

LOS PIGMENTOS EN LA PREHISTORIA: PROYECTO DE EXPERIMENTACIÓN TÉRMICA CON ÓXIDOS E HIDRÓXIDOS DE HIERRO.

Carla Álvarez Romero.

INTRODUCCIÓN

“Los pigmentos minerales aparecen en la naturaleza pulverizados o en bloques de magnitudes dispares y en una acusada variabilidad tonal; no obstante, la tonalidad primigenia puede ser modificada con la intervención del calor por calcinación” (Sanchidrián, 2001, p. 56).

“Los Laboratorios de Geología del Cuaternario y de Sedimentología de la Universidad de Marsella, a partir de varios análisis de muestras arqueológicas y naturales, por medio de Difractometría de Rayos X y de observaciones en microscopio electrónico, han llegado a determinar la presencia de una hematites anormalmente cristalizada, llamada hematites desordenada, obtenida por intervención humana a través del calentamiento de fragmentos de goethita con el fin de obtener pigmentos de color rojo vivo. Hasta ahora se había sugerido varias veces esta posibilidad, pues es bien conocido el cambio de coloración que sufren los llamados “ocres amarillos” (goethitas, limonitas) al ser calentados por encima de 260°C. La deshidratación de la goethita provoca la aparición de esta hematites desordenada, que no se encuentra en estado natural y que conserva ciertas características especiales, testimonio de un calentamiento intencional” (San Juan, 1991, p. 108).

Es a partir de estas dos premisas donde comienza el trabajo de experimentación térmica con óxidos e hidróxidos de hierro. Ambas afirman el conocimiento que tendrían las sociedades paleolíticas sobre los tratamientos térmicos que se les podrían realizar a los minerales de hierro para obtener otros colores y tonalidades diferentes a cómo se los encontraban en la naturaleza, y así poder tener, una paleta cromática más amplia y suplir la escasez de colorante rojo que se da en determinadas áreas. También sabemos gracias a diversos análisis de pinturas paleolíticas, que muchos de los pigmentos de tonalidades negras que usaron, están hechos a partir de materia vegetal expuesta al fuego (aunque también se realizaría a partir de óxido de manganeso), con lo cual no sería tan raro que también expusieran al fuego estos otros.

Con este trabajo se pretende contrastar a nivel empírico los procesos tecnológicos seguidos por los grupos de homo sapiens en el arte prehistórico parietal, comenzando por la molturación y la molienda del mineral quedando reducidos a un fino polvo, pasando por el correspondiente tratamiento térmico para ver los cambios de tonalidades que se producen, y finalizando con la mezcla de los aglutinantes necesarios para llegar a la condición de pigmento y que su aplicación sea más fácil y sencilla.

Otro de los objetivos es poder hacer una paleta cromática con los distintos tonos y colores que obtenemos en los diferentes pasos de la cadena operativa a partir de muestras de tres minerales: hematites u oligisto, goethita y limonita.

Las variables con las que se han trabajado han sido las siguientes:

- **Muestras de minerales:** Hematites, goethita y limonita.
- **Temperatura:** Mineral en bruto (sin que sufran ningún tipo de tratamiento térmico), 200 °C y 300°C. Se han escogido estas temperaturas para realizar la experimentación ya que, aunque sabemos casi con certeza que las sociedades del Paleolítico ya dominaban perfectamente el fuego y los hogares y que podían alcanzar en algunos casos, incluso temperaturas más altas, estas temperaturas podrían ser una buena media.
- **Tiempo:** El tiempo al que se va a exponer al mineral a una fuente calorífica será de media hora y de una hora, para poder apreciar el cambio de tonalidad que se produzca. No creemos viable el hecho de que estas sociedades tuvieran más de este tiempo los minerales en el fuego.
- **Aglutinantes:** Como aglutinantes para la realización de los pigmentos se ha decidido utilizar grasa animal (en este caso manteca de cerdo de origen comercial) y huesos triturados, los cuales también han demostrado las analíticas que serían utilizados como aglutinantes en parte por el contenido de tuétano que aportan.

Los datos obtenidos en la experimentación se presentarán en una tabla sobre un folio blanco, usando el blanco como elemento neutro para la colorimetría. En la experimentación hay un elemento insalvable debido a que según el color del soporte sobre el que se aplique la materia colorante la tonalidad variará, y que no podemos saber con exactitud cuál sería la tonalidad y el color de los pigmentos originales ya que es muy difícil establecer cómo se han ido deteriorando los pigmentos durante todo este tiempo.

