada, la cual procede del Aljibe del Chorrón, con un alto contenido de microorganismos y limonita, que favorece la degradación del material (Baceiredo, 2018:92).
2. El ataque biótico es el factor de alteración que más prevalece en las fuentes del Real Alcázar. Las propiedades intrínsecas del material, como su naturaleza inorgánica, y extrínsecas, como son los altos índices de humedad en el ambiente, entre otros, como la contaminación y la alcalinidad que contiene el agua que circula sobre las piezas, favorecen la aparición de estos organismos. Los principales biodeteriorantes presentes en la piedra ornamental son las algas y cianobacterias. Las especies más relevantes son algas verdes de tipo *Ulothrix spp*, siendo un organismo bastante común en este territorio (Peraza, 2004:109), algas bacilariofitas o diatomeas *pennatas spp*, cianobacterias *Chlamydomonas spp*, en la fuente que se encuentra

más deteriorada con altos contenidos de costras calcáreas y cianobacterias filamentosas, junto con las cianofitas *Oscillatoria spp.*

La época estacional de primavera donde se extrajeron las muestras, indica la nueva proliferación de organismos vivos tales como diatomeas *Nitzschia spp* que advierte a su vez, de un posible tratamiento de limpieza en la piedra realizado con anterioridad, teniendo en cuenta que las fuentes donde se desarrolla este organismo muestran una superficie más limpia (Fig.4b, 4c) en comparación con aquella que está sin funcionamiento con un alto contenido de costras (Fig.4a). Es curioso e interesante ver tras el estudio realizado, según qué especie se desarrolle en el sustrato, indica el estado de conservación del monumento donde se asienta; En la muestra número dos, advierte de la presencia de cianobacterias *Chlamydomonas spp*, las cuales se desarrollan en ambientes no acuíferos y en costras calcáreas, coincidiendo con la fuente que se encuentra sin funcionamiento y con un estado de deterioro avanzado con costras calcáreas en la superficie, mientras que la muestra número 4, indica un total de cuatro organismos diferentes, entre ellos autótrofos y heterótrofos, su toma procede del plato inferior de la fuente (Fig.4c), caracterizado por contener una biopelícula de múltiples colores, advirtiendo de primera mano la presencia de distintas especies colonizantes.

3. Alteraciones como eflorescencias salinas, grietas, humedad en el material, erosión y disgregación también predominan en los materiales pétreos ubicados en este territorio, así como la suciedad superficial. En el caso de la fuente que se encuentra sin funcionamiento (Fig.4a), alteraciones como costras calcáreas y karstificación predominan en el sustrato.
4. Muchos de los daños que presentan las obras son casi irremediables, a causa de su carácter expositivo al exterior en contacto directo con las condiciones ambientales, que provocan la meteorización natural de la piedra. Sin embargo, sí que pueden ralentizarse bajo un plan de mantenimiento, basado fundamentalmente en revisiones periódicas, control de los agentes ambientales, tareas de limpieza, seguimiento del estado de conservación y del sistema hidráulico con tareas de desinfección.

Por ello, las recomendaciones a seguir para su mantenimiento, en función a las características y daños que presentan las piezas, son las siguientes:

- 4.1. El agua, al ser el principal mecanismo de deterioro que incide sobre las fuentes es preciso realizar una constante inspección de sus características, bajo controles periódicos de pH (los cuales deben de situarse entre 6,6 y 7,8) y de CL (entre 0,5 y 1,5), evitándose altos niveles alcalinos, ya que el agua dura potencia la aparición de

costras calcáreas, mientras que las ácidas proporcionan la disgregación del material. (Baceiredo, 2018:102).

