



En les mostres recollides es van trobar fongs de la família de les demaciacees i actinomicets (organismes procariotes a cavall de bacteris i fongs). Aquestes dues tipologies coincideixen amb les fenomenologies de la seva alteració en dos tipus de taques de textura i color diferent en la superfície pictòrica.

L'espècie fúngica és *Alternaria alternata*, un fong capaç de deteriorar matèria orgànica de naturalesa diversa. Aquests organismes pertanyen als micromicets que tenen melanina en el seu contingut cel·lular i, per tant, poden suportar condicions extremes.

Els actinomicets van ser determinats com a gènere *Streptomyces sp.*, el qual es manifesta en forma de filaments blancs que formen cúmuls fàcilment confosos amb acumulacions salines.

Tots dos microorganismes tenen com a hàbitat prioritari el sòl i poden ser distribuïts pel vent en forma de partícules aerovagants i, per tant, poden contaminar suports amb presència de nutrients, sempre que hi hagi humitat suficient. Encara que normalment és en la part de darrera del quadre on es desencadena el creixement fúngic, en aquesta ocasió l'atac procedeix de la part externa de la capa pictòrica, penetrant cap a l'interior. Això és símptoma d'una humitat molt elevada en l'ambient.⁴ Els cúmuls de pols presents en la superfície de la peça donen peu a la interpretació que la brutícia en forma de pols llargament dipositada sobre l'estrat pictòric pot haver col·laborat a la infecció, sense oblidar les condicions ambientals d'humitat relativa elevada que la mateixa pols, com a material higroscòpic que és, pot haver potenciat.

Per altra banda, els dos micromicets són susceptibles de generar enzims tipus proteasa i descomposar fàcilment aquelles substàncies que continguin algun tipus de proteïna. Com que les proteïnes formen part de la capa pictòrica, és raó suficient perquè els organismes penetrin i degradin aquest material. El creixement biològic, a més de crear alteracions cromàtiques, canvia la porositat del material pictòric.

AGRAÏMENTS

A José Luis Prada per la seva col·laboració.

NOTES

¹ M.R. DERRICK, J.M. LANDRY, D.C. STULICK, *Methodes in scientific examination of works of art: Infrared microspectroscopy*, Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 1991.

² R. PANCELLE, R. BART, *Identification des liants organiques dans les couches picturales par chromatographie en phase gazeuse*. Lausanne: Laboratoire de Conservation de la Pierre, EPDLF, 1989, p. 101-111.

³ A. PALET, *Tratado de pintura*. Barcelona: Universitat de Barcelona, 2002.

⁴ G. MAGAUDA, *Il Biodeterioramento dei Beni Culturali*. Borgia, 1994.

Caracterización de los materiales y de la técnica pictórica.

Este estudio se ha basado en la aplicación de varias técnicas analíticas e instrumentales, con la finalidad de determinar la técnica pictórica y los materiales de la pintura de la Virgen del Carmen intercediendo en favor de las ánimas del purgatorio. De este modo se puede establecer la forma de trabajar del pintor y deducir sus características artísticas. También es importante para entender las alteraciones observadas, ayudar a determinar las causas y decidir el proceso de restauración y los parámetros de conservación.

Rosa Rocabayera Viñas. Profesora de Biología, Física y Química de la ESCRBC. rocabay@pie.xtec.es

En este estudio se han aplicado las técnicas de análisis más idóneas para determinar la materialidad de la obra. El análisis del soporte se ha realizado con técnicas histológicas y microscópicas aplicadas a la identificación de fibras. La identificación de los pigmentos se ha llevado a cabo mediante microanálisis con el microscopio electrónico de rastreo acoplado a un sistema de energía dispersiva de rayos X sobre estratigrafías obtenidas a partir de micromuestras extraídas de la pintura. La identificación de los aglutinantes se ha hecho mediante cromatografía de gases acoplada a espectroscopia de masas. Y complementando a ambas técnicas se ha utilizado la espectroscopia de infrarrojo para la identificación de los componentes de la capa pictórica.

Las alteraciones biológicas se han estudiado a parte y con técnicas de cultivo e identificación óptimas para el estudio de las tipologías de los diversos microorganismos, y así poder valorar el alcance de los daños.

