

## **ESTUDIOS CIENTÍFICOS DE OBRAS ARTÍSTICAS Y ARQUITECTÓNICAS**

### **ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS MATERIALES PICTÓRICOS DE LA PINTURA “SAN ANDRÉS”**

#### **Introducción**

La utilidad que brinda el análisis químico de los materiales constitutivos de la pintura “San Andrés”, es de gran importancia, ya que nos permite conocer la técnica pictórica, así como la paleta de pigmentos empleada durante la producción de la obra.

Complementario al análisis de pigmentos, se encuentra el estudio de los cortes transversales, que nos brindan información sobre el número de capas que componen la capa pictórica, así como su espesor, color y textura.

También se realizó la determinación del tipo de tela en el lienzo original y en el reentelado, finalmente se determinó el tipo de madera del bastidor. El presente estudio es sin duda una aportación que puede llegar a orientar, conocer e identificar los materiales y técnicas pictóricas que se emplearon en la elaboración de la citada obra.

#### **Objetivos**

1. Analizar los pigmentos de la pintura, identificar la estratigrafía por medio de cortes transversales, identificar el tipo de madera del bastidor, así como el tipo de tela presente en el lienzo original y en el lienzo del reentelado.
2. Determinar la presencia de barnices y repintes empleando la lámpara de Wood.
3. Establecer un puente de unión que integre la colaboración entre la historia del arte, la restauración y los estudios científicos.

## Método experimental

El primer acercamiento a la obra fue mediante un examen a simple vista para conocer el estado de conservación de la obra.

Posteriormente se observó con lentes de aumento para seleccionar los posibles lugares donde se tomarían las muestras.

El tamaño de las muestras fue aproximadamente de 1 mm<sup>2</sup>, aunque en ocasiones estas fueron más pequeñas, buscando en todo momento la menor afectación física y estética de la obra.

Los instrumentos empleados para la extracción fueron: agujas de disección, microbisturíes, lentes de aumento y lancetas. Durante este proceso se llevó un control riguroso del lugar donde se extrajo cada muestra, registrándolo sobre un croquis.

Las muestras obtenidas fueron separadas en dos partes, la primera para el microanálisis químico y la segunda fue encapsulada en resina poliéster para estudiar el corte transversal y poder determinar como fue la secuencia técnica usada en la elaboración de la obra.

Las fibras de la tela original así como las del reentelado se extrajeron del dobléz en el área del bastidor.

Las muestras de madera se obtuvieron del cabezal superior y del larguero derecho.

Las técnicas analíticas empleadas fueron: para el análisis químico microscopía electrónica de barrido, acoplada con microsonda EDX, pruebas microquímicas y microscopía óptica.

El equipo empleado para el análisis químico elemental fue un microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-6460 LV a 20 KV, en modo BEC.

Para las cinco muestras se realizaron un mínimo de tres determinaciones, eliminando así, errores experimentales y de interpretación.

La identificación de aglutinantes en pintura de caballete es un elemento importante para la comprensión de la técnica pictórica. Las técnicas analíticas empleadas en la identificación de aglutinantes o medios, son diversas y variadas, en este estudio se usaron técnicas histoquímicas de coloración selectiva, aplicadas particularmente a la identificación de aceites secantes, proteínas y polímeros sintéticos.

Para la identificación de la anatomía de las fibras se usó microscopio óptico de polarización. En el caso de la madera los cortes se analizaron con microscopía óptica, en ambos casos se realizó el registro con fotomicrografías.

El estudio de fluorescencia inducida para barnices y repintes, se realizó con la lámpara de luz ultravioleta (lámpara de Wood) con longitud de onda larga de 400 nm.

## Descripción de las muestras

Muestra núm. 1

Encarnación de la mano izquierda.

$x = 61.7 \text{ cm} / y = 71.8 \text{ cm}$

Muestra núm. 2

Color rojo parte superior del rostro.

$x = 35.5 \text{ cm} / y = 132.0 \text{ cm}$

Muestra núm. 3

Color blanco de la nube.

$x = 77.7 \text{ cm} / y = 111.6 \text{ cm}$

Muestra núm. 4

Color café del piso.

$x = 29.8 \text{ cm} / y = 4.0 \text{ cm}$

Muestra núm. 5

Color café del fondo.

$x = 10.0 \text{ cm} / y = 94.5 \text{ cm}$

Muestra núm. 6

Fibra del lienzo original.

Muestra núm. 7

Fibra del lienzo del reentelado.

