

Estudios geológicos, biológicos y físico-químicos para la conservación y restauración de la fuente de la plaza Weyler (Santa Cruz de Tenerife, España)

Estudos geológicos, biológicos e físico-químicos para a conservação e restauro da fonte na praça Weyler (Santa Cruz de Tenerife, Espanha)

Geological, biological and physical-chemical studies for the conservation and restoration of the fountain in Weyler Square (Santa Cruz de Tenerife, Spain)

Resumen

El texto expone el conjunto de estudios previos para la conservación y restauración de la fuente de la plaza Weyler (Santa Cruz de Tenerife). La metodología de trabajo tiene un carácter interdisciplinar con el objeto de identificar y caracterizar los materiales constructivos y los productos generados en los procesos de alteración para determinar los mecanismos y causas de deterioro. Así, se han identificado dos mármoles de distinta procedencia pertenecientes a dos fases constructivas de la citada plaza, un mortero tradicional de cal y arena como argamasa, concreciones calcáreas producto de las filtraciones y colonización biológica de microalgas. También se han utilizado metodologías de análisis no invasivas para conocer el alcance de determinadas patologías. De esta forma, se podrá definir una propuesta de actuación específica para las patologías que afectan a nuestro bien cultural.

Resumo

Este trabalho apresenta o conjunto de estudos preliminares para a conservação e restauro da fonte na praça de Weyler (Santa Cruz de Tenerife). A metodologia de trabalho tem um carácter interdisciplinar com o objetivo de identificar e caracterizar os materiais de construção e os produtos de alteração, a fim de determinar os mecanismos e as causas de deterioração. Foram identificados dois mármore de origens diferentes pertencentes a duas fases de construção da referida praça, uma argamassa tradicional de cal e areia como argamassa, concreções calcárias resultantes de filtrações e colonização biológica por microalgas. Foram também utilizadas metodologias de análise não invasivas para determinar a extensão de certas patologias. Desta forma, será possível definir uma proposta de ação específica para as patologias que afetam o nosso património.

Abstract

This work presents the set of preliminary studies for the conservation and restoration of the fountain in plaza Weyler (Santa Cruz de Tenerife). The working methodology is interdisciplinary and aims to identify and characterize the construction materials, along with the products generated in the alteration processes, to determine the mechanisms and causes of deterioration. Two marbles of different origins belonging to two construction phases of the aforementioned square, a traditional mortar of limestone and sand as mortar, calcareous concretions resulting from filtrations and biological colonization by microalgae have been identified. A method of non-invasive analysis has been used to determine the extent of certain pathologies. In this way, it will be possible to define a specific proposal of action to deal with the pathologies affecting this cultural asset.

ANTONIO-J. SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ^{1*}
MARÍA FERNANDA GUTIÁN GARRE¹
FÉLIX MATEOS REDONDO²
ANAMARÍA LOSADA LIMA³
ISRAEL PÉREZ VARGAS³
NEREIDA RANCEL RODRÍGUEZ³
JOSÉ YERAY SANTOS SANTANA⁴
JUAN ANTONIO ÁLVAREZ RODRÍGUEZ¹

1. Departamento de Bellas Artes, Universidad de La Laguna, Santa Cruz de Tenerife, España
 2. Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, Oviedo, España
 3. Departamento de Botánica, Ecología y Fisiología Vegetal, Universidad de La Laguna, Santa Cruz de Tenerife, España
 4. Jose Yeray Arquitecto, Pasaje San Fernando, 3. 38293. La Laguna, Santa Cruz de Tenerife, España
 *asanchez@ull.edu.es

PALABRAS-CLAVE

Santa Cruz de Tenerife
 Siglo XIX
 Bien de interés cultural
 Caracterización de materiales
 Estudios biológicos

PALAVRAS-CHAVE

Santa Cruz de Tenerife
 Século XIX
 Bem de interesse cultural
 Caracterização de materiais
 Estudos biológicos

KEYWORDS

Santa Cruz de Tenerife
 19th century
 Assets of cultural interest
 Characterization of materials
 Biological studies

Introducción

El presente texto expone los estudios previos de la fuente pública de la plaza Weyler (Santa Cruz de Tenerife, España) para comprender su estado de conservación actual. Este diagnóstico es fundamental para poder establecer una correcta propuesta de tratamiento (Figura 1).

Este análisis tiene un carácter interdisciplinar, prescrito desde la Conferencia de Atenas para la Restauración de Monumentos Históricos de 1931, que recomienda “la colaboración (...) de los conservadores de los monumentos y de los arquitectos con los representantes de las ciencias físicas, químicas, naturales, para alcanzar resultados seguros” [1]. De la misma manera, se pronuncia la Carta de Venecia, de modo que “la conservación y restauración de los monumentos constituyen una disciplina que se sirve de todas las ciencias y técnicas que puedan contribuir al estudio y a la salvaguardia del patrimonio monumental” [2].

De este modo, por un lado, se ha abordado la caracterización petrofísica básica que se articula como una herramienta indispensable para determinar las propiedades intrínsecas de los materiales constructivos. Cabe resaltar también, que los datos derivados de estos análisis constituyen, una información adicional de carácter práctico, a la hora de proponer materiales de sustitución o reintegración y tratamientos de conservación, compatibles con los originales, así como para establecer su durabilidad. Igualmente, se presenta un conjunto de técnicas auxiliares no intrusivas: termografía y análisis por imagen con la aplicación *DStretch* [3]. Se propone determinar las posibilidades de uso de estas técnicas.

Por último, entendemos que el registro de la información documental tiene un nivel de detalle suficiente para proporcionar información sobre el proceso de identificación, comprensión e interpretación del bien cultural para su conservación y restauración como recomienda ICOMOS [4].

Contextualización histórico-artística

La plaza de Weyler es una plaza pública cuadrangular, con un paseo perimetral y accesos por las diagonales con parterres trapezoidales ajardinados. La fuente escultórica (Figura 1 y 2) se ubica en su centro y el conjunto se remata con cuatro maceteros escultóricos con frutas, no incluidos en el diseño primitivo. Está incluida en el Catálogo de Protección en el Plan General de Ordenación de Santa Cruz de Tenerife y está declarada Bien de Interés Cultural, al ser incluida en la delimitación del Conjunto Histórico de Barrio de Los Hoteles-Pino de Oro, (expediente sobre la modificación de la delimitación del Bien de Interés Cultural incoado según BOC nº 4, de 8 de enero de 2021).

El origen de esta fuente está vinculada al desarrollismo urbano de Santa Cruz de Tenerife y, más concretamente, con la edificación de Capitanía General de Canarias y con la alcaldía de D. Pedro Schwartz y Mattos (1854-1940) [5]. En 1878, el nuevo jefe militar de Canarias, Valeriano Weyler, promueve la demolición del antiguo Hospital para adecuar estratégicamente la sede de Capitanía. Al tiempo que se construía el edificio de líneas clásicas de Capitanía, se regulaba la plaza como una antesala que potenciaba el edificio militar [6]. Así, la plaza del antiguo Hospital tenía una planta irregular cerrada por diversos solares. Previamente, encargado por la Sociedad de Edificación y Reformas Urbanas (SERU) en 1872, Francisco Aguilar proyectaba la urbanización de este espacio. No obstante, Vicente Armiño, arquitecto municipal, ideó esta plaza en la superficie de titularidad militar [6].

En 1904, se firmó un proyecto que acotaba el espacio público de la misma y “comprendía la terminación de los muros que rodean la parte central de la plaza, coronándolos con losetones de sillería procedentes de las canteras de El Sauzal, y revistiéndolos interiormente con losa blanca de Granadilla” [7], aunque posteriormente dicha área se redujo con la reforma que realizó el arquitecto Antonio Pintor en 1925 por el lado del sureste, para darle una mayor curvatura y ensanchar la calle próxima [6]. En 1944, el proyecto del arquitecto municipal Enrique Rumeu de Armas reforma el lateral oeste para ensanchar la calle de Galcerán [6]. Con

la aprobación del Plan General de la ciudad en 1957 se realiza el remozamiento de la plaza Weyler para favorecer su función representativa y comercial [6].



Figura 1. Vista general de la fuente de la plaza Weyler.

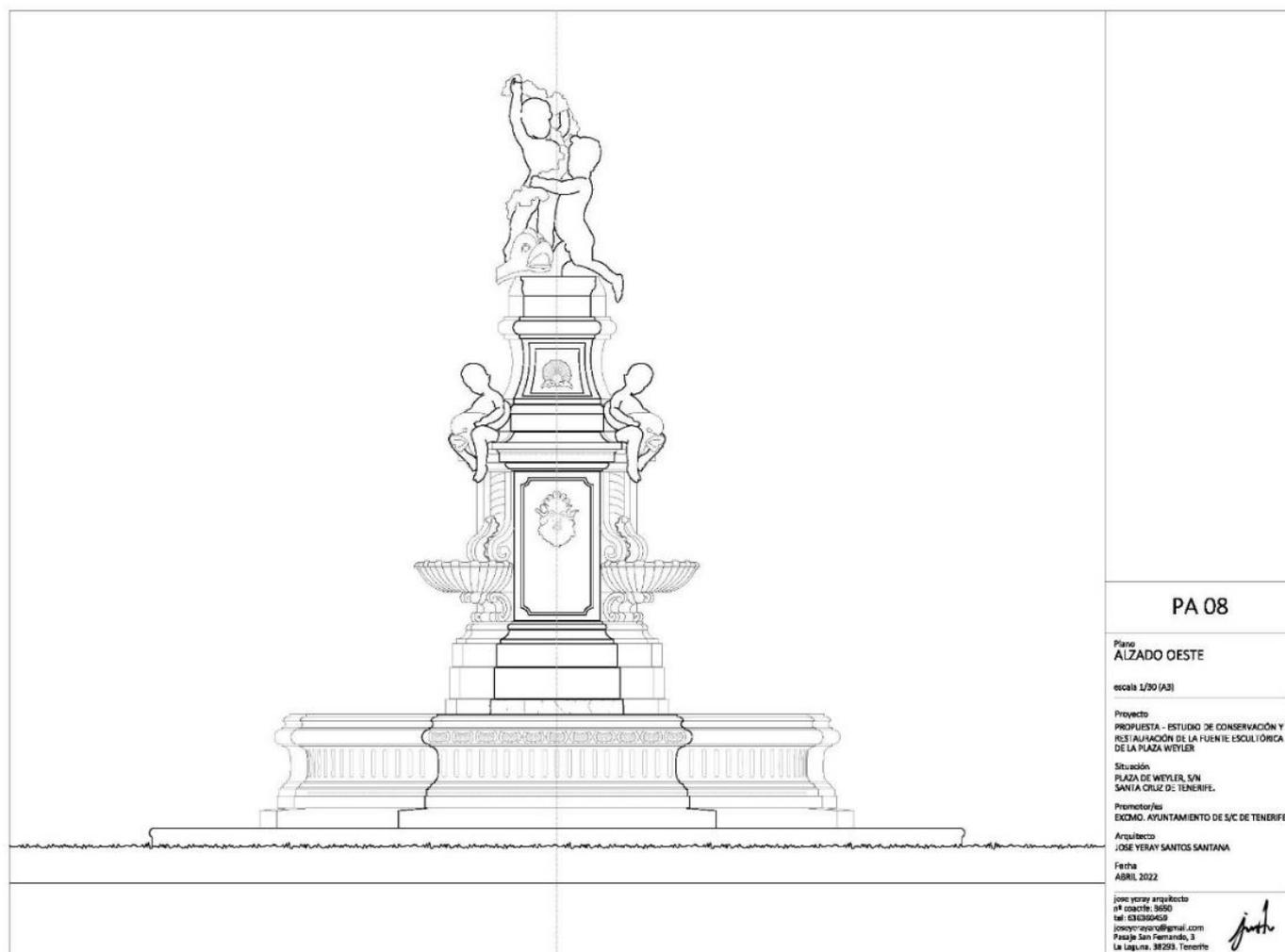


Figura 2. Alzado de la fuente.

