

# La policromía original de las yeserías del Patio de las Doncellas del Real Alcázar de Sevilla. Materiales constitutivos y técnicas de ejecución

The original color in the plasterwork of the Courtyard of the Maidens in the Royal Alcázar of Seville. Characterization of materials and execution techniques

A.I. Calero Castillo, A. García Bueno, O. López Cruz, V. J. Medina Flórez\*

## RESUMEN

Esta investigación tiene la finalidad determinar la técnica y los materiales empleados en la policromía original de las yeserías de las galerías bajas del Patio de las Doncellas. Este emplazamiento forma parte de las construcciones realizadas por Pedro I (1356-1366) en el conjunto monumental del Alcázar de Sevilla, cuya importancia como ciudad palatina determinó su inclusión en la lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO en el año 1987 junto a la Catedral y el Archivo de Indias. Su condición como residencia permanente de los monarcas españoles ha favorecido su conservación, pero también que haya sido muy intervenido desde su construcción.

Esta sucesión de intervenciones es especialmente visible en las yeserías de dicho patio donde se distinguen repolicromados y encalados sucesivos que ocultan la delicadeza del relieve y los restos del color original, ofreciendo en la actualidad un aspecto grisáceo bastante lejano al del momento de su ejecución en el s. XIV en el que predominaba el color. Tras una pormenorizada revisión documental y un minucioso estudio de campo, se acometió la toma de micromuestras para estudiarlas mediante técnicas analíticas de estudio del Patrimonio Cultural -microscopía estereoscópica, microscopía óptica, microscopía electrónica de barrido (SEM/EDX), difracción de rayos X (XRD), espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) o cromatografía gaseosa entre otras (GC-MS)- a partir de las cuales poder identificar las características del mortero, la composición de la capa pictórica y el aglutinante empleado, determinándose de esta manera la existencia de restos de policromía original, así como los procedimientos empleados para su ejecución.

**Palabras clave:** SEM/EDX, color, yeserías, medieval, Sevilla.

## SUMMARY

This paper presents a study of the gypsum plasterwork of the Courtyard of the Maidens, in the Royal Alcazar of Seville, focusing the attention in the knowledge of its original polychrome decorations. The Courtyard of the Maidens is one of the constructions made by Pedro I (1356- 1366) within the monumental complex Alcazar of Seville. The importance of the palatial city determined its inclusion in the World Heritage List of UNESCO in 1987, along with the Cathedral and the India's Archive. His status as permanent residence of the Spanish monarchs has allowed its preservation over the time. However, it has been intervened several times since its construction.

This succession of interventions is especially noticeable in the plasterwork of said courtyard, where successive pictorial layers and lime layers hide the delicacy of the relief and the remains of the original polychrome, which currently shows a greyish aspect quite different from the original aspect of the plasterwork back in the 14th century, in which colour prevailed. After an exhaustive revision of the bibliographical documentation and a thorough field study, the method continued with the collection of microsamples for their analysis with instrumental techniques for Cultural Heritage -among which we could highlight the stereoscopic microscopy, the polarizing optical microscopy, the scanning electron microscopy with X-ray microanalysis (SEM/EDX), the X-ray diffraction (XRD), the Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and the gas chromatography (GC-MS). These techniques made it possible to identify the mortar composition, the characteristics of the pictorial layer and the binding media used; thus determining the existence of remains from the original polychrome, as well as the procedures for its execution.

**Key Words:** SEM/EDX, colour, plasterwork, medieval, Seville.

\* Departamento de Pintura. Facultad de Bellas Artes. Universidad de Granada.

## 1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo presenta las conclusiones finales extraídas de un complejo trabajo, iniciado en el año 2011 y finalizado en el 2017, cuyo objetivo fundamental ha sido el de conocer la decoración y el estado de conservación de las yeserías de una zona del muro sur/este del Patio de las Doncellas del Real Alcázar de Sevilla. Durante años, para este tipo de estudios se ha contado únicamente con una información de tipo histórico y artístico, basada solamente en fuentes documentales y en la observación directa de la obra. Hoy en día se considera básica, tal y como se ha realizado en este trabajo, la necesidad de hacer otro tipo de estudios técnicos de carácter objetivo, el análisis total de 155 muestras extraídas del paramento decorativo en este caso, para completar las hipótesis teóricas y los análisis formales. Aunque los resultados preliminares de esta investigación han sido expuestos en diversos medios divulgativos -CALERO *et alii*, 2016 (avance de resultados del estudio de materiales basado en el estudio de 129 muestras), COLLADO *et alii*, 2016 (primer análisis del estado de conservación e investigación sobre posibles productos de consolidación a emplear en estas policromías), o COBA *et alii*, 2016 (propuesta de reconstrucción virtual de la decoración -alfarje yeserías- teniendo en cuenta los materiales identificados en la última intervención de la portada de acceso al Salón del Techo de Carlos V, con el análisis de un total de 65 muestras de ambos materiales) entre otros-, con el objetivo de difundir los resultados que se iban obteniendo en las diferentes fases de la investigación, este trabajo aúna todos los datos anteriores permitiendo obtener una visión global y científica de la obra estudiada. Además de las 155 muestras estudiadas se ha tenido en cuenta la documentación histórico-artística existente, los estudios arqueométricos realizados por otros investigadores en los que se estudian las diferentes fases constructivas (romana, islámica, mudéjar y añadidos posteriores), las particularidades de las diferentes zonas (patios techumbres o fachadas) así como los materiales presentes en la decoración (yeserías, alfarjes, alicatados y pintura mural).

De esta forma, la metodología empleada, ha aportado información que permite completar una parte importante de la historia de este monumento, como es la de su ornamentación, permitiendo conocer, como se expone en este artículo, la existencia del color original y su composición, su estado de conservación y la cronología de las intervenciones realizadas desde su construcción, así como para concienciar en la necesidad de su mantenimiento y preservación para las generaciones futuras.

Aunque nuestro objeto de estudio sea la ornamentación en yeso realizada en una zona concreta del Palacio de Pedro I dentro del recinto del actual Alcázar Real (Patio de las Doncellas), es imprescindible, para la comprensión de esta “ciudadela palatina” la realización de una introducción previa con el objetivo de entender las circunstancias históricas de este emplazamiento así como la sucesión de intervenciones realizadas desde su construcción, teniendo en consideración importantes estudios arqueométricos e histórico-artísticos que sobre el mismo se han realizado hasta la fecha.

El Real Alcázar de Sevilla es un monumento vivo que se ha adecuando al paso del tiempo por lo que su investigación y estudio se debe abordar desde una perspectiva diferente. No es un monumento arqueológico, como pueden ser la Alhambra o la Aljafería de Zaragoza, es un espacio en uso permanente que todavía cumple su función original como palacio de la realeza española. De los príncipes islámicos primero y luego de los conquistadores cristianos, es el “palacio real más antiguo en uso en Europa” (MORALES, 2006:233). Los estudios arqueométricos realizados en el este espacio manifiestan que ya existían construcciones en época romana, como demuestra una basílica paleocristiana consagrada a San Vicente Mártir y un baptisterio, fechados a finales del s. VI. (LLEO, 2002). Sin embargo, el primer dato concreto que se conoce de la existencia del Alcázar es la orden dada por el califa Abd al-Rahman III en el año 913, para la construcción de una residencia para el gobernador (ALMAGRO, 2007). Desde ese momento, hasta la actualidad se suceden las diversas construcciones que culminarán

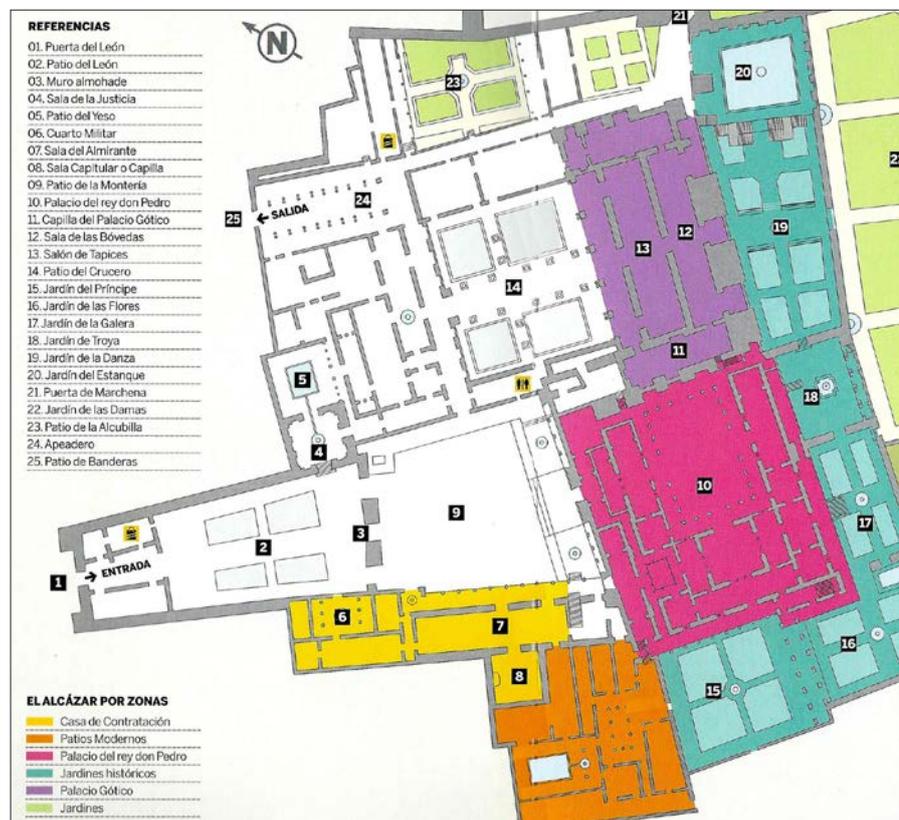
en el esplendor actual del Conjunto que fue incluido en la lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO en el año 1987.

Esta constante transformación, motivada por las necesidades y circunstancias de cada momento de la historia, le han llevado a su configuración actual, que, aun en base a construcciones y destrucciones sucesivas resulta armónica y equilibrada (MARÍN, 1992). Las circunstancias comentadas han permitido su conservación pero dificultan la tarea de identificación “de cada una de estas actuaciones

y su adscripción cronológica ya que pese a la abundancia de documentación existente a partir del siglo XVI, no siempre ésta permite identificar con claridad el alcance y localización de todas las intervenciones” (ALMAGRO, 2007:163). En este sentido, el conjunto palatino actual debe entenderse en plural, puesto que su constitución actual responde a la articulación de varios recintos que se edifican en periodos diferentes de la historia hasta formar un gran Conjunto Monumental, transformado posteriormente en “Casa Real Unificada” (MARÍN, 2011: 82) (Figs. 1, 2)



**Fig. 1.** Imágenes generales del Real Alcázar de Sevilla. Izqda: Vista aérea obtenida a partir de la aplicación Google Earth. Dcha: Vista aérea del conjunto monumental. Figura extraída de la guía actual que puede adquirirse en el citado monumento (REGAS, 2010:7).

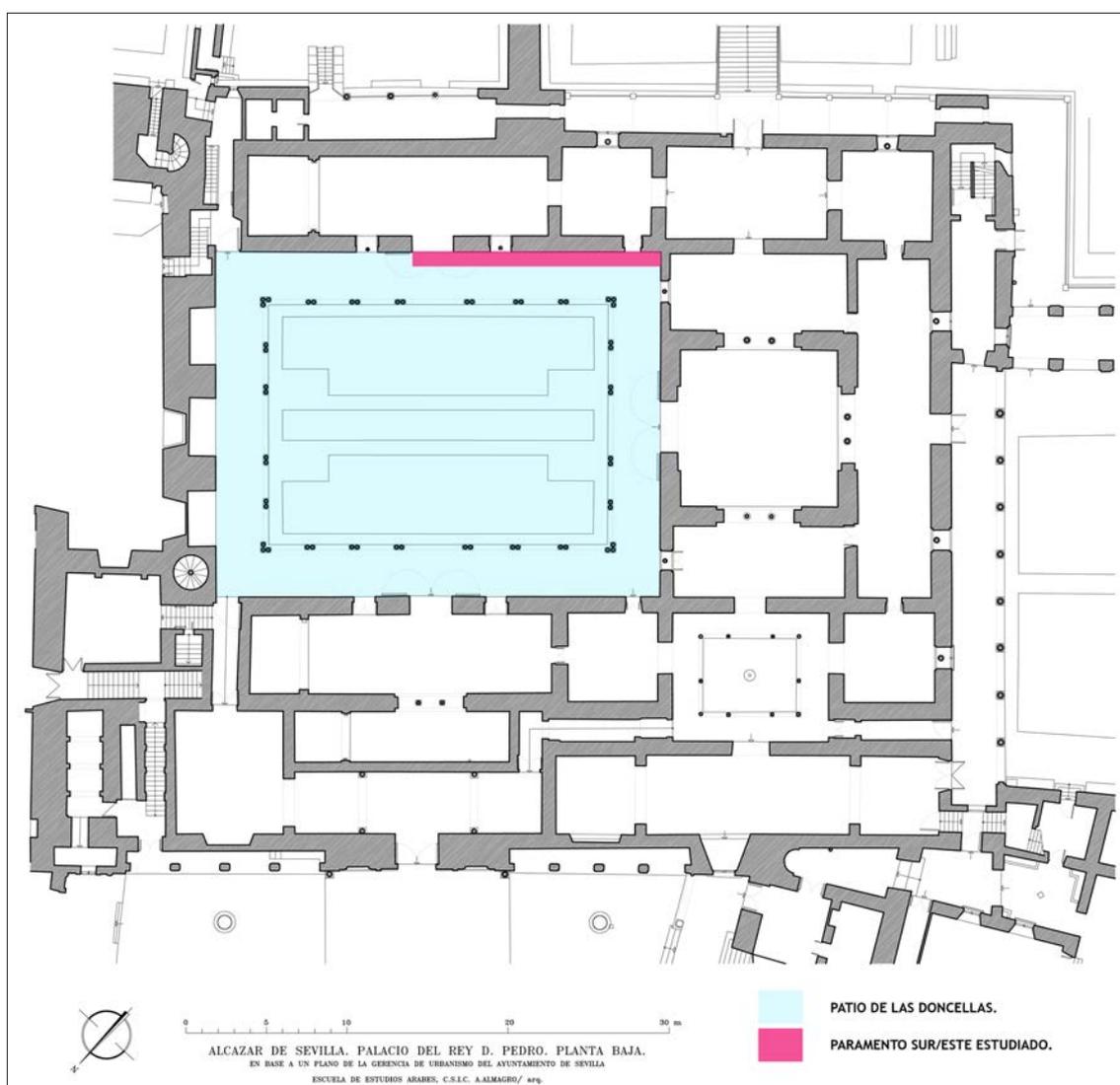


**Fig. 2.** Plano general del Real Alcázar de Sevilla. Figura extraída de la guía actual que puede adquirirse en el citado monumento (REGAS, 2010:1).

El Patio de las Doncellas, objeto de nuestro estudio, forma parte de las construcciones llevadas a cabo por Pedro I en el conocido como Palacio Mudéjar (1356-1366). Su creación formó parte del programa político iniciado por el monarca, como símbolo de su poder, en el cual, la ornamentación y la policromía ejercieron un papel fundamental (ALMAGRO, 2005:44-67) (Fig. 3). Dentro de esa intención propagandística, el elemento decorativo más representado y el de mayor importancia por su simbolismo, es el escudo de la banda, que servía para reivindicar el poder de Don Pedro frente a su hermanastro Enrique de Trastámara y la nobleza que lo apoyaba (RODRÍGUEZ, 2013). Así, el rey D. Pedro se une a la

costumbre de los soberanos musulmanes de demostrar su categoría y distinción por encima de la de otros príncipes con sus empresas arquitectónicas creando un palacio mejor que todos los que se hubieran construido hasta la fecha en Al-Ándalus (RODRÍGUEZ, 2011).

