

# Efecto de Aerosoles Marinos en el Patrimonio Arquitectónico de Granada: Estudio Colorimétrico de Rocas Calcáreas

/ MAJA UROSEVIC (\*), CAROLINA CARDELL FERNÁNDEZ y EDUARDO M. SEBASTIÁN PARDO

Universidad de Granada, Facultad de Ciencias, Departamento de Mineralogía y Petrología, Avda. Fuentenueva s/n, 18002 Granada (España)

## INTRODUCCIÓN.

La aplicación de técnicas colorimétricas en materiales carbonatados va desde la simple caracterización cuantitativa del color en mármoles (Gökay & Gundogdu, 2008) a la determinación del efecto del tratamiento de agentes consolidantes (orgánicos e inorgánicos) en la reflectancia (luminosidad) y tonalidad en calcarenitas (Durán-Suárez et al., 1995). Fort et al. (2000) usaron esta técnica para evaluar la eficiencia de las técnicas de limpieza en calizas en el patrimonio histórico de Valladolid.

La colorimetría es una técnica especialmente útil para determinar la intensidad del deterioro en ladrillos macizos (Cultrone et al., 2002). El color es, además, uno de los parámetros físicos principales en el valor comercial de los materiales pétreos ornamentales (Gökay & Gundogdu, 2008).

## MATERIALES.

Para determinar el efecto del pulido y el ataque por aerosoles marinos sobre las características cromáticas en las rocas carbonatadas del patrimonio arquitectónico de Granada se han seleccionado dos grupos pétreos con características texturales muy distintas. Uno de ellos incluye rocas muy porosas: (Grupo 1) calcarenita de Santa Pudia (SP) y travertino Ibérico de Albox (AL), mientras que el otro grupo (Grupo 2) lo integran materiales cristalinos: mármol Blanco de Macael (MB) y caliza de Sierra Elvira (SE).

## MÉTODOS.

La investigación se realizó en materiales de canteras actuales. Las losas comerciales fueron cortadas en tabletas de 5x5x1 cm en cuya superficies principales (rugosa o pulida) se realizó la medida en seco. Se utilizó un

colorímetro portátil Minolta CR-210, con un ángulo de visión de 0° y un diámetro del área de medida de 50 mm. Una lámpara de arco de Xenón, dentro de un compartimento mezclador, proporciona la difusión de la luz reflejada incluso alumbrando sobre un área de 50 mm. Las medidas se llevaron a cabo utilizando un iluminante CIE C (con una temperatura de color de 6774 K, simulando la luz del día). Los datos obtenidos se expresaron mediante el código numérico del sistema de color CIELAB ( $L^*a^*b^*$ ) y CIELCH ( $L^*H^*C^*$ ). Para estimar la reproducibilidad de los valores obtenidos se realizaron tres medidas por cada superficie.

Las mismas muestras fueron sometidas a un ensayo de envejecimiento acelerado de alteración por aerosoles marinos. El estudio de los parámetros cromáticos sobre las muestras alteradas y su comparación con las muestras no alteradas permitió evaluar el impacto cromático de los aerosoles. Se usó una cámara de niebla salina INELTEC®. Las muestras se sometieron a un total de 136 ciclos de pulverización continua

(UNE-EN 14147, 2004). Cada ciclo consistió en 3 horas de pulverización y 6 horas de secado, a una temperatura media de 35°C y humedad relativa del 70%. La solución utilizada para la pulverización fue agua marina filtrada.

## CARACTERIZACIÓN COLORIMÉTRICA.

### Muestras naturales no alteradas.

En la Figura 1 se muestran las coordenadas cromáticas en los sistemas CIELAB (a) y CIELCH (b) (CIELAB, 1976) para las diferentes muestras estudiadas. En la Tabla 1 se presentan los valores medios de Luminosidad ( $L^*$ ), coordenadas cromáticas ( $a^*$  y  $b^*$ ), saturación cromática ( $C^*$ ) y ángulo matiz ( $H^*$ ). Se observa que en el Grupo 1, SP presenta mayor luminosidad que AL (Figura 1a). SP tiene los valores  $a^*$  y  $b^*$  más bajos que AL que es más rojizo y más amarillento. En el Grupo 2, MB tiene la luminosidad más alta. SE es más amarillenta y menos verdosa que MB. SE y AL poseen valores semejante de  $L^*$ . Según CIELCH se distinguen bien los dos grupos establecidos (Figura 1b). Las rocas cristalinas (SE y MB) tienen la

