

06

Identificación de tintas y pigmentos

Maria João Melo, Paula Nabais, Márcia Vieira, LAQV-REQUIMTE y Universidad NOVA de Lisboa

Lourdes Martín, Marta Sameño, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico (IAPH)

El color en los manuscritos del Fondo Kati

Los materiales y técnicas de creación del color incorporan importantes indicios de dónde y cuándo se produjo el manuscrito iluminado. Para ello, además de identificar los pigmentos, es necesario estudiar la tinta/color en su totalidad, a lo cual llamamos actualmente su formulación. De este modo, además de los materiales del color, pigmentos o colorantes, es necesario identificar el medio ligante utilizado para fijar los colorantes como una película pictórica, que llamaremos *témpera* en este texto. Además de estos ingredientes principales, para mejorar la aplicación de la tinta y hacerla más duradera, se incluyen en la formulación compuestos como las cargas, entre otros, a los cuales llamaremos aditivos. Esta investigación se basa en un trabajo interdisciplinar para el estudio del manuscrito iluminado.

Más adelante, en la tabla de p. 112 y 113, presentamos los principales resultados de la investigación del color en los cinco manuscritos árabes del Fondo Kati. Además de estos, también se estudió el *Tratado de Matemáticas*, en el que no se utiliza el color. Los principales colorantes utilizados son el rojo de goma laca y el azul de azurita. Se identificaron en todos los manuscritos, salvo en el *Tratado de Teología*, en el cual no hay azul, pero

sí un púrpura de naturaleza orgánica. En todos los manuscritos se utiliza el oro en hoja o como tinta, salvo en el *Manuscrito 19*. En este último encontramos también el único color naranja, obtenido mediante una mezcla de bermellón con oropimente: una manera de crear el color naranja común en los manuscritos árabes. El amarillo se obtiene con un pigmento a base de arsénico, y se utilizó en el *Corán de Ceuta* y en los *Poemas de al-Sharishī*. Este pigmento se identificó como pararrejalgar, el cual podría resultar o no de una degradación del rejalgar (el pararrejalgar presenta un tono más amarillento, mientras que el rejalgar es más anaranjado). El segundo rojo más importante es el bermellón. Para discutir mejor estos resultados en este capítulo, haremos una breve referencia a la paleta utilizada en la Edad Media tanto en Europa como en el mundo árabe.

Los colores utilizados en los manuscritos árabes

Los colores de naturaleza orgánica, extraídos de plantas o insectos parásitos (por ejemplo, *Kerria lacca* y *Kermes vermilio*), son los más difíciles de identificar. De hecho, aunque en los últimos diez años se han realizado grandes progresos para su rigurosa caracterización (Burgio et ál. 2008; Knipe et ál. 2018; Melo y Claro 2010; Melo et ál. 2018; Nabais et ál. 2021;

Vieira et ál. 2019), en los estudios de manuscritos árabes han sido raras las atribuciones rigurosas.

Hasta donde sabemos, solo en tres publicaciones se identificaron rigurosamente los colorantes orgánicos en manuscritos árabes (Burgio et ál. 2008; Chaplin et ál. 2006; El Bakkali et ál. 2012); el índigo fue detectado por microscopía Raman por Burgio et ál. (2008) y Chaplin et ál. (2006), así como por HPLC-DAD por Arias et ál. (1996); y el ácido carmínico fue caracterizado por SERS por El Bakkali et ál. (2012). Las demás publicaciones se basan esencialmente en la fluorescencia de rayos X por dispersión de energía (XRF) y en los espectros de reflectancia en el ultravioleta-visible (adquiridos por espectroscopía de reflectancia de fibra óptica, FORS), que indicarán cuáles son los posibles colorantes presentes. En la mayoría de los casos, los autores propusieron el uso de cochinilla, y de kermes en una publicación (Roger, Malika y Déroche 2004; Duran et ál. 2011; Biddle 2011; Hamdan, Alawadhi y Jisrawi 2012; Tanevska et ál. 2014; Beny, Torres y Pablo 2015; Roger-Puyo y Boucetta 2015; Arias 1996; Knipe et ál. 2018; Oubelkacem et ál. 2021; Darzi et ál. 2021). Mediante espectros de reflectancia en el ultravioleta-visible solo se pueden diferenciar los cromóforos de antraquinona producidos por insectos parásitos y las antraquinonas de origen vegetal (Vieira et ál. 2019). Por

este motivo, las propuestas que utilizan espectros en el ultravioleta-visible para identificar este tipo de colorantes resultan meramente indicativas.

Los estudios de los materiales del color en manuscritos árabes son algo limitados en comparación con los de procedencia europea, y por eso nuestro análisis se basa en publicaciones recientes, utilizando como criterio las técnicas analíticas. Los materiales del color utilizados en los manuscritos árabes medievales procedentes del Magreb recibieron la atención del equipo francés liderado por Patricia Roger-Puyo y François Déroche (Déroche 2005; Roger, Malika y Déroche 2004; Roger-Puyo y Boucetta 2015). La identificación se propuso a partir de las técnicas analíticas de FORS (ultravioleta-visible) y XRF. Los colores principales son el rojo, el verde y el azul. Los rojos se obtienen utilizando bermellón y un colorante orgánico. Un colorante con espectro visible similar fue identificado por microscopía Raman (SERS) como ácido carmínico por otro grupo de investigación (El Bakkali et ál. 2012). El lapislázuli se utiliza en los azules, y se puede usar en combinación con azurita e índigo. Los verdes se obtienen con pigmento a base de cobre. El amarillo y el naranja no son colores dominantes, y los blancos son raros. Lo único blanco basado en blanco de plomo se detectó solo en un manuscrito. Los amarillos se obtienen a base de oropimente, y el

naranja se consigue mezclando oropimente y bermellón. La percepción del blanco se crea utilizando el color del propio pergamino. Otros dos colorantes raros, no identificados, son un púrpura y un marrón translúcido. De Irán, Irak y Egipto destaca la publicación de Burgio et ál. (2008) y de Knipe et ál. (2018). Además de los pigmentos ya descritos, aquí el blanco de plomo forma parte de la paleta, principalmente a partir del siglo XIV. El naranja se puede obtener mezclando un amarillo (oropimente o pararrealgar) con bermellón o utilizando rojo de plomo. El análisis por espectroscopía de infrarrojos de un pequeño número de muestras reveló la presencia de una goma vegetal (ligante polisacárido) con presencia ocasional de material proteico. Este medio ligante compuesto por polisacáridos también se identificó en manuscritos árabes de Al-Ándalus (Arias et ál. 2008). De la República de Macedonia se analizaron cinco manuscritos árabes —datados entre los siglos XVI y XVIII— mediante microscopía Raman y SEM-EDS (Tanevska et ál. 2014). Los análisis muestran que los rojos se obtienen a base de bermellón o una mezcla de este con rojo de plomo (que así funciona como carga, sin modificar el color del bermellón).