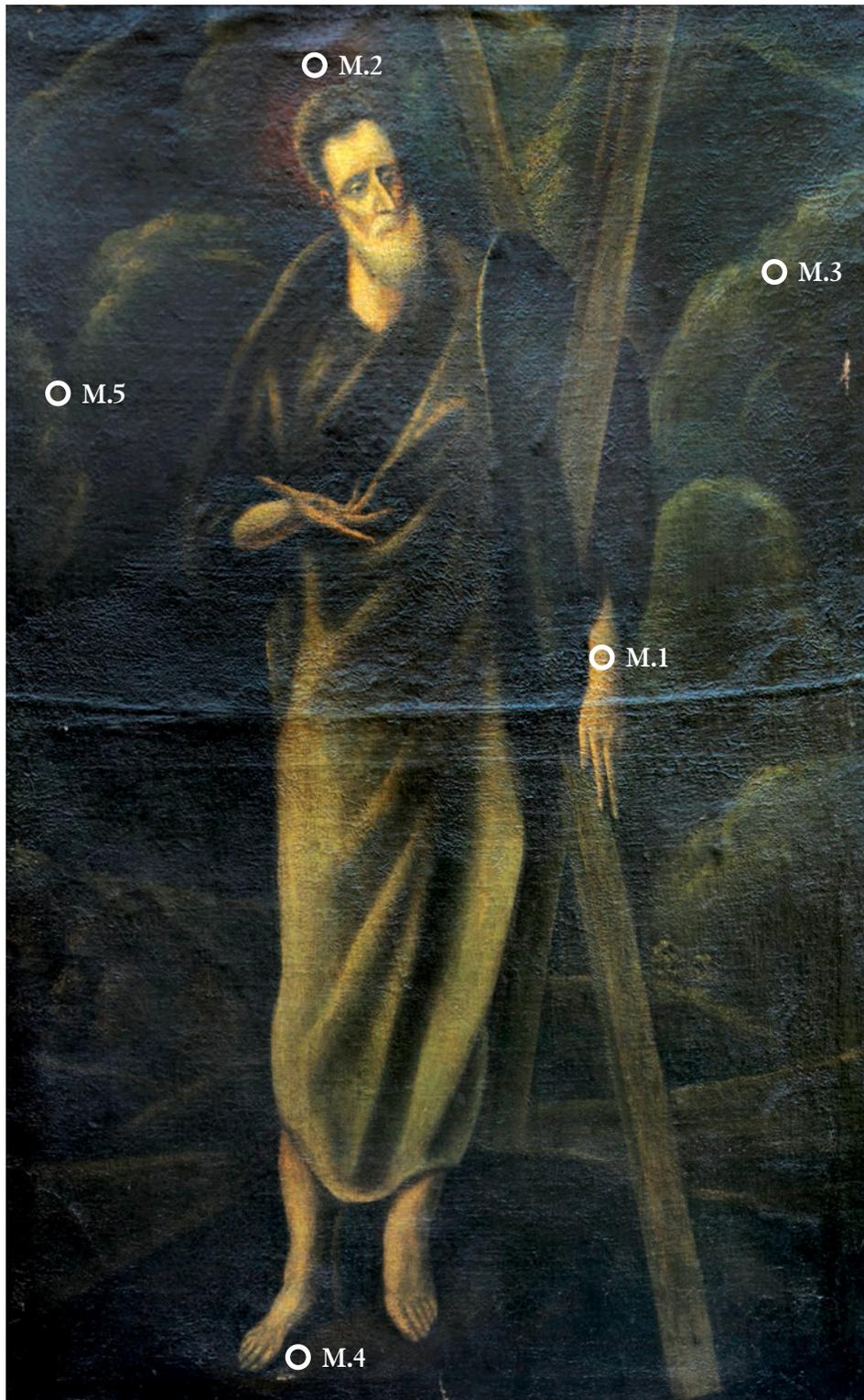
Muestra núm. 8

Madera del bastidor en la sección del cabezal superior.

Muestra núm. 9

Madera del bastidor en la sección del larguero derecho.

San Andrés | 89.7 x 136.5 cm



Localización de los lugares del muestreo que se indican por medio de pequeños círculos

## Resultados

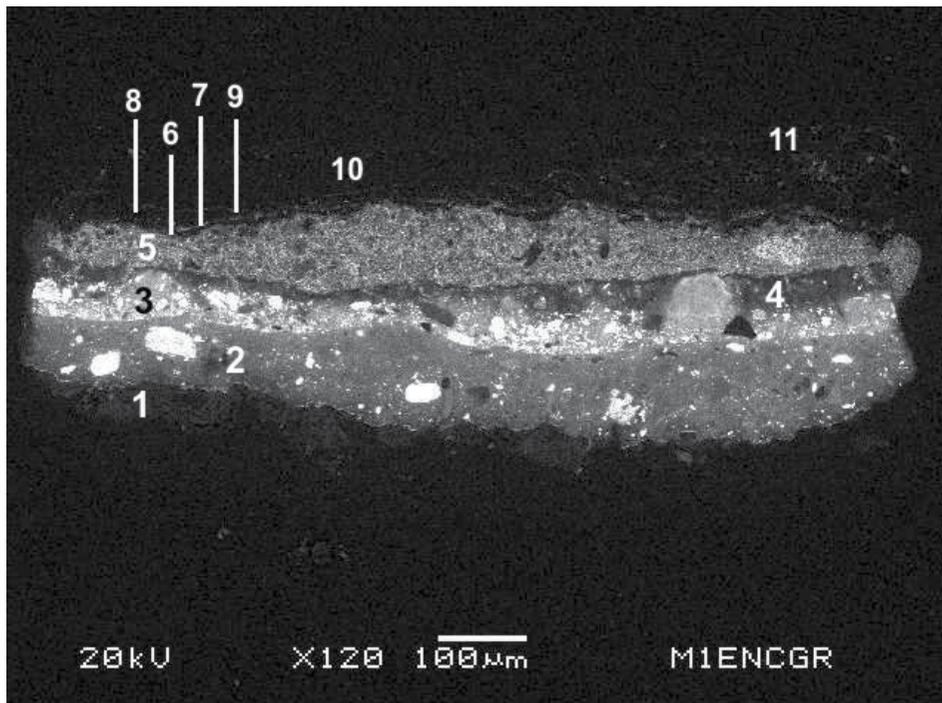
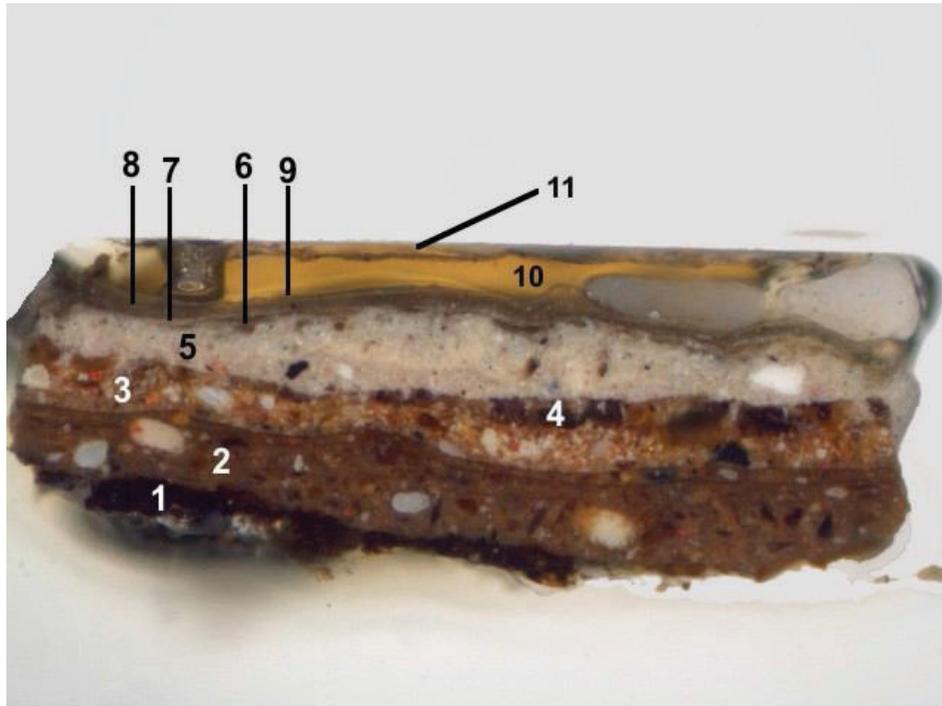


Bajo luz ultravioleta se observó una capa de barniz gruesa y heterogénea, se logran distinguir algunas intervenciones en diversas áreas de la pintura que destacan por su color negro.

Imagen tomada con luz ultravioleta, donde destaca la fluorescencia del barniz y algunas intervenciones que se distinguen por su color negro.

