

Efecto de agentes ambientales en el cromatismo de pigmentos con aglutinantes pictóricos para su aplicación en conservación y restauración patrimonial

José Rodríguez Gordillo **01**| María Paz Sáez Pérez **02**| Jorge Alberto Durán Suárez **03**|

Mediante reflectancia espectral difusa, se ha estudiado el efecto cromático que producen la radiación UVA, el aumento de la temperatura y los procesos de humectación de ocho pigmentos en diferentes medios aglutinantes propios de la pintura en aplicaciones artísticas, así como en su conservación y restauración. Estas preparaciones fueron seleccionadas abarcando tanto los medios clásicos como los propios de las técnicas pictóricas más extendidas y actuales.

Los resultados han puesto de manifiesto el comportamiento o la efectividad de cada uno de ellos en los diferentes procedimientos. En este estudio los diversos agentes ensayados producen la disminución de la luminosidad sobre variados aglutinantes, mientras que el efecto sobre la saturación y el tono ha sido menor. Los pigmentos amarillo de cromo y naranja de molibdeno resultaron más estables en los diferentes medios, mientras que los pigmentos tierra verde y azul ultramar fueron afectados en mayor grado. Los resultados demuestran la utilidad del método para determinar el comportamiento de un determinado pigmento en un medio dado y para predecir posibles variaciones de matiz, saturación y luminosidad.

Palabras clave

Aglutinante | Colorimetría | Conservación (patrimonio) | Pigmentos inorgánicos | Pinturas | Técnicas pictóricas | Reflectancia espectral | Restauración del patrimonio |

Effect of environmental agents in the color of pigments with pictorial binders for their application in conservation and heritage restoration

José Rodríguez Gordillo **01**| María Paz Sáez Pérez **02**| Jorge Alberto Durán Suárez **03**|

By diffuse spectral reflectance, the chromatic effect of UVA radiation, high temperatures, and humectation processes by eight pigments was studied in different media used in pictorial techniques and painting conservation. These media were selected so that they would cover both classical media as well as those in use at present.

The experiments indicated the behavior or effectiveness of each of these in each medium: thus in this study the different media generally diminished luminosity, while the effect on saturation and hue were minor. Chrome yellow and molybdenum orange proved more stable in the different media, while green earth and ultramarine blue were more strongly affected. The results demonstrate the usefulness of the method for ascertaining the action of a certain pigment in a given medium and for predicting possible variations in hue, saturation or luminosity.

Keywords

Binding medium | Colorimetry | Conservation (heritage) | Inorganic pigments | Paints | Pictorial techniques | Reflectance spectral | Restoration |

URL de la contribución <<http://www.iaph.es/phinvestigacion/index.php/phinvestigacion/article/view/52>>

01| Dpto. de Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada **02**| Dpto. de Construcciones Arquitectónicas, Universidad de Granada **03**| Dpto. de Escultura y Restauración, Universidad de Granada

1

Publicado en el número 1 (diciembre 2013) de esta revista: <<http://www.iaph.es/phinvestigacion/index.php/phinvestigacion/article/view/7>>

INTRODUCCIÓN

En un artículo anterior¹ los autores (RODRÍGUEZ GORDILLO; SÁEZ PÉREZ; DURÁN SUÁREZ, 2013: 25-45) pusieron de manifiesto las incidencias de los medios aglutinantes sobre el comportamiento cromático de los pigmentos usados en el presente trabajo. Estas incidencias resultaron diversas dependiendo de la naturaleza tanto de los pigmentos como de los medios aglutinantes, destacándose sobre todo su efecto sobre la luminosidad y capacidad colorante (saturación) de la mezcla resultante, y, en mucha menor medida, sobre la tonalidad o longitud de onda dominante que los pigmentos proporcionan.

Dadas las diversas contingencias ambientales a las que las obras de arte han estado expuestas, o podrían estarlo eventualmente, parece oportuno comprobar la incidencia de los agentes ambientales más usuales (radiación ultravioleta, temperatura y humedad elevada) susceptibles de afectar negativamente a dichas obras.

Diversos estudios (SCHAWARTZ; KOSSMAN; SCHWEIGGER, 1999: 75-72; DOERNER, 1998; VIGNOLO; VARELA LÓPEZ; CALVO, 1998: 52-58; MAYER, 1988; CUTHRONE, 1986: 83-88; PATTON, 1979; BIERWAGEN, 1975: 101-106; ASBECK; VAN LOO, 1949: 1470-1477) han establecido con carácter general el comportamiento de los pigmentos en algunos medios pictóricos, en función de las características físico-químicas del material.

Más recientes son los estudios centrados en las propiedades de los distintos materiales pictóricos, de sus posibles y eventuales alteraciones, y de sus interacciones con las condiciones ambientales, tanto para las sustancias tradicionales como para las más modernas utilizadas en restauración, siempre en el marco de las técnicas más comunes empleadas en la conservación, tal es el caso de Huertas Torrejón (2010), Palet (2002), Matteini y Moles (2002) o Pedrola (2004).

Las condiciones ambientales a las que se ven expuestas y sometidas las obras pictóricas hacen necesario reproducir en el ámbito/contexto del laboratorio esas situaciones, en la modalidad de ensayos de envejecimiento acelerado, para poder conocer los efectos que producen sobre las mismas.

En el presente trabajo, y partiendo del anterior ya citado, se estudia, mediante medidas de reflectancia espectral difusa, el efecto que la exposición a radiación ultravioleta de alta energía, calentamiento a 100 °C y mantenimiento en ambiente alta humedad relativa, ejerce sobre los ocho pigmentos seleccionados, en preparaciones con los

aglutinantes que se presentan. Evaluar este efecto parece esencial para programar unas adecuadas medidas de conservación y preservación del patrimonio pictórico, así como de poder conocer y evaluar las causas de posibles deterioros, imprescindible para las necesarias intervenciones restauradoras.

La aplicación de técnicas instrumentales en la determinación del color han resultado claves en estudios sobre el patrimonio pictórico, tanto en el ámbito del conocimiento de la naturaleza y comportamiento cromático de los elementos presentes (pigmentos, aglutinantes), como en el campo de la conservación y restauración del mismo (RODRÍGUEZ GORDILLO; SÁEZ PÉREZ; DURÁN SUÁREZ, 2013: 25-45). Los valores de diferencias de color (color total, ΔE ; luminosidad, ΔL ; tono, ΔH ; y saturación, ΔC) entre las diversas preparaciones pigmento/aglutinante, antes y después de su exposición a los agentes señalados, nos indicará en cuál de ellos se ejerce un mayor efecto, y que podrá ser cuantificado debido al carácter instrumental del control seguido.

MATERIALES Y MÉTODOS

De acuerdo con la investigación precedente, ocho han sido los pigmentos inorgánicos estudiados con cuya elección se ha intentado recoger la mayor parte de tonos que participan en la paleta de un pintor, policromador o restaurador de obras de arte. En la tabla 1 (ver página 38) se recogen estos pigmentos, con su código de color (AATCC, 2002a) y composición química.

Igualmente, y respecto a los diferentes medios aglutinantes, doce fueron los seleccionados; unos de uso clásico y otros de introducción más reciente, propios de las técnicas pictóricas más extendidas y actuales (óleo, barniz, encáustica, temple y acuarela o témpera) para uso tanto en pintura de caballete como en monumentos (esculturas, retablos, frescos...).