LA UTILIZACIÓN DE MATERIA COLORANTE EN LA PREHISTORIA

Es una constante que en los yacimientos prehistóricos aparezcan materias colorantes en formas de nódulos, de colorante en polvo en depósitos de diferente naturaleza o en forma de coloración asociadas a sedimentos o instrumentos. Esto ya fue atestiguado por los primeros investigadores antes incluso de que las pinturas parietales fuesen conocidas y reconocidas, pero estos vestigios han tenido hasta hoy un papel menor en el estudio científico. Con la aparición del arte paleolítico estos colorantes fueron rápidamente asociados a él, pero más tarde comenzaron a realizarse numerosos hallazgos de restos de coloración en sepulturas de diferentes humanos, lo que llevó a que los estudiosos comenzaran a concederles un papel “religioso o ritual”. (San Juan, 1991, p.105; García Borja *et alii*, 2004, p.37).

Se ha generalizado el término ocre para referirse a cualquier materia colorante de tonos rojos o amarillos encontrada en estratos arqueológicos, lo que deja ver el escaso interés que ha despertado en la comunidad científica e investigadora, ya que se ha comprobado que tan sólo un tanto por ciento de la materia colorante recuperada se ha podido identificar como

ocres, siendo el resto óxidos de hierros, tierras ferruginosas, etc. (García Borja *et alii*, 2004, p. 36).

Para que se pueda realizar una interpretación adecuada de estos colorantes es necesario, en primer lugar, que en las memorias de excavaciones arqueológicas se anoten las diferentes coloraciones de los suelos, las acumulaciones de óxidos de hierro o manganeso en restos de hogares y el contexto en el que aparecen, ya que si estos datos no son tomados de una manera rigurosa muchos de ellos acabarán en el apartado de “materiales varios” y no se podrán hacer estudios ni investigaciones. Estos análisis de contextos han permitido que hoy en día se puedan hacer distinciones y se hayan propuesto tres funciones básicas de la materia colorante en la Prehistoria:

- La expresión artística: Siendo las más destacadas las realizadas en soporte duro, tanto parietal como mueble, pero en este apartado también deberíamos tener en cuenta las efectuadas sobre soporte blando, es decir, las pinturas corporales.
- Uso doméstico: Usado para diversas funciones, desde el curtido de pieles hasta el desecamiento de tendones para utilizarlos en el enmangue de diversos útiles.
- Función funeraria: Valor simbólico de la materia. (San Juan, 1991, p.106; García Borja *et alii*, 2004, p.38).

Prácticamente todas las representaciones paleolíticas evidencian una gama cromática muy restringida, ya que parten de sustancias colorantes naturales. Los colores más usados son el rojo, el negro, el blanco y el amarillo, aunque en muchas tonalidades, en función de la saturación, composición, preservación, etc. (Sanchidrián, 2001, p. 56).

La materia prima de la que se extraen los colorantes tiene un origen tanto mineral como orgánico, siendo más comunes los obtenidos de los minerales (Sanchidrián, 2001, p. 56; Sánchez Gómez, 1983, p. 251).

- Blancos: No es un color muy usado en la Prehistoria, y con el tiempo se torna de un tono pajizo. Se realizan a base de mica y caolín.
- Negros: Este color puede conocerse desde el inicio del conocimiento del fuego. Los negros pueden obtenerse tanto con óxidos de manganeso, grafito y magnetita (óxidos de hierro), como a partir de materia orgánica quemando ciertas sustancias como madera, huesos, excrementos de algunos animales (en la cueva italiana de Porto Badisco las analíticas han revelado que se fabricaría el pigmento negro con guano de murciélagos), etc.
- Rojos, amarillos y pardos: Son los colores más empleados. Están compuestos generalmente por óxidos e hidróxidos de hierro (hematites, goethita y limonita) y en muy pocos casos de cinabrio (Sanchidrián, 2001, p.56; Sánchez Gómez, 1983, p. 248).

Los aglutinantes son usados para asegurar la adherencia de la materia colorante, y han sido objeto de numerosas suposiciones, desde grasa tanto animal como vegetal hasta sangre (idea hoy en día desechada), pasando por yema de huevo, etc. y son difíciles de controlar

químicamente después de tantos años (Leroi – Gourhan, 1983, p. 12). Pueden llegar incluso a determinar una tonalidad diferente del pigmento (Sánchez Gómez, 1983, p. 251).

