



miceli aeri que afecta al desenvolupament tridimensional de l' esporulació. L' esporulació d' *Alternaria sp.* és òptima a 27° C però és inhibida per sota de 15° C o per sobre 3° C, encara que el rang de creixement és entre 0 i 35° C (Fotografia 17).

## **Scopulariopsis sp.**

- Espècie: pertany al grup dels deuteromicets i conté diverses espècies.
- Característiques morfològiques: colònies de creixement ràpid. Inicialment presenta un miceli en forma de plomes, blanc, prim i vellós que amb el temps es torna de color crema, gris, canyella, marró fins a negre, sent el marró clar el color més comú. En aquest gènere, les cèl·lules conidio-gèniques usualment són dematiacees, poden ser solitàries o organitzades en grups. Els conidis són globosos o piriformes, de paret gruixuda, usualment amb la base truncada, llisos o rugosos i de color marró o hialins.
- Descripció de l' hàbitat: la majoria dels membres d' aquest gènere són habitants propis del sòl, fems i residus de plantes. Ataca material cel·lulòsic, cuir, pergami, segells de cera i fotografia. També existeixen algunes espècies com *S. Brevicaulis*, que han estat associades amb malalties com onicomicosi i hialohifomicosi<sup>25</sup> (Fotografies 18 i 19).

## **ANÀLISI DE PH**

Les primeres anàlisis del pH del revers de la tela es van realitzar després de la primera desinfecció ja que, com s'ha explicat, l' atac biòtic era tan important, que podia afectar a la salut de les restauradores durant la manipulació. Els primers resultats van determinar un pH que oscil·lava entre els valors 8 i 7.

Aquests resultats suposaven una contradicció enfront de l' estat de conservació de la tela, que sofria l' atac biòtic de fongs acidòfils. La posterior investigació va determinar que, a causa de la composició de la preparació del mur a base de sulfat càlcic, la capil·laritat, condensació i filtració d' humitat a través del mateix, van produir una migració de sals que viatjant des del revers de la tela van augmentar la basicitat a l' anvers. L' atac biòtic es va iniciar a l' anvers ja que les condicions de conservació havien propiciat un estat d' acidesa. La basicitat del revers va anar avançant fins a arribar a l' anvers i els fongs diposats en la superfície es van adaptar al medi alcalí.

Amb el procés de desinfecció, mitjançant la neteja mecànica i la vaporització de clorur de benzalconi (sal d' amoni quaternari<sup>26</sup>), hi havia la possibilitat que s' elevessin els valors de pH a molt bàsics. Es van prendre mesures després d' aquests processos. Els resultats van concloure que la basicitat de la tela es va reduir 1,5 respecte a l' anàlisi anterior, augmentant la seva acidesa, per la qual cosa la desinfecció i neteja van permetre a la tela, lliure d' impureses i d' atac biòtic, equilibrar el seu pH.

## **Proceso de análisis físico-químicos aplicados a la pintura sobre tela de santa Ana**

*Las técnicas analíticas aplicadas a la restauración de una obra de arte son básicas para conocer los materiales que componen la obra. Para ello es necesaria una tarea interdisciplinaria entre diversos profesionales, con el fin de aplicar las tecnologías que solucionen estas necesidades y permitan operar con resultados más precisos antes y durante el proceso de restauración.*

**Mónica Mora Triviño.** *Técnica Superior en Artes Aplicadas al Muro por la Escuela de Artes Plásticas y Diseño Llotja y estudiante de Conservación y Restauración de Pintura de la ESCRBC.* monipenni@hotmail.com

**Anahí Meyer Riera.** *Licenciada en Historia del Arte por la Universidad de las Islas Baleares y estudiante de Conservación y Restauración de Pintura de la ESCRBC.* anahi321@hotmail.com

## **INTRODUCCIÓN**

El análisis de los materiales que componían la obra, así como el conocimiento de las patologías en curso, eran necesarios para realizar los diagnósticos que permitieran seleccionar los criterios de intervención apropiados respetando los materiales originales, detuvieran las causas de degradación, restituyeran la visibilidad y, con ello, la unidad potencial de la obra de arte, permitiendo prevenir futuras degradaciones.

Se analizó toda la superficie de la obra sometiendo a la incidencia de diferentes tipos de luz (rasante, transmitida, ultravioleta e infrarroja), con el fin de documentar el estado de conservación tanto a nivel de soporte como de capa pictórica.

Se realizaron estudios de composición de la tela de soporte y de la capa pictórica, también de pH de la tela y finalmente se realizó un extenso estudio del importante ataque biológico que afectaba la superficie de la capa pictórica.