4.2. Prescindir del funcionamiento acuífero hasta que las condiciones se adapten a las necesidades que requieren la conservación de las fuentes. Teniendo en cuenta que el agua procede del Aljibe del Chorrón, habría que prescindir de su uso hasta que las condiciones y los medios permitan el uso de un agua potable y descalcificada, de manera que asegure un mantenimiento de las obras (Anexo B, Carta del Restauo, 1987). Para aplicar agua potable, podrían incorporarse sistemas de recirculación interna, donde la fuente se llene con el agua idónea, sometándose a una posterior desinfección periódica que asegure su conservación y bioprotección. (Baceiredo, 2019:93). No obstante, el uso del agua potable genera un gran gasto económico, problema que podría solucionarse invirtiendo en la instalación de un sistema de depuración y filtrado del agua procedente de los pozos.

4.3. Aplicación de hidrofugantes en el material pétreo. El contacto que toma el agua con la piedra durante un tiempo bastante prolongado durante el día, debido a su funcionalidad, junto con la humedad ambiental, así como la aportada por el suelo que asciende por capilaridad, proporcionan al material una humedad interior que lo debilita. Productos como los hidrofugantes, caracterizados por ser incoloros y ejercer una reducción de la absorción del agua a través de la superficie, permitiendo la salida del agua en forma de vapor y favoreciendo de este modo su “respiración”, son ideales para la protección del sustrato. Entre la variedad existente de hidrofugantes, se pueden encontrar de tipo siliconato, organosilícico, organometálico y orgánico, siendo éste último el más empleado y recomendado por su carácter “hidrorrepelente”. (Villegas, Baglioni y Sameño, 2003:187-188).

4.4. Sellado de las lagunas y grietas en el soporte pétreo. Destaca la labor de la reintegración volumétrica en lagunas a nivel de soporte con morteros idóneos y/o resinas específicas que impidan la penetración del agua en el interior del material, proporcionando al conjunto un componente estructural y estético. El producto comúnmente empleado para este tratamiento es el mortero compuesto por una proporción de 1:2 de cal aérea en pasta con polvo de mármol. En ocasiones, se añaden pigmentos para llevar a cabo paralelamente una reintegración cromática. (Yanguas, 2015:291; Baglioni, Sameño y Villegas, 2003:187-188).

4.5. Tratamientos de limpieza. Según la materia a eliminar, se utilizarán recursos diferentes. Para la remoción de los agentes bióticos es conveniente saber que el material tras permanecer en contacto con este factor durante un tiempo prolongado se estabiliza, actuando la biopátina como agente protector del sustrato. Por tanto, habría que estudiar si su remoción afectaría de manera negativa a la integridad de la piedra. En el caso de que se aplicase un tratamiento de limpieza de estos organismos, se combinan métodos físicos y químicos para llevar a cabo este proceso, donde se emplean bisturís, ultrasonidos y biocidas, entre otros. Posteriormente, actuaciones de hidrofugación y mantenimiento son necesarias para evitar de nuevo su proliferación y estrés mecánico en el interior de la pieza. Sin embargo, una de las maneras más sencillas también de evitar el desarrollo de biocostras a causa del agua de escorrentía que procede del funcionamiento de la fuente, es alargando la boquilla metálica que expulsa agua, evitando de esta forma su contacto sobre la superficie.

4.6. Para la limpieza de sales minerales es común el empleo de papetas con agua desionizada, aunque también se utilizan otros recursos como la sepiolita, EDTA o “Idranal” (productos comerciales que reciben las sales bisódicas del ácido etilendiaminotetracético) y carbonato amónico, entre otros. (Baglioni, Sameño y Villegas, 2003:179-188).

Los medios mencionados anteriormente se caracterizan por ser económicos y efectivos, donde se evita la necesidad de recurrir a intervenciones periódicas muchas más costosas, donde puedan poner en peligro la integridad de las fuentes. (Baceiredo, 2018:97).

No obstante, el factor antropogénico juega una importante función sobre la situación actual que presentan estas piezas, debido al abandono sufrido por la propia institución y el organismo encargado de su conservación. *“De nada sirve el cúmulo de conocimientos aportados por químicos, ingenieros, y otros científicos para la prevención de la alteración, si luego nuestros edificios se deterioran por simple abandono”*. (Martín, 1993:4).