Una de las conclusiones importantes de estos estudios es la consistencia de cada una de las paletas, tanto en el periodo medieval como posteriormente

(Roger, Malika y Déroche 2004; Burgio et ál. 2008; El Bakkali et ál. 2012; Roger-Puyo y Boucetta 2015; Knipe et ál. 2018). A partir del siglo XVIII, esta se enriquece con el uso esporádico de azul de Prusia, verde esmeralda y cromatos de plomo para los colores naranja y amarillo (Burgio et ál. 2008; Knipe et ál. 2018).

Los colores utilizados en la iluminación medieval en Europa

Materiales y técnicas utilizados en los *scriptoria* monásticos portugueses (siglos XII y XIII)

Los principales colorantes utilizados en los *scriptoria* de los monasterios de Lorvão, Santa Cruz y Alcobaça se representan más adelante. Mediante un mapeo del color, concluimos que los colores principales eran el rojo, el verde y el azul, al ocupar más de un 90 % de la superficie total del color. Los pigmentos y colorantes de lujo seleccionados eran lo mejor que se podía encontrar en aquella época, y procedían de Afganistán (lapislázuli), India (rojo de goma laca, azul de índigo) o de mucho más cerca: de las minas de mercurio de Almadén (bermellón), ya explotadas por los romanos (Melo, Castro y Miranda 2014). A estos elementos habrá que añadirles los pigmentos sintéticos, como el verde de cobre, el rojo de plomo (minio), el blanco de plomo y el negro de huesos y el de carbón.

Las tintas sobrevivieron porque estaban hechas con buenas formulaciones de ligantes y se obtenían a partir de témperas proteicas con una cola de pergamino o clara de huevo (Thompson 1932; Strolovich 2005). Además del ligante y del colorante, se identificaron como aditivos el carbonato de calcio y el yeso, que garantizan la estabilidad mecánica de la tinta, aumentan su adhesión y, en determinados casos, la vuelven opaca. Comprobamos, pues, que la producción monástica —que en nombre de la simplicidad no utiliza el oro, por ejemplo— recurre a una serie de procedimientos complejos y materias primas de altísima calidad, tal como revelan los análisis científicos más sofisticados (Melo et  l. 2019; Nabais et  l 2021).

Materiales y técnicas utilizados en los libros de horas de procedencia flamenca y francesa (siglos XIV y XV)

En la paleta molecular de los libros de horas, a los pigmentos ya utilizados en la iluminación medieval de los siglos XII y XIII se suman ahora dos nuevos pigmentos amarillos, creaciones (al)químicas —el oro musivo y el amarillo de estaño y plomo—, así como un nuevo colorante a base de brasile na, que constituye la base de las lacas de palo de Brasil (Melo et  l. 2014). Estas sustituirán a los rojos (translúcidos u opacos), carmines y rosas de goma laca. Estos nuevos

pigmentos se completan con los clásicos bermellón, rojo de plomo (minio), oropimente, lapislázuli, azurita, índigo (o  n il), malaquita, negro de huesos o de carbón, y blanco de plomo. El oro se utiliza profusamente en los márgenes, en motivos decorativos como flores, hojas y vegetación, en las aureolas de las figuras de santos y en detalles de la ropa u objetos (en estos últimos, normalmente en combinación con el oro musivo). En los manuscritos que nosotros estudiamos, se usa habitualmente en hoja, sobre una preparación blanca o roja a base de ocre de hierro. Las témperas a base de proteínas se sustituyen en parte por témperas a base de gomas vegetales, como la goma arábica. En muchos manuscritos, en las témperas a base de bermellón se mantiene la témpera proteica (Melo et  l. 2014).

Al igual que en la iluminación medieval de los siglos XII y XIII, también aquí el carbonato de calcio se usa como carga, es decir, se añade a un pigmento en una proporción que no le cambia en absoluto el tono, lo cual permite en ocasiones mejorar la percepción cromática, ya que le aumenta la opacidad. Además, su presencia también mejora la estabilidad mecánica de la tinta. Es interesante observar que en la actualidad se mantiene como una carga que se encuentra comúnmente en la formulación de muchos pigmentos, incluso los de gran calidad, como los pigmentos

para artistas. El yeso —sulfato de calcio dihidratado— es también un aditivo que se encuentra presente en muchos colores a base de palo de Brasil.

Recrear los colores medievales mediante referencias altamente caracterizadas

Recrear y caracterizar una tinta medieval resultó fundamental para optimizar las técnicas de análisis. Esto es así porque el pequeño tamaño y el valor de las iluminaciones exigen utilizar técnicas de análisis *in situ* o en micromuestras tan pequeñas que se vuelven invisibles a simple vista, lo cual constituye un desafío considerable. Por lo tanto, aunque ayudados por los modernos y sofisticados métodos de examen y análisis que tenemos a nuestra disposición (Melo y Claro 2010; Muralha, Miguel y Melo 2011; Melo et ál. 2018), resultó indispensable recurrir a una base de datos de compuestos de referencia recreados con todo el rigor histórico posible. Necesitábamos poder comparar los resultados de nuestros análisis del color de la iluminación medieval con pigmentos, colorantes y tintas medievales. Y como no están disponibles en el mercado, los recreamos a partir de una lectura e investigación sistemática de tratados/recetarios medievales, como el tratado Theophilus y, sobre todo, el *Libro de cómo se hacen los colores* (Hawthorne y Smith 1979; Eraclius 1996; Melo et

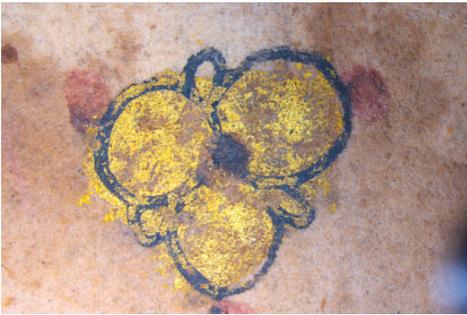
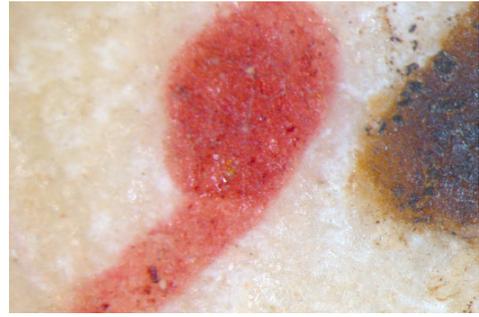
ál. 2018). Este abordaje nos permitió descubrir los materiales del color del románico portugués y de los libros de horas, además de percibir la calidad de su producción.