METODOLOGÍA

Análisis del soporte

El objetivo de este análisis es la determinación del tipo de tela utilizada por el artista mediante el estudio de sus fibras. El entramado de una tela puede estar constituido por diferentes tipos de fibras. Esto puede darse en cada uno de los hilos y con diferente cantidad, por lo que será necesario el estudio de éstos de forma individualizada.

Primero se estudia la tipología del ligamiento de la tela y a continuación se extrae un hilo para determinar la trama y la urdimbre. Cada uno de ellos debe ser estudiado por separado ya que tienen un origen distinto y, por lo tanto, se estudiarán como objetos únicos.

Las fibras son la unidad más sencilla de los hilos y por ello deberemos proceder a partir de éstos hasta llegar a determinar el origen de las fibras de la trama y de la urdimbre. La identificación de las fibras se realiza siguiendo un protocolo, según el cual las muestras de los hilos son tratadas para recuperar la morfología el máximo de natural posible y ser observadas en una preparación microscópica con luz polarizada y luz transmitida.

Análisis de las policromías

OBSERVACIÓN MACROSCÓPICA

La observación del estado de conservación de la obra y los exámenes globales con luz UV y reflectografía de IR se realizaron en el taller de restauración y pusieron de manifiesto dos zonas muy diferenciadas que podían evidenciar la aplicación de técnicas pictóricas diferentes, coincidiendo con la iconografía del cuadro (cielo y purgatorio).

Además, en diferentes zonas se observó una fenomenología clara de alteración por ataque biológico. La manifestación estaba en la superficie pictórica en forma de dos tipologías que hacían pensar en dos tipos de organismo como la causa de la alteración.

Se extrajeron varias muestras de zonas representativas del cuadro, etiquetadas como microestratigrafías de 01 a 14. Las muestras recogidas fueron observadas a microscopía óptica estereoscópica para determinar sus características como fase previa a la embutición.

Las muestras embutidas en resina se cortaron y se pulieron para conseguir la



estratigrafía y poner en evidencia su grosor y textura. A continuación se seleccionaron aquellas más idóneas para realizar láminas delgadas y estudiarlas mediante el microscopio óptico petrográfico a través de luz polarizada. Con dicho microscopio se utilizó luz transmitida y luz refleja en campo oscuro. Estas observaciones permitieron ver las propiedades físicas de los componentes y pigmentos, así como mejorar el contraste entre fases y capas de policromía, para poder establecer su estructura y las posibles tipologías de preparación.

Posteriormente se estudiaron las muestras más representativas con microscopía electrónica de rastreo (SEM), previamente tratadas con una fina capa de carbón y siguiendo la siguiente fase de trabajo:

- En primer lugar se hizo una observación general de cada muestra, reconociendo su microestructura y capas, mediante una imagen tipo *back-scattered-BSEI*. Dichas imágenes son conocidas como contraste de densidades, ya que los tonos claros y brillantes manifiestan alta densidad atómica y los tonos de color gris oscuro los componentes de baja densidad. El resultado permite observar mejor el contraste general entre las distintas capas y componentes, sobre todo las cargas y pigmentos.

- Sobre la imagen anterior se van seleccionando varias áreas significativas de cada capa realizando, cuando es conveniente, una imagen tipo *back-scattered-BSEI* de alta resolución y un análisis por puntos (multipuntual) para determinar la composición elemental de las partículas más representativas y frecuentes. Este microanálisis se realiza mediante espectrometría de rayos X tipo X-EDS.

- En algunas muestras se hizo un mapa de composición *mapping de Z*, que indica la distribución de tipo semicuantitativo de varios elementos en una zona de las anteriormente citadas, lo cual permite determinar tanto los componentes mayoritarios de cada capa en general como de la partícula de un pigmento concreto.

Análisis de aglutinantes

ESPECTROMETRÍA DE INFRARROJO (FTIR)

Se ha aplicado esta técnica analítica para identificar los grupos funcionales de los materiales orgánicos y de las sales existentes en las capas de preparación. La técnica pone en evidencia los enlaces existentes de las moléculas orgánicas y de los aniones, permitiendo la determinación de los grupos funcionales por vibraciones características a determinadas longitudes de onda. Como resultado se obtienen espectros en los cuales aparecen bandas características de las diferentes vibraciones de los grupos funcionales existentes en la muestra que hace falta comparar con patrones conocidos y así identificar la sustancia.¹