### Muestra núm. 1.- Color encarnación de la mano izquierda.

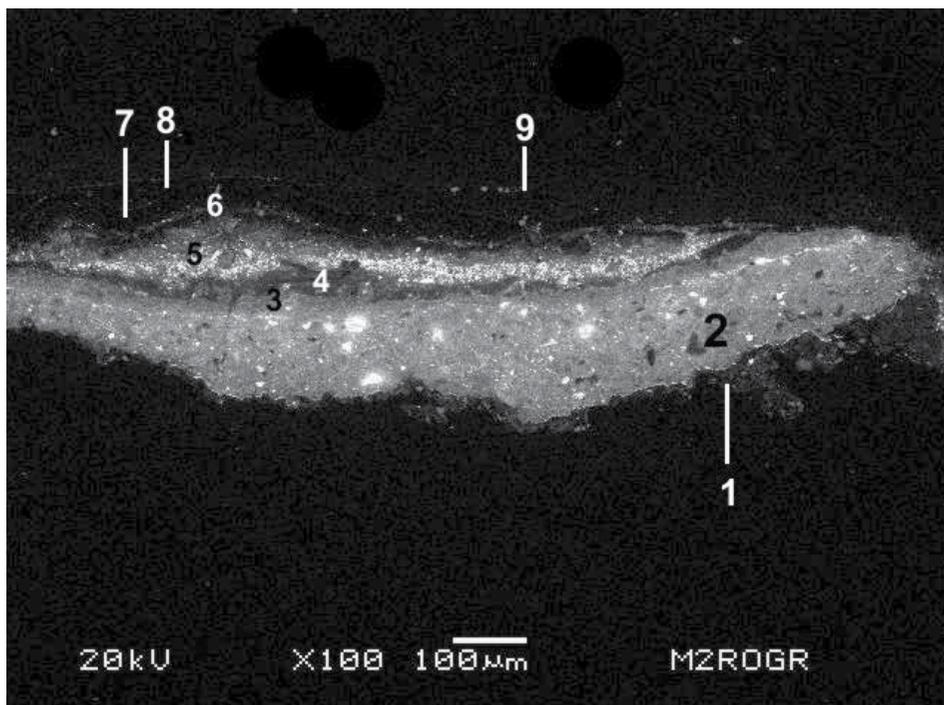
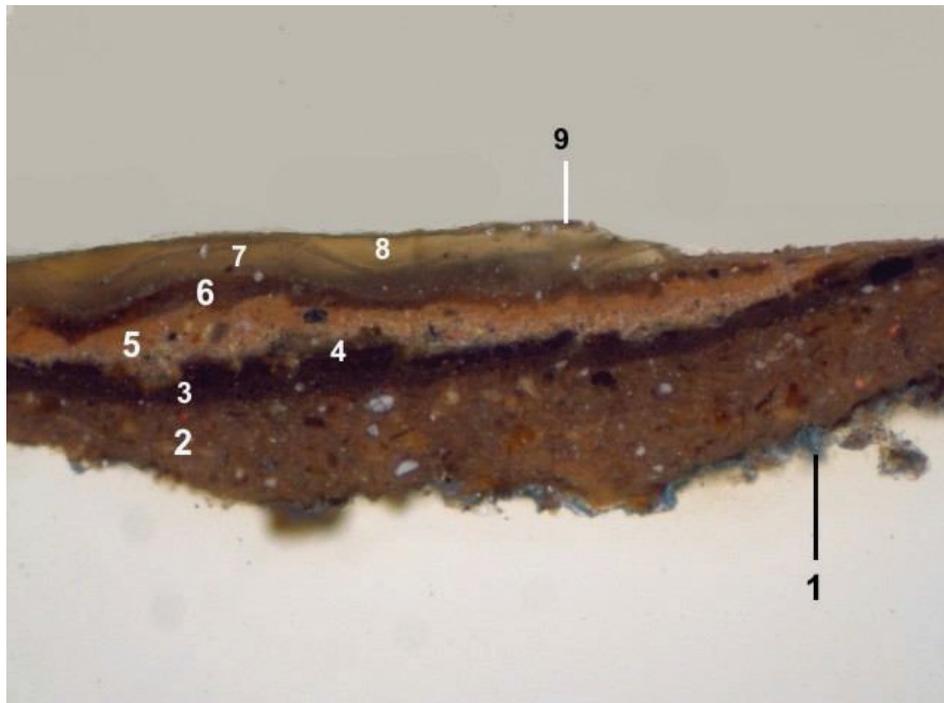
Estrato	Color	Pigmentos	Aglutinante
1	Café oscuro	Capa compuesta de tierra de sombra, blanco de España, yeso y arcillas silíceas.	Óleo
2	Café	Capa compuesta de tierra de sombra, blanco de plomo, blanco de España, partículas de cinabrio, hematita, ocre y arcillas silíceas.	Óleo
3	Café	Capa compuesta de tierra de sombra, blanco de plomo, blanco de España y arcillas silíceas.	Óleo
4	Café	Capa compuesta de tierra de sombra, blanco de plomo, blanco de España, yeso y arcillas silíceas.	Óleo
5	Blanco	Capa compuesta de blanco de bario y blanco de zinc (litopón), blanco de España, tierra de sombra y arcillas silíceas.	Óleo
6	Café	Barniz de protección	Resinas naturales
7	Blanco	Capa compuesta de blanco de bario y blanco de zinc (litopón), blanco de España, y arcillas silíceas.	Óleo
8	Café	Barniz de protección	Resinas naturales
9	Blanco	Capa compuesta de blanco de bario y blanco de titanio, rojo óxido, blanco de España, yeso y arcillas silíceas.	Óleo
10	Café amarillento	Barniz de protección	Resinas naturales
11	Café amarillento	Barniz de protección	Resinas naturales



1. Fotomicrografía realizada en el microscopio óptico a 100 aumentos.
2. Fotomicrografía realizada en el microscopio electrónico de barrido a 120 aumentos.