Una tinta de goma laca se puede elaborar siguiendo dos métodos principales: el primero consiste en la extracción del colorante de la resina, a la que se añade un ion metálico como, por ejemplo, iones de aluminio, para formar un pigmento laca, pero también se puede utilizar sin la complejación del colorante. Ambos procesos empiezan moliendo la goma laca. A continuación, se añade una solución básica, como agua de ceniza. La cantidad de colorante obtenido depende de la temperatura descrita en la receta y en el pH de la solución. La solución debe filtrarse. Para obtener un pigmento laca, tras este filtrado se añade alumbre, que posee los iones de aluminio necesarios para que la laca precipite. La solución se filtra de nuevo, o se deja secar (Castro, Miranda y Melo 2016).

Los colores del Fondo Kati

Rojos de naturaleza orgánica

El rojo de goma laca y el azul de azurita son los dos colores más importantes en los manuscritos árabes estudiados, tal y como se puede ver en la tabla más adelante. A la vista de que existen varias recetas para transformar un colorante



Detalles de los colorantes rojos utilizados en los dibujos (izquierda) y tintas de escritura (derecha) de los manuscritos iluminados estudiados (Vieira et ál. 2019)



Detalles de los colorantes rojos utilizados en los dibujos (izquierda) y tintas de escritura (derecha) de los manuscritos iluminados estudiados (Vieira et ál. 2019)

orgánico en una tinta lista para utilizar, y que aquellas se pueden asociar a una procedencia geográfica y a una cronología, hemos estudiado a fondo los rojos orgánicos. De este modo, en una primera publicación demostramos inequívocamente el uso del colorante rojo de goma laca en manuscritos árabes y destacamos la riqueza y diversidad de las formulaciones de las tintas utilizadas (Vieira et ál. 2019). Fue la primera vez que se identificaba este colorante en manuscritos árabes. Su presencia en estos manuscritos concuerda con las fuentes históricas de su uso en el mundo árabe (Lombard 2012). Se utilizó la microespectrofluorimetría en el ultravioleta-visible para identificar la receta a través del colorante, y la espectroscopía de infrarrojos para identificar las témperas y posibles aditivos, así como su estado de conservación. Nuestra base de datos de referencias altamente caracterizadas resultó vital para entender la complejidad y la diversidad de estos colores. La microespectrofluorimetría

permitió demostrar que los rojos oscuros encontrados en el *Corán de Ceuta* y en el *Manuscrito 19* son similares a los obtenidos al utilizar la receta para hacer *rubí rojo de lukk*, del texto de Ibn Badis (siglo XI), y los rojos más brillantes utilizados en los *Poemas de al-Sharishī* y en la *Biografía del Profeta*, al emplear la receta del manuscrito de Padua (receta 113 del manuscrito de Padua en la edición de Meriffield). Estas recetas son muy diferentes, ya que en los *Poemas de al-Sharishī* y en la *Biografía del Profeta* encontramos un complejo con aluminio (un pigmento laca), mientras que en las otras dos recetas, al no utilizarse el alumbre, no se pudo formar este complejo. Por otra parte, no nos resultó posible determinar un buen ajuste para el rojo de naturaleza orgánica encontrado en el *Tratado de Teología*. La microespectroscopía de infrarrojos permitió completar la caracterización de la formulación de la tinta e identificar la naturaleza proteica de la témpera. También permitió identificar oxalatos,

Corán de Ceuta

Tratado de Teología

Fechado por
Ismaël Diadié
Haïdara

1198

14th c.



Soporte

Pergamino

Papel

Papel

Est. cons. tintas

*

*

Est. cons. soporte

**

*

*

Azul/púrpura



Lapislázuli

Azurita

Púrpura de orceína

Rojo orgánico



Rojo de goma laca

Rojo de goma laca

Rojo orgánico

Amarillo



Pararrejalgar

Pararrejalgar

-

Oro



Hoja de oro

Hoja de oro

Hoja de oro

Rojo inorgánico



-

Bermellón

-

Verde



Proteinato de cobre

-

Tinta usada
como contorno



a base de negro de carbón

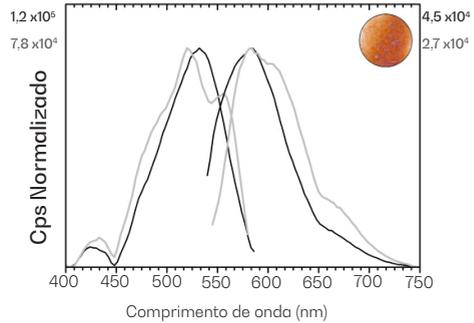
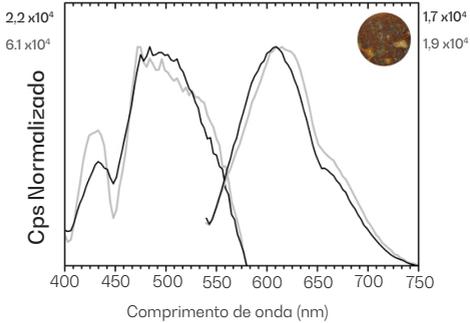
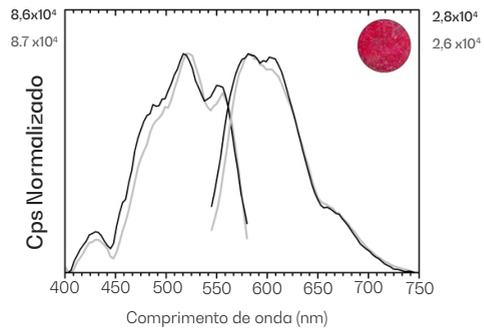
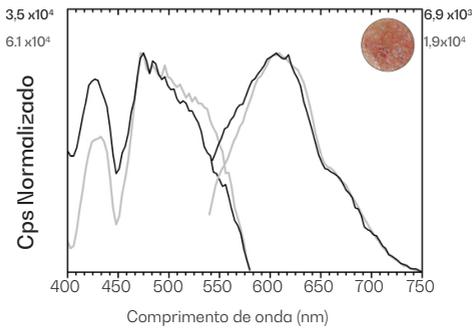
Témpera

a base de proteínas y polisacáridos

polisacáridos

		Biografía del Profeta Kitāb al-Shifā	Manuscrito 19	Poemas de al-Sharishī
Fechado por Ismaël Diadié Haïdara		1468	1485	1468
				