En la tabla 2 (ver página 38) se recogen estos medios y las técnicas más frecuentes en las que son usados. En cada caso, las preparaciones han respondido a las siguientes proporciones: 1 g de pigmento, 1 ml de disolvente y 1 ml de aglutinante.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el estudio anterior (RODRÍGUEZ GORDILLO; SÁEZ PÉREZ; DURÁN SUÁREZ, 2013: 25-45), y a fin de superar los inconvenientes que se relatan en el mismo, las preparaciones se colocaron sobre soportes-plaquitas que fueron extendidas en los soportes de escayola mediante pincel plano (número 5) de pelo natural de marta cibelina, efectuándose

Pigmento	Nombre	Código de Color	Tipo de Compuesto
1	Tierra Verde	PG23	Silicoaluminato, de Fe(II), Mg y K
2	Amarillo de Cromo	PY34	Cromato de plomo
3	Naranja de Molibdeno	PR104	Cromato de plomo, sulfato y molibdato
4	Ocre	PY43	Hidróxido de hierro
5	Verde de Cromo	PG15	Óxido de cromo
6	Siena Natural	PBr7	Óxido de hierro, natural calcinado
7	Amarillo de Zinc	PY36	Cromato de Zinc
8	Azul Ultramarino	PB29	Polisulfuro de sodio-aluminosilicato

Tabla 1 |

Listado de los pigmentos utilizados en este estudio, con indicación del código de color referencia internacional de fabricantes de pigmentos y colores, según American Association of Textile Chemists and Colorists y Society of dyers and colourists (AATCC, 2002a) y su composición química

Iniciales	Aglutinante	Disolvente	Técnica de aplicación
AD	Aceite de Adormidera	Trementina y White Spirit	Pintura al óleo
LC	Aceite de Linaza Crudo	Trementina y White Spirit	Pintura al óleo
LP	Aceite de Linaza Polimerizado	Trementina y White Spirit	Pintura al óleo
D	Resina Dammar	Trementina y White Spirit	Barniz
LTV	Aceite de linaza y Trementina de Venecia	Trementina y White Spirit	Barniz
ALM	Barniz de Almáciga y Trementina de Venecia	Trementina y White Spirit	Barniz
MWD	Dispersión de resina vinílica Mowilith DMC-2F	Agua	Temple vinílico al agua
MWR	Resina vinílica Mowilith 35/73 (F)	Trementina y disolvente nitro celulósico	Temple vinílico al disolvente
PAV	Alcohol polivinílico Rhodorsil (Moviol) 4/125	Agua	Temple sintético al agua
ARA	Goma Arábica	Agua	Guache y acuarela
EN	Cera blanca	Trementina y White Spirit	Encáustica
ENR	Cera blanca y resina Dammar	Trementina y White Spirit	Encáustica

Tabla 2 |

Listado de aglutinantes clásicos y actuales, con indicación, en su caso, de marca comercial, disolvente y técnica pictórica aplicada más habitual (DOERNER, 1984)

un total de cuatro aplicaciones. Para evitar posibles decoloraciones, irregularidades y otros defectos en el resultado final, las aplicaciones se hicieron en sentido cruzado, cuando la capa inferior se encontraba “mordiente”.

Un total de 288 muestras se realizaron en este estudio, obteniéndose 5 determinaciones por muestra. Tras el secado de las mismas se procedió a su medición colorimétrica con un espectrofotómetro marca Ultra Scan de HunterLab perteneciente al Departamento de Óptica de la Universidad de Granada.

La medición se llevó a cabo tomando datos cada 5 nm, dentro del intervalo visible mencionado, sobre un área de la muestra de aproximadamente 2.5 cm de diámetro y manteniendo una geometría de iluminación/observación tipo difusa a 8°. Se excluyó en todas las mediciones la componente especular de la reflexión, según recomendación en estos casos la Comisión Internacional de Iluminación, CIE (JUDD; WYSZECKI, 1975).

Posteriormente se evaluó la incidencia de la radiación ultravioleta en las muestras y su posible variación de reflectancia espectral mediante espectrofotómetro, por lo que previamente fueron expuestas durante 500 horas a dicha radiación ultravioleta en una cámara de envejecimiento ambiental, marca QUV Accelerated Weathering Tester con intervalo de radiación desde 280 a 400 nm.

Análogamente, y después de la medida de su reflectancia espectral difusa, otras muestras fueron sometidas a calentamiento por convección a 100 °C durante 50 horas. En estufa de secado para alta temperatura con circulación de aire forzado para temperaturas desde 60, hasta 400 °C, con resolución de 1 °C. Tras su enfriamiento a temperatura ambiente se procedió a la medida de su reflectancia espectral difusa con espectrofotómetro.

Tras estos procesos, las preparaciones se mantuvieron durante un mes en un medio de humedad saturada, en una campana de desecación de vidrio conteniendo agua destilada, a temperatura ambiente controlada de 22 °C, volviendo a ser medidas con espectrofotómetro, transcurrido este periodo.

A partir de dichos valores de reflectancia se calcularon (RIBERA ROGET; RODRÍGUEZ GORDILLO; SÁEZ PÉREZ, 2009) las coordenadas de cromaticidad CIE-1931 bajo iluminante D65, así como los valores de diferencias de color total (ΔE), luminosidad (ΔL), saturación (ΔC) y tono (ΔH) según las fórmulas CMC (2:1) (AATCC, 2002b: 311-313) entre la mezcla realizada y el pigmento puro en cada uno de los medios pictóricos ensayados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 3 (ver páginas 42-43) se presentan las diferencias CMC (Color Measurement Committee) de los distintos parámetros cromáticos entre las preparaciones (diferencias de color total, luminosidad, saturación y tono) tras su sometimiento durante 500 horas a radiación ultravioleta, y las mismas preparaciones antes de dicho tratamiento.

Considerando como valor límite necesario para una percepción visual diferencias absolutas de 3 unidades (AATCC, 2002b: 311-313), los resultados ponen de manifiesto que la exposición a radiación ultravioleta de alta energía no ejerce un efecto perceptible en ninguno de los medios ensayados salvo en la mezcla del pigmento número 1 (tierra verde) en MWD (dispersión de resina vinílica Mowilith DMC-2F), que experimenta un cambio cromático hacia tonos más azulados. Así mismo, la mezcla del pigmento número 8 (azul ultramar) con EN (encáustica a base de cera blanca) experimenta un ligero aumento de saturación.

En la tabla 4 (ver páginas 44-45) se presentan las diferencias CMC de los distintos parámetros cromáticos (diferencias de color total, luminosidad, saturación y tono) entre las preparaciones, tras su sometimiento durante 50 horas a 100 °C, y las mismas preparaciones antes de dicho tratamiento.

Se observa que el calentamiento de las preparaciones ha originado efectos generalizados y diversos, y que destacamos pigmento a pigmento:

> Pigmento número 1 (tierra verde-PG23): experimentan disminuciones de saturación las mezclas con AD (aceite de adormidera), LC (aceite de linaza crudo), LP (aceite de linaza polimerizado), D (resina dammar), LTV (aceite de linaza crudo con trementina de Venecia) y ALM (barniz de almáciga con trementina de Venecia); disminuciones de luminosidad en AD (aceite de adormidera), LTV (aceite de linaza crudo con trementina de Venecia) y ALM (barniz de almáciga con trementina de Venecia), así como un relevante cambio de tonalidad en MWR (resina vinílica Mowilith 35/73, F) con desplazamiento a tonos más rojos.

> Pigmento número 2 (amarillo de cromo-PY34): experimentan ligeras pérdidas de saturación y luminosidad las mezclas con LC (aceite de linaza crudo) y LTV (aceite de linaza crudo con trementina de Venecia).

> Pigmento número 3 (naranja de molibdeno-PR104): elevado aumento de saturación con MWD (dispersión de resina vinílica Mowilith DMC-2F) y ligero cambio hacia tonos más amarillos con EN (encáustica a base de cera blanca).

> Pigmento número 4 (ocre-PY43): con EN (encáustica a base de cera blanca) se observan ligeros aumentos de saturación y luminosidad así como un ligerísimo desplazamiento a tono más amarillento. No presenta cambios apreciables en los restantes medios.

> Pigmento número 5 (verde de cromo-PG15): cierto aumento de luminosidad con EN (encáustica a base de cera blanca). No presenta cambios apreciables en los restantes medios.

> Pigmento número 6 (siena natural-PBr7): en las mezclas con EN (encáustica a base de cera blanca) se produce un aumento de luminosidad y saturación, así como desplazamiento hacia tonos más rojizos. No presenta cambios apreciables en los restantes medios.

> Pigmento número 7 (amarillo de zinc-PY36): salvo en D (resina dammar) y ENR (encáustica a base de cera blanca con resina dammar), se observan modificaciones de tipo medio en todas las restantes preparaciones con disminuciones de saturación y luminosidad fundamentalmente.

> Pigmento número 8 (azul ultramarino-PB29): tras el calentamiento, con EN (encáustica a base de cera blanca) se observa un apreciable aumento de saturación y viraje a tonos algo más violáceos. En los restantes medios no hay cambios apreciables.

