

# Evaluación del proceso de limpieza del lienzo de Cuauhquechollan a través de mediciones colorimétricas

Manlio Favio Salinas Nolasco, Françoise Hatchondo Roux

## RESUMEN

En el presente texto se reporta el análisis colorimétrico de un registro de color realizado del lienzo de Cuauhquechollan a partir de mediciones espectrofotométricas, con el fin de evaluar el posible impacto de la limpieza sobre un bien cultural de semejante naturaleza.

Se seleccionaron cuarenta puntos dentro de la superficie del lienzo, con los colores más representativos y de textura homogénea en el área de medición. Se realizaron las medidas colorimétricas con el espectrofotómetro de contacto CM2600d Minolta® antes y después de la limpieza del mismo.

Los resultados obtenidos proveen de interesante información acerca de los cambios ocurridos en los colores del lienzo y de la naturaleza de lo limpiado, además de contar en conjunto con datos numéricos que identifican al lienzo en lo referente a sus colores más representativos.

Los cambios registrados en los colores no fueron drásticos. Se aprecia un aumento de claridad y oscurecimiento en proporciones semejantes. La percepción de los tonos resultantes indica una tendencia moderada, pero significativa hacia los tonos azules, que corresponde con la paleta original de la manufactura cromática del lienzo.

**Palabras clave:** colorimetría, espectrofotometría, lienzo, códice, limpieza.

## ABSTRACT

This paper reports the colorimetric analysis of a color recording of the Cuauhquechollan canvas, starting with spectrophotometric measures, in order to evaluate the possible impact of cleaning on a cultural asset of such nature.

Forty points were selected on the canvas surface, with the most representative and homogeneously textured colors in the measuring area. Colorimetric measures were obtained taken with a CM2600d Minolta® contact spectrophotometer before and after cleaning.

The results provided interesting information about the changes in the canvas colors and the nature of the cleaned-out matter. At the same time they delivered numerical data, which identify the canvas in terms of its most representative colors.

The changes observed in the colors were not dramatic. An increase in clarity and darkening in similar ratios was recorded. The perception of the resulting tones indicates a moderate but significant tendency toward blue tones, which matches the original palette of the canvas's chromatic manufacture.

**Key words:** colorimetry, spectrophotometry, canvas, codex, cleaning.

**Manlio Favio Salinas Nolasco**, (Maestro en Ciencias). *Laboratorio de Físicoquímica, Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía, INAH.*

**Françoise Hatchondo Roux**, (Restauradora). *Taller de Textiles, Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural, INAH.*

## INTRODUCCIÓN

La colorimetría aplicada a las obras de arte o a los bienes culturales, a través de mediciones espectrofotométricas, tiene como finalidad registrar con precisión las magnitudes con las que se identifican objetivamente los atributos de un color, los cuales son: el tono, la claridad y la saturación. Esta técnica somete una de las cualidades plásticas más representativas de un objeto a la caracterización propia dada por valores numéricos específicos. Además, es posible determinar los cambios en las propiedades intrínsecas de los colores, debido a la acción de diversos factores de deterioro a través de tiempo, o por operaciones intencionales de conservación. Para esto, sólo basta medir algunas regiones seleccionadas como puntos de color en la superficie del objeto cultural antes y después de un proceso, o a lo largo de un transcurso de tiempo. Las diferencias en los parámetros y las magnitudes colorimétricas antes y después representan una medida cuantitativa del posible cambio ocurrido que, con su respectivo análisis, provee de información relevante sobre el impacto del proceso o fenómeno y la posibilidad de una explicación rigurosa de las causas, los efectos y prevenciones<sup>1</sup>.

Otras aplicaciones se basan en estudios de la obra dentro del ámbito estético (composición y forma)<sup>2</sup>. Esta última no se aleja mucho de un rigor formal que se requiere en ciertos procesos de recuperación de la forma perdida (reintegración cromática en restauración)<sup>3</sup>, además del conocimiento plástico de la técnica y el estilo de manufactura.

En el presente trabajo se desarrolla una aplicación de la colorimetría, ya planteada por diversos autores, para el registro de las cualidades cromáticas en un objeto textil<sup>4</sup> y con la finalidad de evaluar los cambios de color que pueden ocurrir en un lienzo-códice después de un proceso de limpieza.

## EL LIENZO DE CUAUHQUECHOLLAN

Esta pieza es conocida gracias a su inclusión en 1964 en la obra fundamental del Instituto Nacional de Antropología e Historia (México), sobre el registro de su acervo que realizara John Glass de la colección de códices<sup>5</sup>. El lienzo, clasificado como cartográfico-histórico, pertenece al Gobierno del Estado de Puebla (México); sin embargo, se ha expuesto por lo menos desde el registro de 1964, en La Casa del Alfeñique, Puebla (México), y en 2001 fue trasladada al edificio recién habilitado del Hospital Real de dicha ciudad. El 26 de abril del año 2004 el lienzo fue trasladado a la CNCPC (Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural) desde el Museo Nacional de Historia, después de la exposición en la *Muestra Iberoamérica Mestiza*. La pieza y el paño rojo en que venía adherida fueron desprendidos de su

---

1 Johnston-Feller, 2001: p. 1.

2 Martínez, 2001: p. 12.

3 Visado-Peñalver, 1997: 17.

4 Ford, 1992: p. 1.

5 Glass, 1964: p. 35.

bastidor, para ser enrollados en un *sonotubo* de gran diámetro y ser trasladados en las mejores condiciones. A principios de agosto de 2004, se efectuó el desembalaje del lienzo y su observación analítica.

## Composición material del lienzo-códice

El lienzo de Cuauquechollan es un códice de dimensiones excepcionalmente grandes: 2.45 m x 3.20 m (figura 1), constituido de la unión de unas 16 tiras recuperadas de piezas textiles que tuvieron otro uso, todas de un ancho que varía entre 40 y 53 cm aproximadamente, medidas que corresponden con la manufactura en telar de cintura, las cuales pudieron haberse originado desde la época precortesiana, ya que el fechamiento del lienzo-códice es del siglo XVI.