## Muestra núm. 2.- Color rojo parte superior del rostro.

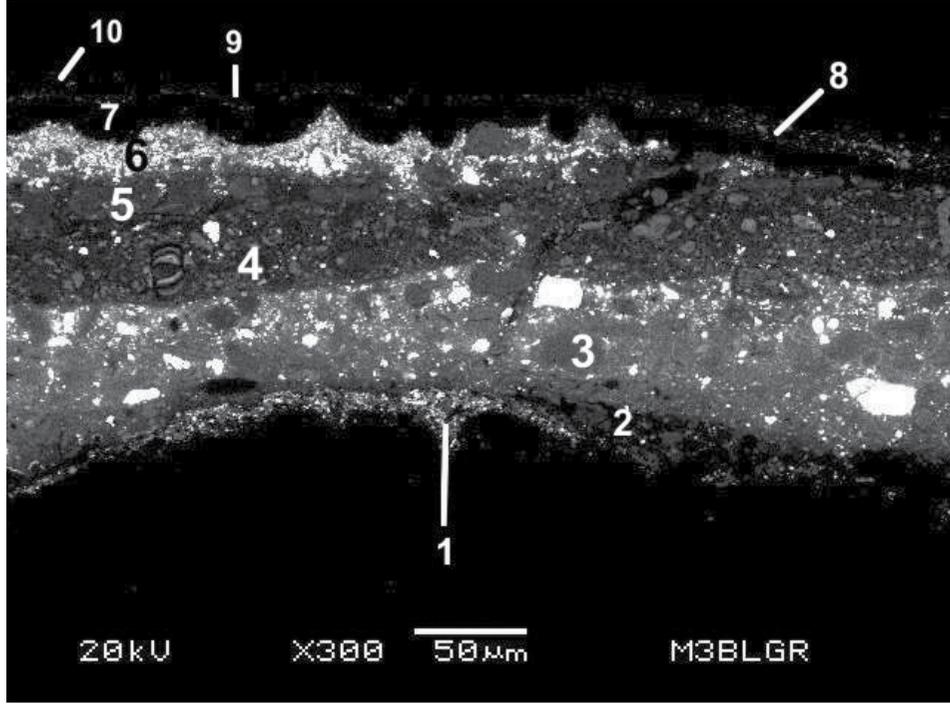
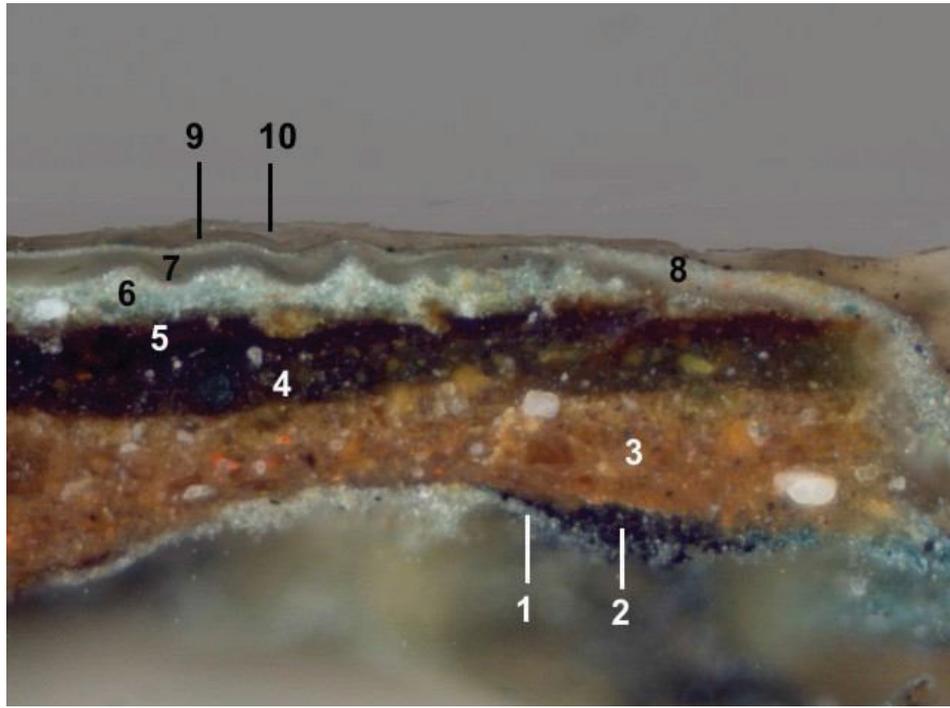
Estrato	Color	Pigmentos	Aglutinante
1	Azul	Capa compuesta de probable lapis lazuli, blanco de plomo, blanco de España y yeso.	Óleo
2	Café	Capa compuesta de tierra de sombra, blanco de plomo, blanco de España, partículas de cinabrio, hematita, ocre y arcillas silíceas.	Óleo
3	Café	Capa compuesta de tierra de sombra, negro de huesos, blanco de plomo, blanco de España y arcillas silíceas.	Óleo
4	Café	Capa compuesta de tierra de sombra, blanco de plomo, blanco de España y arcillas silíceas.	Óleo
5	Café claro	Capa compuesta de ocre, amarillo de plomo, blanco de bario y blanco de zinc (litopón), blanco de plomo, tierra de sombra, blanco de España y arcillas silíceas.	Óleo
6	Café rojizo	Capa compuesta de rojo oxido, tierra de sombra, blanco de bario, blanco de plomo, blanco de España, negro de huesos, yeso y arcillas silíceas.	Óleo
7	Café	Barniz de protección	Resinas naturales
8	Café	Barniz de protección	Resinas naturales
9	Café	Barniz de protección	Resinas naturales



1. Fotomicrografía realizada en el microscopio óptico a 200 aumentos.
2. Fotomicrografía tomada con en el microscopio electrónico de barrido a 100 aumentos.