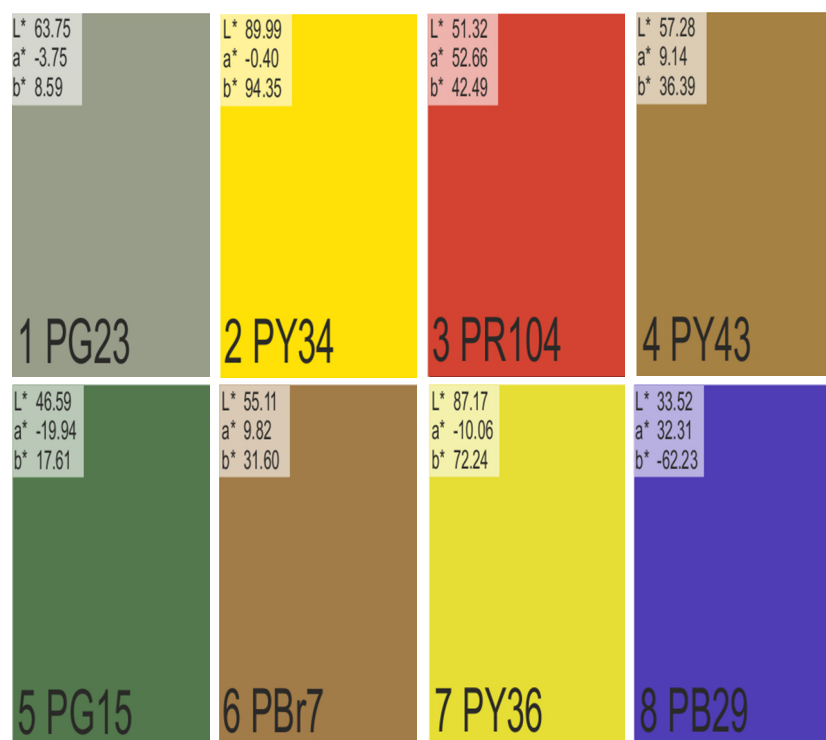


Figura 1 |

Carta de colores correspondiente con los pigmentos inorgánicos empleados, con indicación de su código de color y coordenadas cromáticas CIELab 1976

	Técnicas / aglut.		Diferencias		Pigmento 1		Pigmento 2		Pigmento 3		Pigmento 4		Pigmento 5		Pigmento 6		Pigmento 7		Pigmento 8		
				σ		σ		σ		σ		σ		σ		σ		σ		σ	
Óleo (AD)	ΔE	1,50	0,023	0,49	0,012	0,39	0,009	0,19	0,005	0,21	0,005	0,23	0,005	0,21	0,005	1,18	0,028				
	ΔL	0,22	0,005	-0,23	0,005	-0,14	0,003	-0,03	0,001	-0,02	0,000	0,01	0,000	-0,16	0,004	0,94	0,023				
	ΔC	-1,28	0,029	-0,30	0,007	-0,29	0,007	-0,18	0,004	-0,18	0,004	-0,22	0,005	-0,15	0,004	-0,18	0,003				
	ΔH	0,75	0,011	-0,31	0,004	-0,23	0,003	-0,08	0,001	-0,11	0,002	-0,05	0,001	0,00	0,000	-0,68	0,010				
Óleo (LC)	ΔE	0,85	0,013	0,40	0,006	0,17	0,003	0,26	0,006	0,12	0,003	0,25	0,004	0,16	0,002	0,68	0,010				
	ΔL	0,34	0,005	-0,21	0,003	0,10	0,002	0,09	0,002	0,03	0,001	0,08	0,001	-0,05	0,001	0,61	0,013				
	ΔC	-0,70	0,015	-0,34	0,007	-0,07	0,001	-0,08	0,002	-0,04	0,001	-0,11	0,002	-0,13	0,003	0,19	0,004				
	ΔH	0,34	0,008	0,05	0,001	0,12	0,003	0,23	0,003	0,11	0,002	0,21	0,004	0,08	0,001	-0,23	0,004				
Óleo (LP)	ΔE	0,84	0,014	0,54	0,010	0,17	0,003	0,30	0,005	0,21	0,005	0,22	0,004	0,29	0,005	0,70	0,013				
	ΔL	0,01	0,000	-0,36	0,009	0,00	0,000	0,17	0,003	0,19	0,004	0,09	0,002	-0,21	0,005	0,36	0,009				
	ΔC	-0,63	0,015	-0,40	0,011	-0,16	0,004	-0,10	0,002	-0,07	0,002	-0,08	0,002	-0,20	0,005	-0,51	0,014				
	ΔH	0,56	0,015	0,01	0,000	-0,05	0,001	0,22	0,005	0,05	0,001	0,18	0,001	-0,05	0,001	-0,34	0,003				
Temple (MWR)	ΔE	0,11	0,001	0,21	0,004	0,29	0,002	0,14	0,002	0,08	0,001	0,13	0,003	0,16	0,004	0,33	0,007				
	ΔL	-0,05	0,001	-0,06	0,001	-0,08	0,000	-0,05	0,001	0,03	0,001	-0,02	0,000	-0,06	0,001	0,31	0,007				
	ΔC	-0,01	0,000	-0,11	0,001	-0,23	0,001	-0,13	0,003	-0,04	0,000	-0,12	0,001	-0,13	0,003	0,04	0,000				
	ΔH	-0,10	0,001	-0,17	0,001	-0,15	0,003	-0,05	0,001	-0,06	0,000	-0,05	0,000	0,07	0,001	-0,09	0,000				
Temple MWD	ΔE	4,61	0,051	0,10	0,002	0,21	0,006	0,07	0,001	0,09	0,000	0,15	0,004	0,13	0,003	0,39	0,008				
	ΔL	0,17	0,003	0,00	0,000	-0,06	0,001	-0,01	0,000	0,04	0,001	-0,05	0,001	-0,11	0,003	0,06	0,001				
	ΔC	-0,62	0,011	-0,04	0,001	-0,14	0,002	-0,04	0,000	-0,07	0,002	-0,11	0,003	-0,06	0,001	-0,37	0,001				
	ΔH	4,56	0,027	-0,09	0,001	-0,14	0,004	-0,06	0,000	-0,05	0,001	-0,08	0,000	-0,04	0,001	-0,11	0,000				
Temple (PAV)	ΔE	0,10	0,002	0,51	0,015	0,44	0,009	0,19	0,002	0,19	0,006	0,38	0,007	0,75	0,013	1,38	0,011				
	ΔL	-0,07	0,001	-0,21	0,004	-0,09	0,002	0,04	0,000	0,03	0,001	-0,10	0,003	-0,46	0,008	0,72	0,002				
	ΔC	0,07	0,000	-0,38	-0,001	-0,35	0,001	-0,18	0,001	-0,18	0,004	-0,37	0,006	-0,59	0,012	-0,73	0,003				
	ΔH	-0,01	0,000	-0,27	-0,001	-0,25	0,001	0,03	0,001	-0,06	0,000	-0,04	0,001	0,05	0,001	-0,92	0,018				

