

# ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS POLICROMÍAS CON TEMPLE DE HUEVO SOBRE TABLA, EN TRATAMIENTOS DE DESINSECTACIÓN DE MADERAS CON MICROONDAS

Eva Pérez-Marín<sup>1</sup>, Amparo Lloret-Barberá<sup>1</sup>, M<sup>a</sup> Luisa Martínez Bazán<sup>2</sup> y Ángela Tatiana Zona Ortiz<sup>3</sup>  
 Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universidad Politécnica de Valencia

<sup>1</sup>Taller de análisis e intervención en pintura de caballete y retablos

<sup>2</sup>Laboratorio de óptica y colorimetría

<sup>3</sup>Instituto de aplicaciones de las tecnologías de la información y de las comunicaciones avanzadas

AUTOR DE CONTACTO: Eva Pérez Marín, evpema@crbc.upv.es

**RESUMEN:** *La desinsectación de maderas con microondas es un tratamiento efectivo que presenta expectativas de aplicación en el ámbito de la conservación de bienes culturales. Sin embargo, su uso sobre maderas policromadas debe ser estudiado en profundidad, para conocer posibles alteraciones que puedan producirse en los componentes pictóricos.*

*En este artículo se presentan los estudios realizados para evaluar cómo se comportan las policromías al temple de huevo sometidas a radiación con microondas. Para ello, se ha estudiado el calentamiento del aglutinante y pigmentos tradicionales, así como las posibles variaciones cromáticas.*

*En los tiempos de tratamiento y potencia empleados se ha comprobado que pese a la presencia de partículas metálicas en muchos de los pigmentos, las policromías se mantienen en valores inferiores al calentamiento de la madera, constatando que la variación colorimétrica obtenida en el conjunto de las policromías es imperceptible.*

**PALABRAS CLAVE:** desinsectación, desinfección, microondas, policromía, pintura sobre tabla

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo queda enmarcado dentro de una línea de investigación dirigida a desarrollar nuevos sistemas de desinsectación de obras de arte con soporte leñoso, especialmente para obras con cierta complejidad estructural en las cuales no es posible la aplicación de los sistemas tradicionales de desinsectación de la madera.

La investigación se ha desarrollado dentro del proyecto “Estudio del comportamiento de los estratos pictóricos mediante el tratamiento de desinsectación de maderas policromadas con microondas”. Universidad Politécnica de Valencia (PAID-06-07-3236).

En los últimos años, se ha estudiado en colaboración del Grupo de Investigación de Electromagnetismo Aplicado de la UPV y Dry Parasite, un sistema novedoso de aplicación de la radiación con microondas como sistema físico de desinsectación de la madera. Inicialmente se comprobó la viabilidad del tratamiento, estudiando el comportamiento de la madera, y la resistencia de los insectos xilófagos (*Hylotrupes bajulus*) frente a la aplicación con microondas (PÉREZ MARÍN, 2005).

La investigación se dirige ahora a determinar si es posible emplear la desinsectación con microondas en obras de arte con policromías.

En el siguiente trabajo se presenta la investigación sobre el estudio del comportamiento de las policromías con temple de huevo en maderas tratadas con microondas.

### 1.1. Características y aplicación de las microondas

Las microondas son radiaciones de longitud pequeña (de 0,1 mm. a 1 m.) y frecuencia elevada (comprendida entre cerca de 300 MHz y 300GHz).

El punto de partida de esta investigación para su empleo como tratamiento de desinsectación es que la radiación con microondas produce el calentamiento de las partículas polares, como el agua, retenidas tanto en la madera como en los insectos. Al irradiar un objeto con moléculas polares, las microondas ceden a éstas su energía, haciéndolas vibrar, y produciendo un aumento de la temperatura. De esta manera, al incidir sobre los insectos, cuyo cuerpo presenta un alto contenido en humedad, las microondas provocan su calentamiento hasta causarles la muerte.

## 2. OBJETIVOS

El principal objetivo de la siguiente investigación es conocer cuál es el comportamiento físico de las policromías con temple de huevo sobre tablas tratadas con microondas para valorar y determinar si se trata de materiales reactivos a las radiaciones o no.

De forma individualizada, se estudiará el comportamiento de los pigmentos que tradicionalmente se han venido utilizando en la pintura sobre tabla, para evaluar posibles alteraciones en sus propiedades cromáticas después de la radiación con microondas, esta alteración también podrá estar influenciada por un cambio de

cromatismo del aglutinante. A su vez también se determinará si existe un comportamiento diferente entre los diferentes pigmentos en base a su composición y si alguno de ellos resulta reactivo al tratamiento.

La finalidad de la investigación es determinar si la aplicación de microondas en procesos de desinsectación sobre maderas policromadas con esta técnica pictórica se trata de un tratamiento viable y efectivo, a la vez que respetuoso con las obras de arte.

Por último, se establecerán unos tiempos de tratamiento seguros para obras artísticas con estas características.

