

PROTOCOLO DE ANÁLISIS Y MÉTODOS AUXILIARES PARA LA ELIMINACIÓN DE ENCALADOS EN PINTURA MURAL AL TEMPLE.

APLICACIÓN A LAS PINTURAS MURALES DEL PALACIO CASASSÚS, ALZIRA.

Tesis Final de Máster en Conservación y Restauración de Bienes Culturales

DELIA TODOLÍ ROMÁN

TUTORES:

DR. JOSÉ LUIS REGIDOR ROS

DRA. JULIA OSCA PONS



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Valencia 2018

PROTOCOLO DE ANÁLISIS Y MÉTODOS AUXILIARES PARA LA ELIMINACIÓN DE ENCALADOS EN PINTURA MURAL AL TEMPLE.

APLICACIÓN A LAS PINTURAS MURALES DEL PALACIO CASASSÚS, ALZIRA.

Tesis final de máster en Conservación y Restauración de Bienes Culturales

DELIA TODOLÍ ROMÁN

DIRECTORES:

DR. JOSÉ LUIS REGIDOR ROS

DRA. JULIA OSCA PONS



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Valencia 2018



RESUMEN

El presente Trabajo Final de Máster es fruto de la necesidad de investigar sobre la problemática existente a la hora de llevar a cabo diferentes procesos de eliminación de capas de encalado realizadas sobre pinturas murales al temple que, habitualmente, presentan un elevado nivel de descohesión de las mismas, debido a la técnica de ejecución y a diversos agentes externos como son los tratamientos de ocultación y los diversos agentes de deterioro a los cuales se han visto expuestas.

Con el fin de lograr la eliminación de las capas de ocultación, sin degradar la pintura mural subyacente, esta investigación centra su objetivo principal en analizar las posibilidades y ventajas que ciertos materiales de naturaleza inorgánica y organosilíceica pueden aportar en estos procesos, dotando de nuevas propiedades físico-mecánicas a las superficies pictóricas. Para el desarrollo de la investigación se tomarán como referencia las pinturas murales localizadas en diversas estancias del Palacio Casassús, Alzira.

Como paso previo, y para lograr unos resultados óptimos en los procesos de consolidación y desencalado posterior, será necesaria la implementación de un protocolo de catas que facilite y permita determinar no solo la viabilidad de la recuperación de las pinturas murales, sino también estudiar y conocer en profundidad cada uno de los estratos que forma parte de la estructura estratigráfica existente y su estado de conservación, con el fin de que esta información sea útil de cara a la investigación que en este trabajo va a ser llevada a cabo.

PALABRAS CLAVE

Pintura mural a seco (temple), encalado, estudio estratigráfico, consolidación, mineralización, Palacio Casassús, Alzira.

RESUM

El present Treball Final de Màster és fruit de la necessitat d'investigar sobre la problemàtica existent a l'hora de dur a terme diferents processos d'eliminació de capes d'emblanquiment realitzades sobre pintures murals al tremp que, habitualment, presenten un elevat nivell de descohesió de les mateixes, a causa de la tècnica d'execució i a diversos agents externs com són els tractaments d'ocultació i els diversos agents de deteriorament als quals s'han vist exposades.

A fi d'aconseguir l'eliminació de les capes d'ocultació, sense degradar la pintura mural subjacent, esta investigació centra el seu objectiu principal a analitzar les possibilitats i avantatges que certs materials de naturalesa inorgànica i organosilíceica poden aportar en aquests processos, dotant de noves propietats fisicomecàniques a les superfícies pictòriques. Per al desenvolupament de la investigació es prendran com a referència les pintures murals localitzades en diverses estades del Palau Casassús, Alzira.

Com a pas previ, i per a aconseguir uns resultats òptims en els processos de consolidació i desembranquiment posterior, serà necessària la implementació d'un protocol d'anàlisi que facilite permeta determinar no sols la viabilitat de la recuperació de les pintures murals, sinó també estudiar iconèixer en profunditat cada un dels estrats que forma part de l'estructura estratigràfica existent i el seu estat de conservació, a fi que aquesta informació siga útil de cara a la investigació que en este treball serà dut a terme.

PARAULES CLAU

Pintura mural a sec (tremp) , emblanquiment, estudi estratigràfic, consolidació, mineralització, Palau Casassús, Alzira.

ABSTRAC

This Final Project is the result of the necessity to investigate the existing problem of removing whitewashes made on tempera wall paintings that usually have a high degree of decohesion, due to the execution technique and to various external agents such as concealment treatments and the various deterioration agents to which they have been exposed.

In order to achieve the elimination of the layers of concealment, without degrading the underlying mural painting, this research focuses on analyzing the possibilities and advantages that certain materials with inorganic and organosiliceous nature can contribute in these processes, providing pictorial surfaces with new physical-mechanical properties. As a study case, the mural paintings located in different rooms of Casassús Palace, Alzira, will be taken as reference.

As a preliminary step, and to achieve optimal results in the processes of consolidation and subsequent delimitation, it will be necessary to implement a tasting protocol that allows the viability of the mural paintings recovery, but also studying in depth each strata who belongs to this stratigraphic structure and its conservation status, so that this information is useful for this particular research.

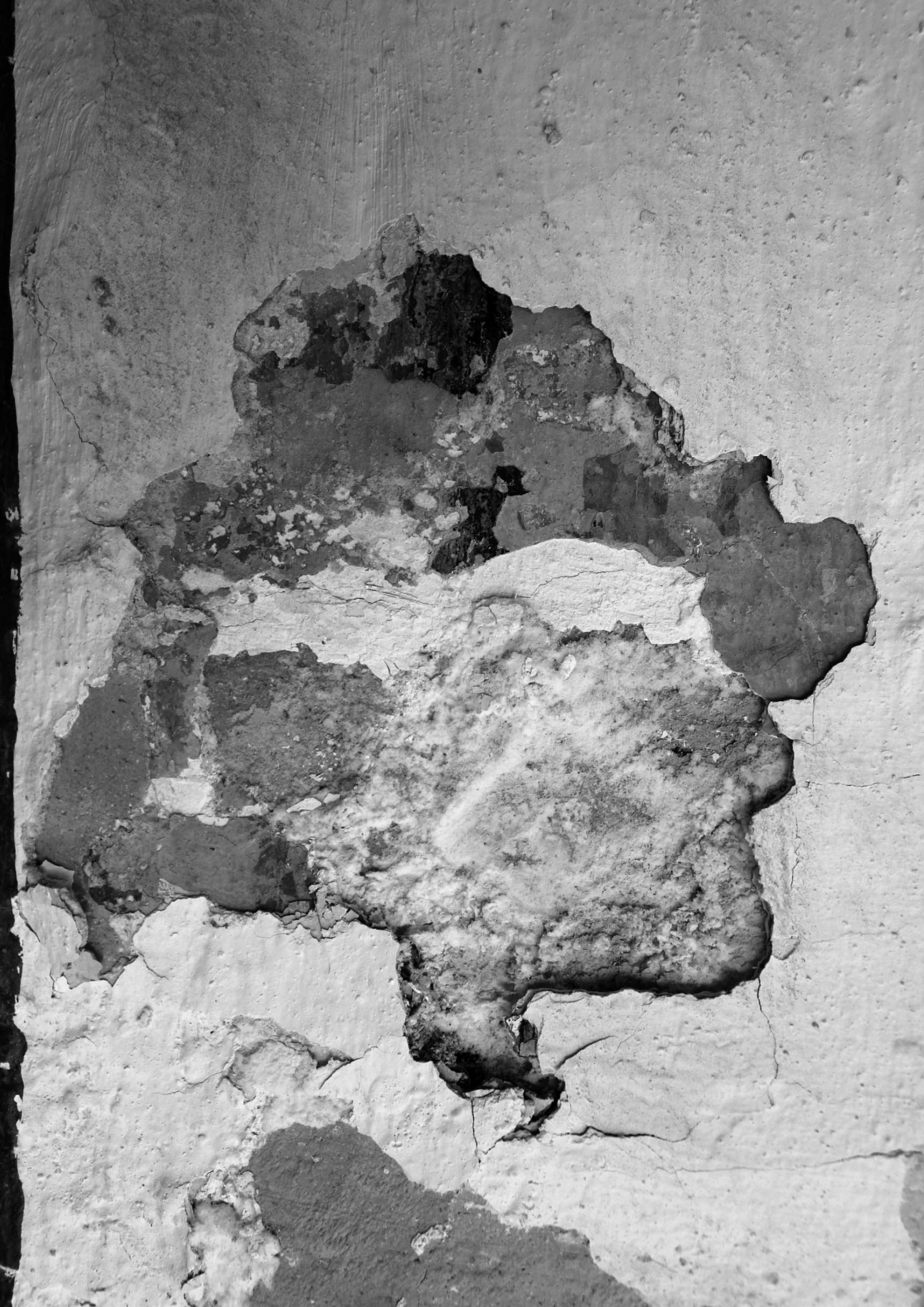
KEYWORDS

Whitewashes, tempera wall painting, stratigraphic study, consolidation, mineralization, Casassús Palace, Alzira.



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	PÁG 3
OBJETIVOS	PÁG 5
METODOLOGÍA	PÁG 7
1. PINTURAS MURALES ENCALADAS	PÁG 9
1.1. Encalados. Breve introducción a los procesos de ocultación y alteraciones sobre diferentes técnicas de pintura mural.....	PÁG 9
1.2. Protocolo de análisis de una pintura mural encalada.....	PÁG 12
2. FASE EXPERIMENTAL	PÁG 19
2.1. Selección de consolidantes.....	PÁG 20
2.2. Caso práctico: Pinturas murales encaladas del Palacio Casassús, Alzira.....	PÁG 25
2.2.1. Causas de alteración y estado de conservación.....	PÁG 28
2.2.2. Aplicación del protocolo de análisis.....	PÁG 31
2.2.3. Aplicación de los consolidantes.....	PÁG 36
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	PÁG 39
3.1. Resultados ensayo absorción de agua.....	PÁG 39
3.2. Resultados Microscopía Electrónica de Barrido (SEM-EDX).....	PÁG 42
3.3. Resultados remoción mecánica del encalado.....	PÁG 54
3.3. Discusión.....	PÁG 57
CONCLUSIONES	PÁG 63
BIBLIOGRAFÍA	PÁG 67
AGRADECIMIENTOS	PÁG 71
ÍNDICE DE IMÁGENES	PÁG 73
ANEXO	PÁG 77



INTRODUCCIÓN

La eliminación de la capa o capas de ocultación de cualquier tipo de pintura mural exige unos procedimientos previos que deben arrojar datos sobre su valor histórico-artístico, las condiciones en las que se encuentran las pinturas, así como la extensión que ocupan, para que todo proceso de eliminación de capas superpuestas resulte posible sin causar daños a capas subyacentes.

En caso de no conocer la composición o el estado de conservación de la capa pictórica subyacente, se tiende a evitar todo proceso de eliminación de encalados con métodos físico-químicos para evitar la solubilización de estas capas. De manera general, la remoción suele realizarse mediante medios mecánicos en seco, con el instrumental adecuado, trabajando lo más superficialmente posible, de manera gradual y controlada.

La problemática y dificultad de remoción de este tipo de estratos aumenta por el hecho de que bajo esta superficie se encuentra una pintura mural al temple, con altas probabilidades de que ésta se encuentre disgregada, mostrando pérdida de cohesión. En este tipo de casos es prácticamente imprescindible recurrir a procesos de consolidación previos al de limpieza, para poder desarrollar todo proceso de limpieza posterior sin generar ningún tipo de daño en las pinturas subyacentes. Estos procesos deben de hacerse permitiendo que la película pictórica pueda ser tratada tras su descubrimiento, ya que en muchos casos la pre-consolidación facilitará el desenclado pero no devolverá por completo la cohesión que se busca para la capa pictórica.

La compilación bibliográfica ha reflejado la problemática que plantean las resinas sintéticas, empleadas generalmente en este tipo de procesos, debido a que no se produce una profunda penetración que llegue a las capas subyacentes y obstruyen el sistema poroso de la estructura mural, entre otro tipo de inconvenientes.

Las intervenciones con productos inorgánicos y organosilíceos, a pesar de que no son materiales análogos a los empleados en la obra, prometen penetrar en profundidad en la red capilar que conforma la estructura estratigráfica de la pintura mural sin causar una alteración de ésta y cohesionando desde el interior la película pictórica.

Con esta hipótesis, se ha decidido realizar una serie de estudios sobre las pinturas murales que se localizan en una de las estancias del Palacio Casassús, Alzira, debido a que se ha constatado tras diversos estudios que presentan las características idóneas para ser objeto del siguiente estudio.

Esta investigación pretende servir como primer acercamiento ya no solo al estudio de los productos inorgánicos y organosilíceos como consolidantes en casos de pintura mural al temple encalada, sino también en pintura mural al temple descohesionada.



OBJETIVOS

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal valorar la posibilidad de mejora de las técnicas mecánicas de desencalado, sobre pinturas murales realizadas al temple, a través de acciones de preconsolidación de los estratos pictóricos ocultos.

Bajo la hipótesis de que las pinturas murales al temple son películas pictóricas muy débiles, con el fin de obtener suficiente información para realizar estos procesos de desencalado y encontrar un método que ayude a estabilizar la pintura dotándola de nuevas propiedades físico-mecánicas que la preparen para futuras intervenciones, ha sido necesario plantear los siguientes objetivos específicos:

- Conocer los diferentes procesos de encalado, así como las causas por las que eran llevados a cabo y el tipo de alteraciones y deterioros que ocasionaban sobre diversas técnicas de pintura mural, en concreto sobre la pintura mural realizada al temple.
- Elaborar un protocolo de análisis específico para analizar las pinturas murales encaladas y conocer en profundidad su estructura estratigráfica con el fin de aportar información que ayude a seleccionar los métodos de consolidación y desencalado posteriores más afines a los resultados que se quieran obtener.
- Analizar las posibilidades y las ventajas que los materiales inorgánicos y organosilícios pueden aportar en los procesos de consolidación de pinturas murales al temple que hayan sido sometidas a diversos procesos de ocultación, evaluando si son capaces de dotar a estas capas pictóricas de mayor resistencia, para que se pueda llevar a cabo las pertinentes limpiezas mecánicas y físico-químicas que permitan la remoción del encalado sin perjudicar, ni eliminar, las pinturas que se quieren sacar a la luz.

En caso de que los objetivos planteados fueran concluidos con resultados positivos, esta investigación serviría como primera experiencia para abrir una vía de actuación que se encamine a seguir testando estos productos, a pesar de que se tratan de materiales de naturaleza completamente diferente a la del estrato original.



METODOLOGÍA

Con el fin de alcanzar los objetivos planteados en esta investigación y obtener unas conclusiones acordes al trabajo realizado, ha sido necesario emplear una metodología de trabajo que consta de cuatro fases fundamentales:

1. **Estudio teórico**, en el que se ha desarrollado una búsqueda y consulta exhaustiva de diferentes fuentes bibliográficas existentes y documentación científica para la obtención de datos de interés que ayuden a adquirir conocimientos acerca del uso de la técnica del encalado a lo largo de la historia, causa de aplicación, problemática que presenta su remoción sobre diferentes técnicas murales y materiales que se emplearán con posterioridad en los procesos de consolidación para poder llevar a cabo la investigación. También será necesario organizar un protocolo de análisis para el estudio en profundidad de este tipo de obras y realizar una breve investigación sobre el Palacio Casassús, localizado en Alzira, para contextualizar las pinturas murales sobre la que se han realizado los análisis de esta tesis

2. **Trabajo de campo**, en el que se han llevado a cabo diversas visitas técnicas al inmueble para la recopilación de información, realización de un estudio organoléptico de la obra *in situ*, toma de muestras, aperturas de catas y aplicación de consolidantes. También se ha realizado una documentación fotográfica detallada, imprescindible para generar un archivo de imágenes que faciliten la observación de los deterioros y detalles que a cierta distancia no se aprecian¹.

3. **Estudio experimental**, en el que se han seleccionado diferentes consolidantes de naturaleza inorgánica y organosilíceas para evaluar su capacidad de penetración y la mejora en relación al nivel de cohesión que aportan a la pintura encalada y averiguar en qué medida facilitan las labores de desencalado. Para poder valorar la acción consolidante se han realizado pruebas que han determinado las propiedades hídricas del soporte antes y después de la aplicación de los consolidantes seleccionados, todo ello complementado con un análisis a través del Microscopio Electrónico de Barrido (SEM-EDX) para determinar el nivel de penetración del consolidante y la remoción mecánica del encalado.

4. **Extracción de conclusiones** mediante el análisis y la interrelación de los datos recabados en las fases anteriores.

¹ Para la realización de dicho estudio se ha contado con una cámara de fotografía Canon 1100D, con el objetivo 18-55mm para las fotografías generales y de detalle, y un microscopio REFLECTA digital USB con capacidad de aumento de 200x para la toma de macrofotografías.



1. PINTURA MURAL ENCALADA: PROTOCOLO DE ANÁLISIS

1.1. Encalado. Breve introducción a los procesos de ocultación y alteraciones sobre diferentes técnicas de pintura mural

El encalado o la repolicromía¹ de una pintura mural es un proceso de alteración antropogénica, empleada lo largo de los siglos, que consiste en la ocultación puntual, parcial o total mediante una o varias capas, blancas o de color, aplicadas directamente sobre la pintura mural.

El termino de encalado se utiliza para definir cualquier tipo de capa, sin muestra de elementos decorativos, que oculta una decoración mural subyacente. Generalmente no suele hacerse ninguna distinción dependiendo de su naturaleza, casi cualquier técnica pictórica era válida para este proceso, como por ejemplo la pintura mural al temple, aunque el método más extendido para la realización de la ocultación consiste en la aplicación de una o diversas capas de cal apagada diluida en agua².

Los motivos por los cuales se llevaban a cabo las ocultaciones de una pintura mural pueden atender a diversas razones. Felici y Lanfranchi³, apuntan como causas principales los motivos higiénicos en épocas de epidemias, los cambios de gusto cuando una pintura seguía estilos ya pasados, readaptaciones del espacio al que estaba destinada la obra (Fig. 1), un mal estado de conservación debido a restauraciones o aplicación de sustancias aplicadas a modo de protección, como por ejemplo el llamado *beverone*, o incluso a la degradación de las pinturas en sí y, en caso de tratarse de pinturas figurativas, a las diversas ideologías políticas o religiosas de cada momento.



Figura 1. Pintura mural al fresco encalada. Sacristía San Juan de los Reyes, Toledo.

1 A pesar de que autores, como Cesar del Pino en su libro PINO DÍAZ, C. *Pintura mural. Conservación y restauración*, 2004, p. 124, emplean el termino de repolicromía para nombrar a una tipología de capas de ocultación, en este estudio se va a prescindir de su uso debido a que es más atribuible en obras como por ejemplo escultura policroma.

2 FELICI, A. LANFRANCHI, M. *L'occultamento delle pitture murali: motivi e modalità*. En: DANTI, C.; et al. *Il Colore Negato e il Colore Ritrovato. Storie e procedimenti di occultamento e descialbo delle pitture murali*, 2008. p. 39-40.

3 *Ibid.*, p. 28-39.

Dependiendo del tipo de técnica y los materiales empleados para la ejecución de la obra, encontramos dos grandes grupos que reaccionan de manera muy dispar, tanto frente a la aplicación de un encalado como a la eliminación de este: la pintura mural al fresco (o *buon fresco*) y la pintura mural al seco.

Por pintura al *fresco* se entiende toda pintura ejecutada sobre un mortero o enlucido de cal aérea todavía húmedo, el cual se pinta inmediatamente después de su aplicación, de tal manera que los pigmentos⁴ quedan integrados en el soporte. El principio químico que permite que esta técnica sea muy estable es la carbonatación del hidróxido cálcico que consigue englobar y fijar los pigmentos en el interior de la matriz cristalina del carbonato de calcio que se forma. La cal (hidróxido cálcico) en contacto con el CO₂ se convierte en carbonato cálcico. Debido a la integración de los pigmentos en la estructura calcárea del enlucido, esta técnica es, con diferencia, la más resistente frente a los deterioros provocados por agentes externos.

Las propiedades que confiere la carbonatación de la cal a la superficie pictórica, facilitan en gran medida todo proceso de desencalado que tenga que realizarse sobre una pintura mural ejecutada mediante esta técnica, siempre y cuando la obra se haya mantenido en un óptimo estado de conservación. La aplicación de cualquier capa pictórica sobre este tipo de obras, forma un estrato diferenciado fácilmente eliminable con métodos físico-mecánicos y químicos, con menores riesgos de alterar la superficie pictórica. Los materiales que componen el *intonaco* condicionan los pigmentos que pueden emplearse en esta técnica, limitando la paleta cromática a pigmentos inorgánicos e inertes como tierras, esmaltes, negros a base de carbón y óxidos minerales estables a los álcalis⁵. Cualquier aplicación de un encalado posterior no causará ningún tipo de degradación sobre ellos, ya que son seleccionados por su resistencia frente a la causticidad de la cal (Fig. 2-3).



Figura 2. Desencalado pintura mural al fresco, iglesia de Bergamo, Bergamo.



Figura 3. Desencalado pintura mural al fresco, iglesia de Bergamo, Bergamo.

La pintura mural al seco, a diferencia del *buono fresco*, se caracteriza por generar un estrato filmógeno sobre la superficie del enlucido ya seco, debido a la aplicación del pigmento que se aglutina con una sustancia orgánica. Dependiendo de la naturaleza del aglutinante empleado para la realización de la obra mural al seco, estas pinturas se dividen en técnicas grasas, como el óleo, o magras. En ambos casos, el soporte mural era preparado dependiendo de la técnica que se fuera a emplear *a posteriori*, y se aplicaba

4 Los pigmentos eran únicamente mezclados con agua o agua de cal, sin añadir ningún tipo de aglutinante.

5 MATTEINI, M; MOLES, A. La química en la restauración, 2001, p. 43.

una imprimación que acondicionaba el soporte para un mejor asentamiento de la pintura.

En la pintura mural al óleo los pigmentos son aglutinados con aceites secantes, de origen vegetal, y resinas⁶. Esta técnica, debido al exceso de *medium* con el que suele prepararse, engloba en su totalidad las partículas de color, creando superficies continuas con diferentes espesores y texturas⁷.

Las pinturas murales ejecutadas con técnicas magras o al temple, es decir, aquellas en las que se aglutina el pigmento con huevo, caseína, colas o algunas gomas vegetales⁸ utilizadas en dispersiones acuosas, tienen unas características específicas muy particulares, relacionadas principalmente con la cantidad de sustancia cohesiva, la cual es mucho menor en proporción a la cantidad de pigmento, no llegando a englobarlo por completo⁹, y además poseen una alta solubilidad en medios acuosos. Esta particularidad hace que esta técnica sea más vulnerable a los agentes externos de degradación, acrecentando el estado de pulverulencia propio de la pintura al temple.

Dependiendo del tipo de aglutinante empleado para la realización de la obra mural y de la naturaleza de la capa de encalado, la pintura mural al seco reaccionará de diferente modo, a excepción de ciertos aspectos comunes. En ambos casos la sustancia cohesiva, al tratarse de un material orgánico natural, en contacto con la cal de la capa de ocultación sufrirá procesos de hidrólisis, alterando las propiedades de los polímeros y con ello las propiedades físicas y mecánicas de la capa pictórica¹⁰. A diferencia de la pintura mural realizada al fresco, en las ejecutadas mediante las técnicas a seco no se seleccionan los pigmentos con el propósito de que resistan a la causticidad de la cal, por lo que tras la aplicación de la capa de ocultación ciertos pigmentos pueden verse alterados.