Barniz (D)	ΔE	0,42	0,008	0,29	0,006	0,23	0,004	0,25	0,007	0,12	0,000	0,22	0,004	0,25	0,004	1,26	0,037
	ΔL	-0,12	0,003	-0,13	-0,004	0,05	0,001	-0,01	0,000	0,03	0,001	0,10	0,002	-0,13	0,002	0,80	0,016
	ΔC	-0,26	0,005	-0,25	-0,002	-0,09	0,002	-0,16	0,003	-0,11	0,003	0,03	0,001	-0,18	0,004	-0,74	0,012
	ΔH	0,31	0,005	0,02	0,000	0,20	0,003	0,19	0,006	-0,02	0,001	0,19	0,002	0,11	0,003	-0,64	0,017
Barniz (LTV)	ΔE	0,63	0,018	0,31	0,003	0,26	0,008	0,11	0,003	0,21	0,004	0,13	0,004	0,47	0,014	1,29	0,037
	ΔL	-0,06	0,001	-0,16	0,000	-0,08	0,002	0,08	0,002	0,00	0,000	0,12	0,003	-0,29	0,006	0,45	0,009
	ΔC	-0,52	0,012	-0,22	-0,001	-0,20	0,000	-0,05	0,001	-0,21	0,006	0,01	0,000	-0,34	0,006	-0,91	0,015
	ΔH	0,35	0,003	-0,14	-0,003	-0,15	0,001	-0,07	0,001	-0,06	0,002	0,00	0,000	-0,15	0,003	-0,80	0,014
Barniz (ALM)	ΔE	0,30	0,009	0,35	0,010	0,22	0,004	0,15	0,004	0,10	0,002	0,16	0,003	0,47	0,004	1,26	0,010
	ΔL	-0,10	0,002	-0,17	-0,003	-0,06	0,002	-0,09	0,002	0,05	0,001	-0,03	0,001	-0,23	0,007	0,50	0,015
	ΔC	-0,21	0,005	-0,28	-0,004	-0,19	0,001	-0,12	0,000	-0,08	0,002	-0,15	0,003	-0,39	0,011	-0,88	0,026
	ΔH	0,19	0,005	-0,12	-0,003	0,09	0,002	0,03	0,000	-0,03	0,000	-0,01	0,000	-0,12	0,003	-0,75	0,002
Gouache, acuarela (ARA)	ΔE	0,63	0,017	0,42	0,008	0,20	0,002	0,26	0,005	0,15	0,001	0,19	0,001	0,79	0,016	1,46	0,006
	ΔL	0,01	0,000	-0,15	-0,003	0,01	0,000	-0,13	0,002	0,07	0,002	-0,01	0,000	-0,46	0,007	0,87	0,025
	ΔC	-0,49	0,011	-0,23	-0,005	-0,16	0,004	-0,21	0,003	-0,11	0,002	-0,19	0,003	-0,64	0,019	-0,72	0,014
	ΔH	0,40	0,012	-0,31	-0,009	-0,12	0,003	-0,08	0,001	-0,08	0,000	0,01	0,000	0,00	0,000	-0,93	0,002
Encáustica (EN)	ΔE	0,69	0,012	0,31	0,005	0,30	0,005	0,22	0,006	0,13	0,001	0,79	0,023	0,76	0,002	4,22	0,017
	ΔL	-0,32	0,004	-0,13	-0,002	0,00	0,000	0,15	0,003	0,08	0,002	0,61	0,014	-0,27	0,001	3,86	0,075
	ΔC	-0,57	0,013	-0,28	-0,006	0,06	0,001	-0,05	0,001	-0,08	0,001	0,21	0,005	-0,71	0,014	1,36	0,023
	ΔH	0,23	0,003	-0,03	0,000	0,30	0,009	0,16	0,005	-0,05	0,001	0,45	0,013	-0,08	0,001	-0,99	0,014
Encáustica (ENR)	ΔE	0,59	0,009	0,91	0,014	0,18	0,004	0,18	0,003	0,15	0,004	0,24	0,005	0,50	0,007	0,97	0,016
	ΔL	-0,15	0,002	-0,09	-0,001	0,05	0,001	0,04	0,001	-0,01	0,000	-0,09	0,002	-0,25	0,004	0,35	0,010
	ΔC	-0,41	0,002	-0,70	-0,004	-0,02	0,000	-0,10	0,002	0,15	0,003	-0,20	0,003	-0,42	0,012	-0,53	0,012
	ΔH	0,40	0,008	0,57	0,011	0,17	0,003	0,14	0,003	0,01	0,000	0,09	0,003	-0,08	0,002	-0,74	0,016

Tabla 3 |

Listado de valores medios de diferencias de color total (ΔE), luminosidad (ΔL), saturación (ΔC) y tono (ΔH) entre los pigmentos puros y cada uno de los aglutinantes-medios ensayados. Ensayo realizado: radiación ultravioleta (500 horas)

Técnicas / aglut.	Diferencias	Pigmento 1		Pigmento 2		Pigmento 3		Pigmento 4		Pigmento 5		Pigmento 6		Pigmento 7		Pigmento 8	
			σ		σ		σ		σ		σ		σ		σ		σ
Óleo (AD)	ΔE	6,81	0,102	1,55	0,037	1,14	0,027	0,78	0,019	0,66	0,016	0,95	0,023	4,46	0,107	4,12	0,099
	ΔL	-5,13	0,123	-0,90	0,022	-0,69	0,016	0,40	0,009	-0,61	0,014	0,91	0,022	-2,73	0,066	-0,77	0,018
	ΔC	-4,16	0,096	-0,80	0,011	-0,85	0,020	0,65	0,015	-0,23	0,005	-0,12	0,003	-2,80	0,067	-3,40	0,078
	ΔH	-1,63	0,023	-0,98	0,015	-0,33	0,005	0,15	0,002	-0,11	0,002	-0,24	0,003	-2,15	0,015	-2,20	0,031
Óleo (LC)	ΔE	6,11	0,092	7,00	0,105	0,88	0,013	0,82	0,012	0,98	0,015	0,30	0,007	4,29	0,017	4,68	0,070
	ΔL	-4,91	0,074	-4,16	0,087	-0,42	0,006	-0,40	0,006	-0,84	0,013	-0,14	0,003	-2,62	0,051	-0,47	0,007
	ΔC	-2,76	0,058	-5,51	0,116	-0,75	0,016	-0,59	0,012	-0,49	0,010	-0,24	0,006	-2,85	0,083	-4,19	0,088
	ΔH	-2,35	0,054	-1,12	0,019	0,18	0,003	-0,41	0,010	-0,15	0,004	-0,09	0,001	-1,85	0,037	-2,01	0,034
Óleo (LP)	ΔE	5,53	0,077	2,32	0,042	0,70	0,013	0,45	0,008	0,34	0,006	0,16	0,002	4,59	0,073	1,23	0,022
	ΔL	-4,41	0,066	-1,51	0,036	-0,42	0,010	-0,28	0,005	-0,33	0,006	-0,07	0,001	-2,71	0,006	0,21	0,005
	ΔC	-2,38	0,036	-1,76	0,048	-0,55	0,015	-0,30	0,007	-0,03	0,001	-0,14	0,002	-3,23	0,013	-0,91	0,025
	ΔH	-2,33	0,049	-0,16	0,004	-0,08	0,001	-0,20	0,005	0,09	0,002	-0,02	0,000	-1,81	0,035	-0,80	0,006
Temple (MWR)	ΔE	17,64	0,300	2,40	0,034	0,47	0,010	1,86	0,015	1,11	0,009	0,63	0,015	3,63	0,105	9,43	0,200
	ΔL	-2,25	0,041	-0,87	0,013	0,24	0,006	1,38	0,003	0,81	0,002	0,50	0,014	-1,78	0,011	2,70	0,065
	ΔC	4,09	0,098	-1,77	0,037	-0,33	0,002	1,19	0,005	0,72	0,003	-0,11	0,001	-3,14	0,075	9,03	0,063
	ΔH	17,01	0,459	1,38	0,023	0,23	0,001	0,41	0,008	-0,26	0,004	0,37	0,008	0,39	0,004	0,08	0,000
Temple MWD	ΔE	4,16	0,033	0,88	0,018	34,20	0,667	0,75	0,016	1,49	0,031	0,62	0,015	3,10	0,007	7,40	0,144
	ΔL	-3,28	0,070	-0,38	0,008	34,04	0,987	-0,72	0,012	-0,56	0,010	-0,58	0,004	-1,95	0,043	0,66	0,019
	ΔC	0,97	0,023	0,79	0,014	1,52	0,030	0,06	0,001	1,24	0,022	-0,09	0,000	-1,89	0,055	-7,37	0,147
	ΔH	-2,37	0,017	-0,02	0,000	2,92	0,047	-0,20	0,005	-0,61	0,015	-0,20	0,004	-1,49	0,025	0,01	0,000
Temple (PAV)	ΔE	2,93	0,012	1,42	0,034	0,68	0,020	0,17	0,005	0,38	0,010	0,16	0,005	5,32	0,154	0,23	0,007
	ΔL	-0,80	0,016	-0,84	0,009	-0,25	0,005	0,11	0,001	0,26	0,002	0,14	0,003	-3,21	0,064	-0,04	0,001
	ΔC	-0,25	0,007	-1,14	0,003	-0,58	0,001	-0,10	0,002	0,21	0,004	-0,08	0,001	-4,08	0,091	0,17	0,000
	ΔH	-2,81	0,011	0,11	0,000	-0,26	0,001	-0,09	0,002	-0,18	0,004	-0,03	0,001	-1,17	0,009	0,16	0,001

