

LAS MEDIDAS CROMATICAS COMO INDICE DE DETERIORO DE LAS PINTURAS RUPESTRES. TRABAJOS REALIZADOS EN LAS CUEVAS DE CANTABRIA.

Eugenio Villar García, A. Bonet, P. L. Fernández, L. S. Quindós, J. Soto*

Cualquiera que sea la ubicación de unas pinturas rupestres, puede definirse adecuadamente el ecosistema que las contiene, considerando un espacio, más o menos extenso, que posee una serie de elementos básicos, tales como las superficies que limitan su emplazamiento geológico, el aire que contiene, el agua que empaña o circula por paredes, suelo y techo, las poblaciones biológicas que habitan en las rocas, en el aire y en el agua, y las propias pinturas. Este ecosistema interacciona con el medio que le rodea, intercambiando con él materia y energía, lo que hace que se modifiquen los parámetros que determinan su estado.

En la descripción del ecosistema por lo tanto, hay que incluir, de un modo específico, las pinturas realizadas por los hombres prehistóricos, caracterizadas, por una parte, por su estructura y composición química de sus pigmentos, y por otra, por sus características cromáticas.

Es importante realizar un análisis de la composición de los materiales utilizados como pigmentos, con el fin de predecir sus posibles reacciones químicas con los componentes de la roca soporte, con los de la atmósfera que le rodea y con el agua que los empaña. Los pigmentos de que hizo uso el hombre del paleolítico o del neolítico pueden ser muy diversos, pero en todos los casos están formados por minerales triturados y mezclados con algún aglutinante. Se podrían resumir los principales pigmentos de origen mineral en la siguiente relación de colores: los rojos se deben principalmente a los óxidos e hidróxidos de hierro, a la hematita y goethita, los violetas y color vino a mezclas de estos óxidos e hidróxidos con arcillas, los amarillos a la limonita y siderita, los blancos a la caolinita y arcillas, el rosa a mezclas de arcillas y ocre rojo, los marrones a mezclas de ocre rojo y amarillos, el negro al bióxido de manganeso y a la pirolusita. Estos pigmentos se mezclaban principalmente con grasas animales, jugos vegetales, o resinas, formando una masa pastosa, aplicable a la superficie rocosa. En ocasiones también se ha utilizado el ambar para obtener colores claros. Generalmente las figuras son dicromáticas y fueron previamente dibujadas, por lo que aparecen con contornos violáceos o negros.

Aunque las pinturas que resultan son prácticamente insolubles, siempre presentan un grado de solubilidad que se pone de manifiesto a lo largo del tiempo; pueden sufrir deposiciones, descascarillamientos, etc.

La especificación del color de las pinturas rupestres es uno de los datos más importantes a la hora de seguir su posible deterioro. El color psicofísico de una superficie, referido a un observador patrón ("observador medio"), que-

da especificado (1) por tres magnitudes: la claridad L^* (brillo), el croma C^* (intensidad del color), y el tono H^* (clase de color). Para esta especificación se sigue en España las normativas UNE 72.033, 034 y 035. Cada observador patrón se define mediante tres funciones o responsividades espectrales $S_i(\lambda)$, que aplicadas a la radiancia espectral $L_e(\lambda)$ del estímulo, proporcionan los tres valores triestímulo X , Y , Z , dados por:

$$X = \int_{380}^{770} S_1(\lambda) L_e(\lambda) d\lambda$$

$$Y = \int_{380}^{770} S_2(\lambda) L_e(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \int_{380}^{770} S_3(\lambda) L_e(\lambda) d\lambda$$

Las responsividades están tabuladas para cada observador patrón.

En la medida del color se utilizan las relaciones

$$G_1 = X/X_0 \quad G_2 = Y/Y_0 \quad G_3 = Z/Z_0$$

entre los triestímulo del color que se mide X , Y , Z , y los correspondientes a un blanco de referencia X_0 , Y_0 , Z_0 , para formar las funciones:

$$F_1 = G_1^{1/3} \quad \text{si } G_1 > 0,008856$$

$$F_1 = 7,787 G_1 + 0,1379 \quad \text{si } G_1 < 0,008856$$

de las que se resultan las coordenadas de cromacidad:

$$a^* = 500 (F_1 - F_2) \quad \text{y} \quad b^* = 200 (F_2 - F_3)$$

con las que se obtienen las tres magnitudes colorimétricas:

$$\text{Luminosidad } L^* = 116 (F_2 - 0,1379)$$

$$\text{Croma } C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$$\text{Tono } H^* = \arctan_g (b^*/a^*)$$