Es cierto que en el caso de la pintura al óleo las patologías que puede generar un encalado son mucho menores debido a que la pérdida de las propiedades del aglutinante se produce sobre todo en la capa más superficial de la película pictórica; en cambio, en las pinturas murales realizadas al temple, como ya se ha mencionado, las partículas de pigmento, que se encuentran más expuestas debido a la falta de aglutinante y a la degradación de éste, quedan englobadas por el nuevo material aplicado para la ocultación, dificultando en gran medida todo proceso de desencalado (Fig. 4).



Figura 4. Desencalado pintura mural al temple, Palacio Casassús, Alzira.

6 MORA, P.; MORA, L.; PHILIPOT, P. *Op. Cit.* 2003, p. 46.

7 MAYER, R. *Materiales y técnicas del arte*, 1993, p.8.

8 MORA, P.; MORA, L.; PHILIPOT, P. *Op. Cit.* 2003, p. 46.

9 MAYER, R. *Op. Cit.*, 1993, p.4.

10 VILLARQUIDE, A. *La pintura sobre tela II. Alteraciones, materiales y tratamientos de restauración*, 2005. p. 45.

1.2. Protocolo de análisis de pinturas murales encalada

Como paso previo y con el fin de profundizar en el conocimiento y comprensión de la estructura estratigráfica de las pinturas murales que han sido sometidas a procesos de ocultación, es necesaria la implementación de un protocolo de análisis que facilite la obtención y reagrupación de todos los datos necesarios para poder llevar a cabo las operaciones oportunas de desencalado.

Para ello se ha recurrido a la aplicación del método de análisis estratigráfico, que es generalmente utilizado a la hora de realizar estudios e intervenciones de carácter arqueológico, ampliamente estudiado por autores como Carandini¹¹ o Harris¹², que basa sus principios en la estratigrafía geológica¹³ y que ha ido adaptándose según han avanzando las investigaciones. Con la readaptación de este método de análisis se busca diferenciar, ordenar y datar las fases por las que ha pasado la pintura mural hasta llegar a la estructura actual, analizando los diferentes elementos y unidades estratigráficas que la componen.

En la actualidad, el análisis estratigráfico se ha generalizado y se utiliza en el estudio de cualquier bien de interés cultural, adaptando el método propuesto por Harris a las necesidades que cada una de las obras, de cualquier tipología, muestra en el momento de su intervención¹⁴. Este método permite el estudio detallado de las capas que componen cada una de las policromías de una obra¹⁵. El estudio pormenorizado y riguroso de cada pieza permite intervenciones de carácter restaurativo con criterios éticos, respetando y valorando las diferentes intervenciones realizadas sobre la obra a lo largo de la historia, teniendo en cuenta sus valores históricos y artísticos, abandonando la habitual práctica de su eliminación sistemática¹⁶ y respetando la Ley 16/1985 de 25 de junio del Patrimonio Histórico Español, Artículo 39.3:

“Las restauraciones de los Bienes a que se refiere el presente Artículo respetarán las aportaciones de todas las épocas existentes. La eliminación de alguna de ellas sólo se autorizará con carácter excepcional y siempre que los elementos que traten de suprimirse supongan una evidente degradación del Bien y su eliminación fuera necesaria para permitir una mejor interpretación histórica del mismo. Las partes suprimidas quedarán debidamente documentadas”¹⁷.

Con la recopilación de datos obtenidos tras la realización de una serie exámenes y catas, se busca conseguir suficientes elementos para definir los criterios de actuación más adecuados con vistas a la intervención de una obra con estas características¹⁸, que cuenta con una superposición de encalados de diferente naturaleza. El conocimiento en profundidad de los estratos que constituyen la obra y las características matéricas y técnicas de cada uno de ellos son imprescindibles a la hora de seleccionar los

11 CARANDINI, A. *Historias en La Tierra. Manual de excavación arqueológica*. 1997.

12 HARRIS, E. *Principios de estratigrafía arqueológica*, 1991.

13 BARROS, J. M; OSCA, Mª J; REGIDOR ROS, J. L. *El estudio de secuencias estratigráficas en pintura mural*, 2006, p. 39.

14 GARCÍA, R. *Examen material de la obra de arte. La correspondencia de policromías*, 1995, p. 52.

15 CABALLERO, L. *Método para el análisis estratigráfico de construcciones históricas o “lectura de paramentos”*, 1995, p. 37.

16 GARCÍA, R. *Op. Cit.*, 1995, p. 52-53.

17 BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO núm. 155, de 29/06/1985. [Consulta: 15-05-2018] Disponible en: <<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1985-12534>>

18 FERNÁNDEZ, Mª; GONZÁLEZ, Mª; MONTERO, G. *Estudio estratigráfico y correspondencia de los paramentos decorativos de la escalera de la Santa Cueva de Cádiz*, 1999, p. 85.

métodos de remoción de las capas superiores de encalado (Fig. 5-6), preservando en todo momento la capa subyacente a la que se quiere llegar y mostrar al público¹⁹.



Figura 5. Humectación encalado pintura mural al fresco situada en la logia de la iglesia San Rocco, Roma.

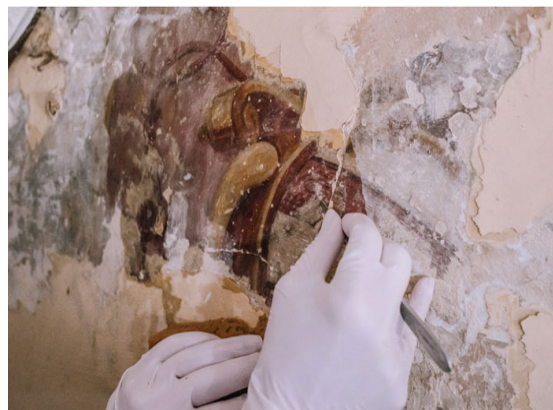


Figura 6. Desencalado mecánico pintura mural al fresco situada en la logia de la iglesia San Rocco, Roma.

El proceso de trabajo para la obtención de información de una pintura mural encalada se puede dividir en diferentes fases. En este caso, teniendo en cuenta que el estudio se va a realizar con el objetivo de determinar si la pintura mural requiere de una consolidación para afrontar los procesos de desencalado y limpieza que serán llevados a cabo *a posteriori*, los parámetros que más van a aportar información, tomando como referencia los propuestos en el ámbito de la escultura policroma por García Ramos²⁰, son:

- Número de estratos.
- Técnica de ejecución.
- Propiedades físicas como la textura, dureza, brillo, porosidad, etc. de cada una de ellas.
- Estado de conservación de cada uno de los estratos.

En toda investigación es necesario un estudio y análisis de la documentación histórica de la obra a intervenir, mediante la revisión de distintos tipos de fuentes documentales, antes de proceder a cualquier tipo de análisis. La recopilación de diversos datos dará información sobre el espacio arquitectónico donde se localiza la pintura mural y sobre el programa ornamental, que variará dependiendo de la época y de las características del espacio para el que se encuentre diseñado. También, con el fin de tener una perspectiva más amplia sobre el tema, podrá realizarse una revisión bibliográfica sobre obras similares que se localicen en un área geográfica determinada, ya que presentarán elementos comunes que ayudarán en gran medida a comprender la decoración que se encontrará debajo del encalado.

La primera fase, después de la revisión bibliográfica, se basará en un examen organoléptico preliminar de la obra que se realizará a través de un minucioso estudio *visu*, lupa binocular o con ayuda de un

19 FERNÁNDEZ, M^a; GONZÁLEZ, M^a; MONTERO, G. *Op. Cit.*, 1999, p. 85-86.

20 GARCÍA, R. *Op. Cit.*, 1995, p. 53.

microscopio, donde se analizará la superficie completa, revisando especialmente las lagunas (Fig. 7-8), sus bordes y las grietas en busca de capas pictóricas subyacentes. Otro método para determinar si bajo la capa de ocultación se encuentra algún tipo de decoración, siempre y cuando se tenga la certeza de que la capa pictórica subyacente no es soluble en agua, ya que podría verse afectada, consiste en humectar la capa de encalado ligeramente, debido a que a su poco espesor y los materiales que la conforman pueden permitir que se transluzca la pintura inferior.



Figura 7. Laguna encalado Palacio Casassús, Alzira

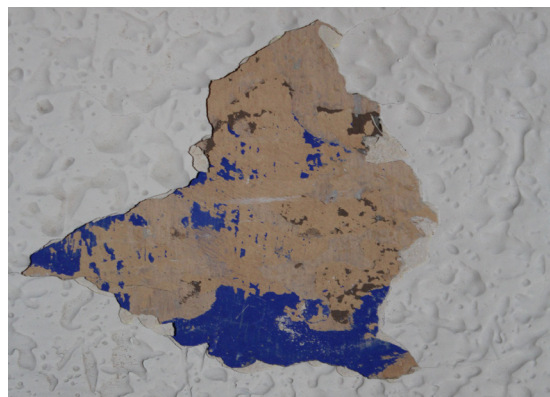


Figura 8. Laguna encalado Palacio Casassús, Alzira

Todo este proceso será acompañado de una documentación fotográfica exhaustiva de la superficie que está siendo analizada, tanto mediante encuadres generales como de detalle²¹. Los resultados que se obtengan tras este primer examen, si se aprecia algún indicio de que existen películas pictóricas subyacentes, serán los que determinen si es necesario o no continuar con las siguientes fases del estudio, es decir, con la realización de catas mediante métodos mecánicos.

A la hora de ampliar información sobre la estructura estratigráfica que conforma el mural es recomendable la extracción de muestras para la observación a través de lupa y microscopio óptico de su sección transversal. Aunque la observación de este tipo de muestras únicamente aporta información sobre un punto muy concreto de la obra, puede servir como complemento al resto de análisis que se van a emplear a lo largo del protocolo, por ejemplo, determinando el espesor de las unidades estratigráficas, dato que puede ser útil con vistas a la realización de las catas.

En el caso de que los resultados muestren la aparición de película pictórica bajo la capa o capas de encalado será necesario realizar una evaluación de toda la superficie para determinar dónde se realizarán las ventanas y de qué tamaño serán éstas para evitar una realización excesiva de catas. Es fundamental hacer una selección de lugares estratégicos que permitan obtener la máxima información posible a partir del menor número de catas.

Tanto el número como el tamaño de las ventanas de estudio dependerá de las características y el área que tenga la obra a estudiar. Se aconseja en todo momento que las catas se realicen en zonas protegidas y de difícil acceso, debido a que aumenta la posibilidad de que hayan permanecido un mayor número de

²¹ CABALLERO, L. *Op. Cit.*, 1995, p. 40-41.

capas y en un mejor estado de conservación, y por tanto se pueda obtener más cantidad de información relevante. Doménech Carbó y Osete Cortina²² exponen diferentes métodos de muestreo que pueden ser aplicados a la apertura de ventanas en este tipo de obras. Las estrategias de muestreo que más información pueden aportar son:

- Puntos seleccionados aleatoriamente: se tratan de puntos seleccionados indistintamente, sin ningún tipo de criterio, por toda la superficie de la obra.
- Puntos seleccionados según patrón regular: consiste en la división en retícula de la obra a analizar y la apertura de muestras en intervalos regulares siguiendo la partición realizada.
- Puntos seleccionados arbitrariamente: empleado de manera similar que el aleatorio pero aplicado cuando existen restricciones a la hora de realizar las ventanas, ya sea por razones estéticas o de preservación.
- Puntos seleccionados de manera intencionada: es recomendable realizar este tipo de catas en zonas donde se tengan indicios de que podría encontrarse algún tipo de decoración como pueden ser recercados, vanos de puertas y ventanas, zócalos, pilastras, techos, etc²³.



Figura 9. Catas realizadas en las pinturas murales encaladas de Iglesia de San Bernardo di Faedo, Faedo.



Figura 10. Catas realizadas en las pinturas murales encaladas de la sinagoga Santa María la Blanca, Toledo.

22 DOMÉNECH, M^a T; OSETE, L. *Another beauty of analytical chemistry: chemical analysis of inorganic pigments of art and archaeological objects*, 2016, p. 13-14.

23 MORA, P.; MORA, L.; PHILIPOT, P. *Op. Cit.* 2003, p. 35.

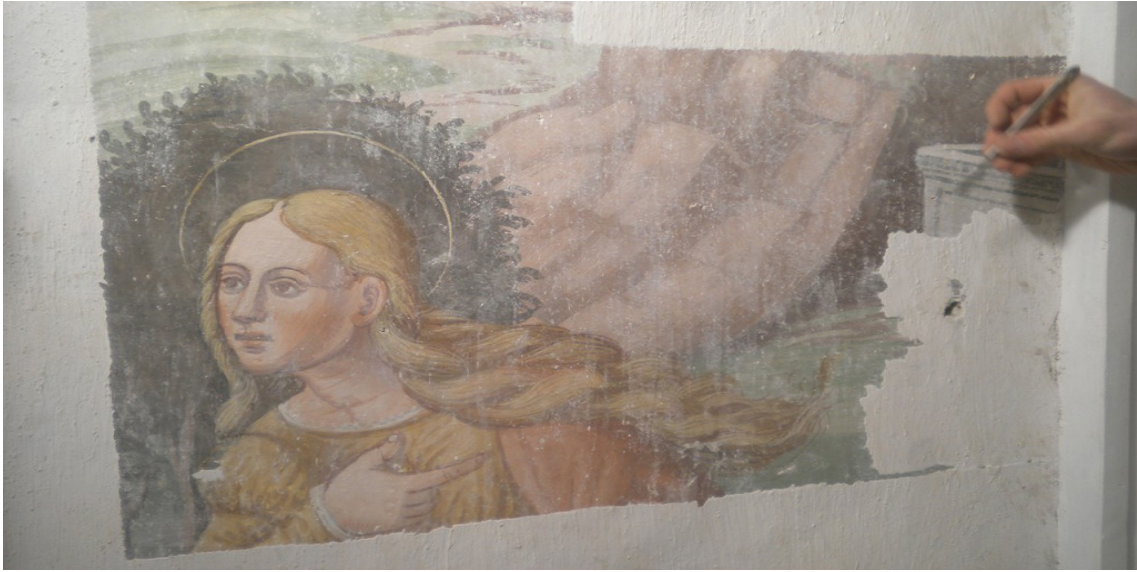


Figura 11. Catas realizadas en las pinturas murales al fresco Iglesia de Bergamo, Bergamo.



Figura 12. Catas realizadas en las pinturas murales al fresco encaladas de Iglesia de San Bernardo di Faedo, Faedo.

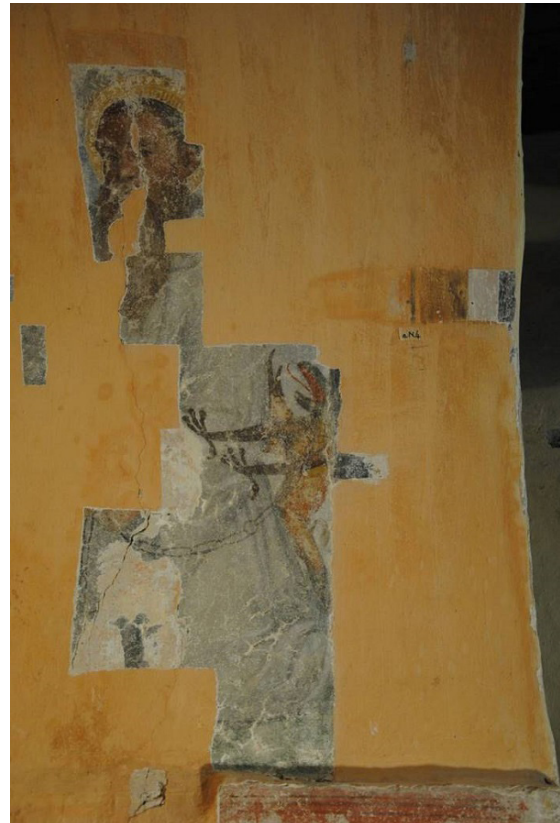


Figura 13. Catas realizadas en las pinturas murales al fresco encaladas de Iglesia de San Bernardo di Faedo, Faedo.

Siempre que sea posible es recomendable dejar *in situ* muestras de catas estratigráficas (Fig. 14), como testimonios de la evolución e historia de la pintura.

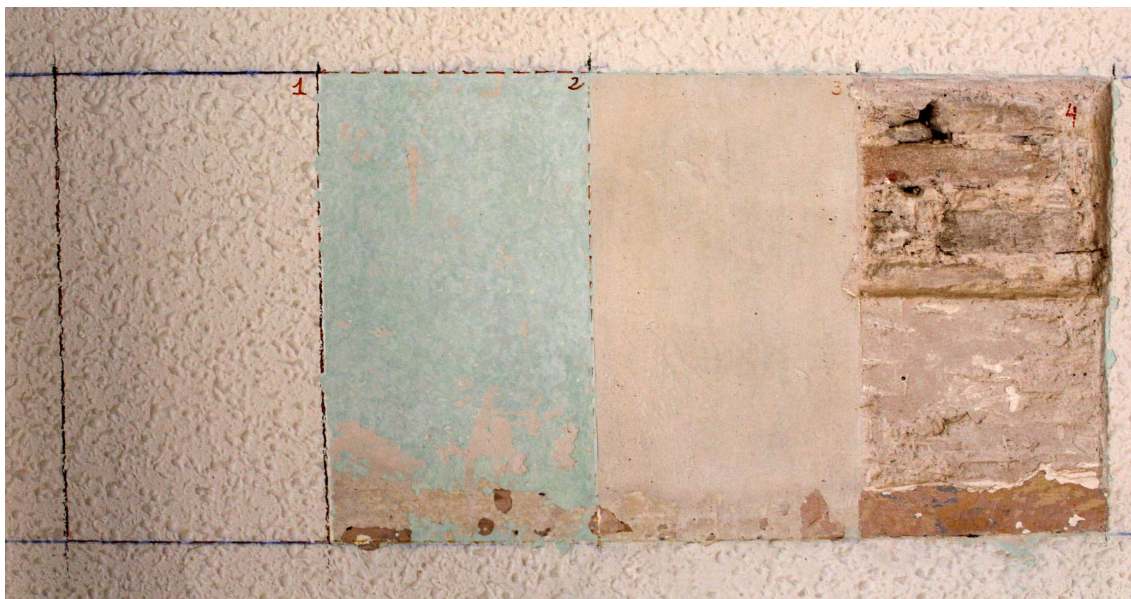


Figura 14. Estudio estratigráfico pintura mural al temple, Palacio Casassús, Alzira.

Llegados a este nivel del examen de la superficie pictórica se habrá recogido información suficiente para determinar si es necesaria la aplicación de un consolidante, pero habrá que ahondar más en la investigación para determinar cuál es el tratamiento más acorde a la estructura estratigráfica y a los materiales que la constituyen.

Para profundizar en el conocimiento de las unidades estratigráficas que conforman la estructura mural, y obtener información más fiable que desmienta o corrobore los datos que se han ido obteniendo a lo largo de los diversos exámenes realizados, será necesaria la toma de muestras para la realización de análisis en laboratorio²⁴. Para que los análisis químicos aporten la mayor información posible se buscará que la muestra a analizar sea representativa de toda la estructura estratigráfica que conforma la obra, seleccionando los puntos de muestreo con los mismos parámetros seguidos en la realización de las catas.

²⁴ En laboratorio, dependiendo del tipo de información que se busque, se podrán realizar análisis mediante Microscopía Óptica, tinciones, Cromatografía en Capa Fina de Alta Resolución (HPTLC), Microscopía Electrónica de Barrido-Microanálisis por Dispersión de Rayos X (SEM-EDX) o la Espectroscopia Infrarroja por Transformación de Fourier (FTIR), entre muchas otras.



2. FASE EXPERIMENTAL

El proceso de desencalado de una pintura mural al temple es uno de los tratamientos de restauración con más dificultad al que se puede enfrentar un restaurador. Como ya se ha señalado, la pintura mural al temple presenta unos problemas conservativos muy particulares. La baja proporción de materia aglutinante orgánica, en relación con la cantidad de pigmento empleado, genera superficies pictóricas de baja cohesión superficial, estado que se acrecienta en presencia de agentes de deterioro, ocasionando la desnaturalización del aglutinante y causando la pérdida de su función.

A la hora de aplicar un encalado sobre este tipo de pinturas murales, las patologías propias de estas obras se agravan, debido a la interacción del material cáustico con el que solían llevarse a cabo los procesos de ocultación, con las proteínas del propio aglutinante. A causa del contacto directo con la cal que tienen los pigmentos de este tipo de pinturas, por no encontrarse completamente englobados por el aglutinante, la acción de ésta a además de alterar a aquellos que no son resistentes a los álcalis, engloba las partículas sueltas, dificultando toda eliminación mecánica del encalado, ya que parte de la pintura original se perdería tras la remoción de éste.

Para evitar la remoción total de la pintura mural al temple durante los procesos de desencalado, debido a la disgregación y descohesión que sufre la capa pictórica y la solubilidad que presenta este tipo de técnica, será necesario realizar operaciones de consolidación preventiva, preconsolidación, que dote a dicho estrato de cohesión para evitar la pérdida de pintura.

Teniendo presente el objetivo al cual se quiere hacer frente en el siguiente apartado, aglutinar de nuevo los pigmentos, fijarlos al muro y conferir a la pintura mural nuevas propiedades físico-químicas para hacer frente a los diversos procesos de desencalado, es necesario realizar un análisis exhaustivo de los materiales consolidantes empleados habitualmente para tal fin.

La recopilación bibliográfica que arroja información sobre este tipo de intervenciones, entre las que se encuentran obras de restauración de gran importancia como por ejemplo la desarrollada en la iglesia San Juan del Hospital²⁵ entre otras²⁶, reflejan que en la actualidad los materiales predominantes para realización de preconsolidaciones de pinturas murales encaladas son las resinas acrílicas, las cuales además de múltiples ventajas plantean una serie de inconvenientes que en esta intervención se quieren evitar.

La investigación sobre la implementación de materiales de diferente naturaleza a los empleados convencionalmente busca dotar a la pintura mural al temple de nuevas propiedades que beneficien de diversas forma en los procesos de eliminación de encalados.

25 MOLTÓ, M; *et al. Descubrimiento y Restauración de las pinturas murales de San Juan del Hospital, Valencia, 2003, p. 70-75.*

26 Se ha realizado una recopilación bibliográfica de artículos que hablan sobre diferentes procesos de desencalado sobre pinturas murales de tipologías varias entre los que destacan los artículos encontrados en DANTI, C.; *et al. Op Cit, 2008.* y ZALBIDEA, M. A; GARATE, I; IRANZO, A. *Descubrimiento y restauración de las pinturas murales de la Ermita de San José de Ayora. En: XV Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, 2004.*

2.1. Selección de consolidantes

Con la principal intención de dotar a la pintura mural realizada al temple de estabilidad y cohesión para afrontar los procesos de desencalado y subsanar las patologías que presenta, han sido diferentes los tratamientos y las metodologías que los restauradores han empleado en los procesos de consolidación, utilizando productos y sustancias de diversa naturaleza con propiedades muy dispares, con el objetivo de que éstos fuesen respetuosos, además de eficaces, y compatibles con el material sobre el cual se estaba interviniendo.

Antes de la aparición en el mercado de las resinas sintéticas de uso comercial, los materiales empleados, ya sea para la fijación o “reavivación” de películas pictóricas al temple, eran sustancias de tipo orgánico²⁷ que, aunque en un primer momento conseguían el propósito de avivar y/o proteger los colores, a largo plazo ocasionaban deterioros mayores que los que la pintura presentaba en un inicio²⁸. A pesar de que en este trabajo de investigación se ha descartado su empleo, debido al tipo de alteraciones que se tiene constancia que generan sobre el soporte pictórico, es necesario citarlas, ya que antiguamente eran ampliamente empleadas y pueden llegar a mostrarse en la estructura estratigráfica de la obra a restaurar a causa de intervenciones anteriores.