Figura 1. Lienzo de Cuauquechollan.

Algunas de las tiras unidas entre sí muestran bordes *acordonados* en cabecera u *orillos* de su tejido, siendo de *franjas en curva*, una técnica peculiar lograda en tejido de telar de cintura que aún emplean los indios otomíes, totonacas y nahuas de la Sierra de Puebla (México). La pieza está unida por costura a un paño de color rojo oscuro, que hace resaltar sus lagunas. Los bordes, salvo en su largo superior reforzado naturalmente por el orillo lateral o final de las cuatro tiras, no se presentan reforzados. Se encuentra deshilachado el borde exterior de la cenefa de *motivo acuático* unida al lateral izquierdo e inferior, así como el borde de su lateral derecho. Este lado, debilitado por la falta de un *acabado*, termina abruptamente en el contenido pictórico, por el corte a lo ancho de las cinco o seis tiras que lo componen.

Este gran documento presenta notables diferencias de factura. Las tiras que ostentan bordes acordonados son tejidas en *taletón* –entramado doble en urdimbre

sencilla – y constituyen la mayor parte de la mitad izquierda. Lo anterior genera una densidad de tejido menor a la de un tejido de ligamento sencillo o tafetán (un hilo de trama por uno de urdimbre), predominando en las tiras que forman la superficie derecha de la pieza.

En su composición plástica, el lienzo tiene rasgos de indudable tradición prehispánica (figura 2): tratamiento de los cursos de agua, la toponimia campaniforme y, sobre todo, el contenido del lienzo asentado dentro de un marco contenedor de corriente acuática, como se observa en algunas obras murales y relieves ornamentales.

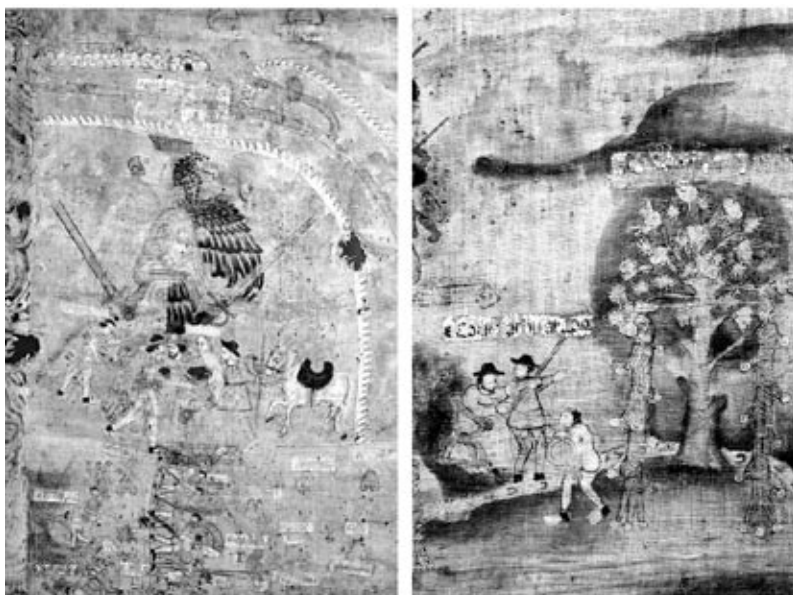


Figura 2. Detalles de la composición plástica y cromática del lienzo de Cuauhquechollan.

## Estado de conservación

Es notable la pronunciada resequedad que presenta el lienzo, provocada tras una larga exposición a la luz natural, y lo más probable, de manera directa<sup>6</sup>. Este deterioro es acompañado por pequeños faltantes causados por la rotura de la tela, a su vez, debilitada por la acción de la luz, desgastes cargados hacia la izquierda del lienzo. La exposición constante a la luz ha modificado los colores originales del lienzo, que siendo de tonalidades predominantemente azules, se han virado hacia otros colores.

La aplicación pictórica consiste, en general, en veladuras de colores acuosos y en empastados de colores blancos, estas últimas cuarteadas y con desprendimiento severo. Además, el lienzo tiene cartelas de papel adherido del tamaño del texto en letra latina, que acompañan algunas escenas y que dan a conocer los topónimos y los nombres de algunos capitanes como *Cortés* y *Alvarado*. La pérdida de su significado

6 Van Beek, 1966: p. 123.

es casi total, ya que el material de papel recubierto de pasta blanca se ha venido fracturando y desprendiendo en pequeños fragmentos, de manera que quedan hoy legibles unos cuantos del total original.

Tras un conjunto de pruebas con diversos disolventes y considerando la debilidad de algunas partes del lienzo, la estabilidad de los colores y la permanencia de las cualidades cromáticas hasta el momento, se efectuó la limpieza por vía húmeda con una mezcla de agua-alcohol al 50% en volumen, sobre la base de tener una difusión superficial lo suficientemente penetrante y retentiva, además de favorecer la humectación acuosa por absorción del textil.

## El registro y la medición colorimétrica

La aplicación de la *colorimetría* a problemas de conservación y restauración del patrimonio cultural es un asunto aún no muy explorado<sup>7</sup>. Considerando que la apreciación de un objeto se realiza a través de la percepción visual<sup>8</sup>, cuando menos en una primera instancia, los parámetros colorímetros obtenidos a través de una medición del color pueden definir el carácter único de las cualidades plásticas del objeto<sup>9</sup>, además de sus cualidades estéticas<sup>10</sup>, icónicas<sup>11</sup> y valorativas<sup>12</sup>.

La *colorimetría* propone<sup>13</sup>, a través de mediciones físicas cuantitativas, valores para distinguir un color con respecto de otro; la precisión numérica puede ser tal, que en una observación directa sería difícil distinguir a simple vista diferencias en color, aunque los parámetros colorímetros sean diferentes.