El precedente de la actual fuente fue un pequeño estanque con un surtidor [5]. La colocación de la fuente se establece en junio de 1899 [8] pero su puesta en marcha como tal no se produciría hasta el mes octubre con la terminación de las conexiones y otras obras auxiliares [9]. La fontana costó 11.380 liras italianas, según el contrato hecho el 22 de octubre de 1898. A esta cantidad habría que sumarle el transporte y la prima del seguro marítimo por lo que la fuente costó aproximadamente 16.000 pesetas [10]. El pago se fraccionó y el Ayuntamiento realizó subastas para costear parte de la cuantía final [11]. La hemeroteca describe los problemas que supusieron algunos de estos plazos [12] y la batalla política que desencadenó, terminando la financiación a finales de julio de 1899 [13].

La firma de la autoría de la fuente escultórica está labrada en el flanco oeste del monumento. En letras mayúsculas se lee “Achille Canessa Genova (Italia)”. Achille Canessa nació en Génova en 1856, dirigió un conocido taller en la ciudad italiana y falleció en la misma en 1905. Participó en las exposiciones de la *Società Promotrice di Belle Arti in Genova*, en los años 1886 y 1896, y en la gran Exposición Internacional de Chicago en 1893 [14].

Metodología

Para abordar un estudio previo de carácter interdisciplinar es necesario estructurar diferentes fases de trabajo. De esta forma, desarrollamos una documentación fotográfica técnica, una caracterización de materiales constituyentes y un análisis alterológico. Igualmente, se ha programado un repertorio de muestreo como refleja la Tabla 1.

Tabla 1. Programa de muestreo de la fuente de la plaza Weyler.

Muestra	Descripción
M1	Material pétreo (fuente)
M2	Material pétreo (maceteros)
M3	Mortero de juntas
M4	Concreciones exterior de la taza
M5	Depósitos marrones/anaranjados
M6	Concreciones interior de la taza
M7	Zona húmeda con manchas verdes sobre el pavimento anexo a la fuente
M8	Manchas de color marrón oscuro en superficie exterior de la fuente
M9	Manchas de color marrón/anaranjado en superficie exterior de la fuente

Por otra parte, en la documentación fotográfica general, se ha realizado una gestión del color [15] para un registro preciso:

- se han tomado imágenes en formato RAW;
- se ha utilizado la carta *Xrite Colorchecker Passport*, posterior a 2014;
- conversión al formato DNG y creación de perfil con el programa *ColorChecker Camera Calibration*;
- calibración de todas las fotografías con *Adobe Lightroom*.

Caracterización de los materiales constructivos

En la caracterización petrofísica básica y para la caracterización de morteros originales (para establecer su naturaleza y dosificación) se ha utilizado la microscopía estereoscópica (LB), óptica de polarización (POL) y electrónica de barrido con dispersión de rayos X (SEM/EDX).

Para la toma de muestra se procedió a la extracción de material representativo y original de cada una de las tipologías de piedra detectadas, recurriendo a pequeños fragmentos que por su estado de deterioro deban ser retirados o sustituidos. Los volúmenes de muestra extraídos han sido los estrictamente necesarios para la realización de los ensayos.

Análisis alterológico

En el análisis alterológico, realizado en distintas fases, se han aplicado varias técnicas en función del tipo de patología a analizar.

Análisis morfo-químico

Con carácter general, las muestras se han observado de forma macroscópica y al microscopio electrónico de barrido (SEM) con microanálisis por energía de dispersión de rayos X asociado (EDX) que permite obtener información morfo-químico de los productos de alteración y con la medida de la conductividad eléctrica de muestras susceptibles de contener sales solubles (piedra y morteros). Los depósitos superficiales, en forma de costras o manchas anaranjadas, se han analizado por difracción de rayos X (DRX). Estas últimas se han realizado en el Servicio de Difracción de Rayos X y Análisis por Fluorescencia del Servicio General de Apoyo a la Investigación (SAI) de la Universidad de Zaragoza. Los datos se han recogido a temperatura ambiente usando un difractómetro RIGAKU, modelo D/max 2500, provisto de un ánodo rotante. El difractómetro funciona a 40 Kv y 80 mA con un ánodo de Cu y se utiliza un monocromador de grafito para seleccionar la radiación $K\alpha$. Condiciones de medida de 2θ 5° a 70° step=0,03° t=1s/step. Para la determinación de fases se ha utilizado la base de datos JCPDS-International Centre for Diffraction Data- 2000.

Análisis biológico

La superficie de la fuente se inspeccionó para la detección de cambios cromáticos que pudieran indicar la existencia de organismos. No se detectó la presencia de macroorganismos (briófitos y/o líquenes), y se procedió a la toma de pequeñas muestras de material presumiblemente

biológico en los puntos en los que se detectaron estas manchas (Tabla 1, muestras M7 a M10), empleando procedimientos normalizados de trabajo no invasivos establecidos por la Federación Mundial de Colecciones Cultivo. Las muestras se trasladaron al laboratorio del área de Botánica del Departamento de Botánica, Ecología y Fisiología Vegetal de la Universidad de La Laguna (ULL), donde se realizaron los procesos de identificación, aislamiento, conservación, caracterización y catalogación de las microalgas recolectadas.

Con objeto de favorecer el crecimiento de las microalgas, un fragmento de cada muestra recolectada, tanto en la parte exterior como en superficies coloreadas de la fuente, se sometió a la técnica de enriquecimiento con dos medios de cultivo diferentes: BG11_{o-H}, específico para cianobacterias y BBM con una cantidad extra de vitaminas, que favorece en mayor medida el desarrollo de las algas verdes. Una vez que los medios de cultivo se encontraban estériles y a temperatura ambiente, se procedió a su introducción en placas de Petri de 6 mm bajo condiciones de esterilidad en la cabina de flujo laminar (Nüve MN I 20, Erlab) para así garantizar las condiciones de asepsia. A continuación, se sellaron las placas con Parafilm para garantizar su aislamiento y, por último, se rotuló cada una de ellas, con el número de muestra, fecha de enriquecimiento y lugar de muestreo en la fuente.

Las muestras enriquecidas se mantuvieron en una cámara de cultivo a una temperatura de 20-23 °C, bajo un régimen lumínico de 14 h de luz/9 h de oscuridad y una intensidad lumínica de 2-20 $\mu\text{mol de fotones} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ proporcionada por unos tubos de luz blanca (ST8V-EM 16.2 W 1200mm, Osram) durante 4 semanas.

Los enriquecimientos fueron revisados al microscopio cada 5 días con el fin de observar e identificar las microalgas que se desarrollaron en cada placa de Petri. La identificación taxonómica se realizó bajo un microscopio invertido (Leica DM 500 Microsystems, Wetzlar, Alemania). Se observó la morfología de las diferentes microalgas detectadas y se realizaron medidas para, mediante el uso de claves y monografías, proceder a su identificación. Cabe destacar que ésta solo pudo hacerse hasta el nivel de género.

Análisis geométrico

Se han realizado una serie de registros geométricos, a modo de dato histórico, que muestran las deformaciones recogidas en la fecha actual. Para la toma de datos se ha utilizado flexómetro y distanciómetro láser. Se estableció un barrido de medidas más representativo para caracterizar la estática de la estructura de la fuente.

Igualmente, se ha determinado una codificación de colores: en verde se muestran las dimensiones que son proporcionales con su lado opuesto y en color rojo, aparecen las magnitudes que contrastan con su lado opuesto, indicando una diferencia. Posteriormente, con otros indicativos visuales se determinará si es fruto de una colocación original incorrecta o de la presencia de un desequilibrio.

Análisis por imagen

Con el objeto de completar estos estudios previos y desde un carácter no invasivo, tratamos de utilizar la dimensión del color para evaluar y comprender visualmente el alcance real de algunas patologías de la fuente (filtraciones o manchas anaranjadas) e interpretar su verdadero alcance. Para este fin se ha utilizado la aplicación informática *DStretch* y la cámara termográfica.

DStretch es una herramienta diseñada por Jon Harman [3]. Actualmente, tiene dos versiones: una extensión para el programa *ImageJ* y como aplicación móvil con el nombre de *aDStretch*. Esta herramienta trata de mejorar el color de una imagen digital y está ideada inicialmente para el estudio del arte rupestre: facilita la lectura visual de casos en los que aparentemente no es posible ver las formas. En nuestro caso, esta detección tiene la utilidad de poder ajustar la cartografía de daños en programas vectoriales. Igualmente, nos puede orientar en los resultados del testado de la limpieza al valorar cualitativamente los sistemas propuestos. Se ha utilizado la versión móvil y para potencial las zonas afectadas anaranjadas no se usó los espacios que mejoran los rojos o amarillos, sino que mejoramos los espacios de color blanco

(YWE) por ser el color del material constituyente de la fuente buscando la diferenciación con el área de extensión patológica. También se establecieron los siguientes parámetros: Escala, 15; Saturación, 1; MPixel Limit, 4.