CROMATOGRAFÍA DE GASES ACOPLADA A ESPECTROMETRÍA DE MASAS

La cromatografía de gases sirve para identificar mezclas de compuestos generalmente de materiales orgánicos, volátiles o transformables en derivados volátiles. La mezcla problema es vaporizada e introducida en la columna donde se encuentra la fase estacionaria atravesada por el flujo regular del gas portador. El tiempo de retención de cada uno de los componentes medido desde el inicio a la llegada del detector depende de su naturaleza. Los resultados se registran en forma de picos sobre un diagrama llamado cromatograma, que da valores cuantitativos y cualitativos. Será necesario, también en este caso, comparar con patrones conocidos de sustancias.

En dicha técnica se aplica una metodología especial para la determinación de aceites envejecidos (oxidados).² A través del cociente entre los ácidos palmítico y esteárico encontraremos el tipo de aceite secante ya que los cocientes tienen distintos valores para cada uno.

Análisis biológico

TOMA DE MUESTRAS

Se decidió realizar una recogida de muestras generalizada del cuadro, allí donde se manifestaban manchas (en este caso de textura diferente, ya que se veían algunas muy densas y otras eran filamentos blancos). Las muestras se recogieron para poder identificar el agente de alteración y determinar su fenomenología.

PROCEDIMIENTO

Se recogió el material mediante técnicas axénicas en diferentes zonas. Normalmente son los fragmentos de materiales que se desprenden durante

los procesos de manipulación. En este caso la forma de tomar las muestras fue la determinada por el ICCROM con su norma estandarizada para cualquier muestra de origen orgánico. El método sirve para evaluar de manera cuantitativa y cualitativa el contenido microbiológico.

La muestra se deposita en la placa con el agar agar, previamente a la siembra. Se hace un lavado ligero con un tensoactivo (en nuestro caso, Twin 5%) para eliminar la suciedad superficial y permitir el desarrollo de los organismos que se encontraban en la obra.

También fueron utilizados hisopos humectados en solución salina para poder recoger la muestra de la superficie de la capa pictórica.

En el caso de estos muestreadores, cuando llega su contenido al laboratorio es homogeneizado y sembrado de manera controlada; esto es, inocular un volumen determinado (0,5 ml) en cada placa para poder así evitar un desarrollo excesivo. De cada tubo se harán dos siembras en placa con medio de cultivo MEA.

Posteriormente, las observaciones microscópicas nos permiten determinar las características taxonómicas. Los diferentes materiales recogidos se observan con la ayuda del microscopio binocular o estereoscopio, que nos permite seleccionar las muestras más adecuadas para su estudio posterior. Bajo la lupa binocular son observadas las placas de cultivo; de esta manera se puede controlar el número de colonias, características, forma, color, aspecto, etc. También permite aislar las colonias y hacer las preparaciones para ser observadas al microscopio.

Por otro lado, el microscopio óptico, que permite trabajar hasta 1000 aumentos, es imprescindible para identificar las especies a partir de las medidas y morfologías observadas en cada caso (Jenaval, ZEISS). En algunos casos, la observación se ha de complementar con contraste interferencial (Leitz DMRB-Leica). Con este microscopio se han realizado las fotografías.

RESULTADOS

Análisis del soporte

El estudio puso en evidencia una tela de fibra de lino con trama densa y con un tejido de tafetán. La torsión de los hilos, tanto de la trama como de la urdimbre, presentaban una desviación en Z. La muestra manifestaba un envejecimiento general por oxidación que lo mostraba más oscuro y más débil. A pesar de todo, se manifestaban las características típicas de la fibra, en su sección transversal y longitudinal, a microscopía óptica con luz transmitida y polarizada. La fibra vista longitudinalmente presentaba una estructura cilíndrica bastante regular, lisa en superficie y extensa en línea recta, con un diámetro aproximado de 20 micras y con nudosidades alternas. En sección transversal se apreciaba el canal interior de dimensiones reducidas y su morfología poligonal sólo visible en algunos casos a causa de su envejecimiento.