Por lo anterior es que la *colorimetría* basa sus aplicaciones en el *registro colorimétrico*, es decir, la colección sistemática de mediciones del color de un objeto dado; lo que se realice o cómo se manejen los datos obtenidos depende del objetivo por el cual se llevan a cabo dichas mediciones y del área de investigación donde se aplique. En el caso de la conservación y restauración de objetos culturales, sus aplicaciones van desde la simple documentación de los colores característicos, la descripción de la forma y composición de una obra pictórica, hasta las propuestas adecuadas de reintegración según las cualidades cromáticas del objeto.

## Atributos del color

Cuando se mide un color a través de un espectrofotómetro, el resultado obtenido es una representación numérica de dicho color en tres magnitudes. Una *coordinada cromática*<sup>14</sup> es la representación normalizada de los *valores triestímulo* y cada uno de los elementos de la coordinada se denomina *componente cromático*. Como conjunto de tres números reales, estos valores pueden ser representados en un diagrama tridimensional y tienen propiedades vectoriales. Se puede decir que la coordinada cromática representa un punto en el espacio tridimensional denominados

---

7 Salinas-Nolasco, 2003: p. 25.

8 Arnheim, 1997: p. 47.

9 Cárdenas, 1990: p. 23.

10 Salas, 1999: p. 14.

11 Portal, 2000: p. 10.

12 Gage, 2001: p. 105.

13 Aguilar et al, 1995: p. 399.

14 *Ibíd*: p. 405.

*espacios de color*<sup>15</sup>. Puede representarse una coordenada cromática con dos componentes (haciendo constante o fijando el tercero) en un espacio bidimensional; a estos espacios se les denomina *diagramas de color*<sup>16</sup>.

El sistema más utilizado para la representación espacial de un color es a través del sistema CIE  $L^*a^*b^*$ , denominado de *magnitudes psicofísicas*, debido a que se refieren a las nociones perceptuales y psicológicas que definen un color en términos de su identificación cotidiana. Cada uno de estos parámetros se define como:

$L^*$  = claridad métrica o luminancia

$a^*$  = contribución en las componentes verde-rojo

$b^*$  = contribución en las componentes amarillo-azul

El conocimiento de estos tres parámetros identifica a un color en todos sus atributos reconocidos, tal como la luminosidad, el tono y la saturación. En este análisis sólo consideramos cada terna como la propiedad intrínseca del objeto en cuanto a un color, y su manejo estadístico está en función de sus variaciones en magnitud después de la limpieza.

## El registro colorimétrico

Al medir los colores de un objeto se tiene que considerar que los datos resultantes (conjunto de coordenadas cromáticas) deben servir para conocer con exactitud los colores originales de la obra; por lo tanto, la precisa localización de los puntos es una condición indispensable para conseguir una buena reproducción de los datos y plantear posibles seguimientos a lo largo del tiempo de los cambios que pueda sufrir el color. El *registro colorimétrico* (o *barrido colorimétrico*) es la medición de color de puntos o regiones de un objeto, sistemáticamente seleccionados y que en conjunto permiten el análisis cromático de la obra. La necesidad de este tipo de análisis sobre un objeto cultural fue planteada acertadamente por Thomson<sup>17</sup>, y a partir de entonces ha sido aplicado como una herramienta más de estudio científico en la conservación y restauración.

La localización de los puntos sobre el objeto que deberán ser medidos, así como el número de ellos que se requieren para tener certeza de un buen registro colorimétrico, no es un asunto trivial y puede resultar complicado en la medida de la complejidad figurativa de la obra, la disposición espacial de la superficie de color o el tamaño del objeto. Toda selección de puntos de medición es un proceso subjetivo y está en función de las exigencias de documentación, del tamaño, la capacidad cromática de la obra y el tiempo y disponibilidad en la realización de las mediciones. Es de desear poder definir un sistema de registro que resulte lo más objetivo posible y que implique un eficiente manejo y almacenamiento de información, como documento

---

15 Déribéré, 1964: p. 123.

16 *Ibíd.*: p. 125.

17 Thomson, 1975: p. 37.

que, en vistas a corroboraciones futuras, pueda ser comparado sin ambigüedad y no sujeto a las especificaciones de las condiciones originales de medición.

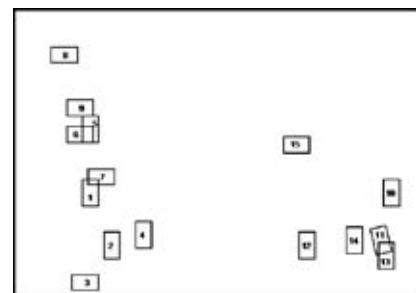
Existen muchos criterios en la selección de los puntos de medición. El criterio más común radica en que la elección esté orientada a registrar los tonos predominantes y característicos de la obra. El sistema de referencia socorrido para este criterio consiste en elaborar un acetato con la silueta (o líneas de referencia significativas) de la región donde se quieren localizar los puntos; se localiza el punto sobre la silueta y se perfora el acetato para que a través del agujero se realice la medición colorimétrica. Para posteriores mediciones, se vuelve a colocar el acetato, haciendo coincidir los perfiles o siluetas y volviendo a medir sobre el área del agujero. El registro de colores realizado de esta manera no tiene un sentido espacial formal, es decir, la selección de los puntos de medición es una selección basada en la apreciación y selección particular del operante. Si se requieren verificar los resultados por terceros, es necesario conservar los acetatos para localizar el punto de manera precisa. Este proceso fue desarrollado ampliamente en España, a través del registro colorimétrico que se realizó en la restauración del fresco de Palomino en la cúpula de la Basílica de la Virgen de los Desamparados de Valencia<sup>18</sup>.

## MÉTODOS

Se utilizó un espectrofotómetro de contacto CM2600d de la marca Minolta®, con un área de medición de 0,6 cm<sup>2</sup> en una circunferencia de 8 mm de diámetro, con visión central de campo de 10°. Se utilizó una fuente normalizada de luz D65, previamente estandarizada con un blanco patrón, a una intensidad luminosa de 100 cd/m<sup>2</sup>. La velocidad de respuesta es de aproximadamente 1 segundo.