## **ESTUDIOS PRELIMINARES CON DISTINTOS TIPOS DE LUZ**

La incidencia de la luz rasante puso de manifiesto las irregularidades y desperfectos de la tela o las rugosidades de la superficie imperceptibles a simple vista, así como la gran capa heterogénea de hongos mostrando las diferentes texturas y grosores. En el reverso se apreciaron pequeñas irregularidades del tejido como nudos, cosidos y una brizna de paja.

La observación con luz transmitida permitió apreciar los detalles de algunas de las degradaciones; en concreto, los numerosos rasgados, pérdidas de materia y cortes, así como la densidad de las capas de pintura que en general se presentaban delgadas y uniformes, sufriendo pérdidas y desgaste en algunas zonas puntuales. También permitió apreciar cuarteados no perceptibles en el espectro visible a los que denominamos microcuarteados, diferenciándolos de este modo, de los cuarteados apreciados con luz natural.

Se fotografió la obra con la incidencia de la radiación ultravioleta iluminándola mediante una lámpara de Wood<sup>1</sup> y prolongando la exposición de la fotografía, pero este examen no reveló información relevante sobre la obra.

<sup>26</sup> [http://www.fichasdeseguridad.com/cloruro\\_benzalconio.htm](http://www.fichasdeseguridad.com/cloruro_benzalconio.htm) (Consulta: 07/10/08).

<sup>25</sup> <http://www.siac.net.co/sib/catalogoespecies/especie.do?jsessionid=2526D27354EE1B6C186796C20FA27CC3?idBuscar=543&method=displayAAT> (Consulta: 16/01/09).

La observación con reflectografía de infrarrojos<sup>2</sup> permitió apreciar el dibujo preliminar subyacente, principalmente en la zona de la aureola de la Virgen, rostro y mano.

## ANÁLISIS DE FIBRAS

Esta pintura al temple sobre tela tiene unas medidas de 136 x 78 cm. Está compuesta por la tela principal, más grande; y tres fragmentos anejos, uno en la pierna derecha (fragmento nº 1) y dos en la mano derecha (fragmento nº 2 y fragmento nº 3). El objetivo de la identificación de las fibras era obtener información sobre la composición de estas telas para poder averiguar si pertenecían a la misma pieza o a telas distintas.<sup>3</sup>

Se tomó una muestra de hilo de trama y otra de urdimbre localizadas en el perímetro de cada fragmento, y se observó cada muestra de hilo con la lupa binocular a 20 aumentos y se identificó su torsión, morfología, color y número de cabos. Posteriormente, las muestras se expusieron a un lavado al baño maría en una solución de agua desionizada e hidróxido sódico. Una vez enjuagadas las muestras y eliminados los residuos, se separaron las fibras en una cápsula de petri y se depositaron 3 o 4 fibras sobre un portamuestras con una gota de glicerina. A continuación se observaron a través del microscopio óptico (MO)<sup>4</sup> a 200 aumentos para su posterior identificación.

Todos los hilos presentaban torsión en Z. Las fibras forman un solo cabo compacto en cada hilo y algunas se han fragmentado o deshecho. El hilo de trama es ondulado y el hilo de urdimbre es liso, debido ambos a su posición y el tensado de la urdimbre en el telar.

El resultado de los análisis determinó que la tela principal era de un tejido y los tres fragmentos restantes de otro tejido. Tanto el color blanco del hilo como la forma de cinta plana, flexible y helicoidal determinó que todos los tejidos eran de algodón.

El tejido principal es industrial, de tafetán sencillo formado por hilos finos, y presenta nudos en relieve localizados de forma puntual en la totalidad de la superficie. Su densidad es de 27 hilos de urdimbre y 28 pasadas de trama por cm<sup>2</sup>.

Las muestras analizadas de los tres fragmentos determinaron que pertenecen a una misma tela, de trama más abierta, de una densidad de 22 hilos de urdimbre y 23 pasadas de trama por cm<sup>2</sup>. Se observó la presencia de partículas brillantes en ambos hilos, posiblemente restos de cola orgánica, así como restos de capa de preparación en el hilo de trama.

Todas las muestras presentaban hilos frágiles que se deshacían rápidamente, por ello podemos decir que el estado de conservación es malo, debido a la inadecuada exposición a la humedad que ha sufrido la obra, al ataque biológico y al envejecimiento natural (Fotografías 1 y 2).

## ANÁLISIS DE PIGMENTOS

En el análisis de pigmentos, el objetivo principal fue identificar los estratos que componían la capa pictórica, para entender las causas de su degradación y decidir cuáles serían los procesos de intervención y las condiciones de conservación posteriores más adecuadas.