Análisis de policromías

Muestra 03		Azul del manto de la Virgen		
Capa	Color	Grosor	Elementos	Compuestos
1	Azul	40µm	Fe	Azul de Prusia
2	Gris-verde	80µm	CaSO ₄ / PbCO ₃ / Al	Blanco de plomo, Yeso, Tierras, Azul esmalte
3	Rojo	240µm	Si, Al, Mg, Ca, Fe	Calcita, Negro vegetal, Arcillas-Tierra de Sevilla

La estructura de esta estratigrafía es la de toda la mitad superior del cuadro. Hay tres capas y la superior es la que da el color a la figura, en este caso la Virgen.

Capa 1. - Constituida por una matriz oleosa en la que se encuentran inmersos granos pequeños a veces aglomerados entre ellos (azul de Prusia). En ocasiones tiende a mostrar un color verdoso, probablemente por el envejecimiento del aceite.

Capa 2. - Intermedia. Presenta una coloración entre verde y gris. Se aprecia una matriz oleosa de color amarillo en la que se encuentran inmersos pigmentos y cargas. La granulometría de éstos es de gran diversidad, sobre todo respecto a los granos transparentes (calcita) en forma esferulítica irregular. Y los de color blanco en forma de partículas redondeadas (blanco de plomo). Los fragmentos que dan coloración verdosa aparecen al microscopio en diferentes tonalidades y medida variable. Con luz polarizada se ha podido apreciar su isotropía, lo cual confirma que se trata de esmalte azul.



Capa 3. - Base inferior. Es una capa de grosor muy superior a las otras dos capas y de consistencia compacta, a pesar de tener una granulometría diversa. Presenta una matriz de partículas finas de color rojo-anaranjado (tierra de Sevilla). En ella se observan granos transparentes (calcita), unos de mayor tamaño (cuarzo) y en menor cantidad granos blancos pequeños e isodiamétricos, que podrían ser de mármol. También se observan granos de color negro de medida irregular y de forma heterodiamétrica (negro de viña), son poco abundantes y los encontramos de forma aleatoria.

Muestra 04 Ocre del margen superior del cuadro				
Capa	Color	Grosor	Elementos	Compuestos
1	Ocre blancuzco	110µm	SO ⁴⁺ /CO ³⁻	Aceites secantes, Calcita, Tierras, Yeso
2	Gris-verde	40µm	CaSO ₄ /PbCO ₃	Blanco de plomo, Yeso, Tierras ocreas, Azul esmalte
3	Rojo	200µm	SiO ₂ /FeO	Calcita, Negro vegetal, Arcillas-Tierra de Sevilla

La muestra presenta tres capas de grosor diferente, pero bien delimitadas.

Capa 1. - Superior. Es de color ocre y vista al microscopio se observa una coloración entre blanco y amarillo. Se aprecia una matriz grasa con partículas finas de color ocre anaranjado (tierra ocre). En dicha matriz se observan partículas heterométricas. La cantidad de carbonatos y una pequeña proporción de sulfatos detectados a espectrometría de infrarrojo determinan su contenido en calcita y yeso, que actúan como cargas.

Capa 2. - Intermedia. Es muy similar a la capa 2 de la muestra anterior, pero su grosor es notablemente inferior.

Capa 3. - Base roja de composición y contenido igual a la muestra anterior.

Muestra 07 Rojo figura purgatorio margen derecho				
Capa	Color	Grosor	Elementos	Compuestos
1	Rojo claro	40µm	Ca, C	Creta, Laca roja
2	Rojo oscuro	80µm	S, Hg, Fe, O	Cinabrio, Tierras rojas
3	Rojo	240µm	Si, Al, Mg, Ca, Fe	Calcita, Negro vegetal, Arcillas-Tierra de Sevilla

La muestra presenta tres capas, aunque la superior es mucho más fina y no quedaría muy clara su presencia si no fuera por la coloración, componentes y texturas tan diferentes de la siguiente.

Capa 1. - Superior. Constituida por partículas muy trituradas de carbonato cálcico (Creta) que actuarían como carga de una laca roja. Esta capa habría sido colocada a modo de veladura, para aclarar la siguiente capa que es muy oscura o dar un matiz diferente.

Capa 2. - Intermedia. Tiene una matriz de granos medios de color rojo oscuro (tierras rojas), partículas transparentes (calcita) y rojo oscuro (cinabrio). En dicha matriz hay granos heterométricos blancos y granos de color negro (negro de viña).

Capa 3. - Inferior. Capa roja base, descrita en la muestra 03.