Se seleccionaron 40 puntos de medición colorimétrica a lo largo y ancho del lienzo (figura 3), de tal forma que constituyeran en conjunto los colores más característicos del mismo. Sobre la región de medición elegida en la superficie del lienzo, se colocó un acetato, en el cual se perfiló a grandes rasgos la silueta de las representaciones figurativas más sobresalientes, con el fin de que las líneas así dibujadas sirvieran de referencia para una posterior localización de la zona de medición. Se identificó en el acetato sobre el lienzo el punto preciso de medición, dibujando en él un círculo de aproximadamente 8 mm de diámetro. Se recortó el acetato en el círculo y en ese espacio vacío se procedió a la medición del color del lienzo con el espectrofotómetro de contacto. El proceso se repitió para los cuarenta puntos en 15 acetatos en la primera medida previa a la limpieza.

En la segunda medición posterior a la limpieza, se recurrió a los acetatos previamente elaborados, y se realizaron las mediciones en los puntos seleccionados con la seguridad de la localización precisa de los colores registrados.



*Figura 3. Número y ubicación de los acetatos de referencia utilizados sobre el lienzo para la localización de los puntos de medición colorimétricos.*

18 Roig et al, 1999: p. 221.

Las mediciones de los puntos registrados constituyeron una colección de cuarenta puntos con tres parámetros colorimétricos cada uno ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), siendo en total 240 las magnitudes manejadas en un análisis estadístico para su discusión del proceso anterior y posterior a la limpieza del lienzo.

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la medición espectrofotométrica de 40 puntos sobre el lienzo arrojaron los resultados reportados en la tabla 1.

### Diferencia entre las coordenadas cromáticas

Utilizando las magnitudes en las coordenadas cromáticas obtenidas directamente de las mediciones espectrofotométricas realizadas en los dos tiempos del proceso de limpieza, es posible comparar sus ubicaciones en el diagrama colorimétrico como un desplazamiento en el color debido al proceso de limpieza. En la figura 4 se observa la variación de claridades de cada uno de los puntos medidos después del proceso de limpieza. Las columnas ubicadas sobre el eje de cero de referencia representan la magnitud de cuánto se aclararon después de la limpieza. Las columnas ubicadas bajo el eje cero de referencia, representan la magnitud de cuanto se oscurecieron después del proceso de limpieza.

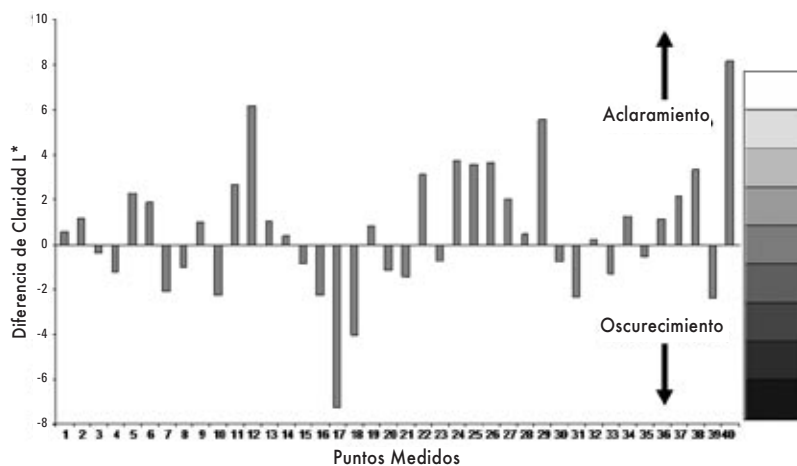


Figura 4. Magnitudes de oscurecimiento y aclaramiento de los puntos medidos.

Se puede apreciar que la operación de limpieza del lienzo afecta aparentemente de manera aleatoria las regiones de los puntos medidos en cuanto a aclarar el color u oscurecerlo. Si se considera que la limpieza tiene como finalidad extraer materia depositada sobre la superficie, es natural suponer que el aclaramiento de los colores es el fenómeno esperado. Sin embargo, se observa que en el lienzo el



Tabla 1

Conjunto de coordenadas cromáticas para los cuarenta puntos registrados previo y posterior a la limpieza del lienzo-código de Cuauhquechollan.

Acetato	N°	PRIMERA MEDICIÓN			SEGUNDA MEDICIÓN		
		L	a*	b*	L	a*	b*
1	1	47.65	0.50	14.59	48.23	0.46	15.50
	2	47.05	0.29	14.33	48.23	0.46	15.50
	3	49.35	0.33	15.38	49.00	0.62	16.05
2	4	54.95	-1.21	13.78	53.72	-0.71	13.42
	5	53.09	0.10	14.54	55.41	-0.18	14.23
	6	53.34	0.75	16.30	55.23	-0.46	14.12
3	7	47.44	-6.87	3.30	45.35	-7.70	2.58
	8	49.33	-5.64	5.66	48.31	-6.17	5.08
	9	47.00	-5.14	6.50	47.98	-4.72	7.26
4	10	41.44	3.52	11.33	39.19	3.25	9.39
	11	36.35	3.21	9.65	39.06	3.10	9.67
	12	36.57	3.87	10.25	42.71	2.62	4.09
5	13	45.95	-2.35	9.95	47.00	-1.99	10.33
	14	49.95	-3.86	8.34	50.34	-4.08	7.47
	15	50.83	-2.29	10.12	49.96	-0.47	12.09
6	16	38.14	7.24	9.50	35.90	9.56	6.29
	17	44.23	5.61	12.66	37.01	7.39	8.48
	18	34.71	6.92	7.13	30.70	10.92	4.78
7	19	42.33	17.42	18.56	43.16	18.02	20.12
	20	46.18	15.23	19.66	45.04	15.34	19.05
	21	46.53	13.62	18.86	45.12	14.29	18.89
8	22	64.74	2.04	11.24	67.84	1.72	12.36
	23	26.69	1.08	3.39	25.94	1.10	3.91
	24	22.93	2.00	4.27	26.67	1.61	4.12
9	25	23.09	1.29	3.94	26.66	0.79	2.73
10	26	42.98	10.76	20.27	46.66	10.34	20.73
	27	48.22	11.62	23.33	50.25	10.87	22.40
	28	48.30	11.58	22.37	48.78	11.37	22.14
11	29	58.78	1.18	12.84	64.35	2.85	13.19
12	30	54.70	1.57	16.65	53.92	1.77	17.02
	31	55.16	0.09	14.20	52.83	0.07	14.23
	32	55.53	3.16	16.75	55.78	2.32	16.71
13	33	28.21	4.20	9.41	26.92	4.11	8.88
	34	27.79	3.69	7.74	29.08	3.72	8.50
	35	29.05	5.51	11.61	28.55	5.54	11.60
14	36	51.94	8.53	26.93	53.06	7.94	26.66
	37	52.29	10.08	29.09	54.45	9.33	29.24
	38	49.38	10.03	28.89	52.74	8.53	27.25
15	39	40.57	17.23	18.17	38.21	19.97	21.15
	40	39.71	17.96	17.84	47.83	11.23	9.80