Por lo general en la práctica se utiliza una iluminación difusa, una superficie blanca de referencia y un espectroradiómetro como aparato de medida. Tanto la situación del sistema de iluminación como del instrumento de medida se señalizan perfectamente en el suelo, con el fin de poder reproducir las condiciones de observación y de medida. Estos aparatos de medida son capaces de propor-

* Departamento de Física Aplicada. Facultad de Ciencias. Universidad. 39005 Santander.

nar los valores triestímulo X , Y , Z de superficies del orden de unas pocas decenas de mm^2 , así como la radiancia espectral $L_e(\lambda)$ para una serie de longitudes de onda comprendidas entre 380 nm y 770 nm. Realizadas las medidas de los valores triestímulo de la superficie, casi puntual, cuyo color se desea determinar, y los correspondientes X_o , Y_o , Z_o , a la superficie del blanco patrón, introduciendo un sencillo programa en un ordenador, se obtienen los valores L^* , C^* , H^* , que especifican el color psicofísico de la pequeña zona coloreada medida. Mediante este método puede realizarse un levantamiento colorimétrico, que abarque un número suficiente de puntos significativos de la pintura en estudio, para que el mapa cromático obtenido sea realmente representativo. Este mapa constituye un testigo del estado del color de las pinturas en el momento en que fué elaborado, a la hora de describir el ecosistema, y sirve de referencia para posteriores medidas comparativas, que permiten cuantificar las posibles evoluciones del color como consecuencia del deterioro de las pinturas.

Dentro del Convenio establecido entre la Subdirección General de Arqueología y la Universidad de Cantabria, se adquirió un espectroradiómetro⁽¹⁾, que operativamente puede ser automático o manual, actuando a la vez de colorímetro de tipo digital, con posibilidad de enfoque desde 1,22 mm hasta infinito, campos de visión circulares desde 2° a 3° , posibilidad de barrido desde 380 nm a 730 nm, con anchura de bandas de 1,5 nm a 10 nm, con unidad de control y registro constituido por un microordenador con impresora y plotter digital incorporados, que permitió realizar en 1981 un levantamiento colorimétrico del techo policromado de la Cueva de Altamira.

En todos los casos se utilizó el aparato en el modo automático y como sistema de iluminación difusa un proyector con lámpara de iodo-cuarzo de 1000 w de potencia, cuya luz se dirigía hacia la concavidad de una sombrilla blanca que se colocaba abierta en el suelo, señalizando para cada medida su posición y la del espectroradiómetro. En este estudio se utilizó siempre una placa patrón de reflectancia de barita y el Observador Patrón CIE 1931, desarrollado por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE). Se realizaron medidas en un total de 102 puntos de color bien significativos, localizados en 12 figuras polícromas distintas, que hoy día diez años después, permitiría determinar si los colores han sufrido alguna evolución si se realizasen nuevas mediciones sobre los mismos puntos. Como ejemplo, en la figura 1 se muestra la localización de los puntos de color medidos en la figura denominada Bisonte del Tabaco.

La utilidad del método se puso de manifiesto cuando se realizó un estudio especial sobre el color de la figura