Por parte de las restauradoras se realizaron estudios estratigráficos de muestras de pigmento que se prepararon mediante la embutición en resina de poliéster, *cross section* y lámina delgada, observándolas a través del microscopio óptico a 40 aumentos.<sup>5</sup> Se observó que el fragmento principal presentaba una capa de preparación muy fina, restos de color rojizo en los pies de la imagen y de grafito en la aureola, pertenecientes al dibujo preparatorio, y una única capa de policromía muy fina en estado pulverulento. Los fragmentos de tela añadidos no

presentaban capa de preparación pero sí de imprimación, posiblemente de cola orgánica, y la policromía se encontraba incrustada a la tela (Fotografía 3).

Anteriormente a la restauración de la pintura, se pudieron llevar a cabo algunos análisis de composición del revoco, de la capa de preparación y de la pintura aplicada directamente al muro de la bóveda de la iglesia.<sup>6</sup> Concretamente haremos referencia a las muestras más cercanas a la imagen de santa Ana, correspondientes a la zona de color azul del cielo que bordea la imagen.

Las muestras fueron estudiadas y fotografiadas con un estereomicroscopio para su observación más detallada. La muestra inmersa en resina de poliéster fue cortada y pulida para observar su sección con el microscopio óptico, obteniendo así las imágenes de la estratigrafía. Posteriormente esta misma sección se recubrió con carbono para ser estudiada y analizada con el microscopio electrónico de barrido (SEM). Los detectores de electrones secundarios, retrodispersados y de rayos X, acoplados a este equipo, permiten ver la morfología del material a la vez que obtener la composición elemental de diferentes zonas y puntos de la muestra.

También se analizaron las diferentes capas que conforman cada muestra con micro-espectroscopia de infrarrojo (FTIR), para determinar los compuestos que forman los pigmentos y para evaluar la posible presencia de aglutinantes o recubrimientos de naturaleza orgánica.

Mediante estos análisis se pudo determinar que la capa pictórica de la muestra estaba constituida por pequeñas partículas azules de forma redondeada y de medidas regulares, lo cual es característico de un pigmento sintético. También se observaron pequeñas partículas de color amarillo y rojo (Fotografías 4, 5, 6 y 7).

En las imágenes obtenidas con SEM, la capa pictórica presenta una granulometría fina y regular. Se detectaron sodio (Na), aluminio (Al), silicio (Si), azufre (S) y trazas de calcio (Ca) y potasio (K), lo cual indica que se trata de un azul ultramar ( $\text{Na}_{8-10}\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{S}_{2-4}$ ) y calcita con una arcilla con feldespatos en menor cantidad. Además en una de las partículas amarillas se detectó una gran cantidad de hierro (Fe), lo cual corrobora la presencia de óxidos de hierro ( $\text{FeOOH}$ ) de color amarillo (Fotografías 8 y 9).

Por espectroscopia de infrarrojos se confirmó la presencia de azul ultramar y se detectó calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) y blanco de plomo ( $2\text{PbCO}_3\cdot\text{Pb}(\text{OH})_2$ ), que podrían proceder de la capa inferior. Además se determinaron oxalatos de calcio ( $\text{Ca}_2\text{C}_2\text{O}_4\cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), que son el resultado de la degradación del medio orgánico utilizado como aglutinante.

La preparación está aplicada a dos manos. La capa más superficial que se encuentra en contacto directo con la capa pictórica, se aprecia con un color más blanco. Con microscopía electrónica se distinguen numerosas partículas de pequeñas dimensiones que se vuelven brillantes al ser observadas con electrones retrodispersados como consecuencia de la presencia de plomo (Pb), atribuibles al blanco de plomo. Asociado al plomo se detectó cloro (Cl) en gran cantidad que se relaciona indirectamente con la fabricación de este pigmento blanco, ya que implica diversos procedimientos y métodos de purificación en los que intervienen cloruros. También, pero en menor cantidad, se detectó magnesio (Mg) y calcio (Ca), que se atribuyen a dolomita y calcita.