Para ello se han realizado una serie de muestras de ensayo, en las que se han valorado tanto la aptitud del tratamiento con este tipo de policromías como sus posibles cambios cromáticos. Todas estas pruebas se han realizado antes y después del tratamiento para comparar los resultados obtenidos y comprobar la viabilidad del tratamiento.

Los pigmentos seleccionados fueron:

PIGMENTO	COMPOSICIÓN	FÓRMULA QUÍMICA
Tierra siena natural	Compuestos de hierro (goetita + arcilla)	Fe(OH) <sub>3</sub>
Ocre de mina ingles rojo	Compuestos de hierro (hematites)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Sombra natural	Compuestos de hierro (arcilla hidratada + óxidos de Fe y Mn)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + MnO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O + arcilla
Sombra natural verdosa oscura	Compuestos de hierro (arcilla hidratada + óxidos de Fe y Mn)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + MnO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O + arcilla
Blanco de plomo	Compuestos de plomo (hidróxicarbonato de plomo)	Pb <sub>3</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>
Amarillo de Nápoles	Compuestos de plomo (antimoniato de plomo)	Pb <sub>3</sub> (SbO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>
Mínio rojo	Compuestos de plomo (tetraóxido de plomo)	Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Cinabrio bermellón	Compuestos de mercurio (sulfuro de mercurio)	HgS
Carmín (rojo cochinilla)	Lacas. Extracto del insecto <i>Coccus cacti</i>	Ácido Carmínico (C <sub>22</sub> H <sub>20</sub> O <sub>18</sub> )
Laca de granza alizarina	Lacas. Extracto de la raíz <i>Rubia tinctorium</i>	alizarina (C <sub>14</sub> H <sub>8</sub> H <sub>3</sub> ) + purpurina
Malaquita Natural	Compuestos de cobre (hidroxicarbonato de cobre)	Cu <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub>
Verde de cobalto	Compuestos de cobalto (óxido de cobalto y cinc)	CoO. nZnO
Azul de Cobalto	Compuestos de cobalto (óxido de aluminio y cobalto)	CoO.A1 <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Azul ultramar	Piedra lapislázuli (lazurita + calcita y otras impurezas)	3Na <sub>2</sub> O.3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .6SiO <sub>2</sub> .2Na <sub>2</sub> S
Negro marfil	Huesos animales calcinados (Carbono impuro)	Carbono + Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>
Blanco de cinc	Óxido de cinc	ZnO
Blanco de titanio	Óxido de titanio	TiO <sub>2</sub>
Carbonato cálcico	Carbonato de calcio natural	CaCO <sub>3</sub>
Sulfato cálcico	Sulfato de calcio natural	CaSO <sub>4</sub>

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Preparación de las muestras de ensayo

La primera fase consiste en la preparación de las muestras que nos sirven para el estudio del comportamiento de los estratos pictóricos. La intención en la elaboración de las muestras ha sido semejarlas al máximo a la técnica realizada tradicionalmente, con la finalidad de que tengan la mayor similitud posible a los casos reales.

En primer lugar se seleccionó el soporte leñoso, madera de conífera (*Pinus sylvestris*) por ser la más utilizada en la pintura tradicional valenciana en pintura sobre tabla.

Cada probeta se cortó en unas dimensiones de 8 x 8 x 1cm haciendo un total de 25 muestras, a las cuales se les aplicaron varias capas de preparación tradicional a base de cola de conejo y sulfato cálcico con un grosor aproximado de 2mm.

El diseño o distribución de las probetas fue el siguiente:

Nº de Muestra		Pigmento	Composición del pigmento
1	1.1	Tierra siena natural	Compuestos de hierro
	1.2	Ocre de mina inglés rojo	Compuestos de hierro
	1.3	Sombra natural	Compuestos de hierro
	1.4	Sombra natural verdosa oscura	Compuestos de hierro
2	2.1	Blanco de plomo	Compuestos de plomo
	2.2	Amarillo de Nápoles	Compuestos de plomo
	2.3	Minio rojo	Compuestos de plomo
	2.4	Cinabrio Bermellón	Compuestos de mercurio
3	3.1	Carmín nacarado (rojo cochinilla)	Lacas
	3.2	Laca de granza alizarina oscura	Lacas
	3.3	Malaquita natural	Compuestos de cobre
	3.4	Sulfato cálcico	Sulfato de calcio natural
4	4.1	Verde de cobalto	Compuestos de cobalto
	4.2	Azul de cobalto	Compuestos de cobalto
	4.1	Azul ultramar	Piedra lapislázuli
	4.2	Negro marfil	Carbono impuro
5	5.1	Blanco de titanio	Óxido de Titanio
	5.2	Blanco de cinc	Óxido de cinc
	5.3	Carbonato cálcico	Carbonato de calcio natural
	5.4	Sulfato cálcico	Sulfato de calcio natural

Como hemos comentado la técnica pictórica que se ha utilizado para estudiar su comportamiento ha sido el temple con yema de huevo.