### Muestra núm. 3.- Color blanco de la nube.

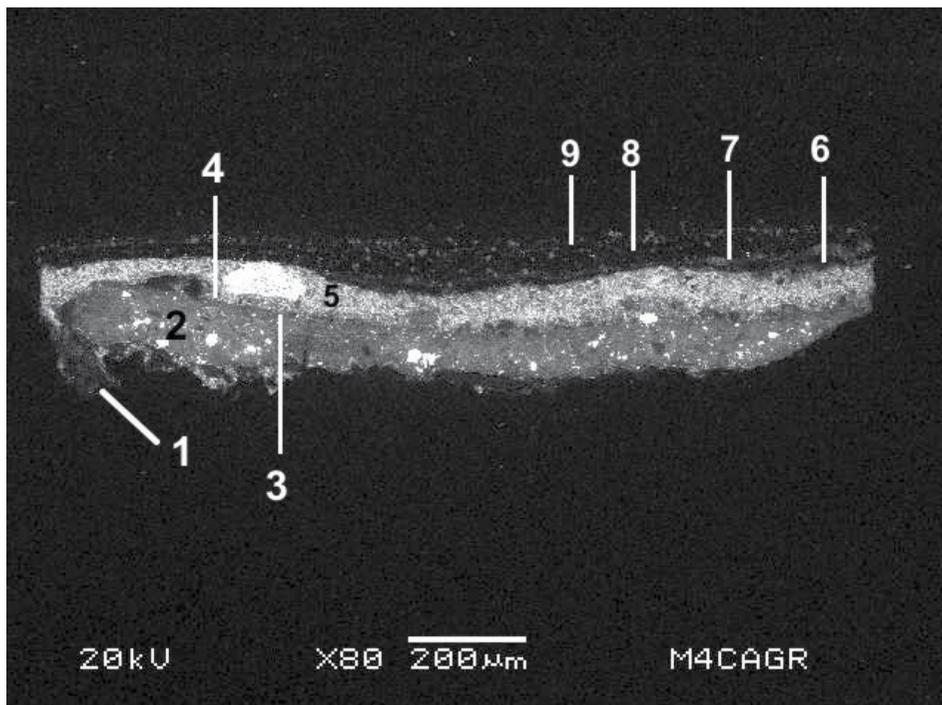
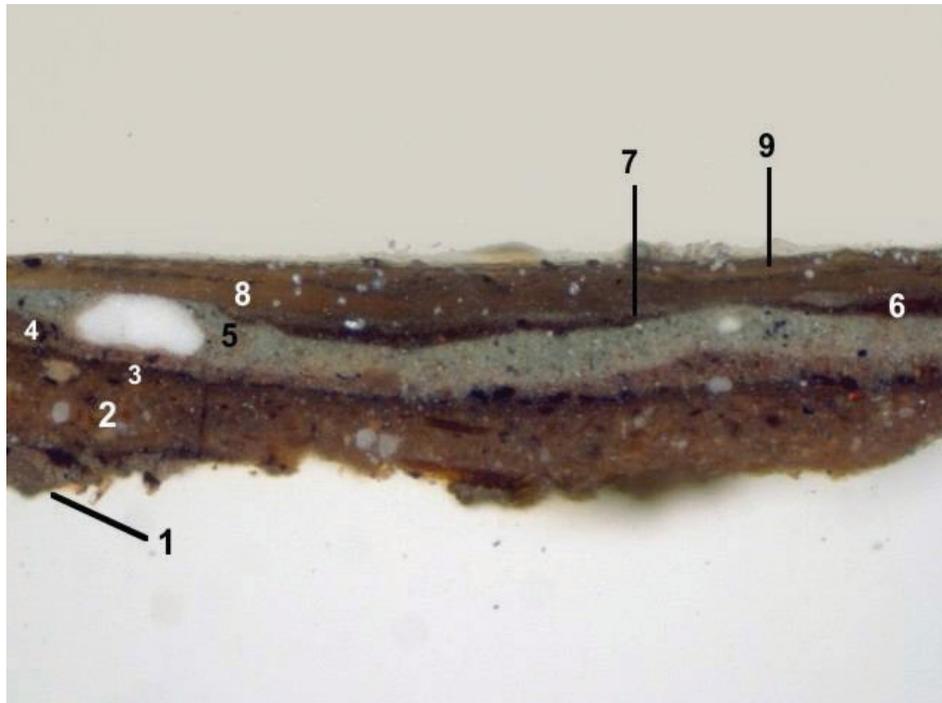
Estrato	Color	Pigmentos	Aglutinante
1	Blanco	Capa compuesta de blanco de plomo y blanco de España.	Óleo
2	Negro	Capa compuesta de negro de humo, tierra de sombra, blanco de España, yeso y arcillas silíceas.	Óleo
3	Café	Capa compuesta de tierra de sombra, blanco de plomo, blanco de España, partículas de cinabrio, hematita, ocre y arcillas silíceas.	Óleo
4	Café	Capa compuesta de tierra de sombra, blanco de plomo, blanco de España y arcillas silíceas.	Óleo
5	Café	Capa compuesta de tierra de sombra, blanco de plomo, blanco de España y arcillas silíceas.	Óleo
6	Blanco	Capa compuesta de blanco de plomo, blanco de bario y blanco de zinc (litopón), blanco de España y arcillas silíceas.	Óleo
7	Blanco	Barniz de protección	Resinas naturales
8	Blanco	Capa compuesta de blanco de titanio, yeso, blanco de España, partículas de verde de cromo, ocre y arcillas silíceas.	Óleo
9	Café claro	Resinas naturales	Resinas naturales
10	Café claro	Barniz de protección	Resinas naturales



1. Fotomicrografía realizada en el microscopio óptico a 200 aumentos.
2. Fotomicrografía tomada con en el microscopio electrónico de barrido a 300 aumentos.

#### Muestra núm. 4.- Color café del piso.

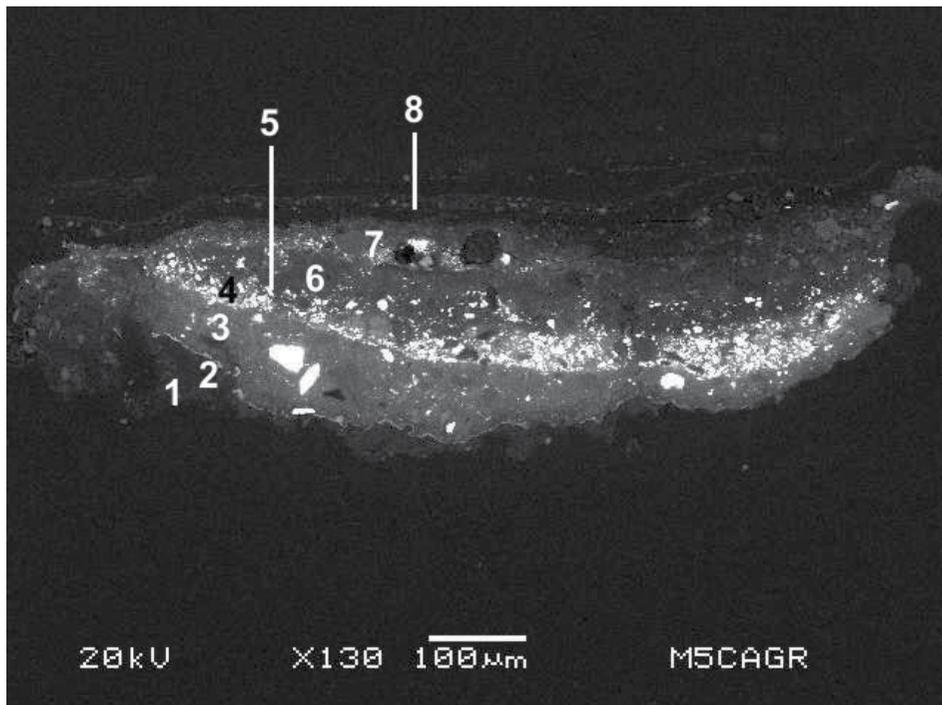
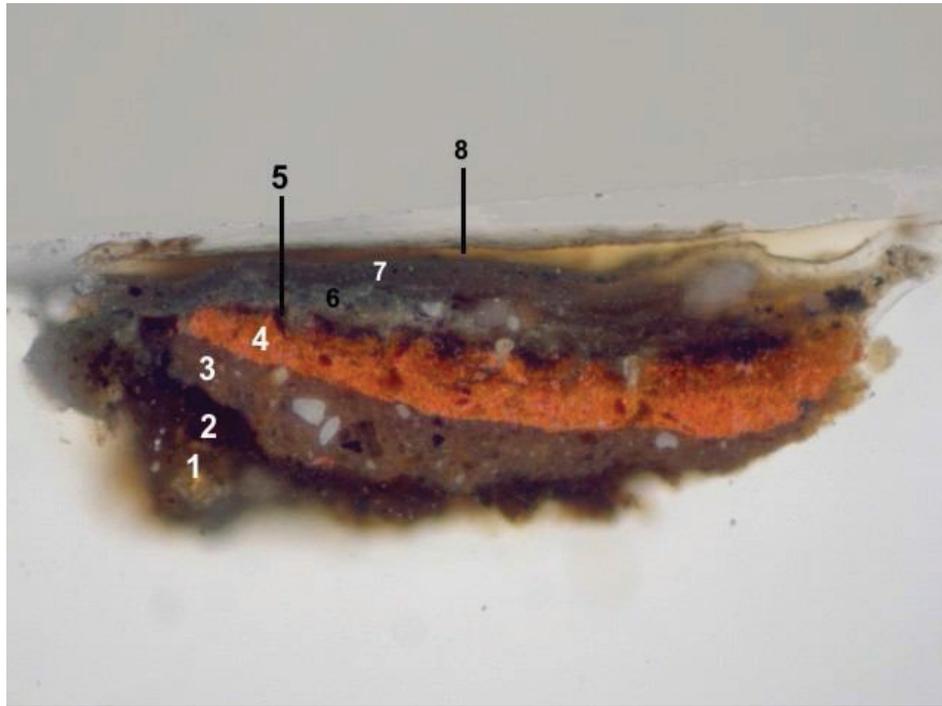
Estrato	Color	Pigmentos	Aglutinante
1	Blanco	Capa compuesta de blanco de plomo y blanco de España.	Óleo
2	Café	Capa compuesta de tierra de sombra, blanco de plomo, blanco de España, partículas de cinabrio, hematita, ocre y arcillas silíceas.	Óleo
3	Café	Capa compuesta de tierra de sombra, blanco de plomo, blanco de España y arcillas silíceas.	Óleo
4	Café claro	Capa compuesta de tierra de sombra, blanco de bario y blanco de zinc (litopón), blanco de plomo, blanco de España y arcillas silíceas.	Óleo
5	Gris	Capa compuesta de blanco de plomo, blanco de bario y blanco de zinc (litopón), blanco de España y arcillas silíceas.	Óleo
6	Café	Barniz de protección	Resinas naturales
7	Gris	Capa compuesta de blanco de España, negro de huesos, yeso y arcillas silíceas.	Óleo
8	Café	Barniz de protección	Resinas naturales
9	Café	Barniz de protección	Resinas naturales