La capa inferior de preparación presenta una morfología distinta, sobre todo con microscopía electrónica, mediante la que se distinguen cristales alargados característicos del sulfato de calcio y destacan granos de árido de medidas importantes. Los análisis elementales revelan la presencia de calcio (Ca) y azufre (S) que se atribuyen al yeso ( $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

Como conclusión podemos decir que se trata de una pintura realizada con azul ultramar, un pigmento sintético elaborado por primera vez en 1828, lo cual indica que la pintura analizada es del siglo XIX. Denominado también azul permanente o ultramarino francés, tras su descubrimiento se convirtió en una alternativa más barata que el lapislázuli natural. Todos los pigmentos ultramar son igual de permanentes en estado puro pero existen muchos grados inferiores, reducidos, para uso industrial. El ultramar es semitransparente; no funciona muy bien en óleos, donde tiende a formar pastas filamentosas y no cremosas. Es totalmente permanente en casi todas sus aplicaciones, incluyendo procesos a altas temperaturas, pero se blanquea fácilmente por acción de ácidos muy débiles y de vapores ácidos; lo mismo sucede con el lapislázuli natural.<sup>7</sup>

Por lo que respecta al tipo de aglutinante no se pudo identificar con exactitud, probablemente por su avanzado estado de degradación. Sólo se pudo verificar que se trataba de un aglutinante de tipo orgánico.

## ANÁLISIS BIOLÓGICO

La ubicación de la obra en su lugar de emplazamiento, directamente sobre el muro, constituye una superficie fría sobre la que se produce el fenómeno de condensación. Térmicamente, la altura de la bóveda permite estratos de aire con gradientes de temperatura que pueden subir y evolucionar temporalmente en relación al exterior.<sup>8</sup> Además, se produjeron filtraciones de lluvia a través de la cubierta del edificio, lo que provocó que la obra absorbiera agua desde el reverso, reteniéndola y provocando una gran humedad en el anverso, creando un microclima de humedad que favoreció el hábitat idóneo para la proliferación de diferentes y numerosos microhongos acidófilos, como los que se encontraban en la superficie de la obra.

También contribuyeron otros factores importantes, como el factor edáfico de la composición del soporte por ser de algodón, la absorción capilar, el bajo nivel de pH<sup>9</sup> inicial y la presión osmótica.<sup>10</sup>

Dado el importante biodeterioro de la obra, se realizaron análisis biológicos.<sup>11</sup> La identificación de los hongos filamentosos se basa en el examen macroscópico de la colonia y en sus características microscópicas. Semejanzas macroscópicas como la forma de la colonia, el color de la superficie, la textura y la producción de pigmentos son muy útiles para la identificación.<sup>12</sup> Se realizaron cultivos de las muestras, con el fin de identificar el tipo de hongos, su reacción y el agente de alteración. Cada muestra de cultivo se tomó con un hisopo estéril que se inoculó en una cápsula de petri con un medio para el desarrollo de hongos y bacterias (denominado agar malta). Las placas se colocaron en la estufa de cultivo durante diez días para realizar posteriormente el reconocimiento de las colonias e identificar las especies.<sup>13</sup>

Las muestras se tomaron en las superficies donde cada hongo se encontraba más aislado de los demás; a pesar de ello, debido a la superposición entre ellos, cabía la posibilidad que en alguna muestra se extrajera más de un tipo de hongos.

Los resultados determinaron la presencia de cinco tipos de hongos distintos: *Aspergillus sp.*, *Scopulariopsis sp.*, *Chaetomium sp.*, *Phoma sp.* y *Alternaria sp.* Cada tipo ocupaba espacios irregulares de dimensiones variadas, pero afectando casi el 80 % de la superficie pictórica. Las zonas sin hongos del anverso, tampoco presentaban hongos en el reverso.

Su disposición no era aislada sino que en muchas zonas se superponían los unos con los otros (Fotografía 10). Esto comporta que las especies que tienen las mismas necesidades biológicas y con un mismo ciclo, después de un cierto tiempo de competición, tienden a eliminarse las unas a las otras, a menos que para su supervivencia logren hacerse con

un nicho ecológico propio, de modo que en cada momento se reafirman aquellas que están mejor adaptadas (Fotografía 11).

La acción de estos microorganismos causó daños mecánicos, bioquímicos y químicos. En la fase inicial "difuminaron" el dibujo y el color, provocando manchas blanquecinas y, posteriormente, daños estéticos más evidentes como modificaciones del color y aureolas. En otras fases de su ciclo vital provocaron grandes manchas de color.

A nivel mecánico, además de utilizar la tela como sustrato de crecimiento, la penetración de las hifas en el interior del soporte causó daños mecánicos en las características del tejido, como por ejemplo fisuras. Por otra parte, el desarrollo de los micelios provocó desprendimientos de capa pictórica.