Desde su descubrimiento y hasta la actualidad, el tipo de productos más utilizado en la restauración de pinturas murales al temple han sido las resinas orgánicas sintéticas (polímeros sintéticos), y en concreto las resinas²⁹ como, por ejemplo, el Paraloid B-72[®] ³⁰y Acril 33[®]³¹. Estos polímeros sintéticos son materiales que tras muchos estudios se ha comprobado que se muestran estables, resistentes, parcialmente reversibles y que aplicados en concentraciones bajas no provocan la impermeabilidad del material poroso y permite su transpiración, pero en una concentración no adecuada provocaría la obturación de los poros y obstaculizaría la libre circulación de vapor de agua³².



Figura 15. Consolidación con resina acrílica.

27 Entre los que se encuentran la leche, la caseína, la clara de huevo, la goma laca, las resinas naturales, las colas animales, los mucílagos vegetales, los aceites secantes, las ceras y las parafinas, entre muchos otros. MATTEINI, M; MOLES, A. *Op. Cit.*, 2001, p. 201-202.

28 MORA, P.; MORA, L.; PHILIPOT, P. *Op. Cit.*, 2003, p. 287.

29 Este tipo de productos han sido empleados en diferentes informes de intervención citados en la nota al pie número 29.

30 Resina acrílica al 100%, a base de Etil-metacrilato, empleada para la consolidación y protección de madera, piedra, mármol, metal, etc., soluble en cetonas, ésteres, hidrocarburos aromáticos y clorurados. CTS [Consulta: 3-06-2018] Disponible en: <<https://www.ctseurope.com/es/scheda-prodotto.php?id=24>>

31 Resina acrílica pura al 100% en dispersión acuosa, destacada por su resistencia frente agentes atmosféricos, estabilidad química y resistencia a los álcalis, lo que la hacen compatible con materiales como la cal, cemento y yeso. Entre los usos en el ámbito de la restauración se encuentran el de aditivo para morteros y estucado, ligante de pigmentos, adhesivo y consolidante y fijativo de estratos pictóricos. CTS [Consulta: 3-06-2018] Disponible en: <<https://www.ctseurope.com/es/scheda-prodotto.php?id=4>>

32 WEYER, A; et al. *Ewaglos. European illustrated glossary of conservation terms for wall paintings and architectural surfaces*, 2016, p. 349.

A pesar de las múltiples ventajas, estos productos poseen inconvenientes que, en ocasiones, tienen mayor peso que las diversas ventajas que plantean, debido a que se trata de materiales de naturaleza muy diferente a la de los que constituyen la obra, por lo que pueden tener comportamientos adversos si no se aplican con cautela. Entre estas desventajas podemos encontrar una escasa penetración en la red porosa, lo que ocasiona consolidaciones muy superficiales o creaciones de capas filmógenas que al secar pueden contraer levemente, creando pequeños desprendimientos de la capa de encalado y por ende de la película pictórica que se encuentre adherida a él, además de la imposibilidad de realizar tratamientos posteriores³³. El uso de resinas tanto de origen natural como sintético pueden ocasionar la proliferación de microorganismos³⁴.

En todo momento, y teniendo siempre presente que se está trabajando sobre un soporte con unas características técnicas muy específicas, entre ellas la porosidad, se debe tener en consideración que los tratamientos de consolidación que se apliquen sobre este tipo de pinturas murales son procesos completamente irreversibles³⁵. Debido al carácter irreversible, hay que buscar materiales que tengan una compatibilidad físico-química con el material a consolidar y evaluar que sean los más adecuados para evitar cualquier tipo de alteración que estos productos puedan causar a la obra, ya que no podrán ser eliminados de la superficie sobre la que se apliquen.

Además de esta compatibilidad físico-química, existen una serie de características que se debe buscar en la elección de un buen consolidante para que éste cumpla el objetivo propuesto en este trabajo. Entre estas propiedades se destacan: que presente una adecuada capacidad de penetración en el sustrato poroso, que el nuevo material aplicado sea capaz de mantener la permeabilidad al paso del vapor de agua, lo que se podría denominar la no interferencia con la transpiración de la obra, que presente un comportamiento y envejecimiento lo más similar posible al original, que permita realizar tratamientos posteriores sobre la obra y una mínima toxicidad durante y después del tratamiento³⁶. Otra propiedad deseable en los productos consolidantes de obras murales es la no alteración estética del original, pero en este caso, al tratarse de obras que se encuentran ocultas tras una capa de cal, esta característica pasa a ser secundaria y priman las expuestas con anterioridad.

Aunque no en el ámbito específico de la consolidación de pintura mural al temple, en las últimas décadas se ha visto un incremento en el uso de tratamientos de naturaleza inorgánica. Gracias a diferentes investigaciones³⁷ se ha demostrado su inalterabilidad con el paso del tiempo de este tipo de materiales que, *a priori*, únicamente eran utilizados en pinturas murales al fresco con problemáticas muy concretas.

Según evidencias científicas, el carácter alcalino de este tipo de productos puede llegar a deteriorar la materia orgánica presente en los aglutinantes de las pinturas murales a seco. Se tiene hay constancia gracias a diversos estudios de que también podrían ser aplicables en pinturas ejecutadas con este tipo de técnicas, las cuales tengan unas características muy particulares, en concreto que con el paso del tiempo,

33 MATTEINI, M. *Inorganic treatments for the consolidation and protection of stone artefacts and mural paintings*, 2008, p. 15-16.

34 BORGIOI, L; CREMONESI, P. *Le resine sintetiche usate nel trattamento di opere policrome*, 2005, p. 26.

35 OSCA, J. *La consolidación de pinturas murales, la obra de Palomino en Valencia*, 1998, p. 208.

36 MORA, P.; MORA, L.; PHILIPOT, P. *Op. Cit.*, 2003, p. 279-284; PINO DÍAZ, C. *Op. Cit.*, 2004, p. 194.

37 MATTEINI, M. *Op. Cit.*, 2008.

a causa de diversos agentes de deterioro, hayan sufrido la desnaturalización de la sustancia orgánica que cohesionaba los pigmentos o que esta haya mineralizado, pasando a ser oxalatos³⁸.



Figura 16. Consolidación con hidróxido de bario de las pinturas murales al fresco de la iglesia de San Roque de Oliva, Valencia.



Figura 17. Consolidación con hidróxido de bario de las pinturas murales al fresco de la iglesia de San Roque de Oliva, Valencia.

A la par que los inorgánicos, los productos organosilíceos se han abierto paso en los tratamientos de consolidación de materiales pétreos y morteros. Este tipo de materiales consolidantes tienen la particularidad de poseer propiedades que se pueden encontrar tanto en las resinas sintéticas como en los materiales inorgánicos³⁹.

Tanto los consolidantes inorgánicos como los organosilíceos basan su acción consolidante en la precipitación de compuestos de neoformación de diferente naturaleza, dependiendo del producto consolidante aplicado, originados por diversas reacciones químicas que se llevan a cabo tras la penetración del consolidante, volviéndose del todo irreversibles tras su aplicación⁴⁰.

Tras una revisión bibliográfica, valorando las diferentes ventajas e inconvenientes que presentan las diversas opciones que oferta el mercado, los productos consolidantes seleccionados para llevar a cabo esta investigación han sido los inorgánicos y organosilíceos.

A pesar de que se tiene conocimiento de que químicamente no se trata de los consolidantes más afines con el tipo de pintura mural sobre la que se quiere intervenir, se ha seleccionado los materiales con esta naturaleza por su mayor nivel de penetración en comparación con las resinas sintéticas y con el fin de que doten a este tipo de estratos de ciertas propiedades de las que carece, consiguiendo una superficie más resistente, insoluble, inerte, que además de mantener las partículas de pigmento unidas al soporte, las englobe, ejerciendo a la vez una función cohesiva y protectora. La mejora de las propiedades citadas facilitará en gran medida toda acción mecánica y química necesaria para la eliminación de las capas de ocultación superpuestas a la pintura original.

38 OSCA, J. El empleo de consolidantes inorgánicos y organosilíceos como alternativa a los consolidantes orgánicos. En: *Tratamientos y metodologías de conservación de pinturas murales*, 2005, p. 23-24.

39 *Ibid.*, p. 29.

40 *Ibid.*, p. 28.

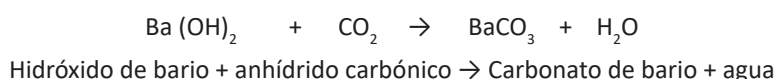
Al principal inconveniente que se plantea con la utilización de este tipo de consolidantes, que es la irreversibilidad⁴¹, se contrapone a la ventaja de que la reducción de la porosidad que ofrecen estos materiales es mínima y no alteran sustancialmente la estructura porosa a diferencia de las resinas sintéticas, y el mencionado nivel de penetración. Además, si bien es cierto que la alcalinidad de los materiales puede alterar los pigmentos y aglutinante de origen orgánico presentes en las pinturas murales al temple, éstos ya se habrán visto afectados por la capa de encalado.

Hay que señalar que este tipo de materiales, aplicados sobre pinturas murales al temple, únicamente podrán solventar problemas de descohesión y pulverulencia de la capa pictórica, siendo insuficientes en problemas de descamaciones⁴², pero a diferencia de las resinas sintéticas respetan la porosidad del material sobre el cual son aplicados evitando la obturación de la red porosa.

Seleccionada la naturaleza de los consolidantes que se quieren testar en esta investigación, se ha acotado el estudio a cuatro productos, entre los que se encuentran un inorgánico y tres organosilíceos:

- Hidróxido de bario
- Silicato de etilo
- Silicato de potasio
- Silicato de litio

El **hidróxido de bario** octohidrato basa su acción consolidante en su reacción con el dióxido de carbono presente en la atmósfera, creando así carbonato de bario, una sustancia insoluble y que posee propiedades consolidantes⁴³.



Este proceso de carbonatación, que se produce de manera lenta, formará gradualmente una red cristalina homogénea de carbonato de bario que ayudará a cohesionar de nuevo la película pictórica pulverulenta, englobando los pigmentos en un tejido microcristalino de neoformación, y compactará el sistema poroso, creando una estructura microcristalina muy similar a la de las pinturas murales al fresco⁴⁴.

41 OSCA, J. *Op. Cit.*, 2005, p. 28.

42 MUÑOZ, S; OSCA, J; GIRONÉS, I. *Diccionario de materiales de la restauración*, 2014, p.281.

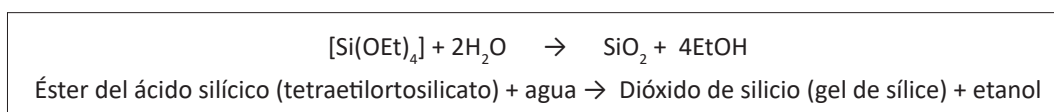
43 CTS. Bario hidrato (hidróxido de bario). [Consulta: 3-06-2018] Disponible en: <<https://www.ctseurope.com/es/scheda-prodotto.php?id=213>>

44 MATTEINI, M. *Op. Cit.*, 2008, p. 18-19.

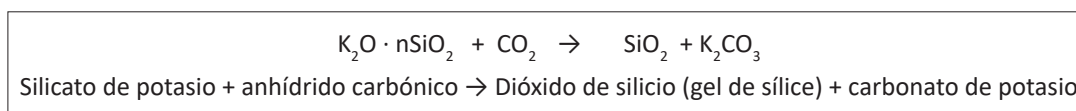
Según las recomendaciones técnicas, la aplicación de disoluciones saturadas de hidróxido de bario, disolviendo entre 30-100 gr. de producto por cada litro de agua desionizada, es suficiente para fijar películas pictóricas descohesionadas. Se recomienda su aplicación mediante empacos de pulpa de celulosa para aumentar el tiempo de contacto, que dependerá de manera directa del soporte a consolidar y de las condiciones ambientales en las que se encuentre, pero puede oscilar entre 6 y 8 horas .

Los compuestos organosilíceos basan su poder consolidante en la precipitación de sílice amorfa. La presencia de silicio en la composición de estos productos, así como la de un catalizador, en contacto con la humedad existente en la atmósfera y el dióxido de carbono, hidrolizan dando lugar a la silificación⁴⁵. Con el paso del tiempo, debido a que se trata de un tipo de reacción relativamente lenta, el ácido silícico se deshidrata y polimeriza precipitando una sustancia criptocristalina y amorfa que tiene como base el sílice, que pasa a realizar la función de un conglomerante natural anclando mediante enlaces electrostáticos las partículas pulverulentas al mortero de preparación⁴⁶. Gracias a la lentitud de las reacciones que se producen, en caso de ser necesario, pueden eliminarse con facilidad los diversos residuos superficiales que se producen antes de que se lleve a cabo la precipitación del hidróxido de silicio.

Con el **silicato de etilo**, los ésteres del ácido silícico reaccionan con la humedad atmosférica y se transforman en gel de sílice y alcohol etílico⁴⁷. Esta reacción de policondensación⁴⁸ puede ser esquematizada del siguiente modo:



En el caso de los vidrios solubles, **silicatos de litio y potasio**, la disolución del silicato alcalino, la cual se obtiene a través de la fusión de sílice con un álcali, con la acción del dióxido de carbono es la que produce la formación de sílice amorfa⁴⁹. Las reacciones que sucederían tras aplicar el silicato potásico se desarrollaría de la siguiente manera:



Con la aplicación de éste tipo de consolidantes, gracias a la fuerte unión química que establece el gel de sílice de neoformación y el soporte, éste adquiere nuevas propiedades mecánicas que pueden ser muy útiles de cara a diferentes procesos de restauración.

45 WEYER, A; *et al. Op. Cit.*, 2016, p. 403.

46 OSCA, J. *Op Cit.*, 2005, p. 30-31.

47 CTS. Estel 1000®. [Consulta: 3-06-2018] Disponible en: <<https://www.ctseurope.com/es/scheda-prodotto.php?id=220>>

48 *Ibid.*

49 MUÑOZ, S; OSCA, J; GIRONÉS, I. *Op. Cit.*, 2014, p.280.

2.2. Caso práctico: Pinturas murales encaladas del Palacio Casassús, Alzira

El Palacio Casassús (Fig. 19), declarado como Bien de Relevancia Local en el Decreto 126/2004, de 30 de julio, del Consell de la Generalitat, Anexo III, DOGV nº. 4.811, del 3 de agosto de 2004⁵⁰, se ubica en la localidad de Alzira, capital de la comarca de la Ribera Alta (Valencia), y en concreto, en el barrio de la Vila, declarado Bien de Interés Cultural en la categoría de conjunto histórico⁵¹. Este inmueble, junto con el Ayuntamiento, se trata de uno de los últimos ejemplos de arquitectura civil señorial de periodo foral⁵² que se conserva en la localidad de Alzira.



Figura 18. Localización Palacio Casassús.



Figura 19. Fachada Palacio Casassús.

Situado en la plaza que recibe su mismo nombre, en el lateral oriental de la Casa Consistorial y junto al Palacio Municipal, el Palacio Casassús localiza su entrada principal en la calle Ensenyansa nº3, desde donde se puede apreciar la fachada en su totalidad. En ella destaca el escudo heráldico de la familia Casassús (Fig. 20), el cual se encuentra declarado Bien de Interés Cultural⁵³, inscrito en el registro con el número R-I-53-0000579, y sobre este un reloj solar que data de la década de los noventa (Fig. 21).



Figura 20. Escudo heráldico familia Casassús.

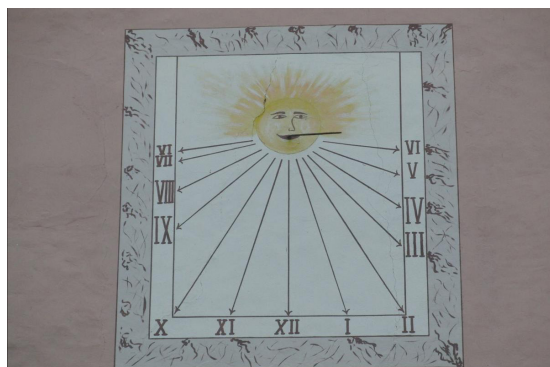


Figura 21. Reloj solar fachada Palacio Casassús.

50 DIARI OFICIAL DE LA GENERALITAT VALENCIANA [Consulta: 15-05-2018] Disponible en: <http://www.dogv.gva.es/portal/ficha_disposicion.jsp?id=24&sig=3892/2006&L=1&url_lista>

51 BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO núm. 270, de 11/11/2003 [Consulta: 15-05-2018] Disponible en: <https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2003-20692>

52 MONTAGUT, B. *Alzira: arte en su historia*. Alzira, 1981, p.58-60.

53 GENERALITAT VALENCIANA [Consulta: 15-05-2018] Disponible en: <<http://www.ceice.gva.es/ca/web/patrimonio-cultural-y-museos/bics>>

Realizando una breve aproximación genealógica es necesario reflejar que los orígenes del palacio, que se remontan al siglo XVII⁵⁴, se encuentran ligados a José Casassús, a quien debe su nombre, y su mujer Margarita de Navia; pasando después a ser propietario el hijo de ambos, José Joaquín Casassús.

El inmueble, de estilo gótico-renacentista⁵⁵, articula sus 770 m² en tres plantas organizadas alrededor de un patio central descubierto, dejando diferenciadas las estancias y accesos nobles de los de servicio. Aunque la estructura inicial del inmueble se encuentra reiteradamente reformada, adaptándose al planteamiento de uso de cada uno de los inquilinos posteriores, y muy deteriorada debido su abandono, en los estudios llevados a cabo por los arqueólogos municipales⁵⁶ se ha constatado la presencia vestigios de la estructura tradicional de las casas nobiliarias del gótico civil valenciano, como son arcos góticos en la planta baja (Fig. 22) y escalera en el patio situada sobre estos para acceder a la planta noble (Fig. 23).



Figura 22. Arcos góticos descubiertos en las primeras excavaciones arqueológicas del Palacio Casassús.



Figura 23. Antigua puerta de acceso a la planta noble.

En el año 2005, el Ayuntamiento de Alzira adquirió el inmueble⁵⁷, que presentaba un estado avanzado de ruina a causa del colapso de los forjados del área nordeste, con la intención de rehabilitarlo y dedicar las dependencias de este a diversos servicios municipales. Actualmente se encuentra en proceso de rehabilitación y saneamiento de los muros que conforman la estructura del edificio, así como su consolidación y adecuación a su nuevo uso.

Centrando el estudio en la planta noble o planta principal del inmueble, ya que se trata de la que mayor valor presenta en vistas a esta investigación, se pueden apreciar una serie de dependencias, que con el paso de los años han sufrido innumerables readaptaciones de su estructura pero, con la intervención estructural que se está llevando a cabo en la actualidad, han vuelto a su presunta forma originaria. El estudio versará sobre las pinturas murales ocultas situadas en la estancia sur de esta planta noble (Fig. 24), la cual presenta una planta rectangular de 12 metros de largo por 5,50 metros de ancho.

54 MONTAGUT, B. *Op. Cit.*, 1981, p.58-60.

55 IBORRA, F. *Corte y cortesanos: evolución tipológica residencial y ecos del palacio del monarca en el Reino de Valencia entre los siglos XIII y XV*, 2013.

56 FERRER, A; CLAUSI, M. Informe sobre el valor histórico artístico del Palacio Casassús, en la Vila de Alzira, 2004.

57 AYUNTAMIENTO ALZIRA [Consulta: 15-05-2018] Disponible en: <http://www.alzira.es/alzira_vpm/index.php/es/noticias/8845-les-obres-de-la-segona-fase-van-donant-forma-al-palau-de-casassus-d-alzira>

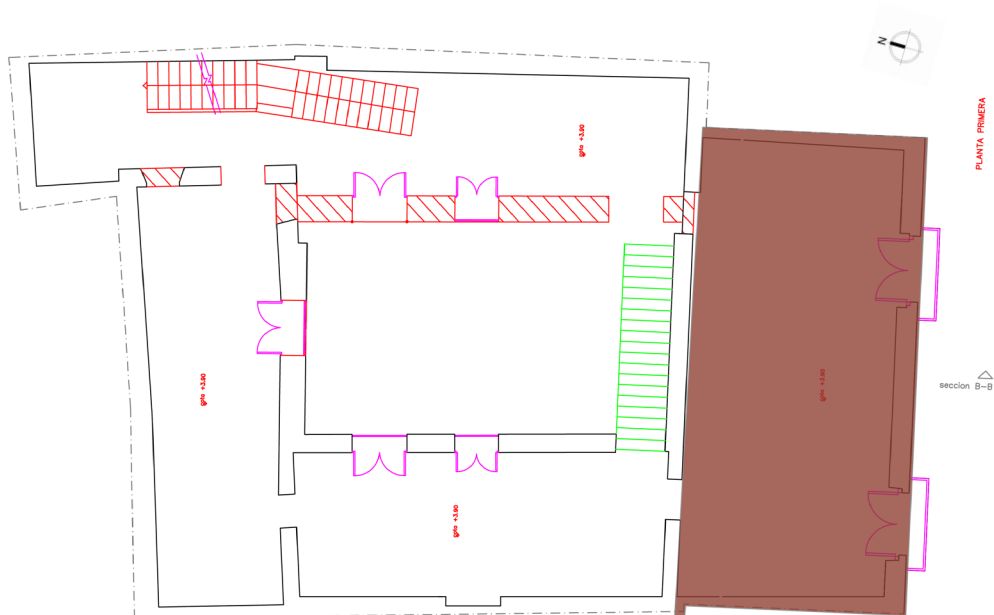


Figura 24. Localización estancia objeto de estudio.

Estableciendo una comparativa con otro tipo de edificaciones similares que se pueden encontrar en la ciudad de Valencia, las cuales recoge Francisco Pérez de los Cobos Gironés⁵⁸, se tiene constancia de que los palacios de esta época solían decorar sus estancias interiores con pinturas murales con diferentes motivos en función del gusto del propietario o del estilo que predominase en la zona. En este caso, las zonas que conforman la planta principal tienen como factor común la decoración parietal, que es apreciable a través de diferentes daños que sufren las capas que las ocultan y de catas realizadas por diferentes técnicos del Ayuntamiento de Alzira.

58 PÉREZ, F. *Palacios y Casas Nobles de la ciudad de Valencia*, 2008.

2.2.1. Causas de alteración y estado de conservación

De manera previa al desarrollo de cualquier tipo de análisis, el cual requiera un mayor nivel de profundización sobre las pinturas murales encaladas que se localizan en la estancia ya descrita, es necesario conocer las causas de alteración y el estado de conservación de la sala que alberga las pinturas encaladas. Para ello es necesario realizar un análisis organoléptico que detecte y evalúe los diferentes factores de degradación que han afectado o se encuentran actuando en la obra, y el tipo de patologías que hayan generado en esta. Solventar estas patologías desde su origen, paso previo a las acciones de restauración, garantizará el cese de la acción del deterioro y unos resultados óptimos en los procesos de restauración, acordes a los objetivos que se hayan planteado.

Tanto las causas de alteración como las patologías que se pueden apreciar a lo largo de la habitación tienen en común el factor antropogénico, debido a modificaciones según el planteamiento de uso de la edificación, y en concreto de la estancia, así como al consiguiente abandono de la vivienda. Junto con el factor humano, se puede apreciar que la causa que más ha incidido en el deterioro en las pinturas murales localizadas en ésta ha sido la humedad por filtración proveniente de la cubierta, grietas y fisuras del muro localizado en el patio y al mal estado en el que se encontraban las bajantes de PVC situadas también en el patio antes de que fueran eliminadas.



Figura 25. Panorámica estancia objeto de estudio.

El alto porcentaje de humedad presente en las áreas afectadas, la escasa ventilación y los materiales orgánicos que componen tanto el aglutinante de la pintura mural como el de las capas de ocultación han favorecido la aparición de actividad biológica, que ha generado biodeterioro en uno de los muros.