El estado de conservación tan deteriorado que muestran estas fuentes, invita a la reflexión sobre la importante labor de concienciación que deben de tomar las propias instituciones e incluso la sociedad, sobre su cuidado, mantenimiento y protección, ya que estas obras representan un legado de nuestros ancestros, marcado por una gran diversidad cultural, tratándose de un claro ejemplo de la riqueza cultural sevillana y su historia, cuyos valores históricos-artísticos deben seguir transmitiéndose para el disfrute colectivo.

5. Bibliografía y documentación electrónica utilizada.

5.1. Documentación bibliográfica.

ALCALDE MORENO, Manuel y GÓMEZ DE TERREROS, M. Gracia. (2000). *Metodología de estudio de la alteración y conservación de la piedra monumental*. Sevilla: Universidad de Sevilla.

ALCALDE MORENO, Manuel y VILLEGAS SÁNCHEZ, Rosario (2003). “Capítulo III: Indicadores de alteración de los materiales pétreos”. *Cuadernos técnicos del Instituto de Patrimonio Histórico Andaluz*. Editorial Comares. Págs. 58-92.

ALCALDE MORENO, Manuel y VILLEGAS SÁNCHEZ, Rosario (2003). “Introducción I: Metodología de estudios previos y propuesta de tratamientos”. *Cuadernos técnicos del Instituto de Patrimonio Histórico Andaluz*. Granada: Editorial Comares. Págs. 10-18.

ALCALDE MORENO, Manuel; MARTÍN PÉREZ, Antonio (1996). “Guía para el estudio de la alteración de la piedra de los monumentos y de medidas de conservación”. *PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico N°15*. Págs. 68-74.

ALCALDE MORENO, Manuel; VILLEGAS, Rocío. (1996). “Guía para el estudio de la alteración de la piedra de los monumentos y de medidas de conservación”. *PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico N°15*. Págs. 62-67.

AÑORBE URMUNETA, Mónica. (1997), *Valoración del deterioro y conservación de la piedra monumental*. Madrid: CEDEX.

BACEIREDO RODRÍGUEZ, M^a Isabel, (2018). “Programa de conservación preventiva, mantenimiento y conservación curativa de las fuentes históricas del Real Alcázar de Sevilla”. En *Apuntes del Real Alcázar N°19*. Sevilla: Arts&Press. Págs. 88-107.

BACEIREDO RODRÍGUEZ, M^a Isabel, (2019). “Restauración de las fuentes y bancos de las glorietas este y oeste del jardín de las damas del Real Alcázar de Sevilla”. En *Apuntes del Real Alcázar N°19*. Sevilla: Arts&Press. Pág. 116-132.

BAGLIONI, Raniero; SAMEÑO PUERTO, Marta y VILLEGAS SÁNCHEZ, Rosario. (2003). “Capítulo IV: Tipología de materiales para tratamiento”. *Cuadernos técnicos del Instituto de Patrimonio Histórico Andaluz*. Editorial Comares. Pág. 186-190.

BERMUDO BORREGO, Rafael y LLANOS SISO, Vicente (2016). “El plan especial de protección del sector nº6. Real Alcázar” del conjunto histórico de Sevilla. En *Apuntes del Real Alcázar N°16*. Sevilla: Arts&Press. Págs. 8-113