Por último, la termografía es una técnica que permite recoger la temperatura superficial de un objeto, en el rango de infrarrojos, ofreciendo un termograma en el que cada color representa dicha temperatura superficial. Se ha aplicado para evaluar el comportamiento térmico de las zonas de unión de los módulos que conforman la fontana y detectar la extensión de las filtraciones. Se ha empleado una cámara termográfica PCE-TC 33N, con una precisión máxima de ± 2 °C y con una sensibilidad inferior a 0,1 °C.

Resultados

Caracterización de materiales constructivos

Caracterización de material pétreo

Macroscópicamente la muestra M1 (Tabla 1) corresponde con una roca de aspecto cristalino y tonos blanquecinos, homogénea, compacta y coherente, donde en corte fresco como en corte de sierra se llegan a apreciar cristales micrométricos de calcita. Microscópicamente, bajo microscopía óptica de polarización (POL), la piedra estudiada presenta una textura granoblástica, representada por un conjunto de blastos carbonatados ligeramente heterométricos, con una distribución de tamaños que oscila entre 50 y 500 μm , situándose el valor medio próximo a 200 μm . Los cristales muestran morfologías fundamentalmente subhedrales, con contactos que varían desde suturados a rectos, formando frecuentes puntos tripes (Figura 3 y 4).

Los granos minerales representan el 99 % del volumen de la roca, estando constituidos fundamentalmente por cristales de calcita (97-98 %). En la sección delgada observada no se observan otros minerales, si bien bajo microscopía electrónica de barrido y microanálisis por energía dispersiva de rayos X (Figura 5) se pueden observar algunos cristales de dolomita (1 %). Igualmente, macroscópicamente (Figura 3) se observan algunos minerales accesorios que parecen corresponder con moscovita, pirita, hematites y/o magnetita.

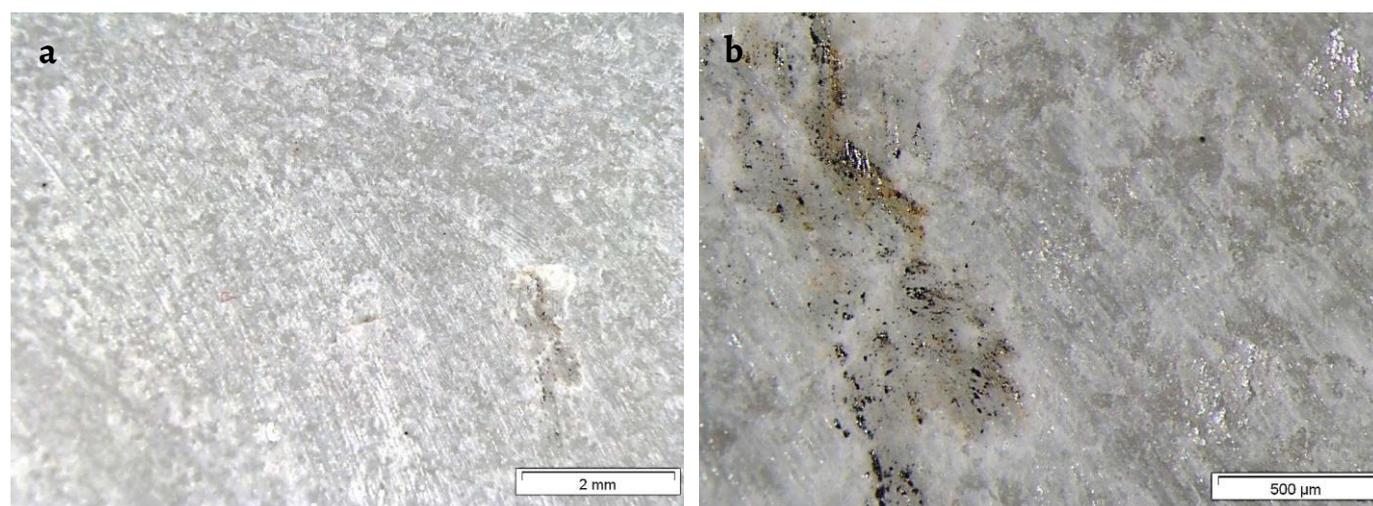


Figura 3. Aspecto en detalle en superficie de corte de sierra a distintos aumentos de la muestra M1: a) 10 aumentos y b) 100 aumentos. A estas escalas de observación, se llegan a percibir de manera individualizada escasos cristales de la calcita que conforma esta roca metamórfica, y en determinadas zonas, se detectan escasos moteados micrométricos de cristales de tonalidad negruzca y parda en menor medida.

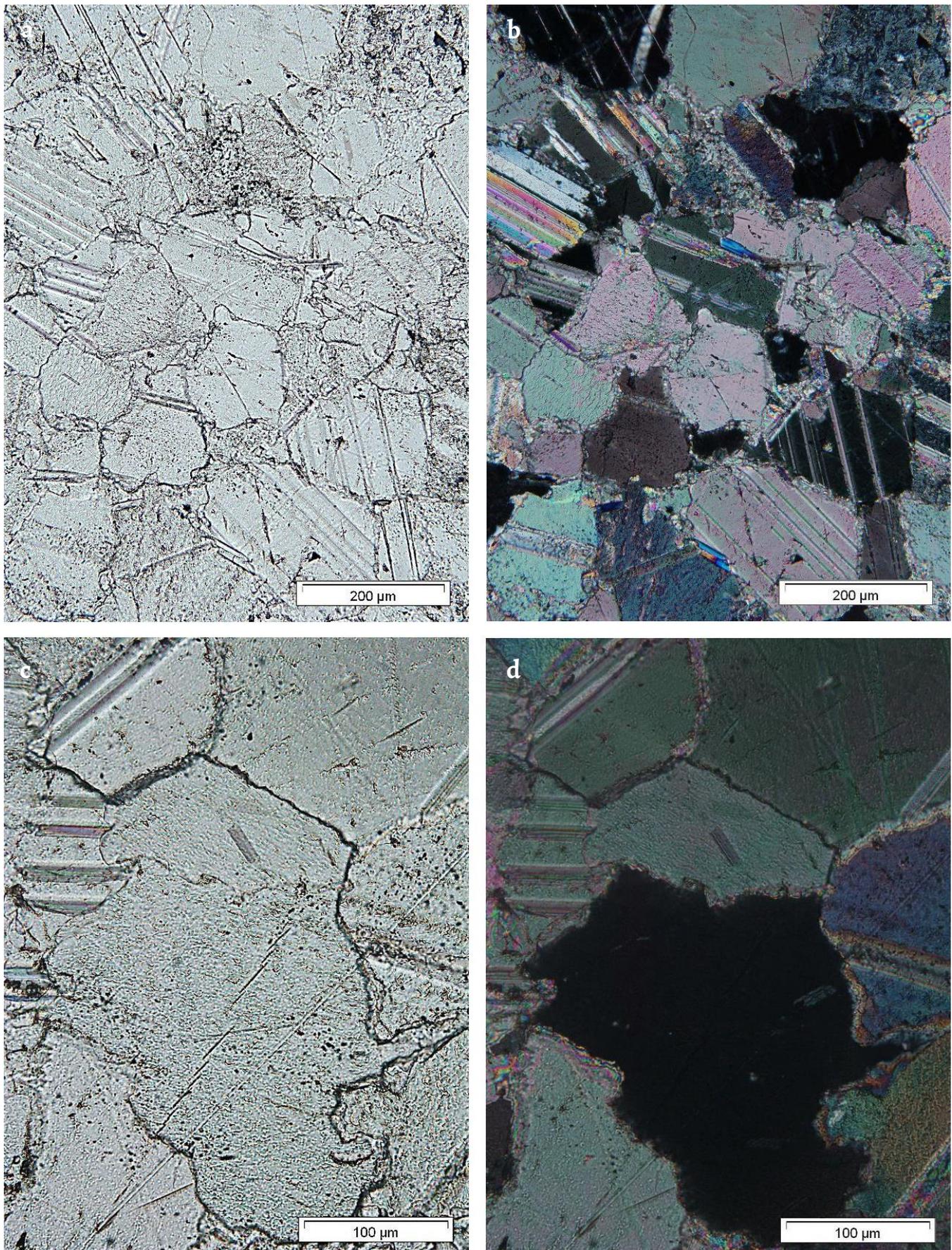


Figura 4. Aspecto detallado de la textura del mármol M1 observada al microscopio óptico de polarización. Las microfotografías permiten observar con claridad los blastos de calcita de morfologías subhedrales y con frecuentes puntos triples en sus contactos. *a)* Microfotografía tomada a 200 aumentos bajo nicoles paralelos; *b)* Misma microfotografía bajo nicoles cruzados; *c)* Microfotografía tomada a 400 aumentos bajo nicoles paralelos; *d)* Misma microfotografía bajo nicoles cruzados.