Si bien es cierto que la ocultación de las pinturas murales afecta a la estancia en su totalidad, incluidas otras salas de esta primera planta del palacio, la acción de la humedad y de los diversos agentes biológicos se localiza en una zona muy concreta del muro noroeste.

Teniendo en cuenta los diversos daños que sufrió la estructura del palacio, las causas de alteración y la carencia de medidas de conservación preventiva que ha tenido en general a lo largo de los años, el estado de conservación a nivel estructural y estético de las pinturas murales de la estancia objeto de estudio es deficiente. Los daños visibles, divisibles en estructurales y estéticos, afectan en igual medida a toda la superficie mural de la estancia, concentrándose algunos de ellos en puntos muy determinados.

Dentro de los catalogados como daños estructurales se encuentran grietas y fisuras (Fig. 26-27) en diferentes puntos de la estancia que, aunque no afectan de manera directa a las pinturas, sí que actúan como punto de entrada de humedad. Estas han podido surgir a causa de los movimientos de asentamiento del propio inmueble y sus cimientos, así como al grave colapso que generó el derrumbe de ciertas zonas de la edificación, ocasionando daños en ciertas áreas de la estancia.



Figura 26. Grietas y fisuras muro sur.



Figura 27. Grietas y fisuras

La filtración de agua (Fig. 28) a través de ciertos puntos como son las cubiertas, grietas/fisuras y bajantes es la causante de la aparición de eflorescencias salinas en esta estancia. No obstante, los puntos a través de los cuales se producían las filtraciones han sido revisados y subsanados durante la intervención de rehabilitación que se está llevando a cabo en el edificio.



Figura 28. Filtración muro norte.

La presencia de las eflorescencias salinas, presentes en un área muy localizada del muro noroeste, genera diversos daños como son la disgregación y el desprendimiento de las capas superiores debido a que la cristalización se produce bajo la superficie, en concreto entre el soporte y la pintura mural al temple. Las criptoeflorescencias que surgen se manifiestan como formaciones algodonosas de filamentos de sal, que gracias a su localización accesible han sido examinadas a través de un sencillo análisis mediante el empleo de análisis reactivos específicos⁵⁹. En estas pruebas se ha confirmado la presencia de nitratos.

Los nitratos son sales hidrosolubles que generalmente pueden provenir de la descomposición de materia orgánica nitrogenada. La aparición de este tipo de sales en las pinturas murales puede deberse a filtraciones de agua residual, como es el caso, o zonas con niveles de contaminación atmosférica muy altos⁶⁰.

Aunque no son perceptibles a simple vista, se puede detectar la presencia de abolsamientos entre diferentes capas a través de un leve golpeo en la superficie de la pared o la presencia de desprendimientos debido a la separación existente entre diferentes estratos. Estas zonas se encuentran localizadas cerca del perímetro donde hay presencia de eflorescencias salinas y áreas afectadas por grietas.

Si bien es cierto que debido a las capas de ocultación que impiden la visualización del estado de conservación de la pintura mediante un examen visual, y las diversas causas de alteración, es probable que se haya provocado una progresiva pérdida de la acción cohesiva del aglutinante.

Sin embargo, sí que se pueden apreciar a lo largo de toda la superficie lagunas de diversa morfología y dimensiones que causan tanto la interrupción formal como material de la pintura mural. Este tipo de lagunas suponen desde pérdidas superficiales, en las que únicamente se observa la falta de las múltiples capas de ocultación y/o película pictórica, hasta faltantes en los cuales se aprecia la pérdida de soporte mural, generando un punto de entrada de agua proveniente del exterior. Algunas lagunas, debido a la simetría en su morfología y en su localización (Fig. 29), se sabe que han sido originadas tras la eliminación del sistema de vigas con el que contaría la estancia antiguamente⁶¹.



Figura 29. Lagunas originadas por la eliminación del sistema de vigas.

59 Para el análisis de las sales se han empleado los kits VISOCOLOR® ECO, para la determinación colorimétrica de nitratos y sulfatos mediante prueba de turbidez.

60 MORA, P.; MORA, L.; PHILIPOT, P. *Op. Cit.*, 2003, p. 235.

61 Cada uno de los agujeros, generalmente cuadrados, que sirve para la colocación de vigas recibe el nombre de mechinal.

2.2.2. Aplicación del protocolo de análisis

Para llevar a cabo una aproximación a las características de la pintura mural sobre la cual se van a realizar los procesos de consolidación con productos inorgánicos y órgano-silíceos, es necesario abordar un estudio estratigráfico de la superficie mural seleccionada.

En este caso, la implementación del protocolo de análisis, desarrollado en apartados anteriores, en el estudio de estas pinturas murales busca la comprensión e identificación de los procesos, transformaciones y modificaciones que ha sufrido la estructura estratigráfica para posteriormente poder llegar a definir las ventajas e inconvenientes que la aplicación de los consolidantes seleccionados aportan en los procesos de desencalado. Para ello se ha realizado el siguiente diagrama de flujo que facilitará la comprensión de los procesos llevados a cabo.

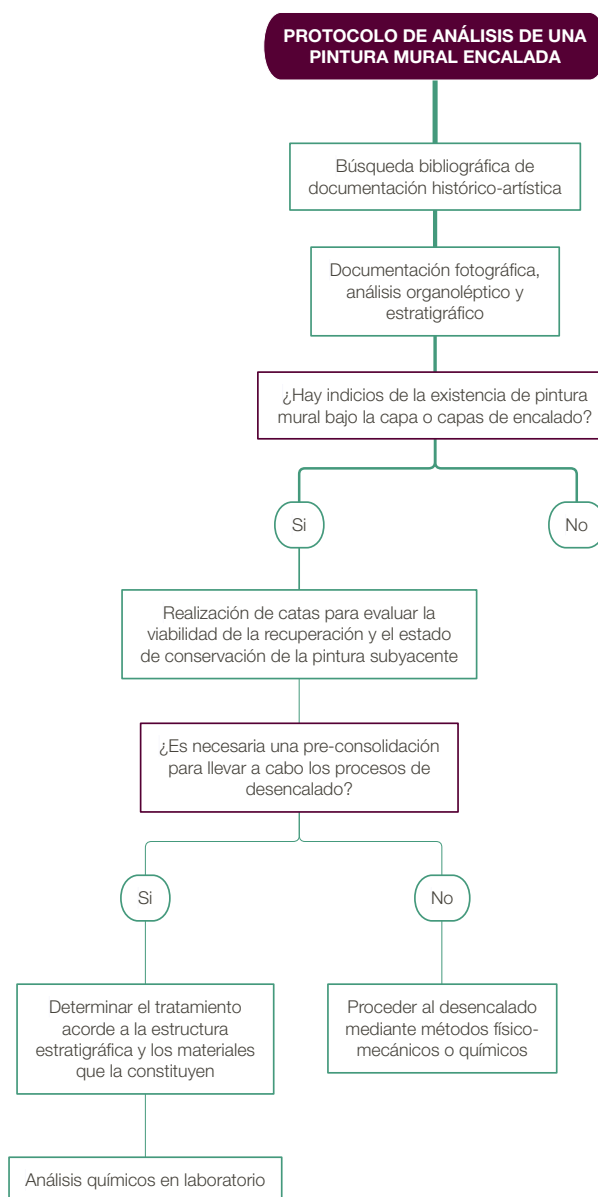


Figura 30. Diagrama de flujo protocolo de análisis.

Antes de proceder a su aplicación hay señalar que esta tesis no abordará la datación de cada una de las estructuras estratigráficas, ni intentará establecer una secuencia lógica de las diversas decoraciones que se han encontrado a lo largo de la estancia, puesto que este proceso se circunscribe a una línea de una investigación que no se encuentra contemplada en los objetivos que en este trabajo se han planteado desde un inicio.

Atendiendo a la evolución estructural que ha tenido la habitación, se tienen vestigios de la existencia de diferentes decoraciones murales superpuestas bajo la capa actualmente visible (Fig. 31-32), que varían según el punto de la estancia que se analice. Dado que en esta investigación no se quiere entrar a valorar que decoración tiene mayor o menor valor, o cuál debería ser la que se muestre tras la eliminación del encalado, se ha seleccionado la pared norte, que tras un primer análisis organoléptico únicamente muestra una película pictórica decorativa subyacente, además de ser la única decoración común al resto de muros.



Figura 31. Decoración muro sur.



Figura 32. Decoración muro sur.

Ante la nula información bibliográfica, y tras no obtener ningún tipo de referencia en la búsqueda que muestre cómo eran las pinturas en su origen o durante la evolución de la edificación, se ha procedido a realizar un análisis visual. La existencia de lagunas en la superficie del encalado indicaba la presencia de pintura mural tras las diferentes capas de ocultación (Fig. 33-34), por lo que, además de determinar las causas de alteración y el estado de conservación de la estancia en general, como ya se ha tratado en el apartado anterior, mediante la aplicación de este estudio se ha evidenciado la presencia de pintura mural en toda la sala.



Figura 33. Laguna encalado muro noroeste.



Figura 34. Laguna encalado muro noroeste

Para corroborar los indicios que se tiene sobre esta pintura mural, tras la observación de las lagunas del muro, se ha procedido a extraer una muestra que a continuación ha sido englobada en resina⁶² y analizada tras su pulido mediante Microscopio Óptico LEICA DM750, X4-X200, con sistema fotográfico digital acoplado LEICA MC170HD.

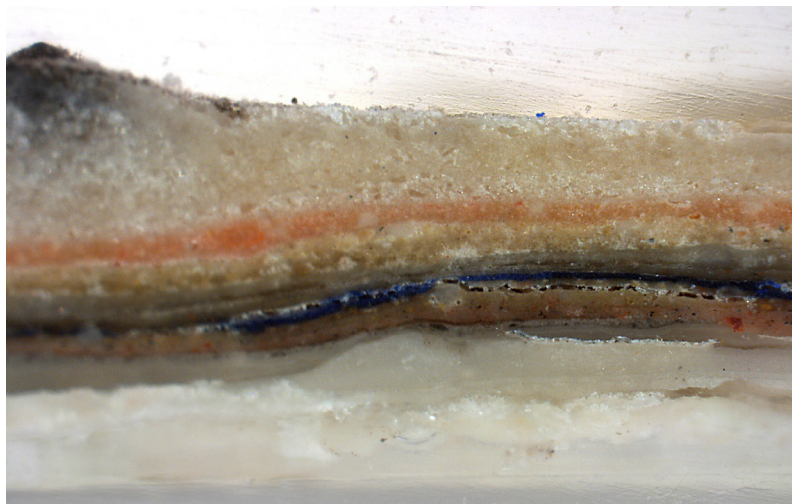


Figura 35. Microfotografía estratigráfica pintura mural encalada muro norte, MO X32.

A pesar de que el estudio de la sección de una muestra no es concluyente de la totalidad de la superficie, debido a que la información que aporta se centra en un punto muy concreto del área seleccionada, sí que supone una base para identificar una serie de estratos superpuestos sobre la pintura mural y evaluar el espesor aproximado de cada uno de ellos.

Para profundizar en el conocimiento de estos estratos, obtener información sobre sus características físico-mecánicas y su relación con la decoración subyacente, es necesaria la realización de catas estratigráficas a partir de métodos mecánicos. La elección del área donde se ha decidido llevar a cabo este proceso ha sido intencionada dentro del muro seleccionado anteriormente, atendiendo a factores como la accesibilidad, la amplitud de la zona de cara a los procesos de aplicación de consolidantes, el buen estado de conservación y la ausencia de abolsamientos entre los diferentes estratos, ya que los consolidantes a testar no son los indicados para la subsanación de ese tipo de patología (Fig. 36).

Para la realización de la apertura de las catas se ha procedido de manera controlada, gradual y selectiva a la remoción mecánica, mediante escalpelo y bisturí, de las diversas capas de ocultación, abriendo ventanas de aproximadamente 30 cm de alto por 15 de ancho (Fig. 37). Durante este proceso se han evaluado factores como la resistencia a la eliminación mecánica, la solubilidad en agua o la relación del estrato eliminado respecto a la pintura mural subyacente. Durante las labores de desencalado se ha procedido de manera que la acción mecánica empleada para la remoción de las capas no suponga un daño para la capa pictórica que se quiere extraer.

62 Para realizar el englobado de las muestras los materiales empleados han sido Resina: Ferpól 1973® / Catalizador F-11® (20 ml. / 0,4 ml.).



Figura 36. Área muro noroeste seleccionada para la apertura de catas y aplicación de consolidantes.

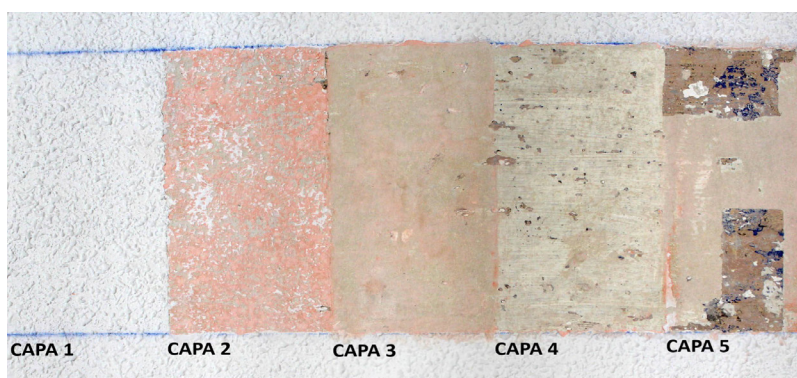


Figura 37. Catas estratigráficas

Los coincidentes resultados obtenidos en los diversos procesos del protocolo de análisis reflejan que la estructura estratigráfica de este muro se encuentra compuesta al menos por cinco estratos diferenciables. Desde su capa más externa hacia la más interna estos son:

- **Capa 1:** Estrato blanquecino realizado mediante la técnica del gotelé, soluble en agua, con un espesor heterogéneo que varía entre $149\mu\text{m}$ a $457\mu\text{m}$. Su remoción se ha realizado a través humectación controlada con esponja y medios mecánicos, con material de precisión como bisturís y escalpelos. La eliminación no supone riesgo de remoción la capa pictórica, pero se debe evitar generar un exceso de humedad en el soporte.
- **Capa 2:** Estrato de tono anaranjado muy soluble en agua, de espesor aproximado de $61\mu\text{m}$. Se plantea la hipótesis de que este tipo de estrato puede ser una pintura mural al temple lisa mate. Su remoción es total tras un lavado con esponja ligeramente humectada en agua y al igual que la capa anterior, no supone un riesgo para la capa pictórica, controlando siempre el aporte de agua.
- **Capas 3 y 4:** Estratos de tono blanquecino y grisáceo de solubilidad limitada, con un grosor aproximado de $74\mu\text{m}$ y $42\mu\text{m}$, respectivamente. Se establece la hipótesis de que ambos estratos sean encalados. Aunque se ha evaluado la solubilidad de esta capa, se ha decidido abordar su

remoción a través de medios mecánicos, debido al contacto directo que tienen con la película pictórica. Tras proceder a su eliminación se puede apreciar que el estrato 3 respecto al 4 y 4 en relación con el 5, se encuentran entre si fuertemente adheridos, causando el arranque de la película pictórica en caso de intentar su remoción. A pesar de esto, sí que se ha podido eliminar la capa 3 a través de un ligero raspado.

- **Capa 5:** Conjunto de tres estratos de color ocre, que conforma el fondo de la decoración, marrón y azul, solubles en agua, de aproximadamente 80µm en su conjunto. Gracias a las aperturas ya existentes en el mural y a las catas realizadas se puede concluir que el conjunto de estratos pertenece a la capa pictórica la cual se trata de una decoración mural realizada mediante trepa con motivos vegetales. En el proceso de apertura de las catas, tras observar la excesiva pérdida de material pictórico, se decidió reducir el tamaño propuesto de la cata a dos de 6 x 10 cm, para evitar generar excesiva pérdida de material pictórico.

Mediante las fotografías realizadas con microscopio se ha podido detectar una leve separación entre los diferentes estratos que conforman el estrato pictórico, siendo una de las múltiples causas por las que se ocasiona la pérdida de materia pictórica en los procesos de remoción del encalado.

Para no generar una pérdida en el estrato pictórico, el soporte ha sido analizado a través de lagunas ya existentes (Fig. 38) y de fragmentos desprendidos localizados en la estancia (Fig. 39). Este soporte se encuentra formado por dos estratos diferenciables, aunque se puede observar que se tratan de un mismo material. La argamasa de ambos estratos presenta un granulado fino, de baja dureza, con aspecto de yeso.



Figura 38. Laguna muro noroeste.

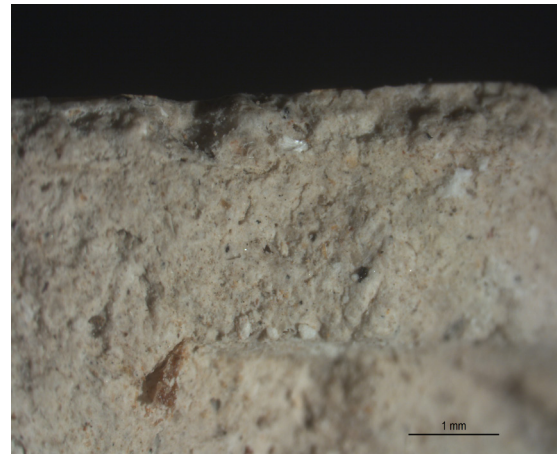


Figura 39. Muestra mortero muro norte MO X80.

Tras la compilación de toda la información obtenida se ha confirmado la hipótesis de que la pintura mural localizada bajo las diversas capas de encalado se trata de una pintura mural al temple. Ésta, debido los procesos de ocultación, se ha visto progresivamente alterada, perdiendo la acción cohesiva del aglutinante y generando una pulverulencia del estrato pictórico. Debido a su estado, y ante la imposibilidad de remoción de estas capas⁶³, es imprescindible el tratamiento preconsolidante de la superficie para poder trabajar sobre ella.

63 Ya que se generaría un daño irreparable del estrato pictórico

2.2.3. Aplicación de los consolidantes

Tras la revisión bibliográfica desarrollada en el apartado Elección de consolidantes, se han seleccionado los materiales consolidantes a emplear en la investigación en base a su naturaleza inorgánica u organosilíceica por sus importantes ventajas en comparación con los de naturaleza orgánica sintética. Sin embargo, antes de proceder a su aplicación debemos establecer qué productos en concreto serán testados dentro de la amplia gama que oferta el mercado, en qué proporción deben emplearse, el método de aplicación y los tiempos de actuación, adaptándolos a los objetivos que tiene la presente investigación.

De cara a un proceso de consolidación de pintura mural, una vez seleccionado el producto en función de los objetivos que se pretenden lograr, hay que tener siempre presente que la eficacia de la intervención va a depender de manera directa de la profundidad a la que sea capaz de penetrar el material consolidante y de la distribución que se produzca dentro de la estructura porosa. Tanto la penetración como la distribución interna del material consolidante dependerán del método de aplicación del producto y de otros factores, por lo que habrá que controlar en todo momento:

- Concentración de la solución.
- Tipo de solvente y tasa de evaporación del mismo.
- Tiempo de contacto con la obra.
- Presión y temperatura de trabajo.

Los cuatro productos consolidantes, casa suministradora, proporciones⁶⁴ y composición que se emplearan en la siguiente investigación son:

Tabla 1. Productos consolidantes a testar

SELECCIÓN DE PRODUCTOS CONSOLIDANTES A TESTAR			
PRODUCTOS	MARCA COMERCIAL	PROPORCIÓN	COMPOSICIÓN
HIDRÓXIDO DE BARIO	Kremer	Solución saturada en agua destilada	Hidróxido de bario octohidrato
ESTEL 1000®	CTS	Puro	Éster etílico del ácido silícico. Tetraetilortosilicato (TEOS)
SILICATO DE POTASIO	Productos químicos Manuel Riesgo S.A.	1:2 en agua destilada	Sal alcalina del ácido silícico
SILICATO DE LITIO	Kremer	10% en agua destilada	Sal alcalina del ácido silícico

64 Las proporciones de cada uno de los productos consolidantes han sido seleccionadas siguiendo las recomendaciones técnicas especificadas en cada una de las fichas proporcionada por la marca comercial.

Para garantizar una penetración homogénea en todos los puntos del área a consolidar, gracias a los resultados obtenidos en el protocolo de análisis realizado con anterioridad, se ha decidido eliminar las dos primeras capas de ocultación, las cuales tenían un grosor muy heterogéneo y una alta solubilidad, ya que su pérdida no supone un riesgo para la capa pictórica subyacente y permite una mayor penetración de los productos a testar en la investigación.

La metodología de aplicación de cada consolidante seleccionado debe adaptarse atendiendo a las indicaciones y recomendaciones referenciadas en las fichas técnicas y a las circunstancias que envuelven la obra a tratar para que se facilite, en la medida de lo posible, la penetración del producto consolidante.

Para sistematizar la aplicación de cada uno de los consolidantes, con todos los productos se ha interpuesto un papel japonés de 9 gr/m². En el caso del hidróxido de bario la aplicación se ha realizado mediante un empaco de Arbocel® BWW 40 (Fig. 40), debido a la necesidad de largos tiempos de contacto para que penetre en profundidad en el soporte poroso, con un tiempo de contacto de 2 horas. Los consolidantes organosilíceos han sido aplicados directamente según su método habitual (Fig. 41), a pincel realizando de cuatro a cinco aplicaciones de cada uno de ellos.



Figura 40. Aplicación empaco hidróxido de bario.



Figura 41. Aplicación a pincel Estel 1000®.

Tras su aplicación se dejaron transcurrir veinte días antes de proceder a realizar cualquier tipo de valoración sobre las modificaciones que la estructura estratigráfica ha sufrido con el empleo de cada uno de los consolidantes. Aunque la acción de los consolidantes, al tratarse de productos inorgánicos y organosilíceos se produce de manera lenta y necesita tiempos extensos para comprobar la durabilidad y la eficacia de los tratamientos en profundidad, se ha optado como este tiempo como el mínimo para que los materiales muestren niveles mínimos de eficacia.



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para valorar la efectividad de los consolidantes empleados en esta investigación y poder establecer una comparativa entre los diferentes productos, se ha planteado básicamente la evaluación de tres parámetros. Teniendo en cuenta las exigencias y limitaciones de este tipo de trabajos de investigación, se ha centrado las primeras evaluaciones en los parámetros que se consideran más relevantes: el grado de efectividad de la acción consolidante, la penetración y las modificaciones de permeabilidad que sufre la estructura estratigráfica. Los ensayos seleccionados para realizar una evaluación centrada en los objetivos planteados son los siguientes:

1. Ensayos hídricos de absorción de agua
2. Microscopia Electrónica de Barrido (SEM-EDX)
3. Remoción mecánica de las capas de encalado y pruebas de solubilidad

3.1. Resultados ensayo absorción de agua

El índice de absorción de agua es un parámetro que nos permite cuantificar el cambio de permeabilidad experimentado en una superficie mural tras la aplicación de un producto consolidante. Este índice se calcula relacionando las medidas realizadas antes y después de la aplicación de un consolidante sobre una superficie porosa. Los resultados que se obtengan tras realizar las mediciones determinarán las variaciones que sufre la red porosa de la pintura mural al temple encalada, tras la aplicación de los diferentes productos.

Al tratarse de una pintura mural al temple la cual es altamente soluble en agua, se ha prescindido del uso de tubo o “pipeta” Karsten⁶⁵ por las diferentes dificultades operativas que presenta y la hidrosolubilidad de varias de las capas que conforman la estructura estratigráfica, en pro de otro método que aporte menos cantidad de humedad al soporte. En este caso se ha decidido aplicar el siguiente método, siguiendo el estándar UNI 11432:2011, aprobado en Noviembre de 2011 por la Commissione Centrale Tecnica dell’ UNI Italiana.