Soporte		Papel	Papel	Papel
Est. cons. tintas		***	***	***
Est. cons. soporte		*	*	*
Azul/púrpura		Azurita	Azurita	Azurita
Rojo orgánico		Rojo de goma laca	Rojo de goma laca	Rojo de goma laca
Amarillo		-	Bermellón + oropimente	Pararrejalgar + amarillo orgánico
Oro		Hoja de oro y oro como tinta	-	Oro aplicado como tinta
Rojo inorgánico		Bermellón	Bermellón	Bermellón
Verde		-	-	-
Tinta usada como contorno			a base de negro de carbón	
Témpera		proteínas y polisacáridos	a base de proteínas	polisacáridos

Tabla 1. Pigmentos, colorantes y medio ligante identificados en los manuscritos del Fondo Kati y valoración de su estado de conservación, de malo (*) a bueno (**). Los colorantes se presentan por orden de importancia en los manuscritos. Elaboración propia

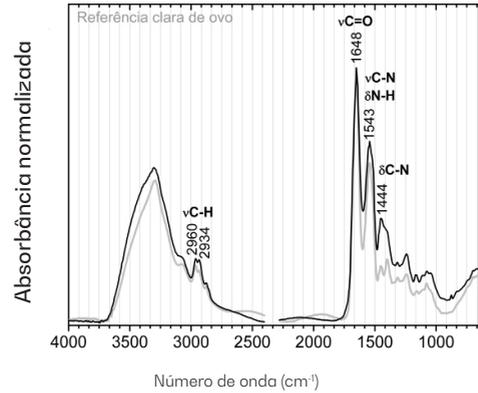
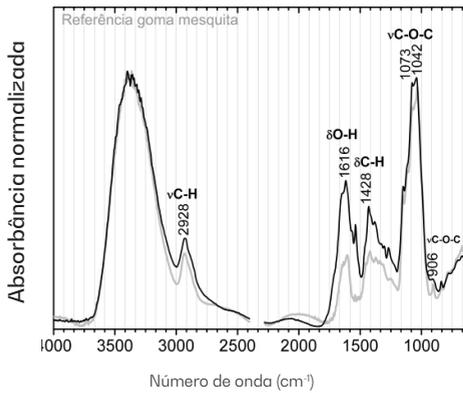
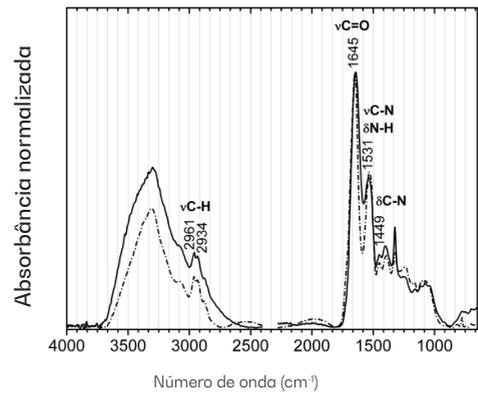
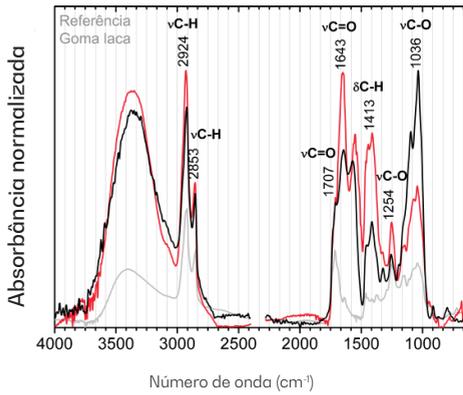


La receta utilizada se puede encontrar usando espectros de fluorescencia en el ultravioleta-visible. Espectros de excitación (simulan el espectro de absorción) y emisión de los rojos orgánicos en los manuscritos árabes (negro) comparados con reconstrucciones de tintas medievales de goma laca (gris). En el *Corán de Ceuta* y en el *Manuscrito 19*, la comparación se lleva a cabo con la receta del rojo de rubí de Ibn Badis; en los *Poemas de al- Sharishi*, en el *Tratado de Teología* y en la *Biografía del Profeta*, con la receta 113 del manuscrito de Padua (Vieira et ál. 2019)

posiblemente resultantes de la degradación de la proteína, una marca de la historia reciente y dramática de estos libros. Y también en este caso, en el *Tratado de Teología* se utilizó una ténpera que se puede comparar a algo del tipo de goma de mezquite (similar a la goma arábiga).

La posibilidad de encontrar formulaciones similares utilizadas en los *scriptoria* monásticos portugueses resultaba muy interesante. Así pues,

utilizando la microespectrofluorimetría en el ultravioleta-visible, la formulación de los *Poemas de al-Sharishī* y de la *Biografía del Profeta* era similar a la del rojo oscuro utilizado en el *Libro de las Aves*, Lorvão 5. En el *Corán de Ceuta* y en el *Manuscrito 19* se encuentra un color rojo utilizado en el *Lectioarium Temporale*, Lorvão 13 (Vieira et ál. 2019). Por otra parte, mediante los espectros de infrarrojos se pudo observar que la forma de temperar los colores en el *Corán de Ceuta* y en el *Manuscrito 19*