La suntuosidad y riqueza de la construcción deviene en gran parte de la amistad que unía al monarca Pedro I con el sultán Muhammad V, ya que el sultán granadino sería repuesto en su trono gracias al rey cristiano por lo que en agradecimiento, Muhammad V enviaría a Sevilla artífices nazaritas para que decorasen su palacio (MARÍN, 1990). Estas particularidades se observan en la orna-



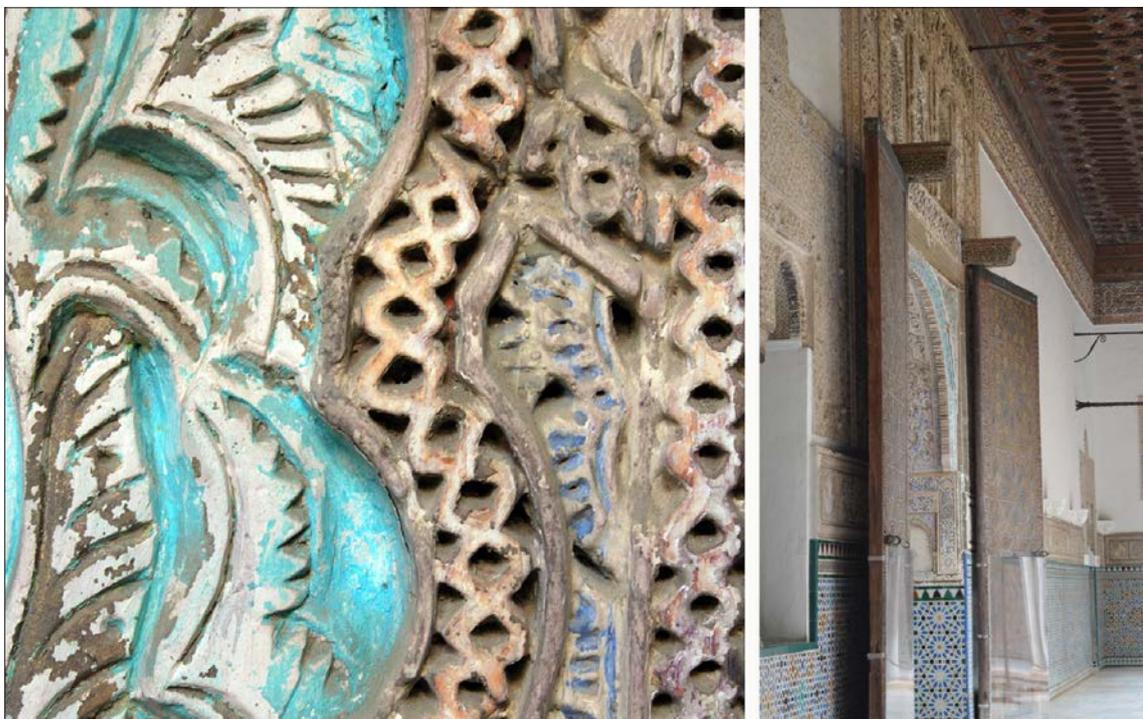
**Fig. 3.** Localización del Patio de las Doncellas (azul) en el conocido como Palacio de Pedro I y zona del paramento estudiado (rosa) (ALMAGRO GORBEA, 2000:26).

mentación donde se identifican los materiales principales del sistema de trabajo islámico y mudéjar, la madera (carpinterías de puertas, ventanas y alfarjes), el yeso (yeserías), la cerámica (alicatados), así como la pintura mural de su alberca recientemente recuperada (ROBADOR *et alii*, 2005).

De entre los elementos decorativos representados son especialmente interesantes las yeserías de los paramentos internos de las galerías bajas de este patio, que aunque actualmente ofrezcan un aspecto gris empolvado, en su origen debieron presentar una rica gama cromática, con azules, rojos o verdes entre otros colores (FERNÁNDEZ-PUERTAS, 1984). Sobre esta hipótesis se ha realizado un estudio pormenorizado con el objetivo fundamental de detectar restos de policromía original, la naturaleza de los materiales, las técnicas de ejecución y la cronología de las intervenciones realizadas. Como expone (BLASCO-LÓPEZ *et alii*, 2009) en sus estudios arqueométricos sobre el soporte de las yeserías de otras zonas del palacio estudiadas (focalizadas en gran parte en el

patio del Yeso y del Sol), estas intervenciones, antiguas y modernas son muy complejas ya que han conllevado la existencia de piezas originales de yeso y reposiciones en los mismos paramentos, creando un desajuste y provocando a la vez una discusión cronológica y estilística “entre investigadores, historiadores, arqueólogos y restauradores, en forma de falsas atribuciones y magnitud de las conservaciones o restauraciones así como por la falta de información en algunos casos” (BLASCO-LÓPEZ *et alii*, 2009: 202).

Teniendo en cuenta estas consideraciones preliminares, la complejidad del estudio y la situación actual de las yeserías, se ha seleccionado para este trabajo una octava parte del revestimiento, en concreto la correspondiente al muro sur/este, que comprende la excepcional portada de acceso al Salón del Techo de Carlos V (entre otros elementos decorativos de importancia )y, que *a priori*, debido a los restos aparentes de color, estado de conservación y características formales, era una de las zonas de mayor interés para estudiar (Fig. 4). De este modo, al tomar una parte extensa y



**Fig. 4.** Izqda. Detalle del estado de la policromía actual del arco de la puerta de acceso al salón del techo de Carlos V. Dcha. Imagen general de la zona. Puerta de acceso al salón del techo de Carlos V, ventana occidental, puerta de escape, friso superior y friso inferior.

representativa, la investigación podía ser muy exhaustiva obteniendo resultados fiables y con garantías<sup>1</sup>.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Estudio bibliográfico

La primera parte del trabajo se ha centrado en la realización de una pormenorizada revisión bibliográfica que ha incluido tanto la consulta de documentación histórico-artística, como de los estudios arqueométricos realizados en el emplazamiento. El objetivo principal ha sido contextualizar la obra para abordar posteriormente el trabajo específico sobre el paramento. En primer lugar se ha procedido a realizar una revisión de las principales transformaciones del conjunto desde su origen en época medieval, hasta la actualidad, centrando la atención principalmente en el Patio de las Doncellas y en los paramentos de yeso. La información referente a las intervenciones históricas era fundamental para poder determinar el número de intervenciones realizadas sobre el paramento una vez terminado el estudio de materiales. Son de destacar las publicaciones realizadas por Cómez (2006) Chávez González y de los Ríos (1844), Marín (1990), Morales (2006), Robador *et alii* (2005), Pavón (1989), Tabales (2005), así como las periódicas del Real Alcázar de Sevilla, entre otras. Esta revisión ha permitido conocer que el conjunto del Alcázar ha sufrido numerosas intervenciones que afectaron en mayor o menor medida a sus decoraciones mudéjares y que han sido documentadas, de una forma u otra, por los investigadores. En particular, el Patio de las Doncellas se ha visto sometido a numerosas actuaciones que han cambiado de forma considerable su fisonomía, realizándose la mayor parte de las remodelaciones arquitectónicas en los siglos XVI y XVII. Entre ellas destacan el enlosado del patio cubriendo el original jardín rehundido mudéjar o la adición de un cuerpo superior en

1583, ambas muy bien documentadas tanto de forma histórica (MARÍN, 1990), (MORALES, 2006), como arqueométrica (TABALES, 2005). Sin embargo, la información conservada referente a las intervenciones históricas en este periodo sobre la ornamentación, en concreto de las yeserías, son escasas y bastante imprecisas siendo inexistentes los estudios arqueométricos. Solamente se detecta en la bibliografía referencias a actuaciones puntuales encaminadas a solventar problemas concretos. Esto puede explicarse bien por la poca importancia de la actuación o porque no se haya considerado necesario en su momento ya que el concepto actual de restauración, en el que este tipo de operaciones se acompañan de un proyecto y memoria de restauración, es relativamente reciente en el tiempo.

No será hasta el s. XIX cuando vuelva a detectarse una gran actividad en el palacio, lo que se traduce también en una mayor atención sobre las decoraciones. En este sentido, varios documentos coinciden en describir un encalado generalizado en las yeserías que, bajo presupuestos neoclasicistas habría eliminado todos los restos de policromía anterior (DE LOS RÍOS, 1875), (CAÑAS, 2010), (CHÁVEZ, 2004). Tras este encalado se cita la incorporación de vaciados utilizando moldes alhambrenos (DE LOS RÍOS, 1875), operaciones de limpieza con el objetivo de recuperar de nuevo la policromía, así como la realización de repolicromados de la superficie al no conseguir recuperar los colores originales (GESTOSO, 1889), (CHÁVEZ, 2004). El informe elaborado por Francisco Contreras en 1869 (CHÁVEZ, 2004:137), que fue llamado para ocupar el cargo de restaurador, pone de manifiesto que las tareas llevadas a cabo por los pintores entre 1856-1858 habían embotonado aún más los colores y adornos de las paredes, contribuyendo a la pérdida de sus líneas y relieve, creando una mayor confusión entre lo que había y lo que quedaba (CHÁVEZ, 2004).

1 La zona estudiada corresponde a la puerta de acceso al Salón del Techo de Carlos V, ventana occidental, puerta pequeña o de escape, así como los frisos superior e inferior estimándose el total en superficie decorativa en 43,25 m<sup>2</sup> aprox.

Efectuada la revisión documental, para este trabajo ha sido primordial realizar un acercamiento a las particularidades de estos acabados cromáticos desde el punto de vista técnico-material, para lo que ha sido imprescindible la consulta de los estudios arqueométricos que existen sobre el material. En los casos en los que ha sido posible se han referenciado estudios llevados dentro del propio Alcázar; en otros, la información se ha completado con investigaciones efectuadas en monumentos de similar cronología.

En cuanto al soporte, el yeso, en referencia a los materiales empleados para la realización de yeserías, las Ordenanzas de Toledo recogen dos tipos: yeso blanco y yeso pardo o negro (DÍEZ, 2001). Se debe mencionar en este punto los estudios arqueométricos efectuados para la caracterización material de las yeserías del Alcázar en los que se ha centrado la atención en el Patio del Sol (BLASCO & ALEJANDRE, 2013) y del Yeso (BLASCO-LÓPEZ *et alii*, 2009). En estos resultados publicados los autores coinciden que las yeserías del Alcázar son “pastas de yeso, formadas por sulfato cálcico rehidratado (dihidrato) con más o menos impurezas, sin adición intencionada de cal y arena” (BLASCO & ALEJANDRE, 2013:181). Estos autores han analizado también muestras correspondientes a otras zonas, siendo una correspondiente al Patio de las Doncellas, perteneciente al ajimez de la arquería inferior, datada por estos autores como mudéjar (s.XIV-s.XVI) (BLASCO LÓPEZ *et alii*, 2012a; BLASCO LÓPEZ & ALEJANDRE SÁNCHEZ, 2012b).

Además, era frecuente la adición de componentes al mortero para la modificación de sus características, generalmente sustancias que aceleraban, retrasaban el fraguado o bien lo endurecían. A pesar de que se conocen algunas sustancias utilizadas para este fin, realmente son muy pocos los datos de este periodo. Es probable la adición de cal, agua de cal así como de colas. De la misma manera, entre los endurecedores utilizados en este periodo se destacan el alumbre, un sulfato de aluminio y potasio, que favorecía el endurecimiento de los yesos (GÁRATE ROJAS, 1999).

Por otra parte, se ha puesto especial atención a estudios referentes a la policromía y la técnica de ejecución. Para ello se ha realizado una revisión de casos de monumentos de similar cronología como el Cuarto Real de Santo Domingo (GARCÍA, MEDINA, 2004), el oratorio de la Madraza de Yūsuf I (GARCÍA *et alii*, 2010a) (GARCÍA *et alii*, 2010b) o la Alhambra de Granada (GARCÍA, MEDINA, 2006), (RUBIO, 2010), (LÓPEZ *et alii*, 2005), (CARDELL-FERNÁNDEZ & NAVARRETE-AGUILERA, 2006) entre otros, ya que no existen estudios o investigaciones publicadas en los que se hayan realizado análisis de pigmentos o aglutinantes en yeserías de este periodo en el conjunto del Real Alcázar de Sevilla. Cabe destacar que se ha considerado oportuno incluir la información obtenida en los estudios efectuados en la fachada del Palacio de Pedro I (principalmente en el alero de madera de la misma pues ambas decoraciones son coincidentes en el tiempo) (LÓPEZ *et alii*, 2015).

Las técnicas de ejecución empleadas en las yeserías mudéjares son la talla y el molde. La técnica de la talla exigía un gran cuidado y laboriosidad, así como una gran pericia por parte de la persona que la ejecutaba lo que se traducía en acabados de gran delicadeza y belleza. Por otra parte, la técnica del molde permitía una reproducción sistemática de los motivos decorativos, pero a cambio se obtenían unos resultados más toscos que posteriormente eran refinados. La primera de ellas, la talla, es utilizada en época taifa, almorávide y almohade, alcanzando su mayor esplendor en época nazarí. En esta misma época a la técnica de la talla se incorporará la técnica del vaciado mediante moldes, empleándose desde ese momento ambas técnicas contemporáneamente (RUBIO DOMENE, 2006), (RUBIO, 2010), (GARCÍA *et alii*, 2010a), (GARCÍA *et alii*, 2010b). En cuanto a los aglutinantes, era frecuente la utilización de templetes en la realización de las policromías de yeserías originales (cola animal, goma arábiga o huevo). La cola animal se ha identificado, entre otros, en las yeserías del oratorio de la Madraza (GARCÍA *et alii*, 2010a); (GARCÍA *et alii*, 2010b) o en el Palacio de la Alhambra (GARCÍA *et alii*, 2006), mientras que la goma arábiga ha sido iden-

tificada en el Cuarto Real de Santo Domingo (GARCÍA *et alii*, 2006). En cuanto a la utilización de huevo, (RUBIO, 2010) afirma que su uso es bastante frecuente en las decoraciones originales de la Alhambra, habiéndose detectado su empleo como aglutinante en decoraciones musulmanas del s. XIII, XIV y XV, así como en algunas posteriores. Asimismo este aglutinante también se ha detectado en las yeserías que decoran el Corral del Carbón (BLANCA & BLANCA, 2012), conjunto que también se sitúa en la ciudad de Granada.

En lo referente al color, en las policromías originales es frecuente el empleo de azules, rojos, amarillos, verdes, negros y dorados; conformando una paleta cromática que en España es característica por sus colores vivos (GONZÁLEZ, 1995). Estos colores, como han demostrado los análisis publicados, se obtenían a partir de la utilización de pigmentos naturales de una gran calidad (RUBIO, 2010), (LÓPEZ *et alii*, 2005), (GARCÍA *et alii*, 2010a), (GARCÍA *et alii*, 2010b), (LÓPEZ *et alii*, 2015).

## 2.2. Documentación fotográfica y gráfica

La documentación fotográfica ha consistido en un barrido completo de la superficie con fotografías generales, parciales y de detalle, centrandó el interés en la identificación de policromía, en los problemas de conservación y en la documentación de posibles añadidos posteriores a la ejecución de la obra original (Fig. 5).

De forma paralela a la documentación fotográfica se han realizado calcos directos de algunos módulos decorativos. La utilización de este método para el estudio de las técnicas de ejecución resulta muy útil puesto que permite determinar con precisión las partes realizadas mediante la técnica del molde, evitando deformaciones o errores que en ocasiones inducen otros métodos de documentación. Además, permite señalar directamente en ellos información importante como líneas de unión entre placas, líneas incisas de dibujo, restos de color, alteraciones; así como otro tipo de detalles que pueden pasar desapercibidos en una visión más general (Fig. 6).



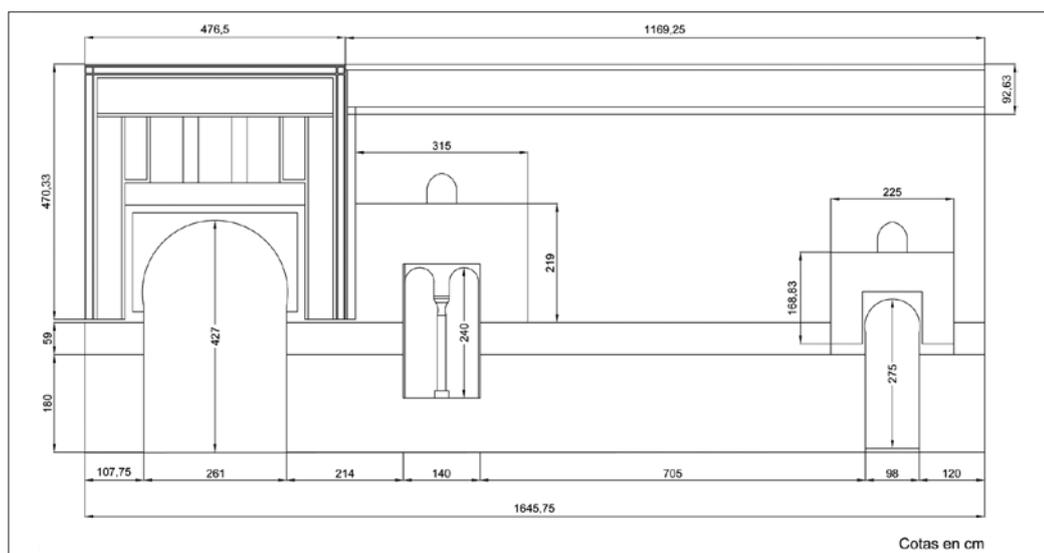
**Fig. 5.** Documentación restos de color a partir de dos catas de limpieza realizadas en dos zonas del paramento. En las catas realizadas puede comprobarse la existencia de restos de color bajo la aparente suciedad superficial así como la delicadeza del relieve original.



**Fig. 6.** Identificación de zonas realizadas mediante la técnica del molde en dos localizaciones diferentes. Dcha: Placa situada en la ventana occidental. Gracias a este método se comprueba que ambas placas son idénticas. Izqda: Placa situada en la puerta pequeña o de escape.

Para abordar un estudio exhaustivo de las policromías de esta zona resultaba primordial realizar un levantamiento gráfico. La toma de datos se ha realizado con un distanciómetro laser y la obtención del modelo bidimensional se ha trabajado principalmente con tres programas; Autodesk AutoCAD, Adobe Photoshop y Corel Draw Graphics Suite. Gracias a estos se ha podido generar una planimetría de base acotada sobre la que encajar a escala los diferentes módulos decorativos. La ventaja de la realización de este tipo de levantamientos, cuya efec-

tividad ha sido puesta de manifiesto en trabajos anteriores realizados por el equipo (GARCÍA *et alii*, 2010b), (COBA *et alii*, 2016), (CALERO, CASTILLO, 2016), es que permite una representación minuciosa de los detalles de este tipo de ornamentación bastante compleja, que a menudo se pierden cuando se utilizan programas que funcionan a base de vectores. Así, con la información recogida se ha podido llevar a cabo una planimetría de la superficie decorativa bastante precisa y realizar una restitución gráfica de los elementos que la componen (Fig. 7).