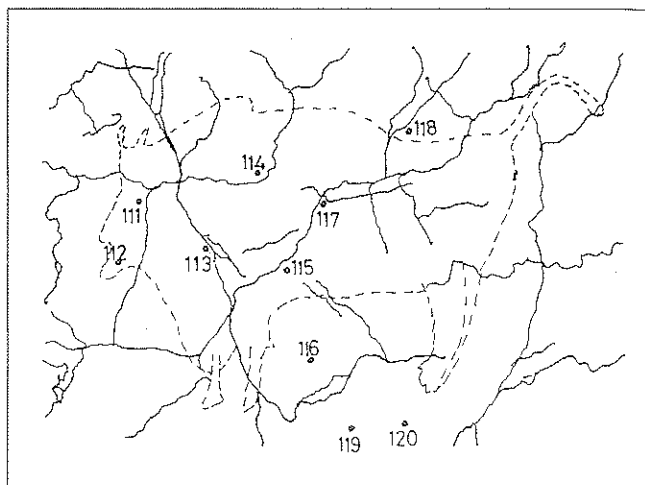


Figura 1

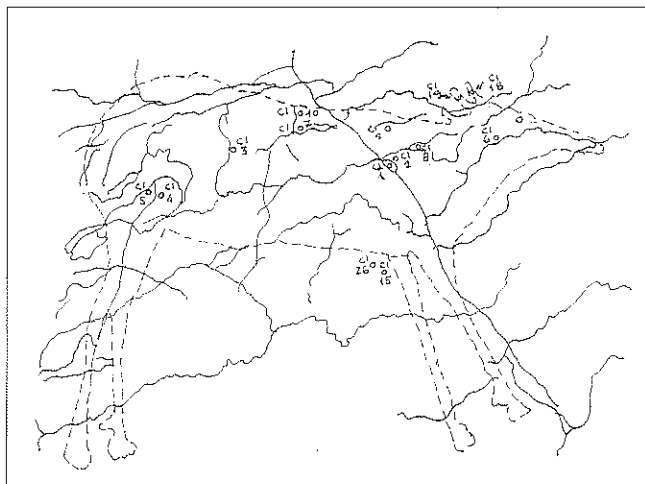


Figura 2

de la Cierva. Esta figura presenta una grieta transversal, al nivel del cuello, y precisamente el cierre definitivo de la Cueva al público (Mayo 1976), tuvo su origen entre otras razones por la diferencia de color que se observaba en la Cierva a una y otra parte de esta grieta. Durante los años 1976 y 1977 se habían realizado mediciones a ambas partes de la grieta⁽²⁾. En 1981, se volvió a medir el color de los mismos puntos, los señalados en la figura 2, con la instrumentación antes indicada, mucho más perfeccionada⁽³⁾. Los resultados se muestran en la figura 3, que es un día-

grama de cromacidad, b^* (longitud radial que mide el croma) - a^* (orientación angular que mide el tono), y en el que se indica también la claridad, L^* . Por A-76, A-77, A-81, se designa el color medio resultante de los puntos 1-7-10 de la figura 2, a la izquierda de la grieta, supuestamente no deteriorada, medidos en los años correspondientes, por B-76, B-77, B-81, el color medio de los puntos 2-8-9, de la zona decolorada, a la derecha de la grieta, y por C-76, C-77 y C-81, el color medio del grupo de puntos B, más el punto 6. El diagrama muestra como las zonas B y C, han ido variando de tono durante ese intervalo de tiempo, pero sobre todo han ido aumentando de croma, al tiempo que la zona A no varía prácticamente de croma, aunque sí de tono, pero lo más importante es que el color de las tres zonas, durante estos años en los que la cueva permaneció cerrada a los visitantes, ha ido igualándose, no notándose ya a simple vista diferencia alguna de color. Es significativo el hecho de que el punto del diagrama al que tienden todas las zonas corresponde precisamente a la cromacidad que se obtuvo en las medidas de color que se realizaron sobre los restos de pintura seca, de ese mismo tono, que se hallaron en el suelo de la Cueva cuando fueron descubiertas. Todo hace suponer que existía una veladura en las zonas B y C de la Cierva, originada como consecuencia del excesivo número de visitantes, veladura posiblemente de microcristales de sales cálcicas, que fué desapareciendo a medida que la Cueva, recobraba su ambiente húmedo natural.

Posteriormente, durante los años 1984 y 1985, se realizó un levantamiento colorimétrico⁴ de las pinturas rupestres de las cuevas de El Castillo, Las Chimeneas, La Pasiega, Las Monedas, Covalanas, La Haza y Santián, a través de un Proyecto que presentamos y que fué aprobado y subvencionado por la Comisión Mixta Diputación Regional-Universidad de Cantabria. Si no se realizaron medidas de color en otras cuevas fué porque su enclave y particular topografía impedían el transporte de la instrumentación, o porque su instalación en su interior era inviable. En el estudio realizado se llevó a cabo una amplia serie de medidas de color en un total de 321 puntos distribuidos en 21 figuras policromadas. Para determinar con precisión la situación y dimensiones de los puntos en los que se han efectuado las medidas, se han elaborado unos albums de registro y localización de todos estos puntos en cada cueva. Cada album consta de un mapa de la cueva de que se trate, en el que se señalan las zonas en las que se ha realizado el estudio cromático; de cada zona se muestra una fotografía en color de la superficie en la que se observa la figura policromada, con indicación numerada de los puntos en los que se ha realizado la medida; a continua-