Este ensayo se ha realizado mediante el empleo la ESPONJA DE CONTACTO – KIT. Método para la valoración “in situ” de la eficacia de tratamientos hidrorrepelentes sobre superficies monumentales de CTS. Siguiendo las recomendaciones, las mediciones, tanto de área de pintura mural encalada no tratada como de las diferentes áreas tratadas con los consolidantes a analizar, se han efectuado en el mismo momento para

65 Método de la pipeta según recomendaciones RILEM Ensayo nº II.4, Normas UNE: UNE-EN 16302:2016. Cuando se aplica una columna de agua sobre un material poroso, el agua penetra en el interior del material. El volumen de agua absorbida después de un tiempo definido es una característica del material.

que no existan variaciones en las condiciones ambientales en las que se ha procedido a la toma de datos.

En este caso, y al no contar con las instalaciones necesarias para desarrollar todo el ensayo *in situ*, se procedió a realizar el proceso de preparación de las esponjas en laboratorio y la correspondiente pesada inicial, introduciéndolas posteriormente en bolsas zip individuales marcadas y numeradas correspondientemente. *In situ* se aplicaron las diversas esponjas por un tiempo de contacto de 1 minuto cada una de ellas y volvieron a ser introducidas en las bolsas zip para transportarlas al laboratorio de nuevo, donde se realizó la pesada final. El cálculo de la cantidad de agua absorbida por el muro se realiza siguiendo la siguiente fórmula:

CALCULO CANTIDAD DE AGUA ABSORBIDA (Wa)

$$W_a \text{ (g/cm}^2 \times \text{min)} = (P_i - P_f) / 23.76 \times t$$

- t = tiempo de contacto en minutos
- P_i = peso inicial en gramos
- P_f = peso final en gramos
- 23.76 = superficie de la esponja en cm²

Para evitar variaciones en los ensayos realizados se decidió dejar un área de superficie no tratada para realizar las mediciones de la zona sin tratar y las tratadas contemporáneamente, es decir, con las mismas condiciones termohigrométricas del ambiente.

De cada una de las áreas donde se han aplicado los consolidantes, se han realizado tres mediciones y con posterioridad una media en función de la absorción de cada producto. Con los datos obtenidos tras el cálculo de la media por cada uno de los consolidantes y la pintura mural encalada sin tratar, se ha realizado una comparación mediante gráficas de barras para observar las diferencias que existen dependiendo del producto empleado.



Figura 42. Aplicación esponja sobre superficie mural.

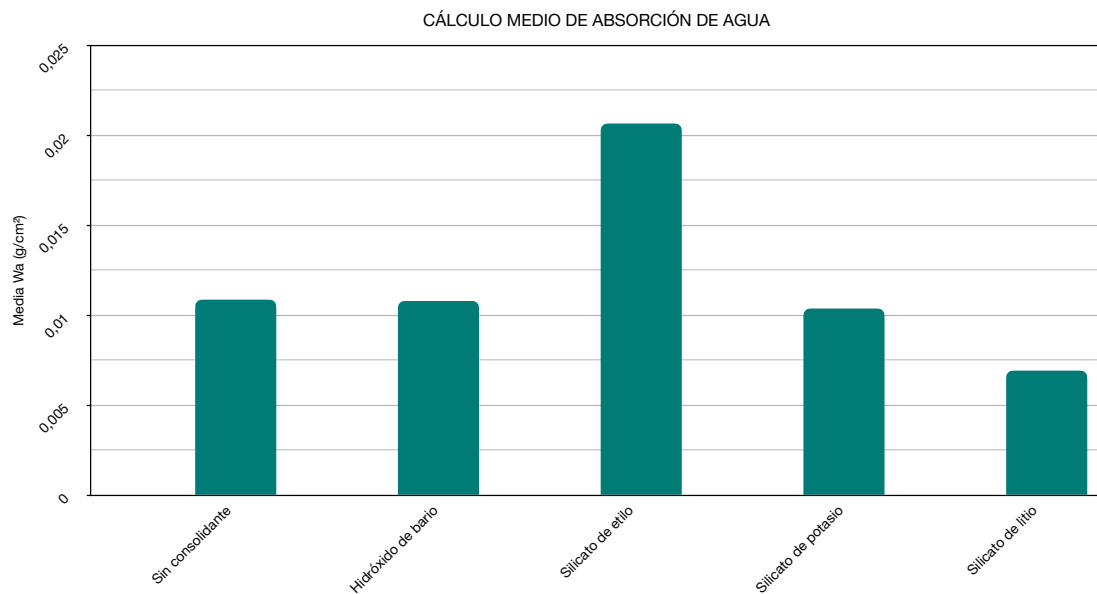


Figura 43. Aplicación esponja sobre superficie mural.

Tabla 2. Mediciones absorción de agua⁶⁶

MEDICIONES ABSORCIÓN DE AGUA				
ÁREA	WA 1	WA 2	WA 3	MEDIA WA
SIN CONSOLIDANTE	0,0067	0,0076	0,0185	0,0109
HIDRÓXIDO DE BARIO	0,0185	0,0067	0,0072	0,0108
SILICATO DE ETILO	0,0135	0,0286	0,0202	0,0207
SILICATO DE LITIO	0,0004	0,0097	0,0210	0,0104
SILICATO DE POTASIO	0,0084	0,0055	0,0067	0,0069

Gráfica 1. Cálculo medio absorción de agua.



Tras la observación de resultados se puede apreciar la leve modificación de absorción de las zonas tratadas respecto a la no tratada, produciéndose variaciones de aproximadamente $\pm 0,01\text{g}/\text{cm}^2$ según el tratamiento consolidante empleado.

66 Los datos de las mediciones realizadas así como la Wa y la media de todas las áreas se encuentra desarrollado en el Anexo 1.

3.2. Resultados Microscopía Electrónica de Barrido (SEM-EDX)

Con el fin de evaluar los resultados de forma objetiva y cuantificable en cuanto al nivel de penetración del consolidante en la estructura interna del conjunto estratigráfico, debido a la naturaleza del material a consolidar y los productos seleccionados, se ha planteado el análisis instrumental mediante Microscopía Electrónica de Barrido (SEM-EDX).

En este caso, se ha decidido emplear el método de generación de mapas de distribución de elementos químicos seleccionados en áreas definidas de interés como sistema aproximativo al conocimiento que se quiere obtener sobre la acción del consolidante sobre esta tipología de pinturas murales.

A través de la realización de mappings será posible confirmar el aumento en la proporción de bario (Ba), en el caso del consolidante inorgánico, y de silicio (Si) que se asocia a la adición de los consolidantes organosilíceos en el interior de la estructura, así como determinar el nivel de penetración que cada uno de los ellos ha alcanzado. La baja sensibilidad de esta técnica frente a los elementos ligeros es la razón por la cual se ha seleccionado estos elementos como los medidores del nivel de presencia del consolidantes en las secciones transversales a analizar.

Las analíticas se han llevado a cabo en desde el Servicio de Microscopia Electrónica Universitat Politècnica de València (UPV) y se ha empleado un microscopio electrónico de barrido (SEM/EDX) marca JEOL modelo JSM 6300 con sistema de microanálisis Link-Oxford-Isis, operando a 20 kV de tensión de filamento, 2.10-9 A de intensidad de corriente y distancia de trabajo 15 mm.

Para que la muestra pueda ser analizada mediante Microscopía Electrónica de Barrido, ésta tiene que ser conductora⁶⁷. Para darle propiedades conductoras es sometida a un tratamiento previo de Sputtering o pulverización catódica de una capa fina de carbono en cámara de bajo vacío.



Figura 44. Pulverización catódica en cámara de bajo vacío.

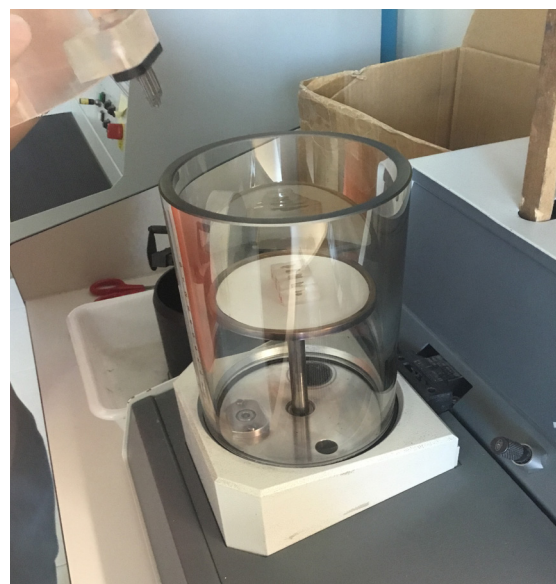


Figura 45. Pulverización catódica en cámara de bajo vacío.

67 UPV. SERVICIO DE MICROSCOPÍA ELECTRÓNICA [Consulta: 15-05-2018] Disponible en: < <http://www.upv.es/entidades/SME/> >

Una vez recubiertas con la capa de carbono son adheridas al portamuestras con cinta de doble cara de carbono y marcando una línea con plata coloidal por uno de los extremos para generar una conexión un camino de descarga de los electrones

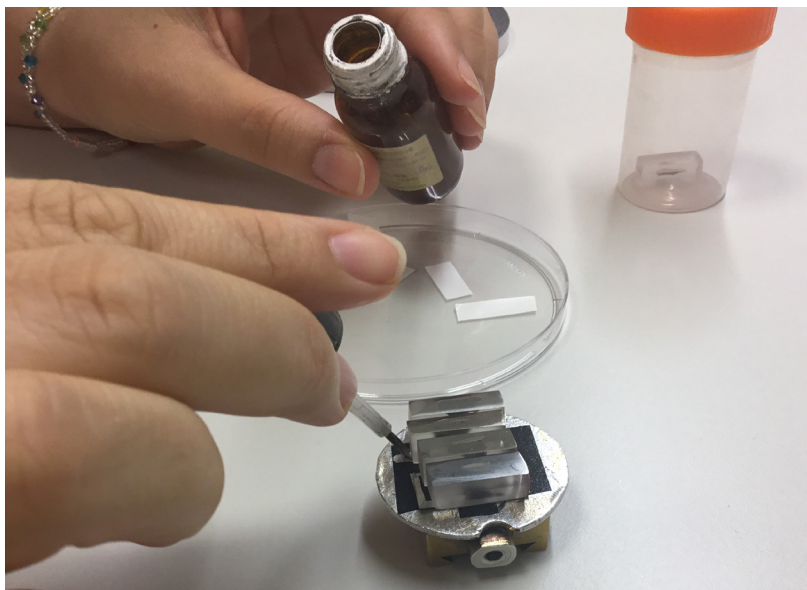


Figura 46. Aplicación plata coloidal.

Antes de proceder a la exposición de resultados hay que señalar que, debido a los aumentos empleados para la toma de imágenes en electrones retrodispersados (BKS), X95-X100 dependiendo el tipo de estratigrafía, los valores obtenidos sobre la proporción y la distribución de cada elemento en el área seleccionada no llegan a ser del todo fiables. A pesar de tener conocimiento sobre ello, el método empleado es suficiente para detectar la presencia o incremento en relación a las cinco muestras analizadas.

Tabla 3. Estudio SEM-EDX estratigrafía pintura mural encalada.

PINTURA MURAL AL TEMPLE ENCALADA	
REFERENCIA	MSC
TIPO DE MUESTRA	Sección transversal de pintura mural al temple encalada recubierta con carbono de grafito
TÉCNICA ANALÍTICA	Microscopio Electrónico de Barrido (SEM-EDX)
CONSOLIDANTE	Sin consolidante

MICROSCOPIA ÓPTICA - MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO

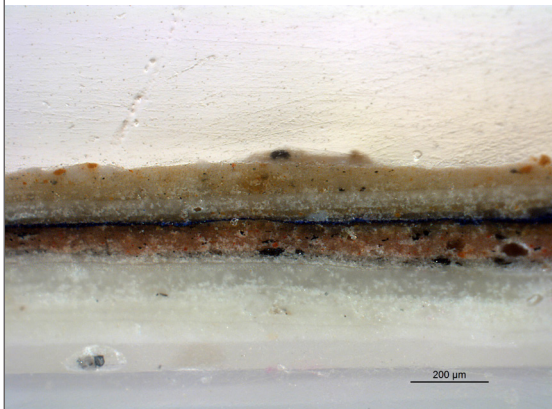


Figura 47. Microfotografía MSC MO X25.

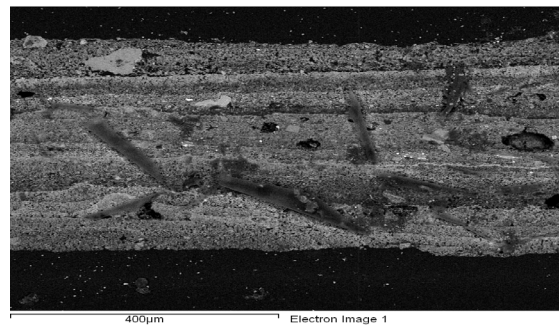
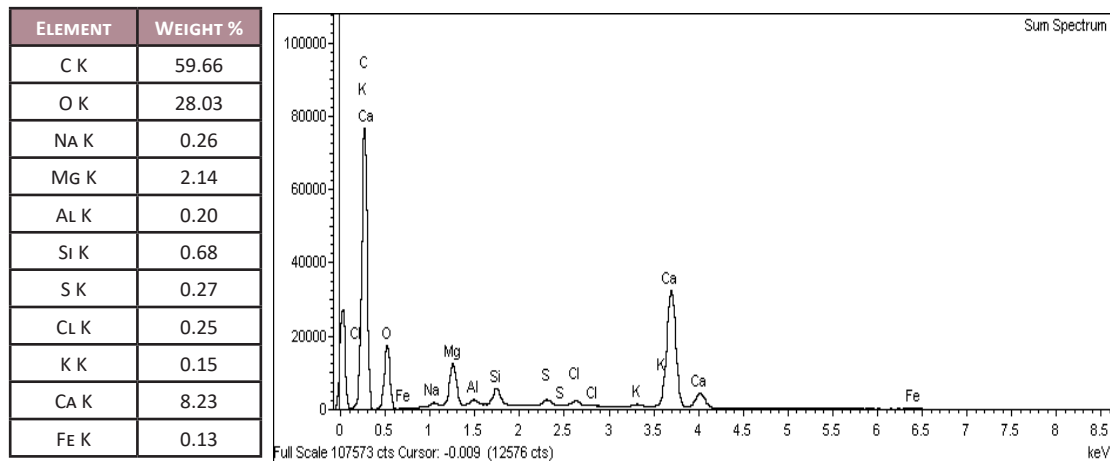


Figura 48. Microfotografía MSC SEM-EDX/BKS X100

COMPOSICIÓN QUÍMICA PORCENTUAL - ESPECTRO SEM-EDX



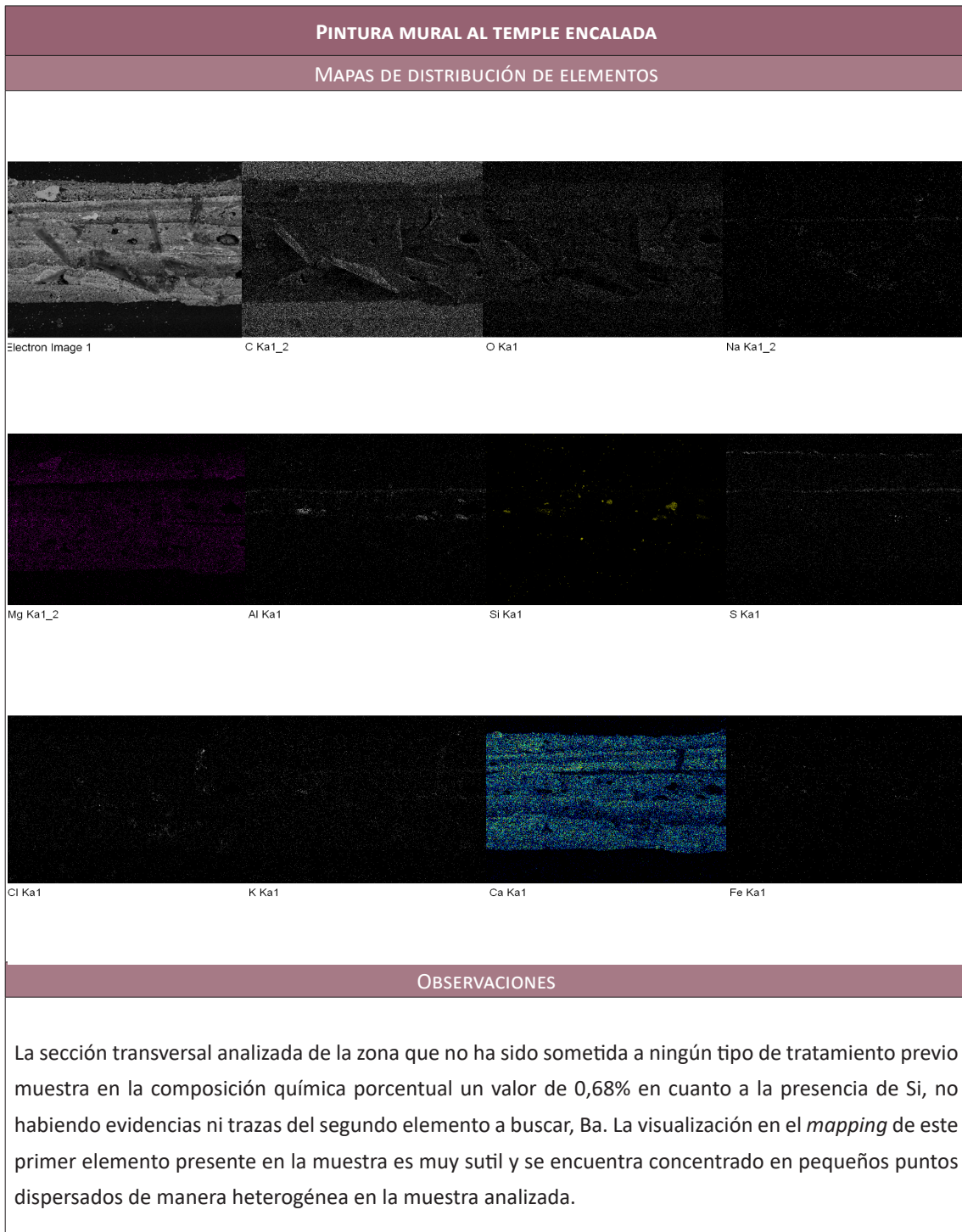


Tabla 4. Estudio SEM-EDX penetración hidróxido de bario.

PINTURA MURAL AL TEMPLE ENCALADA - PRECONSOLIDACIÓN HIDRÓXIDO DE BARIO	
REFERENCIA	MBa
TIPO DE MUESTRA	Sección transversal de pintura mural al temple encalada recubierta con carbono de grafito
TÉCNICA ANALÍTICA	Microscopio Electrónico de Barrido (SEM-EDX)
CONSOLIDANTE	Hidróxido de bario

MICROSCOPIA ÓPTICA - MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO



Figura 49. Microfotografía MBa MO X25.

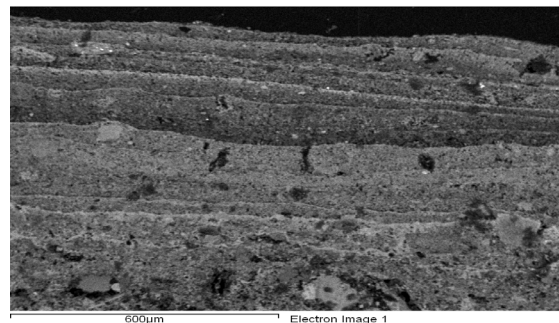
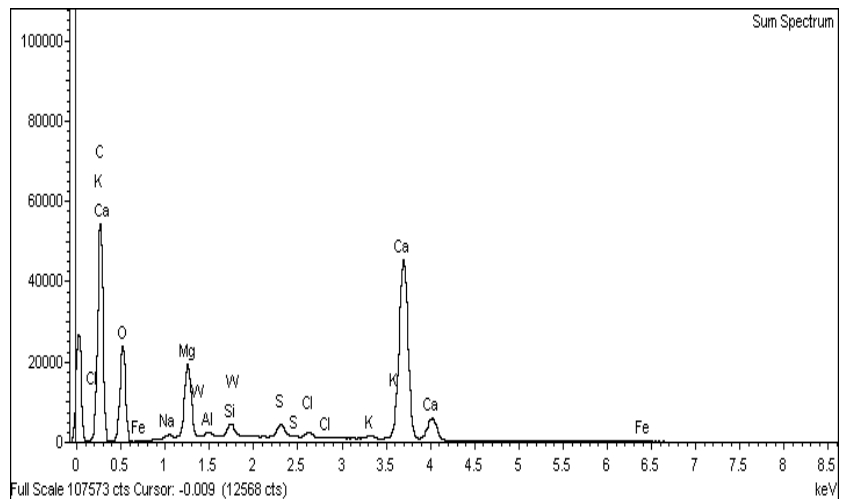


Figura 50. Microfotografía MBa SEM-EDX/BKS X95

COMPOSICIÓN QUÍMICA PORCENTUAL - ESPECTRO SEM-EDX

ELEMENT	WEIGHT %
C K	48.54
O K	34.67
NA K	0.22
MG K	3.50
AL K	0.16
SI K	0.48
S K	0.56
CL K	0.24
KK	0.15
CA K	11.32
FE K	0.09
W M	0.06



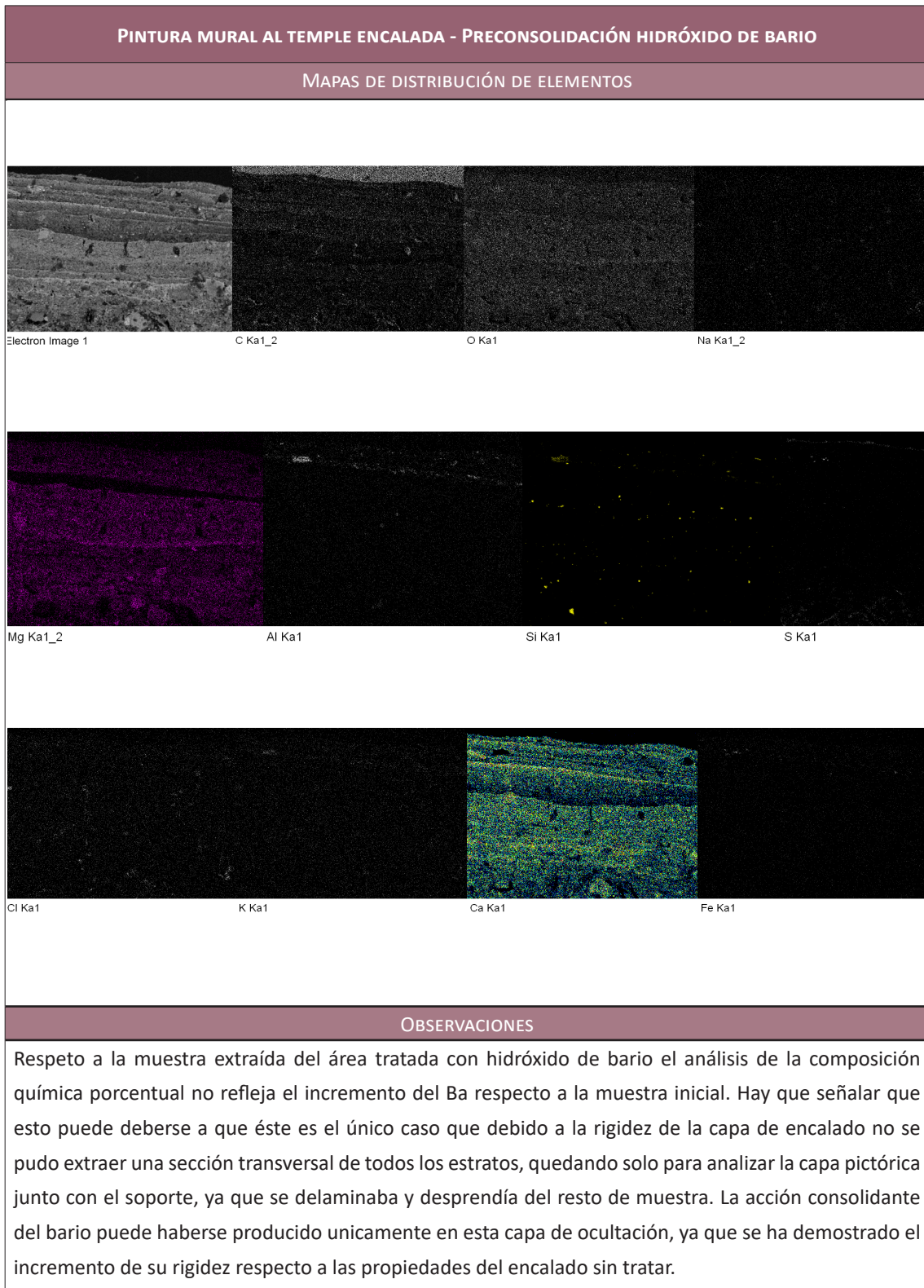


Tabla 5. Estudio SEM-EDX penetración silicato de etilo.