A nivel químico, la acción de los exoenzimas<sup>14</sup> utilizados en la digestión de los hongos, provocó que se descompusieran los constituyentes del aglutinante, otorgándole a la capa un aspecto pulverulento. Durante los procesos respiratorios causan también fenómenos de acidólisis, favoreciendo el desarrollo de especies acidófilas. Estos ácidos producidos pueden disolver aglutinantes y acelerar el *peeling* de la película pictórica. La hidrólisis de la celulosa<sup>15</sup> por las celulasas microbianas, cambió la consistencia del tejido, volviéndolo frágil, creando zonas que presentaban diferente adhesión entre la pintura y el lienzo.

*Alternaria sp.*, *Aspergillus sp.*, *Scopulariopsis sp.* y *Chaetomium sp.* son especialmente dañinos por su actividad celulosolítica, penetran entre las fibras hasta alcanzar la estructura interna de las mismas, por ello es frecuente encontrar hifas fúngicas dentro del lumen de las fibras.

A continuación se describen las principales características de los hongos localizados:

### *Chaetomium sp.*

- Especie: pertenece al grupo de los ascomicetos. En la actualidad, en el género *Chaetomium sp.* se aceptan 105 especies. Es un hongo contaminante y uno de los agentes causantes de infecciones en los seres humanos, responsable, entre otras, de inmunodepresión, enfermedades subcutáneas, peritonitis y oricomocosis.<sup>16</sup>
- Características morfológicas: las colonias del *Chaetomium sp.* son de crecimiento rápido, de color pardo, oliva o gris, de aspecto granular y algodonoso. Puede presentar o no exudados o producir pigmentos difusibles en varios medios de cultivo y, por lo general, carecen de olor, los ascomas ostiados, generalmente son superficiales. Las esporas son unicelulares, prácticamente incoloras cuando son jóvenes, de color marrón o gris oliváceo al madurar, más o menos traslúcidas, y pueden tener 1 o 2 poros germinativos.
- Descripción del hábitat: presenta una distribución cosmopolita. Se alimenta lisotróficamente y crece sobre los sustratos más variados: despojos, suelo, agua de mar, madera en descomposición, semillas, fibras textiles, papel, cartón, fotografía, sellos de cera, cuero, materiales sintéticos e incluso cintas magnéticas.<sup>17</sup> Se reproduce en condiciones de humedad y temperatura elevadas. Cuando los alimentos cercanos al hongo se agotan, éste debe continuar creciendo, y lo consigue alargándose y penetrando más en el sustrato (Fotografías 12, 13, 14 y 15).

### *Aspergillus sp.*

- Especie: pertenece al grupo de los deuteromicetos e incluye 900 especies. Unas 12 de ellas se han clasificado como agentes causantes de enfermedades en el hombre como alergias (rinitis o asma), infecciones en los pulmones y onicomocosis.
- Características morfológicas: las más destacables son el grado de crecimiento, el color de la colonia y la termotolerancia. El color de las colonias posee distintos tonos de verde, pardo, amarillo, blanco, gris y negro. Las cabezas conicoideales presentan bajo el microscopio

cuatro formas básicas: globosa, radiada, columnar o claviforme y, a simple vista, las más grandes suelen parecer diminutos alfileres sobre el sustrato.

- Descripción del hábitat: es un hongo filamentoso, que se encuentra en la naturaleza, presente en el aire doméstico en un 37 % de las muestras.<sup>18</sup> Se desarrolla sobre materiales celulósicos, cuero, adhesivos animales y vegetales, fotografía, sellos de cera y tintas.<sup>19</sup> No experimenta reproducción sexual de la espóra. La ubicuidad del *Aspergillus sp.* es debida a su capacidad para crecer a diferentes temperaturas sobre sustratos con diverso contenido en humedad. La colonización se produce de forma explosiva cuando la humedad relativa se eleva sobre el 70 % sin que se desencadene aún el fenómeno de brotación. El rango de temperatura de crecimiento oscila de 0-5° C para *A. Glaucus*, hasta 50-55° C para *A. Fumigatus*, siendo óptimo entre 30-33° C para la mayoría de las especies<sup>20</sup> (Fotografía 16).

### *Phoma sp.*

- Especie: pertenece al grupo de los dematicetos y contiene numerosas especies, de color y morfología de conidias diferentes. Raramente causan infecciones en humanos, aunque puede producir desórdenes subcutáneos y alergias.<sup>21</sup>
- Características morfológicas: las colonias de *Phoma sp.* crecen muy rápidamente. Son planas y pulverulentas. Inicialmente son de color blanco, y posteriormente se tornan grises y el reverso es oscuro (marrón-negro). Sobre pinturas murales producen manchas rosas o violáceas.
- Descripción del hábitat: es un hongo patógeno común de las plantas. Ataca materiales celulósicos como papel, cartón o tejido. El desarrollo óptimo se produce a 15-25° C, principalmente, en primavera e invierno.