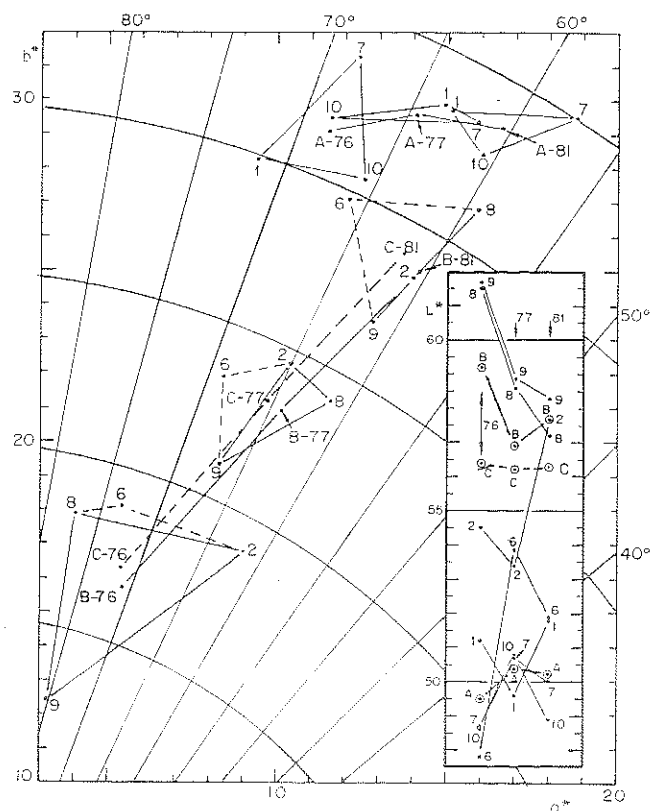


Figura 3

ción se presentan las fotografías de cada una de las pequeñas zonas en la que está localizado cada punto, el cual se muestra con un disco negro, resultado de la fotografía que se obtiene del campo visual que se observa con el espectroradiómetro. Las distintas formas, manchas y colores que bordean al punto, permiten volver a localizarle.

Por una parte se tomaron 115 puntos de superficies no pintadas, colores de fondo, y por otra, 206 correspondientes a zonas de roca pintada. En las cuevas de Las Chimeneas y Las Monedas de Puente Viesgo, solo se midieron fondos porque no muestran figuras policromadas. Los colores de fondo se clasificaron en siete categorías F_1 , F_2 , F_3 , ... etc., de modo que en cada una las diferencias de color no superase las 10 unidades, como se muestra en la Tabla 1. En la figura 4 puede verse el diagrama de cromacidad de los fondos de las siete cuevas estudiadas, en la que se aprecia que los tonos de color oscilan entre el rojo, 35° , y el naranja-amarillento, 75° . Los fondos F_1 y F_4 , son los que más se asemejan a los fondos medidos en la Cueva de Altamira, FA_2 y FA_3 , como puede observarse en la

Tabla I, en cambio las características cromáticas del fondo FA₁, encontrado en Altamira, no presenta parecido alguno con los fondos característicos de las siete cuevas estudiadas, ya que a igual claridad presenta un croma más

TABLA I

Especificación de los colores medios representativos de los distintos "fondos característicos" encontrados en las cuevas estudiadas

Color	Claridad L*	Croma C*	Tono H*
F ₁	56	33	71
F ₂	63	29	59
F ₃	73	26	59
F ₄	48	24	57
F ₅	37	18	62
F ₆	67	13	53
F ₇	54	12	54
FA ₁	68	38	67
FA ₂	54	35	67
FA ₃	47	25	70

TABLA II

Especificación de los colores medios representativos de los distintos "colores característicos" encontrados en las cuevas estudiadas

Color	Claridad L*	Croma C*	Tono H*
C ₁	51	41	52
C ₂	40	39	60
C ₃	55	27	50
C ₄	41	27	54
C ₅	26	23	47
C ₆	65	18	53
C ₇	52	17	45
C ₈	30	12	44
CA ₁	47	40	54
CA ₂	53	33	62
CA ₃	40	32	51
CA ₄	29	31	54
CA ₅	67	21	63
CA ₆	33	12	54