57,5% de los puntos seleccionados se aclaró (incrementó el valor de  $L^*$ ) y el 42,5% se oscureció (disminuyó el valor de  $L^*$ ), lo que representa en términos prácticos una equivalencia en partes iguales en dichas variaciones. Todos los puntos sufrieron un cambio en su claridad, pero fueron cinco de ellos cuya magnitud sobrepasa la media de entre todos (los puntos 12, 17, 18, 29 y 40).

Con respecto a las magnitudes  $a^*$  y  $b^*$ , es posible ubicarlas en el plano circular del diagrama cromático CIE  $L^*a^*b^*$  (figura 5), donde se observa la correlación de las características cromáticas utilizadas en el lienzo y la evolución del color debido a la limpieza.

En la figura 5 se observa que los colores registrados se ubican en la mitad superior del diagrama, es decir, la paleta de los colores predominantes en el lienzo no incluye tonos como el azul, el púrpura, el violeta y los rojos o magentas. También se observa que la dispersión de los puntos no cambia de manera significativa en el diagrama, es decir, no hay puntos que se salgan de la tendencia de manera considerable. Después del proceso de limpieza, los colores del lienzo siguieron ubicándose en la región superior del diagrama.

Como se mencionó con los cambios de luminosidad, todos los puntos medidos sufrieron cambios en la contribución verde-rojo y amarillo-azul, en menor o mayor grado. Comparando los valores obtenidos para cada coordenada antes y después de la limpieza en un plano cartesiano, es posible apreciar ciertas características. Si los colores del lienzo no hubieran cambiado después de la limpieza, los puntos respectivos de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  deberían ubicarse en la línea diagonal punteada señalada en las figuras 6, 7 y 8, respectivamente.

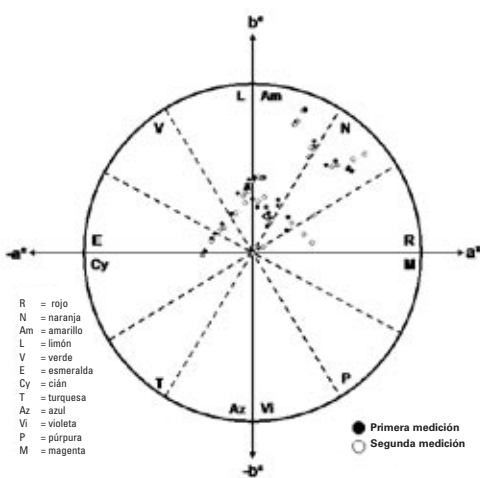


Figura 5. Ubicación de los puntos medidos previo y posterior a la limpieza en el círculo cromático.

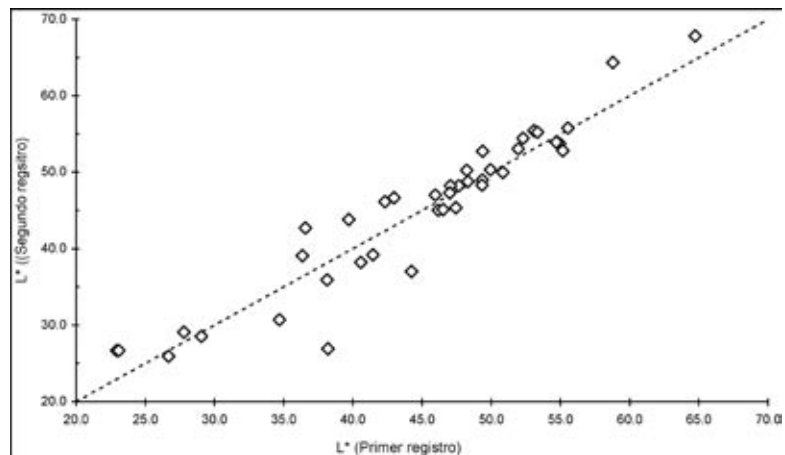


Figura 6. Comparación de los valores de claridad  $L^*$  antes y después de la limpieza.

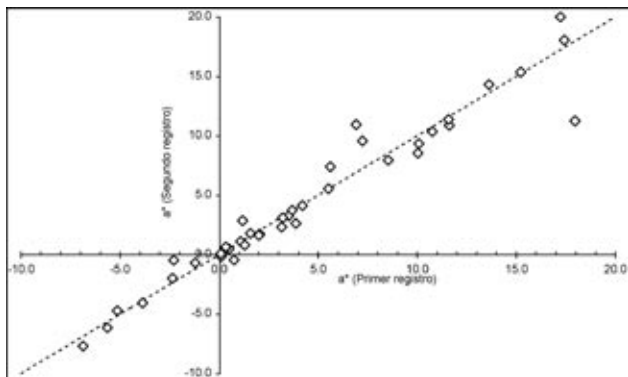


Figura 7. Comparación de los valores de la contribución verde-rojo  $a^*$  antes y después de la limpieza.