**Fig. 7.** Planimetría de la zona estudiada. Muro sur/este. Patio de las Doncellas. Real Alcázar de Sevilla.

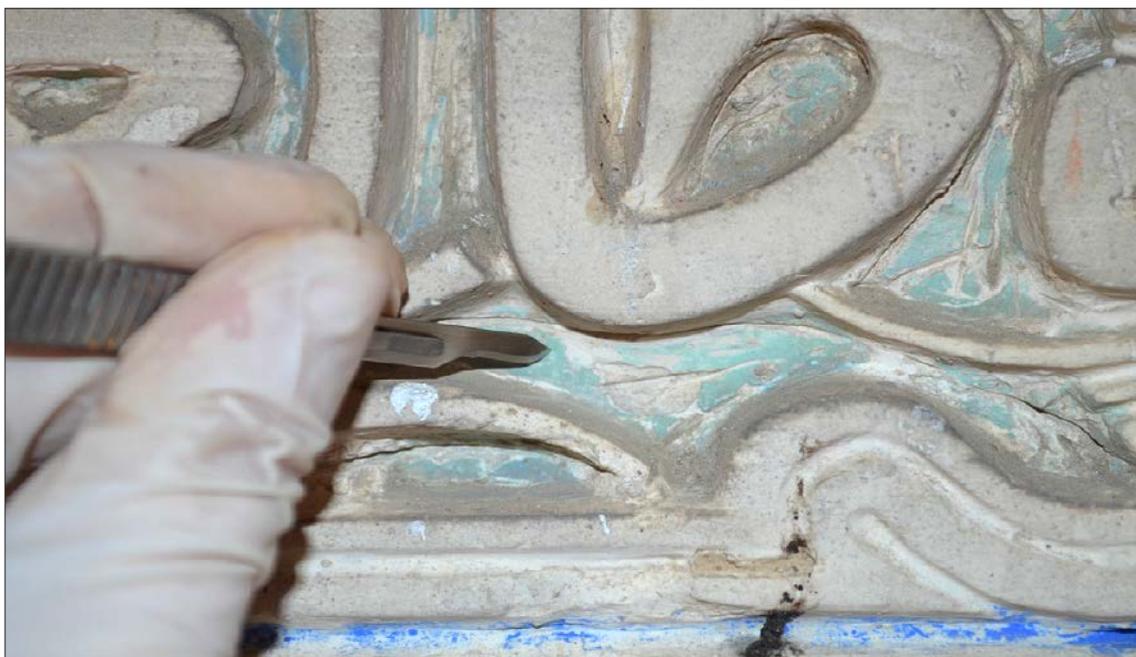
### 2.3. Muestreo

Los métodos instrumentales de análisis del Patrimonio seleccionados para este trabajo exigen la toma de muestra por lo que, teniendo en cuenta la información obtenida en las fases previas, se llevó a cabo un muestreo selectivo y de gran rigor, señalando de forma precisa su localización en el levantamiento gráfico generado. La toma de muestra, en este caso, pudo realizarse gracias a la disposición de un sistema de andamiaje móvil y de una cesta elevadora de mástil vertical que permitió muestrear prácticamente toda la superficie decorativa. La extracción se realiza con la ayuda de un escalpelo o bisturí en función de la dureza de la superficie, en fragmentos que no suelen superar los 0,5cm de espesor y con un peso que suele ser inferior a 1 gramo (Figura 8). Una vez obtenidas, éstas se conservan en un contenedor inerte, cuya composición no interfiera en los análisis posteriores y se etiquetan con el número de muestra correspondiente.

Hay que señalar en este caso que las decoraciones en yeso suelen presentar gruesas capas de cal y capas de policromías pos-

teriores a la original, por lo que el objetivo es conseguir información de todas las capas presentes en la decoración sin provocar daño a la obra. En particular, en el caso de la policromía, existe una gran dificultad para reconocer los colores originales debido tanto a las intervenciones posteriores a la ejecución, como a las alteraciones que presentan este tipo de materiales, ya que a los problemas de conservación que pueden sufrir las capas pictóricas se unen los del yeso que, siendo un material sensible a la humedad, suele perder cohesión, lo que evidentemente también afecta a las policromías.

A pesar de exigir la toma de muestra, los métodos instrumentales aportan grandes ventajas como la precisión, la exactitud y la reproducción de las medidas analizadas (GÓMEZ, 2008), por lo que es necesario realizarlos en este tipo de investigaciones. Como criterio general se han tomado aquellas más representativas de los diferentes elementos decorativos, muestreando las zonas en las que parecen conservarse mayores restos de policromía y tomando, como ya se ha dicho, la mínima cantidad posible para el análisis. Así, se han seleccionado un total de 155 a las



**Fig. 8.** Toma de muestra realizada con bisturí en el fondo de una de las cartelas epigráficas que rodean a la ventana occidental.

que, para su identificación, se les asignó un código alfanumérico representativo con tres niveles de denominación. PD-Y-X. PD (Patio de las Doncellas).Y (Yeserías), y en tercera posición el número identificativo de muestra X (Número de muestra). El mayor número se ha concentrado en la puerta de acceso al Salón del Techo de Carlos V puesto que es la zona donde se puso de manifiesto la existencia de un mayor número de estratos subyacentes.

De las 155 muestras, 133 han sido estudiadas con el objetivo de determinar e identificar las capas pictóricas, así como para la caracterización del último mortero (113 preparadas en láminas delgado-pulidas y 20 sin preparación); 10 muestras para el análisis específico de la composición del mortero mediante Difracción de Rayos X y 12 para el estudio de aglutinantes o fijativos (Fig. 9) (Tabla 1).

Las técnicas de análisis empleadas para este estudio han sido las siguientes:

## IDENTIFICACIÓN DE LOS PIGMENTOS QUE CONFORMAN LAS CAPAS PICTÓRICAS <sup>2</sup>

### 2.4. Análisis por microscopía estereoscópica

Este primer examen requiere una cantidad mínima de muestra y es muy útil para orientar las siguientes fases del estudio analítico pues permite seleccionar aquellas que son más representativas y de mayor interés. Además no requiere una preparación específica de la muestra, sino que esta puede analizarse directamente tal y como se recoge del paramento decorativo. Esta técnica permite realizar un análisis preliminar con la observación e identificación de los diferentes estratos de las capas pictóricas, láminas metálicas (oro, plata...), impregnación de aceites o resinas, así como la morfología del soporte. Para este análisis se ha utilizado un microscopio estereoscópico NIKON SMZ 1000 del que se obtuvieron microfotografías tanto de la superficie como



**Fig. 9.** Reconstrucción gráfica del paramento estudiado con el muestreo realizado.

2. Los análisis para la identificación del aglutinante han sido efectuados por el Dr. Enrique Parra Crego en la empresa LARCO QUÍMICA Y ARTE S.L.

del corte estratigráfico gracias a la cámara que lleva incorporada el dispositivo (DS-U3 Digital Camera). Los análisis fueron realizados en el laboratorio de investigación de la Facultad de Bellas Artes de Granada (Fig. 10).

## 2.5. Análisis por microscopía óptica

Este tipo de análisis requiere la preparación de las muestras extraídas por lo que, para esta fase del trabajo, las muestras se prepararon en láminas delgado-pulidas. Estas láminas se preparan a partir de las secciones transversales de las muestras que se pegan sobre un portaobjetos, generalmente de metacrilato, y se pule la superficie hasta obtener una lámina delgada de unas pocas micras de espesor. Una vez preparadas, estas láminas pueden estudiarse por luz reflejada, transmitida y mixta (reflejada+transmitida). Gracias a esta técnica de análisis puede estudiarse la sucesión de las capas pictóricas y su espesor, y la determinación del tamaño, la forma y el color de los granos de los pigmentos (GÓMEZ, 2008). En lo referente a pigmentos, esta técnica posibilita la observación de una serie de propiedades características (pleocroísmo, índice de refracción, línea de Becke, relieve, birrifringencia...) lo que permite estudiar y reconocer en esta fase algunos de ellos (DOMENECH Y YUSÁ, 2006).

Para este análisis se han utilizado los microscopios Carl Zeiss-Jena Jenalab y Olympus BX-0, éste último, equipado con un sistema de microfotografía DP-20, que ha posibilitado la obtención de una amplia documentación de microfotografías de todas las muestras, en ambos casos, con un polarizador y con polarizadores cruzados. Ambos microscopios se encuentran en el Departamento de Mineralogía y Petrología de la Universidad de Granada

## 2.6. Análisis por microscopía electrónica de barrido (SEM/EDX)

Una vez estudiadas con microscopía óptica, como puede comprobarse en la tabla aportada (Tabla 1), 113 muestras fueron metalizadas con una capa fina de carbono en el laboratorio de preparación de muestras del CIC de la Universidad de Granada para poder ser analizadas mediante microscopía electrónica de barrido. Este tipo de técnica emite un haz de electrones que recorre la superficie de la muestra, produciéndose al chocar con ella electrones secundarios, retrodispersados y rayos X característicos. Cada uno de ellos ofrece diferente información; con los electrones secundarios que provienen de la parte externa se forma la imagen de la superficie de la muestra, los electrones retrodispersados por



**Fig. 10.** Imágenes de microscopía óptica. Izqda: Imagen de la muestra. PD-Y-135 en la que se identifican capas sucesivas de color y un encalado entre las diversas capas. Dcha: Imagen de la muestra PD-Y-131 en la que se identifican restos metálicos de una capa dorada.

haber impactado con los núcleos atómicos provienen de niveles internos de la muestra y forman una imagen de la distribución de sus elementos constitutivos (LÓPEZ, 1999). De esta forma, a partir de la obtención de imágenes de la micromuestra preparada se puede conocer la estructura que presenta su superficie y su sección transversal, morfología de los granos, cristales, así como todos aquellos datos derivados que, a partir de esta información se puedan obtener mediante el tratamiento de las imágenes. Por otra parte, la obtención de espectros de rayos X por dispersión de energías permiten conocer la composición elemental de una zona específica de la muestra estudiada (DOMENECH CARBÓ & YUSÁ MARCO, 2006). Además, la posibilidad de analizarlas sin preparación directamente en el portamuestras, cuyo análisis se ha efectuado a 20 muestras, ha permitido obtener información en la última fase de estudio que ha sido determinante para la elaboración de las conclusiones finales.

Las imágenes electrónicas y los microanálisis por dispersión de energía se han realizado con los microscopios Leo Gemini 1530 y Leo 1430 VP, equipados los dos con sistemas de microanálisis por dispersión de energía de rayos X Inca 350 versión 17 de Oxford Instrument. En los microanálisis puntuales se ha empleado una corriente de filamento de 500pA, 20keV de energía del haz y 10 eV/ch de resolución espectral. Los mapas de rayos X se han adquirido con el segundo de los equipos nombrados, usando un 1 nA de corriente del filamento y 20 eV/ch de resolución.

## IDENTIFICACIÓN DE AGLUTINANTES

En general, se puede decir que el análisis de los materiales orgánicos que forman parte de los bienes culturales, es en general mucho más difícil que el de los materiales inorgánicos ya que “la mayoría de las veces son mezclas complejas de macromoléculas y solo pueden disponerse en cantidades de muestras muy pequeñas”. Los materiales orgánicos naturales originales, pueden estar acompañados, como ya se ha comentado, de productos de degra-

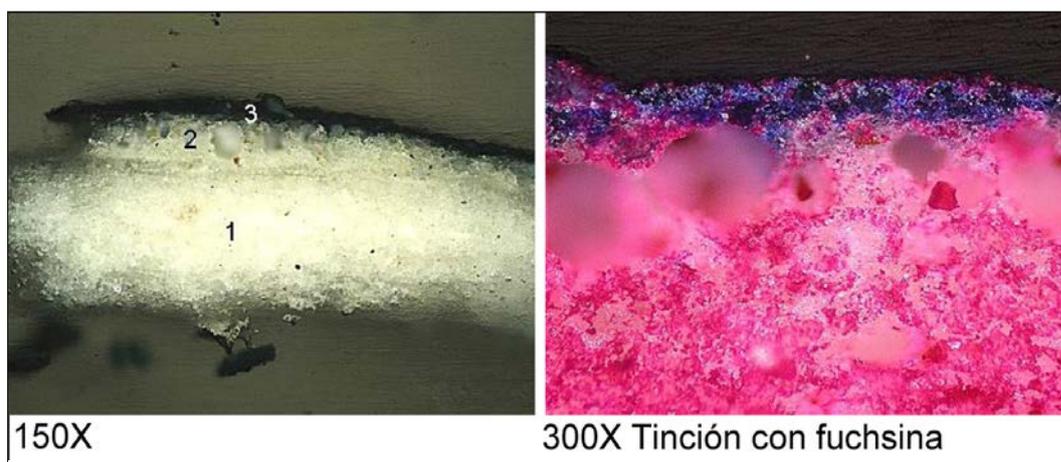
dación, por lo que es muy difícil determinar con precisión el tipo del material del que se trata (GUTIERREZ, 1997: 58).

## 2.7. Cromatografía de gases (GC-MS)

Como paso previo al análisis mediante cromatografía de gases se ha realizado un estudio y análisis preliminar, empleando ensayos microquímicos y de coloración selectiva, observando las muestras mediante microscopía óptica. Este tipo de análisis se lleva a cabo en un portaobjetos y sirve como una primera aproximación al análisis cualitativo. En el caso de la identificación de aglutinantes, barnices y adhesivos, que es el caso que nos ocupa, estos materiales están compuestos generalmente por aceites secantes, resinas diterpénicas, proteínas, polisacáridos y mezclas naturales o artificiales de algunos de estos componentes. Se utilizan para este fin métodos microscópicos de coloración y de calentamiento para la determinación de ciertos grupos y su localización, cuyo ensayo se realiza sobre los cortes estratigráficos o láminas delgadas dando lugar a la formación de compuestos coloreados o de productos fluorescentes cuya información resulta muy útil como paso previo a la aplicación de los métodos cromatográficos (GÓMEZ, 2008). (Fig. 11).

Los métodos cromatográficos separan los productos orgánicos existentes en los materiales artísticos aun cuando existen cantidades muy pequeñas de material. Para este estudio se ha empleado la cromatografía en fase gaseosa acoplada a espectrometría de masas para la determinación de sustancias lipófilas, como aceites secantes, resinas y ceras; y de sustancias hidrófilas, como las proteínas y las gomas-polisacárido (goma arábica y productos afines).

Para los análisis de sustancias lipófilas, las muestras se tratan con el reactivo de metilación Meth-prep II. Para las proteínas se lleva a cabo una hidrólisis con HCl 6M asistida por microondas y una derivatización con TBDMS-TFA en piridina de los ácidos grasos, aminoácidos resultantes. Para los hidratos de carbono el mismo hidrolizado se deriva



**Fig. 11.** Análisis preliminar al empleo de la cromatografía de gases de la muestra PD-Y-82. Izqda. Identificación de capas por microscopía óptica. Dcha. La muestra analizada fue teñida con FA (fucsina ácida), de modo que, al reaccionar con el colorante tomó una coloración rosada lo que determinó en esta primera fase que la naturaleza del aglutinante era proteica por medio de la tinción.

con isopropanol-HCl y posteriormente con anhídrido trifluoroacético en acetonitrilo. Este último análisis es universal y ofrece también información de los lípidos, terpenos, hidrocarburos y aminoácidos si es que estuvieran presentes.

Los análisis han sido llevados a cabo por el doctor Enrique Parra Crego en los laboratorios de LARCO QUÍMICA Y ARTE S.L.

## 2.8. Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

Este tipo de técnica se emplea para la identificación de moléculas orgánicas (adhesivos consolidantes, barnices, aglutinantes, colorantes, disolventes, humectantes y fibras a partir de la determinación de la naturaleza química de las bandas y al ser una técnica espectroscópica está basada en la interacción de la radiación electromagnética con la materia (GÓMEZ, 2008).

En este trabajo se ha empleado principalmente en el análisis de las preparaciones y los componentes de recubrimientos o barnices. Existen diversos procedimientos para la pre-

paración de muestras para análisis por espectrometría infrarroja siendo uno de los más utilizados, el de la preparación de pastillas de bromuro potásico. Este compuesto se utiliza por ser transparente a la radiación infrarroja por lo que no interfiere en la identificación de los componentes de la muestra y por lo tanto no contamina los resultados obtenidos en los análisis (GUTIERREZ, 1997).

Este método consiste en moler unos pocos miligramos de la muestra con bromuro potásico en mortero de ágata. La mezcla obtenida se prensa y se introduce en el compartimiento de muestras para obtener el espectro correspondiente gracias al cual se puede obtener información acerca de la composición de la misma (GUTIERREZ, 1997).

En este trabajo los análisis, se han llevado a cabo entre 4400  $\text{cm}^{-1}$  y 370  $\text{cm}^{-1}$ , en pastillas de KBr o mediante análisis superficial usando la técnica UATR (Universal Attenuated Total Reflectance).

Los análisis han sido llevados a cabo por el doctor Enrique Parra Crego en los laboratorios de LARCO QUÍMICA Y ARTE S.L.

## IDENTIFICACIÓN DEL MORTERO

### 2.9. Difracción de rayos X (XRD)

Este análisis es fundamental en este tipo de trabajos pues permite estudiar la estructura de las sustancias cristalinas e individualizar los diferentes componentes (fases cristalinas) presentes en una mezcla de sustancias sólidas. Para obtener esta información, se muele la muestra en mortero de ágata hasta obtener un polvo muy fino, colocando una pequeña parte de la misma en un portamuestras de aluminio (SANZ, 2009). Una vez que las muestras han sido analizadas, se obtienen bandas características que se comparan con patrones existentes a partir de un sistema de tratamiento informático (GÓMEZ GONZÁLEZ, 2008). Gracias a ello se han obtenido diagramas de difracción de rayos X de todas las muestras analizadas a partir de los cuales ha sido posible identificar las fases minerales cristalinas constituyentes del mortero, así como cuantificar su proporción.