### *Alternaria sp.*

- Especie: pertenece al grupo de los deuteromicetos y contiene unas 50 especies. Es responsable de producir alergias y síntomas respiratorios e intestinales (astenia y náuseas).<sup>22</sup>
- Características morfológicas: los conidios de *Alternaria sp.* tienen septos transversales y longitudinales y se los conoce como dictiosporas, además son pardos y picudos. Nacen por la brotación apical de una célula conidiógena o de la espóra anterior, dando lugar en este último caso a una cadena que suele ramificarse si una espóra produce más de un brote. La forma de los conidios, el color (desde blanco inicialmente hasta pardo grisáceo, pardo oliva, gris o negro) y la superficie de la colonia varía dentro de este grupo de especies. Las colonias tienen un aspecto granular, plano y suave. Crece rápidamente y se encuentra cubierta por las hifas grises y cortas.<sup>23</sup>
- Descripción del hábitat: es un hongo cosmopolita que se encuentra suspendido en el aire con frecuencia. Ataca material celulósico, cuero, pergamino, adhesivos animales y vegetales, materiales sintéticos, sellos de cera y cintas magnéticas.<sup>24</sup> Es común observar en los hongos una plasticidad morfológica. Cuando las especies de *Alternaria sp.* crecen en medios ricos y en oscuridad bajo condiciones ambientales no controladas, se forma un exceso de micelio aéreo que afecta al desarrollo tridimensional de la esporulación. La esporulación de *Alternaria sp.* es óptima a 27° C pero es inhibida por debajo de 15° C o por sobre 3° C, aunque el rango de crecimiento está entre 0 y 35° C (Fotografía 17).

### *Scopulariopsis sp.*

- Especie: pertenece al grupo de los deuteromicetos y contiene varias especies.
- Características morfológicas: colonias de crecimiento rápido. Inicialmente presenta un micelio en forma de plumas, blanco, delgado y veloso que con el tiempo se torna de color crema, gris, canela, marrón hasta negro, siendo el marrón claro el color más

común. En este género, las células conidiogénicas usualmente son dematiaceas, pueden ser solitarias u organizadas en grupos. Los conidios son globosos o piriformes, de pared gruesa, usualmente con la base truncada, lisos o rugosos y de color marrón o hialinos.

- Descripción del hábitat: la mayoría de los miembros de este género son habitantes propios del suelo, estiércol y residuos de plantas. Ataca material celulósico, cuero, pergamino, sellos de cera y fotografía. También existen algunas especies como *S. Brevicaulis*, que han sido asociadas con enfermedades como onicomycosis y hialohifomicosis<sup>25</sup> (Fotografías 18 y 19).

## ANÁLISIS DE PH

Los primeros análisis del pH del reverso de la tela se realizaron después de la primera desinfección puesto que, tal como se ha explicado, el ataque biótico era tan importante, que podía afectar a la salud de las restauradoras durante la manipulación. Los primeros resultados determinaron un pH que oscilaba entre los valores 8 y 7.

Estos resultados suponían una contradicción frente al estado de conservación de la tela, que sufría el ataque biótico de hongos acidófilos. La posterior investigación determinó que, debido a la composición de la preparación del muro a base de sulfato cálcico, la capilaridad, condensación y filtración de humedad a través del mismo, produjeron una migración de sales que viajando desde reverso de la tela aumentaron la basicidad en el anverso. El ataque biótico se inició en el anverso puesto que las condiciones de conservación habían propiciado un estado de acidez. La basicidad del reverso fue avanzando hasta alcanzar el anverso y los hongos depositados en la superficie se adaptaron al medio alcalino.

Con el proceso de desinfección, mediante la limpieza mecánica y la vaporización de cloruro de benzalconio (sal de amonio cuaternario<sup>26</sup>), cabía la posibilidad de que se elevaran los valores de pH a muy básicos. Se tomaron medidas después de estos procesos. Los resultados concluyeron que la basicidad de la tela se redujo 1,5 respecto al análisis anterior, aumentando su acidez, por lo que la desinfección y limpieza permitieron a la tela, libre de impurezas y de ataque biótico, equilibrar su pH.