Muestra 10 Rojo del manto de la Virgen				
Capa	Color	Grueso	Elementos	Compuestos
1	Ocre claro	30µm	Ca	Barniz, Creta
2	Rojo claro	120µm	Pb, S, Hg, Si, Al, Fe	Carbonato de plomo, Cinabrio
3	Gris verdoso	85µm	CaSO ₄ /PbCO ₃	Blanco de plomo, Yeso, Tierras ocreas, Azul esmalte
4	Rojo	235µm	Si, Al, Mg, Ca, Fe	Calcita, Negro vegetal, Arcillas-Tierra de Sevilla

La muestra presenta cuatro capas de grosor diferente, pero bien delimitadas.

Capa 1. - Es una capa homogénea y translúcida de color ocre claro (barniz) que presenta partículas de cristales transparentes (cuarzo), algunos de negros y unos pocos de color blanco.

Capa 2. - Es una capa heterogénea constituida por una matriz grasa de color blanco (blanco de plomo), en medio de la cual se observan granos heterométricos entre medianos y pequeños, de color rojo con una fuerte intensidad de color (cinabrio).

Capa 3. - Capa gris verdosa, descrita en la muestra 03.

Capa 4. - Capa roja base, descrita en las muestras anteriores.

Muestra 11 Azul del manto de Cristo				
Capa	Color	Grosor	Elementos	Compuestos
1	Azul claro	100µm	Pb, Fe	Carbonato de plomo, Azul esmalte
2	Gris verdoso	90µm	Pb, Si, Al, Mg, Ca, Fe	Blanco de plomo, Yeso, Tierras ocreas, Azul esmalte
3	Rojo	240µm	O, Si, Fe, Pb	Calcita, Negro vegetal, Arcillas-Tierra de Sevilla

La muestra presenta tres capas bien definidas y de grosor similar.

Capa 1. - Es una capa de color azul muy claro y de textura homogénea. Se observa una matriz oleosa de color blanco que presenta cúmulos de color blanco (blanco de plomo). De forma aleatoria e indeterminada hay cristales de color azul (esmalte azul) de pequeño tamaño y con una clara distribución dispersa en la matriz de color blanco.

Capa 2. - Intermedia. Coincide con la descripción de las muestras 03, 04 y 10.

Capa 3. - Base roja. Presenta las mismas características de las muestras anteriores.

Muestra 12 Rojo de una figura del purgatorio				
Capa	Color	Grosor	Elementos	Compuestos
1	Rojo claro	40µm	C, Ca	Creta, Colorante orgánico
2	Rojo oscuro	80µm	Hg, S, Si, Fe, K, Al	Cinabrio, Tierras rojas
3	Base roja	200µm	Si, Al, Mg, Ca, Fe	Calcita, Negro vegetal, Arcillas-Tierra de Sevilla

En esta estratigrafía se observan tres capas similares a las de la muestra 07 pero de diferente grosor y, además, manifiesta pequeñas diferencias en la segunda capa.

Capa 1. - Es una capa muy fina, constituida por partículas muy trituradas de carbonato cálcico (creta) que actuarían como carga de una laca roja. Esta capa habría sido colocada en forma de veladura.

Capa 2. - Intermedia. Constituida por una matriz de granos medianos de color rojo oscuro (tierras rojas), partículas transparentes (cuarzo) y rojo oscuro (cinabrio). En esta matriz hay granos blancos dispersos de gran tamaño (blanco de plomo), y en menor proporción granos pequeños y medianos de color negro (negro de viña).

Capa 3. - Capa roja base, descrita anteriormente.

Muestra 13 Carnación ángel				
Capa	Color	Grosor	Elementos	Compuestos
1	Rosa claro	70µm	C, Pb, S, Hg	Carbonato de plomo, Cinabrio
2	Gris verdoso	85µm	Pb, Si, Al, Mg, Ca, Fe	Blanco de plomo, Yeso, Tierras ocreas, Azul esmalte
3	Rojo	24µm	Si, Al, Mg, Ca, Fe	Calcita, Negro vegetal, Arcillas-Tierra de Sevilla

Esta estratigrafía presenta tres capas bien definidas.

Capa 1. - Capa de color rosado. A microscopía óptica se observa una matriz densa de color blanco (blanco de plomo) de aspecto globular y oleosa. Inmersas en ella se observan pequeñas partículas de color rojo (cinabrio) de forma irregular.