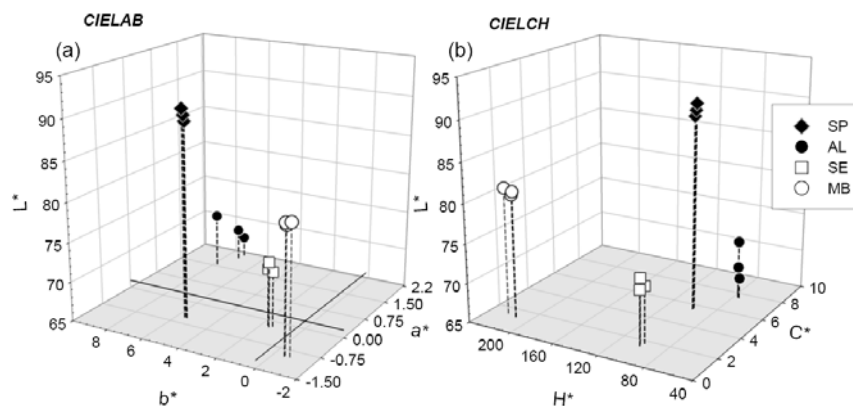


fig 1. Diagrama 3D de los parámetros CIELAB (a) y CIELCH (b) para los cuatro tipos calcáreos estudiados en superficies frescas no pulidas. SP: Calcarenita de Santa Pudia; AL: Travertino de Albox; SE: caliza de Sierra Elvira; MB: mármol blanco de Macael.  
 $L^*$ =luminosidad (-100: negro; +100: blanco),  $a^*$  (-60: verde; +60: rojo),  $b^*$  (-60: azul; +60: amarillo),  $H^*$ =ángulo matiz (en grados),  $C^*$ =saturación cromática. Excepto  $H^*$ , todos los parámetros son adimensionales.

**palabras clave:** Parámetros cromáticos, rocas calcáreas, patrimonio arquitectónico de Granada.

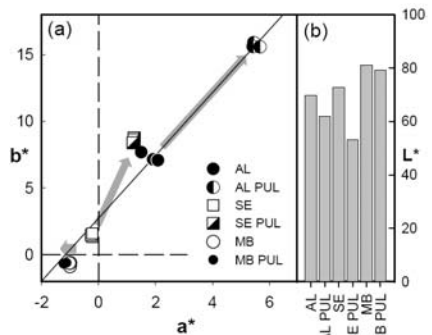
**key words:** Chromatic parameters, calcareous stone, Granada cultural heritage.

saturación cromática (C\*) más alta que las rocas porosas (SP y AL). El ángulo matiz discrimina MB (>200°) del resto de los tipos calcáreos.

**Efecto del pulido.**

El pulido comercial tiene un gran efecto en los valores de las coordenadas cromáticas (a\* y b\*) para AL y SE, mientras que apenas produce cambios en MB (Figura 2a). El aumento de a\* y b\* (aumento de las tonalidades rojizas y amarillentas) es aproximadamente lineal para AL y SE.

Para todos los casos se produce una disminución de la luminosidad (Figura 2b). Esta disminución es más significativa (>20) para SE y mínima para MB (<2).



**fig 2.** Efecto del pulido. (a) Cambio de las coordenadas cromáticas (a\* y b\*) para las muestras pulidas y alteradas. Observe un aumento positivo aproximadamente lineal (línea continua) entre a\* y b\* con el pulido para AL y SP (b) Cambio en la luminosidad (L\*).

**Efecto de aerosoles marinos.**

La Tabla 1 resume los valores medios de los parámetros cromáticos obtenidos para las superficies alteradas y no alteradas. En la tabla se incluyen, además, los valores para las superficies

“raspadas” tras el ensayo de envejecimiento acelerado (señaladas con \*). La mayor variación de color debido a los aerosoles ocurre en SP ( $\Delta E^*=9.18$ ), siendo la menor para SE ( $\Delta E^*=2.90$ ). El impacto sobre otras variables cromáticas es complejo y puede verse en detalle en la Tabla 1. Por simplicidad se discute a continuación el efecto de las sales marinas sobre la luminosidad (L\*).

La disminución de L\* es diferente para materiales de un mismo grupo. Así, en SP y SE disminuyen, mientras que en AL y MB aumentan (Figura 3a) tras el ataque de aerosoles marinos. Sin embargo, para las superficies pulidas estudiadas (AL y SE, Figura 3b) siempre se produce un aumento de L\*.