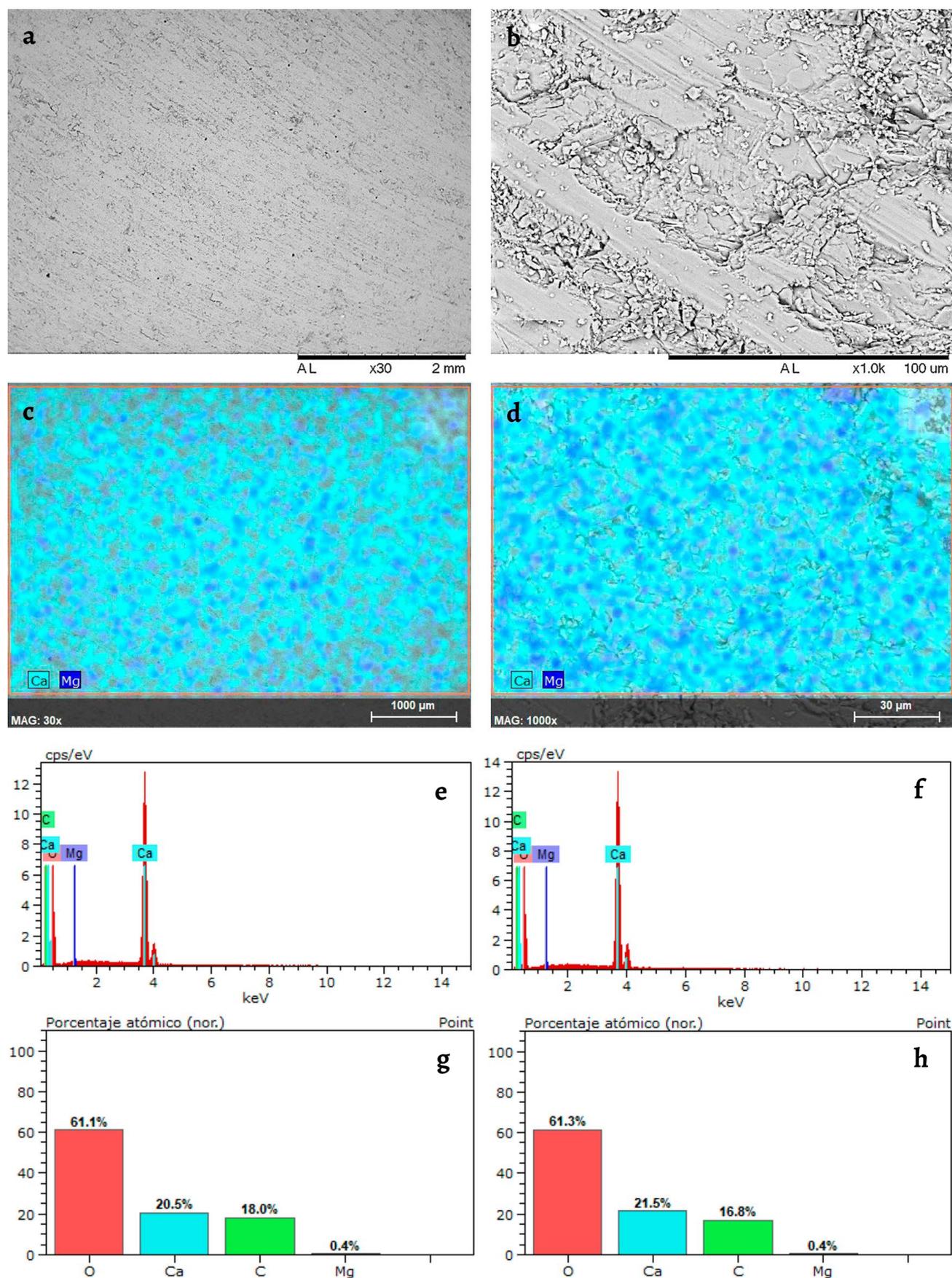


Figura 5. Resumen general de análisis del sustrato pétreo de la muestra M1. Se confirma la composición a base de carbonato cálcico, y se detectan trazas de carbonato cálcico-magnésico (dolomita). *a) y b)* Micrografías a distintos aumentos; *c) y d)* Análisis y mapeos morfoquímicos elementales mediante EDX (C-carbono, Ca - calcio, O - oxígeno, Mg - magnesio); *e) y f)* Difractogramas de dos puntos de la misma muestra; *g) y h)* Resultados de los análisis, en porcentajes de composición, de dos puntos de la muestra con fluorescencia de RX.

El resto del volumen poroso de la roca estaría representado por espacios vacíos tipo microfisura, con valores de porosidad aparente al POL que se sitúan por debajo de 1 %, principalmente representado por microfisuras de tipo intercristalinas. De acuerdo con su textura y su composición esta roca metamórfica se puede clasificar como un mármol y, atendiendo a sus principales características petrográficas, se deduce que se corresponde con un mármol de Carrara.

Macroscópicamente, la muestra M2 (Tabla 1) corresponde con una roca de aspecto cristalino y tonos blanquecinos, homogénea, compacta y coherente, donde tanto la superficie en corte fresco como en corte de sierra permiten observar cristales de calcita de tamaño micrométrico a milimétrico (Figura 6).

Los granos minerales representan el 99 % del volumen de la roca, estando constituidos fundamentalmente por cristales de calcita (95-96 %). En la sección delgada observada (de pequeñas dimensiones dado el pequeño tamaño de la muestra recibida) no se observan otros minerales, si bien bajo microscopía electrónica de barrido y microanálisis por energía dispersiva de rayos X (Figura 7) se pueden observar algunos cristales de dolomita (1 %) y silicatos de aluminio que corresponden con micas de tipo moscovita. Igualmente, macroscópicamente (Figura 6) se observan algunos minerales accesorios que parecen corresponder con óxidos de hierro (hematites). El resto del volumen poroso de la roca estaría representado por espacios vacíos tipo microfisura, con valores de porosidad aparente al POL que se sitúan por debajo de 1 %, principalmente representado por microfisuras de tipo intercristalinas y alguna intracristalina.

De acuerdo con su textura y su composición esta roca metamórfica se puede clasificar como un mármol y, atendiendo a sus principales características petrográficas, todo parece indicar que, a diferencia de la muestra M1, este mármol no se corresponde con un mármol de Carrara. Aunque el tamaño de muestra y la sección delgada observada es muy pequeña para poder discriminar con exactitud la procedencia del mármol, todo parece indicar que podría relacionarse con un mármol de Macael.

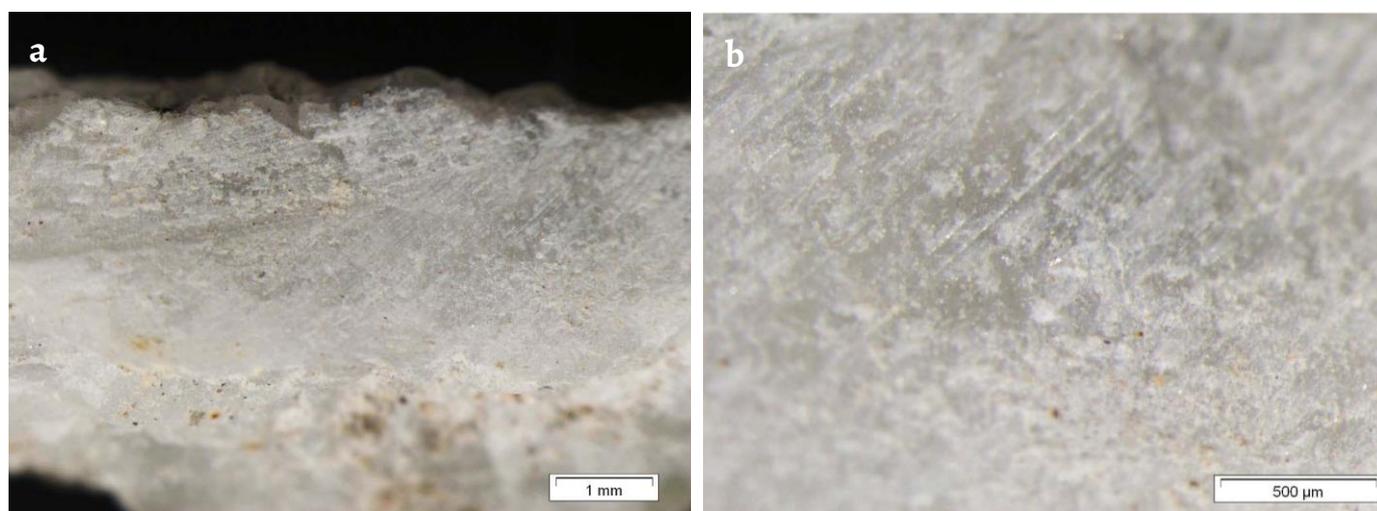


Figura 6. Aspecto en detalle en superficie de corte de sierra a distintos aumentos de la muestra M2: a) 10 aumentos y b) 100 aumentos. A estas escalas de observación, se llegan a observar de manera individualizada muchos de los cristales de calcita que componen esta roca metamórfica, y en determinadas zonas, se detectan escasos moteados micrométricos de cristales de tonalidad parduzca que corresponde con óxidos de hierro (hematites).

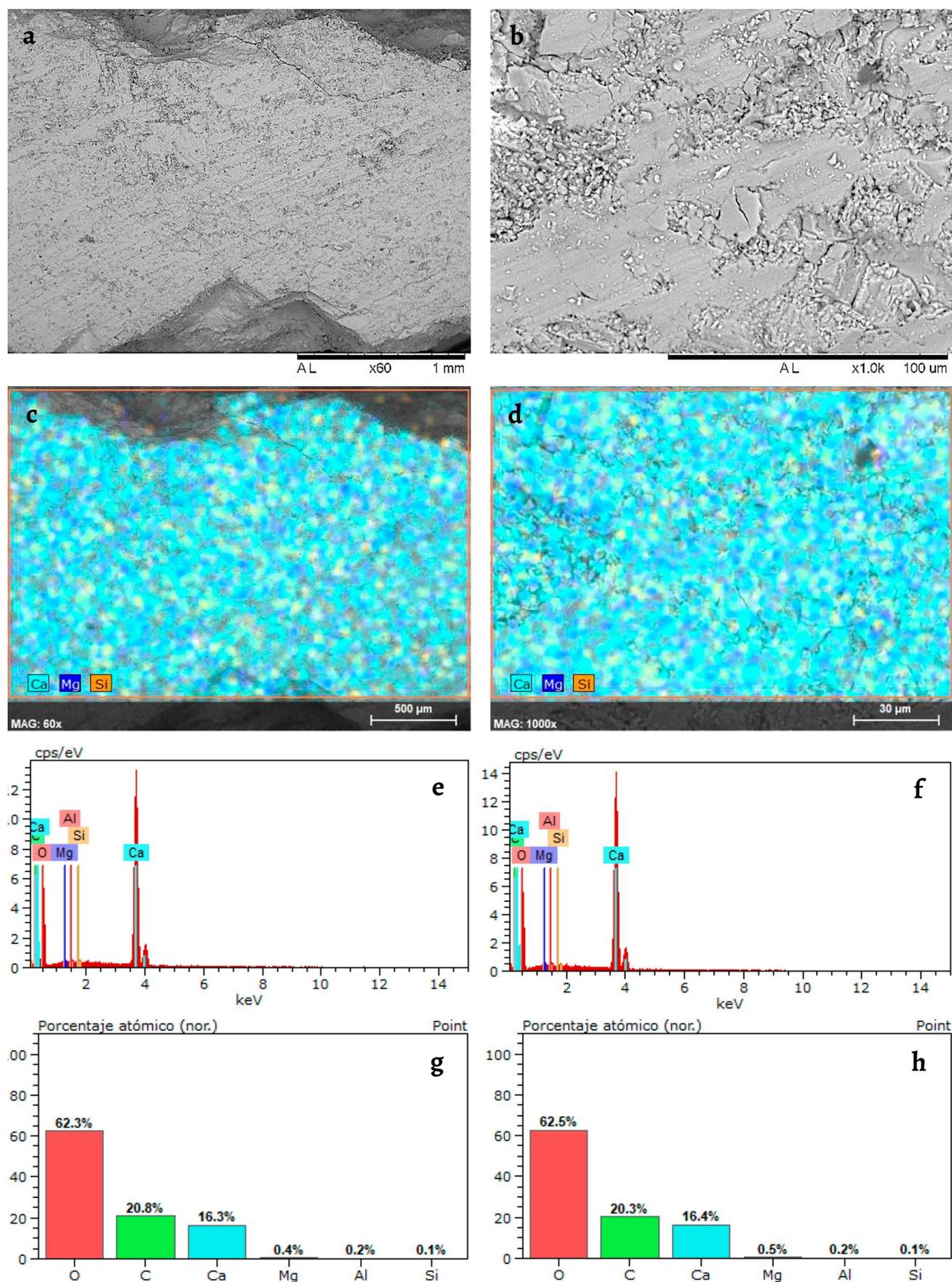


Figura 7. Resumen general de análisis del sustrato pétreo de la muestra M2. Se confirma la composición a base de carbonato cálcico, y se detectan trazas de carbonato cálcico-magnésico (dolomita) y silicatos de aluminio (micas). *a*) y *b*) Micrografías a distintos aumentos; *c*) y *d*) Análisis y mapeos morfoquímicos elementales mediante EDX (C- carbono, Ca - calcio, O - oxígeno, Mg - magnesio, Al - aluminio, Si - silicio); *e*) y *f*) Difractogramas de dos puntos de la misma muestra; *g*) y *h*) Resultados de los análisis, en porcentajes de composición, de dos puntos de la muestra con fluorescencia de RX.