Cada muestra fue dividida en cuatro partes iguales de 4x4 cm, cada una con cuatro colores diferentes, todos ellos agrupados según la composición del pigmento. A su vez, de cada una de las muestras se realizaron cuatro copias, para dejar una de ellas sin irradiar, como muestra inicial. En total se han realizado 5 grupos de muestras de ensayo distribuidas del siguiente modo:

### 3.2. Ciclos de envejecimiento acelerado

Una vez realizadas las probetas se sometieron a ciclos de estrés climático y exposición a luz UV, con el fin de asemejar el estado de los componentes pictóricos y el soporte a una obra envejecida.

Para ello, en primer lugar se expusieron a cambios de temperatura y humedad con ciclos variables cada 24 horas de 10°C-95% de HR, a 40°C-15% de HR, durante unas 672 horas (cuatro semanas). Posteriormente se expusieron a radiación ultravioleta de forma continua a 7,4 mW/cm<sup>2</sup>, durante unas 504 horas (tres semanas).

### 3.3. Mediciones colorimétricas iniciales

Antes de empezar el tratamiento con microondas se realizaron las mediciones colorimétricas iniciales, con el fin de comprobar si existe algún cambio cromático o no en las policromías tras su tratamiento.

La instrumentación utilizada para el análisis colorimétrico ha sido un espectrofotómetro Minolta CM- 2600d, enlazado a un PC. El espectrofotómetro es un aparato diseñado para medir los factores de Reflectancia (R<sub>y</sub>) o Transmitancia (T<sub>y</sub>) espectral de un objeto. Las medidas se realizaron con un componente especular excluido e incluido (SCE y SCI) usando iluminante CIE D65 (6500°K) y observador estándar 10° (KONICA MINOLTA SENSING, Inc.)

La sistemática de medida utilizada es la conocida como barrido cromático, consistente en la medición de unos puntos-clave de la obra convenientemente seleccionados. Para las mediciones se han seleccionado dos puntos-muestra de cada policromía uno interior y uno exterior para observar si existe alguna diferencia entre la zona central, donde el calentamiento es mayor, y la zona exterior donde la temperatura alcanzada con las microondas es menor.

### 3.4. Ciclo climático

Antes de someter las muestras a la radiación con microondas, es importante controlar la temperatura y humedad que tiene cada una de ellas para conseguir unos datos fiables del tratamiento, ya que el resultado puede variar según las condiciones ambientales. Para ello, todas las muestras de ensayo se aclimataron a iguales condiciones, de manera que se pudieran establecer comparativas en el mismo rango.

Las condiciones seleccionadas fueron 70% de humedad relativa (+/- 2%) y 25° de temperatura (+/- 0,5°), durante unas 336 horas (2 semanas).

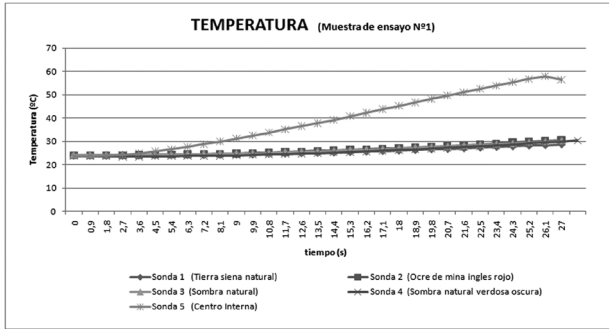


Figura 2. Incremento de temperatura media, de las muestras de ensayo n<sup>o</sup> 1, durante la irradiación con microondas

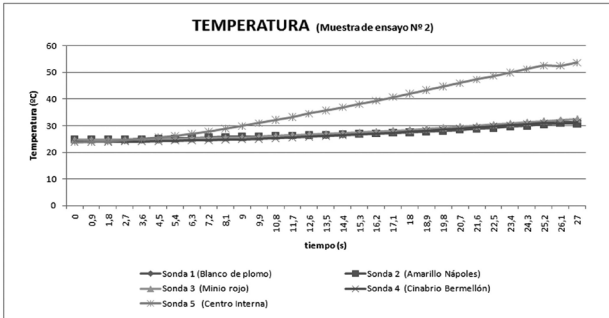


Figura 3. Incremento de temperatura media, de las muestras de ensayo n<sup>o</sup> 2, durante la irradiación con microondas

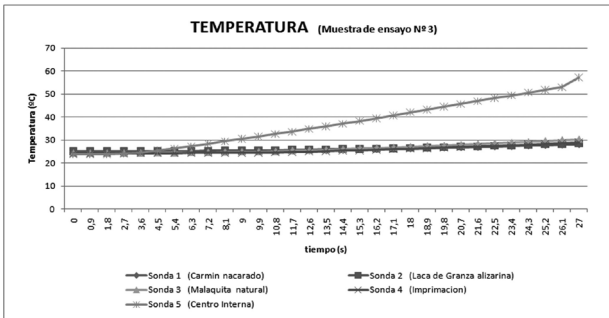


Figura 4. Incremento de temperatura media, de las muestras de ensayo n<sup>o</sup> 3, durante la irradiación con microondas