## FOTOGRAFÍAS

1. Muestra de fibra de hilo de urdimbre perteneciente a la tela principal con MO (Fotografía: Rosa Rocabayera).
2. Muestra de fibra de hilo de trama perteneciente a la tela principal con MO (Fotografía: Rosa Rocabayera).
3. Muestra M7 perteneciente al fragmento n° 3 (parte inferior pierna derecha). Detalle de *cross section* con MO (Fotografía: Rosa Rocabayera).
4. Imagen obtenida con estereomicroscopio del pigmento y capa de preparación de la zona de color azul del muro (Fotografía: Patrimoni UB).
5. Imagen obtenida con estereomicroscopio del reverso de la muestra donde se aprecia el revoco de preparación (Fotografía: Patrimoni UB).
6. Detalle de la estratigrafía de la capa pictórica con MO (Fotografía: Patrimoni UB).
7. Detalle de la estratigrafía de la preparación con MO (Fotografía: Patrimoni UB).
8. Detalle de la estratigrafía de la capa pictórica con SEM con electrones retrodispersados (Fotografía: Patrimoni UB).
9. Vista general de la sección. Imagen SEM con electrones retrodis-

persados (Fotografía: Patrimoni UB).

10. Detalle donde se puede observar la capa pictórica atacada por diferentes hongos: *Scopulariopsis sp.* (blanco), *Phoma sp.* (negro), *Aspergillus sp.* (amarillo verdoso) [Fotografía: Rosa Rocabayera].

11. Esquema de localización de las áreas de las diferentes especies de hongos: *Aspergillus sp.*, *Scopulariopsis sp.*, *Chaetomium sp.*, *Phoma sp.* y *Alternaria sp.* (Realización: Araceli Candial).

12. Detalle de la superficie pictórica con manchas negras correspondientes al ataque de *Chaetomium sp.* (Fotografía: Rosa Rocabayera).

13. Macrofotografía de zona con *Chaetomium sp.* (Fotografía: Rosa Rocabayera).

14. *Chaetomium sp.* visto con MO a 400 aumentos, donde se puede observar su estructura ascospórica (Fotografía: Rosa Rocabayera).

15. *Chaetomium sp.* visto con MO a 1000 aumentos, donde se observan las esporas fuera del asco (Fotografía: Rosa Rocabayera).

16. Detalle de la zona atacada por *Scopulariopsis sp.* y *Aspergillus sp.* (Fotografía: Rosa Rocabayera).

17. *Alternaria sp.* visto al MO a 1000 aumentos, donde se observan las esporas y las hifas (Fotografía: Rosa Rocabayera).

18. Detalle de la zona atacada por *Scopulariopsis sp.* (Fotografía: Rosa Rocabayera).

19. *Scopulariopsis sp.* visto al MO a 1000 aumentos, donde se observan las esporas y las hifas (Fotografía: Rosa Rocabayera).

## NOTAS

<sup>1</sup> Lámpara de vapor de mercurio, de alta presión y con un filtro de óxido de níquel.

<sup>2</sup> El visionado se realizó a través de una cámara Hamamatsu® Camera Head C2.400 (nm). Se basa en la radiación reflejada de la obra ante una lámpara incandescente, detectada por un sistema sensible a la radiación IR (cámara Videcon), que se visiona a través de un monitor conectado a un PC que permite manipular la imagen.

<sup>3</sup> Análisis realizados durante el curso 2006-2007 por la alumna Araceli Candial Lecina y durante el curso 2007-2008 por Mónica Mora Triviño y Anahí Meyer Riera en el laboratorio de la ESCRBCB y bajo la supervisión de la profesora Rosa Rocabayera.

<sup>4</sup> El estudio se realizó con el microscopio óptico Motie® 4-10-10-100x Lente ASC.

<sup>5</sup> Estos estudios fueron realizados durante el curso 2007-2008 por Anahí Meyer Riera y Mónica Mora Triviño en el laboratorio de la ESCRBCB y bajo la supervisión de la profesora Rosa Rocabayera.

<sup>6</sup> Estos análisis fueron realizados durante el año 2007 por el grupo Patrimoni UB de la Universidad de Barcelona a cargo de Màrius Vendrell, Pilar Giráldez y Sara Boularand.

<sup>7</sup> [http://goya.fmc.cie.uva.es/pigmentos/consultas/cons\\_sin.htm](http://goya.fmc.cie.uva.es/pigmentos/consultas/cons_sin.htm) (Consulta: 11/01/09).

<sup>8</sup> Son condiciones de inercia térmica y elevada humedad relativa, muy frío en verano y calor en invierno, por fenómenos de inversión térmica entre los dos niveles. Giulia CANEVA, Maria Pia NUGARI, Ornella SALVADORI, *Il Deterioramento biologico dei Beni Culturali*. Florencia: Nardini Editore, 2005, p. 179 y 182.