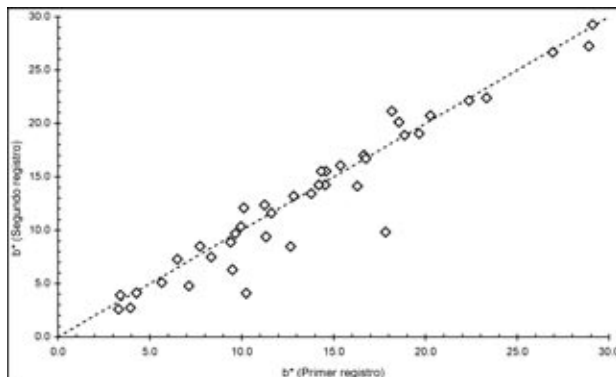


Figura 8. Comparación de los valores de la contribución amarillo-azul  $b^*$  antes y después de la limpieza.

Esta dispersión hacia arriba y debajo de la línea diagonal muestra claramente la variación que sufrió cada punto con respecto al otro en ambas medidas consecutivas. Los valores de  $L^*$  muestran una mayor dispersión que los valores de  $a^*$  y  $b^*$ . A su vez, los valores de  $b^*$  muestran una mayor dispersión que los valores de  $a^*$ . La dispersión de los puntos alrededor de una referencia se puede determinar a través de la desviación estándar del conjunto de datos, las cuales se muestran en la tabla 2.

Tabla 2

Desviaciones estándar e incertidumbres de las variaciones en el conjunto de colores registrados en el lienzo antes y después de la limpieza.

Parámetros	Desviación estándar	% de Incertidumbre
$L^*$	+ 2.92	7.58 %
$a^*$	+ 2.27	5.73 %
$b^*$	+ 6.59	8.35 %

Este es un claro indicio que el proceso de limpieza, además de influir en el aclaramiento u oscurecimiento del color, también afecta significativamente la contribución del parámetro  $b^*$  al color. La mayoría de los colores tiende a disminuir los valores de  $b^*$  después de la limpieza. Considerando que el parámetro  $b^*$  proporciona la medida de la contribución al color en amarillo (valor positivo de  $b^*$ ) y el azul (valor negativo de  $b^*$ ), una disminución de la magnitud de  $b^*$  implica cierta presencia de azul extra después de la limpieza, que es el tono originalmente presente en la técnica pictórica de realización del lienzo.

### Distribución de valores

En términos globales, es posible comparar todos los datos en conjunto y determinar la tendencia general de los colores después del proceso de limpieza.

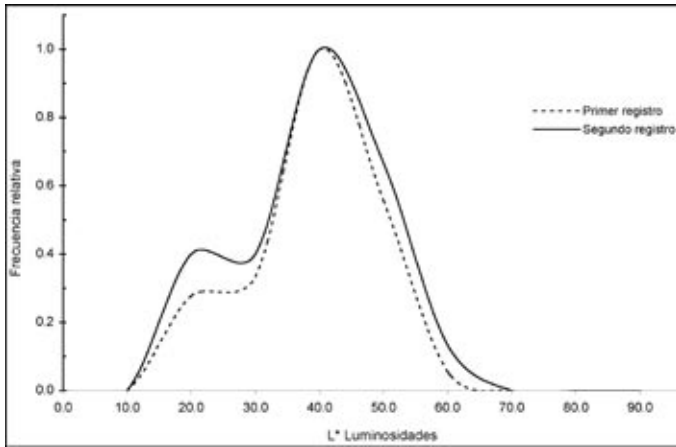


Figura 9. Distribución global de todos los puntos de medición antes y después de la limpieza con respecto a los valores de claridad  $L^*$ .

Esto nos permite concluir cuál es el efecto global que le ocurrió al lienzo después de limpiarlo por el tratamiento utilizado en este caso.

La figura 9 muestra la distribución de todos los puntos seleccionados y medidos antes y después de la limpieza para los valores en claridad  $L^*$ . Se puede observar que las mayores diferencias entre las dos curvas se aprecian en el intervalo de 20 a 35, por lo que de todos los colores registrados, los cambios más trascendentes después de la limpieza fueron en aquellos colores oscuros. La gráfica muestra, además, que los colores seleccionados tienden a ser en mayor proporción oscuros y medios.

La figura 10 muestra la distribución de todos los puntos seleccionados y medidos antes y después de la limpieza para los valores de la contribución verde-rojo  $a^*$ . En este caso se observa que, a pesar de que las curvas no muestran equivalencia por correspondencia, los picos sobresalientes se conservan bajo la apreciación de un corrimiento hacia la izquierda del diagrama.

La figura 11 muestra la distribución de todos los puntos seleccionados y medidos antes y después de la limpieza para los valores de la contribución amarillo-azul  $b^*$ . La falta de correspondencia entre las gráficas es notoria, lo que implica que la limpieza reordenó en términos del parámetro  $b^*$  esta coordenada de todos los puntos. Estas variaciones hacen pensar que la propiedad cromática de la materia eliminada posee características que alteran la magnitud  $b^*$  por percepción global del color. La gráfica de antes de la limpieza es la suma de la contribución del lienzo-código más la materia depositada, no así la gráfica después de la limpieza, que puede considerarse la apreciación del lienzo limpio con los colores naturales.