Caracterización de material pétreo

La muestra M3 (Tabla 1) es una pequeña sección de mortero de juntas, en cuya parte más interna incluye un pequeño fragmento de piedra, probablemente insertado en la junta entre módulos a modo de cuña o material de relleno (Figura 8).

El mortero de juntas, con un color beige a grisáceo, muestra una textura claramente granosoportada, estando constituido por un árido arenoso de aspecto cristalino y coloraciones variables (anaranjadas, blanquecinas y/o grisáceas) englobados en una matriz de aspecto homogéneo y tono blanquecino (Figura 8). La relación árido/matriz, que ha sido deducida de las observaciones microscópicas a la lupa binocular y al SEM al no poder realizarse ataque ácido por el pequeño tamaño de la muestra recibida, se sitúa aproximadamente en 3:1, es decir, tres partes de árido y una de matriz. El árido constituyente del mortero presenta una naturaleza mayoritariamente silícea (cuarzo), con escasa presencia de algunos granos a base de silicatos de aluminio y hierro que corresponden con fragmentos de rocas volcánicas. La granulometría del árido es bimodal, con una familia de granos con tamaños comprendidos entre 80-100 μm y otra de mayor tamaño, con tamaños comprendidos entre 0,4 y 1 mm. La moda se situaría aproximadamente en 0,4-0,6 mm (arena media-gruesa). Los granos presentan morfologías variadas, de angulosas a subredondeadas y hábitos mayoritariamente equidimensionales (Figura 9).

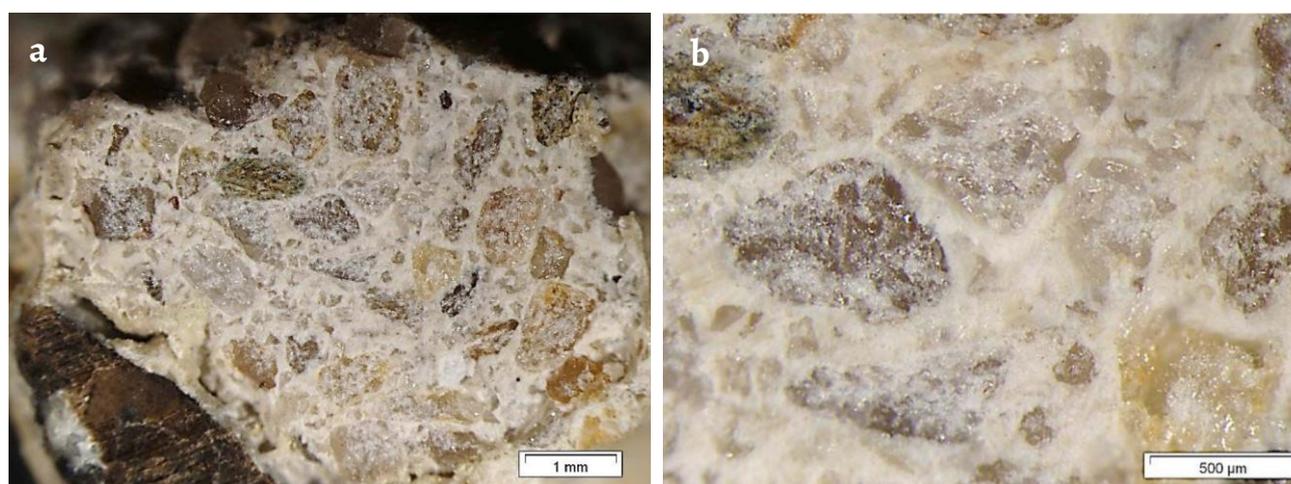


Figura 8. Aspecto bajo lupa binocular de una sección del mortero de juntas que conforman la muestra M3 a distintos aumentos: a) 10 aumentos y b) 100 aumentos. Se puede observar con claridad la presencia de una textura granosoportada donde un árido predominante aparece aglutinado por una matriz de naturaleza eminentemente carbonatada.

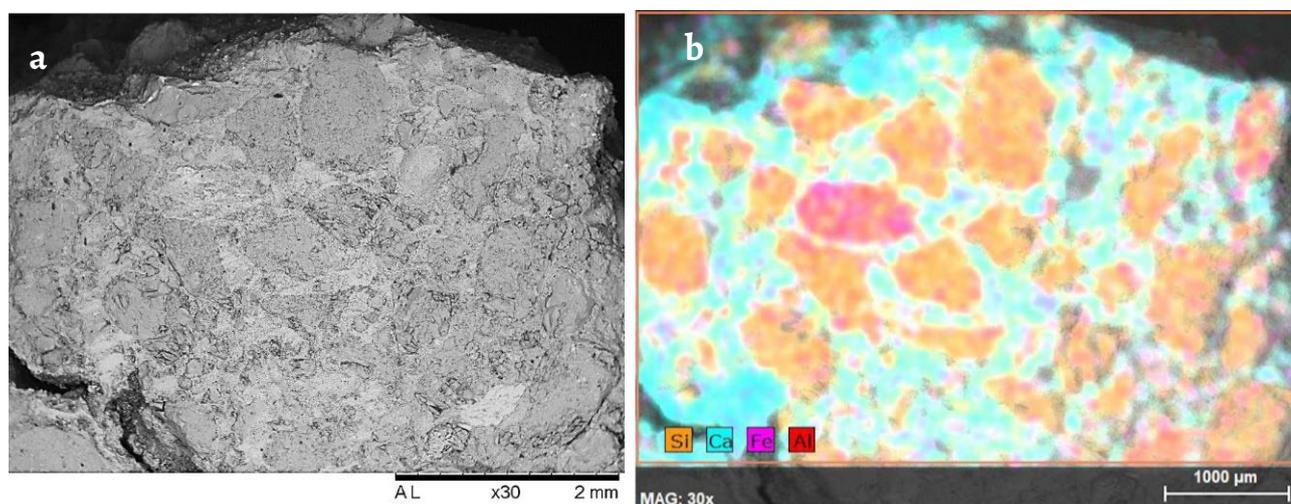


Figura 9. Mortero original de juntas (M3): a) Observación bajo SEM; b) Mapeo químico elemental mediante EDX, donde se puede observar con claridad el árido predominantemente silíceo (naranja) y escasos granos a base de Si, Fe y Al (silicatos de aluminio y hierro) aglomerados por una matriz de naturaleza carbonatada (azul).

Por su parte, la matriz que aglutina el árido presenta una naturaleza fundamentalmente cálcica con un pequeño contenido de aluminosilicatos (minerales arcillosos), lo que evidencia que se trata de una matriz a base de cal cálcica (Figura 10).

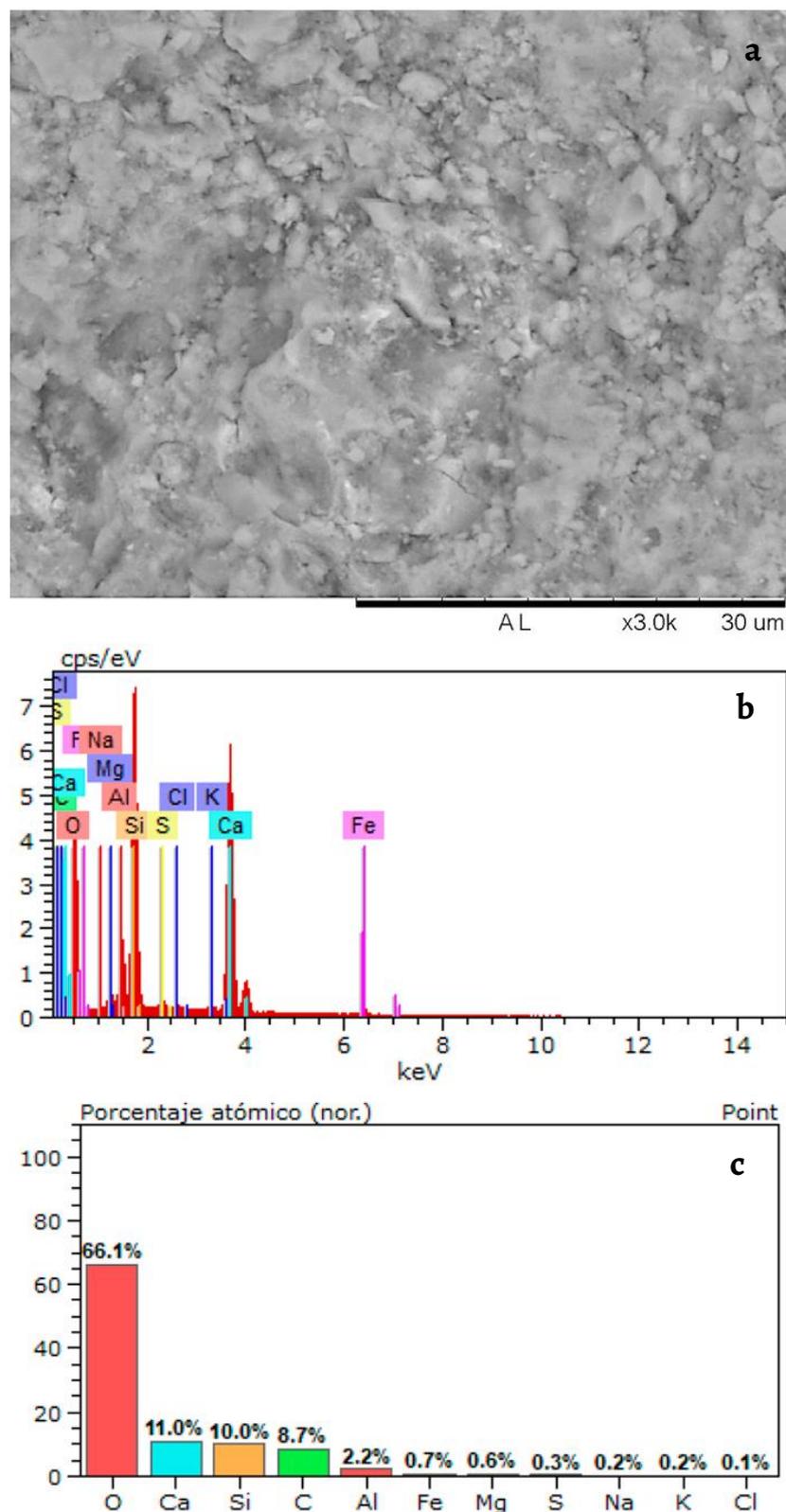


Figura 10. Resultados del microanálisis llevado a cabo sobre el mortero original de juntas (M3) que refleja su composición a base de carbonato cálcico (CaCO_3) y aluminosilicatos de Fe, K (potasio), Na (sodio) (minerales arcillosos). a) Observación detallada al SEM; b) Difractograma; c) Resultados de los análisis, en porcentajes de composición, de dos puntos de la muestra mediante fluorescencia de RX.