- BOLÍVAR GALIANO, Fernando (1994). *Diagnos y tratamiento del deterioro por microalgas en los Palacios Nazaríes de la Alhambra*. Pedro Sánchez Castillo, dir., Tesis doctoral. Universidad de Granada, Departamento de Pintura, Sevilla.
- CAMPOS, Rocío y MARTÍNEZ Pedro, (2014). “Restauración de la fuente de Neptuno del Jardín de las Damas”. En *Apuntes del Real Alcázar N°15*. Sevilla: Arts&Press. Pág. 87-107
- CARBONELL DE MASY, Manuel (1993). *La conservación y restauración de monumentos*. Vanguard Gràfic: Barcelona. Pág.71-72
- CARMONA MACHUCA, Jesús (2015). *Estudio de las alteraciones en piedra en el palacio ducal de medinaceli en Sevilla (Casa de Pilatos)*. Julio Romero Noguera, tut., Trabajo Fin de Grado. Universidad de Sevilla, Facultad de Bellas Artes, Sevilla.
- ESBERT, R. “et al” (1997). “Características fundamentales de los materiales pétreos” en *Manual de diagnosis y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos*. Col·legi d’Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona: Barcelona. Pág. 12
- FIDALGO MARÍN, Ana, (1988). *Vermondo Resta*. Sevilla: Diputación Provincial.
- FIDALGO MARÍN, Ana. (2005). *El Real Alcázar de Sevilla*. Sevilla: Guadalquivir.
- FIDALGO MARÍN, Ana. (2006). *El Real Alcázar de Sevilla bajo los borbones. El reinado de Felipe V (1700-1746)*. Sevilla: Guadalquivir. Pág. 222.
- GALÁN CABALLERO, Montaña, (2018). “Capítulo 4. Alteraciones específicas de la escultura en piedra”. En *Metodología de Conservación y Restauración de Escultura, (materiales pétreos)*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- GALÁN, C. (1991). “Disolución y génesis del karst en rocas carbonatadas y rocas silíceas: un estudio comparado”. *Munibe* N°43.
- GAVIRA GUERRA, Carmen (2010). Los beneficios de la peatonización *Diario de Sevilla*. [Consultado el 14 de abril de 2019]
- GISBERT AGUILAR, J. y CARRILLO VIRGIL, L., (2001): *Tipos de rocas. Bloque I Rocas: propiedades y criterios de calidad*. Fundación Uncastillo. Dpto. Geología. Universidad de Zaragoza. Equipo Arbotante.
- GONZÁLEZ SÁNCHEZ, María. (2015). *Estudio de las principales rocas plutónicas empleadas en la construcción y restauración de monumentos en la ciudad de Salamanca*. D. Adolfo Íñigo Íñigo, dr. Tesis doctoral. Universidad de Salamanca, Departamento de Geología, Salamanca.

GUTIERREZ ÁLVAREZ, Manuel. (1992). “Metodología para la conservación y restauración de las piedras de las construcciones del Patrimonio Artístico Monumental. Conservación del Patrimonio Arquitectónico.” *Revista de edificación*. Nº 10. Pág. 23-26

HUETE, Ricardo “et al”. (2005). “Mapa geotécnico Básico de la Ciudad de Sevilla”. En *Protocolo de inspección técnica de edificaciones*. Sevilla: Colegio Oficial de Arquitectos de Sevilla (FIDAS).

ICOMOS. International Scientific Committee for Stone. (ISCS). (2011). *Glosario ilustrado de formas de deterioro de la piedra. Versión Inglés-Español*. París: ICOMOS.

MARES, Irene. (2017). *Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire*. Dr. Leopoldo García Sancho, dir, Trabajo Fin de Grado. Facultad de farmacia, Universidad complutense de Madrid.

MARTÍN PÉREZ, Antonio. (1990). *Ensayos y experiencias de alteración en la conservación de obras de piedra de interés histórico artístico*. Madrid: Centro de estudios Ramón Areces.

MARTÍN PÉREZ, Antonio. (1993). “Ensayos y experiencias de alteración en la conservación de obras de piedra de interés histórico-artístico”. *Revista de Edificación*. Nº 13. Pág. 53-57.

ROBADOR GONZÁLEZ, María Dolores (2019). “Restauración del cenador, estanque y jardín del león. Historias del agua y el jardín”. En *Apuntes del Real Alcázar Nº19*. Sevilla: Arts&Press. Pág. 8-53.