En este caso se han utilizado 10 muestras para su análisis debido a la escasez de material disponible. El número tan reducido de muestras estuvo condicionado fundamentalmente por la dificultad de acceder a estratos

del mortero profundos sin ocasionar una agresión importante para la obra. Por ello, en este trabajo, los resultados que se obtienen de la difracción de rayos X (DRX), se complementan con el estudio del mortero realizado por microscopía electrónica de barrido (SEM-EDX) en aquellas muestras que presentan restos de esta capa. En este sentido, hay que recordar que el objetivo fundamental de este trabajo es el estudio de la policromía del Patio de las Doncellas, y que por lo tanto el conocimiento del mortero interesa fundamentalmente para la determinación de alteraciones y la identificación de añadidos.

El equipo que se ha utilizado para la realización de este estudio ha sido un difractor PANalytical X'Pert Pro con detector lineal de estado sólido X' Celerator del Departamento de Mineralogía y Petrología de la Universidad de Granada. Las condiciones experimentales han sido las siguientes: radiación  $\text{CuK}\alpha$  45Kv de potencial y 40mA de intensidad. Los diagramas de difracción se han realizado usando un barrido continuo entre  $3^\circ$  y  $50^\circ$  de  $2\theta$ , 20 segundos de tiempo de medida en cada paso y una velocidad de barrido de  $3^\circ$  de  $2\theta$  por minuto. Para el procesamiento de los datos y la identificación de compuestos se ha utilizado el programa X Powder.

**Tabla 1.** Relación de muestras analizadas en las yeserías del Patio de las Doncellas

ANÁLISIS. YESERÍAS PARAMENTO SUR/ESTE PATIO DE LAS DONCELLAS. REAL ALCÁZAR DE SEVILLA								
MUESTRA	TÉCNICAS DE ANÁLISIS APLICADAS						CARACTERÍSTICA DE LA MUESTRA	
	MICROSC. ESTE-REOSCÓPICO	MICROSC. ÓPTICO	SEM/EDX	GC	FTIR	DRX	COLOR SUPERFICIAL	LOCALIZACIÓN MUESTRA
PD-Y-1	X	X	X				Azul	Fondo epigrafía latina
PD-Y-2	X	X	X				Amarillo	Venera
PD-Y-3	X	X	X				Dorado	Venera
PD-Y-4	X	X	X				Azul	Borde escudo de la banda
PD-Y-5	X	X	X				Amarillo	Zona externa palma
PD-Y-6	X	X	X				Dorado	Castillo
PD-Y-7	X	X	X				Rojo	Interior palmas rojas
PD-Y-8	X	X	X				Negro	Interior escudo de la banda
PD-Y-9	X	X	X				Rojo	Interior palmas rojas
PD-Y-10	X	X	X				Rojo	Interior palmas rojas
PD-Y-11	X	X	X				Azul	Interior palmas azules
PD-Y-12	X	X	X				Dorado	Cabeza león celosía
PD-Y-13	X	X	X				Rojo	Fondo palmas pequeñas

PD-Y-14	X	X	X				Azul	Fondo banda decorativa
PD-Y-15	X	X		X	X		Dorado	Cabeza león celosía
PD-Y-16	X	X	X				Dorado	Exterior celosía izquierda
PD-Y-17	X	X	X				Azul	Fondo palmas
PD-Y-18	X	X	X				Azul	Fondo celosía
PD-Y-19	X	X		X	X		Azul	Banda decorativa intermedia
PD-Y-20	X	X	X				Oro	Angrelado arco mayor
PD-Y-21	X	X	X				Azul	Angrelado arco mayor
PD-Y-22	X	X	X				Azul	Angrelado arco mayor
PD-Y-23	X	X	X				Verde	Decoración moldurada arco
PD-Y-24	X	X	X				Azul	Angrelado arco mayor
PD-Y-25	X	X	X				Rojo	Fondo piña intradós
PD-Y-26	X	X	X				Dorado	Fondo venera intradós
PD-Y-27	X	X	X				Azul	Borde exterior venera
PD-Y-28	X	X	X				Dorado	Parte externa celosía central
PD-Y-29	X	X	X				Dorado	Rostro celosía central
PD-Y-30	X	X	X				Verde	Interior celosía izquierda
PD-Y-31	X	X	X				Ocre	Moldura entre celosías
PD-Y-32	X	X	X				Ocre	Moldura entre celosías
PD-Y-33	X	X	X				Verde	Interior celosía central
PD-Y-34	X	X	X				Azul	Moldura decorativa media
PD-Y-35	X	X	X				Verde	Albanega derecha arco central
PD-Y-36	X	X	X				Dorado	Albanega derecha
PD-Y-37	X	X	X				Rojo	Fondo intradós
PD-Y-38	X	X	X				Amarillo	Epigrafía taqa
PD-Y-89	X	X	X				Dorado	Angrelado taqa
PD-Y-40	X	X	X				Rojo	Interior moldura intradós
PD-Y-41	X	X	X				Azul	Borde exterior intradós
PD-Y-42	X	X	X				Rojo	Angrelado intradós
PD-Y-43	X	X	X				Rojo	Fondo palmas pequeñas
PD-Y-44	X	X	X				Azul	Fondo palmas epigrafía latina
PD-Y-45	X	X	X				Rojo	Palmetas banda lateral
PD-Y-46	X	X	X				Azul	Cenefas verticales laterales
PD-Y-47	X	X	X				Rojo	Fondo epigrafía islámica
PD-Y-48	X	X	X				Azul	Fondo palmas laterales
PD-Y-49	X	X	X				Dorado	León laterales
PD-Y-50	X	X	X				Rojo	Fondo palmas pequeñas
PD-Y-51	X	X	X				Azul	Fondo epigrafía latina
PD-Y-52	X	X	X				Amarillo	Borde epigrafía latina
PD-Y-53	X	X		X	X		Rojo	Fondo palmas
PD-Y-54	X	X	X				Verde	Fondo medallones friso infer.
PD-Y-55	X	X	X				Dorado	Castillo lateral derecho
PD-Y-56	X	X	X				Dorado	León dorado medallón
PD-Y-57	X	X		X	X		Dorado	Clave intradós
PD-Y-58	X	X		X	X		Azul	Fondo sebka ventana
PD-Y-59	X	X	X				Azul	Fondo palmas medallón
PD-Y-60	X	X	X				Dorado	Exterior medallón
PD-Y-61	X	X	X				Dorado	León medallón lobulado
PD-Y-62	X	X	X				Dorado	Borde exterior medallón

PD-Y-63	X	X	X				Azul	Fondo epigrafía friso inferior
PD-Y-64	X	X	X				Azul	Fondo medallón lobulado
PD-Y-65	X	X	X				Azul	Fondo epigrafía friso inferior
PD-Y-66	X	X	X				Azul	Fondo epigrafía friso superior
PD-Y-67	X	X	X				Azul	Cartela epigráfica vertical
PD-Y-68	X	X	X				Amarillo	Borde estrella
PD-Y-69	X	X	X				Azul	Fondo entrecalle
PD-Y-70	X	X	X				Azul	Fondo entrecalle
PD-Y-71	X	X	X				Rojo	Fondo estrella
PD-Y-72	X	X	X				Rojo	Fondo estrella
PD-Y-73	X	X	X				Rojo	Interior elemento epigrafía
PD-Y-74	X	X	X				Rojo	Epigrafía friso superior
PD-Y-75	X	X	X				Rojo	Epigrafía friso superior
PD-Y-76	X	X	X				Rojo	Interior elemento epigrafía
PD-Y-77	X	X	X				Rojo	Fondo estrella
PD-Y-78	X	X	X				Negro	Fondo estrella
PD-Y-79	X	X	X				Amarillo	Exterior elemento epigrafía
PD-Y-80	X	X	X				Amarillo	Borde elemento decorativo
PD-Y-81	X	X	X				Azul	Fondo sebka ventana
PD-Y-82	X	X		X	X		Azul	Borde externo intradós
PD-Y-83	X	X	X				Rojo	Fondo epigrafía ventana
PD-Y-84	X	X	X				Amarillo	Borde epigrafía
PD-Y-85	X	X	X				Azul	Fondo epigrafía
PD-Y-86	X	X	X				Verde	Fondo sebka ventana
PD-Y-87	X	X	X				Azul	Fondo cartelas ventana
PD-Y-88	X	X	X				Amarillo	Borde externo sebka ventana
PD-Y-89	X	X	X				Azul	Sebka interior ventana
PD-Y-90	X	X	X				Azul	Sebka interior ventana
PD-Y-91	X	X	X				Azul	Sebka interior ventana
PD-Y-92	X	X	X				Azul	Sebka interior ventana
PD-Y-93	X	X	X				Azul	Sebka interior ventana
PD-Y-94	X	X	X				Rojo	Remate superior ventana
PD-Y-95	X	X	X				Azul	Angrelado ventana
PD-Y-96	X	X	X				Azul	Albanega ventana
PD-Y-97	X	X	X				Verde	Albanega ventana
PD-Y-98	X	X	X				Amarillo	Borde puerta escape
PD-Y-99	X	X		X	X		Azul	Interior panel octógonos
PD-Y-100	X	X		X	X		Dorado	Borde medallón lobulado
PD-Y-101	X	X		X	X		Rojo	Epigrafía friso superior
PD-Y-102	X	X		X	X		Azul	Fondo medallón lobulado
PD-Y-103	X	X		X	X		Azul	Fondo epigrafía friso inferior
PD-Y-104	X		X				Azul	Fondo epigrafía puerta escape
PD-Y-105	X		X				Verde	Panel decorativo puerta esc.
PD-Y-106	X		X				Azul	Fondo panel octógonos
PD-Y-107	X		X				Verde	Remate superior puerta esc.
PD-Y-108	X		X				Verde	Albanega puerta escape
PD-Y-109	X		X				Azul	Angrelado puerta escape
PD-Y-110	X		X				Rojo	Interior friso superior
PD-Y-111	X		X				Rojo	Interior friso superior

PD-Y-112	X		X				Azul	Fondo remate superior ven.
PD-Y-113	X		X				Azul	Fondo palmas
PD-Y-114	X		X				Rojo	Banda de yeso lisa superior
PD-Y-115	X		X				Azul	Fondo lateral izquierdo
PD-Y-116	X		X				Verde	Fondo celosía izquierda
PD-Y-117	X		X				Azul	Turbante figura celosía izqd.
PD-Y-118	X		X				Azul	Albanega ventana
PD-Y-119	X		X				Azul	Fondo epigrafía lateral
PD-Y-120	X		X				Ocre	Borde externo moldura media
PD-Y-121	X		X				Ocre	Moldura lisa media
PD-Y-122	X		X				Rojo	Interior elemento friso super.
PD-Y-123	X		X				Amarillo	Venera
PD-Y-124	X	X	X				Rojo	Fondo palmas
PD-Y-125	X	X	X				Rojo	Fondo palmas
PD-Y-126	X	X	X				Azul	Interior celosía izquierda
PD-Y-127	X	X		X	X		Amarillo	Angrelado arco
PD-Y-128	X	X	X				Azul	Angrelado arco
PD-Y-129	X	X	X				Azul	Intradós arco
PD-Y-130	X	X	X				Verde	Interior celosía derecha
PD-Y-131	X	X	X				Verde	Interior celosía izquierda
PD-Y-132	X	X	X				Azul	Fondo moldura entre celosías
PD-Y-133	X	X	X				Rojo	Fondo intradós
PD-Y-134	X	X	X				Verde	Fondo epigrafía lateral
PD-Y-135	X	X	X				Dorado	León interior medallón
PD-Y-136	X	X	X				Dorado	Borde medallón
PD-Y-137	X	X	X				Azul	Interior elemento friso inf.
PD-Y-138	X	X	X				Azul	Interior elemento friso inf.
PD-Y-139	X	X	X				Azul	Fondo epigrafía friso superior
PD-Y-140	X	X	X				Azul	Entrecalle
PD-Y-141	X	X	X				Azul	Interior elemento friso sup.
PD-Y-142	X	X	X				Rojo	Interior elemento epigrafía
PD-Y-143	X	X	X				Verde	Fondo sebka
PD-Y-144	X	X	X				Azul	Remate superior ventana
PD-Y-145	X	X	X				Azul	Albanega ventana
PD-Y-146						X	Soporte	Banda decorativa lateral izquierda. Puerta de acceso al salón del techo de Carlos V.
PD-Y-147						X	Soporte	Zona externa escudo de la banda. Friso superior. Puerta de acceso al salón del techo de Carlos V.
PD-Y-148						X	Soporte	Albanega derecha. Puerta de acceso al salón del techo de Carlos V.
PD-Y-149						X	Soporte	Albanega Ventana occidental.
PD-Y-150						X	Soporte	Interior estrella. Friso superior.
PD-Y-151						X	Soporte	Banda epigráfica. Friso superior.
PD-Y-152						X	Soporte	Cartela epigráfica. Friso inferior.
PD-Y-153						X	Soporte	Cartela epigráfica. Friso inferior.
PD-Y-154						X	Soporte	Albanega. Puerta pequeña o de escape.
PD-Y-155						X	Soporte	Interior elemento decorativo. Intradós puerta de acceso al salón del techo de Carlos V.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Análisis del soporte

Los resultados de esta investigación, para las distintas muestras estudiadas, ha evidenciado un componente mayoritario de yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), que en tres muestras llegó a ser del 100% (Fig. 12). En segundo lugar se ha identificado calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), detectándose en dos muestras en considerable proporción, (80%), probablemente correspondientes a una capa de cal o un grumo de este material en el conjunto del mortero. La presencia de

cuarzo es minoritaria en la mayor parte de las muestras por lo que este compuesto no debió añadirse de forma intencionada a la formulación del material de base. La detección de otros compuestos como anglesita ( $\text{PbSO}_4$ ) o anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ ) es puntual por lo que no se ha considerado de importancia en los análisis efectuados (Tabla 2).

En cualquier caso, no se puede olvidar que se trata de análisis puntuales de materiales artesanales, que en ocasiones, no son completamente homogéneos.

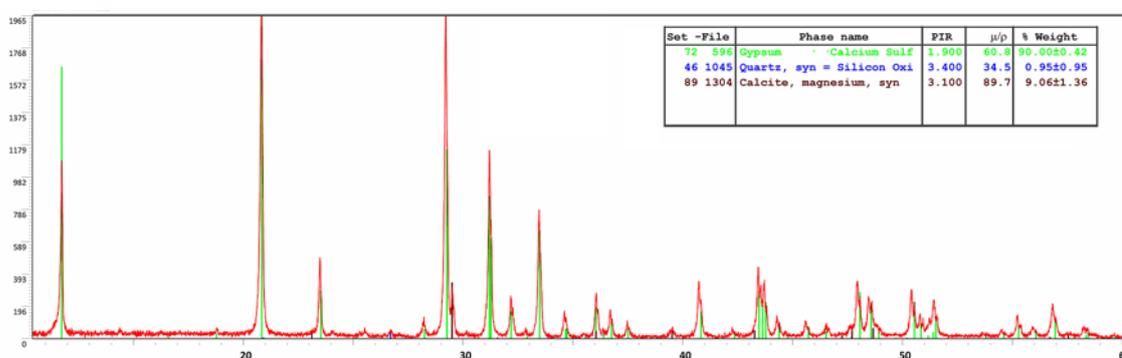


Fig. 12. Espectro resultante del análisis de la muestra PD-Y-155 en la que puede observarse una proporción mayoritaria de calcita (verde), cuarzo (azul) y calcita (negro).

Tabla 2. Resultados de los análisis por Difracción de Rayos X

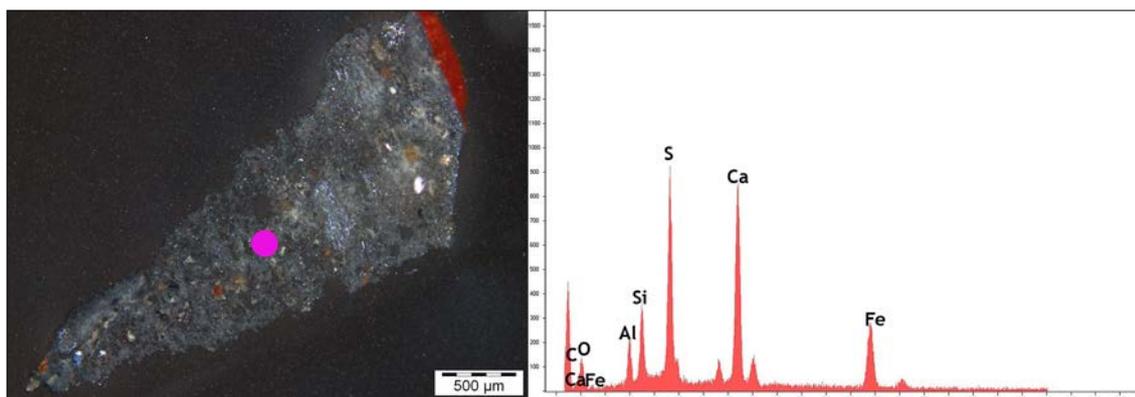
RESULTADOS DEL ESTUDIO DEL SOPORTE. TÉCNICA DRX.						
Material	Yeso	Calcita	Cuarzo	Hidrocerusita	Anglesita	Anhidrita
Composición	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{CaCO}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$	$\text{PbSO}_4$	$\text{CaSO}_4$
PD-Y-146A	60	15	10			15
PD-Y-146B	68		2			30
PD-Y-147	92	5	3			
PD-Y-148	55			trazas	45	
PD-Y-149A	94	5	1			
PD-Y-149B	92	7	1			
PD-Y-150A	18	80	2			
PD-Y-150B	93	7				
PD-Y-151A	91	7	2			
PD-Y-151B	69	30	1			
PD-Y-152A	100					
PD-Y-152B	100					
PD-Y-153A	87	12	1			
PD-Y-153B	20	78	2			
PD-Y-154A	100					
PD-Y-154B	95		5			
PD-Y-154C	99		1			
PD-Y-155	90	9	1			

Como se dijo en el apartado de metodología, se han empleado como técnicas complementarias para el estudio del soporte el microscopio óptico y el microscopio electrónico de barrido, lo que ha aportado una información importante. En la mayoría de las muestras examinadas se ha podido observar que en los niveles inferiores se detectan dos estratos de yeso diferentes, que posiblemente respondan a los originales. Uno de ellos se caracteriza por ser un “yeso oscuro” que se identifica por presentar un alto contenido de aluminosilicatos (tierras), dolomita o calcita y en algunos casos, celestina (Fig. 13). Dichos estratos suelen tener una granulometría gruesa, textura poco homogénea y un color terroso/tostado según las muestras.