Pero las analíticas indican que las cantidades de ésteres metílicos de ácidos grasos libres son más semejantes a los patrones actuales de grasas animales de vacuno, bovino y porcino que a aceites de procedencia vegetal, aunque ocasionalmente, como en la cueva francesa de Les Trois – Frères, también se han documentado el uso de aceites vegetales (Navarro Gascón y Gómez González, 2003, p. 171).

Como es lógico, los colores que podemos apreciar hoy en día en las pinturas paleolíticas no son, exactamente, los mismos que ellos verían, ya que se produce la actuación de agentes externos ya sean físicos, químicos o biológicos. Lo normal es que se produzca una alteración del color hacia tonalidades más apagadas (Sánchez Gómez, 1983, p. 246).

En lo referente a la fase de extracción, la composición mineralógica de las muestras y su posterior comparación con muestras procedentes de afloramientos de las inmediaciones ha permitido determinar, aunque no en todas las ocasiones, el área de captación de los recursos, lo que nos ha dado información sobre la movilidad de las poblaciones (García Borja *et alii*, 2004, p.36; Bello y Carrera, 1997, p. 825). Pero la obtención de estas materias no siempre fue realizada en el territorio inmediato, como apuntan García Borja *et alii* (2004, p. 36) se dan casos en los que la calidad o incluso el valor que podrían tener ciertos afloramientos han dado lugar a desplazamientos de larga distancia o el desarrollo de extensas redes de intercambio, poniendo como ejemplo que entre los aborígenes australianos los desplazamientos llegaron a alcanzar distancias de hasta 600 km.

PROYECTO EXPERIMENTAL

La arqueología experimental y los proyectos experimentales nos sirven para poder reconstruir las actividades que realizaron las sociedades del pasado. Para poder llevar a cabo un modelo de arqueología experimental es necesario un modelo de contrastación de hipótesis a través de la experimentación y de las ciencias empíricas. Es necesario llevar a cabo la experimentación con técnicas compatibles y acordes a las tecnologías que tendrían las sociedades sobre las que se va a realizar el estudio, pero también es compatible el uso de catalizadores que ayuden a acelerar el proceso operativo si lo que se busca es el estudio del resultado, como en este caso el poder llevar a cabo, con el mineral ya pulverizado, el tratamiento térmico para poder contrastar las diferentes tonalidades cromáticas que adquieren. (Baena Preysler, 1997).

Ocre, óxido, hidróxido, pigmento y aglutinante.

Algunas de las palabras más usadas durante el proyecto son las de *ocre*, *óxido*, *hidróxido*, *pigmento* y *aglutinante*, por ello es conveniente la explicación de cada uno de ellos y dar una definición concreta para evitar cualquier tipo de confusión y aclarar, en el caso que sea necesario, el término.

Ocre: Pigmento que puede ser de tonos amarillos, rojos, dorados o marrones. Son tierras naturales que contienen sílice además de otras impurezas como yeso, magnesio, aluminio, y que deben su color al óxido de hierro que contengan (Calvo, 2003, p.159). Como ya se

ha señalado anteriormente es importante resaltar que no todos los pigmentos utilizados durante la Prehistoria son ocre.

Óxido: Compuesto natural en el que el oxígeno aparece combinado con uno o más metales. En el experimento se trabaja con hematites Fe_2O_3 . (Klein y Hurlbut, 2002, p.412)

Hidróxido: Los minerales hidróxidos están caracterizados por la presencia del grupo oxhidrilo $(\text{OH})^-$. La presencia de los grupos $(\text{OH})^-$ ocasiona un debilitamiento en los enlaces de las estructuras en comparación con la de los óxidos. En este experimento se usan goethita $\alpha\text{FeO}(\text{OH})$ y limonita $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$. (Klein y Hurlbut, 2002, p. 434).

Pigmento: Cualquiera de las materias colorantes que se emplea para pintar. Los colores pueden ser de naturaleza animal, vegetal, mineral o sintética. (Calvo, 2003, p. 173).

Aglutinante: Sustancias que mantienen las partículas tanto de los pigmentos como de las cargas inertes unidas entre sí, cohesionadas, y con el soporte o la capa anterior. (Calvo, 2003, p. 16).

Hematites, goethita, limonita. Características mineralógicas.

Los tres minerales usados para llevar a cabo la experimentación son el hematites, la goethita y la limonita, óxidos e hidróxidos de hierro, que como ya se ha comentado antes, diversas analíticas de pinturas paleolíticas han mostrado su utilización para fabricar pigmentos y con ellos realizar representaciones.