PINTURA MURAL AL TEMPLE ENCALADA - PRECONSOLIDACIÓN SILICATO DE ETILO	
REFERENCIA	MSiEt
TIPO DE MUESTRA	Sección transversal de pintura mural al temple encalada recubierta con carbono de grafito
TÉCNICA ANALÍTICA	Microscopio Electrónico de Barrido (SEM-EDX)
CONSOLIDANTE	Silicato de etilo

MICROSCOPIA ÓPTICA - MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO

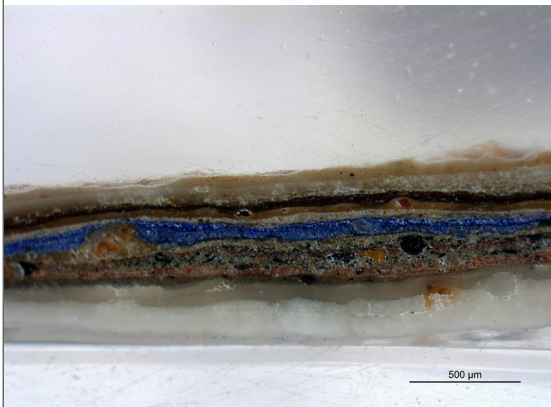


Figura 51. Microfotografía MSiEt MO X32.

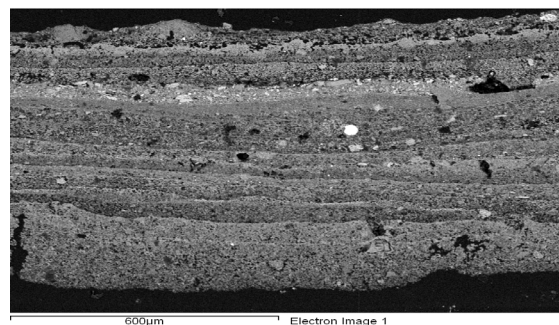
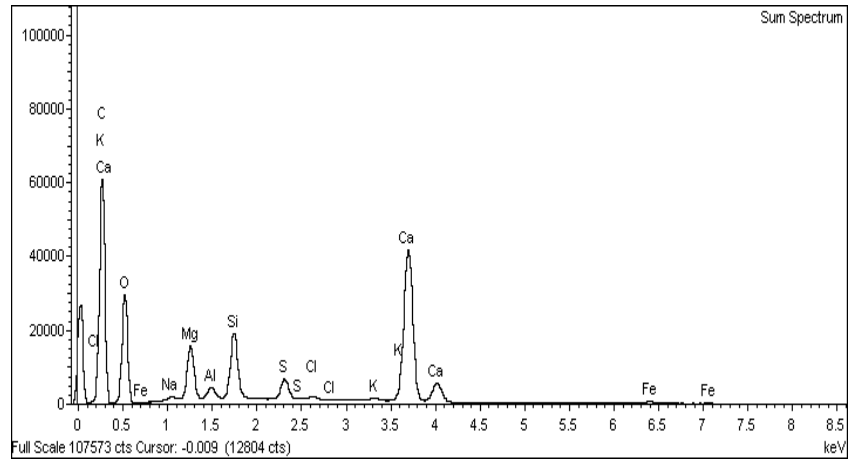


Figura 52. Microfotografía MSiEt SEM-EDX/BKS X95

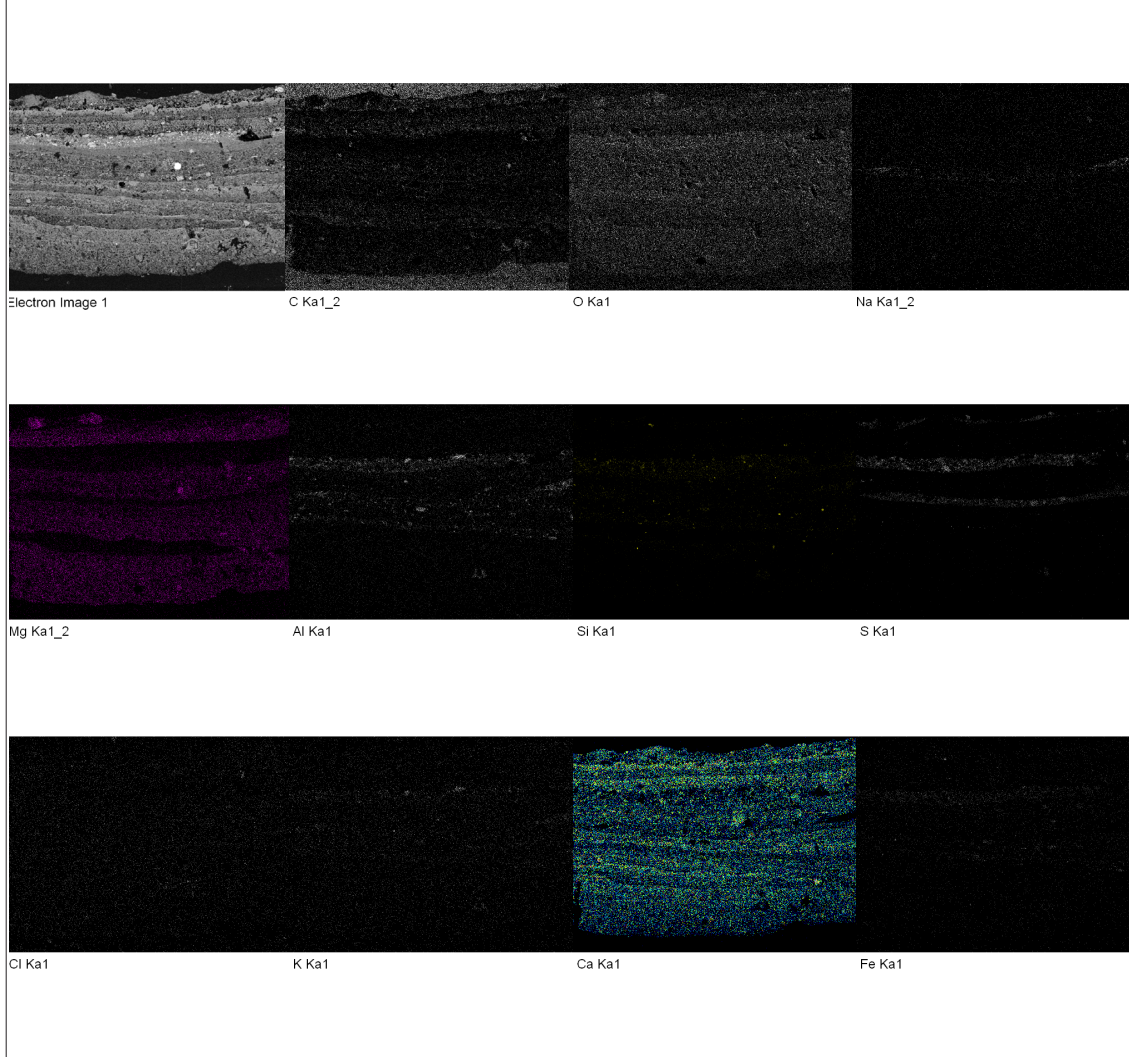
COMPOSICIÓN QUÍMICA PORCENTUAL - ESPECTRO SEM-EDX

ELEMENT	WEIGHT %
CK	50.21
OK	34.54
NA K	0.18
MG K	2.29
AL K	0.37
SI K	2.30
S K	0.79
CL K	0.16
KK	0.13
CA K	8.76
FE K	0.27



PINTURA MURAL AL TEMPLE ENCALADA - PRECONSOLIDACIÓN SILICATO DE ETILO

MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS



OBSERVACIONES

En la muestra extraída del área tratada con silicato de etilo, Estel 1000®, el SiO₂ está presente un 36,84% de la composición química porcentual. En referencia a los mapas de distribución se aprecia una ligera concentración homogénea de Si en la zona superior de la muestra, hasta aproximadamente el estrato pictórico. Aunque no es del todo atribuible a la acción del consolidante, ya que se trata de un leve incremento, la mayor presencia de Si en las capas superiores puede deberse a la aplicación del producto empleado.

Tabla 6. Estudio SEM-EDX penetración silicato de potasio.

PINTURA MURAL AL TEMPLE ENCALADA - PRECONSOLIDACIÓN SILICATO DE POTASIO	
REFERENCIA	MSiK
TIPO DE MUESTRA	Sección transversal de pintura mural al temple encalada recubierta con carbono de grafito
TÉCNICA ANALÍTICA	Microscopio Electrónico de Barrido (SEM-EDX)
CONSOLIDANTE	Silicato de potasio

MICROSCOPIA ÓPTICA - MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO

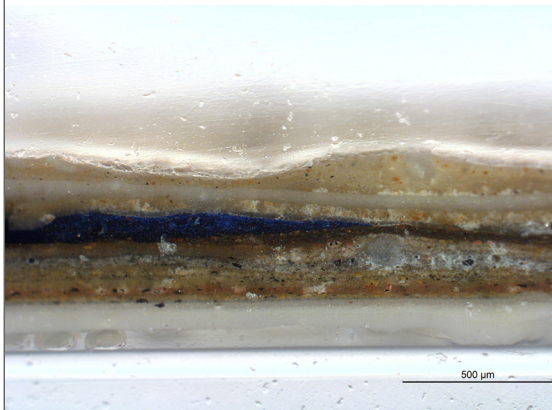


Figura 53. Microfotografía MSiK MO X25.

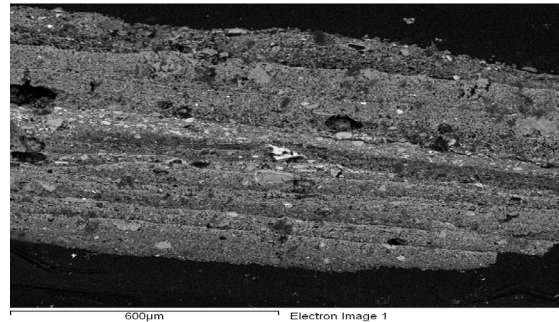
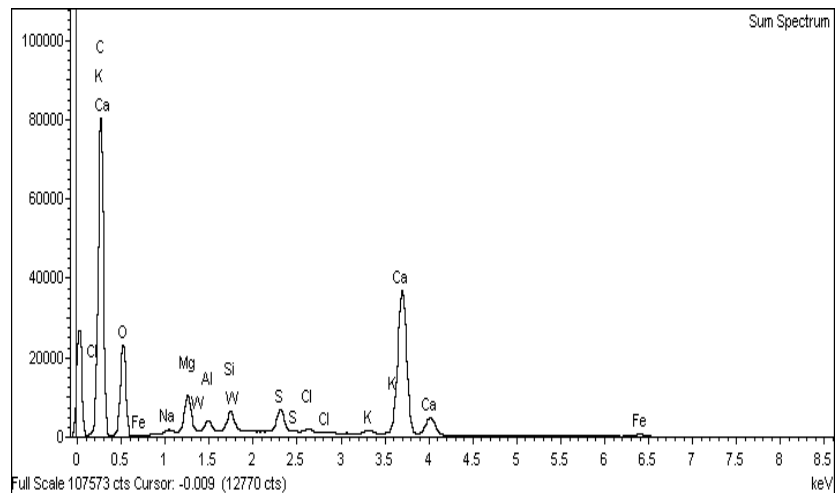


Figura 54. Microfotografía MSiK SEM-EDX/BKS X95

COMPOSICIÓN QUÍMICA PORCENTUAL - ESPECTRO SEM-EDX

ELEMENT	WEIGHT %
CK	56.94
OK	30.75
NA K	0.18
MG K	1.51
AL K	0.34
SI K	0.64
S K	0.85
CL K	0.18
KK	0.19
CA K	8.07
FE K	0.29
WM	0.08



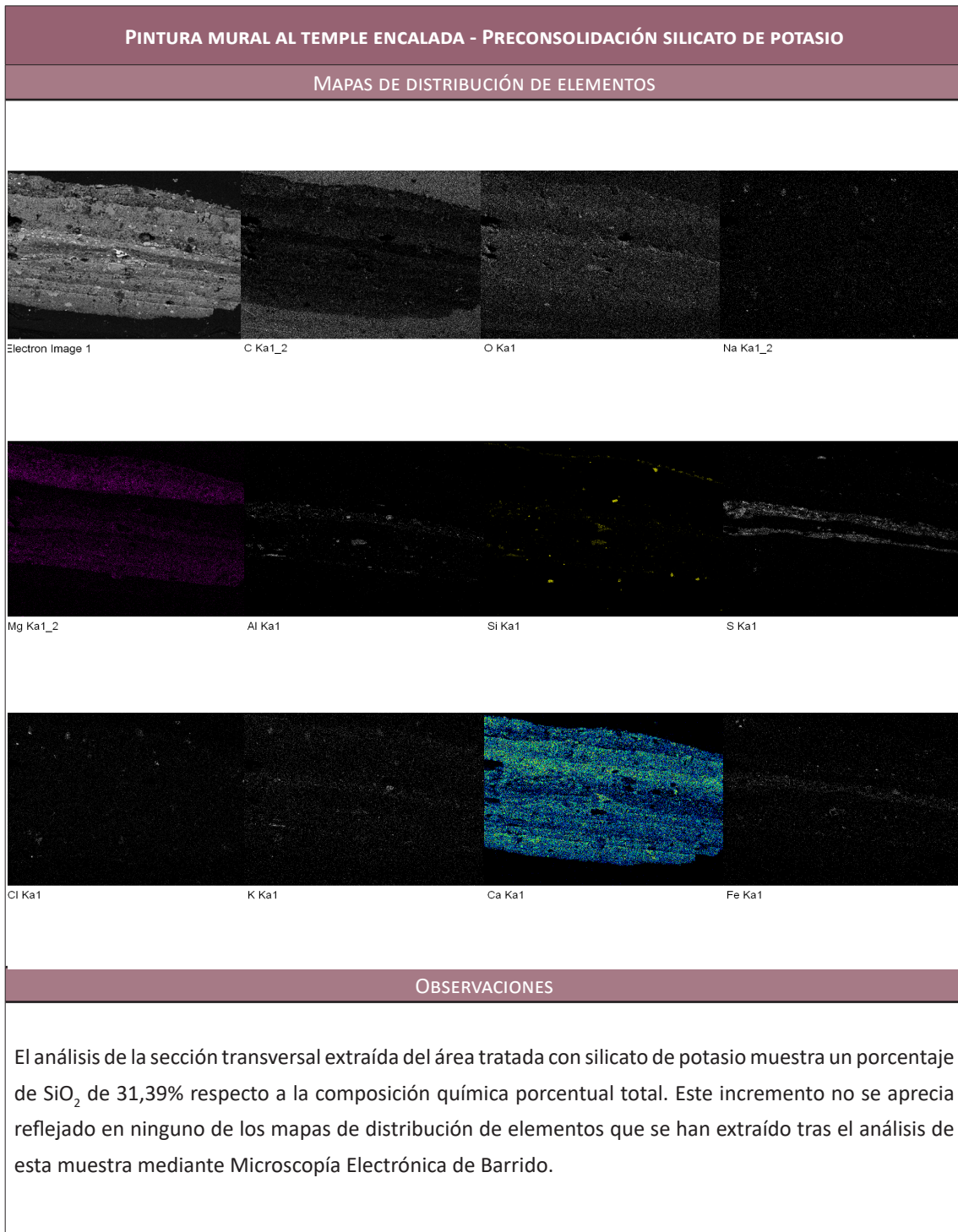


Tabla 7. Estudio SEM-EDX penetración silicato de litio.

PINTURA MURAL AL TEMPLE ENCALADA - PRECONSOLIDACIÓN SILICATO DE LITIO	
REFERENCIA	MSiLi
TIPO DE MUESTRA	Sección transversal de pintura mural al temple encalada recubierta con carbono de grafito
TÉCNICA ANALÍTICA	Microscopio Electrónico de Barrido (SEM-EDX)
CONSOLIDANTE	Silicato de litio

MICROSCOPIA ÓPTICA - MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO

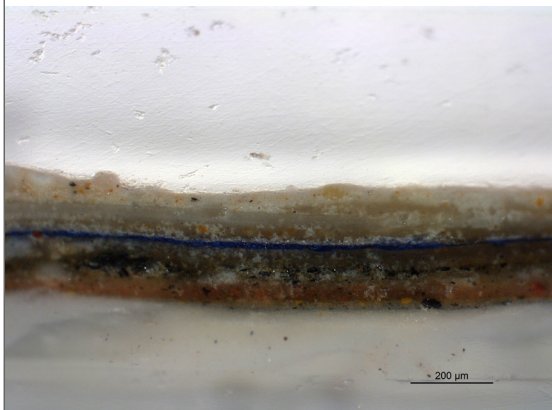


Figura 55. Microfotografía MSiLi MO X80.

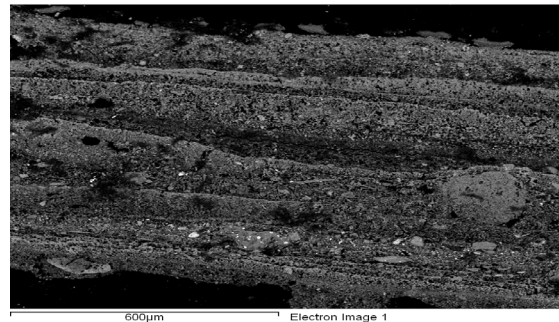
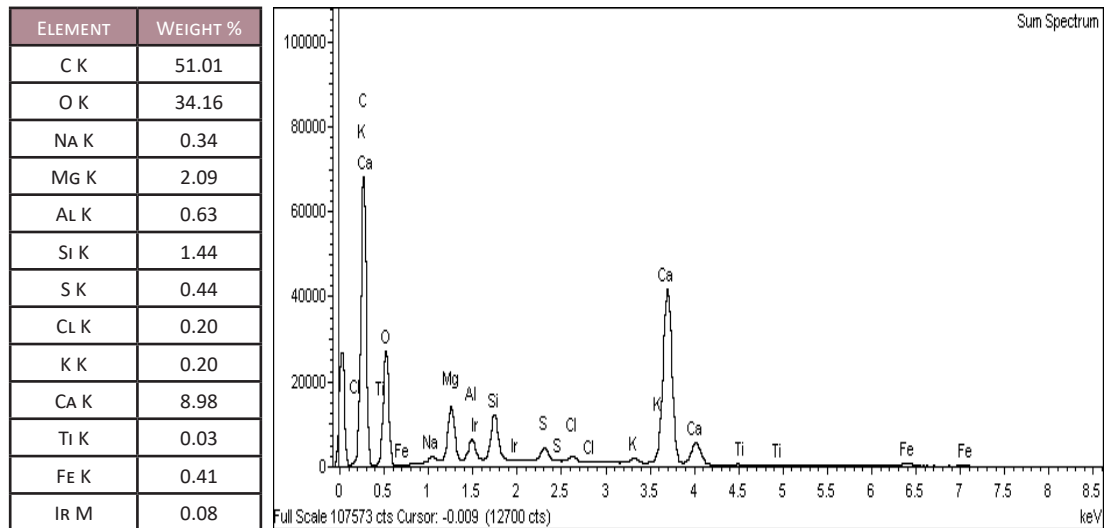


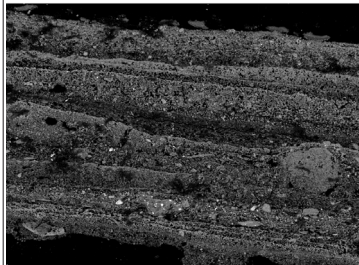
Figura 56. Microfotografía MSiLi SEM-EDX/BKS X

COMPOSICIÓN QUÍMICA PORCENTUAL - ESPECTRO SEM-EDX

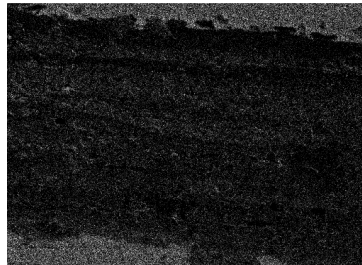


PINTURA MURAL AL TEMPLE ENCALADA - PRECONSOLIDACIÓN SILICATO DE LITIO

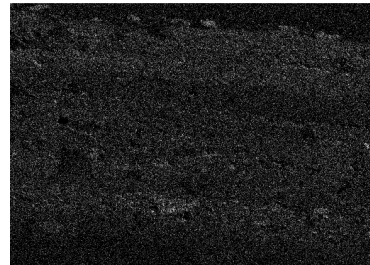
MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS



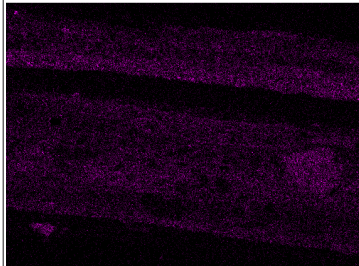
Electron Image 1



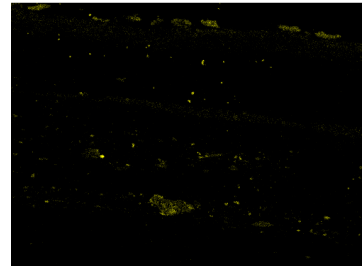
C Ka1_2



O Ka1



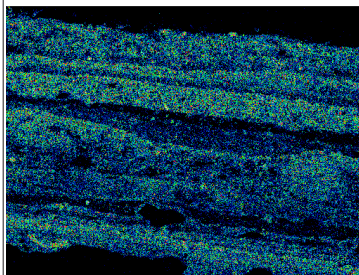
Mg Ka1_2



Si Ka1



S Ka1



Ca Ka1



K Ka1

OBSERVACIONES

La composición química porcentual de la muestra tratada con silicato de litio refleja la presencia de SiO_2 en la muestra analizada de un 35,58%, además el mapa de distribución de elementos localiza mayor presencia de Si en la capa superior de la muestra, por lo que la acción consolidante del material empleado se ha llevado a cabo en las capas superiores de encalado.

3.3. Resultados remoción mecánica del encalado y pruebas de solubilidad

Con el objeto de establecer una comparativa de estos resultados con los ya obtenidos sobre el estado de conservación de la pintura mural subyacente, se ha procedido a la apertura de catas de tamaño similar a las iniciales. El objetivo es evaluar las ventajas y/o los inconvenientes que la aplicación de los diversos consolidantes ha tenido sobre la pintura mural. Para realizar un estudio comparativo sólido, las variables deben ser iguales, por lo tanto, se han realizado las catas con unas dimensiones semejantes a las abiertas en los procesos de análisis, es decir 6 x 10 cm aproximadamente.