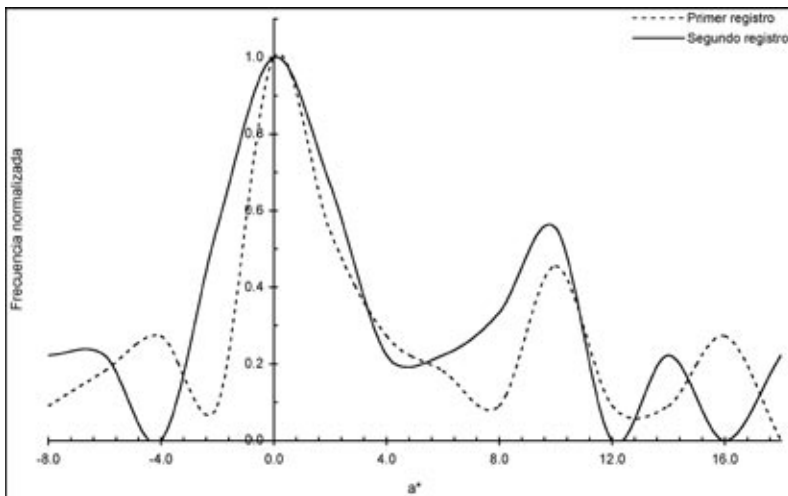


Figura 10. Distribución global de todos los puntos de medición antes y después de la limpieza con respecto a los valores de la contribución al verde-rojo  $a^*$ .

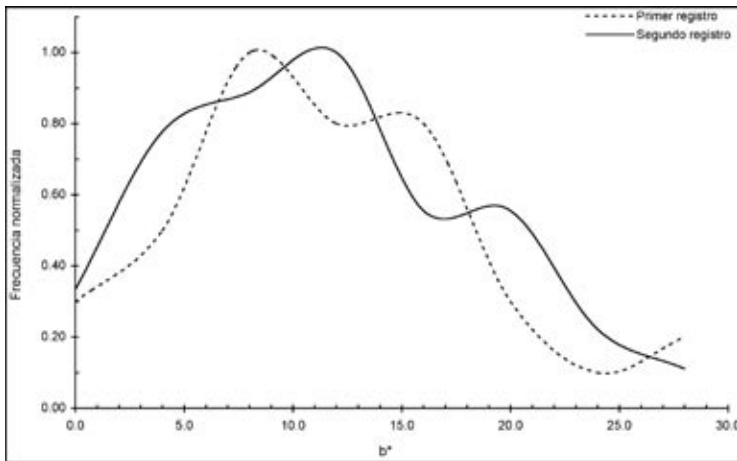


Figura 11. Distribución global de todos los puntos de medición antes y después de la limpieza con respecto a los valores de la contribución al amarillo-azul  $b^*$ .

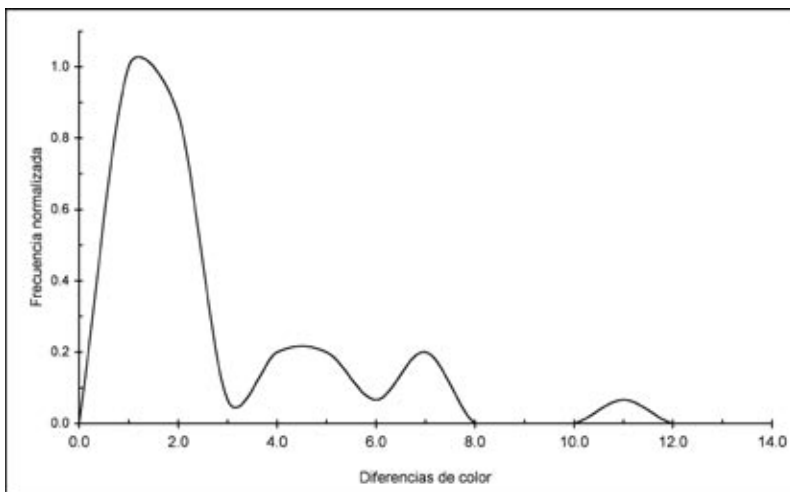


Figura 12. Distribución de las diferencias de color calculadas para cada punto medido antes y después de la limpieza.

## Distribución de diferencias de color

Finalmente, es necesario conocer si los colores sufrieron un cambio significativo al someterse a la limpieza considerando los tres atributos del color en conjunto. Para lo anterior, se requiere el cálculo de lo que se denomina diferencia de color y se obtiene matemáticamente a través de la siguiente expresión:

$$E = \sqrt{(L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2}$$

Donde:

$E$  = diferencia de color

$$L^* = L^*_2 - L^*_1$$

$$a^* = a^*_2 - a^*_1$$

$$b^* = b^*_2 - b^*_1$$

Un punto medido en dos tiempos diferentes, antes y después de la limpieza y en la misma ubicación, podemos definirlos por:

Punto 1 antes de la limpieza:  $(L_1^*, a_1^*, b_1^*)$

Punto 1 después de la limpieza:  $(L_2^*, a_2^*, b_2^*)$

Si el valor de la diferencia de color es cero ( $E = 0$ ), no hay cambio alguno en el color; si la diferencia de color es mayor que cero ( $E > 0$ ), hubo cambio en el color. Cambios del orden cuyas diferencias de color sean iguales a 0.1 ( $E = 0.1$ ), se consideran insignificantes. Cambios del orden de diferencias de color igual a uno ( $E = 1$ ) se consideran moderados. Cambios del orden de diferencias de color igual a cinco ( $E = 5$ ) se consideran bruscos o radicales.

En la figura 12 se observa la distribución de los cambios que se calcularon a partir de las mediciones antes y después de la limpieza. Se advierte que las diferencias de color predominante se ubican en la región de cambio insignificante y moderado. De todos los puntos medidos, 7 presentaron un cambio insignificante (el 17,5%), 28 un cambio moderado (el 70,0%) y 5 un cambio brusco y radical (el 12,5%). En términos de afectación, el 87,5% de los puntos tuvo un cambio aceptable, lo que representa una buena proporción en la consideración de un bajo impacto de la limpieza sobre los colores del lienzo. Sin embargo, el resto de los puntos (12,5%) sobrepasa en mucho la intención de no alterar la apariencia cromática del objeto. Las secciones donde ocurrieron estos cambios requieren de un análisis en detalle, que explique la susceptibilidad de los colores al proceso de limpieza. Cabe mencionar que por el número total de puntos seleccionados y su ubicación en la superficie estadísticamente no es posible discernir sobre la naturaleza del cambio, por lo que el estudio debe realizarse de manera local y sobre las regiones detectadas. Finalmente, los puntos cuyos colores se vieron afectados por la limpieza son el 12, 17, 18, 29 y 40, son los mismos colores que anteriormente se habían mencionado como los representativos en los cambios de luminosidad, saturación y tonalidad.