RODRÍGUEZ ESTÉBEZ, Sergio, et al., (2015). “Atlas de los jardines del Real Alcázar de Sevilla” En *Apuntes del Real Alcázar Nº15* Sevilla: Arts&Press. Pág. 164-196

RUIZ RUIZ, María Belén (2019). *Estudio mediante técnicas químico analíticas petrográficas y microbiológicas de materiales y tecnologías escultóricas del conjunto de Cerrillo Blanco (Porcuna) Jaén*”. Fernando Bolívar Galiano y Julio Romero Noguera, directores. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, Departamento de Pintura, Granada.

TABALES RODRÍGUEZ, Miguel Ángel y VARGAS LORENZO, Cristina (2014). “La arqueología en el Alcázar de Sevilla”. En *Apuntes del Real Alcázar Nº15*. Sevilla: Arts&Press. Págs. 9-60.

TORRES ROLDÁN, R.L; GARCÍA CASCO, J.F y MOLINA PALMA (2004). *Petrología Metamórfica*. Departamento de Mineralogía y petrología. Granada: Universidad de Granada.

VELILLA SÁNCHEZ, Nicolás, (2003). “Capítulo II: Caracterización petrográfica de rocas ornamentales y de construcción de uso en los edificios históricos”. *Cuadernos técnicos del Instituto de Patrimonio Histórico Andaluz*. Editorial Comares. Págs. 22-34

VILLALBA CORREDOR, Luz y MALAGÓN FORERO, Andrés (2011). “Biodeterioro de la fuente de lavapatatas, parque arqueológico de San Agustín-Huila. Colombia”. *Ge-Conservación*.nº2 pp.65-80.

5.2. Documentación electrónica.

ASSINDER, Susan (2004). “Molecular Genetics and Genomics of Phytophthora”. *Fungal Genomics, Science Direct. University of Wales. Elsevier*. Vol.4. [en línea]. [Consultado el 6 de junio de 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/zoospore>

AYUNTAMIENTO DE SEVILLA (2019). *Jardines de los Reales Alcázares*. [en línea]. [Consultado el 15 de abril de 2019]. Disponible en: <https://www.sevilla.org/servicios/medio-ambiente-parques-jardines/parques/parques-y-jardines-historicos/jardines-de-los-reales-alcazares>

BERKELEY, (1997). *Diatoms: More on Morphology*. [en línea]. [Consultado el 6 de junio de 2019]. Disponible en: <https://ucmp.berkeley.edu/chromista/diatoms/audiatoms.html>

BERMUDO BORREGO, Rafael y LLANOS SISO, Vicente. (2015). “El plan especial de protección del sector Nº6. Real Alcázar. Del conjunto histórico de Sevilla”. *Apuntes del Alcázar de Sevilla. Nº 16*. Págs. 8-113 [en línea] Disponible en: <http://www.alcazarsevilla.org/wp-content/uploads/2015/apuntes-16-2015/files/assets/basic-html/page30.html>

BOLIVAR GALIANO, Fernando y SÁNCHEZ CASTILLO, (1998). “Biodeterioro del patrimonio artístico por cianobacterias, alga verdes y diatomeas.” *PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico Nº15* [en línea]. [Consultado el 2 de abril de 2019].

Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/317617115_Biodeterioro_del_patrimonio_artistico_por_cianobacterias_algas_verdes_y_diatomeas

BONELLS, José Elías. (2018). “El jardín inglés de los Reales Alcázares” [en línea] En *Jardines sin fronteras*. 2 de mayo de 2018 [Consultado el 22 de abril de 2019]. Disponible en: <https://jardinessinfronteras.com/2018/05/02/el-jardin-ingles-de-los-reales-alcazares/>

CABRERA GARRIDO, Jose M^a. (1979). “Causas de alteración y métodos de conservación aplicables a los monumentos hechos con piedra”. *Revistas científicas del CSIC*. [en línea] Vol.29, 689-55, Nº174. Págs.5-98. [consulta el 12 de abril de 2019]. Disponible en: <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/1111>