Análisis alterológico

Análisis de muestras (depósitos superficiales)

En la muestra M4 (Tabla 1), se observan los picos correspondientes a la calcita. En la M6 la fase cristalina principal es de calcita, pero también se observan picos de dolomita, cuarzo y talco. Se identifican como concreciones calcáreas con un origen claro en el proceso de precipitación, especialmente significativas en las zonas de unión de piezas de la fuente. Están asociadas a las filtraciones de humedad y generadas por la alta dureza de las aguas de suministro. Visualmente se perciben como una capa blanquecina-grisácea, mate y rugosa. La posible lixiviación de las incrustaciones de carbonatos provoca la degradación mecánica del soporte y la distorsión estética del bien cultural.

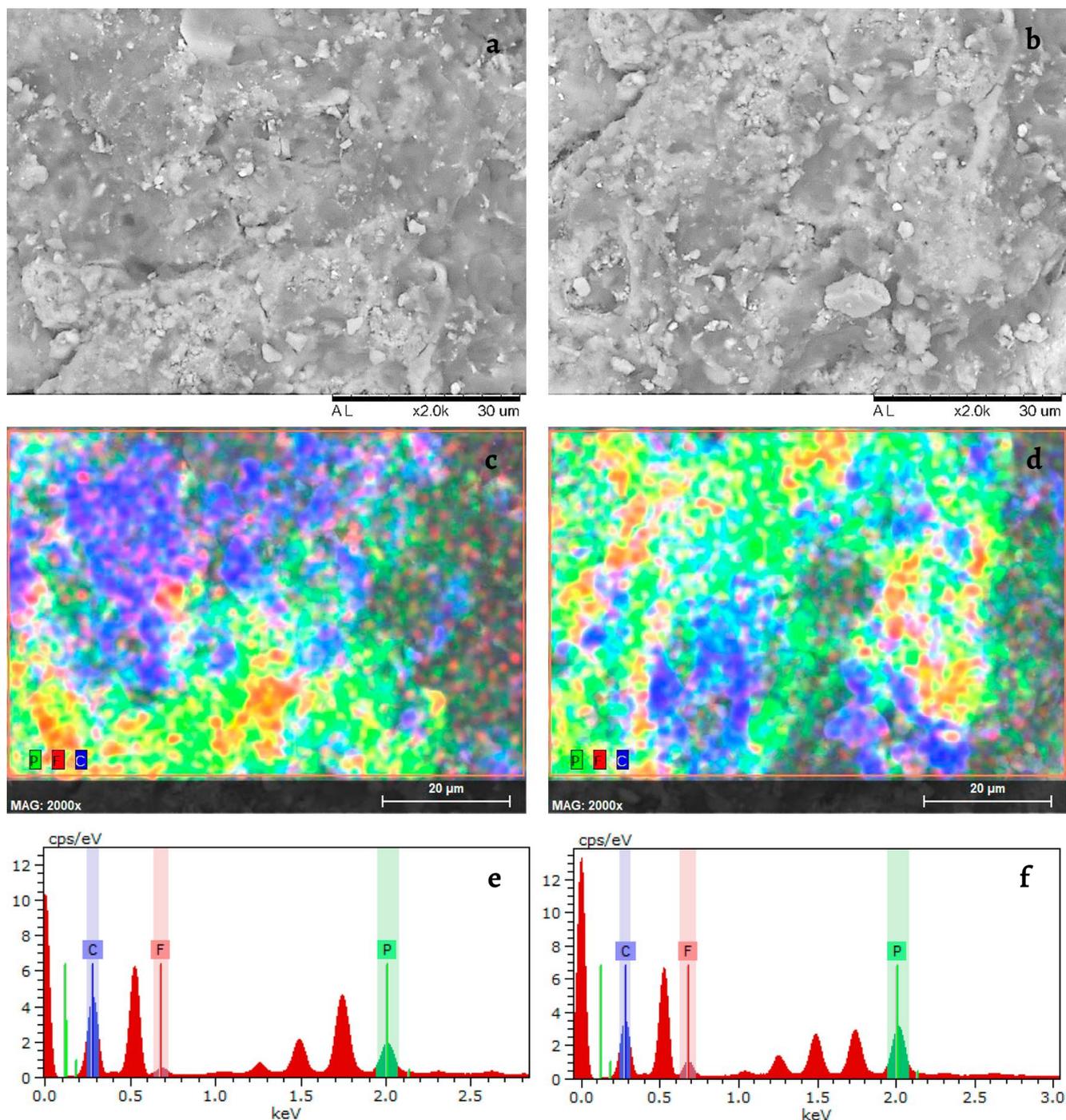


Figura 11. Muestra M1: a) y b) Micrografías de detalle al SEM de dos zonas de la muestra; c) y d) Mapeo químico elemental mediante EDX, donde se pueden observar restos vegetales (colores oscuros; compuestos por carbono (C) y restos de recubrimiento (colores claros; con presencia de fluór (F) y fósforo (P)); e) y f) Resultados de los análisis mediante DRX.

Igualmente, en el análisis de la muestra M5, que corresponde con las manchas anaranjadas superficiales, se observan dos fases: dolomita y calcita. Tienen poca cohesión y espesor.

Por otro lado, tal y como se viene observando en las sucesivas imágenes, mapeos elementales y microanálisis (SEM/EDX) llevadas a cabo en las superficies analizadas, la presencia de fósforo y flúor es constante, por lo que todo parece indicar, que en la superficie pétreo de la zona donde se ha extraído la muestra M1 se conservan restos de un antiguo tratamiento de conservación y/o restos de antiguas limpiezas químicas. A fin de verificar estas observaciones se ha seleccionado una zona de la superficie de la muestra donde la presencia de microorganismos es nula o mínima. Los resultados obtenidos corroboran la presencia de restos de lo que parece ser un antiguo tratamiento de conservación a base de fósforo y flúor (Figura 11).

La utilización de compuestos inorgánicos como tratamiento de consolidación ha sido muy común. No obstante, aunque en principio estos compuestos parecen de la misma naturaleza que la piedra, esta similitud es la que permite que se siga alterando de igual manera que antes de la consolidación. Así, con el ácido fluosilícico y los fluosilicatos se obtienen fluoruro cálcico y sílice, pero se forman costras delgadas, sales solubles como subproducto y otros depósitos superficiales que pueden generar tensiones internas y/o desprendimientos [16].

Análisis de colonización biológica

En primer lugar, queremos destacar que la fuente estaba totalmente limpia cuando se procedió al muestreo y que no había sido puesta en funcionamiento recientemente. Por lo tanto, no podemos demostrar que las microalgas que crecen en el enriquecimiento de las muestras provengan de la misma fuente, o se hayan depositado con el agua de lluvia, aves o incluso el viento. No obstante, sí se ha confirmado la colonización biológica en el contexto actual, con la recogida de muestras selectivas en distintas zonas representativas de la fuente como las veneras, zonas de juntas de la taza o en los laterales del pilar central. Asimismo, estos estudios se complementan con el análisis químico de los depósitos superficiales (ver la sección anterior) y con el análisis por imagen (sección *Análisis por imagen*). En la Figura 15 se puede observar el área de localización de los productos derivados del metabolismo de estas microalgas (manchas anaranjadas), que se corresponde con la zona de influencia de los surtidores de agua.

A continuación, exponemos los resultados de la identificación de las microalgas que se han desarrollado en los enriquecimientos descritos previamente. Todos los organismos identificados tanto en las muestras ambientales como en los enriquecimientos pertenecen a la División *Chlorophyta*.

La división *Chlorophyta* engloba organismos con morfologías diversas, siendo las más frecuentes las de tipo cocoide y las de tipo filamentosas. En ocasiones, estas células se pueden agregar formando colonias. La mayoría de sus representantes poseen almidón como fuente de reserva [17-18]. La división *Chlorophyta* (Eukaryota) está representada en este catálogo por tres órdenes y cuatro géneros: *Chlorellales* (*Chlorella* y *Oocystis*) (1), *Oedogoniales* (*Oedogonium*) (2) y *Sphaeropleales* (*Scenedesmus*) (3).

1) **Orden *Chlorellales* Bold & M.J.Wynne**, algas verdes unicelulares y coloniales, caracterizadas por carecer de la capacidad de formar zoosporas y solo unas pocas forman gametos flagelados. En la gran mayoría de los miembros, la reproducción está restringida a la formación de autosporas no móviles. Los miembros coloniales del orden forman frecuentemente cenobios. Las células son uninucleadas, con cloroplastos que suelen poseer pirenoides [19].

El género *Chlorella* Beijerinck (Familia *Chlorellaceae*; Clase *Trebouxiophyceae*) incluye organismos unicelulares y esféricos, cuya pared celular es delgada, lisa y con poca ornamentación. Normalmente, se encuentran de manera solitaria, pero pueden formar colonias, con o sin mucílago. Presentan un cloroplasto con un único pirenoide, normalmente parietal, que a veces puede estar rodeado por gránulos de almidón. Presenta reproducción

asexual mediante autosporas, que se liberan a través de una abertura en la pared de la célula madre.