## CONCLUSIONES

A partir del análisis anterior, podemos establecer algunos puntos de conclusión con respecto a la naturaleza cromática del lienzo y el efecto de la limpieza en los colores del mismo. Considerando que la selección de puntos de medición se realizó de manera subjetiva, las conclusiones en cuanto a las propiedades globales deben tomarse con sus respectivas limitaciones. Aun así, es posible tener una idea amplia de la importancia del registro colorimétrico y la información que a partir de ello se obtiene. Las principales conclusiones son las siguientes:

- Los colores del lienzo elegidos para el análisis colorimétrico, a partir de mediciones espectrofotométricas, pertenecen a aquellos denominados

cálidos y medios (rojo, naranja, amarillo y verde), sin registrarse ninguno de los colores fríos (azul, violeta, púrpura y magenta).

- Todos los colores elegidos para el análisis y registro colorimétrico del lienzo de Cuauquechollan cambiaron después de la limpieza, en menor o mayor grado, desde el punto de vista colorimétrico, aunque perceptiblemente la variación sólo fue de claridad.
- La limpieza del lienzo no provoca una disminución en la claridad de los colores como norma general. Aunque en mayor proporción se aclararon (57,5%), existe una cantidad considerable que se oscureció (42,5%).
- El cambio de la claridad de los colores no se debe a factores de posición en el lienzo ni al tipo de colorante. Probablemente la suciedad eliminada con la limpieza era de diferente naturaleza y estaba depositada en diferentes cantidades a lo largo y ancho de la superficie.
- La limpieza modificó los colores del lienzo en términos de los parámetros  $L^*$  y  $b^*$ , no así del  $a^*$ , lo que implica que la eliminación de suciedad afectó la claridad de los tonos y generó una tendencia cromática hacia el azul (eliminación de colores cálidos), y se recuperó en esencia la calidad cromática original del lienzo.
- Los atributos de color predominantes de los puntos elegidos en el registro colorimétrico son: oscuros y medios, débiles y naranjas amarillentos.
- Los colores que sufrieron el mayor cambio después de la limpieza fueron los oscuros (aclarándose en mayor proporción), los medios (perdiendo saturación la mayoría a débil) y los tonos verdes.
- Las diferencias en color que sufrió el lienzo después de la limpieza se pueden considerar aceptables para un 87,5% de los puntos.
- En los colores que sufrieron un cambio brusco (5 puntos) no existen evidencias de composición o ubicación para determinar la causa; sin embargo, todos ellos eran colores naranja, con variaciones entre el rojo y el amarillo.

Con lo anterior, es posible establecer un conjunto de parámetros de análisis que complementan la efectividad de la limpieza y los riesgos o modificaciones que esta puede ocasionar al llevarse a cabo sobre superficies cromáticas. Una de las formas de ampliar el alcance de las conclusiones, y disminuir la incertidumbre en algunas explicaciones, es establecer un registro colorimétrico más amplio, que cubra gran parte de la superficie del bien cultural bajo un esquema sistemático y geométrico. Con lo anterior, se estrecharía el margen de dejar regiones libres durante el registro y se restringiría la interpretación de los resultados en términos del comportamiento de los materiales cromáticos en secciones de áreas de medición específicas y precisas.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR, R.M. y JIMÉNEZ, V.B. *Iluminación y Color*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia, 1995. 697 p.
- ARNHEIM, R. *Arte y Percepción Visual*. Madrid, España: Alianza Editorial, 1997. 551 p.
- CAGE, JOHN. *Colour and Culture*. London, UK: Thames and Hudson, 2001. 335 p.
- CÁRDENAS, L. *El Lenguaje Pictórico*. México, D.F.: Fontarama, 1990. 420 p.
- FORD, B.L. Monitoring colour change in textiles on display. *Studies in Conservation*, 37(1): 1-11, 1992.
- DÉRIBÉRÉ, M. *El Color*. México, D.F.: Diana, 1964. 137 p.
- GLASS, J. *Catálogo de la Colección de Códices*. México, D.F.: MNAH-INAH, 1964. 187 p.
- JOHNSTON-FELLER, R. *Color Science in Examination of Museum Objects. Nondestructive Procedures*. Los Angeles, USA: The Getty Conservation Institute, 2001. 361 p.
- MARTÍNEZ, M.L. *Determinación de los colores existentes en la decoración al fresco ejecutada por A. Palomino en un fragmento de la nave central de la Iglesia de Los Santos Juanes de Valencia*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia, 2001, 195 p.
- PORTAL, F. *El Simbolismo de los Colores*. Madrid, España: Sophia Perennis, 2000. 156 p.
- ROIG, P.P. y BOSCH, R.I. *Restauración de la Pintura Mural Aplicada a la Basílica de la Virgen de los Desamparados de Valencia*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia, 1999, 247 p.
- SALAS, F. *Gramática del Color*. Valencia, España: Alfons El Magnanim, 1999. 138 p.
- SALINAS-NOLASCO, M.F. *Fundamentos de Teoría del Color y Algunas Aplicaciones en la Conservación y Restauración de Bienes Culturales*. México, D.F.: ENCRyM-INAH, 2003. 30 p. (doc. no publicado).
- THOMSON, G. *Current Research on Colour Change in Paintings at National Gallery of London*. Venecia, Italia: 4th Triennial Meeting ICOM, 1975. 356 p.
- VAN BEEK, H.C.A. y HEERTJES, P.M. Fading by Light of Organic Dyes on Textiles and Other Materials. *Studies in Conservation*, 11(3): 123-131, 1966.
- VISEDO-PENALVER et al. *El color aplicado a los procesos digitalizados y electrónicos de reintegración pictórica como uno de los apartados referentes a la conservación y restauración de obras de arte*. Jarandilla de la Vera (Cáceres) España: IV Congreso Nacional de Color, 1997. 235 p.