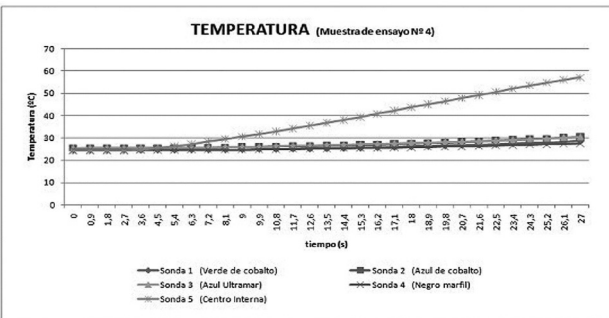


Figura 5. Incremento de temperatura media, de las muestras de ensayo n<sup>o</sup> 4, durante la irradiación con microondas

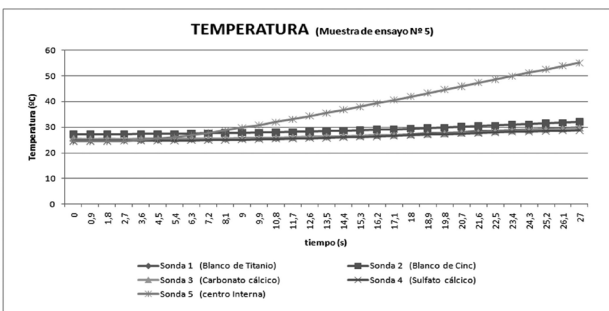


Figura 6. Incremento de temperatura media, de las muestras de ensayo n<sup>o</sup> 5, durante la irradiación con microondas

### 3.5. Radiación con microondas

En la experimentación se ha empleado un equipo portátil generador de microondas, Equipo *Dry Parasite*®. Este consta de una antena exenta que permite aplicar el tratamiento *in situ* sobre las piezas, de manera que se puede controlar la dirección de las ondas, permitiendo su aplicación sobre una de sus superficies.

Cada muestra ha sido irradiada desde el reverso, de forma individual, de manera que estuviera centrada con respecto a la antena, y por tanto, a la radiación.

Los resultados obtenidos en cada una de las muestras repetidas tres veces, se han comparado y se ha extraído la mediana y desviación para obtener un solo dato del cual establecer unas conclusiones.

Con el fin de reducir la exposición a las microondas, todas las pruebas han sido realizadas en el interior de una cámara anecoica<sup>1</sup>.

Para el registro de la evolución de la temperatura durante el tratamiento se emplearon sensores de fibra óptica UMI, ubicados tanto a nivel interno de la madera como en la superficie de la película pictórica, distribuidos del siguiente modo:

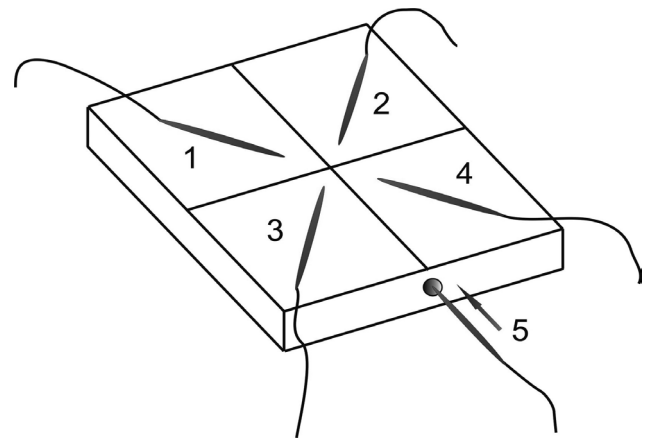


Figura 1. Situación de las sondas en la muestra

- 1- En la superficie de la primera policromía.
- 2- En la superficie de la segunda policromía.
- 3- En la superficie de la tercera policromía.
- 4- En la superficie de la cuarta policromía.
- 5- En el interior central del soporte de la muestra.

Tras el tratamiento, se capturaron imágenes termográficas de anverso y reverso, con el fin de comprobar la uniformidad del calentamiento y la distinta temperatura de ambas superficies.

#### 3.5.1 Selección del tiempo de radiación

En los estudios realizados en investigaciones anteriores (PÉREZ MARÍN, 2005; ZONA ORTIZ, 2007) mediante el sistema *Dry-Parasite* con antena exenta, se han estimado las temperaturas a las que los insectos xilófagos (*Hylotrypes bajulus*) fallecen dentro de la madera, la cual es efectiva partir de los 53°C. Por tanto la temperatura interna que debe alcanzar la madera tiene que ser superior a 53°C para una buena garantía del tratamiento.

El tiempo de radiación siempre dependerá de las características de la madera, principalmente en cuanto a grosor y dimensiones<sup>3</sup>. Por ello, como pruebas preliminares se irradiaron muestras de las mismas



Figura 7. Termografía de la muestra de ensayo 1 después de la radiación, donde se observa el calentamiento que se produce desde el reverso de la muestra, es decir desde la cara irradiada

características que las que se han utilizado para la investigación pero sin policromías, solo con preparación.

El resultado fue que el tiempo que tarda en alcanzar la madera interna los 55°C es de 23 segundos. Aunque, después de valorar los datos se decidió aumentar el tiempo para mayor seguridad, en el que se irradiarán las muestra de ensayo, a 25 segundos, con lo que la temperatura alcanzada debería resultar algo superior a los 55°C.