Al igual que en los pasos seguidos durante el protocolo de análisis, y conociendo el espesor de los estratos existentes de ocultación, las catas se han realizado mediante medios mecánicos de manera gradual para asegurar que la película pictórica no se vea afectada innecesariamente por la acción mecánica del instrumental empleado.

Para evaluar la acción de los consolidantes se han tomado como parámetros a tener en cuenta la dureza adquirida por las capas de ocultación, la cual se ha visto incrementada con la aplicación de los consolidantes y la proporción de película pictórica que ha quedado fijada al mural. Para facilitar la exposición de los resultados se ha establecido un código de colores como muestra la Tabla 8.

Tabla 8. Resistencia del encalado a la remoción y nivel de cohesión de la película pictórica.

EVALUACIÓN PROPIEDADES ESTRUCTURA ESTRATIGRÁFICA TRAS LA PRECONSOLIDACIÓN		
ÁREA	RESISTENCIA DEL ENCALADO A LA REMOCIÓN MECÁNICA	NIVEL DE CONSOLIDACIÓN DE PELÍCULA PICTÓRICA
HIDRÓXIDO DE BARIO	●	●
SILICATO DE ETILO	●	●
SILICATO DE LITIO	●	●
SILICATO DE POTASIO	●	●

● Alta ● Media ● Baja

Todos los productos consolidantes han incrementado la resistencia del encalado frente a las acciones de remoción, ocasionando que la eliminación de éstas se pueda realizar de manera más precisa, sin ocasionar desprendimientos involuntarios a pesar de la presión controlada ejercida. Además, el porcentaje de pintura que queda cohesionada en el mural es mucho mayor que en el área que no ha sido tratada aun siendo alta la cantidad de pigmento que queda adherido al reverso del encalado retirado.

Aunque en esta investigación no ha sido un factor a evaluar, hay que señalar que en el caso del silicato de etilo Estel 1000® se ha producido un incremento de la saturación del color inicial, apreciable tras un examen visual de la superficie después de la remoción mecánica de las capas de encalado.



Figura 57. Área no preconsolidada.



Figura 58. Preconsolidación con hidróxido de bario.



Figura 59. Preconsolidación con silicato de etilo.

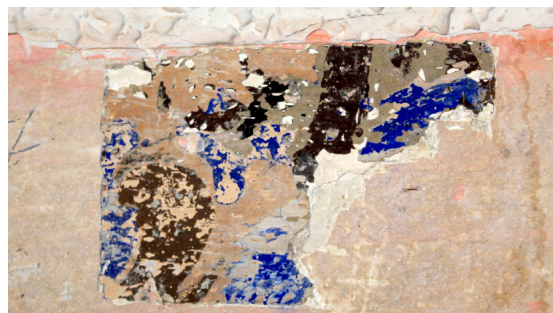


Figura 60. Preconsolidación con silicato de litio.



Figura 61. Preconsolidación con silicato de potasio.

Tras la eliminación del encalado se han llevado a cabo pruebas de solubilidad, mediante con fricción controlada mediante con un hisopo de algodón ligeramente húmedo, pruebas de solubilidad para determinar el grado de fijación del pigmento en las diversas áreas tratadas con consolidantes.

Tabla 9. Solubilidad película pictórica consolidada.

EVALUACIÓN SOLUBILIDAD PELÍCULA PICTÓRICA TRAS LA PRECONSOLIDACIÓN	
ÁREA	SOLUBILIDAD
HIDRÓXIDO DE BARIO	●
SILICATO DE ETILO	●
SILICATO DE LITIO	●
SILICATO DE POTASIO	●

● Alta ● Media ● Baja⁶⁸

68 Se ha decidido cambiar el orden de color aplicado en la Tabla 8 para evitar confusiones en cuanto a los resultados obtenidos en las pruebas de solubilidad.

Respecto al grado de fijación de la película pictórica los resultados reflejan que los consolidantes no han sido capaces de consolidar la película pictórica ya que se aprecia una gran cantidad de pigmento suelto, a excepción del silicato de etilo con el que únicamente se retira las partículas de pigmento que no han logrado ser cohesionadas.



Figura 62. Prueba solubilidad área no preconsolidada.



Figura 63. Prueba solubilidad preconsolidación hidróxido bario.



Figura 64. Prueba solubilidad preconsolidación silicato de etilo.



Figura 65. Prueba solubilidad preconsolidación silicato de litio.



Figura 66. Prueba solubilidad preconsolidación silicato potasio.

3.4. Discusión

Tras la realización de los ensayos se han obtenido una serie de datos relevantes que, tras su interrelación con los ya tomados inicialmente en el protocolo de análisis, han ayudado a evaluar y obtener una percepción de las ventajas que los productos consolidantes inorgánicos y organosilíceos plantean en los procesos de preconsolidación de pinturas murales al temple encaladas de cara a la remoción de estas capas de ocultación.

Para poder generar una comparativa de los resultados obtenidos en las áreas tratadas, es necesario comenzar la discusión exponiendo los recabados en el área que no ha sido sometida a ningún tratamiento, los cuales servirán como base para apreciar las variaciones causadas por los productos aplicados.

Los cálculos del índice de absorción han sido realizados a partir de tres valores tomados en el área sin tratar y la media de éstos, presentando la pintura mural objeto de estudio unas propiedades hídricas iniciales de 0,0109 g/cm², valor que servirá posteriormente para evaluar si la aplicación de los diversos consolidantes producen la obturación de la red porosa.

En referencia al estudio mediante Microscopía Electrónica de Barrido (SEM-EDX), y teniendo presente que los elementos ligeros, como por ejemplo el litio, no se reflejan en este tipo de análisis por su bajo rendimiento en la emisión de rayos X, debido a la ausencia de capas internas en su estructura electrónica, los elementos que se van a tener presentes que darán información sobre la presencia del consolidante son el Ba (Bario), que no tiene presencia en la muestra inicial y el SiO₂ (dióxido de silicio) con una presencia del 28,03% distribuido por toda la muestra de manera homogénea.

La remoción de las capas de encalado con ayuda de instrumental quirúrgico, como bisturí y escalpelo, supone la pérdida total de los motivos decorativos de la capa pictórica, realizados en tonos marrones y azules, ya que estas capas de color quedan adheridas al reverso del encalado. Aunque en menor proporción que las capas superiores de pintura, parte de la película pictórica que forma el fondo también se desprende a causa de las acciones mecánicas llevadas a cabo.

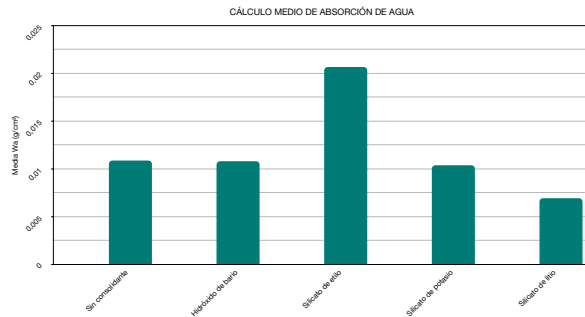
Tras la apertura de la cata para comprobar el estado de la película pictórica y la problemática que presenta ante la acción mecánica de desencalado, la evaluación mediante fricción controlada con un hisopo ligeramente húmedo de la superficie ha determinado que la película pictórica se encuentra muy pulverulenta.

En los datos de las áreas consolidadas se ha observado una ligera variación respecto a los obtenidos en el área no preconsolidada. Hay que señalar que esta investigación es un estudio aproximativo que quiere servir como base para el inicio de futuras investigaciones, por lo que cabe destacar que tanto con el empleo de estas técnicas analíticas y métodos de análisis como con otras de mayor precisión es necesario profundizar para obtener una recopilación de datos más amplia y precisa que de mayor información sobre los procesos ocurridos en la pintura mural.

Haciendo alusión a las propiedades hídricas de las áreas consolidadas hay que destacar que en general se mantienen muy cercanas a la medición de origen, exceptuando en el área donde se ha aplicado silicato de etilo, por lo que se puede concluir que los consolidantes inorgánicos y organosilíceos no producen la obturación de la red porosa de la pintura estudiada, pero que de manera general sí que reduce apenas significativamente la absorción debido a la formación de la nueva matriz microcristalina.

Tabla 10. Resultados Wa.

MEDICIONES ABSORCIÓN DE AGUA (WA)	
ÁREA	MEDIA WA
SIN CONSOLIDANTE	0,0109
HIDRÓXIDO DE BARIO	0,0108
SILICATO DE ETILO	0,0207
SILICATO DE LITIO	0,0104
SILICATO DE POTASIO	0,0069



La diferencia inicial respecto al nivel de absorción del área tratada con silicato de etilo, la cual se ha visto incrementada 0,0098g/cm² respecto a la medición inicial de referencia, puede haber sido influenciada por la metodología que se decidió seguir para la realización de las mediciones, ya que éstas no se han realizado en una misma zona antes y después del tratamiento, si no que para que todos los datos se tomaran dentro de unas condiciones termohigrométricas semejantes se decidió realizar las mediciones simultáneamente, dejando un área sin tratar.

Respecto a los resultados obtenidos tras el estudio de las secciones transversales correspondientes de la zona no tratada y de las consolidadas se ha visto una disparidad en los resultados obtenidos mediante la técnica analítica de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM-EDX).

Comenzando con el área tratada con el consolidante inorgánico, hidróxido de bario, hay que señalar que en comparación con la zona no tratada no se ha observado el incremento de ningún tipo de elemento que indique la presencia de éste en la muestra, siendo los resultados muy semejantes. En este caso, hay que matizar que la muestra analizada se trata de una sección transversal en la que no se encuentra capa de ocultación, únicamente es apreciable la capa pictórica, preparación y soporte, por lo que puede ser este el motivo por el que no haya presencia del elemento Ba en la muestra, habiendo centrado éste su acción consolidativa en las capas de encalado no presentes.

En el caso de las secciones transversales de las áreas tratadas con consolidantes organosilíceos, a excepción del silicato de potasio, que como el hidróxido de bario no presenta ninguna variación significativa respecto a la no tratada, se aprecia un ligero incremento del porcentaje de cantidad de SiO₂ que está asociado a la acción consolidativa de este tipo de productos, siendo de un 36,84% en el caso del silicato de etilo y de un 35,58% en el silicato de litio frente a un 28,71% de la muestra inicial.

Tabla 11. Proporción SiO₂.

MEDICIÓN SiO ₂ MEDIANTE SEM-EDX	
ÁREA	PROPORCIÓN DE SiO ₂
SIN CONSOLIDANTE	28,71%
SILICATO DE ETILO	36,84%
SILICATO DE LITIO	35,58%
SILICATO DE POTASIO	31,39%

Respecto a los *mappings* extraídos durante este mismo estudio, para poder evaluar el nivel de penetración de cada uno de los consolidantes, el único que aporta información sobre el nivel al que ha llegado el consolidante es la muestra del área donde se ha aplicado silicato de litio (Fig. 66), presente en la primera capa, la cual forma parte del encalado, sin llegar a penetrar hasta la película pictórica.

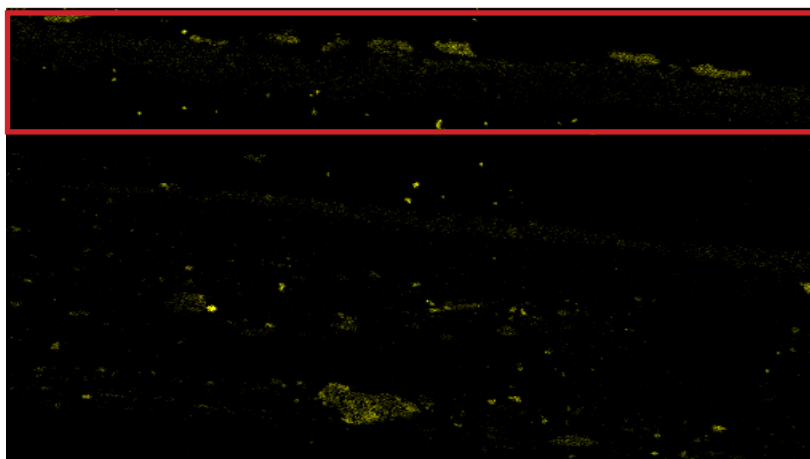


Figura 67. Mapping litio, estratigrafía área preconsolidada con silicato de litio.

Hay que señalar que los análisis realizados a través de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM-EDX) pueden ampliarse con un mayor tiempo de la exposición de la muestra, lo que permitiría el incremento de barridos completos que determinarían con más precisión la distribución de los elementos sobre la imagen, generando un mapa con mayor densidad de puntos. También, los aumentos con los cuales se ha decidido realizar la toma de imágenes (X95-X100) ha afectado a los resultados, siendo necesario un mayor tiempo de exposición para la obtención de nubes de puntos más precisas en cuanto a la distribución de elementos.

Al igual que en la apertura de ventanas realizada durante en protocolo de análisis, se ha procedido a la ejecución de catas de tamaño proporcional, para evaluar en un área similar las ventajas que la aplicación de los consolidantes ha proporcionado en la eliminación de las capas de encalado. En todas las áreas donde se han empleado los diversos consolidantes se ha percibido una mejora significativa en cuanto a la eliminación de las capas de ocultación con la misma tipología de materiales empleados con anterioridad, (bisturí y escalpelo). Se ha prestado atención a la rapidez de remoción como a la cantidad de película pictórica que queda adherida al muro tras los procesos de limpieza mecánica en seco procediendo tanto efectuando una acción abrasiva como cortante de las diversas capas.

Por otro lado, tras realizar las aperturas de las catas para evaluar las ventajas o inconvenientes que la aplicación de cada uno de los productos consolidantes ha proporcionado a la estructura, se ha realizado una evaluación del grado de fijación que ha alcanzado la película pictórica en cada caso con la misma metodología empleada en el área no tratada.

En todos los casos, se ha podido apreciar un aumento significativo de la cantidad de película pictórica que queda adherida al mural en relación con la cata realizada en la zona sin tratar, aunque sigue siendo significativa la cantidad de pigmento que queda fijada al encalado. A pesar de que siguen produciéndose pequeñas lagunas tanto en los motivos marrones como en los azules, las labores de desencalado pueden desarrollarse de manera mucho más rápida y segura, ya que el resto de pintura cohesionada con la aplicación no tiene ningún riesgo de desprendimiento.



Figura 68. Área no preconsolidada.



Figura 69. Preconsolidación con silicato de potasio.

En relación a la solubilidad se ha podido observar claramente una mejora en el área tratada con Estel 1000®, ya que en ella, tras las pruebas se ha podido apreciar que no solubilizaba la película pictórica, si no que únicamente se retiran parte de las partículas de pigmento no cohesionadas.

Si bien es cierto que los resultados obtenidos no son concluyentes para determinar que producto es el idóneo para llevar a cabo las consolidaciones de pinturas murales al temple encaladas, sí que permite dilucidar que todos los productos seleccionados para llevar a cabo la investigación facilitan en menor o mayor grado la remoción mecánica de las capas de ocultación, reduciendo el nivel de desprendimiento de la película pictórica subyacente. Además, Estel 1000® es el producto que ha demostrado cumplir mejor su función como fijativo, proporcionando a la pintura mural al temple una mayor insolubilidad al agua. (Fig. 63).



Figura 70. Prueba solubilidad área no preconsolidada.



Figura 71. Prueba solubilidad preconsolidación silicato de etilo..

Se plantea la hipótesis de que los diversos consolidantes han llevado a cabo la mayor parte de la acción consolidativa sobre las diferentes capas de encalado, aumentando su dureza y permitiendo que se pueda trabajar su eliminación de manera más segura mediante medios mecánicos, sin ocasionar la pérdida de la capa pictórica. Otro punto a favor de estos productos es que parte de la acción del consolidante ha permitido que la película pictórica quede fijada al muro tras estos procesos, pero debido a su escaso nivel de penetración no ha logrado la insolubilidad de la película pictórica, teniendo que ser tratadas tras su descubrimiento para alcanzar una estabilidad óptima, a excepción del área donde se ha aplicado silicato de etilo

Estos resultados apoyan aún más la idea de que la penetración es esencial en los procesos de consolidación de este tipo de pinturas, en las cuales hay que atravesar diversas unidades estratigráficas hasta alcanzar la capa sobre la que se quiere ejercer la consolidación.

El único consolidante disuelto en white spirit, Estel 1000®, que se ha testado en esta investigación, es el que, en conjunto, mejores resultados a proporcionado según los análisis. Por tanto, entre las futuras líneas de investigación que pueden formularse a partir de los resultados obtenidos, se puede encontrar la posibilidad de trabajar con consolidantes inorgánicos y organosilíceos que permitan su disolución en disolventes que faciliten la penetración, y que sean lo más inocuos posible para los restauradores, en cuanto a cuestiones de toxicidad y contaminación ambiental.



4. CONCLUSIONES

Como se ha podido ver a lo largo de este trabajo de investigación, los procesos de desencalado de pintura mural al temple plantean problemáticas complejas ante los procesos mecánicos y físico-químicos que deben aplicarse para su eliminación. Básicamente la dificultad es debida a la naturaleza del aglutinante y las características técnicas propias de este tipo de pinturas, acusadas por la superposición de diferentes capas de ocultación generalmente realizadas con cal. Por ello, se presenta indispensable la preconsolidación como método auxiliar que facilite las labores de remoción de las capas de ocultación.

Para conocer el estado de conservación de las pinturas murales, es necesaria la implementación de un protocolo de análisis que, a través de unas pautas, aporte información sobre la estructura estratigráfica que compone el mural.

El conocimiento de las diferentes capas que conforman las pinturas murales al temple encaladas arrojará datos relevantes para llevar a cabo una selección de materiales consolidantes que, debido a sus propiedades, pueden llegar a penetrar en este tipo de sustratos, actuando sobre la película pictórica, confiriéndole propiedades de las que carece, facilitando así su limpieza.

Los productos inorgánicos y organosilíceos se presentan como los idóneos para estos procesos debido a las propiedades que pueden llegar a conferirle a este tipo de pinturas murales como son mayor resistencia, insolubilidad, además de contribuir a la cohesión de las partículas que la componen a través de la una cimentación interna. Antes de su aplicación es necesario verificar que la pintura mural tiene unas características muy concretas para que la acción del consolidante no interfiera en las propiedades físicas de ésta. Para la aplicación de este tipo de consolidantes la pintura mural tiene que presentar un elevado grado de pulverulencia generada por diferentes procesos de degradación en los cuales el aglutinante orgánico se haya desnaturalizado o se encuentre mineralizado, para evitar la interferencia negativa entre consolidante y película pictórica.

En este caso, tras la aplicación del protocolo de análisis, se ha constatado que las pinturas murales al temple ocultas, localizadas en el Palacio Casassús de Alzira (Valencia), presentan las alteraciones y patologías que la sitúan como válida para el testado de productos inorgánicos sobre su superficie. Poder llevar a cabo el desarrollo experimental de esta tesis en una obra mural original a permitido alcanzar resultados mucho más fiables, ya que los productos no son testados sobre patologías recreadas en laboratorio.

Se ha comprobado que la aplicación de los diversos productos consolidantes seleccionados en la investigación en los procesos de preconsolidación, han proporcionado una mayor estabilidad a la capa pictórica subyacente frente a las acciones mecánicas de desencalado, llegando incluso a cohesionar las partículas de pigmento pulverulentas al soporte en el caso del silicato de etilo, Estel 1000®, reduciendo la hidrosolubilidad de la película pictórica.

Debido a la limitación que existe en este tipo de trabajos, y a que se abordaba un tema completamente novedoso, poco tratado en la bibliografía específica, no se ha podido profundizar todo lo deseado en la evaluación de los consolidantes sobre la superficie mural y en otros aspectos complementarios, por ello quedan abiertas diversas líneas de investigación que se podrían desarrollar en una segunda fase de la investigación como:

- Ensayos de nuevas metodologías de aplicación de los consolidantes propuestos en esta tesis.
- Testado de nuevos materiales consolidantes que aporten a la película pictórica características similares a los consolidantes propuestos, buscando siempre que tengan una mejor penetración a través de la estructura estratigráfica a tratar.
- Incorporación y evaluación de nuevos parámetros de estudio y control, como por ejemplo la saturación de la película pictórica.
- Ampliación de las técnicas analíticas empleadas para la evaluación de la acción de los consolidantes entre las que se propone análisis elemental a través de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM-EDX) de la distribución del consolidante en el perfil (line profile) o, como técnica sustitutiva de la Microscopía Electrónica de Barrido (SEM-EDX), se propone la tinción de los consolidantes a testar de tal manera que se facilite la observación de su penetración



BIBLIOGRAFÍA

WEYER, A; *et al.* *Ewaglos. European illustrated glossary of conservation terms for wall paintings and architectural surfaces*. Petersberg, Germany: Michel Imhof Verlag, 2015.

BARROS GARCÍA, J; OSCA PONS, J; REGIDOR ROS, J. *El estudio de secuencias estratigráficas en pintura mural*. En: Arché, Valencia, 2006, núm. 1, ISSN: 1887-3960.

BORGIOLI, L; CREMONESI, P. *Le resine sintetiche usate nel trattamento di opere policrome*. Saonara: Il prato, 2005.

CABALLERO, L. *Método para el análisis estratigráfico de construcciones históricas o "lectura de paramentos"*. En: Informes de la construcción. Centro de Estudios Históricos-CSIC. Madrid, 1995, Vol. 46, núm. 435, ISSN: 0020-0883.

CARANDINI, A. *Histórias en La Tierra. Manual de excavación arqueológica*. Barcelona: Editorial Crítica, 1997.

CALVO, A. *Conservación y restauración: Materiales, técnicas y procedimientos: De la A a la Z*. Barcelona: Ediciones del Serbal, 1997.

BARREDA, G. *Consolidantes para soportes pétreos con manifestaciones de arte rupestre en la Comunidad Valenciana. Análisis práctico en Cova Remígia (Barranc de Gassulla-Ares del Maestre)* [tesis doctoral]. Valencia: Universitat Politècnica de València, 2007.

DANTI, C.; *et al.* *Il Colore Negato e il Colore Ritrovato. Storie e procedimenti di occultamento e descialbo delle pitture murali*. Firenze: Nardini editore-Opificio delle Pietre Dure, 2008.

DOERNER, M. *Los materiales de pintura y su empleo en el arte*. Barcelona: Reverté, 1998.

DOMÉNECH, M. T.; OSETE, L. *Another beauty of analytical chemistry: chemical analysis of inorganic pigments of art and archaeological objects*. En: ChemTexts, 2016, [Consulta: 15-05-2018] Disponible en: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s40828-016-0033-5>>

FERNÁNDEZ MEDINA, M^a; GONZÁLEZ LÓPEZ, M^a; MONTERO SAUCEDO, G. *Estudio estratigráfico y correspondencia de los paramentos decorativos de la escalera de la Santa Cueva de Cádiz*. En: Revista PH. Sevilla, 1999, núm. 26, ISSN: 2340-7565.

FERRER, A; CLAUSI, M. *Informe sobre el valor histórico artístico del Palacio Casassús, en la Vila de Alzira* [Documento no publicado]. Alzira: Ajuntament D'Alzira. 2004.

GARCÍA RAMOS, R. *Examen material de la obra de arte. La correspondencia de policromías*. En: Revista PH. Sevilla, 1995, núm. 12, ISSN: 2340-7565.

HARRIS, E. *Principios de estratigrafía arqueológica*. Barcelona: Editorial Crítica, 1991.

IBORRA, F. *Corte y cortesanos: evolución tipológica residencial y ecos del palacio del monarca en el Reino de Valencia entre los siglos XIII y XV*. En: Anales de Historia del Arte, Madrid, 2013, núm. 23, p.469-485, ISSN 0214-6452 2013.