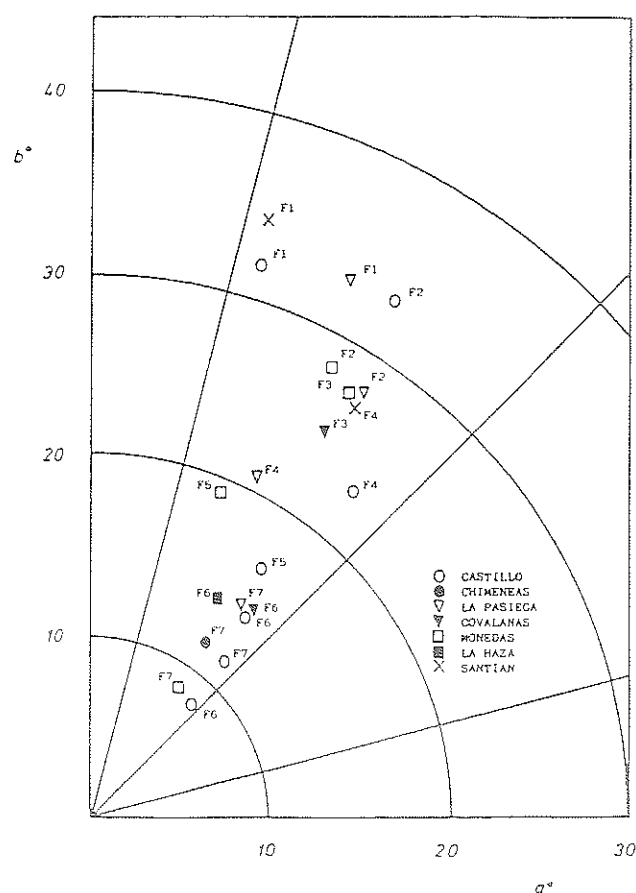


Figura 4

alto y tono más amarillento. Los fondos F₂ y F₇, son característicos de las cuevas de Monte Castillo, en Puente Viesgo. El fondo F₃, es más característico de las cuevas situadas en Ramales, la de Covalanas y La Haza, aunque acompañados por el F₆. En la cueva de Santian, en Puente Arce, se encuentran también los fondos F₁ y F₄, que caracterizan los fondos de las cuevas de El Castillo y La Pasiega, muy similares a los fondos de la Sala de Polícromos de Altamira.

El diagrama de cromacidad de los puntos medidos en superficies pintadas se muestra en la figura 5, asociados en 8 grupos de color homogéneos designados con las letras C₁, C₂, C₃, ...etc., y en la Tabla II las coordenadas si-cométricas correspondientes, en la que también se expresan con CA₁, CA₂, ...etc., que corresponden a los 6 grupos de puntos de color obtenidos para las superficies

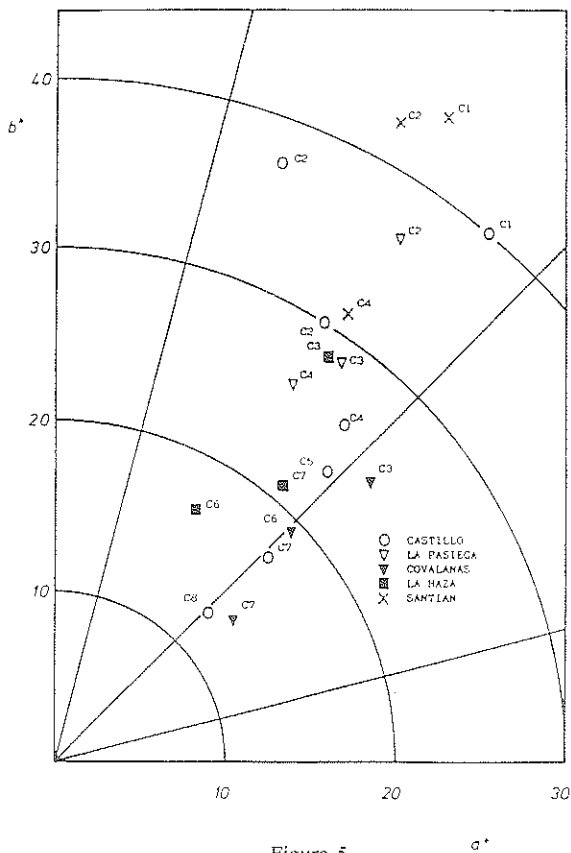


Figura 5

policromadas de la Cueva de Altamira. Los resultados más significativos pueden resumirse así: el color C_3 aparece en todas las cuevas, excepto en la de Santian; las dos cuevas de Ramales (Covalanas y La Haza) presentan los tres mismos colores C_3 , C_6 y C_7 , siendo el color C_6 , exclusivo de ellas; en la cueva de El Castillo se presentan todos los grupos de color, excepto precisamente el C_6 , y en cambio presenta los colores C_5 y C_8 , que no aparecen en ninguna de las otras cuevas.