Basándonos en las medidas realizadas de los representantes de este género hallados en el enriquecimiento, que oscilan aproximadamente entre 2 y 13 μm , se pueden diferenciar de forma tentativa tres especies, ya que se necesitan trabajos de aislamiento, cultivo y técnicas moleculares para confirmar su identificación (Figura 13d) [18, 20-24].

Oocystis Nägeli ex A. Braun (Familia *Oocystaceae*; Clase *Trebouxiophyceae*) son algas unicelulares, pequeñas, con morfología elíptica o esférica, sus extremos son redondeados o agudos. La pared celular es lisa y no presenta ornamentación, aunque en ocasiones puede ensancharse en los ápices. Normalmente son células solitarias, sin embargo, a veces forman colonias dentro de un mucílago común. Sus células pueden tener uno o más cloroplastos parietales. Éstos pueden presentar pirenoides o no. Puede desarrollar acinetos en condiciones desfavorables. Su reproducción asexual tiene lugar por autosporas que se liberan a través de una rotura en la pared de la célula madre. Teniendo en cuenta las medidas realizadas en los distintos enriquecimientos, que oscilan aproximadamente entre 2 y 17 μm , se pueden diferenciar de manera preliminar, cuatro especies de este género, ya que son necesarios trabajos de aislamiento, cultivo y técnicas moleculares para confirmar su correcta identificación (Figura 13c) [18, 20-22, 24].

2) **Orden Oedogoniales Heering**, incluye algas verdes con morfología esencialmente filamentosa, con organización sifonocladal de filamentos uniseriados constituidos por células multinucleadas. Los talos pueden ser simples o muy ramificados, con ramas que se insertan de modo irregular o muy ordenadas. Están ampliamente distribuidos tanto en aguas marinas, como salobres y dulces [24].

Oedogonium Link ex Hirn (Familia *Oedogoniaceae*; Clase *Chlorophyceae*) son filamentos uniseriados no ramificados, unidos al sustrato por células basales de sujeción; ocasionalmente flotan libremente. Células vegetativas generalmente uniformes en tamaño y forma en cada especie; normalmente cilíndricas, pero a veces onduladas, noduladas o incluso anguladas en vista de perfil; todas las células del filamento normalmente son capaces de dividirse. Células vegetativas uninucleadas, muy vacuoladas y con un gran cloroplasto reticulado y parietal que contiene de uno a muchos (normalmente) pirenoides (Figura 12a y 12b) [18, 24].

3) **Orden Sphaeropleales Lueresen**, incluye algas verdes con morfología esencialmente filamentosa, con organización sifonocladal de filamentos uniseriados constituidos por células multinucleadas. Los talos pueden ser simples o muy ramificados, con ramas que se insertan de modo irregular o muy ordenadas. Están ampliamente distribuidos tanto en aguas marinas, como salobres y dulces [24].

Scenedesmus Meyen (Familia *Scenedesmaceae*; Clase *Chlorophyceae*) son talos unicelulares o coloniales, formando cenobios de 2 a 32 células, generalmente de 4 u 8 células; matriz mucilaginoso circundante presente o ausente. Células dispuestas linealmente, alternas o en 2-3 filas, tocando con las paredes laterales o sólo en la región subpolar. Células de 3-78 \times 2-10 μm , casi esféricas a elipsoidales, alargadas o fusiformes a fusiformes alargadas; polos celulares capitados, obtusos, agudos o cónicos largos. Pared celular con capa hemicelulósica y esporopolenínica, generalmente lisa. Células sin espinas o parcialmente con espinas esporopolenínicas. Excreción de cerdas proteináceas. Células uninucleadas; cloroplasto simple y parietal con un solo pirenoide (Figura 13e) [18, 24].

Según el muestreo realizado en la fuente, se ha observado que las microalgas del orden *Oedogoniales* se localizan en los bordes exteriores de la taza y, por otro lado, las *Chlorellales* y *Sphaeropleales* se ubican en las zonas del pilar central hasta las veneras.

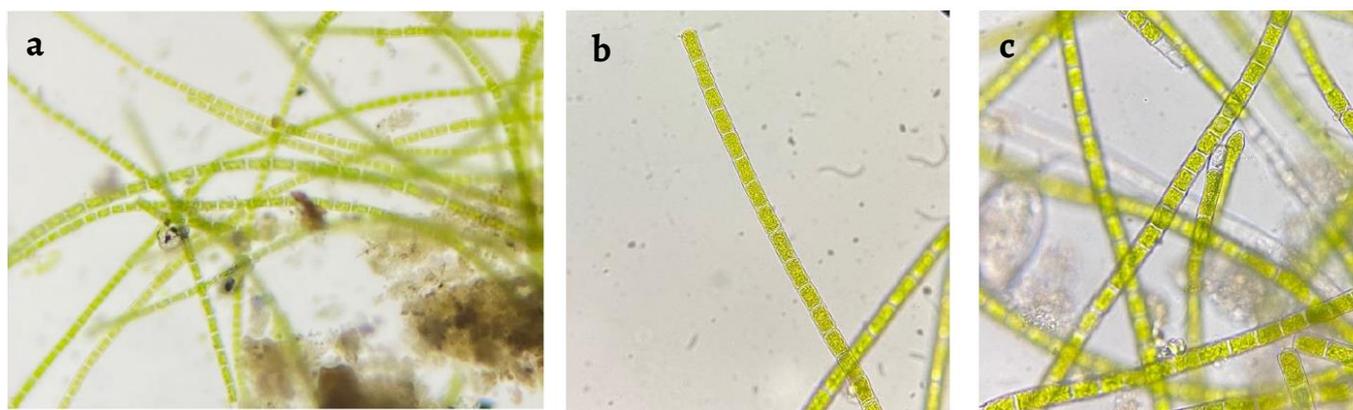


Figura 12. Microalgas en la muestra 7 (zona húmeda con manchas verdes sobre el pavimento anexo a la fuente): a) *Oedogonium* sp. en la muestra ambiental; b) Detalle de un filamento de *Oedogonium* sp. creciendo en el enriquecimiento después de 4 semanas de cultivo; c) Filamentos de *Oedogonium* sp. creciendo en enriquecimiento.

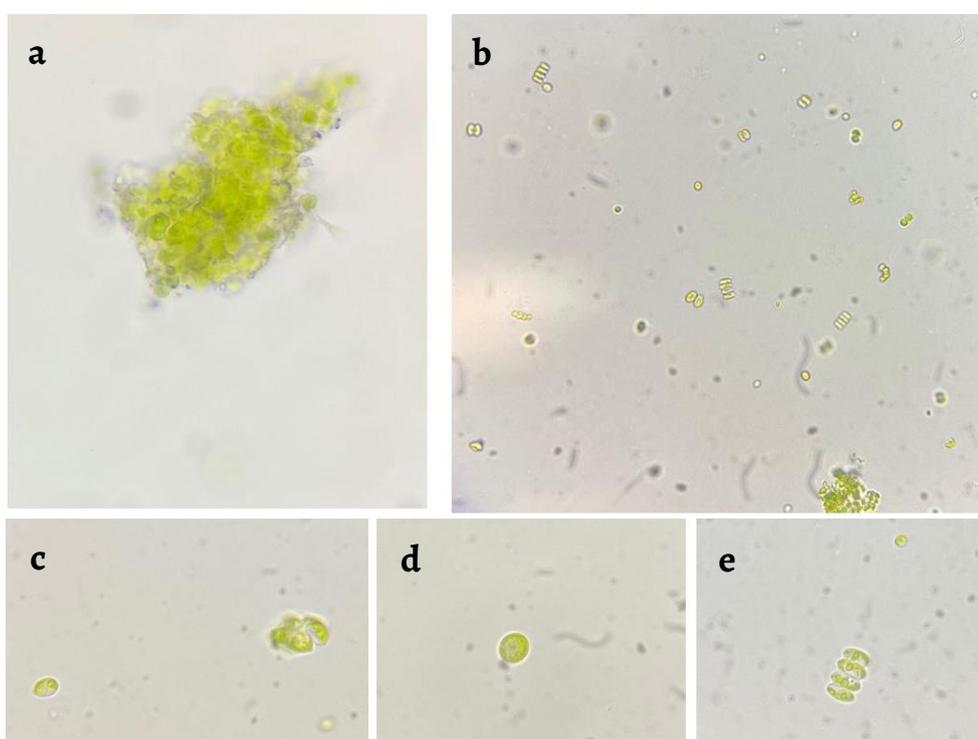


Figura 13. Microalgas en la muestra 10 (manchas de color verde en la superficie exterior de la fuente): a) Detalle de aglomerado celular en la muestra ambiental; b) Diversidad de microalgas verdes en el enriquecimiento; c) Célula independiente y agregado celular del género *Oocystis*; d) *Chlorella* sp.; e) Cenobio de *Scenedesmus* sp.

Dado el estado inactivo de la fuente durante la realización de este estudio, no se puede descartar que, una vez en funcionamiento, la presencia de agua no favorezca que una mayor diversidad de organismos pueda colonizar su superficie y causar biodeterioro, por lo que consideramos aconsejable hacer un seguimiento periódico que permita detectar su establecimiento y las posibles alteraciones que puedan producirse.

Análisis geométrico

El análisis geométrico (Figura 14) determina un equilibrio de las fuerzas con ausencia de deformaciones de importancia. En color verde se muestran las dimensiones que son proporcionales con su lado opuesto que, en el caso de coincidencia, refleja una simetría que confirma un correcto equilibrio. En color rojo, aparecen las dimensiones que contrastan con su lado opuesto, indicando una diferencia que bien podría ser fruto de una colocación original incorrecta o de la presencia de un desequilibrio.

Análisis por imagen

La metodología de análisis no invasivo por imagen ha permitido dimensionar adecuadamente las áreas afectadas por depósitos superficiales. El filtro de la aplicación *Dstretch* ha permitido potenciar los colores y diferenciar las zonas de distinta naturaleza. Estas áreas anaranjadas corresponden con productos del metabolismo de las microalgas (ver sección *Análisis de colonización biológica*) cuya extensión queda evidenciada de forma más precisa a través de esta aplicación informática (Figura 15). No obstante, esta observación debe quedar triangulada por la inspección visual técnica y el resultado de los análisis químicos superficiales para corroborar el área afectada (ver sección *Análisis de muestras*).



Figura 15. Análisis por imagen: a) Fotografía inicial; b) Misma fotografía tras los parámetros de la aplicación *Dstretch*. El color anaranjado evidencia el área de extensión de los productos derivados de la colonización biológica.