Capa 2. - Intermedia y de color gris verdoso, se corresponde en medida y textura con las muestras anteriores 03, 04, 10 y 11.

Capa 3. - Se corresponde con la capa roja base, descrita anteriormente.

Análisis de aglutinantes

La identificación de los aglutinantes utilizados por Francesc Tramulles en este cuadro fue llevada a cabo por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas y por espectrometría de infrarrojo.

Se analizaron tres muestras tomadas a diferentes niveles para poder corroborar la hipótesis de dos tipos de técnica diferente aplicadas en la parte superior del cuadro y en la inferior. Las muestras son fragmentos de las extraídas para el análisis estratigráfico y catalogadas como 03, 04 y 12.



De los análisis por cromatografía de gases se han obtenido unos valores que permiten asegurar el tipo de aceite utilizado como aceite de linaza, tal y como determina el gráfico de Renato Pancella y Richard Bart.

Los cromatogramas obtenidos a partir de las micromuestras presentan los picos correspondientes al ácido azelaico (A), al palmítico (P) y al esteárico (S), los cuales nos confirman que los aglutinantes utilizados por Francesc Tramulles eran de tipo oleoso. Para determinar de qué aceite se trata, debe aplicarse el cociente P/S, y se obtuvo sólo en un caso el valor límite correspondiente a los aceites de linaza. Para ajustar mejor los valores, se calculó la relación A/P característica de cada tipo de aceite. Puesto que el azelaico es el principal producto de degradación de los aceites secantes,³ Renato Pancella y Richard Bart basan su identificación en un gráfico donde representan el cociente P/S delante del A/P. Cada tipo de aceite (linaza, nueces) aparece en una zona concreta, lo que permite caracterizarlos. A partir de los valores obtenidos en los cromatogramas se representa el cociente P/S delante del A/P y se compara con los gráficos patrones de Pancella y Bart, confirmando la existencia de aceite de linaza sólo en las muestras de la parte superior del cuadro (03 y 04).

Por medio de las técnicas de espectroscopia de infrarrojo por energía transformada de Fourier se han obtenido resultados de fragmentos de las micromuestras. Esta técnica aplicada a un microscopio permite señalar un punto concreto donde efectuar el análisis. De esta manera las muestras que han sido estudiadas por capas confirman que la técnica es la misma en cada caso. Los resultados se han obtenido en forma de espectros con bandas características de cada uno de los componentes orgánicos. Estos componentes son la cola de conejo, como componente mayoritario en la capa roja de base, en todas las muestras estudiadas, y la presencia de aceites en las capas superiores de la parte de arriba del cuadro.

Análisis del biodeterioro

Las muestras tratadas en el laboratorio, una vez hechos los cultivos y obtenidas las colonias, se estudiaron con técnicas de microscopía óptica para determinar las especies aisladas.

En las muestras recogidas se encontraron hongos de la familia de las demaciaeas y actinomicetos (organismos procariotas entre bacterias y hongos). Estas dos tipologías coinciden con las fenomenologías de su alteración en dos tipos de mancha, con textura y color distinto, aparecidas en la superficie pictórica.

La especie fúngica es *Alternaria alternata*, un hongo capaz de deteriorar materia orgánica de naturaleza diversa. Estos organismos pertenecen a los actinomicetos que tienen melanina en su contenido celular y, por lo tanto, pueden soportar condiciones extremas.

Los actinomicetos fueron determinados como género *Streptomyces* sp., manifestándose en forma de filamentos blancos que forman cúmulos fácilmente confundidos con acumulaciones salinas.

Los dos microorganismos tienen como hábitat prioritario el suelo y pueden ser distribuidos por el viento bajo forma de partículas aerovagantes y, por ello, pueden contaminar cualquier superficie donde se sumen la presencia de nutrientes con la humedad suficiente. Aunque normalmente es en la parte trasera del cuadro donde se desencadena el crecimiento fúngico, en esta ocasión el ataque procede de la parte externa de la capa pictórica, penetrando hacia el interior. Esto es síntoma de una humedad muy elevada en el ambiente.⁴ Los cúmulos de polvo presentes en la superficie de la pieza dan pie a la interpretación que la suciedad en forma de polvo largamente depositada sobre el estrato pictórico puede haber colaborado en la infección, sin olvidar las condiciones ambientales de humedad relativa elevada que el mismo polvo, como material higroscópico que es, puede haber potenciado.