### 3.6. Mediciones colorimétricas finales

Tras irradiar las muestras se realizaron las mediciones colorimétricas en los mismos puntos que antes de la radiación, para comparar los resultados de antes y después, y así poder determinar si existen variaciones o no respecto al color.

De los resultados obtenidos, tanto anteriores como posteriores a la radiación, se han derivado las medias con el objetivo de adquirir un solo dato que sea comparable; en primer lugar se han extraído de los tres datos obtenidos de cada punto medido y a partir de éstos, se ha vuelto a realizar la media de las tres muestras repetidas, hasta obtener un solo dato de cada uno de los puntos, tanto del interior como del exterior.

## 4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### 4.1. Resultados de la radiación con microondas

En las gráficas que se observan en las Figuras 2, 3, 4, 5 y 6, se muestran los resultados obtenidos durante la radiación, en ellas se refleja el incremento de temperatura según las diferentes sondas situadas en las muestras.

Los resultados obtenidos en las diferentes gráficas (Ver figura 2, 3, 4, 5 y 6) corresponden a la media de temperatura establecida de las tres copias de cada grupo de muestras. Éstas nos indican el comportamiento obtenido en cuanto a temperatura en un tiempo de radiación de 25 segundos. Las gráficas nos revelan el incremento sufrido por las cuatro policromías que la componen de forma individualizada, así como el del interior central de la madera.

En cuanto al calentamiento que producen las microondas en la madera, como se puede observar en la figura 7 se extiende de forma homogénea, registrando la máxima temperatura en el centro de la radiación y extendiéndose de forma circular hacia los extremos donde la temperatura va disminuyendo (Ver figura 7).

Aunque la fotografía termográfica muestra una temperatura superior a la extraída en los resultados de las sondas, hay que tener en cuenta que esta captura de temperatura no se centra solamente en la superficie de las muestras ensayadas sino que están influenciadas por el entorno. Estas termografías no han sido realizadas con esta finalidad sino para estudiar, como anteriormente se ha explicado, el comportamiento uniforme o no de la temperatura y cómo ésta se proyecta en el material irradiado. En ellas también se podría determinar si algunos de los pigmentos se comportan de forma distinta al resto por la distribución de la temperatura, cosa que no ha sucedido.

#### 4.1.1. Valoración de los resultados de la radiación con microondas

El resultado obtenido en los cinco grupos de muestras es muy similar, donde se observa que el incremento de temperatura de la superficie de las policromías es mucho menor que el interno en el soporte.

En el interior de la madera el aumento de temperatura se establece en una media de 29,71°C, alcanzando una temperatura total de unos 56 °C. En cambio, en la superficie de las policromías el aumento de temperatura es mucho más bajo, con un incremento medio de 4,66°C.

Las policromías que han sufrido un mayor incremento de temperatura han sido los pigmentos metálicos; el banco de plomo con un aumento de 7,05°C, el minio rojo con 7°C y el bermellón con 6,95°C. Seguidamente los óxidos de hierro se han calentado 5,3°C, el azul ultramar 4,4°C y la malaquita 3,9°C, por la presencia de cobre.

El pigmento que menor incremento de temperatura ha mostrado es el negro marfil con una media de 2,5°C, seguido por las lacas que marcan 2,95°C la alizarina y 3,1°C el carmín.

Todas las policromías se han mostrado homogéneas al paso de las microondas, es decir, que su comportamiento es similar en toda la superficie.

El aumento de temperatura que se produce en los pigmentos de base metálica (gráfico 2) es el más alto de todos los estudiados para la investigación, aunque sigue siendo un valor que no se considera peligroso, ya que la temperatura total alcanzada siempre se mantiene en valores inferiores a 30°C. A pesar de ello, se observa que el comportamiento de estas policromías es muy similar a las demás y por tanto no han resultado especialmente reactivos a las radiaciones.

Ante los pigmentos empleados, podemos deducir que pese a la composición metálica de algunos de ellos, el estrato pictórico no actúa como una película reflectante de la radiación. Por el contrario, la policromía se comporta como una película intermitente que deja pasar las microondas, lo cual disminuye el riesgo de calentamiento de los estratos con los que entra en contacto.

En cuanto a la zona de imprimación estudiada en la muestra nº3 (gráfico 3), se puede observar un calentamiento algo superior al de las policromías que la superponen. Este fenómeno se debe a que el calentamiento de este estrato de preparación se produce también por conductividad, por ser un estrato inferior que se encuentra en contacto directo con el soporte de madera, que es la zona donde mayor aumento de temperatura se produce.

### 4.2. Resultados de las mediciones colorimétricas

Como se ha desarrollado en la metodología, las mediciones colorimétricas se han realizado antes y después de la radiación con microondas. En la siguiente tabla se muestra una síntesis de los resultados obtenidos con la diferencia conseguida entre ambos datos, de las cuales se han extraído unas conclusiones.