1. Fotomicrografía realizada en el microscopio óptico a 100 aumentos.
2. Fotomicrografía tomada con en el microscopio electrónico de barrido a 80 aumentos.

### Muestra núm. 5.- Color café del fondo.

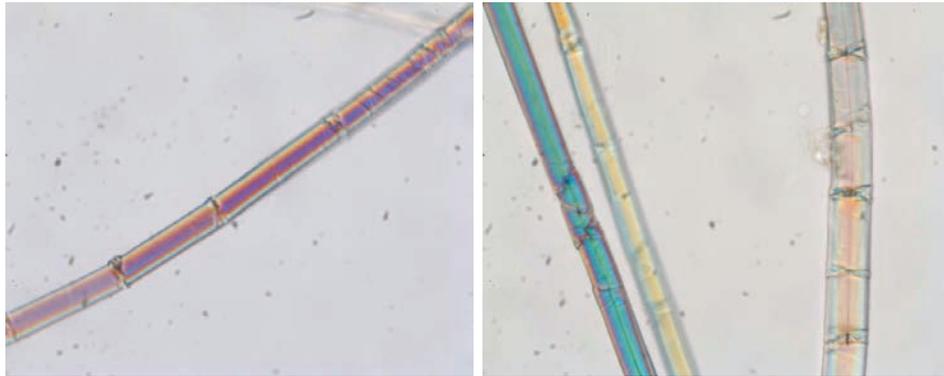
Estrato	Color	Pigmentos	Aglutinante
1	Blanco	Capa compuesta de blanco de plomo y blanco de España.	Óleo
2	Café	Capa compuesta de tierra de sombra, blanco de España, yeso y arcillas silíceas.	Óleo
3	Café claro	Capa compuesta de tierra de sombra, blanco de plomo, blanco de España, partículas de cinabrio, hematita y ocre y arcillas silíceas.	Óleo
4	Rojo	Capa compuesta de cinabrio, blanco de plomo, blanco de España y arcillas silíceas.	Óleo
5	Café	Capa compuesta de tierra de sombra, rojo rojo óxido, yeso, blanco de España y arcillas silíceas.	Óleo
6	Gris	Capa compuesta de tierra de sombra, rojo óxido, blanco de plomo, blanco de España, blanco de titanio y arcillas silíceas.	Óleo
7	Gris	Capa compuesta de blanco de bario, blanco de zinc (litopón), rojo óxido, blanco de España, partículas de oropimente.	Óleo
8	Café	Barniz de protección	Resinas naturales



1. Fotomicrografía realizada en el microscopio óptico a 100 aumentos.
2. Fotomicrografía tomada con en el microscopio electrónico de barrido a 130 aumentos.

### **Muestra núm. 6.- Fibra del lienzo original.**

El análisis de las fibras de la trama y de la urdimbre del soporte original se realizó mediante microscopía óptica y de polarización, el estudio nos reveló que el lienzo está compuesto por fibras de lino y forman un tejido tipo tafetán o liso, con un hilo en la trama por un hilo en la urdimbre y se caracterizan por ser fibras resistentes.

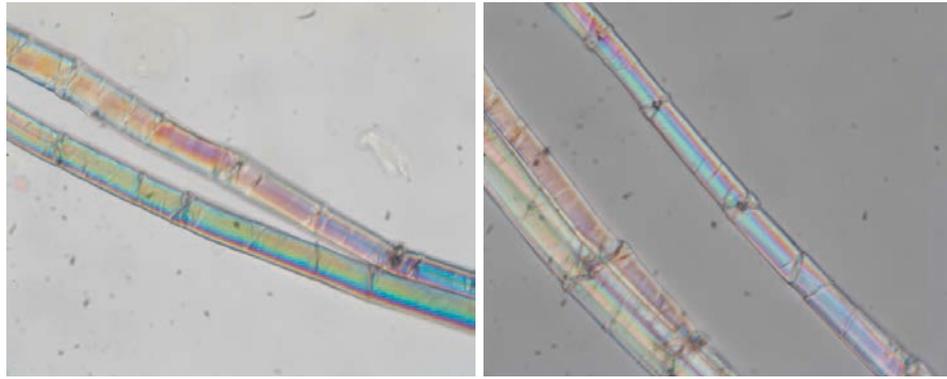


La identificación de las fibras se basó en la detección de las siguientes características morfológicas: Campos de cruzamiento denominados septos y la presencia del núcleo interno llamado lumen, el estudio se realizó en un microscopio biológico con cámara fotográfica integrada.