Por otro lado, los dos micromicetos son susceptibles de generar enzimas tipo proteasa y descomponer fácilmente aquellas sustancias que contienen algún tipo de proteína.

Puesto que las proteínas forman parte de la capa pictórica, es razón suficiente para que los organismos penetren y degraden este material. El crecimiento biológico, además de crear alteraciones cromáticas, puede cambiar la porosidad del material pictórico.

FOTOGRAFÍAS

1. Localización de las muestras en el cuadro (Fotografía: L. Balust).
2. Visión de la fibra de lino a microscopía óptica 400x y luz polarizada (Fotografía: R. Rocabayera).
- 3a. Sección transversal de la muestra 03, visión a campo oscuro MOR.-500X (Fotografía: R. Rocabayera).
- 3b. Mapa de distribución de los elementos (EDXA) de las capas roja y verde de la muestra 03 (Fotografía: Servicio de Microscopía Electrónica de la UAB).
- 3c. Imagen por microscopía láser confocal (Fotografía: Servicio de Microscopía Electrónica de la UAB).
- 3d. Espectro de infrarrojo FTIR del pigmento azul de Prusia de la muestra 03 (Fotografía: Servicio Científico-técnico de la UB).
4. Estratigrafía de la muestra 04, visión a campo oscuro MOR.-500X (Fotografía: R. Rocabayera).
- 5a. Estratigrafía de la muestra 07, visión a campo oscuro MOR.-500X (Fotografía: R. Rocabayera).
- 5b. Imagen de la muestra 07 a SEM con electrones retrodispersados (Fotografía: Servicio de Microscopía Electrónica de la UAB).
- 5c. Mapa de distribución de los elementos (EDXA) de la capa roja oscura de la muestra 07 (Fotografía: Servicio de Microscopía Electrónica de la UAB).
- 6a. Estratigrafía de la muestra 10, visión a campo oscuro MOR.-500X (Fotografía: R. Rocabayera).
- 6b. Microanálisis por DEX correspondiente al cinabrio de la muestra 10 (Fotografía: Servicio de Microscopía Electrónica de la UAB).
- 7a. Estratigrafía de la muestra 11, visión a campo oscuro MOR.-500X (Fotografía: R. Rocabayera).
- 7b. Microanálisis por DEX correspondiente a la capa gris verdosa (Fotografía: Servicio de Microscopía Electrónica de la UAB).
- 8a. Estratigrafía de la muestra 12, visión a campo oscuro MOR.-500X (Fotografía: R. Rocabayera).
- 8b. Imagen de la muestra 12 a SEM con electrones retrodispersados (Fotografía: Servicio de Microscopía Electrónica de la UAB).
- 9a. Estratigrafía de la muestra 13, visión a campo oscuro MOR.-500X (Fotografía: R. Rocabayera).
- 9b. Imagen de la muestra 13 con electrones retrodispersados (Fotografía: Servicio de Microscopía Electrónica de la UAB).
- 9c. Microanálisis por DEX correspondiente a la capa roja de base de la muestra 13 (Fotografía: Servicio de Microscopía Electrónica de la UAB).
10. Espectro de infrarrojo FTIR de la base roja de la muestra 07 (Fotografía: Servicio Científico-técnico de la UB).
11. Cromatograma de los valores correspondientes al aceite de linaza de la muestra 12 (Fotografía: Servicio Científico-técnico de la UB).
- 12a. Colonia de actinomicetos. Cultivo en placa (Fotografía: R. Rocabayera).
- 12b. Visión del hongo *Alternaria alternata* con MOT.-250X (Fotografía: R. Rocabayera).

NOTAS

¹ M.R. DERRICK, J.M. LANDRY, D.C. STULICK, *Methodes in scientific examination of works of art: Infrared microspectroscopy*, Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 1991.

² R. PANCELLA, R. BART, *Identification des liants organiques dans les couches picturales par chromatographie en phase gazeuse*. Lausanne: Laboratoire de Conservation de la Pierre, EPDLF, 1989, p. 101-111.

³ A. PALET, *Tratado de pintura*. Barcelona: Universitat de Barcelona, 2002.

⁴ G. MAGAUDA, *Il Biodeterioramento dei Beni Culturali*. Borgia, 1994.