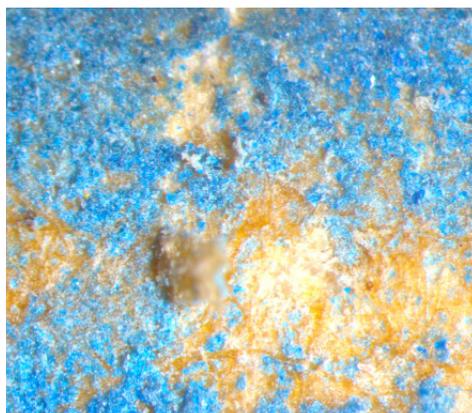
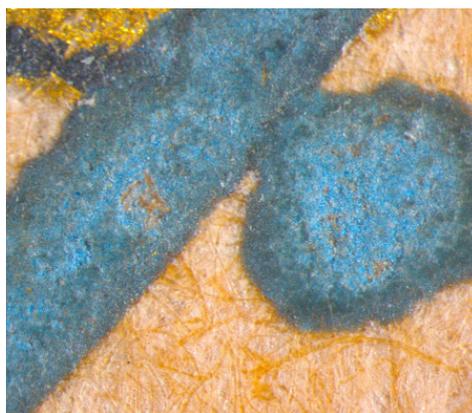
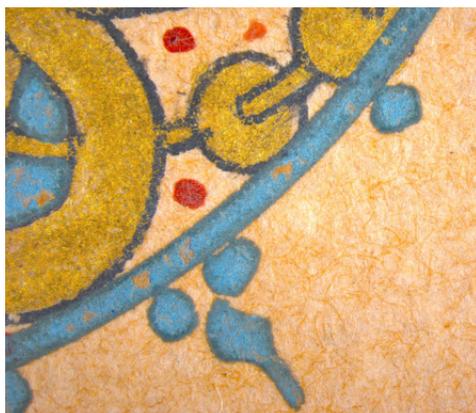


La formulación de la tinta, incluidas la ténpera y otros aditivos importantes, se puede caracterizar utilizando la espectroscopia de infrarrojos. Espectros de infrarrojos de los rojos orgánicos en los manuscritos árabes: de izquierda a derecha y de arriba abajo, *Corán de Ceuta* (negro) con el *Libro de las Aves* del monasterio de São Mamede de Lorvão (rojo) y una referencia de goma laca (gris); comparación entre el *Manuscrito 19* (negro) y la *Biografía del Profeta* (punteado); *Tratado de Teología* (negro) con una referencia de goma de mezquite (gris); y Biblia del monasterio de Santa Cruz de Coímbra (negro) con una referencia de clara de huevo (gris) (Vieira et ál. 2019)

son diferentes. La ténpera del *Corán de Ceuta* se puede comparar con la del *Libro de las Aves* del monasterio de Lorvão, y la del *Manuscrito 19* se puede comparar con uno de los rojos de goma laca de la monumental *Biblia* del monasterio de Santa Cruz (Sta. Cruz 1). En el *Libro de las Aves*, además de la ténpera proteica, encontramos

una gran cantidad de resina de goma laca, mientras que en el *Manuscrito 19* no se encuentra esta resina, ya que solo se identifica la ténpera proteica (Vieira et ál. 2019).

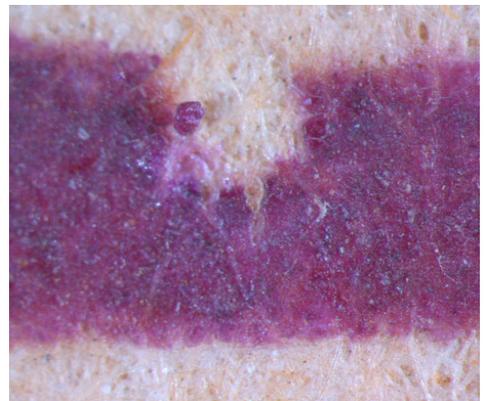
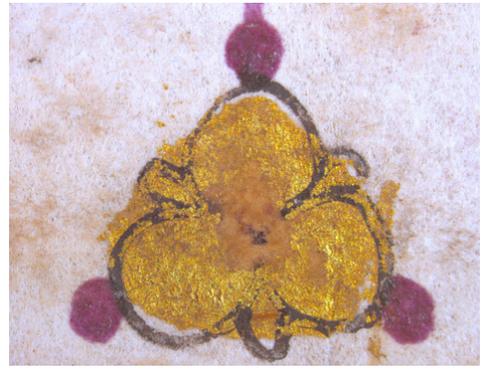
Además, las buenas comparaciones espectrales con las referencias permiten concluir que parte del cromó-



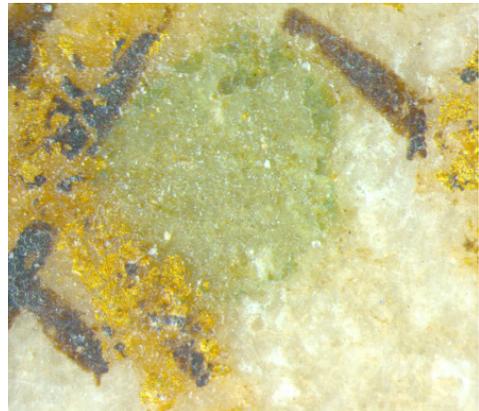
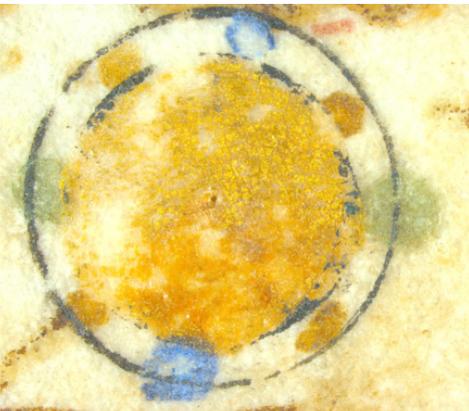
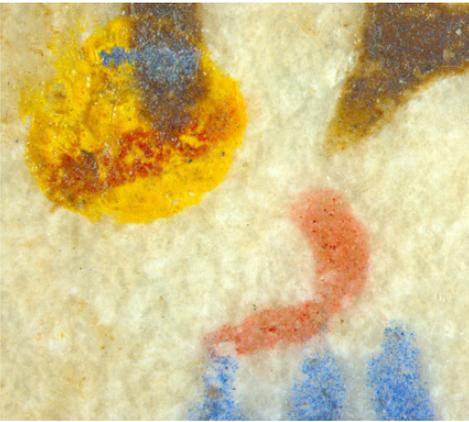
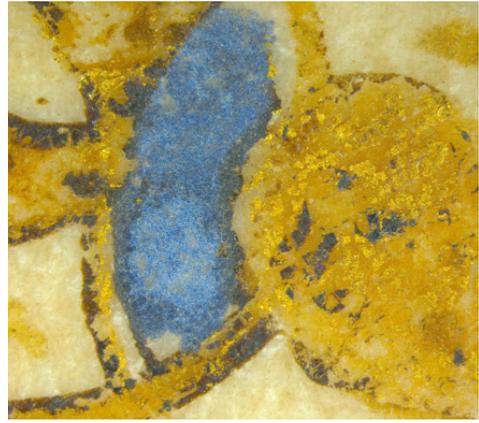
Tres tonos de azul diferentes encontrados en la *Biografía del Profeta* (detalles): un azul luminoso, un azul intenso y un azul bajo una fina capa de barniz, posiblemente una velatura de tono amarillo o verdoso. Como el azul destaca sobre el soporte, cabe la posibilidad de que los otros azules hayan recibido un barniz de este tipo que les podría aportar una tonalidad verde.