Barniz (D)	ΔE	5,72	0,112	0,78	0,015	1,11	0,020	0,39	0,003	1,93	0,014	0,58	0,016	1,41	0,041	1,44	0,042
	ΔL	-4,21	0,122	-0,29	0,008	0,11	0,001	0,34	0,001	0,82	0,003	0,42	0,008	-0,28	0,005	0,36	0,007
	ΔC	-3,38	0,068	-0,55	0,011	0,67	0,016	0,14	0,003	1,60	0,031	-0,15	0,003	-1,20	0,030	1,39	0,031
	ΔH	-1,88	0,030	0,47	0,008	0,88	0,010	0,14	0,004	-0,70	0,020	0,36	0,010	0,68	0,016	-0,13	0,001
Barniz (LTV)	ΔE	8,39	0,243	6,64	0,193	0,34	0,001	0,81	0,016	1,81	0,036	0,68	0,012	5,98	0,161	7,40	0,218
	ΔL	-6,35	0,127	-3,96	0,079	-0,08	0,000	0,59	0,009	0,94	0,015	0,58	0,008	-3,23	0,065	0,62	0,012
	ΔC	-5,11	0,114	-5,21	0,116	-0,21	0,004	0,54	0,016	1,21	0,003	0,16	0,004	-4,33	0,095	-6,36	0,159
	ΔH	-1,97	0,016	1,17	0,009	0,26	0,008	-0,15	0,003	-0,97	0,004	0,32	0,004	-2,58	0,075	-3,73	0,090
Barniz (ALM)	ΔE	7,68	0,226	1,11	0,033	0,32	0,006	0,47	0,001	0,59	0,012	1,06	0,016	3,66	0,062	1,50	0,041
	ΔL	-5,84	0,111	-0,59	0,011	-0,05	0,001	0,39	0,002	0,37	0,011	0,83	0,013	-1,85	0,026	0,82	0,016
	ΔC	-4,20	0,105	-0,91	0,026	-0,22	0,006	0,06	0,000	0,39	0,002	0,20	0,001	-2,97	0,068	-0,92	0,020
	ΔH	-2,70	0,065	0,25	0,001	-0,23	0,005	0,26	0,008	-0,23	0,006	0,63	0,013	-1,08	0,013	-0,85	0,025
Gouache, acuarela (ARA)	ΔE	0,86	0,023			1,02	0,023	0,35	0,007	0,57	0,006	0,40	0,002	3,54	0,053	0,11	0,002
	ΔL	0,31	0,006			-0,29	0,002	-0,04	0,001	0,42	0,001	0,18	0,005	-2,11	0,033	-0,05	0,001
	ΔC	-0,64	0,015			-0,97	0,029	-0,08	0,002	0,35	0,008	-0,34	0,007	-2,76	0,014	-0,06	0,001
	ΔH	-0,48	0,003			-0,13	0,002	-0,34	0,009	-0,16	0,005	-0,11	0,000	-0,64	0,013	0,08	0,001
Encáustica (EN)	ΔE	6,07	0,024	1,63	0,048	4,97	0,084	6,34	0,127	5,33	0,091	7,73	0,031	4,24	0,081	7,45	0,112
	ΔL	4,67	0,091	-0,35	0,007	1,04	0,015	4,48	0,099	2,62	0,076	5,65	0,110	-0,17	0,003	6,51	0,102
	ΔC	-2,76	0,080	-0,92	0,023	2,81	0,065	3,66	0,106	4,29	0,086	2,96	0,050	-3,70	0,063	1,35	0,007
	ΔH	-2,71	0,054	1,29	0,031	3,97	0,048	2,61	0,044	-1,76	0,039	4,36	0,061	2,06	0,029	-3,36	0,067

Tabla 4 |

Listado de valores medios de diferencias de color total (ΔE), luminosidad (ΔL), saturación (ΔC) y tono (ΔH) entre los pigmentos puros y cada uno de los aglutinantes-medios ensayados. Ensayo realizado: calentamiento 100 °C (50 horas)

Técnicas / aglut.	Diferencias	Pigmento 1		Pigmento 2		Pigmento 3		Pigmento 4		Pigmento 5		Pigmento 6		Pigmento 7		Pigmento 8	
			σ		σ		σ		σ		σ		σ		σ		σ
Óleo (AD)	ΔE	3,93	0,094					0,28	0,007			0,39	0,006	1,36	0,033		
	ΔL	0,19	0,004					-0,06	0,001			0,15	0,004	-0,85	0,020		
	ΔC	3,04	0,070					-0,27	0,006			-0,10	0,002	-1,05	0,024		
	ΔH	-2,49	0,035					0,04	0,001			0,35	0,001	0,12	0,002		
Óleo (LC)	ΔE	5,62	0,084	10,62	0,159	1,18	0,018	4,92	0,074	2,70	0,062	0,47	0,002	5,26	0,079	8,74	0,131
	ΔL	4,97	0,075	5,81	0,087	0,73	0,011	3,71	0,056	1,92	0,027	0,33	0,010	3,29	0,049	-0,22	0,003
	ΔC	2,57	0,054	8,02	0,168	0,67	0,014	2,34	0,049	1,90	0,029	-0,01	0,000	3,58	0,075	6,86	0,144
	ΔH	-0,57	0,010	3,83	0,088	0,64	0,011	2,23	0,051	-0,08	0,001	-0,34	0,008	2,00	0,048	5,41	0,124
Óleo (LP)	ΔE	3,53	0,064	0,26	0,004	0,13	0,002	0,33	0,005	0,33	0,007	0,41	0,003	5,18	0,088	0,32	0,004
	ΔL	2,39	0,057	0,09	0,001	0,02	0,000	-0,16	0,002	-0,05	0,001	-0,24	0,004	0,35	0,006	0,00	0,000
	ΔC	2,59	0,070	-0,02	0,000	0,01	0,000	-0,24	0,004	-0,31	0,006	-0,30	0,005	-3,24	0,078	0,25	0,004
	ΔH	-0,11	0,001	-0,24	0,005	-0,13	0,001	-0,15	0,003	-0,11	0,003	-0,15	0,004	-4,03	0,109	0,20	0,004
Temple (MWR)	ΔE	1,82	0,039	0,30	0,005	0,33	0,007	0,38	0,006	0,36	0,010	0,10	0,003	0,31	0,002	0,22	0,004
	ΔL	1,38	0,033	0,19	0,003	-0,09	0,002	-0,30	0,005	-0,29	0,002	0,05	0,000	0,17	0,000	0,00	0,000
	ΔC	1,16	0,008	0,14	0,003	-0,21	0,001	-0,06	0,001	-0,21	0,004	0,07	0,001	0,25	0,001	-0,22	0,005
	ΔH	0,26	0,001	-0,19	0,005	-0,24	0,001	-0,22	0,006	0,04	0,001	-0,06	0,001	-0,06	0,001	0,03	0,001
Temple MWD	ΔE	0,71	0,014	0,24	0,002	22,59	0,441	0,21	0,002	0,15	0,001	0,43	0,003	0,59	0,012	0,38	0,003
	ΔL	0,65	0,019	0,09	0,002	-22,57	0,655	0,11	0,002	-0,08	0,000	0,00	0,000	0,16	0,003	0,11	0,002
	ΔC	0,19	0,004	-0,21	0,005	-0,37	0,007	0,16	0,004	0,12	0,002	0,41	0,008	0,26	0,005	0,36	0,009
	ΔH	0,23	0,004	0,06	0,000	-0,69	0,011	0,09	0,001	0,05	0,001	0,14	0,004	0,50	0,012	0,07	0,000
Temple (PAV)	ΔE	1,06	0,031	0,37	0,001	0,39	0,011	0,23	0,005	0,38	0,008	0,14	0,003	0,88	0,024	0,12	0,000
	ΔL	0,89	0,018	-0,09	0,002	-0,28	0,006	0,07	0,000	0,21	0,003	0,03	0,001	0,47	0,004	0,04	0,001
	ΔC	0,57	0,001	0,12	0,003	-0,25	0,001	0,22	0,001	0,30	0,009	0,12	0,002	0,35	0,007	0,11	0,003
	ΔH	0,13	0,001	-0,34	0,001	-0,12	0,000	0,06	0,002	-0,08	0,002	0,06	0,001	0,65	0,016	0,04	0,000