MATTEINI, M; MOLES, A. *La química en la restauración*. Sevilla : Nerea, 2001.

MATTEINI, M. *Inorganic treatments for the consolidation and protection of stone artefacts and mural paintings*. En: Conservation Science in Cultural Heritage, Bologna, 2008, núm 8, p. 13-27, ISSN 1974-4951.

MAYER, R. *Materiales y técnicas del arte*. Madrid: Tursen Hermann Blume Ediciones, 1993.

MEDINA, O. Estudio sobre la eficiencia de consolidantes para la conservación in situ de pavimentos cerámicos realizados a baja cocción [tesis máster]. Valencia: Universitat Politècnica de València, 1998.

MOLTÓ, M; et al. *Descubrimiento y Restauración de las pinturas murales de San Juan del Hospital, Valencia*, 2003. En: Restauración & rehabilitación, Valencia, núm. 76, 2003, p.70-75, ISSN 1134-4571.

MONTAGUT, B. *Alzira: arte en su historia*. Alzira : Comissió Falla Plaça Major, D.L. 1981.

MORA, P; MORA, L; PHILIPOT, P. *La conservación de las pinturas murales*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia, 2003.

MUÑOZ, S; OSCA, J; GIRONÉS, I. *Diccionario de materiales de la restauración*. Madrid: Akal, 2014.

OSCA, J. *El empleo de consolidantes inorgánicos y organosilícios como alternativa a los consolidantes orgánicos*. En: *Tratamientos y metodologías de conservación de pinturas murales. Actas del seminario sobre restauración de pinturas murales*, Aguilar de Campoo (Palencia) 20-22 de junio de 2005. Fundación Santa María la Real - Monasterio de Santa María la Real, Aguilar de Campoo (Palencia), 2006.

OSCA, J. *La consolidación de pinturas murales, la obra de Palomino en Valencia* [tesis doctoral]. Valencia: Universitat Politècnica de València, 1998.

PEREZ, F. *Palacios y Casas Nobles de la ciudad de Valencia*. Valencia: Ajuntament de València, 2008.

PINO DÍAZ, C. *Pintura mural. Conservación y restauración*. Madrid: CIE Dossat 2000, 2004.

VILLARQUIDE, A. *La pintura sobre tela II: Alteraciones, materiales y tratamientos de restauración*. San Sebastián: Nerea, 2005.

YAGÜE, S. *Consolidación con materiales inorgánicos en la restauración de pintura mural. La visión de la "Scuola Fiorentina"* [tesis doctoral]. Valencia: Universitat Politècnica de València, 2005.

ZALBIDEA, M. A; GARATE, I; IRANZO, A. *Descubrimiento y restauración de las pinturas murales de la Ermita de San José de Ayora*. En: *XV Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales*, Murcia, 21-24 octubre 2004. Murcia: Ligia Comunicación y Tecnología, 2006.

RECURSOS EN LÍNEA

AYUNTAMIENTO ALZIRA [Consulta: 15-05-2018] Disponible en: <http://www.alzira.es/alzira_vpm/index.php/es/noticias/8845-les-obres-de-la-segona-fase-van-donant-forma-al-palau-de-casassus-d-alzira>

CTS [Consulta: 05-06-2018] Disponible en: <<https://www.ctseurope.com/es/catalogo.php>>

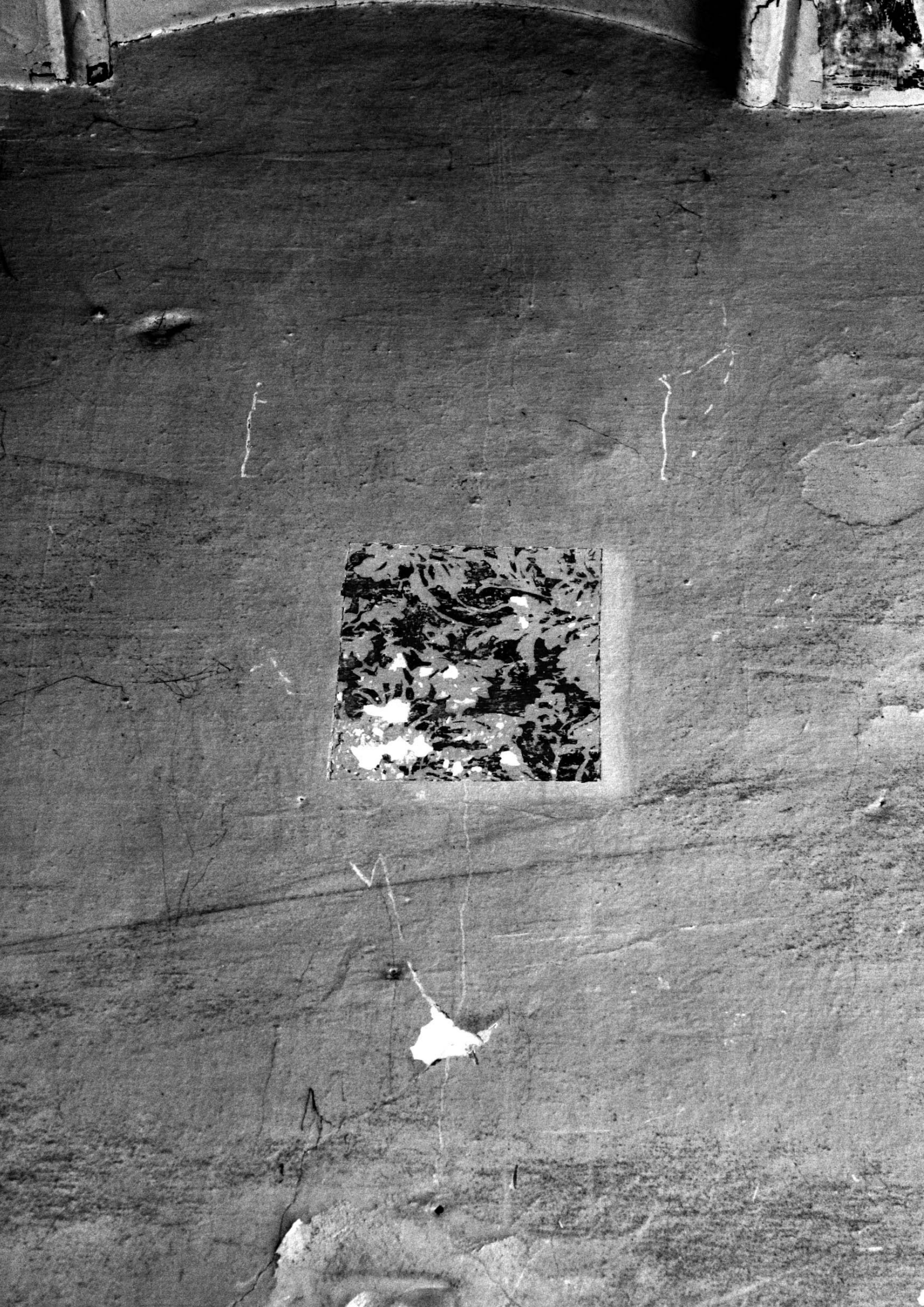
BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO [Consulta: 15-05-2018] Disponible en: <https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2003-20692>

DIARI OFICIAL DE LA GENERALITAT VALENCIANA [Consulta: 15-05-2018] Disponible en: <http://www.dogv.gva.es/portal/ficha_disposicion.jsp?id=24&sig=3892/2006&L=1&url_lista>

GENERALITAT VALENCIANA [Consulta: 15-05-2018] Disponible en: <<http://www.ceice.gva.es/ca/web/patrimonio-cultural-y-museos/bics>>

KREMER [Consulta: 05-06-2018] Disponible en: <<https://www.kremer-pigmente.com/es>>

UPV. SERVICIO DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA [Consulta: 15-05-2018] Disponible en: <<http://www.upv.es/entidades/SME/>>



AGRADECIMIENTOS

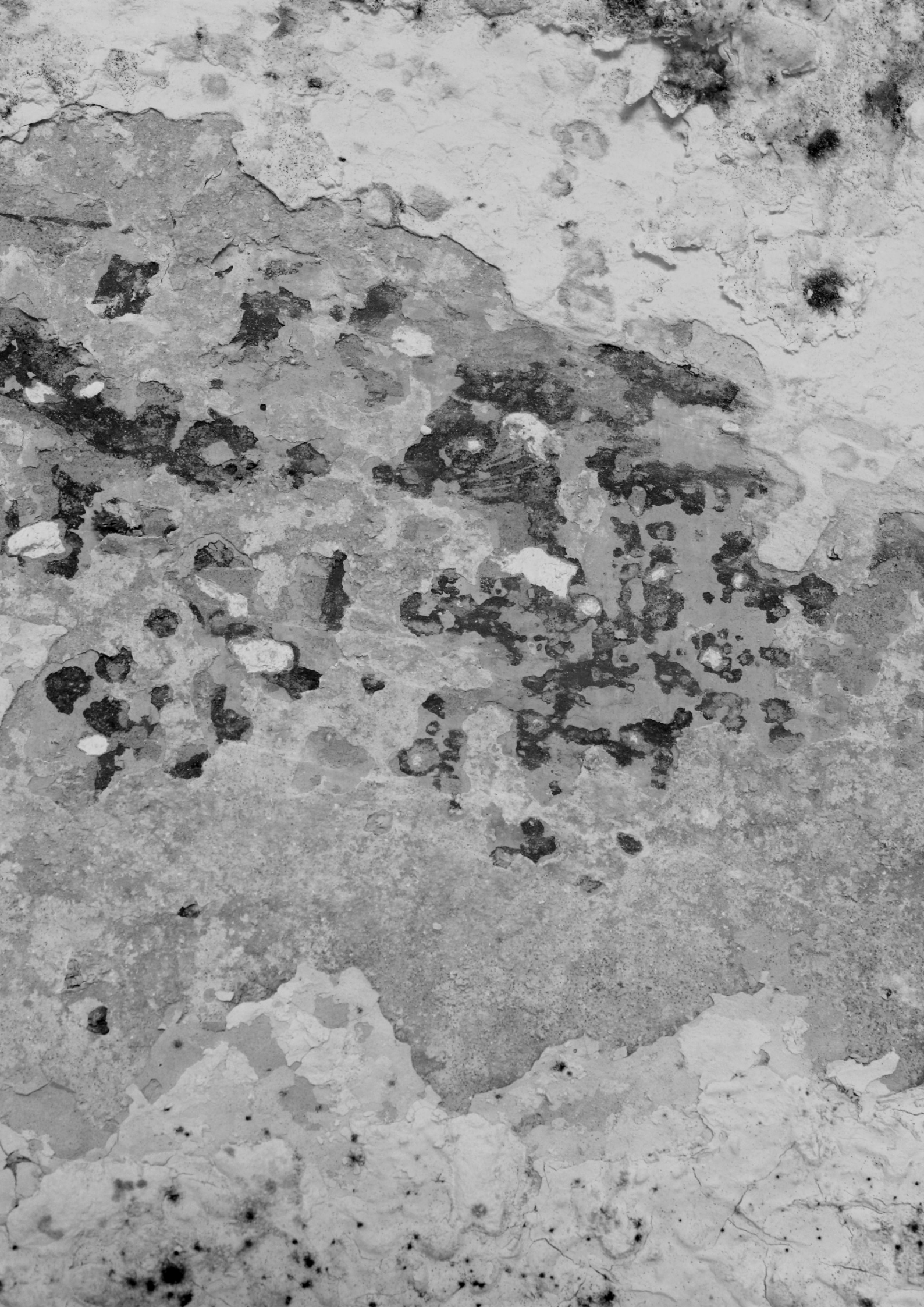
Quiero dar las gracias en primer lugar, de manera especial y sincera, a mis tutores, Josele y Julia, por la oportunidad que me han brindado al ofrecerme realizar esta investigación, por vuestra dedicación, apoyo, paciencia y ayuda inestimable, tanto durante la realización de este trabajo como durante mi formación.

Gracias al Ayuntamiento de Alzira por permitirnos realizar la aplicación de la fase experimental de la investigación en las pinturas murales del Palacio Casassús, facilitarnos el acceso a la obra en todo momento y a la documentación necesaria relacionada con ésta.

Me gustaría agradecer al servicio de Microscopía Electrónica de la UPV por la atención prestada durante el proceso de realización de los estudios analíticos SEM-EDX. Agradecer también la disponibilidad y la ayuda prestada por las técnico del Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la UPV .

Ari, Eli, porque en este trabajo también hay un poquito de cada una de vosotras, gracias infinitas por vuestro apoyo constante en todo momento.

Y por último quiero agradecer a mi familia y amigos por su paciencia y amor. Porque siempre habéis estado ahí para mí. Gracias.



ÍNDICE DE IMÁGENES

Todas las imágenes empleadas en el presente trabajo de investigación, salvo las que se procede a referenciar a continuación, han sido realizadas y son propiedad de la autora de este estudio.

Figura 2. Desencalado pintura mural al fresco, iglesia de Bergamo, Bergamo. Extraída de: STUDIO RESTAURI FORMICA [Consulta: 15-06-2018] Disponible en: <<http://www.restauriformica.it/cantieri/bergamo-chiesa-ss-sepolcro/>>

Figura 3. Desencalado pintura mural al fresco, iglesia de Bergamo, Bergamo. Extraída de: STUDIO RESTAURI FORMICA [Consulta: 15-06-2018] Disponible en: <<http://www.restauriformica.it/cantieri/bergamo-chiesa-ss-sepolcro/>>

Figura 5. Humectación encalado pintura mural al fresco situada en la logia de la iglesia San Rocco, Roma. Extraída de: RINNOVARTE RESTAURO [Consulta: 15-06-2018] Disponible en: <<http://www.rinnovarterestauro.it/index.php/2017-11-28-16-40-44/travel/il-loggiato-di-san-rocco-l-affresco>>

Figura 6. Desencalado mecánico pintura mural al fresco situada en la logia de la iglesia San Rocco, Roma. Extraída de: RINNOVARTE RESTAURO [Consulta: 15-06-2018] Disponible en: <<http://www.rinnovarterestauro.it/index.php/2017-11-28-16-40-44/travel/il-loggiato-di-san-rocco-l-affresco>>

Figura 9. Catas realizadas en las pinturas murales encaladas de Iglesia de San Bernardo di Faedo, Faedo. Extraída de: SAN BERNARDO DI FAEDO [Consulta: 15-06-2018] Disponible en: <<http://www.sanbernardodifaedo.it/restauro/1/UltimaCena.html>>. Página 15

Figura 11. Catas realizadas en las pinturas murales al fresco Iglesia de Bergamo, Bergamo. Extraída de: STUDIO RESTAURI FORMICA [Consulta: 15-06-2018] Disponible en: <<http://www.restauriformica.it/cantieri/bergamo-chiesa-ss-sepolcro/>>. Página 15.

Figura 12. Catas realizadas en las pinturas murales al fresco encaladas de Iglesia de San Bernardo di Faedo, Faedo. Extraída de: SAN BERNARDO DI FAEDO [Consulta: 15-06-2018] Disponible en: <<http://www.sanbernardodifaedo.it/restauro/2/Madonna.html>>. Página 16

Figura 13. Catas realizadas en las pinturas murales al fresco encaladas de Iglesia de San Bernardo di Faedo, Faedo. Extraída de: SAN BERNARDO DI FAEDO [Consulta: 15-06-2018] Disponible en: <<http://www.sanbernardodifaedo.it/restauro/3/Abside.html>>. Página 16

Figura 15. Consolidación con resina acrílica. Extraída de: CREA RESTAURACIÓN [Consulta: 15-06-2018] Disponible en: <<http://www.crearestauracion.es/pinturasnogueira/?p=297>>. Página 20

Figura 16. Consolidación con hidróxido de bario de las pinturas murales al fresco de la iglesia de San Roque de Oliva, Valencia. Extraída de: OSCA, J. *El empleo de consolidantes inorgánicos y organosilicios como alternativa a los consolidantes orgánicos*. En: *Tratamientos y metodologías de conservación de pinturas murales. Actas del seminario sobre restauración de pinturas murales*, Aguilar de Campoo (Palencia) 20-22 de junio de 2005. Fundación Santa María la Real - Monasterio de Santa María la Real, Aguilar de Campoo (Palencia), 2006.

Figura 17. Consolidación con hidróxido de bario de las pinturas murales al fresco de la iglesia de San Roque de Oliva, Valencia. Extraída de: OSCA, J. *El empleo de consolidantes inorgánicos y organosilicios como alternativa a los consolidantes orgánicos*. En: *Tratamientos y metodologías de conservación de pinturas murales. Actas del seminario sobre restauración de pinturas murales*, Aguilar de Campoo (Palencia) 20-22 de junio de 2005. Fundación Santa María la Real - Monasterio de Santa María la Real, Aguilar de Campoo (Palencia), 2006.

Figura 18. Localización Palacio Casassús. Extraída de: GOOGLE MAPS [Consulta: 20-06-2018] Disponible en: <<https://www.google.es/maps/place/46600+Alcira,+Valencia/@39.1581722,-0.4474925,1data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0xd61b00a9e6e6bef:0xd7b5683204bd9559!8m2!3d39.1511854!4d-0.4333643>>. Página 25

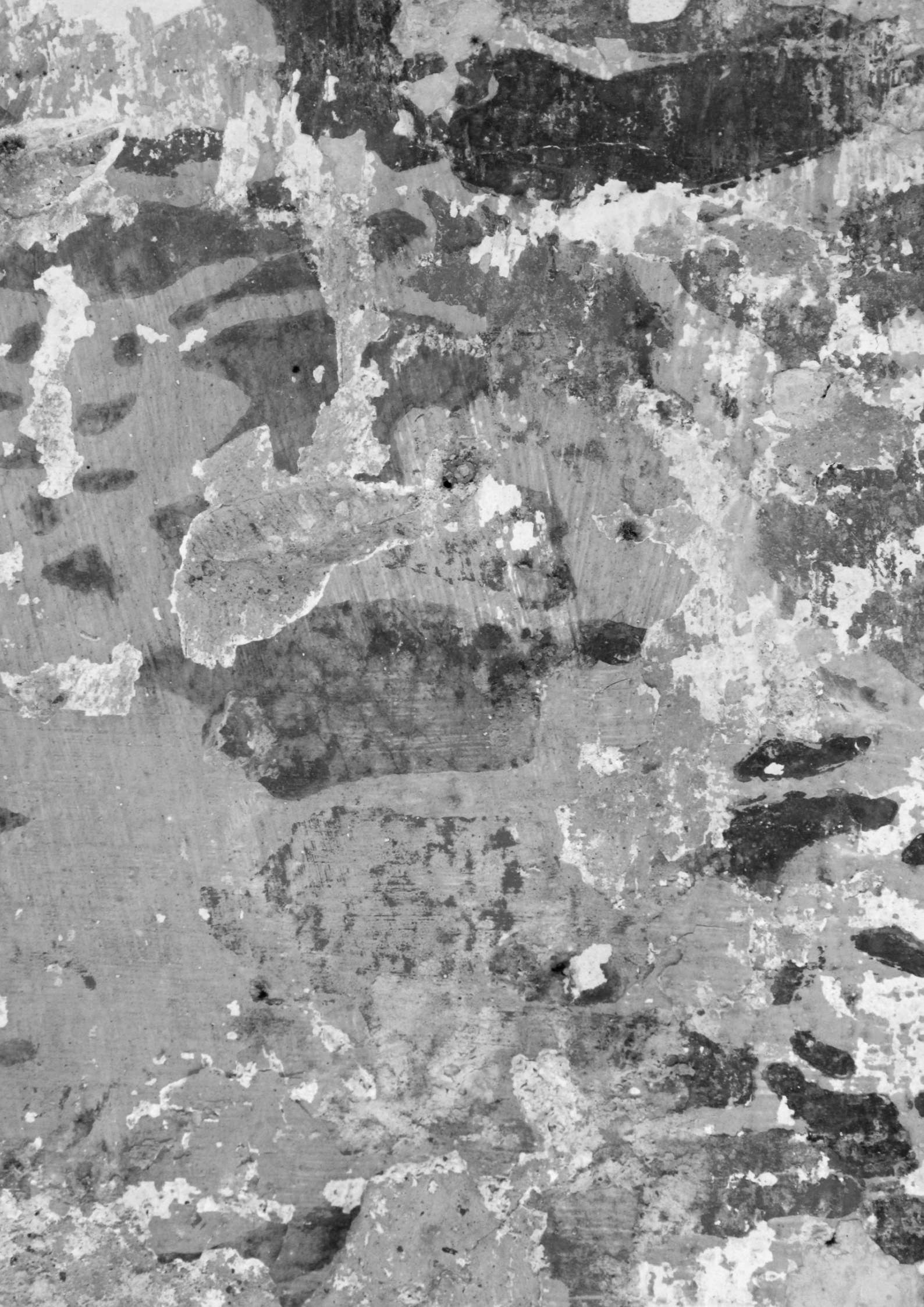
Figura 19. Fachada Palacio Casassús. Extraída de: JDIEZARNAL [Consulta: 20-06-2018] Disponible en: <<http://www.jdiezarnal.com/spainvalenciaalziralalaciodecasasus.html>>. Página 25.

Figura 20. Escudo heráldico familia Casassús. Extraída de: JDIEZARNAL [Consulta: 20-06-2018] Disponible en: <<http://www.jdiezarnal.com/spainvalenciaalziralalaciodecasasus.html>>. Página 25.

Figura 21. Reloj solar fachada Palacio Casassús. Extraída de: JDIEZARNAL [Consulta: 20-06-2018] Disponible en: <<http://www.jdiezarnal.com/spainvalenciaalziralalaciodecasasus.html>>. Página 25.

Figura 22. Arcos góticos descubiertos en las primeras excavaciones arqueológicas del Palacio Casassús. Extraída de: AJUNTAMENT D'ALZIRA [Consulta: 20-06-2018] Disponible en: <http://www.alzira.es/alzira_vpm/index.php/val/noticies/6914-abans-d-acabar-l-any-hauran-conclos-les-obres-de-consolidacio-i-reconstruccio-de-la-coberta-del-palau-de-casassus>. Página. 26

Figura 24. Localización estancia objeto de estudio. Extraída de: ARCHIVO PRIVADO AJUNTAMENT D'ALZIRA.
Página. 27.



ANEXOS

ANEXO 1. TABLA MEDICIONES ABSORCIÓN

MEDICIONES ABSORCIÓN AGUA												
ÁREA	MEDICIÓN 1			MEDICIÓN 2			MEDICIÓN 3			MEDIA WA		
	PI	PF	WA	PI	PF	WA	PI	PF	WA	PI	PF	WA
SIN CONSOLIDANTE	19,35	19,19	0,0067	19,08	18,9	0,0076	19,37	18,93	0,0185	19,37	18,93	0,0109
HIDRÓXIDO DE BARIO	19	18,56	0,0185	19,11	18,95	0,0067	18,33	18,16	0,0072	18,33	18,16	0,0108
SILICATO DE ETILO	19,05	18,73	0,0135	19,5	19,23	0,0286	18,58	18,1	0,0202	18,58	18,1	0,0207
SILICATO DE LITIO	19,14	19,13	0,0004	19,11	18,88	0,0097	19,54	19,04	0,0210	19,54	19,04	0,0104
SILICATO DE POTASIO	18,58	18,38	0,0084	18,49	18,36	0,0055	19,09	18,93	0,0067	19,09	18,93	0,0069

CALCULO CANTIDAD DE AGUA ABSORBIDA (Wa)

$$Wa (g/cm^2 \times min) = (Pi - Pf)/23.76 \times t$$

t = tiempo de contacto en minutos

Pi = peso inicial en gramos

Pf = peso final en gramos

23.76 = superficie de la esponja en cm²

