

# El uso de Imágenes Hiperespectrales aplicado a la caracterización de prototipos de pinturas romanas con pigmentos azules

Mónica Moreno (1), Andrea Gil-Torrano (1\*), Rocío Ortiz (1) y Pilar Ortiz (1)

(1) Departamento de Sistemas Físicos, Químicos y Naturales. Universidad Pablo de Olavide, 41013, Sevilla (España)

\* corresponding author: [agiltor@upo.es](mailto:agiltor@upo.es)

**Palabras Clave:** Arqueología, Imágenes Hiperespectrales, Infrarrojo cercano, Pigmentos, Técnicas no Destructivas.

**Key Words:** Archaeology, HyperSpectral Images (HSI), Near InfraRed, Pigments and Non Destructive Techniques.

## INTRODUCCIÓN

Los pigmentos empleados en la Roma Imperial reflejan no solo los influjos artísticos de la época sino también la existencia de nuevas rutas comerciales, que facilitaron el acceso a nuevos materiales pictóricos. En esta temática, el libro XXXV de la obra Historia Natural de Plinio el Viejo (79 d.C.). se conforma como un documento histórico muy valioso, que ofrece información sobre la mineralogía de los pigmentos empleados en el repertorio artístico romano.

Este estudio parte de la obra de Plinio para recopilar las características mineralógicas de los pigmentos azules empleados en época Imperial y evaluar las posibilidades que presenta el uso de Imágenes Hiperespectrales (HSI) para su caracterización. Como técnica no destructiva y que no requiere de contacto con la pintura original, HSI permite recoger los valores de reflectancia a lo largo de un rango amplio de longitudes de onda del ultravioleta, el visible y el infrarrojo cercano. A diferencia de las imágenes tradicionales —que capturan solo tres bandas de color a las longitudes de onda del rojo, el verde y el azul—, las imágenes hiperespectrales obtienen cientos de imágenes a distintas longitudes de onda, lo que permite observar diferencias en las firmas espectrales de los materiales en función de su composición química y propiedades físicas (Landgrebe, 2002).

## MATERIALES Y METODOLOGÍA

Esta investigación usa HSI para la caracterización de cuatro pigmentos azules en polvo y una probeta de pintura mural al fresco realizada con fines experimentales. Los pigmentos seleccionados son los azules incluidos en la obra Historia Natural (Plinio el Viejo, 79 d.C) y conocidos como *Caeruleum* por los romanos. Estos incluyen la azurita (*Caeruleum Cyprium*) que es un carbonato de cobre; el lapislázuli y el azul ultramar (*Caerilium Cyanos*), que son aluminosilicatos de calcio y sodio de origen natural y sintético respectivamente; y el azul egipcio (*Caeruleum Aegyptium*), que es un silicato de cobre y calcio obtenido mediante fritas minerales.

Los pigmentos analizados provienen de la casa comercial Kremer y son Azul Ultramar Kremer 45010, Lapislázuli Kremer 10520, Azul Egipcio Kremer 10060 y Azurita Kremer 10200. La pintura mural es una réplica de un fresco siguiendo las recomendaciones de Plinio el Viejo, que aplica el pigmento azul egipcio Kremer 10060 sobre una capa de mortero de cal aún fresca para que quede fijado durante el proceso de carbonatación (Soler Oliver, 2014).

Los cuatro pigmentos en polvo y la probeta han sido analizados mediante espectroscopía FTIR para corroborar su composición, empleando un espectrómetro portátil Agilent 4300. Para la obtención de firmas espectrales a partir de HSI se utilizó la cámara Hyperspec Extender VNIR de Headwall Photonics, cuyo espectrómetro opera en el rango espectral del visible y el infrarrojo cercano corto y medio (550 - 1700 nm) y obtiene una imagen cada 20 µm.

## RESULTADOS

La Figura 1A muestra las firmas espectrales de los cuatro pigmentos azules en polvo analizados. Las diferencias identificadas en sus espectros permiten distinguir cada pigmento en función de los valores de reflectancia que presentan entre los 580 y 1680 nm. El azul ultramar tiene valores más bajos de reflectancia en las longitudes de onda más cortas, que muestran un ascenso progresivo hasta los 1380 nm. El lapislázuli muestra un patrón similar, aunque entre 1080 y 1180 nm presenta un pico de absorbancia característico. La azurita, por otro lado, presenta una mayor reflectancia en las longitudes de onda más cortas y se estabiliza entre 700 y 800 nm. Finalmente, el azul egipcio se distingue por un aumento brusco de la reflectancia entre los 600 y los 700 nm.