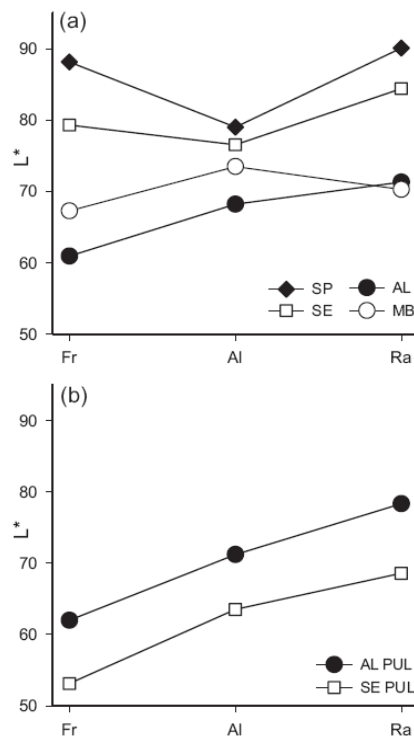
La eliminación en seco de las sales depositadas en la superficie produce un aumento generalizado de L\* en todas las muestras con excepción de MB, donde ocurre un ligero descenso (Figura 3a y 3b).

**CONCLUSIONES.**

Este estudio demuestra la utilidad de esta técnica no destructiva para evaluar los cambios en los parámetros cromáticos producidos por el ataque de aerosoles marinos en rocas carbonadas.

**AGRADECIMIENTOS.**

Este trabajo ha sido financiado por el Grupo de Investigación RNM179 de la Junta de Andalucía y los proyectos de investigación MEC MAT 2004-06804 y FQM-1633 de la Junta de Andalucía.



**fig 3.** Variación de la luminosidad (L\*) con la alteración por aerosoles marinos y posterior lijado. El eje vertical en (a) ha sido desplazado para una mejor comprensión. Para los símbolos Fr, Al y Ra, ver Tabla 1.

**REFERENCIAS.**

Cultrone, G., Sebastián, E., Cazalla, O., Rodríguez Navarro, C. de la Torre, M.J. (2002): Decay behaviour of bricks and its evaluation using colorimetry. *Protection and Conservation of the Cultural Heritage of the Mediterranean Cities*. Swets & Zeitlinger, Lisse, p.145-152.  
 Durán-Suárez, J., García-Beltrán, A. & Rodríguez-Gordillo, J., (1995): Colorimetric cataloguing of stone materials (biocalcarene) and evaluation of the chromatic effects of different restoring agents. *Science of The Total Environment*, **167(1-3)**, 171-180.  
 Fort, R., Mingarro, F. López de Azcona, M. C. Rodríguez Blanco, J., (2000): Chromatic parameters as performance indicators for stone cleaning techniques. *Color Research & Application*, **25(6)**, 442-446.  
 Gökyay, M. K. & Gundogdu, I. B., (2008): Color identification of some Turkish marbles. *Construction and Building Materials*, **22(7)**, 1342-1349.  
 UNE-EN 1414 7, (2004): Métodos de ensayo para la piedra natural. Determinación de la resistencia al envejecimiento por niebla salina. In: AENOR, Madrid.

muestra	Tipo <sup>1</sup>	L*	a*	b*	C*	H*	$\Delta L^*$	$\Delta C^*$	$\Delta E^*$
SP	Fr	90.34	-0.60	5.42	5.45	96.3			
SP 10a	Al	81.23	0.25	4.70	4.71	86.9	-9.11	-0.74	9.18
SP 10a*	Ra	92.29	-0.25	5.74	5.75	92.5	1.95	0.30	2.01
AL	Fr	69.78	1.83	7.31	7.54	75.9			
AL 14a	Al	77.04	1.31	3.17	3.43	67.6	7.26	-4.12	8.38
AL 14a*	Ra	80.13	1.16	2.96	3.18	68.5	10.35	-4.36	11.25
SE	Fr	72.67	-0.24	1.47	1.49	99.2			
SE 35a	Al	69.90	0.53	1.04	1.17	62.4	-2.77	-0.32	2.90
SE 35a*	Ra	77.78	0.41	1.18	1.25	70.9	5.11	-0.24	5.16
MB	Fr	81.25	-1.00	-0.87	1.33	221.0			
MB 13a	Al	76.12	-0.06	-0.02	0.06	198.4	-5.13	-1.26	5.28
MB 13a*	Ra	82.32	-0.43	-0.03	0.43	184.0	1.07	-0.89	1.47

**Tabla 1.** Luminosidad (L\*), coordenadas cromáticas (a\* y b\*), saturación cromática (C\*), ángulo de matiz (H\*), diferencia de luminosidad ( $\Delta L^*$ ), de cromaticidad ( $\Delta C^*$ ) y de color ( $\Delta E^*$ ).  $\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$ . <sup>1</sup> Fr=superficie fresca, Al=superficie alterada, Ra=superficie raspada en seco para eliminar las sales depositadas en superficie.