Barniz (D)	ΔE	3,95	0,115	0,26	0,005	0,14	0,004	0,15	0,003	0,25	0,001	0,28	0,008	0,10	0,001	0,16	0,003
	ΔL	2,15	0,043	-0,07	0,001	-0,13	0,003	-0,02	0,000	-0,05	0,000	-0,24	0,005	0,00	0,000	0,03	0,001
	ΔC	3,25	0,072	-0,08	0,002	-0,05	0,001	0,12	0,001	-0,23	0,006	0,04	0,000	0,10	0,002	0,10	0,002
	ΔH	-0,62	0,005	-0,24	0,005	0,03	0,000	0,09	0,003	-0,07	0,001	-0,12	0,000	-0,02	0,001	0,13	0,002
Barniz (LTV)	ΔE	3,47	0,102	0,15	0,000	0,16	0,003	0,32	0,006	0,40	0,009	0,43	0,012	0,15	0,003	0,28	0,006
	ΔL	1,90	0,036	0,04	0,000	-0,04	0,001	-0,19	0,005	-0,23	0,007	-0,25	0,005	0,08	0,001	0,13	0,003
	ΔC	2,76	0,069	0,14	0,004	-0,08	0,002	-0,25	0,006	-0,32	0,005	-0,34	0,007	0,01	0,000	0,07	0,001
	ΔH	-0,89	0,021	0,00	0,000	-0,13	0,002	-0,05	0,001	0,06	0,001	-0,10	0,003	0,12	0,002	0,24	0,004
Barniz (ALM)	ΔE	4,21	0,114	0,18	0,004	0,07	0,001	0,07	0,001	0,18	0,004	0,08	0,002	0,13	0,002	0,25	0,004
	ΔL	2,65	0,053	-0,05	0,000	-0,06	0,001	0,00	0,000	-0,07	0,001	-0,07	0,002	-0,02	0,000	0,03	0,001
	ΔC	3,20	0,070	0,00	0,000	-0,02	0,000	0,07	0,002	-0,15	0,002	0,01	0,000	0,00	0,000	0,13	0,002
	ΔH	-0,71	0,021	-0,17	0,003	-0,02	0,000	-0,02	0,000	-0,06	0,001	-0,03	0,000	0,13	0,003	0,21	0,004
Gouache, acuarela (ARA)	ΔE	2,95	0,050			1,02	0,015	1,89	0,026	0,76	0,004	0,36	0,010	0,73	0,002	1,89	0,045
	ΔL	2,86	0,040			-0,57	0,009	1,25	0,029	-0,66	0,013	-0,33	0,007	-0,67	0,003	-0,49	0,013
	ΔC	-0,45	0,010			-0,69	0,003	1,26	0,015	-0,37	0,009	0,13	0,000	-0,30	0,005	-1,83	0,015
	ΔH	0,57	0,007			-0,50	0,010	0,65	0,010	0,06	0,000	-0,03	0,000	0,03	0,000	-0,14	0,003
Encáustica (EN)	ΔE	2,35	0,035	1,19	0,005	0,25	0,006	0,12	0,002	0,10	0,000	0,15	0,004	0,08	0,002	46,18	1,108
	ΔL	1,44	0,022	0,38	0,007	0,13	0,002	-0,03	0,000	-0,01	0,000	0,04	0,001	-0,06	0,001	36,21	0,253
	ΔC	1,85	0,009	1,06	0,031	0,12	0,002	0,04	0,001	0,01	0,000	0,07	0,002	-0,02	0,000	28,64	0,115
	ΔH	-0,04	0,001	-0,38	0,008	0,18	0,003	0,10	0,001	0,10	0,001	0,13	0,004	0,04	0,000	-1,32	0,026
Encáustica (ENR)	ΔE	1,11	0,017	0,40	0,006	0,29	0,001	0,27	0,008	0,19	0,006	0,21	0,003	0,28	0,005	0,20	0,006
	ΔL	0,81	0,013	-0,16	0,000	-0,19	0,004	-0,20	0,004	-0,07	0,002	-0,14	0,002	-0,20	0,006	-0,09	0,000
	ΔC	0,76	0,004	-0,11	0,000	-0,17	0,003	-0,08	0,002	-0,10	0,002	-0,02	0,000	-0,06	0,001	-0,18	0,001
	ΔH	-0,02	0,000	-0,35	0,007	-0,15	0,002	-0,16	0,005	-0,15	0,004	-0,15	0,003	-0,18	0,003	-0,04	0,001

Tabla 5 |

Listado de valores medios de diferencias de color total (ΔE), luminosidad (ΔL), saturación (ΔC) y tono (ΔH) entre los pigmentos puros y cada uno de los aglutinantes-medios ensayados. Ensayo realizado: atmósfera saturada de agua (720 horas)

En la tabla 5 (ver páginas 46-47) se presentan las diferencias CMC de los distintos parámetros cromáticos (diferencias de color total, luminosidad, saturación y tono) entre las preparaciones tras su mantenimiento durante 720 horas en atmósfera saturada de agua y las mismas preparaciones previamente sometidas a calentamiento.

En esta etapa de permanencia en ambiente saturado de agua tras el calentamiento a 100 °C diversas preparaciones sufrieron desperfectos por la absorción de humedad, lo que impidió su medida; esto explica la ausencia de los datos correspondientes en la tabla 5.

La permanencia de las preparaciones en ambiente saturado de agua tras el calentamiento origina: aumento de saturación de la mezcla del pigmento número 1 (tierra verde-PG23) en LC (aceite de linaza crudo); aumentos de luminosidad y saturación, así como un ligero viraje a un tono prácticamente amarillo en las del pigmento número 2 (amarillo de cromo-PY34) con LC (aceite de linaza crudo). La mezcla del pigmento número 3 (naranja de molibdeno-PR104) en MWD (dispersión de de resina vinílica Mowilith DMC-2F) experimenta una apreciable pérdida de saturación (decoloración), de entidad análoga al aumento experimentado por el calentamiento. La mezcla del pigmento número 4 (ocre-PY43) en LC (aceite de linaza crudo) experimenta un cierto aumento de saturación. Las variaciones de las mezclas de los pigmentos números 5 y 6 (verde de cromo-PG15 y siena natural-PBr7), tras permanecer en atmósfera saturada de agua, son todas inferiores al límite de percepción visual al ojo humano ($\Delta E \leq 3$), (AATCC 2002b: 311-313). Respecto al pigmento número 7 (amarillo de zinc-PY36), el único fenómeno relevante en esta etapa ha sido una cierta disminución de luminosidad y ligero viraje a tonos más rojizos en la mezcla con LP (aceite de linaza polimerizado). La mezcla del pigmento número 8 (azul ultramarino-PB29) en LC (aceite de linaza crudo) aumenta su luminosidad, y vira a tonos más rojizos, así como considerables aumentos de luminosidad y saturación en EN (encáustica a base de cera blanca).

Destaquemos simultáneamente la estabilidad frente a la humedad de los medios ARA (goma arábiga) y PAV (alcohol polivinílico Rhodorsil (Moviol) 4/125). El medio EN (encáustica a base de cera blanca) es el que presenta mayor número de afecciones seguido de LC (aceite de linaza crudo). Las preparaciones del pigmento número 1 (tierra verde-PG23) seguidas de las del pigmento número 7 (amarillo de zinc-PY36) resultan ser las más sensibles a los ambientes ensayados.

En conjunto, considerando las diversas combinaciones de factores y medios aglutinantes, los pigmentos número 4 (ocre-PY43), 5 (verde de cromo-PG15) y 6 (siena natural-PBr7) son los menos

afectados, únicamente experimentan variaciones apreciables como consecuencia del calentamiento en EN (encáustica a base de cera blanca).

En síntesis, y como alteraciones dignas de mención por su valor, destacar el aumento de saturación de las mezclas de los pigmentos números 6 (siena natural-PBr7) y 8 (azul ultramarino-PB29) con EN (encáustica a base de cera blanca) y del pigmento número 3 (Naranja de molibdeno-PR104) en MWD (dispersión de resina vinílica Mowilith DMC-2F) respectivamente, así como los cambios de tono del pigmento número 1 (tierra verde-PG23) en MWR (resina vinílica Mowilith 35/73, F) y del número 8 (azul ultramarino-PB29) con EN (encáustica a base de cera blanca) tras el calentamiento. En el mismo sentido destacar el aumento de saturación y luminosidad de las mezclas del pigmento número 2 (amarillo de cromo-PY34) en LC (aceite de linaza crudo) y del número 8 (azul ultramarino-PB29) en EN (encáustica a base de cera blanca), y la disminución de saturación del número 3 (naranja de molibdeno-PR104) en MWD (dispersión de resina vinílica Mowilith DMC-2F) tras su permanencia en ambiente saturado de agua.

A modo de conclusión parcial las figuras 2, 3 y 4 representan los resultados concernientes a las variaciones medias de color total ($=E$), habidas en las preparaciones pictóricas antes de ser sometidas a diferentes agentes ambientales (UVA, radiación infrarroja y atmósfera saturada de agua) y tras estos ensayos de envejecimiento. En cada gráfico se distribuye la variabilidad de color total concerniente a cada uno de los ocho pigmentos empleados en nuestro estudio, respecto a las diversas técnicas pictóricas y/o aglutinantes usados. Junto a la línea que corresponde al valor cero, se indican en rojo dos líneas discontinuas que representan la variabilidad (positiva o negativa) de color total perceptible al ojo humano, acorde con las referencias indicadas en el texto. La desviación estándar de los valores de cada tanda, obtenida mediante la corrección de Bessel, no llegó a superar en ningún caso el 3% del valor medio correspondiente (FERNÁNDEZ-ABASCAL; GUIJARRO; ROJO et ál., 1994).