La Figura 1B muestra la firma espectral del pigmento azul egipcio presente en el prototipo de la pintura mural al fresco. Aunque los valores mínimos de reflectancia son más altos y los máximos más bajos que en las muestras en polvo —posiblemente debido a la presencia junto al pigmento de carbonato de calcio—, la firma espectral presenta grandes similitudes con la del azul egipcio en polvo. En este caso, también puede observarse el ascenso brusco de la reflectancia entre los 600 y 700 nm y su posterior estabilización. Estos resultados coinciden con los obtenidos con espectroscopía FTIR del pigmento azul egipcio.

Actualmente, estas firmas espectrales se están empleando para elaborar una base de datos de espectros más amplia, que servirá para el diseño y cálculo de índices normalizados de pigmentos, así como el entrenamiento de algoritmos de clasificación de pigmentos romanos.

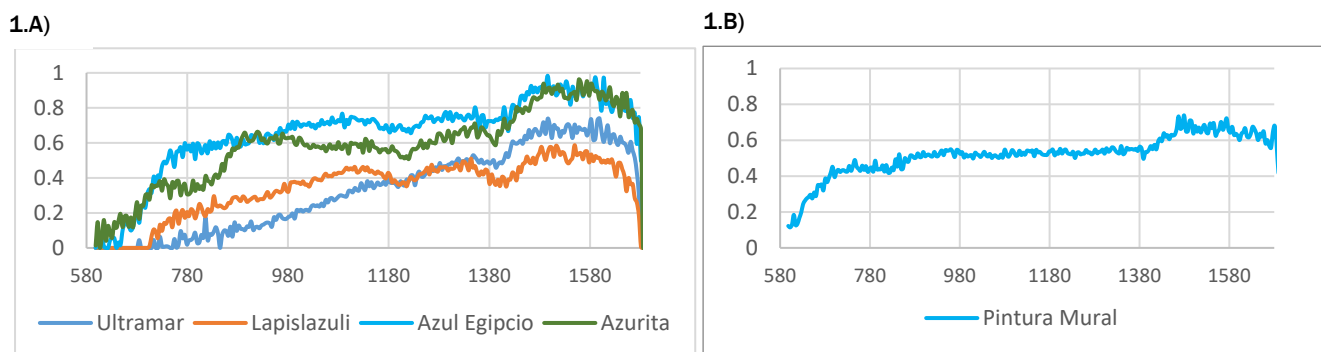


Figura 1: A) Firmas espectrales obtenidas a partir de los estudios de pigmentos en polvo: Ultramar Kremer 45010, Lapislázuli Kremer 10520, Azul Egipcio Kremer 10060 y Azurita Kremer 10200. B) Firma espectral pigmento Azul Egipcio en probeta de pintura mural.

## CONCLUSIONES

El estudio realizado confirma la utilidad de HSI como técnica apta para la caracterización de los pigmentos azules romanos. Las variaciones identificadas en los espectros permiten diferenciar pigmentos, incluso cuando han sido aplicados sobre técnicas murales como el fresco, en la que los pigmentos quedan fijados por los procesos de carbonatación. La creación de bases de datos de espectros de referencia y su uso en el entrenamiento de algoritmos de clasificación abren nuevas posibilidades para la identificación automatizada de pigmentos en obras de arte.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por el Grupo de investigación PAI TEP 199 Patrimonio, Medioambiente y Tecnología de la Junta de Andalucía, el proyecto ATLAS (PCI2024-153441), auspiciado por las Iniciativas de Programación Conjunta sobre Patrimonio Cultural y Cambio Global (JPI CH). A.Gil-Torrano agradece la ayuda PTA2021-020047-I, financiada por el MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y el Fondo Social Europeo.

## REFERENCIAS

- Plinio el Viejo. (79 d.C). Historia natural (Livro. 35).  
 Landgrebe, D. (2002). Hyperspectral image data analysis. IEEE Signal processing magazine, **19**(1), 17-28.  
 DOI:10.1109/79.974718  
 Soler Oliver, E. (2014) Técnicas espectrofotométricas UV-VIS y su viabilidad en el análisis del patrimonio histórico.