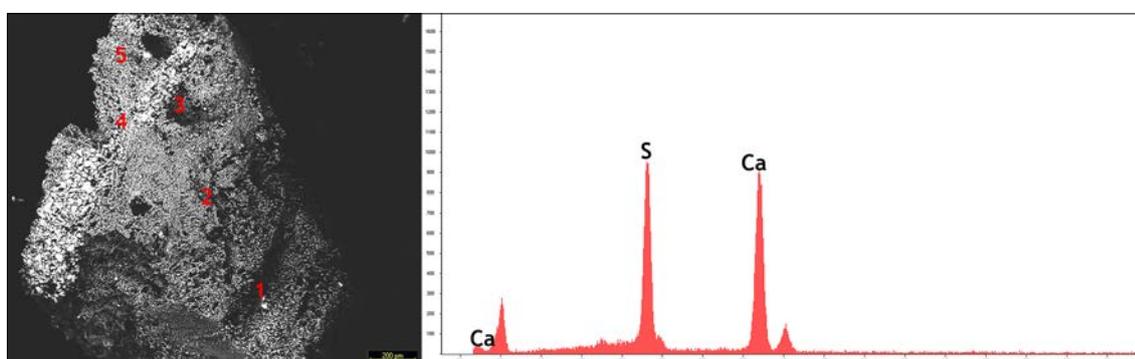
El segundo tipo de yeso, base de la policromía, se define, en la mayor parte de los casos, por ser un mortero muy blanco, de una

elevada pureza en los que se detecta solo yeso o yeso y calcita, presentando en ocasiones una pequeña proporción de silicio (Fig. 14). Además hay que destacar que en un número considerable de muestras se identifica una presencia importante de aluminio. Esto se ha atribuido a que fuese un aditivo del mortero empleado para el endurecimiento de los yesos (TURCO, 2001), (GÁRATE, 1990) o bien a una impureza presente en el material de base.

De estos datos se deduce que las yeserías originales de esta zona son pastas de yeso, compuestas fundamentalmente por sulfato cálcico (dihidrato) con mayor o menor cantidad de impurezas según los casos (aluminosilicatos, tierras, dolomitas, celestina) y en casos puntuales con incorporación de aditivos como cal o sulfato de aluminio con el objetivo de modificar sus propiedades.



**Fig. 13.** Imagen de SEM de la muestra PD-Y-9. Izqda. Imagen general de la muestra por microscopía electrónica (Lámina delgada). Dcha. Espectro obtenido de un área (punto morado) en el que se observa que el componente mayoritario de la capa de base es yeso, pero que también se detectan otros elementos como Al, Si, o Fe.



**Fig. 14.** Imagen de SEM de la muestra PD-Y-118. Izqda. Imagen general de la muestra y señalización de los diferentes análisis efectuados por EDX. Dcha. Espectro obtenido (1) en el que se observa que el componente mayoritario de la capa de base es yeso.

En cuanto a los estratos superpuestos se observan sucesivas capas de cal, en ocasiones de un grosor considerable, sobre las que se identifican pigmentos industriales que permiten su datación como intervenciones recientes (Fig. 15).

Respecto a la técnica de ejecución de los yesos originales se ha constatado la utilización de dos técnicas (talla y molde) en un mismo momento constructivo. Por ese motivo las muestras en las que se identifica el primer tipo, “yeso negro” corresponden a zonas que probablemente se hayan realizado talladas ya que se localizan en áreas concretas como el intradós del arco de la puerta principal o las albanegas de la puerta pequeña. Sus características se corresponden con esta técnica al presentar elementos irregulares y no repetitivos. En cambio, el segundo tipo “mortero blanco” se relaciona con las ejecutadas mediante técnica de molde, pues además de las diferencias en la composición, de mayor pureza, se localizan en sitios donde se manifiestan claramente líneas de unión entre placas y motivos idénticos como se ha comprobado con los calcos realizados.

### 3.2. Policromía

La información que se presenta sobre el estudio de las capas de color se ha extraído, tal y como se expuso en la metodología, a partir de los datos recopilados del análisis de las muestras por microscopía estereoscópica, microscopía óptica y SEM/EDX tanto de las muestras preparadas en láminas delgadas como de aquellas sin preparar. La información proporcionada por microscopía estereoscó-

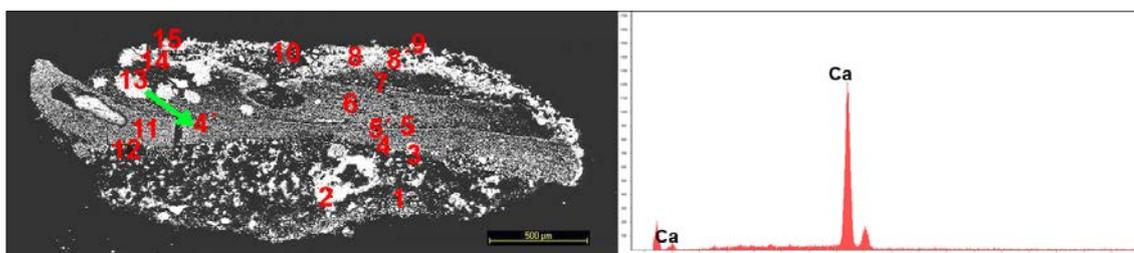
pica y óptica ha sido esencial para identificar el color y las sucesivas capas. Estos datos son de gran importancia para realizar los análisis por SEM/EDX, que se ejecutan el último lugar donde se obtiene una imagen en alta resolución de la muestra que permite analizar su morfología (tamaño de los cristales, sucesión de capas, características morfológicas...) así como conocer su composición elemental a partir de los espectros obtenidos.

El estudio ha confirmado que a través del tiempo, al menos se han utilizado siete colores en la policromía de las yeserías: azul, blanco, rojo, verde, negro, amarillo y dorado; siendo los colores rojo, verde y azul los predominantes en las yeserías del paramento. Las capas pictóricas no siempre se prepararon utilizando los mismos materiales, lo que ha contribuido en gran parte a su datación cronológica, pues se ha comprobado que, mientras en las capas más profundas se suelen aplicar pigmentos naturales de una gran riqueza y calidad, en las superficiales éstos han sido sustituidos por pigmentos sintéticos de producción industrial, propios de la revolución científica del s. XVIII (GARCÍA, MEDINA, 2004).

Los pigmentos identificados han sido los siguientes:

#### Azules

**Azurita natural.**  $Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$ : Es un pigmento muy empleado en las capas profundas de las yeserías de la zona estudiada y por tanto se asocia a estratos originales. Suele detectarse sola, aunque en ocasiones aparece mezclada con blanco de plomo, probable-



**Fig. 15.** Análisis de SEM de la muestra PD-Y-33 (Lámina delgada). Izqda. Imagen general de la muestra y señalización de los diferentes análisis efectuados por EDX. Dcha. Espectro obtenido (4') en el que se observa el componente mayoritario de la capa, en este caso de cal.

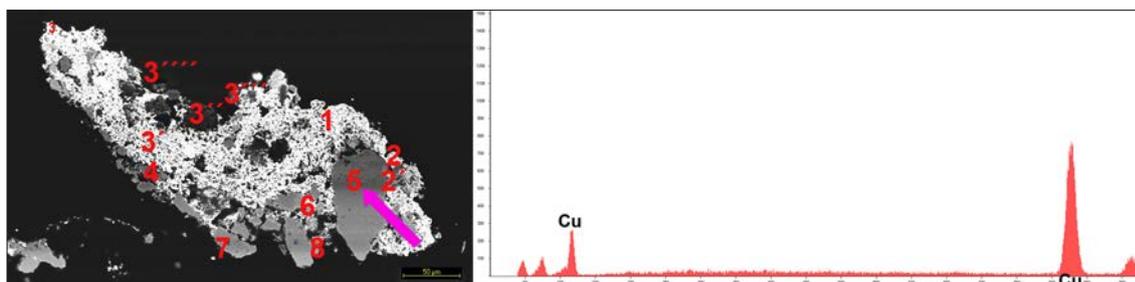
mente para modificar ligeramente su tono y dar consistencia a la capa. La observación realizada mediante microscopía óptica y SEM ha permitido conocer que presenta morfologías muy características con formas irregulares, contornos bien definidos y tamaños variables que oscilan entre las 5 y 90  $\mu\text{m}$ . Estas características demuestran la molienda natural del pigmento, así como su elevada calidad. Además, el análisis elemental realizado en los distintos cristales, ha permitido identificar de manera inequívoca el pigmento debido a la presencia de Cu (Fig. 16). Hay que añadir que en algunas de las muestras analizadas, se detectan ligeras tonalidades verdosas en el pigmento, propias de la alteración del material provocadas por ambientes salinos. En las muestras en las que se identifica esta alteración, el análisis elemental revela la presencia de cloro en la muestra y por lo tanto la formación de atacamita (cloruro de cobre hidratado).

La identificación de azurita natural en las capas inferiores, y por tanto originales coincide con los resultados expuestos en obras de similar cronología como el Cuarto Real de Santo Domingo (GARCÍA, MEDINA, 2004) o las yeserías y alero de la Fachada de Pedro I (LÓPEZ, 2012) entre otras.

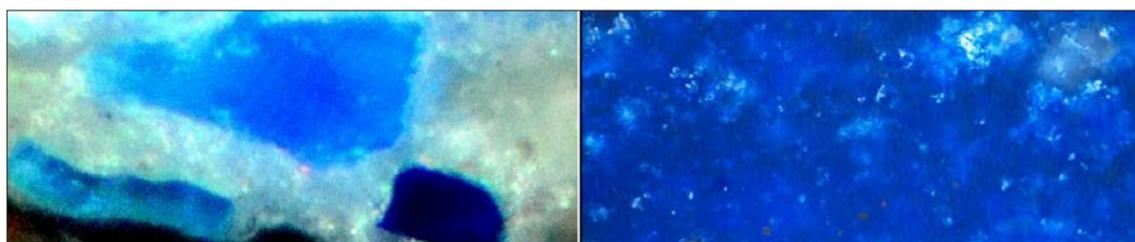
**Azurita artificial.**  $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ . Es la versión sintética del pigmento azurita natural, en uso desde el s. XVI-XVII, por lo que su identificación contribuye a esclarecer la cronología de las capas en las que se identifica. Respecto a su identificación, tanto en microscopía óptica como en SEM se observa que el tamaño de partícula es más homogéneo y pequeño que el de la azurita natural y además presenta formas esferulíticas típicas del material sintético, aunque no son apreciables en todos los granos ya que algunos aparecen muy degradados y, por tanto, destruida su morfología (GETTENS Y WEST, 1991:23-37) (Fig. 17).

En todos los casos aparece en los estratos superficiales, sobre capas de cal, correspondiendo a repolicromados posteriores a la obra original y nunca sola sino mezclada con blanco de plomo, verde esmeralda o azul ultramar artificial (los dos últimos pigmentos industriales).

**Azul ultramar.**  $\text{Na}_3\text{Ca}(\text{Al}_3\text{Si}_3)\text{O}_{12}\text{S}$ . Aparece siempre en el nivel más moderno y, en todos los casos, como industrial debido a su pequeño tamaño de grano, así como a su posición en las muestras pues siempre se localiza en el nivel más externo de las mismas. Además



**Fig. 16.** Análisis de SEM. Izqda. Identificación de granos de azurita natural en la parte inferior de la muestra PDY40 (Lámina delgada). Dcha. Espectro resultante del microanálisis EDX realizado en el que se observa la identificación inequívoca de Cu y por tanto identificativa del pigmento azurita natural.



**Fig. 17.** Imágenes de microscopía óptica. Izda. Imagen correspondiente a una muestra de azurita natural. Dcha. Imagen correspondiente a una muestra de azurita artificial.

el pigmento natural suele presentarse con formas irregulares, un considerable tamaño de grano, y acompañado de calcita y pirita lo que no ocurre en ninguna de las muestras analizadas. La identificación de este pigmento en la investigación es de gran relevancia pues nos ha permitido datar el nivel de policromía en el que se detecta ya que este pigmento se sintetizó en 1828 (SAN ANDRÉS, 2012:25-53). Es muy característico, pues presenta un color azul muy intenso que ofrece gran poder de coloración (Figs. 17, 18). Los cristales presentan una granulometría irregular que no suelen superar las 10  $\mu\text{m}$  y en ocasiones aparece mezclado con blanco de plomo. La identificación se confirma por la identificación de Na, Al, Si, S en el espectro obtenido en el análisis de EDX

### Blancos

**Blanco de plomo.**  $\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ . Es uno de los pigmentos más utilizados y aparece en todas las intervenciones, hecho que coincide con las investigaciones realizadas en otras zonas del Palacio como la fachada del Palacio de Pedro I (LÓPEZ *et alii*, 2015:318). En ciertas ocasiones aparece solo, como único elemento presente en la capa, pero en la mayor parte de los casos se emplea mezclado con otros pigmentos con el objetivo de modificar su tono. La identificación del mismo en las capas se detecta por la presencia de Pb en el análisis elemental, su brillo característico y la identificación de sus granos redondeados de pequeño tamaño en torno a 1  $\mu\text{m}$ . Ya que es un pigmento que se conoce y se emplea en la antigüedad es bastante consecuente su

empleo en las capas de color originales, que además está documentada en las investigaciones realizadas en el Palacio de Balaguer en Lleida (SOLÉ & ALÓS, 2012), así como en la Alhambra de Granada. (LÓPEZ *et alii*, 2005)

**Blanco de zinc.** ZnO. Es un pigmento artificial sintetizado a principio del siglo XIX (1834), aunque empezó a utilizarse con mayor profusión a partir de 1845, como sustituto del blanco de plomo debido a la toxicidad del anterior. Debido a su cronología solamente se identifica en capas exteriores mezclado con otros pigmentos industriales como el verde esmeralda y el azul ultramar artificial. La identificación de este pigmento en los análisis se realiza fundamentalmente a partir de los microanálisis de EDX en los que se detecta la presencia de zinc ya que su tamaño de partícula es muy pequeño con partículas de diámetro inferior a la micra que difícilmente se observan con luz reflejada por microscopía óptica, ni siquiera con grandes aumentos. Este pigmento también se ha empleado en los repolicromados de otras obras de similar cronología como la Madraza de Granada.

### Rojos

**Rojo de plomo.**  $\text{Pb}_3\text{O}_4$ : Conocido desde la antigüedad es uno de los pigmentos más empleados en estas yeserías, identificándose tanto en capas profundas como en superficiales, lo que demuestra la continuidad de su uso a través del tiempo. Generalmente se utiliza para cubrir los fondos y crear los detalles incisos de las palmas o palmetas así



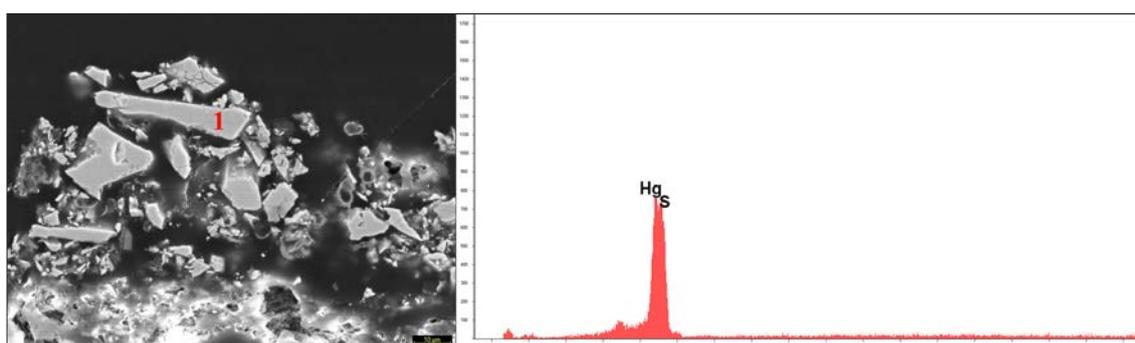
**Fig. 18.** Identificación del pigmento azul ultramar artificial en la muestra PD-Y-1. Izqda. Localización de la muestra en el fondo de la epigrafía latina localizada en la puerta de acceso al salón del techo de Carlos V. Centro. Imagen de microscopía estereoscópica. Dcha. Imagen de microscopía óptica de la superficie de la misma.

como en los fondos epigráficos, localizándose principalmente en las muestras tomadas de la puerta de acceso al salón del techo de Carlos V. En la observación por microscopía óptica demuestra diversas tonalidades de rojo, distinguiéndose desde una tonalidad anaranjada hasta coloraciones más rojizas. Por otra parte, los microanálisis efectuados demuestran un pico relevante de Pb en las capas de color en las que se encuentra este material.