De esta manera, en el caso de la alteración inducida mediante radiación UVA, la práctica globalidad de las técnicas pictóricas experimentan cambios visuales insignificantes al ojo humano, con las dos excepciones indicadas anteriormente. Con el calentamiento a 100 °C existen variaciones importantes en una cuarta parte de los medios pictóricos empleados, variaciones muy significativas y claramente detectadas por el ojo humano como en el caso del pigmento número 3 (naranja de molibdeno-PR104) con la técnica de temple sintético a base de resina vinílica Mowilith DMC-2F. Por último, las representaciones gráficas subrayan lo anteriormente descrito para el ensayo de

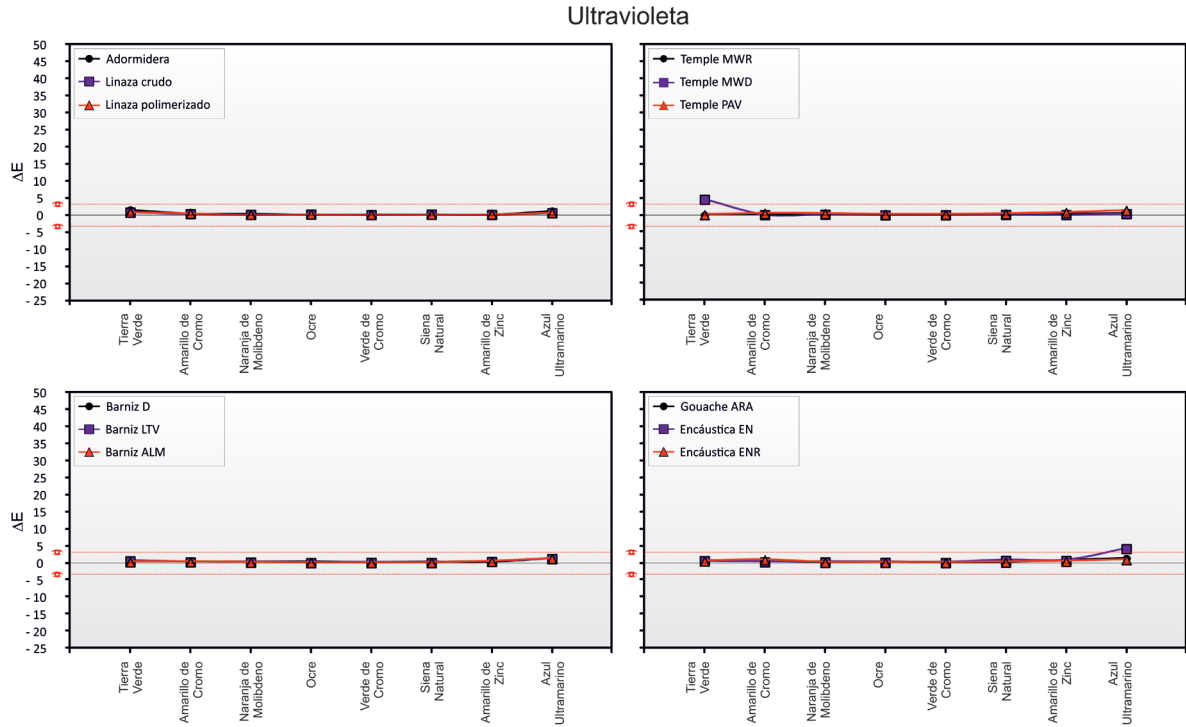


Figura 2 | Representación gráfica de las variaciones medias de color total (ΔE) de las preparaciones pictóricas (aglutinante con pigmento) tras el ensayo de alteración ambiental con radiación ultravioleta. Se indican en rojo dos líneas discontinuas que representan la variabilidad (positiva o negativa) de color total perceptible al ojo humano

alteración en ambiente de humedad saturada, esto es: variaciones de color claramente perceptibles en la mayor parte de los pigmentos utilizados con las técnicas al óleo y con la técnica del temple sintético a base de resina vinílica Mowilith DMC-2F (caso del naranja de molibdeno-PR104) y con técnica de encáustica a base de cera blanca (variaciones de color, visualmente alarmantes) para el caso del azul ultramarino-PB29.

CONCLUSIONES

Basándonos en los ensayos científicos realizados, descritos en el correspondiente apartado de materiales y métodos, las conclusiones ponen de manifiesto diversos aspectos: por una parte, a partir del estudio previo sobre estos pigmentos en los mismos medios aquí también ensayados (RODRÍGUEZ GORDILLO; SÁEZ PÉREZ; DURÁN SUÁREZ, 2013: 25-45), se manifestó una tendencia generalizada a un oscurecimiento o pérdida de luminosidad, y a un cierto aumento de la saturación de las mezclas respecto a las características del pigmento puro; mientras que el tono o longitud de onda dominante apenas se ven afectados. Por otra parte los resultados obtenidos en el presente estudio revelan que la radiación ultravioleta de alta energía apenas afecta a la variación de color. Más importante es la acción de

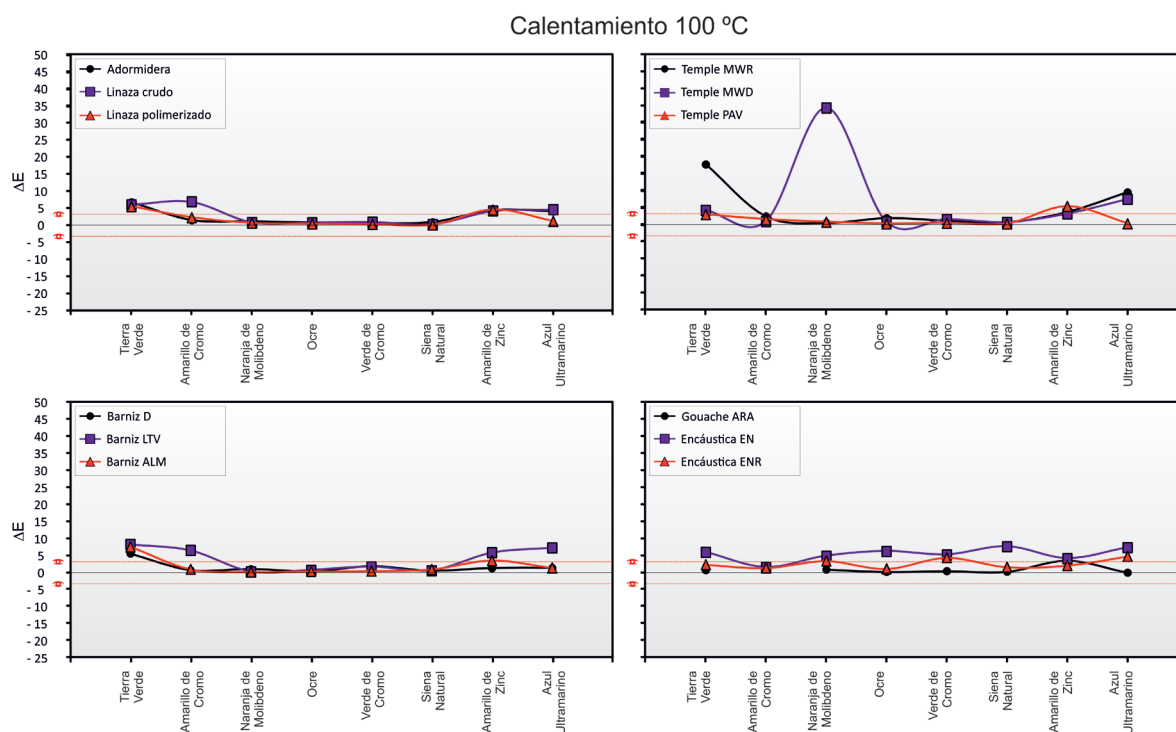


Figura 3 |

Representación gráfica de las variaciones medias de color total (ΔE) de las preparaciones pictóricas (aglutinante con pigmento) tras el ensayo de alteración ambiental de calentamiento a 100 °C. Se indican en rojo dos líneas discontinuas que representan la variabilidad (positiva o negativa) de color total perceptible al ojo humano

un calentamiento prolongado, con efectos diversos y, a veces contrapuestos, para un mismo pigmento según el aglutinante.

El calentamiento, en general, provoca cambios paralelos (análogos) en saturación y luminosidad. El tono es el parámetro menos afectado en términos perceptibles por el calentamiento.

La permanencia en ambiente saturado de agua a veces anula algunos efectos provocados por el calentamiento. En general el tono es el parámetro menos afectado en esta etapa, y no alcanza variaciones perceptibles en los demás casos.

Particularizando el análisis en los distintos medios, observamos cómo en un mismo medio pueden producirse cambios o no por un determinado tratamiento, según el pigmento presente; y, al revés, un mismo pigmento puede presentar comportamientos diferentes dependiendo del aglutinante, lo que indica la influencia de ambos componentes de las mezclas (pigmento y aglutinante) en los cambios observados.