Carta del Restauo, 1987. *Carta de 1987 de la conservación y restauración de los objetos de arte y cultura*. Italia. [en línea]. [Consultado el 26 de mayo de 2019]. Disponible en: https://www.academia.edu/33014357/CARTA_DE_1987_DE_LA_CONSERVACION_Y_RESTAURACION_DE_LOS_OBJETOS_DE_ARTE_Y_CULTURA

CITIUS, Servicios Generales de Investigación (2019). “Tarifas 2019. Caracterización funcional”. *Análisis y ensayos*. [en línea]. [Consultado el 31 de mayo de 2019]. Disponible en: <http://citius.us.es/web/servicios.php>

CITIUS, Servicios Generales de Investigación (2019). “Tarifas 2019. Espectroscopía de fotoelectrones”. *Análisis y ensayos*. [en línea]. [Consultado el 31 de mayo de 2019]. Disponible en: <http://citius.us.es/web/servicio.php?s=mic>

CRISÓSTOMO, María. (2017). “El lamentable estado del templo de Debod”. *Amigos de la Egiptología AE*. [en línea]. [Consultado el 27 de abril de 2019]. Disponible en: <https://egiptologia.com/el-lamentable-estado-del-templo-de-debod/4/>

Dirección General de Prevención y Calidad Ambiental. (2018). Informe de Calidad del Medio Ambiente. Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire en Andalucía. [en línea]. Sevilla: Fondo Europeo de Desarrollo Regional. [Consulta el 14 de abril de 2019]. Disponible en: http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/atmosfera/informes_siva/meses17/IMA1703.pdf

FONSECA, Luis A; TRUJILLO CASTRO, Emanuel y PEÑA RODRÍGUEZ, Gabriel (2019). “Tortuosity and permeability of mesoporous ceramics of kaolin and diatomite”. *Revistas UIS Ingenierías*. [en línea]. Vol.18, nº1 pp. 111-118. [Consulta: 6 de mayo de 2019]. Disponible en: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias>

GALÁN, Carlos. (1991). “Disolución y génesis del karst en rocas carbonáticas y rocas silíceas: un estudio comparado”. *Ciencias Naturales. San Sebastián*. [en línea]. Nº 43, págs. 43-72. [Consulta el 3 de mayo de 2019]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/49180304_Disolucion_y_genesia_del_Karst_en_rocas_carbonaticas_y_rocas_siliceas_un_estudio_comparado

GARCÍA GALÁN RUÍZ, M^a Isabel y MENDIOLA TEBAR, Eva. (2004). *Restauración de la escultura del Capite Velato de la calle Adarve, Cartagena (Murcia)*. [en línea]. [Consulta 28 de abril de 2019]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/1369175.pdf>

JIMÉNEZ, J. (2019). “Alcázar (39): El Jardín Inglés.” [en línea] En *Sevilla Daily*. 14 de octubre de 2009. [Consultado el 15 de abril de 2019]. Disponible en: <http://sevilladailyphoto.blogspot.com/2009/10/mes-del-alcazar-39-el-jardin-ingles.html>

LECCIONES HIPERTEXTUALES DE BOTÁNICA (2003). *Las algas cianofitas. División (Cyanophyta)*. [en línea]. [Consultado el 6 de junio de 2019]. Disponible en:

<http://www1.biologie.uni-hamburg.de/b-online/ibc99/botanica/botanica/cyanophy.htm>

ORDAZ, Jorge.; ESBERT, Rosa María (1988). “Glosario de términos relacionados con el deterioro de las piedras de construcción.” *Revistas científicas del CSIC*. [en línea] [Consulta el 10 de mayo de 2019]. Disponible en:

<http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/847>

PERAZA ZURITA, Yaiza (2004)., *Biodeterioro por microalgas en fuentes de mármol*. [en línea]. Fernando C. Bolívar Galiano y Pedro M. Sánchez Castillo, directores. Tesis doctoral. Universidad de Granada, Departamento de Pintura, Granada [consulta el 5 de abril de 2019]. Disponible en: <https://hera.ugr.es/tesisugr/1540495x.pdf>