El *Manuscrito 19* es el único en el que se utiliza el color naranja. No se basa en el minio, como es habitual en la producción europea, sino que se obtiene mezclando bermellón con oropimente, una combinación frecuente en los manuscritos árabes. Se usa en las iluminaciones a toda página del f. 110r (izquierda) y f. 218v (derecha) (Melo et ál. 2022)



Púrpura encontrado en el Tratado de Teología, f. 43v (detalles). Este púrpura podría ser un sustituto del azul identificado en todos los manuscritos, salvo en esta obra (Melo et ál. 2022)



Colores del *Corán de Ceuta* (detalles). En el f. 30r, de izquierda a derecha y de arriba abajo: azul de lapislázuli y oro, amarillo de arsénico y verde botella (verde cobre sobre una matriz proteica) (Melo et ál. 2022)

foro se encuentra bien conservado. Por otra parte, los datos infrarrojos indican que algunas de las témperas proteicas presentan indicios de una elevada degradación (Vieira et ál. 2019). Estos materiales altamente caracterizados permiten entender mejor los materiales y técnicas utilizadas para iluminar, pintar y escribir en el mundo árabe, y relacionarlas con una época y/o un lugar de producción.

Azules de azurita y uno de lapislázuli

Salvo en el *Corán de Ceuta*, en donde en las páginas de pergamino se utilizó lapislázuli, todos los azules se obtuvieron a partir de azurita. Cabe destacar la sofisticada aplicación de la azurita en la *Biografía del Profeta*, ya que encontramos el uso de tres tonos de azul: i) un tono más luminoso, en el que no se observa el grano al microscopio, pero sí una tinta homogénea que se aplica en los entrelazados de las viñetas junto con el oro; ii) un azul en el que resulta muy nítido el tamaño de los granos, que presentan colores variados, incluido un azul muy intenso; iii) y un tono de azul por encima del cual se aplicó un barniz amarillo o verde (velatura) para crear sombra y dar volumen a la letra.

En general, las tintas de azurita presentan lagunas provocadas por la pérdida de adherencia del grano, la cual puede deberse al tamaño del mismo, que pro-

duce una menor superficie de contacto entre el aglutinante y el pigmento.

Los amarillos

En el *Corán de Ceuta* y en los *Poemas de al-Sharishī* se encontró pararrejalgar, posiblemente mezclado con oropimente. No pudimos descubrir si el uso del pararrejalgar fue premeditado o si se trata del resultado de la degradación del pigmento rejalgar. El amarillo de los *Poemas de al-Sharishī* presenta también un barniz, probablemente para aportar brillo a la escritura. En este manuscrito también se utiliza un amarillo orgánico que no se pudo identificar.

En los manuscritos del *Tratado de Teología* y de la *Biografía del Profeta* no se utilizan colorantes amarillos, solo oro. Este se encontró también en los demás manuscritos en hoja o en polvo (salvo en el *Manuscrito 19*).

Otros colores: rojo naranja, púrpura y verde

Además del rojo de naturaleza orgánica, encontramos un segundo tipo de rojo basado en el bermellón (HgS) en la *Biografía del Profeta*, en el Manuscrito 19 y en los *Poemas de al-Sharishī*, pero también en el folio 70 de papel del *Corán de Ceuta*, en donde, asimismo, detectamos la presencia de azurita.

El Manuscrito 19 presenta un color único en el conjunto analizado: un naranja obtenido a partir de la mezcla de oropimente y bermellón. Se utiliza en las iluminaciones a toda página del f. 218v y en el f. 110r.

El color púrpura solo se utiliza en el *Tratado de Teología*, posiblemente un púrpura de orceína o *folium* (Melo et ál. 2016).

El verde solo se utilizó en *el Corán de Ceuta* y para la creación de un color verde en la *Biografía del Profeta*. En *el Corán de Ceuta* se empleó un verde de cobre en una matriz proteica, con una impresión digital similar a la del verde botella de la iluminación monástica portuguesa (Melo et ál. 2014; Melo et ál. 2019). En la *Biografía del Profeta* se encuentra un azul verdoso, no el verde botella del *Corán de Ceuta*. Al contrario de lo que sucede con el verde botella, este azul verdoso se “construyó” en el propio manuscrito mediante la aplicación de una velatura amarilla sobre un azul de azurita, la cual podría haber destacado con el paso del tiempo.

Cabe señalar el buen estado de los colores, que contrasta con la deficiente conservación del soporte de papel. Y es importante subrayar que, aunque los folios de pergamino del *Corán de Ceuta* presenten un estado de conservación notablemente mejor que los de papel,

son los que muestran más daños en las tintas, ya que de muchas de ellas solo quedan vestigios.

Las tintas de escritura negras: un análisis preliminar

El *Tratado de Matemáticas* no cuenta con iluminaciones ni otros colores en el texto y, por lo tanto, se incluye aquí debido a que es la tinta negra la única usada. El análisis por microscopía Raman no muestra la presencia de una tinta ferrogálica, pero sí de una tinta de carbón, posiblemente negro de huesos. Y también se puede detectar tinta de carbón en los bordes de las iluminaciones de los manuscritos y en el texto de los *Poemas de al-Sharishi*. Mediante microscopía Raman se detectaron complejos de hierro con galotaninos en la *Biografía del Profeta*, en *el Manuscrito 19* y en *el Tratado de Teología*, lo cual concuerda con la presencia de hierro y cobre, elementos detectados por XRF.