1. Fotomicrografía de los hilos de la trama, tomada con en el microscopio óptico con luz polarizada a 500 aumentos.
2. Fotomicrografía de los hilos de la urdimbre, tomada con en el microscopio óptico a 500 aumentos.

### **Muestra núm. 7.- Fibra del lienzo del reentelado.**

El análisis de las fibras de la trama y de la urdimbre del lienzo usado como soporte para el reentelado, se realizó mediante microscopía óptica y de polarización, el estudio nos reveló que el lienzo está compuesto por fibras de lino y forman un tejido tipo tafetán o liso, con doble hilo en la trama y doble hilo en la urdimbre y su densidad de tejido es de 10 hilos por 11 hilos por cm<sup>2</sup>.



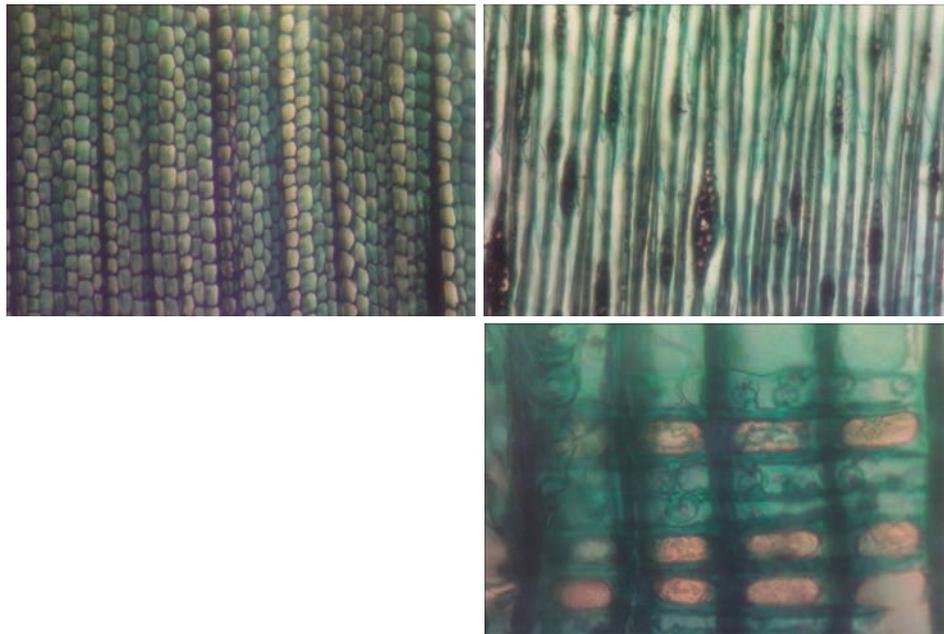
La identificación de las fibras se basó en la detección de las siguientes características morfológicas: Campos de cruzamiento denominados septos y la presencia del núcleo interno llamado lumen, el estudio se realizó en un microscopio biológico con cámara fotográfica integrada.

Fotomicrografías de los hilos de la trama, tomada con en el microscopio óptico a 500 aumentos.

## Muestras núms. 8 y 9.- Madera del bastidor

La identificación taxonómica de la madera del cabezal superior y del larguero derecho del bastidor, se llevó a cabo mediante el estudio de su anatomía microscópica.

Las características de las estructuras anatómicas microscópicas se analizaron en el microscopio óptico con luz transmitida previa preparación, tratamiento y tinción de las muestras con verde yodo, se estudiaron las tres secciones de la madera mediante cortes transversal, tangencial y radial.



Los resultados obtenidos del análisis de los tres cortes mostraron caracteres que determinaron la especie, y se observó:

1. La presencia de traqueidas de forma cuadrada o poligonal en vista transversal y traqueidas radiales dentadas.
2. Radios uniseriados, heterogéneos con canales resiníferos.
3. Parénquima radial de paredes horizontales lisas y campos de cruce con puntuaciones tipo ventana o fenestroides.

Se puede constatar que la madera del bastidor es *Pinus sylvestris* L. Se le conoce como pino de Soria o Valsain. Su distribución es Euroasiática de norte a sur desde Escandinavia y Escocia hasta España, en Asia se localiza solo en Manchuria.

1. Fotomicrografía del corte transversal, donde se observan las traqueidas y los radios de la madera, tomada con el microscopio óptico a 100 aumentos.
2. Fotomicrografía del corte tangencial, donde se observan los radios de la madera uniseriados y fusiformes con canal resinífero, tomada con el microscopio óptico a 100 aumentos.
3. Fotomicrografía del corte radial, donde se observan los campos de cruce con puntuaciones fenestroides y bordes de las traqueidas dentados, tomada con microscopio óptico a 400 aumentos.

## Conclusiones

Una vez determinados los pigmentos, aglutinantes, estratigrafías, fibras y madera de las muestras obtenidas de la obra “San Andrés”, se pueden enunciar las siguientes conclusiones:

### Conclusiones de materiales constitutivos

1. Las mezclas de colores y los pigmentos blanco de plomo, yeso, blanco de España, negro de humo, negro de huesos, bermellón (cinabrio), rojo óxido (hematita), ocre, lapis lazuli, y tierras de sombra son de la época y concuerdan con los pigmentos utilizados por el Greco<sup>1,2,3</sup>
2. El lienzo original de la pintura se compone de fibras de lino, el tipo de tejido se denomina liso o de tafetán en el que una fibra de la urdimbre se entrelaza con una fibra de la trama y sus características indican que se trata de un material muy resistente. La tela de lino concuerda con las utilizadas por El Greco en los siglos XVI-XVII<sup>4,5</sup>
3. De acuerdo con las características anatómicas de los tres cortes de maderadel cabezal superior y del larguero derecho del bastidor, se concluye que la especie de la madera es *Pinus sylvestris* L. La madera procedía del área Castellana de zonas con abundancia de pinares: Valladolid, Palencia, Burgos, Segovia y Ávila en la península Ibérica.<sup>6</sup>

---

<sup>1</sup> J. M. Cabrera y M. del C. Garrido. Estudio técnico comparativo de dos Sagradas Familias del Greco, publicado en el Boletín del Museo del Prado.

<sup>2</sup> Área de Restauración del Museo Thyssen-Bornemisza. El Greco. De Italia a Toledo, Estudio Técnico de las pinturas del Museo Thyssen-Bornemisza A

<sup>3</sup> A. Recchiuto. Estudio de la pintura del Greco: “Entierro del Conde de Orgaz”, en El Entierro del Conde de Orgaz. Nueva instalación, estudio y tratamiento.