**Cinabrio/Bermellón.** HgS: Se identifica como único pigmento de la capa de color en los estratos más profundos, mientras que en los más superficiales aparece mezclado con otros pigmentos como rojo de plomo o tierra roja. Al aparecer solo en capas inferiores, se ha planteado la idea de que en estos casos proceda del pigmento natural, por ello se ha realizado un estudio pormenorizado de gran cantidad de granos, midiendo sus diferentes tamaños y analizando su morfología, lo que ha permitido comprobar, que en estos estratos profundos es muy probable que se empleara el pigmento natural pues el tamaño de grano es bastante heterogéneo y de dimensiones considerables, llegando hasta las 42 $\mu$ , pudiéndose demostrar por el tamaño de los cristales y la presencia de mercurio y azufre detectados en el microanálisis elemental (EDX) (BAEZ Y SAN ANDRÉS, 2003:155-172) (Fig. 19).

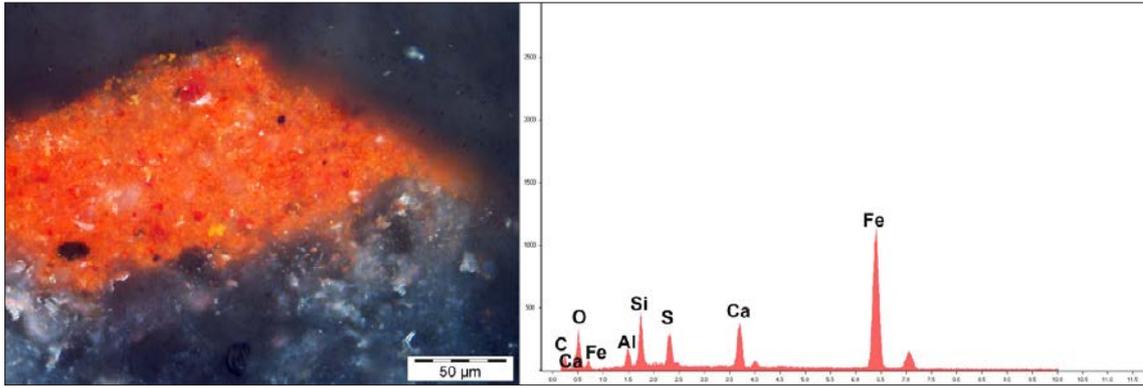
Por otra parte, el aspecto de las capas pictóricas que se encuentran en estratos sucesivos, suelen coincidir con las características propias del pigmento artificial, con un color rojo, ligeramente más anaranjado, cristales más homogéneos y dimensiones de estos, más reducidas. En este segundo caso, como ya se ha indicado, siempre aparece mezclado con otros pigmentos, lo que contribuye a clarificar la posición en la que se encuentra<sup>3</sup>.

**Tierra roja.** F<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Este tipo de pigmento, además de los óxidos de hierro rojos, contiene silicatos y otros compuestos que evidencian su origen natural. Su uso continuado en el tiempo, desde la Antigüedad hasta nuestros días, debido a sus buenas propiedades, se evidencia en las policromías de esta zona, pues aparece tanto en estratos profundos como en modernos lo que es corriente en las capas de color de este tipo de revestimientos. En estratos más superficiales se mezcla con blanco de plomo, como capa de base de nuevas policromías o acompaña a otros pigmentos rojos como el de rojo de plomo o cinabrio/bermellón con el objetivo de dar más cuerpo a la capa pictórica, aportar una tonalidad más oscura y sobre todo reducir costes de los pigmentos minio y cinabrio, mucho más caros (Fig. 20).



**Fig. 19.** Análisis de la muestra PD-Y-46. Izqda. Detalle de la imagen de SEM realizada al analizar los granos presentes en la capa roja. Dcha. Espectro obtenido en el que se distinguen los picos mayoritarios de azufre y mercurio correspondientes al mineral cinabrio.

<sup>3</sup> El cinabrio y el bermellón son dos nombres asignados a un mismo compuesto químico HgS que tiene diferente origen. En el caso del cinabrio su origen es natural, mientras que el caso del bermellón es un pigmento artificial que puede obtenerse por diferentes métodos (BAEZ Y SAN ANDRÉS, 2003: 155-172).

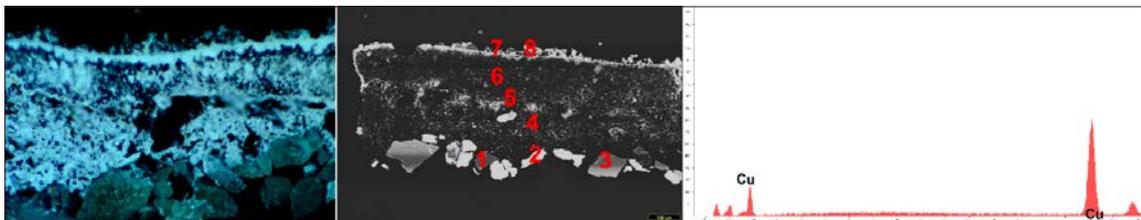


**Fig. 20.** Muestra PD-Y-13. Izqda. Imagen de microscopía óptica de una capa de color externa compuesta fundamentalmente por tierra roja (Fe). Dcha. En el análisis elemental realizado a un área de la capa de color donde además del pigmento mayoritario (tierra roja) se detecta la presencia de otros elementos como aluminosilicatos (Al, Si), tierra amarilla (Fe) o negro carbón (C). En el caso de la tierra amarilla se confirma por análisis puntuales realizados a los granos de color amarillo.

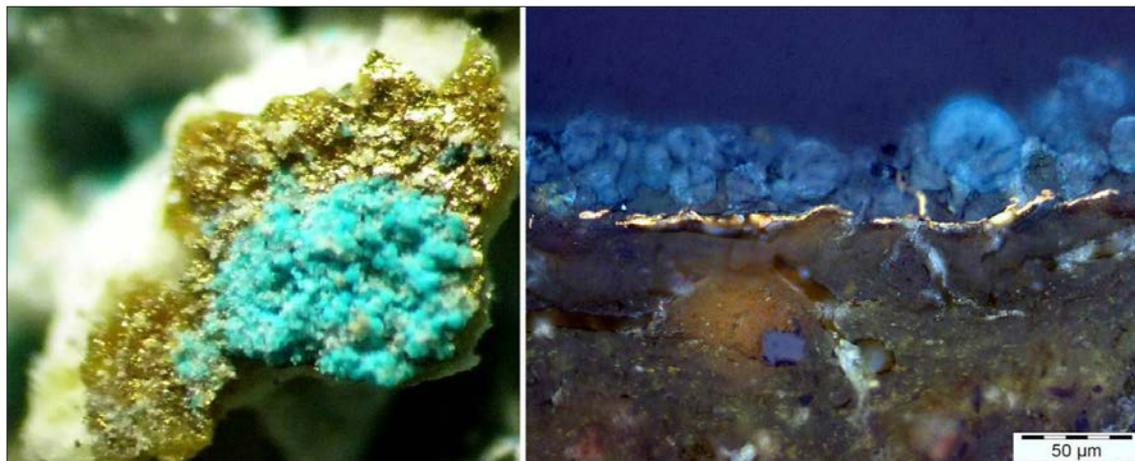
### Verdes

**Malaquita natural.**  $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$  Ha sido identificada en un porcentaje considerable de muestras, mayoritariamente en capas profundas muy localizada en el fondo de las celosías y las cartelas epigráficas. Los cristales presentes tienen un tamaño de partícula considerable, distinguiéndose algunos que superan las  $100\mu$  en microscopía electrónica y óptica. Su tonalidad también es muy característica distinguiéndose tanto en microscopía óptica un color verde claro muy saturado, detectándose picos importantes de Cu. En los estratos superficiales de las muestras de esta zona, el color verde se mantiene pero el pigmento se sustituye por un pigmento verde sintético de producción industrial, denominado verde esmeralda (Fig. 21).

**Verde esmeralda.**  $3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_2 \cdot \text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ . Este pigmento presenta un color verde azulado muy particular. Además, su identificación mediante microscopía óptica y SEM es bastante sencilla puesto que es característico de este material la presencia de formas esferulíticas que oscilan entre los  $5\text{-}30\mu$  (Fig. 22). Por otra parte, en los análisis elementales de EDX se detectan arsénico y cobre. La presencia de arsénico en su composición determinó que, poco después de su fabricación por primera vez en 1814, se retirara del mercado debido a sus problemas de toxicidad. Este hecho es de gran importancia, pues al estar muy delimitado en el tiempo aporta una cronología muy precisa a los estratos en los que se encuentra (SAN ANDRÉS, 2012). Además siempre se detecta en estratos superiores, en muchas ocasiones sustituyendo al pigmento verde



**Fig. 21.** Análisis de la policromía presente en la muestra PD-Y-131. Izqda. Microscopía óptica. En la parte inferior de la misma se detectan granos de malaquita. Centro. Imagen de SEM en la que se señala el grano analizado (2). Dcha. Espectro resultante obtenido en el que se muestra la presencia de Cu en el análisis elemental (EDX).



**Fig. 22.** Izqda. Imagen de microscopía estereoscópica de la muestra PD-Y-23 en la que se distingue una capa verde sobre un estrato de oro. Dcha. Imagen de microscopía óptica de la misma muestra donde se distinguen los esferulitos característicos del pigmento verde esmeralda, una lámina de oro y una capa de base impregnada fuertemente de material orgánico.

malaquita de los estratos originales. Suele identificarse solo, aunque en casos puntuales aparece mezclado con otros pigmentos, como blanco de plomo o azul ultramar artificial.

### Negros

Este color se ha encontrado solo en la última intervención de las yeserías, y como es habitual se corresponde con un pigmento orgánico como son el negro de carbón o hueso, identificándose, además de por su

color, por la presencia de carbón en el caso del negro carbón y de fósforo en el caso de negro de hueso en el microanálisis elemental por EDX. En todos los casos aparecen mezclados con cantidades variables de otros pigmentos inorgánicos (rojo de plomo, amarillo de plomo, verde esmeralda, ultramar artificial...) que le dan cuerpo y actúan como secativos de la capa de color (Fig. 23). En todas las muestras, este estrato se sitúa sobre pigmentos industriales lo que indica que corresponde a una intervención reciente, sin embargo no



**Fig. 23.** Imagen de microscopía óptica de la muestra PD-Y-70. En la capa más superficial de la misma se observa una capa de color negro conformada por la mezcla de pigmentos (azul ultramar artificial, tierra roja y tierra amarilla o negro de hueso entre otros).

puede descartarse su uso en estratos internos desaparecidos. Generalmente el uso de este color corresponde a decoración pintada de zonas superficiales del relieve, como perfilado de elementos decorativos para destacarlos sobre el fondo.

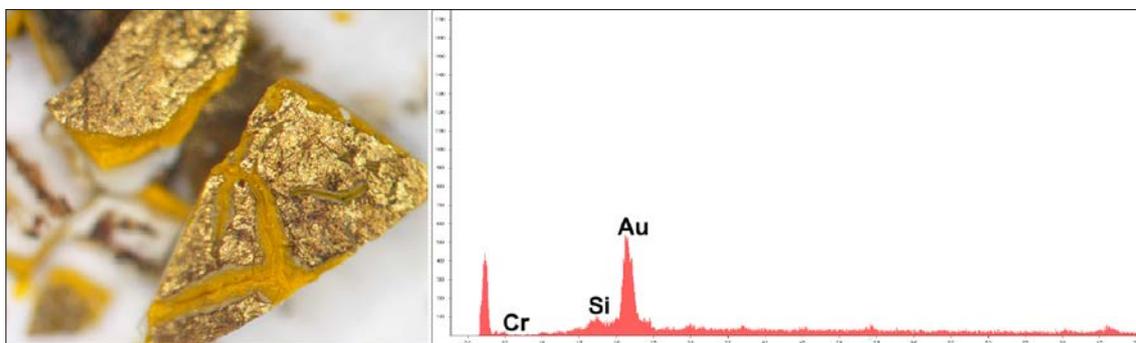
## Amarillos

**Ocre amarillo.**  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{NH}_2\text{O}$ . Es uno de los pigmentos menos utilizados en la policromía de las yeserías aunque se identifica tanto en los estratos profundos como los más recientes, lo que demuestra su continuidad en el tiempo. En las capas profundas aparece mezclado con otros pigmentos y en ningún caso se detecta una capa consistente de tonalidad amarilla, sólo granos puntuales de este color, y presencia de Fe en el análisis elemental por EDX. En capas superficiales se identifica como único pigmento de la capa pictórica y se localiza en la superficie de palmas y veneras, probablemente en un intento de simular el dorado en el friso superior de la puerta de acceso al salón del techo de Carlos V.

**Amarillo de plomo.** ( $\text{PbO}$ ). En todas las ocasiones este pigmento se detecta asociado al oro, bien como base para su aplicación, o para simular su apariencia y siempre en las capas externas, nunca en los niveles originales y por tanto más profundos. Cuando se utiliza como estrato preparatorio para la lámina de oro, aparece mezclado con amarillo de cromo,

siendo el objetivo de su empleo, obtener un tono similar a este, de modo que, en el caso de que se produjeran lagunas o pérdidas de la lámina metálica, éstas se disimularan. En cuanto a su identificación, este pigmento presenta partículas de pequeño tamaño de color amarillo y revela la presencia de un pico importante de plomo en el análisis elemental.

**Amarillo de cromo.**  $\text{PbCrO}_4 \cdot \text{PbSO}_4$ . Como se ha indicado con anterioridad, solamente aparece como base para la aplicación de capas metálicas de oro, identificándose por partículas con formas de aguja formando aglomerados, así como por la presencia de cromo y de plomo. Es un pigmento de la revolución industrial que empieza utilizarse en la primera mitad del s. XIX, aunque su uso se generaliza en la segunda mitad de este siglo (KÜHN Y CURRAN, 1985). Actualmente es un pigmento en desuso ya que es bastante tóxico, por tanto muy peligroso para la salud, sobre todo si se está expuesto a altas concentraciones (DOERNER, 1998). Su identificación es significativa ya que aporta una cronología precisa sobre los dorados aplicados sobre esta capa de base, permitiendo asociar estas capas a intervenciones muy modernas (Fig. 24). Se ha identificado en otros espacios como en las capas de repolicromado aplicadas sobre los fragmentos de yeso de la Alhambra depositados en el Albert Museum de Londres (LÓPEZ *et alii*, 2005) o en las yeserías de la Fachada de Pedro I (AUTOR *et alii*, 2015).



**Fig. 24.** Izqda., Imagen de microscopía estereoscópica de la muestra PD-Y-80. En la misma puede observarse las características de la capa amarilla de base compuesta por cromo y plomo, cubiertas por una lámina metálica de oro. Dcha. Espectro obtenido de la capa metálica en la que se detecta la relevancia del pico del oro en el análisis de EDX.

## Dorado

El oro es un elemento muy representativo en la policromía del palacio y también en estas yeserías ya que se encuentra en un alto número de muestras, siempre correspondiendo a intervenciones muy recientes, como ya se ha comentado, debido a su presencia sobre pigmentos industriales (Fig. 24, 25). Aunque no se ha encontrado ningún dorado en policromías antiguas, debieron existir en las mismas zonas en las que se detectan los dorados modernos, pues estos se localizan en motivos importantes de la decoración (emblemas heráldicos, figuras o epigrafías), que debieron de estar también en su origen. Estas pérdidas se han podido producir por operaciones de limpieza, manipulaciones de “resaneo” o por otros problemas de conservación, como la gran inestabilidad de los adhesivos utilizados para la aplicación del oro. En la Fachada del Palacio, por ejemplo si se encontraron restos de oro en capas originales (AUTOR *et alii*, 2011).

En la mayor parte de las muestras, los dorados están aplicados sobre capas de base

muy alteradas, por la presencia de una fuerte impregnación de resinas y aceites que dificulta la investigación de los materiales ya que su alto contenido orgánico interviene en la señal. No obstante, se ha podido comprobar que el oro se ha aplicado sobre distintas capas constituidas en la mayor parte de los casos por, amarillo de cromo y amarillo de plomo y en proporción minoritaria, blanco de plomo granos aislados de rojo de plomo, y óxidos de hierro.

El oro se presenta generalmente muy puro, como demuestran los microanálisis de EDX, aunque en ocasiones aparece asociado en muy pequeña proporción con otros elementos como la plata y el cobre (Ag, Cu). En otros casos se presenta junto a Na, As, Pb, Al... elementos que provienen de contaminación de otros estratos.

Se debe señalar que, mientras que en la mayor parte de las muestras estos dorados están relativamente bien conservados, distinguiéndose una capa continua bien definida, por el contrario, en otros casos, de esta capa



**Fig. 25.** Imágenes de detalle de la superficie de las yeserías en las que se conservan restos de dorado de la última intervención.

dorada solo se encuentran restos de oro mezclados con los estratos de policromía. Este hecho, aunque puede ser indicativo de la pérdida del material por el paso del tiempo, también como ya se ha expuesto con anterioridad, puede deberse a operaciones de limpieza antes de la aplicación de nuevas estratos, lo que justificaría la presencia en estas capas.