En la tabla se pueden apreciar los resultados obtenidos de las magnitudes psicofísicas, en la primera columna se sitúa la Claridad

Punto	COLOR	L*	L*	DL*	C*	C*	DC*	h	h	Dh*	DE <sub>ab</sub>
		(antes)	(desp.)	(desp- ant)	(antes)	(desp.)	(desp- ant)	(antes)	(desp.)	(desp- ant)	
Interior	TIERRA SIENA NATURAL	43,73	42,57	-1,16	31,99	33,18	1,19	60,89	60,72	-0,17	1,67
Exterior	TIERRA SIENA NATURAL	44,98	43,62	-1,35	33,09	34,47	1,37	61,83	61,99	0,16	1,93
Interior	OCRE DE MINA INGLES ROJO	37,16	35,07	-2,09	23,19	24,35	1,17	39,36	38,17	-1,19	2,45
Exterior	OCRE DE MINA INGLES ROJO	37,17	35,42	-1,74	23,65	24,50	0,85	39,09	37,77	-1,32	2,02
Interior	SOMBRA NATURAL	33,33	30,98	-2,35	13,69	14,18	0,49	56,56	54,99	-1,56	2,51
Exterior	SOMBRA NATURAL	35,50	33,73	-1,77	17,04	18,29	1,26	56,19	54,48	-1,71	2,32
Interior	SOMBRA NAT. VERDOSA	38,45	36,73	-1,72	14,01	14,33	0,32	76,54	76,09	-0,45	1,93
Exterior	SOMBRA NAT. VERDOSA	39,87	38,34	-1,53	16,36	16,65	0,29	75,00	74,67	-0,33	1,57
Interior	BLANCO DE PLOMO	95,74	95,31	-0,44	6,17	6,12	-0,06	96,83	95,81	-1,02	0,46
Exterior	BLANCO DE PLOMO	95,42	94,83	-0,59	5,94	5,79	-0,15	97,00	96,56	-0,44	0,62
Interior	AMARILLO NÁPOLES	72,92	72,56	-0,36	57,53	59,13	1,61	79,99	80,38	0,39	1,76
Exterior	AMARILLO NÁPOLES	73,29	73,31	0,02	57,90	59,85	1,95	80,34	80,73	0,39	2,03
Interior	MINIO ROJO	62,09	61,10	-0,99	78,12	79,65	1,53	48,90	49,18	0,28	1,86
Exterior	MINIO ROJO	62,30	61,66	-0,64	76,48	78,26	1,78	48,61	49,35	0,74	2,17
Interior	CINABRIO BERMELLON	46,09	44,77	-1,32	50,72	53,26	2,54	30,68	30,61	-0,07	2,86
Exterior	CINABRIO BERMELLON	45,61	44,49	-1,12	49,48	51,76	2,28	30,37	30,28	-0,08	2,56
Interior	CARMIN NACARADO	30,50	27,87	-2,62	23,86	26,69	2,84	21,63	18,76	-2,88	4,10
Exterior	CARMIN NACARADO	30,04	27,27	-2,78	22,35	23,55	1,21	21,52	17,48	-4,04	3,48
Interior	LACA DE GRANZA ALIZARINA	30,90	28,52	-2,38	33,86	36,17	2,30	23,69	21,58	-2,11	3,60
Exterior	LACA DE GRANZA ALIZARINA	29,84	27,40	-2,43	30,53	34,21	3,68	23,62	21,29	-2,32	4,61
Interior	MALAQUITA NATURAL	53,98	53,34	-0,63	23,65	24,49	0,84	146,71	147,58	0,87	1,12
Exterior	MALAQUITA NATURAL	52,59	51,49	-1,10	23,45	24,20	0,75	149,31	151,08	1,77	1,60
Interior	VERDE DE COBALTO	47,08	45,73	-1,35	31,92	33,41	1,49	147,75	149,22	1,47	2,18
Exterior	VERDE DE COBALTO	46,41	45,41	-0,99	31,90	33,20	1,30	147,75	149,20	1,44	1,84
Interior	AZUL DE COBALTO	38,68	37,20	-1,48	47,96	49,91	1,95	279,14	278,62	-0,52	2,53
Exterior	AZUL DE COBALTO	38,28	37,14	-1,14	47,87	50,34	2,47	278,98	278,33	-0,64	2,87
Interior	AZUL ULTRAMAR	45,01	43,12	-1,89	23,39	25,18	1,78	254,55	254,69	0,13	2,60
Exterior	AZUL ULTRAMAR	46,26	44,38	-1,88	23,30	24,89	1,59	253,20	253,60	0,40	2,50
Interior	NEGRO MARFIL	24,17	20,57	-3,60	1,66	0,28	-1,38	76,41	273,45	197,04	4,09
Exterior	NEGRO MARFIL	25,00	20,89	-4,12	1,80	0,37	-1,43	77,18	270,52	193,35	4,65
Interior	BLANCO DE TITANIO	93,20	92,78	-0,41	6,17	5,84	-0,32	97,22	96,59	-0,63	0,57
Exterior	BLANCO DE TITANIO	93,72	93,39	-0,32	6,82	6,18	-0,64	95,69	96,06	0,38	0,72
Interior	BLANCO DE ZINC	89,36	89,30	-0,06	6,54	6,14	-0,40	99,95	99,85	-0,10	0,65
Exterior	BLANCO DE ZINC	89,02	88,79	-0,23	6,82	6,46	-0,36	101,01	102,33	1,33	0,53
Interior	CARBONATO CÁLCICO	89,37	88,97	-0,39	12,85	12,51	-0,34	92,30	91,76	-0,54	0,55
Exterior	CARBONATO CÁLCICO	89,74	89,58	-0,16	13,17	12,92	-0,26	91,23	90,71	-0,52	0,44
Interior	SULFATO CÁLCICO	90,40	90,10	-0,29	4,36	4,26	-0,10	90,94	90,55	-0,40	0,32
Exterior	SULFATO CÁLCICO	90,49	90,09	-0,40	4,49	4,49	0,00	91,24	90,65	-0,59	0,41