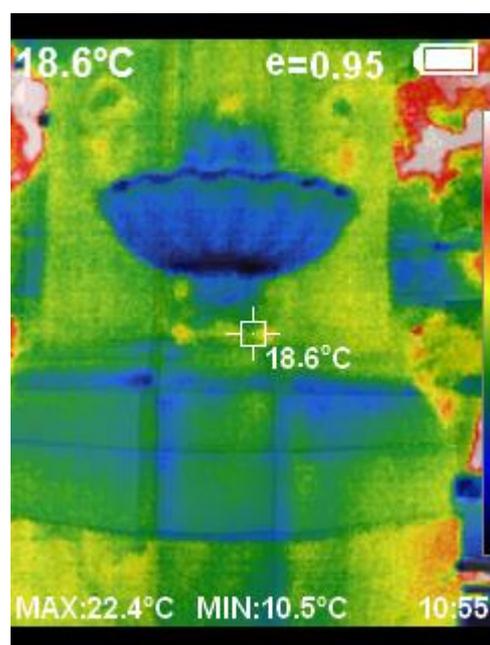


Figura 16. Termograma de la zona central de la fuente donde se puede observar el comportamiento térmico deficiente de las juntas de unión.

Por otro lado, el reconocimiento de la fuente con la cámara térmica confirma que el comportamiento térmico de las juntas de unión es deficiente tanto en la taza, donde existen problemas de filtraciones, como en el primer tercio del pilar central. En el termograma (Figura 16), se puede observar que la zona de unión de los distintos módulos de la fuente presenta una diferencia de temperatura notable. Muchas de estas uniones han perdido gran parte del mortero de juntas. Estos defectos de aislamiento y estanqueidad a las humedades se muestran en dicha irregularidad térmica. Igualmente, la inactividad del circuito de agua ha permitido la colonización de insectos que está influyendo en la degradación del mortero de juntas.

Conclusiones

Se ha constatado el uso de distintos materiales constituyentes en las fases constructivas de la plaza Weyler. Igualmente, el conocimiento de la composición y dosificación de los morteros originales van a determinar la propuesta de morteros de reposición, aumentando la compatibilidad de materiales en su comportamiento.

En el caso de la fuente, la piedra se encuentra en contacto con el agua de forma permanente o intermitente, lo que puede conducir a fenómenos de deterioro de distinta naturaleza a causa de la colonización y procesos metabólicos de las microalgas, que además pueden producir costras carbonatadas, así como alteraciones físicas y químicas del sustrato [25].

En este sentido, las microalgas pueden formar películas biológicas (*biofilms*) compuestas por un conjunto de organismos que están embebidos en una matriz de sustancias poliméricas extracelulares secretadas por estos. Estas películas no solo producen daños estéticos por la alteración cromática de la superficie que colonizan, sino que pueden también retener polvo atmosférico, contaminantes y sustancias disueltas en el agua que aportan tonos aún más oscuros. El deterioro físico frecuentemente se debe a que muchas especies de algas y cianobacterias tienen vainas de mucílago que retienen agua y los periodos de absorción y desecación, con la consiguiente variación del volumen causa la destrucción gradual del material pétreo, que va incorporándose a la película. El daño químico causado más frecuentemente por las microalgas consiste en la formación de costras carbonatadas sobre la piedra, como resultado de su metabolismo fotosintético [26]. Este fenómeno se ha constatado con el análisis químico superficial de las manchas anaranjadas, donde la difracción sólo ha reflejado la presencia de carbonato cálcico. Las condiciones de inactividad de la fuente han impedido diagnosticar el origen de la colonización biológica o su relación directa con el suministro de agua. El diagnóstico está acotado al contexto y al alcance de colonización actual. El análisis biológico deberá ser completado con el restablecimiento de su funcionalidad.

Por otro lado, valoramos el uso de análisis no intrusivos, basados en el color, como de metodologías auxiliares para complementar diagnósticos en bienes culturales. En este sentido, la termografía y la aplicación *Dstretch* han contribuido eficazmente a determinar el alcance patológico. Esta última, se puede complementar con programas de dibujo vectorial para la creación de mapas de alteración más precisos. Además, al calcular la extensión del área afectada, también ayudará a una gestión presupuestaria adecuada.

Las conclusiones de este trabajo ponen de manifiesto que el uso conjunto de diferentes técnicas ha constituido una buena estrategia metodológica para evaluar las condiciones de la fuente y, posteriormente, determinar un diagnóstico preciso.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer el uso del Servicio General de Apoyo a la Investigación-SAI, Universidad de Zaragoza.

REFERENCIAS

1. 'The Athens Charter for the Restoration of Historic Monuments', in ICOMOS, <https://www.icomos.org/en/resources/charters-and-texts/179-articles-en-francais/ressources/charters-and-standards/167-the-athens-charter-for-the-restoration-of-historic-monuments> (acceso en 2022-02-23).
2. 'Carta internacional sobre la conservación y la restauración de monumentos y sitios', in ICOMOS, https://icomos.es/wp-content/uploads/2020/01/venice_sp.pdf (acceso en 2022-02-23).
3. 'DStretch. Rock Art Digital Enhancement', <https://www.dstretch.com/> (acceso en 2022-03-18).
4. 'Principles for the recording of monuments, groups of buildings and sites', in ICOMOS, <https://www.icomos.org/charters/archives-e.pdf> (acceso en 2022-02-23).
5. García Pulido, D., 'Rasgos inusuales de un espacio emblemático de Santa Cruz de Tenerife: la fuente de la plaza de Weyler (I)', *La Prensa. Revista semanal de El Día*, (2012-07-07) 1-3.
6. 'Gestor Patrimonio Cultural/ plaza de Weyler', in CICOP, http://gestorpatrimoniocultural.cicop.com/Santa_Cruz_de_Tenerife/Plaza_de_Weyler (acceso en 2022-01-24).
7. Galante Gómez, F., *Arquitectura Canaria (Desde la segunda mitad del siglo XVIII hasta finales del siglo XIX)*, Editorial Edirc, Las Palmas de Gran Canaria (1989).
8. 'Crónica', *Diario de Tenerife* (1899-06-16), https://prensahistorica.mcu.es/es/catalogo_imagenes/grupo.do?path=1005544132 (acceso 2022-04-04).
9. 'Crónica', *Diario de Tenerife* (1899-10-11), https://prensahistorica.mcu.es/es/catalogo_imagenes/grupo.do?path=1005543484 (acceso 2022-04-04).
10. 'Para la región Canaria. Aclaraciones', *La Opinión* (1899-07-28), <https://h3.bbtk.ull.es/pandora/cgi-bin/Pandora.exe> (acceso 2022-04-04).
11. 'Crónica', *Diario de Tenerife* (1898-09-02), https://prensahistorica.mcu.es/es/catalogo_imagenes/grupo.do?path=1005545130 (acceso 2022-04-04).
12. 'En el Ayuntamiento. Un dictamen', *La Opinión* (1899-08-17), https://h3.bbtk.ull.es/pandora/cgi-bin/Pandora.exe?xslt=ejemplar;place=Santa%20Cruz%20de%20Tenerife;publication=La%20Opini%C3%B3n;day=17;month=08;year=1899;page=001;id=0003617150;collection=prensa;url_high=prensa_pagesE/Santa%20Cruz%20de%20Tenerife/La%20Opini%C3%B3n/1899/18990817/1899-08-17_a_o_xix_numero_2119_id55440-001.pdf;lang=es;encoding=utf-8 (acceso 2022-01-24).
13. 'Crónica', *La Opinión* (1899-07-29), https://h3.bbtk.ull.es/pandora/cgi-bin/Pandora.exe?xslt=ejemplar;place=Santa%20Cruz%20de%20Tenerife;publication=La%20Opini%C3%B3n;day=29;month=07;year=1899;page=003;id=0003617092;collection=prensa;url_high=prensa_pagesE/Santa%20Cruz%20de%20Tenerife/La%20Opini%C3%B3n/1899/18990718990729/1899-07-29_a_o_xix_numero_2104_id55425-003.pdf;lang=es;encoding=utf-8 (acceso 2022-04-04).
14. García Pulido, D., 'Rasgos inusuales de un espacio emblemático de Santa Cruz de Tenerife: la fuente de la plaza de Weyler (y II)', *La Prensa. Revista semanal de El Día* (2012-07-14).
15. Pereira Uzal, J. M., *Gestión del color en proyectos de digitalización*, Editorial Marcombo, Barcelona (2013).
16. Villegas Sánchez, R.; Sebastián Pardo, E. M. (coords.), *Metodología de diagnóstico y evaluación de tratamientos para la conservación de los edificios históricos*, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, Sevilla (2003).
17. Wehr J. D.; Sheath R. G., *Freshwater algae of North America: ecology and classification*, Academic Press, San Diego (2003).
18. John, D. M.; Brooks A. J.; Whitton B., *The freshwater algal flora of the British Isles. An identification guide to freshwater and terrestrial algae*, Cambridge University Press, Cambridge (2011).
19. Bold H. C.; Wynne M. J., *Introduction to the algae: structure and reproduction*, Prentice-Hall, New Jersey (1978).
20. Pentecost A., *Introduction to freshwater algae*, The Richmond Publishing, Slough (1984).
21. Dillard E. D., *Common freshwater algae of the United States*, Borntraeger Gebroeder, Stuttgart (2008).
22. Bellinger E. G.; Sigeo D. C., *Freshwater algae: identification and use as bioindicators*, John Wiley & Sons, Ltd., Hoboken (2010).
23. Bock C.; Krienitz L.; Pröschold T., 'Taxonomic reassessment of the genus *Chlorella* (Trebouxiophyceae) using molecular signatures (barcodes), including description of seven new species', *Fottea* **11**(2) (2011) 293-312.
24. Guiry, M. D.; Guiry, G. M., 'Listing the World's Algae', in *AlgaeBase*, <https://www.algaebase.org> (acceso 2022-03-18).
25. Peraza Zurita, Y., *Biodeterioro por microalgas en fuentes de mármol*, Editorial de la Universidad de Granada, Granada (2004).
26. Bolívar-Galiano, F.; Abad-Ruiz, C.; Sánchez-Castillo, P.; Toscano, M.; Romero-Noguera, J., 'Frequent microalgae in the fountains of the Alhambra and Generalife: identification and creation of a culture collection', *Applied Sciences* **10**(18) (2020) 39-56, <https://doi.org/10.3390/app10186603>.

RECIBIDO: 2022.8.29

REVISTO: 2022.11.28

ACEPTADO: 2023.3.1

ONLINE: 2023.5.29



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
AtribuciónNoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Para ver una copia de esta licencia, visite

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>