REYES, J. et al. (2009). “Análisis morfológico y químico de costras de deterioro de edificios históricos mediante SEM/EDX”. *Revistas científicas del CSIC*. [en línea] Vol.18, Nº2. Págs. 185-194. [consulta el 12 de mayo de 2019]. Disponible en:

<http://digital.csic.es/bitstream/10261/47227/1/An%C3%A1lisis%20morfol%C3%B3gico%20y%20qu%C3%ADmico%20de%20costras%20de%20deterioro.pdf>

RIVAS, Juan Ramón (2015). “El clima de Sevilla. Clasificación y aspectos generales”. *El tiempo en Sevilla*. [en línea]. [Consultado el 14 de abril de 2019]. Disponible en:

<http://www.eltiemposevilla.es/el-clima-de-sevilla/>

SERRERA CONTRERAS, Ramón M. (2008). “La Casa de la contratación en el Alcázar de Sevilla”, *Boletín de la Real Academia Sevillana de Buenas Letras*. [en línea]. Nº36 Pág. 137 [Consultado el 14 de abril de 2019] Disponible en:

http://institucional.us.es/revistas/rasbl/36/art_7.pdf

RODRÍGUEZ ESTÉBEZ, Sergio, et al. (2014). “Atlas de los jardines del Real Alcázar de Sevilla”. *Apuntes del Alcázar de Sevilla, Nº 15*. págs. 163-196 [en línea]. [Consultado el 14 de abril de 2019] Disponible en: <https://www.alcazarsevilla.org/wp-content/uploads/2015/01/APUNTES-ALCAZAR-15-BAJA.pdf>

TATIS CASTRO, Roy David y BARBOSA LÓPEZ, Aida Liliana, “Enfoque químico del deterioro y biodeterioro de rocas calcáreas conformantes de monumentos patrimoniales de importancia histórica y cultural”. *Revista Luna Azul* [en línea] 2013, (Enero-Junio). [Consulta: 31 de mayo de 2019] Disponible en: <http://redalyc.org/articulo.oa?id=321728584013>

UNIVERSIDAD DE VALENCIA (2019). “Fundamentos de la microscopía petrográfica.”. *Técnicas de estudio*. [en línea]. [Consultado el 29 de mayo de 2019]. Disponible en: <https://web.ua.es/es/e-pesedua/introduccion/tecnicas-de-estudio.html>

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA. (2017). “Microscopía combinada de electrones e iones focalizados”. *Servicio de Microscopía Electrónica*. [en línea]. [Consultado el 31 de mayo de 2019]. Disponible en: <http://www.upv.es/entidades/SME/info/859073normalc.html>

VALENCIA Y VALDIVIESO (2017). *Historia / Real Alcázar de Sevilla*. [en línea] Real Alcázar de Sevilla. [Consultado el 14 de abril de 2019]. Disponible en: <https://www.alcazarsevilla.org/historia/>

WEATHER SPARK, (2018). *El clima promedio en Sevilla*. [en línea]. [Consultado el 15 de abril de 2019]. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/34152/Clima-promedio-en-Sevilla-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o>

WIKIPEDIA.es (2018). *Zoospora*. [en línea]. [Consultado el 6 de junio de 2019]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Zoospora>

WIKIPEDIA.es (2019). “Estancias”. *Real Alcázar de Sevilla*. [en línea]. [Consultado el 24 de marzo de 2019]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Real_Alc%C3%A1zar_de_Sevilla

YANGUAS JIMÉNEZ, Noelia. (2015). “Las actuaciones de conservación y restauración en las esculturas de piedra de la fachada y la escalinata principal del Museo Arqueológico Nacional de Madrid”. *Boletín del Museo Arqueológico Nacional*. [en línea]. Nº 33, págs. 287-302. [Consulta 25 de mayo de 2019]. Disponible en: <http://www.man.es/man/dms/man/estudio/publicaciones/boletin-man/MAN-Bol-2015/2015-33-Yanguas.pdf>