### Aglutinantes (Tabla 3)

La identificación de material orgánico empleado como aglutinante de las capas pictóricas se ha extraído de un muestreo representativo de 12 muestras. Como ya se indicó en el apartado de materiales y métodos, este tipo de análisis es bastante complejo

**Tabla 3.** Tabla resumen de los niveles identificados y los aglutinantes correspondientes a cada nivel.

NIVELES	TIPOLOGIA	CAPAS		MATERIAL ORGÁNICO	COMPUESTOS MARCADORES GENERALES
I. NIVEL	POLICROMÍA ORIGINAL (Finalizada en 1366)	Soporte de yeso		Cola animal. Grasa	Cola animal: Glicina, prolina e Hidroxiprolina (entre otros). Grasa animal: ácidos grasos
		Capa de color		Cola animal. Grasa	Cola animal: Glicina, prolina e Hidroxiprolina. Grasa animal: ácidos grasos
II. NIVEL	ENCALADO (1805-1816)	Capa de cal		Restos de aceites.	Aceite: Presencia de ácidos grasos saturados: palmítico y esteárico (P,S) y ácido dicarboxílico: ácido azelaico (A)
III. NIVEL	REPOLICROMADO (1843-1858)	Capa de color. Restos de aceites		Cola animal	Glicina, prolina e Hidroxiprolina (entre otros).
				Restos de aceites.	Presencia de ácidos grasos saturados: palmítico y esteárico (P,S) y ácido dicarboxílico: ácido azelaico (A)
IV. NIVEL	REPOLICROMADO (1894-1899)	Capa de color. Restos de aceites y resinas diterpénicas (tr.)		Cola animal	Glicina, prolina e Hidroxiprolina (entre otros).
				Restos de aceites.	Presencia de ácidos grasos saturados: palmítico y esteárico (P,S) y ácido dicarboxílico: ácido azelaico (A) Resinas diterpénicas: Mezcla de monoterpenos
		Dorado	Capa de preparación	Aceites y resinas diterpénicas.	Aceite secante: Presencia de ácidos grasos saturados: palmítico y esteárico (P,S) y y ácido dicarboxílico: ácido azelaico (A)  Resinas diterpénicas: fundamentalmente ácidos abiéticos. Puede presentar otros componentes marcadores comolarixio, ácido pimárico e isopomáricos (ROMERO, 2007).
Lámina metálica	Aceites y resinas diterpénicas.				

debido tanto a la degradación que sufren los materiales empleados como aglutinantes, a la impregnación de elementos incorporados en épocas sucesivas (resinas, aceites...), así como a las limpiezas agresivas que en ocasiones provocan la pérdida completa de los materiales originales. Para ello se han utilizado como técnicas principales la cromatografía de gases (GC-MS) y la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), además de la observación por microscopía óptica y ensayos de coloración selectiva ya indicados con anterioridad.

Los resultados preliminares del estudio de aglutinantes en los que se identificaron los materiales principales (cola animal, aceite y resinas diterpénicas) fueron expuestos en trabajos precedentes (CALERO *et alii*, 2016); (COLLADO *et alii*, 2016); (COBA *et alii*, 2016); pero en esa fase de la investigación los resultados aún eran muy parciales y no nos permitían determinar con precisión el número de intervenciones y la naturaleza del aglutinante empleado en cada una de las capas pictóricas, así como la presencia de material orgánico en el soporte (yeso). Las conclusiones finales obtenidas del estudio pormenorizado del material orgánico presente en las 12 muestras analizadas se presentan en la Tabla 3.

## I NIVEL. POLICROMÍA ORIGINAL

*Soporte de yeso:* Los análisis han demostrado que a la preparación del material de base se incorporan pequeñas cantidades de proteína. En los casos en los que se ha podido identificar, esta proteína ofrecía porcentajes de glicina/alanina cercanos a 2 a 1. Estos resultados son indicativos de la presencia de colas animales, cuyo componente fundamental es el colágeno, que se extrae de la piel, los huesos, los tendones y los cartílagos de animales (GÓMEZ, 2008). La presencia de este material en el soporte coincide con la información consultada en bibliografía donde se expone que era corriente la incorporación de colas animales en el momento de realización de estas decoraciones, añadiéndolas al agua de la preparación con el objetivo de retardar su fraguado. De esta forma se tiene un

mayor tiempo de ejecución lo que favorece el desarrollo de las operaciones de aplicación y modelado de la mezcla (GARATE, 1990).

*Capa de color:* La identificación de aglutinantes en las capas originales ha sido bastante compleja debido a la sucesión de capas y de intervenciones posteriores a la obra original. Este nivel aparece en las muestras (PD-Y-53, PD-Y-101, PD-Y-102, PD-Y-103) habiéndose identificado cola animal en todos los casos. El análisis cromatográfico de las muestras ha permitido conocer la presencia de glicina/alanina en porcentajes también cercanos a 2:1 como en el caso de la preparación, pero se detectan también prolina y en menor medida leucina, isoleucina y fenilalanina. También se detecta hidroxiprolina por lo que es clara la presencia de cola animal. La presencia de este material en las capas originales de este tipo de decoraciones es muy frecuente, habiéndose detectado también en las yeserías de la Alhambra (GARCÍA *et alii*, 2006) o en el oratorio de la Madraza (GARCÍA *et alii*, 2010b). Además, cabe destacar que la cola animal en ciertos casos está acompañada por ácidos grasos en proporciones siempre mayores que las de los aminoácidos que oscilan entre 5:1 y 3:1. Esto es normal, por el mayor deterioro de las proteínas si lo comparamos con el de la grasa, principalmente por mecanismos de oxidación y biodeterioro. De hecho en algunas de las muestras se detectan metabolitos en cantidades importantes (principalmente ácido láctico). También se detectan ácido oxálico y nitratos en los análisis cromatográficos y de IR.

## II NIVEL. ENCALADO

El segundo nivel está formado por una capa de cal aplicada con la intención de ocultar la policromía anterior y dar un aspecto neoclasicista a la decoración. En este nivel no se detecta la utilización de materia orgánica en la aplicación de la capa. En muestras puntuales aparecen trazas (menor de 0,01%) de aceites que proceden de la migración de estratos superiores al tratarse de un material muy poroso. La utilización de capas de cal para ocultar estas decoraciones no es un caso aislado en el Alcázar de Sevilla, sino que fue

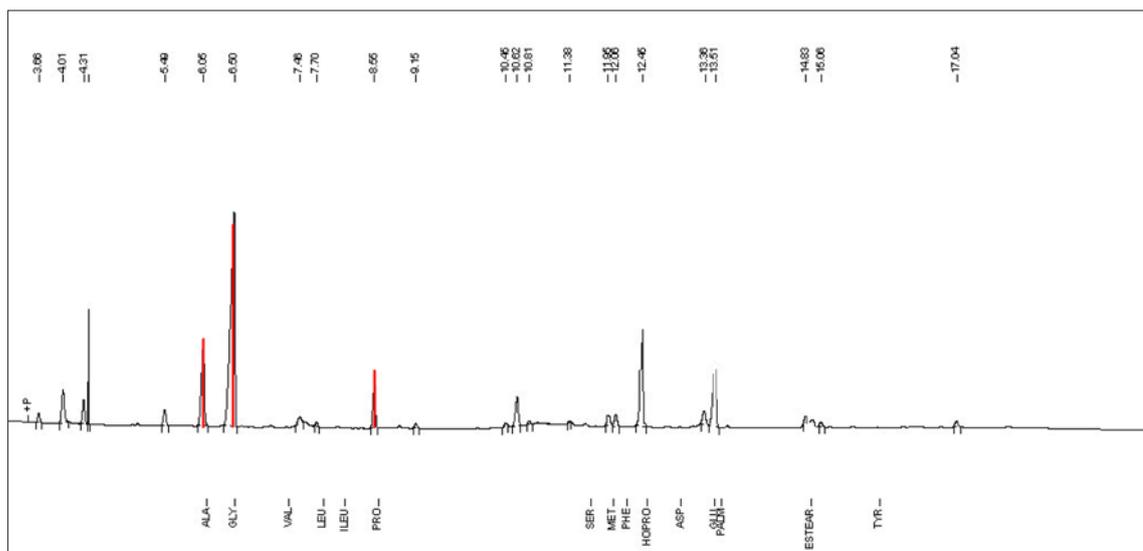
un procedimiento empleado en monumentos coetáneos como el Palacio de la Alhambra. En este sentido, hay que señalar las investigaciones realizadas por (RUBIO 2010) en las que expone que el contacto de la cal con los lípidos puede formar jabones cálcicos lo que provoca la pérdida de los aglutinantes y origina el desprendimiento de las capas pictóricas de las yeserías, lo que dificulta la conservación sobre todo de los estratos inferiores y originales. La impregnación de aceites a las capas inferiores originales no es extraña habiéndose detectado en estudios precedentes como los citados en la Alhambra (RUBIO, 2010) o en las yeserías del oratorio de la Madraza (GARCIA *et alii*, 2010a; GARCIA *et alii*, 2010b) por lo que la explicación de esta migración no solo se confirma por los resultados de los análisis de aglutinantes sino también por la experiencia previa de estudios precedentes así como por los datos procedentes de la revisión documental.

### III NIVEL. REPOLICROMADO (Capas de color)

*Capa de color:* El principal aglutinante detectado en esta capa es la cola animal, acompañado por la presencia de aceite que se identifica con la incorporación de un dorado. En las capas de color se detectan resultados parecidos a los de las capas originales, iden-

tificándose el empleo de cola animal como demuestra la presencia de glicina/alanina, prolina o hidroxiprolina entre otros. Como en el primer nivel, en ocasiones también se detecta la presencia de grasas animales que acompañan a la cola animal ya comentadas con anterioridad (Fig. 26). Este nivel ha podido datarse gracias a la presencia de pigmentos industriales como azul ultramar artificial (descubierto en 1828) o verde esmeralda (1812), entre otros. Estos resultados no son extraños pues es habitual el empleo de cola animal en este tipo de remodelaciones tal y como se refiere en otros estudios como los efectuados sobre el oratorio de la Madraza donde se identificó este material en la última intervención de repolicromado (AUTOR, 2010a, b).

*Dorado.* En este nivel se realizó un dorado sobre una capa de base que contiene un aceite secante (formado por triglicéridos de ácidos grasos fundamentalmente insaturados de 18 carbonos con uno, dos o tres triples enlaces), en concreto, aceite de linaza, sin resina, teñido de color amarillo con un pigmento de este color. La finalidad de teñir las capas de base ya se ha comentado con anterioridad, cuyo objetivo era el de disimular las pérdidas de las láminas metálicas en el caso de que estas se produjeran. Como en el nivel anterior, en muestras puntuales junto a la cola animal se



**Figura 26.** Cromatograma de aminoácidos de la muestra PD-Y-19 en la que se detecta la presencia de cola animal como aglutinante de la capa pictórica. En rojo se señalan algunos indicadores correspondientes a la misma como la alanina, glicina (pico principal) o prolina.

detectan trazas de aceites y resinas que en todos los casos coincide con la aplicación de dorados en el nivel superior (menor de 0,01%).

#### **IV NIVEL. REPOLICROMADO (Capas de color y dorado)**

*Capa de color.* Los materiales orgánicos identificados en este nivel coinciden con los expuestos en la intervención anterior pues fundamentalmente son tres: cola animal, resinas diterpénicas y aceites. Como en el caso anterior, se puede afirmar con bastante seguridad que la capa pictórica de este nivel fue realizada al temple de cola animal. Igualmente, la identificación de aceites y resinas procede del empleo de estos materiales en la incorporación de dorados que si se realizan en esta intervención.

*Dorado.* Los dorados del cuarto, y último nivel, fueron aplicados al mixtión cuya técnica se basa en la aplicación de una capa de aceite de linaza cocido a la que en se incorporan resinas que propician el carácter mordiente de la capa para adherir el pan de oro (CALVO, 2003). En el caso que nos ocupa junto al aceite de linaza (determinado por la presencia 15% de ácido linoleico, 52% de ácido linoleico, 67% de poliinsaturados y de 1,0-1,0 de palmítico/esteárico aprox.) se identifica en dos muestras restos de una resina diterpénica (caracterizadas por contener 20 carbonos y cuatro unidades de isopreno, cuya estructura básica forma biciclos-labdano-o triciclos-abietanos y labdanos), probablemente del tipo trementina de Venecia, muy utilizada en los siglos XVIII y XIX como componente resinoso de barnices

Sobre esta capa se aplica una lámina de oro bastante pura (en torno a un 99%) que presenta un espesor aproximado de <5  $\mu$ . Como se expuso en el apartado de pigmentos, en esta capa se suele detectar el pigmento amarillo de cromo cuyo uso se generaliza a partir de la segunda mitad del siglo XIX lo que aporta información fundamental para la datación cronológica de esta intervención. Por otra parte, la pureza del oro, ya comentada en el análisis de las capas pictóricas denota el poder adquisitivo y la importancia que

hubo de tener esta última intervención sobre el paramento decorativo. Los restos de este dorado, aunque muy envejecido y alterado, son aún visibles si se observa la superficie con detalle (ver fig. 4)

#### **4. DISCUSIÓN**

En primer lugar hay que destacar que a pesar de la complejidad de la información generada y la pérdida mayoritaria de los estratos profundos, esta investigación ha permitido caracterizar y determinar la técnica y materiales que constituyen la policromía original realizada en periodo medieval. La metodología seguida ha proporcionado información muy detallada acerca de numerosos restos de color en los estratos originales de las muestras estudiadas que se caracterizan por una gran riqueza cromática, en las que destaca el empleo de rojos azules y verdes y la utilización de pigmentos naturales de una gran calidad.

Respecto a la técnica de ejecución del soporte de yeso, el estudio ha demostrado que la mayor parte de la decoración, en un porcentaje aproximado del 80% se ha realizado a molde, salvo casos puntuales como las albanegas de los arcos de las puertas y las ventanas, así como determinados elementos decorativos del friso superior. La técnica del molde se distingue claramente en algunas zonas por la presencia de líneas de unión entre placas, aunque en otras, estas líneas están ocultas por las intervenciones realizadas a lo largo de los siglos (encalados y repolicromados). La combinación de las dos técnicas, el molde y la talla en este paramento no es extraña, pues aparece en obras de similar cronología como ocurre en las yeserías del oratorio de la Madraza en la ciudad de Granada o la Alhambra. Asimismo se ha confirmado en el estudio comparativo de las placas, que algunas han sido repuestas presentando formas más toscas y con materiales modernos como resinas y cemento portland. En otros casos se han detectado cartelas epigráficas colocadas erróneamente en posición invertida, lo que señala el desconocimiento del idioma de las personas que realizaron la intervención.

La primera policromía, perteneciente a la obra original, probablemente fue terminada en su totalidad en el año 1366 (MARÍN, 1990:70)<sup>4</sup>. En ocasiones sobre esta primera capa pictórica, aparecen restos de retoques muy puntuales realizados por problemas de conservación o pérdidas de color, como evidencia la documentación bibliográfica que cita obras de reparación ya en época de los reyes católicos (1474-1504), o en el reinado de Felipe II (1556-1598) (MARÍN, 1992).

Los pigmentos empleados en la decoración original son azules de azurita, verdes de malaquita y rojos de cinabrio/bermellón, tierra roja y de plomo. El color más utilizado es el azul, obtenido a partir de la azurita natural seguido de la malaquita, de color verde. El menos identificado en esta policromía es el rojo, empleándose para su obtención dos pigmentos según la zona, rojo de plomo, cinabrio/bermellón o tierra roja. Por otra parte en el caso de los dorados, aun no habiéndose identificado oro en este nivel profundo, los restos parciales detectados mezclados en la masa del mortero, junto a su presencia en obras de similar cronología, nos induce a pensar que probablemente se utilizó en estas yeserías. El material que aglutina las capas de color en este caso es la cola animal.

Las capas pictóricas que se suceden sobre estas policromías, son todas modernas como ha demostrado tanto su naturaleza, como la documentación bibliográfica consultada.

La siguiente intervención generalizada es un encalado realizado sobre toda la superficie decorativa con el objetivo claro de ocultar el color precedente que las referencias documentales sitúan entre los años 1805-1816. Estas capas se distinguen por la presencia de picos mayoritarios de calcita en el análisis elemental (EDX), así como por su clara identificación tanto en microscopía óptica, SEM e incluso, en microscopía estereoscópica. Las referencias documentales de esta intervención

son muy abundantes, reflejando muchas de ellas la tristeza por la pérdida irrecuperable del color en la decoración (MÉRIDA, 2000).

La tercera intervención cronológicamente se sitúa pocos años más tarde de la intervención anterior, aproximadamente entre los años 1843-1858, espacio de tiempo en el que se acometen dos actuaciones según puede deducirse de las fuentes documentales. En primer lugar, se intenta eliminar la cal de las yeserías con el objetivo de devolver sus colores originales empleándose tanto métodos instrumentales como químicos, pero al no conseguirlo, se vuelven a pintar utilizando mayormente materiales industriales (CHÁVEZ, 1999). Entre los pigmentos empleados para las capas de color destacan el azul ultramar natural, el verde esmeralda o el dorado sobre una base generalmente de amarillo de cromo y plomo.

La cuarta y última intervención que se detecta en este revestimiento no es una intervención generalizada pues se concentra principalmente en la puerta de acceso al salón del techo de Carlos V. Esta última capa se caracteriza por la incorporación generalizada de dorados de una gran pureza, así como por la presencia de otras capas de color, realizadas siempre con pigmentos industriales. La cronología de esta intervención se sitúa entre los años 1894-1899 y, coincide con la realizada en la fachada del palacio en este periodo.

Los datos recopilados contribuyen a conocer y poner en valor la rica y cuidada policromía que estas yeserías debieron tener en su origen, lo que es una imagen muy distinta al tono gris/blanquecino y los restos de color aplicados de forma bastante descuidada actuales. Además, mientras que el color original está realizado con pigmentos de una gran calidad y elevado coste, en las sucesivas intervenciones estos materiales se van sustituyendo por otros de producción industrial de menor calidad. En ocasiones la mano de obra en también es menos cualificada como se

<sup>4</sup> Las obras del palacio mudéjar finalizan en 1366 a juzgar por la inscripción de la puerta del Salón de Embajadores (MARÍN, 1990:70).

aprecia en las placas invertidas o los repintes de escasa delicadeza<sup>5</sup>.