(L\*) de antes, después y la diferencia entre ambas (DL\*), igualmente se dispone el Cromo (C\*), y a continuación se encuentra el Tono (h) y la discrepancia entre los datos anteriores y los posteriores a la radiación. Por último se encuentra la diferencia de color total (DEab), que es el dato final que nos muestra la variación obtenida en cada color.

Los mejores resultados logrados se reflejan en todos los blancos con una diferencia de entre 0,3 y 0,7. En general los datos que se encuentran por debajo de 3 son totalmente imperceptibles de cualquier variación cromática. En cuanto a los que superan este dato se encuentran las dos lacas (carmin y laca de granza), que posiblemente por tratarse de policromías más débiles, ya que no estamos hablando de pigmentos sino de lacas, han obtenido un cambio ligeramente superior al resto, aunque se ha comprobado que las variaciones logradas siguen siendo imperceptibles para el ojo humano.

Por último hay que resaltar los datos obtenidos en el negro marfil, ya que las mediciones de este color no se han dado por válidas y por tanto no son comparables. Esto se debe a las limitaciones del aparato medidor, ya que el espectrómetro no mide de forma precisa el color negro puro. Como se puede observar en la tabla, la gran variación se encuentra en el tono (h) donde el instrumento ha percibido cada vez un tono diferente ya que el negro no lo concibe como un color.

En cuanto a la diferencia en la medición de una misma policromía en el punto interior y exterior, resaltar que la variación es mínima entre ambos puntos y por tanto la diferencia de temperatura que existe entre ambas zonas no es estimable. Esto nos confirma la homogeneidad del tratamiento en la zona irradiada.

La variación obtenida en general en todas la policromías es despreciable, es decir, que los colores no han sido alterados visualmente y se encuentran rondando o por debajo del umbral de percepción del ojo humano.

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados aquí expuestos suponen una primera aproximación para conocer cuál es el comportamiento de las policromías tradicionales ante una tratamiento de desinsectación con microondas.

La primera fase de la investigación se ha centrado en conocer el comportamiento de los diferentes pigmentos y si estos podían resultar reactivos al tratamiento. En los estudios realizados se ha podido observar que los pigmentos utilizados tradicionalmente tienen una conducta favorable, ya que no actúan como pantalla o reflejo de las microondas sino que forman una película discontinua que permite su propagación de forma homogénea hacia el interior de la madera.

Otro de los factores que se ha controlado durante el estudio ha sido la temperatura que alcanzan las policromías durante el tratamiento. Pese a la distinta composición de los pigmentos, el resultado obtenido en los en los cinco grupos de muestras ensayadas es muy similar. El aumento de temperatura que han sufrido se establece en una media de 4,66°C. Este incremento, tan insignificante si lo comparamos con diferentes tratamientos de restauración en los que se aportan temperaturas más elevadas, señala que las policromías tienen bajo riesgo de sufrir algún cambio en sus propiedades.

En relación al calentamiento que se produce en el interior de la madera hay que destacar que es mucho mayor que el aumento de temperatura sufrido en las policromías. Esto nos indica que el calentamiento se concentra en la madera, llegando a superar internamente los 55°C necesarios para la efectividad del tratamiento contra insectos xilófagos.

Los datos obtenidos de las temperaturas nos indican que la radiación podría aumentarse hasta los 30 o 35 segundos de aplicación, ya que el incremento de la película pictórica es mínimo. De esta forma la temperatura interna de la madera se situaría en 60°C, mejorando la efectividad del tratamiento contra insectos xilófagos y no resultando perjudicial para la película pictórica.

Sin embargo, sería necesario considerar el riesgo de calentamiento de los estratos que entran en contacto con la madera, ya que, como se ha visto en aquellas muestras sin policromía existe riesgo de calentamiento por contacto o conductividad. Éste es un dato a considerar ante el tratamiento de obras donde no exista capa de preparación.

Después de comprobar que los pigmentos no han sido reactivos, el próximo paso a seguir será la radiación de las microondas por el anverso, es decir por la cara de las policromías para garantizar un buen tratamiento en obras de difícil acceso al reverso de las mismas.