<sup>4</sup> M. del S. Mantilla de los Ríos y de Rojas. Análisis del tejido de dos muestras procedentes de la tela y el forro del cuadro del Greco “Entierro del Conde de Orgaz” conservado en la Iglesia de Santo Tomé de Toledo. en El Entierro del Conde de Orgaz. Nueva instalación, estudio y tratamiento. p. 96

<sup>5</sup> R. Bruquetas G. Técnicas y Materiales de la Pintura Española en los siglos de Oro. p. 263-269

<sup>6</sup> Ibid. p 225.

## Conclusiones para apoyo a la restauración

1. La obra está reentelada, los análisis de las fibras mostraron que también es de lino, con un tejido tipo tafetán, sin embargo en este caso se trata de dos hilos de trama por dos hilos de urdimbre. La observación con lentes de aumento del doblez en los bordes, no detectó restos del adhesivo empleado para unir las dos telas, sin embargo es probable que se haya empleado el método de la coleta.
2. Los cortes transversales revelaron que la pintura ha sido intervenida en diversas ocasiones, se detectaron varias capas pictóricas aplicadas en diferentes momentos.
3. Los cortes transversales también mostraron la presencia de dos o tres barnices de protección aplicados en diversos momentos.
4. El análisis de la superficie pictórica con luz ultravioleta mostró la presencia de una gruesa capa de barniz que impidió detectar las diferentes intervenciones posteriores.
5. Los pigmentos identificados en las capas pictóricas de las intervenciones posteriores son:

<b>Blancos</b>	<b>Muestra núm. 1. Estrato 5.</b> Blanco de bario y blanco de zinc (litopón), blanco de España, tierra de sombra y arcillas silíceas. <b>Muestra núm. 1. Estrato 9.</b> Blanco de bario y blanco de titanio, rojo óxido, blanco de España, yeso y arcillas silíceas. <b>Muestra núm. 3 Estrato 6.</b> Blanco de plomo, blanco de bario y blanco de zinc (litopón), blanco de España y arcillas silíceas. <b>Muestra núm. 3 Estrato 8.</b> Blanco de titanio, yeso, blanco de España, partículas de verde de cromo, ocre y arcillas silíceas.
<b>Café claro</b>	<b>Muestra núm. 2. Estrato 5.</b> Ocre, amarillo de plomo, blanco de bario y blanco de zinc (litopón), blanco de plomo, tierra de sombra, blanco de España y arcillas silíceas. <b>Muestra núm. 4. Estrato 4.</b> Tierra de sombra, blanco de bario y blanco de zinc (litopón), blanco de plomo, blanco de España y arcillas silíceas.
<b>Café rojizo</b>	<b>Muestra núm. 2. Estrato 6.</b> Rojo oxido, tierra de sombra, blanco de bario, blanco de plomo, blanco de España, negro de huesos, yeso y arcillas silíceas.
<b>Gris</b>	<b>Muestra núm. 4. Estrato 5.</b> Blanco de plomo, blanco de bario y blanco de zinc (litopón), blanco de España y arcillas silíceas. <b>Muestra núm. 5. Estrato 6 y 7.</b> Blanco de bario, blanco de zinc (litopón), rojo óxido, blanco de España, partículas de oropimente.

6. La mezcla de pigmentos blanco de bario y blanco de zinc denominada lito-  
pón, verde de cromo y amarillo de plomo, son materiales pictóricos que se  
descubren en el siglo XIX y se emplean profusamente a partir de ese siglo.
7. El pigmento blanco de titanio se descubre hacia el primer cuarto del siglo XX,  
y fue ampliamente utilizado desde 1940.
8. Las mezclas de pigmentos identificados en las capas pictóricas inferiores son:

<b>Café oscuro</b>	Tierra de sombra, blanco de España, yeso y arcillas silíceas.
<b>Café</b>	Tierra de sombra, blanco de plomo, negro de huesos, blanco de España, partículas de cinabrio, hematita, ocre y arcillas silíceas.
<b>Azul</b>	Probable lapis lazuli, blanco de plomo, blanco de España y yeso.
<b>Negro</b>	Negro de humo, tierra de sombra, blanco de España, yeso y arcillas silíceas.
<b>Blanco</b>	Blanco de plomo y blanco de España.
<b>Rojo</b>	Cinabrio, blanco de plomo, blanco de España y arcillas silíceas

9. Es importante considerar que la pintura ha sido intervenida en diferentes  
momentos, la presencia de varias capas de barniz impiden evaluar la exten-  
sión y dimensiones de los repintes, así como la obtención de muestras de la  
paleta completa, por lo que se debe de someter a una limpieza o rebaje del  
barniz. También se debe de valorar la estabilidad del lienzo original y consi-  
derar la pertinencia de eliminar el lienzo del reentelado.
10. Durante los procesos de conservación y restauración, se contará con el apo-  
yo químico para que en conjunto con el equipo de restauración se propon-  
gan técnicas y materiales adecuados, Y una vez liberados los barnices y  
repintes, se realizará una segunda toma de muestras para completar el estu-  
dio de la paleta cromática.

### Consideración final

De acuerdo con los resultados obtenidos de los estudios químicos y biológicos de los pigmentos, tela y madera, la pintura sobre lienzo con dimensiones de 136.5 cm por 89.7 cm, titulada “San Andrés”, fue pintada en el siglo XVI por el Greco (Doménikos Theotokópoulos).

## **Bibliografía**

- Artists Pigments, Volume 1, 2, 3, 4. Oxford University Press: Oxford.
- R. Mayer, A Dictionary of Art Terms and Techniques, Harper and Row, New York, 1969.
- R. J. Gettens, G.L. Stout, Painting Materials, A Short Encyclopaedia, Dover Publications, New York, 1966.
- J. M. Cabrera y M. del C. Garrido. Estudio técnico comparativo de dos Sagradas Familias del Greco. Boletín del Museo del Prado Tomo 3, Número 8, mayo-agosto de 1982
- A. Recchiuto. Estudio de la pintura del Greco: “Entierro del Conde de Orgaz”, en El Entierro del Conde de Orgaz. Nueva instalación, estudio y tratamiento. Instituto de Conservación y Restauración de Obras de Arte. Madrid, 1978
- Área de Restauración del Museo Thyssen-Bornemisza. El Greco. De Italia a Toledo, Estudio Técnico de las pinturas del Museo Thyssen- Bornemisza, en línea: <http://www.museothyssen.org/microsites/exposiciones/2014/elgreco/>. Consultado el 16 de agosto de 2016.
- R. Bruquetas. Técnicas y materiales de la pintura española en los Siglos de Oro, Madrid, Fundación de Apoyo a la Historia del Arte Hispánico, 2002, p. 263-269

Ciudad de México, 18 de agosto de 2016



Javier Vázquez Negrete