Los colores del Fondo Kati en su contexto

Cuando se comparan los pigmentos utilizados en la iluminación medieval europea con los del Fondo Kati, se constata la ausencia de dos pigmentos clave: el blanco de plomo y el rojo de plomo (también llamado minio). Más concretamente, el blanco de plomo resulta fundamental para realzar los

colores y crear destacados, así como para producir colores claros (por ejemplo, rosa claro, azul claro, etc.). En la investigación de Roger (Magreb), que abarca desde el siglo IX al primer cuarto del XIX, este pigmento se detectó en solo un manuscrito. En el amplio estudio de Eremin (islam oriental), el minio se utiliza como pigmento, y el blanco de plomo entra en la paleta a partir del siglo XIV, aunque se detecta su uso ya en el siglo XIII. Sabemos que estos pigmentos a base de plomo tienden a oscurecerse, sobre todo si en el mismo manuscrito se utilizan colores a base de arsénico, como el oropimente, los cuales pueden actuar como catalizadores de este oscurecimiento al transformar los pigmentos a base de plomo en sulfuros de arsénico. ¿Existirá alguna relación entre la ausencia de estos dos pigmentos y la conservación del color? ¿Y con otros aspectos en la esfera de lo simbólico? La paleta detectada en esos manuscritos árabes se puede comparar con la identificada

en los manuscritos árabes procedentes del Magreb, y se aleja de la producción de influencia persa.

Finalmente, la práctica ausencia del color verde resulta desconcertante, ya que se trata de un color muy importante para el islam. Se detectó un verde del cobre en la parte más antigua del *Corán de Ceuta*. Creemos que el barniz utilizado sobre el azul en la *Biografía del Profeta* sirve para crear un verde, ya que existe una buena comparación de este color con un verde malaquita mediante sus espectros de reflectancia en el visible. ¿Estará ausente el verde en estos manuscritos? ¿O deberemos tener en cuenta su estado de conservación, consecuencia de su dramática historia y diáspora? Estas circunstancias pueden haber provocado la pérdida de este barniz amarillento o verdoso que permite construir un tono verde por encima del azul de azurita. Será un aspecto muy interesante para estudiar en el futuro.

Bibliografía

Alexander, J.J.G. (1992) *Medieval Illuminators and Their Methods of Work*. New Haven y Londres: Yale University Press

Arias, T.E. (1996) Estudio y tratamiento de un Corán manuscrito del siglo XV. Biblioteca de los Padres Escolapios, Granada. *revista PH*, n.º 15, pp. 53-59

Arias, T.E., Montes, A.L., Bueno, A.G., Benito, A.D. y Carcía, R.B. (2008) A study about colourants in the Arabic manuscript collection of the Sacromonte Abbey, Granada, Spain. A new methodology for chemical analysis. *Restaurador*, vol. 29, n.º 2, pp. 76-106

Ball, P. (2008) *Bright Earth. The Invention of Colour*. Londres: Vintage Books

Beny, A., Torres, A. y Pablo, J. (2015) Andalusí binding: a model of Islamic binding from the Iberian Peninsula, 14th-16th century. *Journal of Islamic Manuscripts*, vol. 6, pp. 157-173

Biddle, M. (2011) Inks in the Islamic manuscripts of Northern Nigeria old recipes, modern analysis and medicine. *Journal of Islamic Manuscripts*, vol. 2, n.º 1, pp. 21-35

Burgio, L., Clark, R.J.H., Muralha, S.F. y Stanley, T. (2008) Pigment analysis by Raman microscopy of the non-figurative illumination in 16th- to 18th-century Islamic manuscripts. *Journal of Raman Spectroscopy*, vol. 39, n.º 10, pp. 1482-1493

Castro, R., Miranda, A. y Melo, M.J. (2016) Interpreting lac dye in medieval written sources: new knowledge from

the reconstruction of recipes relating to illuminations in Portuguese manuscripts. En: *Sources in Art Technology: Back to basics*. Londres: Archetype Publication, pp. 88-99

Chaplin, T.D., Clark, R.J.H., McKay, A. y Pugh, S. (2006) Raman spectroscopic analysis of selected astronomical and cartographic folios from the early 13th century Islamic 'Book of Curiosities of the Sciences and Marvels for the Eyes'. *Journal of Raman Spectroscopy*, vol. 37, n.º 8, pp. 865-877

Darzi, M., Stern, B., Edwards H.G.M., Surtees, A. y Rächti, M.L. (2021) A study of colourant uses in illuminated Islamic manuscripts from the Qājār period (1789-1925 C.E.), early modern Iran. *Journal of Archaeological Science: Reports*, vol. 39, pp. 1-12

De Hamel, C. (2001) *The British Library Guide to Manuscript Illumination: History and Techniques*. Toronto: Toronto University Press

De Hamel, C. (1992) *Medieval Craftsmen. Scribes and Illuminators*. Toronto: Toronto University Press

De Hamel, C. (1986) *A History of Illuminated Manuscripts*. Oxford: Phaidon Press

De Rennes, M. y Basile, B. (ed.) (2006) *Lapidari. la magia delle pietre preziose*. Roma: Carocci

Déroche, F. (2005) *Islamic codicology: an introduction to the study of manuscripts in Arabic script*. Londres: Al-Furqan Islamic Heritage Foundation

- Durán, A., Franquelo, M.L., Centeno, M.A., Espejo, T. y Pérez-Rodríguez, J.L. (2011) Forgery detection on an Arabic illuminated manuscript by micro-Raman and X-ray fluorescence spectroscopy. *Journal of Raman Spectroscopy*, vol. 42, n.º 1, pp. 48-55
- El Bakkali, A., Lamhasni, T., Haddad, M., Lyazidi, S.A., Sánchez-Cortes, S. y Puerto, E. (2012) Noninvasive micro Raman, SERS and visible reflectance analyses of coloring materials in ancient Moroccan Islamic manuscripts. *Journal of Raman Spectroscopy*, vol. 44, n.º 1, pp.114-120
- Eraclius (1996) *I colori e le arti dei romani e la compilazione pseudo-eraciana*. Romano, C.G. (trad. y ed.). Nápoles: Il Mulino
- Hamdan, N.M., Alawadhi, H. y Jisrawi, N. (2012) Integration of μ -XRF, and μ -Raman techniques to study ancient Islamic manuscripts. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 37
- Hawthorne, J.G. y Smith, C.S. (1979) *Theophilus: On divers arts. The foremost Medieval Treatise on Painting, Glassmaking and Metalwork*. Nueva York: Dover Publications
- Kantoğlu, O., Ergun, E., Kırmaz, R., Kalaycı, Y., Zararsız, A. y Bayır, Ö. (2018) Colour and ink characterization of Ottoman diplomatic documents dating from the thirteenth to the twentieth century. *Restaurator: Internation Journal for the Preservation of Library and Archival Material*, vol. 39, n.º 4, pp. 265-288
- Knipe, P., Eremin, K., Walton, M., Babini, A. y Rayner, G. (2018) Materials and techniques of Islamic manuscripts. *Heritage Science*, vol. 6, n.º 55, pp. 1-40
- Koochakzadeh, A., Gharetapeh, S.A., Bidgoli, B.J. (2022) Identification of pigments used in a Qajar manuscript from Iran by using atomic and molecular spectroscopy and technical photography methods. *Heritage Science*, vol. 10, n.º 30, pp. 1-16
- Lombard M. (2012) *Les textiles dans le monde musulman du VIIIe au XIIIe siècle*. Paris: Éditions de l'ÉHESS
- Melo, M.J. (2009) History of natural dyes in the ancient Mediterranean world. En: *Handbook of Natural Colorants*. Nueva York: John Wiley & Sons, pp. 3-18. Disponible en: http://media.johnwiley.com.au/product_data/excerpt/90/04705119/0470511990.pdf [Consulta: 24/10/2022]
- Melo, M.J. y Claro, A. (2010) Bright light: microspectrofluorimetry for the characterization of lake pigments and dyes in works of art. *Accounts of Chemical Research*, vol. 43, n.º 6, pp. 857-866
- Melo, M. J., Castro, R. y Miranda, A. (2014) Colour in Medieval Portuguese Manuscripts: Between Beauty and Meaning. En: *Science and Art: The Painted Surface*. Cambridge: Royal Society of Chemistry, pp. 170-192
- Melo, M.J., Castro, R., Nabais, P. y Vitorino, T. (2018) The book on how to make all the colour paints for illuminating books: unravelling a Portuguese Hebrew illuminators' manual. *Heritage Science*, vol. 6, pp. 1-8
- Melo, M.J. y Miguel, C. (2012) The making of vermilion in medieval Europe:

historically accurate reconstructions from *The book on how to make colours*. En: *Fatto d'Archimia. Los pigmentos artificiales en las técnicas pictóricas*. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, pp. 181-196

Melo, M.J., Miranda, M.A., Miguel, C., Castro, R., Lemos, A., Muralha, V.S.F., Lopes, J.A. y Gonçalves, A.P. (2011) The colour of medieval Portuguese illumination: an interdisciplinary approach. *Revista de História da Arte*, n.º 1, pp. 153-173. Disponible en: <http://revistadehistoriadaarte.files.wordpress.com/2011/09/art11.pdf> [Consulta: 24/10/2022]

Melo, M.J., Nabais, P., Araújo, R. y Vitorino, T. (2019) The conservation of medieval manuscript illuminations: a chemical perspective. *Physical Sciences Reviews*, vol. 4, n.º 8

Melo, M.J., Nabais, P., Guimarães, M., Araújo, R., Castro, R., Oliveira, M.C. y Whitworth, I. (2016) Organic dyes in illuminated manuscripts: a unique cultural and historic record. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, vol. 374, pp. 1-20

Melo, M.J., Otero, V., Vitorino, T., Araújo, R., Muralha, V.S.F., Lemos, A. y Picollo, M. (2014) A spectroscopic study of

brazilwood paints in medieval Books of Hours. *Appl Spectrosc*, vol. 68, n.º 4, pp. 434-444

Melo, M.J., Nabais, P., Araújo, R., Otero, V., Lopes, J., Martín, L. (2022) Between past and future: advanced studies of ancient colours to safeguard cultural heritage and new sustainable applications. *Dyes and Pigments*, vol. 208, pp. 1-12. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143720822007379>

Miguel, C., Lopes, J.A., Clarke, C. y Melo, M.J. (2012) Combining infrared spectroscopy with chemometric analysis for the characterization of proteinaceous binders in medieval paints. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, vol. 119, pp. 32-38

Miranda, M.A. y Melo, M.J. (2015) Secrets et découvertes en couleur dans les manuscrits enluminés. En: *Portuguese Studies on Medieval Illuminated Manuscripts. New approaches and methodologies*. Turnhout: Brepols Publishers, pp. 1-29

Miranda, M.A. y Nascimento, A.A. (1999) *Iluminura em Portugal: identidade e influências: catálogo de exposição*. Lisboa: Biblioteca Nacional

- Muralha, V.S.F., Miguel, C. y Melo, M.J. (2012) Micro-Raman study of Medieval Cistercian 12-13th century manuscripts: Santa Maria de Alcobaça, Portugal. *Journal of Raman Spectroscopy*, vol. 43, n.º 11, pp. 1737-1746
- Nabais, P., Melo, M.J., Lopes, J.A., Vieira, M., Castro, R. y Romani, A. (2021) Organic colorants based on lac dye and brazilwood as markers for a chronology and geography of medieval *scriptoria* and workshops: a chemometrics approach. *Heritage Science*, vol. 9, pp. 32
- Oubelkacem, Y., Lamhasni, T., El Bakkali, A., Lyazidi, S.A., Haddad, M. y Ben-Ncer, A. (2021) Parchments and coloring materials in two IXth century manuscripts: On-site non-invasive multi-techniques investigation. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 247, pp. 1-11
- Roger, M.P., Malika, S. y Déroche, F. (2004) Les matériaux de la couleur dans les manuscrits arabes de l'Occident musulman. Recherches sur la collection de la Bibliothèque générale et archives de Rabat et de la Bibliothèque nationale de France (note d'information). *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*, vol. 148, n.º 2, pp. 799-830
- Roger-Puyo, P. y Boucetta, S. (2015) Les matériaux de l'écrit et des décors dans des manuscrits islamiques provenant du Maghreb. *Journal of Islamic Manuscripts*, vol. 6, n.º 2-3, pp. 311-334
- Strolovich, D.L. (2005) *Old Portuguese in Hebrew Script: convention, contact, and convivência*. Tesis doctoral inedita. Cornell University
- Tanevska, V., Nastova, I., Minčeva-Šukarova, B., Grupče, O., Özçatal, M., Kavčić, M. y Jakovlevska-Spirovska, Z. (2014) Spectroscopic analysis of pigments and inks in manuscripts: II Islamic illuminated manuscripts (16th-18th century). *Vibrational Spectroscopy*, vol. 73, pp. 127-137
- Thompson, D.V. (1932) The "De clarea" of the so-called "Anonymous Bernensis". *Technical Studies in the Field of the Fine Arts*, vol. 1, pp. 2-25
- Vieira, M., Nabais P., Angelin, E.M., Araújo R., Lopes J.A., Martín, L., Sameño, M., Melo, M.J. (2019) Organic red colorants in Islamic manuscripts (12th-15th c.) produced in al-Andalus, part 1. Dyes and Pigments, vol. 166, pp. 451-459