Considerando los distintos parámetros definitorios del color, la saturación es el parámetro más afectado tanto por la etapa de calentamiento como por la de atmósfera saturada de agua, mientras que el tono y luminosidad lo son en bastantes menos casos.

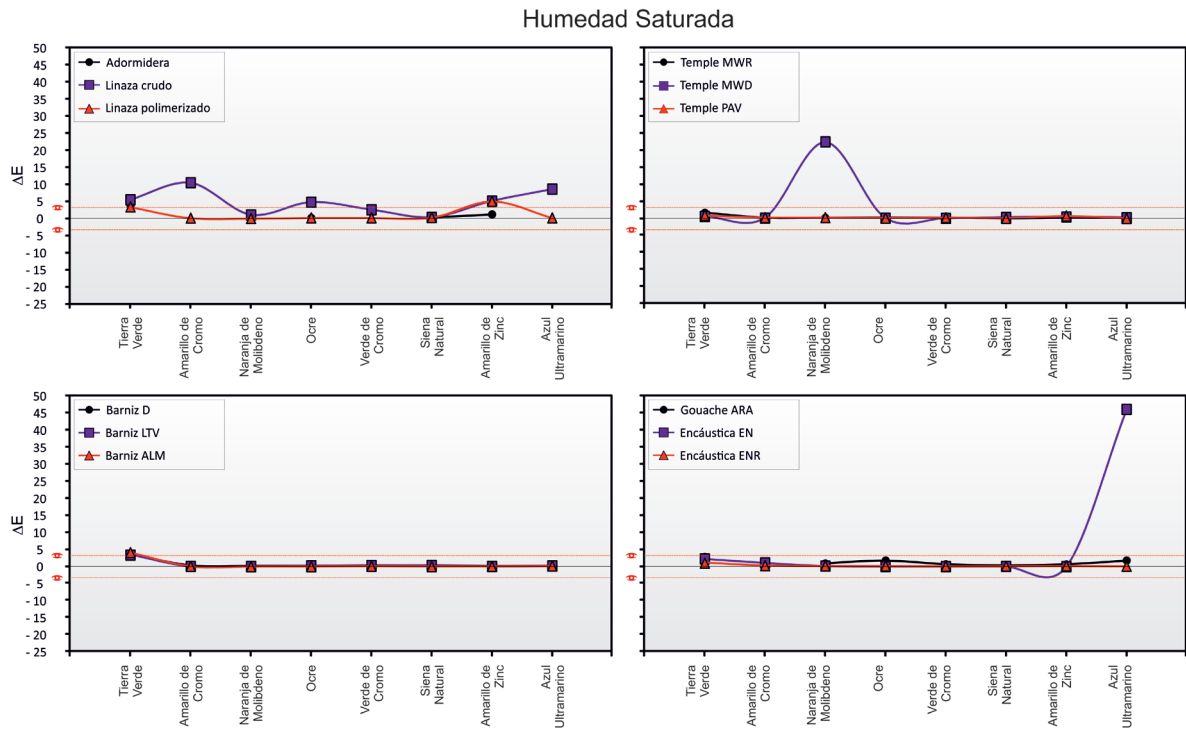


Figura 4 |

Representación gráfica de las variaciones medias de color total (ΔE) de las preparaciones pictóricas (aglutinante con pigmento) tras el ensayo de alteración ambiental de ambiente con humedad saturada. Se indican en rojo dos líneas discontinuas que representan la variabilidad (positiva o negativa) de color total perceptible al ojo humano

A la vista de los datos expuestos, el factor que más afecciones apreciables ocasiona es el calentamiento (alteraciones en todos los medios), al menos con alguno de los pigmentos.

Como conclusión general podemos decir que no es posible establecer pautas predecibles de comportamientos, ya sea con relación a los pigmentos, o ya sea respecto a los aglutinantes, sino que cada caso (pigmento/aglutinante) va a tener una respuesta específica frente a la radiación ultravioleta, calentamiento o atmósfera húmeda, por lo que su conocimiento requerirá de su estudio específico. Esto remarca el interés en la extensión de estudios como el presente, tanto a nuevos pigmentos como a nuevos medios, para disponer de un conocimiento imprescindible tanto de sus comportamientos en términos estrictamente pictóricos y también como en aquellos casos en que sea necesario abordar intervenciones para su restauración y conservación.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido subvencionado en el marco del Proyecto de Investigación MAT 2002-03227 del Plan Nacional de Investigación Científica (Ministerio de Ciencia y Tecnología), y del Grupo de Investigación RNM 0179 y HUM 629 de la Junta de Andalucía.

BIBLIOGRAFÍA

AATCC (2002a)

Color Index. American Association of Textile Chemist and Colorist (AATCC); Society Dyes and Colourists (SDC), 2002, 386 p. <<http://www.colour-index.com>> [Consulta: 25/11/2014]

AATCC (2002b)

Test Method 173 CMC. Calculation of small differences for acceptability. En *AATCC Technical manual. American Association of Textile Chemist and Colorist*, 2002, pp. 311-313

ASBECK, W.; VAN LOO, M. (1949)

Critical pigment volume relationships. *Industrial Engineering Chemistry*, 41 (7), 1949, pp. 1470-1477

BIERWAGEN G. P. (1975)

Surface dynamics of defect formation in paint films. *Progress in Organic Coatings*, 3, 1975, pp. 101-106

CUTHRONE, L. (1986)

Influence of fine particle size extenders on the optical properties of latex paints. *Journal of Coatings Technology*, 58 (736), 1986, pp. 83-88

DOERNER, M. (1998)

Los materiales de pintura y su empleo en el arte. 6ª ed. Barcelona: Editorial Reverté S. A., 1998, 425 p.

DOERNER, M. (1984)

The materials of the artist and their use in painting (trad. Eugen Neuhaus). San Diego: Harcourt Brace Jovanovich, 1984, 480 p.

FERNÁNDEZ-ABASCAL, H.; GUIJARRO, M.; ROJO, J. L. et ál. (1994)

Cálculo de Probabilidades y Estadística. Barcelona: Editorial Ariel, 1994, 282 p.

HUERTAS TORREJÓN, M. (2010)

Materiales, procedimientos y técnicas pictóricas II. Preparación de los Soportes, procedimientos y técnicas pictóricas. Madrid: Akal, 2010, 320 p.

JUDD, D. B.; WYSZECKI, G. (1975)

Color in business, science and industry. 3ª ed. New Cork: Wiley, 1975, 576 p.

MATTEINI, M.; MOLES, A. (2002)

La química de la restauración: los materiales del arte pictórico. San Sebastián: Nerea, 2002, 508 p.

MAYER, R. (1993)

Materiales y Técnicas del Arte. Madrid: Hermann Blume Ed., 1993, 724 p.

PALET, A. (2002)

Tratado de pintura. Color, pigmento y ensayo. Barcelona: Universidad de Barcelona, 2002, 172 p.

PATTON, T. C. (1979)

Paint Flow and Pigment Dispersion: A Rheological Approach to Coating and Ink. New York: Ed. J. Wiley & Sons, 1979, 656 p.

PEDROLA, A. (2004)

Materiales, procedimientos y técnicas pictóricas. Barcelona: Ariel, 2004, 222 p.

RIBERA ROGET, A.; RODRÍGUEZ GORDILLO, J.; SÁEZ PÉREZ, M.ª P. (2009)

Programa de cálculo de parámetros de color (Calculated program of color parameters) (CPC), 2009, p. 13 [software]

RODRÍGUEZ GORDILLO, J.; SÁEZ PÉREZ, M. P.; DURÁN SUÁREZ, J. A. (2013)

Evaluación experimental del comportamiento de pigmentos inorgánicos en diversos aglutinantes pictóricos y su aplicación en restauración. *Revista ph investigación [en línea]* n.º 1, diciembre, 2013, pp. 25-45 <<http://www.iaph.es/phinvestigacion/index.php/phinvestigacion/article/view/7>> [Consulta: 25/11/2014]

SCHAWARTZ, M.; KOSSMAN, H.; SCHWEIGGER, E. (1999)

Estudio comparativo de ligantes clásicos en dispersión a base de copolímeros acrílicos y acrílicos estirénicos para pinturas de fachadas. *Anales 6.º Congreso Internacional de Tintas*, vol. 1, San Pablo, Brasil, 1999, pp. 75-72

VIGNOLO, C.; VARELA LÓPEZ, F.; CALVO, A. (1998)

Defectos superficiales en películas de pinturas. *Pinturas y Acabados Industriales*, vol. 40 (244), 1998, pp. 52-58