A priori, dado que el calentamiento viene determinado por el contenido de humedad y la presencia de partículas polares, esta metodología de aplicación no debe modificar sustancialmente los resultados aquí recogidos, ya que se ha comprobado que tanto aglutinante como pigmentos se muestran bastante “inertes” a la irradiación, y por tanto, el mayor calentamiento debe darse en el interior de la madera y los insectos, en su caso.

En relación a las pruebas colorimétricas realizadas antes y después del tratamiento, como hemos observado los cambios obtenidos son totalmente imperceptibles de cualquier variación cromática, exceptuando las lacas que han obtenido un cambio ligeramente superior al resto, aunque se ha comprobado que estas variaciones siguen siendo imperceptibles para el ojo humano. En definitiva, la variación obtenida se encuentra rondando o por debajo del umbral de percepción del ojo humano, lo cual nos indica que no es apreciable y por tanto los colores no han sido alterados visualmente después del tratamiento con microondas.

Aunque los resultados colorimétricos sean optimistas, sería conveniente realizar más pruebas en tiempos de tratamientos más largos, sobre todo en las policromías que se han mostrado más sensibles como las lacas para asegurar y garantizar que éstas no resultan dañadas.

Antes de considerar como adecuado cualquier tratamiento de restauración, debemos tener presente el criterio de máximo respeto hacia la obra y todos sus componentes. Por ello hay que seguir investigando sobre el comportamiento de las diferentes técnicas empleadas por los artistas con el fin de determinar si se producen cambios que puedan dañar la obra de arte.

Aunque se ha comprobado la efectividad del tratamiento en obras policromadas al temple de huevo, en la actualidad, la investigación está centrada en seguir conociendo el comportamiento de los estratos pictóricos en la técnica del oleo y en los barnices tanto naturales como sintéticos. Por otra parte también se está estudiando el comportamiento de las láminas metálicas (plata y oro) y policromías sobre láminas metálicas (corlas y temple) frente a la radiación con microondas.

## NOTAS ACLARATORIAS

1. Una cámara anecoica es una sala especialmente diseñada para absorber las radiaciones que inciden sobre las paredes, el suelo y el techo de la misma. Para la antena utilizada no es necesario este tipo de cámaras, ya que ha sido testada y contrastada con métodos de prueba estándares para determinar la conformidad con los límites reguladores de los niveles de radiación de energía electromagnética permitidos para el hombre (en España, RD 1066, 2001)
2. Se ha realizado la mediana y no la media aritmética porque, aunque ambas son estadísticas de posición central, la principal diferencia radica que en

que la media es sensible a valores extremos, ya que toma en cuenta todos los valores para su cálculo. En cambio la mediana cuenta posiciones, así, si se obtienen valores atípicos o extremos al resto el resultado final no queda alterado, es decir, que la mediana es el valor variable que tiene la misma cantidad de valores menores que éste y de valores mayores que éste.

3. Las muestras de ensayo han sido realizadas con madera de conífera (*Pinus sylvestris*), con unas dimensiones de 8 x 8 x 1cm, y una preparación de unos 2mm de grosor.

## BIBLIOGRAFÍA

Pérez-Marín, E. (2005): *Estudio técnico y conservativo del retablo barroco valenciano aplicado al desarrollo de nuevos métodos de desinsectación de la madera: radiación con microondas*. Directora: M<sup>a</sup> Victoria Vivancos. Tesis doctoral. Universidad

Politécnica de Valencia, Departamento de conservación y restauración de Bienes Culturales.

Pérez-Marín, E.; Vivancos-Ramón, V. (2006): "Experimentación con microondas como tratamiento alternativo de desinsectación de madera policroma". En: *Preprints 16th International Meeting on heritage Conservation*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Vol. 2.

Pérez-Marín, E. (2008) "La desinsectación con microondas como sistema alternativo. Experimentación y estado de la cuestión". En: *La desinsectación de la madera, revisión de los últimos sistemas*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. pp. 19-53.

Zona-Ortiz, A.T. (2007) *Aplicaciones de la tecnología de microondas a la desinsectación en los sectores: cárnico y de restauración de bienes culturales*. Directores: Luis Nuño Fernández y Juan Vicente Balbastre. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Departamento de comunicaciones, Valencia.

---

English version

TITLE: *A study of the performance of polychromies with egg tempera on board in microwave insect extermination treatments of wood*

ABSTRACT: *The microwave insect extermination in wood is an effective treatment that has prospects for application in the field of heritage preservation. However, its use in polychrome wood should be studied in depth, to discover possible changes that may occur in the pictorial components.*

*This article presents the studies performed to assess how egg tempera polychromies behave under microwave radiation. To do this, the heating of the binder and traditional pigments and the colour variations were studied.*

*The treatment times and powers applied showed that despite the presence of metallic particles in many of the pigments, polychromies remain at values lower than the wood's heating, the colorimetric change obtained in the group of polychromies being found to be imperceptible.*

KEYWORDS: *insect extermination, disinfection, microwaves, polychromy, polychrome wood, panel painting*