En conclusión, la investigación realizada ha puesto de manifiesto la validez de la metodología aplicada y la importancia de realizar un trabajo interdisciplinar muy riguroso (documentación histórica, trabajo de campo, planimetría, análisis de muestras etc.) cuando se aborda el estudio de este tipo de decoraciones tan complejas, permitiéndonos identificar 4 importantes intervenciones realizadas sobre las mismas.

De la misma manera este estudio ha perseguido contribuir al conocimiento y puesta en valor del color en la decoración arquitectónica hispanomusulmana, además de concienciar sobre la necesidad tanto de investigar como de preservar este tipo de revestimientos.

## AGRADECIMIENTOS

Queremos hacer constar nuestro agradecimiento al Patronato del Real Alcázar de Sevilla y a sus directores por permitir la realización del estudio que se presenta, así como a la gestión del Dr. Antonio Almagro Gorbea, de la Escuela de Estudios Árabes (CSIC) de Granada. Asimismo agradecer a todas aquellas personas que han colaborado de una forma u otra en el análisis de muestras, entre ellas a la Dra. Rocío Márquez Crespo del CIC de la Universidad de Granada, al Dr. Nicolás Velilla Sánchez del Departamento de Mineralogía de la Universidad de Granada y al del Dr. Enrique Parra Crego de la empresa Larco Química y Arte.

Esta investigación ha sido financiada por el Ministerio de Economía y Competitividad y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) en el marco del Proyecto de Investigación “Estudio científico y tratamientos de conservación de revestimientos arquitectónicos de época romana a medieval” de referencia (HAR2015-66139-P) así como el proyecto del

Ministerio de Innovación y Ciencia denominado “Decoración arquitectónica de tradición islámica. Materiales y técnicas de ejecución” (HAR 2011-27598).

Igualmente ha sido posible gracias al programa de contratos puente de la Universidad de Granada, del cual, una de las autoras de este artículo, Ana Isabel Calero Castillo, ha sido beneficiaria.

## BIBLIOGRAFÍA

ALMAGRO GORBEA, Antonio. (2000): *Planimetría del Alcázar de Sevilla*, CSIC. Escuela de Estudios Árabes.

ALMAGRO GORBEA, Antonio (2005): “La recuperación del jardín medieval del Patio de las Doncellas” *Apuntes del Alcázar de Sevilla*. 5, pp.44-67.

ALMAGRO GORBEA, Antonio (2007): “Los reales alcázares de Sevilla”. *Artigrama*, 22, p.55-185.

BAEZ AGLIO, Maria Isabel & SAN ANDRÉS MOYA, Margarita (2003): “Cinabrio y Bermellón. Historia de su empleo y preparación” *Pátina*. 12, pp.155-172. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3827221>

BLANCA LÓPEZ, Lola & BLANCA LÓPEZ, Lourdes (2012): “Estudio técnico y material de las yeserías y mocárabes del Corral del Carbón o al-fundaq al-yadida de Granada”. *Actas del I Congreso Internacional Red Europea de Museos del Arte Islámico*, Granada, pp. 657-675.

BLASCO-LÓPEZ, Francisco Javier; ALEJANDRE, Francisco & MARTÍN DEL RÍO, Juan Jesús (2009): “Evolución de yeserías de los Patios del Yeso y del Sol del Real Alcázar de Sevilla a través de las fuentes escritas, reforzadas por ensayos de caracterización”. *Actas del VI Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Valencia, pp. 201-209. DOI: 10.3989/ic.12.014

BLASCO, Francisco Javier & ALEJANDRE, Francisco (2013): “Las yeserías del Patio del Sol del Real Alcázar de Sevilla: Caracterización y cronología”. *Informes de la construcción*, 530(65), pp. 175-182.

BLASCO LÓPEZ, Francisco Javier., ALEJANDRE SÁNCHEZ, Francisco., FLORES ALEF, Vicente., & MARTÍN DEL RÍO, Juan Jesús (2012a): “Caracterización de yeserías de tradición islámica del Real Alcázar de Sevilla”. *Apuntes del Real Alcázar de Sevilla*, 13, pp.156-174.

BLASCO LÓPEZ, Francisco., & ALEJANDRE SÁNCHEZ, Francisco (2012b): “Yeserías de tradición islámica del Real Alcázar de Sevilla” *Actas del I Congreso Internacional Red Europea de Museos del Arte Islámico*, Granada, pp. 485-501.

5 Este hecho también está documentado por Rosario Chávez González cuando indica las operaciones de restauración poco ortodoxas que se llevan a cabo en el s. XIX. (CHÁVEZ, 2004: 35).

- CALERO CASTILLO, Ana Isabel (2016): *Materiales, técnicas y procedimientos en la decoración arquitectónica. Aplicaciones a la conservación y restauración de las yeserías del Patio de las Doncellas*. Real Alcázar de Sevilla. Tesis doctoral sin publicar. Granada. Universidad de Granada.
- CALVO, A. (1997): *Conservación y restauración. Materiales, Técnicas y Procedimientos de la A a la Z*. Barcelona. Ediciones del Serbal.
- CALERO CASTILLO, Ana Isabel; LÓPEZ CRUZ, Olimpia; GARCIA BUENO, Ana; MEDINA FLÓREZ, Víctor Jesús (2016): "Las yeserías del patio de las Doncellas del Real Alcázar de Sevilla. Avance de resultados de la caracterización de materiales y la técnica". *Al-qantara*. 37 (1), pp.129-141. DOI: 10.3989/alqantara.2016.006
- CARDELL-FERNÁNDEZ, Carolina., & NAVARRETE-AGUILERA, Carlos (2006): "Pigment and plasterwork analyses of nasrid polychromed laceworkstucco in the Alhambra (Granada) Spain". *Studies in conservation*, 3(51), pp.161-176.
- CÓMEZ, Rafael (2006) *El Alcázar del Rey Don Pedro*, Sevilla. Área de Cultura y deportes.
- COBA PEÑA, Ana Cristina; CALERO CASTILLO, Ana Isabel; COLLADO MONTERO, Francisco José; MEDINA FLÓREZ, Víctor Jesús. (2016): "Reconstrucción virtual de color sobre la policromía del alfarje y yeserías del Patio de las Doncellas" *Ph investigación*. 07, pp.1-23. Disponible en: <http://www.iaph.es/phinvestigacion/index.php/phinvestigacion/article/view/132/97#.WNIZBG-LTIU>
- COLLADO MONTERO, Francisco José; CALERO CASTILLO, Ana Isabel; COBA PEÑA, Ana Cristina; MEDINA FLÓREZ, Víctor Jesús (2016): "Colorimetric evaluation in treatment of protection and consolidation. Applications to Courtyard of the Maidens of the Alcázar of Seville". *Journal of Optometry*, 49 (1) pp. 29-50
- CAÑAS PALOP, Concepción (2010): *El palacio de Don Pedro I y sus armaduras de cubiertas. Una mirada hacia lo más alto*. Sevilla. Universidad de Sevilla. Fundación Focus Abengoa.
- CHÁVEZ GONZÁLEZ, Rosario (2004): *El Alcázar de Sevilla en el siglo XIX*, Sevilla. Patronato del Real Alcázar de Sevilla.
- DE LOS RÍOS, Rodrigo Amador (1875): *Inscripciones árabes de Sevilla*, Madrid. Imprenta T. Fortanet.
- DÍEZ JORGE, María Elena (2001): *El arte Mudéjar: expresión estética de una convivencia*. Granada. Eirene. Instituto de la Paz y los Conflictos. Universidad de Granada.
- DOERNER, Max. (1998): *Los materiales de pintura y su empleo en el arte*. Madrid. Reverte.
- DOMENECH CARBÓ, María Teresa; YUSÁ MARCO, D. 2006: *Aproximación al análisis instrumental de pigmentos procedentes de obras de arte*. Valencia. UPV.
- FERNÁNDEZ AGUILERA, Sebastián (2015): "Origen del palacio de Pedro I en el Alcázar de Sevilla: El mirador de los reyes católicos". *Archivo español de arte*. LXXXVIII, 352, pp.331-348. Disponible en: [http://www.alcazarsevilla.org/wp-content/uploads/2016/05/articulo\\_origen\\_palacio\\_don\\_pedro.pdf](http://www.alcazarsevilla.org/wp-content/uploads/2016/05/articulo_origen_palacio_don_pedro.pdf)
- FERNÁNDEZ-PUERTAS, Antonio (1984): "El fenómeno mudéjar en la decoración de yesería de sus edificios". *Miscelánea de Estudios árabes y Hebraicos. Sección Árabe Islam*, 33, pp.189-202.
- GÁRATE ROJAS, Ignacio (1999): *Arte de los yesos. Yeserías y estucos*. Madrid. Munilla-Lería.
- GARCIA BUENO, Ana y MEDINA FLÓREZ, Víctor Jesús (2004): "The Nasrid plasterwork at "qubba Dar al- Manjara IKubra" in Granada: characterisation of materials and techniques". *Journal of Cultural Heritage*. 5, pp.75- 89. Disponible en: <http://hera.ugr.es/doi/15058700.pdf>
- GARCIA BUENO, Ana; MEDINA FLÓREZ, Víctor Jesús; GÓMEZ SEGURA, Alicia (2006): "La policromía de los fragmentos de yeso almacenados en los depósitos del museo de la Alhambra". *16 th International Meeting on Heritage Conservation. Preprints of the Papers to the Valencia Congress*, Valencia, pp.1601-1615.
- GARCIA BUENO, Ana; MEDINA FLÓREZ, Víctor Jesús; GÓMEZ SEGURA, Alicia (2010a): "La policromía de las yeserías de la Madraza de Yüsuf I, Granada. Primeras aportaciones del estudio de materiales para la localización de zonas originales y añadidos". *Al- Qantara*. 31, pp.245-256. Disponible en: <http://al-qantara.revistas.csic.es/index.php/al-qantara/article/view/128/133>
- GARCÍA BUENO, Ana; HERNÁNDEZ PABLOS, Ariadna; MEDINA FLÓREZ, Víctor Jesús (2010b): "Las yeserías del Oratorio de la Madraza de Yüsuf I, Granada. Aportaciones de la documentación gráfica a la determinación de zonas originales y añadidos en el estudio preliminar" *Al-Qantara*. 31, enero-junio, pp.257-267.
- GESTOSO PÉREZ, José (1889): *Sevilla monumental y artística*. Sevilla. Escuela tipográfica Sevillana.
- GETTENS, Rutherford; WEST FITZHUGH, Elisabeth (1991): "Azurite blue and blue verditer". *Artists 'pigments. A handbook of their History and Characteristics*. (Vol.2), Oxford, pp. 23-37.
- GÓMEZ, María Luisa (2008): *La restauración. Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte*. Madrid. Cátedra. Cuadernos de arte.
- GONZÁLEZ RAMÍREZ, María José (1995): *El trazado geométrico en la ornamentación mudéjar del Alcázar de Sevilla*. Sevilla. Universidad de Sevilla. Consejería de Obras Públicas y Transportes.
- GUTIÉRREZ, Francisco (1997): "Aplicación de la espectrometría infrarroja al análisis químico de los bienes culturales". *Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 5(18), pp.56-60.
- KROUSTALLIS, S; DEL EGIDO, M (2012): "Artificio y artificial: una breve introducción". *Fatto d'archimía. Los pigmentos artificiales en las técnicas pictóricas*. Madrid. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, pp.9-13
- KÜHN, Hermann; CURRAN, Mary. (1985): "Chrome Yellow and other chromate pigments". En R. Feller, (Ed.), *Artists 'Pigment. A handbook of their History and Characteristics* (Vol. 1). Oxford. Univ. Press, pp.187-209.

- LÓPEZ BORGES, Víctor; BURGIO, Lucía; CLARK, Robin. (2005): "Documentación y autenticación de yeserías nazaries a través del tratamiento de conservación y análisis científico". *Actas del II Congreso del Grupo Español del IIC. Investigación y conservación*. Barcelona. Universidad Politécnica de Valencia, pp.109-125. Disponible en: <http://ge-iic.com/files/2congresoGE/LopezBorges.pdf>
- LÓPEZ CRUZ, Olimpia (2012): *Las policromías de la fachada del Palacio de Pedro I en el Real Alcázar de Sevilla. Tesis doctoral*. Tomo I. Granada.
- LÓPEZ CRUZ, Olimpia; GARCIA BUENO, Ana; MEDINA FLÓREZ, Víctor Jesús (2011): "Evolución del color en el alero de la fachada del rey D. Pedro I, Real Alcázar de Sevilla. Aportaciones del estudio de materiales a la identificación de las intervenciones de restauración a lo largo de su historia". *Arqueología de la Arquitectura*. 8, pp.163-178. Disponible en: <http://arqarqt.revistas.csic.es/index.php/arqarqt/article/viewFile/133/128>
- GARCÍA BUENO, Ana; SÁNCHEZ NAVAS, Antonio & VELLILLA, Nicolás. (2015): "Pictorial materials used in the polychrome decorations of the façade of the palace of king Pedro I (The Royal Alcazar of Seville, Spain)" *Materiales de construcción*. 65. Disponible en: <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/1687/2063>
- LÓPEZ ORTEGA, Teresa (1999): *Evaluación de los tratamientos de conservación efectuados en los mascarones de estuco de Kohunlich*, Mexico.
- LLEO CAÑAL, Vicente (2002): *El Real Alcázar de Sevilla*, Madrid. Lunwerg editores.
- MARÍN FIDALGO, Ana María (1990): *El Alcázar de Sevilla bajo los Austrias*. (Tomo 1. Tomo 2), Sevilla. Guadalquivir.
- MARÍN FIDALGO, Ana María (1992): *Guía de los Reales Alcázares de Sevilla*. Sevilla. Guadalquivir.
- MARÍN FIDALGO, Ana María (2011): "El jardín y palacio del crucero del Alcázar de Sevilla y el jardín del Patio de las Doncellas". *Temas de estética y arte*, 25, pp.80-94.
- MÉRIDA ÁLVAREZ, María Dolores (2000): "Construcción y restauración del Real Alcázar de Sevilla en el periodo isabelino". *III Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Sevilla. Instituto Juan de Herrera, pp. 683-686.
- MORALES MARTÍNEZ, Alfredo José (2006): "El Alcázar del Rey Don Pedro y los palacios mudéjares sevillanos" *Arte mudéjar en Aragón, León, Castilla, Extremadura y Andalucía*. Zaragoza. Institución Fernando el Católico, pp.233-260.
- PAVÓN MALDONADO, Basilio (1989): *El arte hispanomusulmán en su decoración geométrica. Una teoría para un estilo*, Madrid. Agencia española de cooperación internacional.
- REGAS, R. (2010): *Guía visual del palacio con más historia de España. Real Alcázar de Sevilla*. Barcelona. Dosdearte Ediciones.
- ROBADOR, María Dolores; DURÁN, Agustín., GIMENA, Pilar., PÉREZ-RODRÍGUEZ, Jose Luis; JIMÉNEZ DE HARO, María, & JUSTO, Angel (2005): "Los revestimientos y pinturas del estanque del patio de las Doncellas del Real Alcázar de Sevilla". *Avances en Arqueometría. Actas del VI Congreso Ibérico de Arqueometría*, Girona, pp. 197-201.
- RODRÍGUEZ MORENO, Concepción (2011): *El palacio de Pedro I en los Reales Alcázares de Sevilla. Estudio y análisis*. Tesis doctoral. Granada: Universidad de Granada.
- RODRÍGUEZ MORENO, Concepción (2013): "Reconstrucción virtual del palacio medieval de Pedro I en los Reales Alcázares de Sevilla: "the architects cut". Virtual reconstruction of the Medieval Palace of Pedro I in the Royal Alcazares of Seville". *The Architect's Cut. VAR*, 9, pp. 28-34. DOI: 10.4995/var.2013.4238
- ROMERO NOGUERA, Julio (2007): *Biodeterioro fúngico y bacteriano de las resinas terpénicas utilizadas en pintura y otras artes plásticas*. Tesis doctoral sin publicar. Granada. Universidad de Granada.
- RUBIO DOMENE, Ramón (2006): "El material de yeso: comportamiento y conservación". *Cuadernos de restauración*, 6, pp.57-68.
- RUBIO DOMENE, Ramón (2010): *Yeserías de la Alhambra. Historia, técnica y conservación*. Granada. Universidad de Granada.
- SAN ANDRÉS MOYA, Margarita (2012): Química moderna y producción de nuevos pigmentos. "Fatto d'archimia. Los pigmentos artificiales en las técnicas pictóricas". Madrid. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, pp.25-53.
- SANZ ARAUZ, David (2009): Análisis del yeso empleado en revestimientos exteriores mediante técnicas geológicas. *Tesis doctoral*. Madrid. Universidad politécnica de Madrid.
- SOLÉ UGÜELLES, R., & ALÒS TREPAT, C. (2012): "La restauración de fragmentos de arcos islámicos del Palacio de Balaguer (Lleida). Procesos y datos históricos". *Actas del I Congreso Internacional Red Europea de Museos del Arte Islámico*. Granada. Patronato de la Alhambra y Generalife. Servicio de Investigación y Difusión, pp. 627-639.
- TABALES RODRÍGUEZ, Miguel Ángel (2005): "El Patio de las Doncellas del palacio de Pedro I de Castilla. Génesis y transformación". *Apuntes del Alcázar de Sevilla*, 6, pp. 25-29.
- TURCO, Antonio. (2001). *Il gesso. Lavorazione, Trasformazione*, Impieghi (Vol. Seconda edizione ampliata). Milano. Ulrico Hoepli.