Los casos en los que las diferencias de color entre las zonas pintadas y las correspondientes superficies de fondo son pequeñas, sugieren que ha existido un mayor deterioro en el tiempo, como sucede en Altamira con el color CA_2 y el fondo FA_2 , y los colores C_4 , C_6 y C_7 de las restantes cuevas estudiadas que se diferencian bien poco de los correspondientes fondos F_4 , F_6 y F_7 . Por otra parte, comparando el flujo radiante de los puntos estudiados, con el del blanco patrón, para cada intervalo de longitudes de onda, se obtienen los factores de radiancia espec-

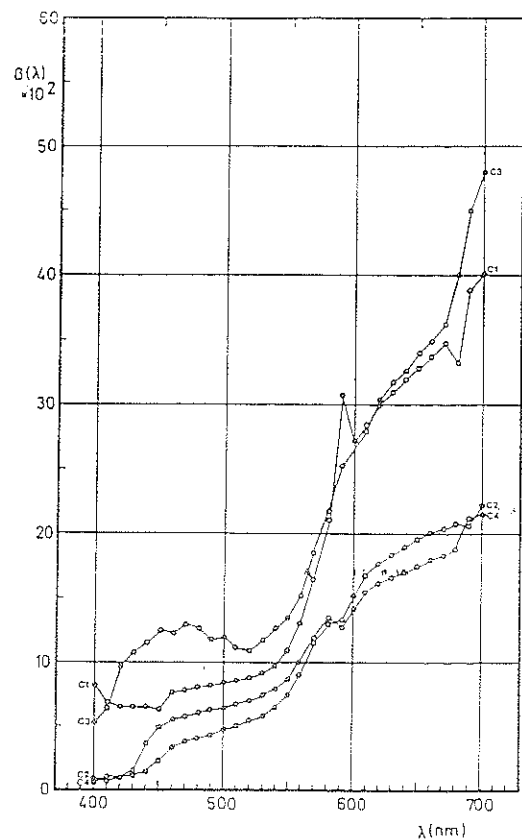


Figura 6

tral $\beta_e(\lambda)$, indicativos de los colores físicos de los puntos estudiados. Se encontró que algunas parejas de puntos seguían variaciones análogas; así ocurría con las parejas de puntos C_1 - C_3 , C_2 - C_4 , C_5 - C_7 y C_6 - C_8 . En la figura 6 se muestra esta variación para dos de las parejas mencionadas. Los factores de radiancia más altos se encontraron para el conjunto C_3 , de tonos rojizos, característicos de todas las cuevas; y los más bajos, dentro de los mismos tonos para el conjunto C_7 , que se asemeja al color de fondo.

Convendría resaltar que aunque se haya realizado el estudio de color en las cuevas mencionadas, todavía no se ha llevado a cabo un estudio como el realizado en Altamira, no existiendo por tanto ningún criterio científico para la limitación de las visitas. Finalmente, el levantamiento colorimétrico realizado en las pinturas de estas cuevas constituye una referencia válida para determinar, mediante futuras medidas, el posible deterioro de estas superficies policromadas.

BIBLIOGRAFIA

- (1) E. VILLAR, P. L. FERNANDEZ, L. PLAZA, L. S. QUINDOS, J. R. SOLANA, J. SOTO. Ministerio de Cultura, *Centro de Investigación y Museo de Altamira*, Monografía N° 9, 7-25, 1983.
- (2) L. PLAZA. Ministerio de Cultura. *Altamira Symposium*, 581-589, 1980.
- (3) P. L. FERNANDEZ, L. S. QUINDOS, J. SOTO, E. VILLAR. *Color Research and Application*, 11, N° 1, 43-46, 1986.
- (4) E. VILLAR, A. BONET, P. L. FERNANDEZ, L. S. QUINDOS, J. SOTO, J. M. VILLA. *Optica Pura y Aplicada*, 19, N° 3, 205-215, 1986.