<sup>9</sup> Las pruebas analíticas mostraron un pH básico. Sin embargo, para que

se produjera el desarrollo del ataque biológico, el pH inicial debió haber sido ácido. El fenómeno causante de esta modificación se describe en el apartado de pruebas analíticas de pH.

<sup>10</sup> Cuando una célula está inmersa en una solución acuosa con una menor concentración de partículas respecto a las soluciones citoplasmáticas (solución hipotónica, es decir, con menor presión osmótica), el agua tiende a entrar y a volver a hinchar la célula. En el caso de células fúngicas, las rígidas paredes celulares tienden a equilibrar esta presión. Giulia CANEVA, Maria Pia NUGARI, Ornella SALVADORI, *La Biología en la restauración*. Guipúzcoa: Editorial Nerea, 2000, p. 26.

<sup>11</sup> Cultivos realizados por Araceli Candial Lecina y supervisados por la profesora Rosa Rocabayera durante el curso 2006-2007 en el laboratorio de la ESCRBCB.

<sup>12</sup> NTP 488: Calidad de aire interior: identificación de hongos. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. [www.insht.es/Inshtweb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401%500/ntp\\_488.pdf](http://www.insht.es/Inshtweb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401%500/ntp_488.pdf)

<sup>13</sup> El estudio se realizó con el microscopio óptico Jemal® Carl Zeiss Jena.

<sup>14</sup> Producidos en el interior de las células y liberados sobre el sustrato. Transforman moléculas complejas (celulosa, polisacáridos, proteínas, etc.) en otras más simples y liberan componentes que pueden ser absorbidos (monosacáridos y aminoácidos). Giulia CANEVA, Maria Pia NUGARI, Ornella SALVADORI, *La Biología...*, p. 52.

<sup>15</sup> La presencia de elementos minerales favorece la degradación de la celulosa, en este caso de pigmentos y el contacto directo con el muro. Cuanto más pura sea la celulosa, más difícilmente podrá ser atacada. El apresto de los tejidos, realizados con almidones y dextrinas, junto con la acidez que proporciona la cola orgánica de la capa de preparación, vuelve el tejido más vulnerable a la agresión de biodeteriogenos llegando a ampliar, incluso, el número de especies implicadas. Giulia CANEVA, Maria Pia NUGARI, Ornella SALVADORI, *La Biología...*, p. 95 y 108.

<sup>16</sup> Kendra Catalina RODRÍGUEZ, *Estudio Taxonómico (morfológico y molecular) de especies del género Chaetomium y géneros afines*. Tarragona: Universidad Rovira i Virgili. Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud. Departamento de Ciencias Médicas Básicas, 2003. [http://www.tesisenxarxa.net/TESIS\\_URV/AVAILABLE/TDX-0625103-172550/Tesidoctoral.pdf](http://www.tesisenxarxa.net/TESIS_URV/AVAILABLE/TDX-0625103-172550/Tesidoctoral.pdf)

<sup>17</sup> Fausta GALLO, *Il Biodeterioramento di libri e documenti*. Roma: ICCROM, 1992, p. 57.

<sup>18</sup> Según NTP 488: Calidad de aire interior: identificación de hongos...

<sup>19</sup> Fausta GALLO, *Il Biodeterioramento...*, p. 57.

<sup>20</sup> Leonor CARRILLO, *Los hongos de los alimentos y los forrajes*. Universidad Nacional de Salta, 2003, p. 44. <http://www.unsa.edu.ar/matbib/hongos/01htextomhos.pdf> (Consulta: 16/01/09).

<sup>21</sup> <http://www.firstchoicemold.com/Molds.htm> (Consulta: 16/01/09).

<sup>22</sup> Paolo MANDRINI, Giulia CANEVA, Cristina SABBIONI, *Cultural Heritage and Aerobiology. Methods and Measurement Techniques for Biodeterioration Monitoring*. Bolonia: SEPS, 1998, p. 37-38.

<sup>23</sup> Leonor CARRILLO, *Los hongos...*, p. 81-83.

<sup>24</sup> Fausta GALLO, *Il Biodeterioramento...*, p. 57.

<sup>25</sup> <http://www.siac.net.co/sib/catalogoespecies/especie.do;jsessionid=2526D27354EE1B6C186796C20FA27CC3?idBuscar=543&method=displayAAT> (Consulta: 16/01/09).

<sup>26</sup> [http://www.fichasdeseguridad.com/cloruro\\_benzalconio.htm](http://www.fichasdeseguridad.com/cloruro_benzalconio.htm) (Consulta: 07/10/08).