Cada uno de ellos tiene unas características mineralógicas singulares, las cuales, en mayor o menor medida han afectado a la realización del trabajo, como puede ser, por ejemplo, la dureza, en este caso a la hora de reducirlos a polvo.

Los minerales (Figura 1) son de origen comercial, obtenidos en diferentes tiendas especializadas y ferias de minerales, debido a la imposibilidad de poder buscarlos en la naturaleza por la falta de conocimientos geológicos, tanto el hecho de no saber la localización de menas de estos minerales en las proximidades, como no reconocerlos.


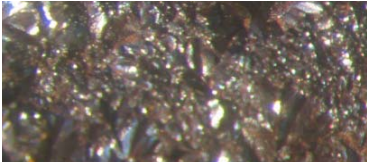



Figura 1. Arriba izq., conjunto de Hematites, arriba dcha. conjunto de Goethitas y abajo Limonita. Minerales usados en la experimentación.

Todas las fotografías han sido sacadas en la mesa de fotografía del Laboratorio docente de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM). Han sido realizadas con una cámara compacta NikonCoolpix S210. Para tratar la luz incandescente de la mesa de fotografía se puso un filtro azul, para que no se vean los minerales anaranjados. Se utilizó el objetivo Macro e ISO 400. Se decidió poner un fondo blanco a las fotografías para que, al ser la mayor parte de los minerales metálicos no salieran reflejos en ellos del color del fondo.

A continuación se presenta una tabla resumen con las características de cada mineral y las fotos sacadas en el laboratorio docente de la UAM con Lupa Binocular Leica con diferentes aumentos: 16x para el hematites, 40x para la goethita y 16x para la limonita.

Mineral	Hematites	Goethita	Limonita
Fórmula química	Fe_2O_3	$\alpha\text{FeO}(\text{OH})$.	$\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$.
Origen del nombre	Del griego <i>hemáticos</i> , que significa sanguíneo.	Debe su nombre al poeta y filósofo alemán J. W. Goethe.	Del griego <i>lemon</i> , que significa prado.
Composición química	69.94% de Fe y 30.06% de O. Impurezas de Ti, Al y Mn.	89.86% de Fe_2O_3 y 14% de H_2O . Suele contener hasta un 5% de Mn_2O_3 , sustituyendo al Fe. Pueden contener agua.	Está formada por una mezcla de minerales amorfos y goethita micro (y cripto) cristalina, lepidocrocita e hidróxidos de hierro y todos los términos de evolución entre el coloide propiamente dicho (stilpnosiderita) y los productos cristalizados.
Sistema cristalino	Sistema trigonal	Sistema Ortorrómico	No se encuentra nunca cristalizada
Agregados cristalinos y masas	Se encuentra con relativa frecuencia en cristales laminares, romboédricos y tabulares, formando agregados de masas criptocristalinas compactas y continuas, hojosas o escamosas.	Aspecto acicular o columnar, usualmente en masas arriñonadas, botrioides o estalactíticas, con estructura concéntrica o en fibras radiantes, columnar o en laminillas, compacta, terrosa, a veces isolítica u oolítica y suelta o porosa.	Se presenta en forma esponjosa, compacta, concrecionada, estalactítica, mamelonar, botroidal o pisolítica.
Color	Cristalino: de negro de hierro a gris de acero. Masivo: ojo pardo al rojo intenso e incluso negro.	Cristalino: De pardo negruzco a amarillo Masivo: de pardo rojizo a amarillo pardusco	Varía de amarillo claro a negro.
Raya	Pardo rojiza o rojiza.	Pardo amarillenta.	Pardo amarillenta.
Brillo	Metálico en las variedades cristalinas y mate en las terrosas.	En los cristales es adamantino o metálico hasta mate y en las variedades fibrosas es sedoso.	
Dureza	6.5.	De 5 a 5.5.	Puede variar de 4.5 a 1.5

Otras características	Lentamente soluble en ácidos, infusible, semiconductor de la electricidad y prácticamente no magnético	Difícilmente fusible, soluble lentamente en HCl y rápidamente en ácido nítrico. Durante un calentamiento prolongado desprenden agua, enrojecen y se convierten en Fe_2O_3 deshidratado.	
Aspecto			

Molturación y molienda de las muestras.

Este proceso se llevó a cabo en el Laboratorio de Arqueología Experimental de la UAM.



Figura 2. Molturación del mineral con cuarcita.

Los minerales se partieron y molturaron sobre una caliza con una cuarcita usada como percutor (Fig. 2), algunos estudios etnográficos hablan del raspado de la superficie de los nódulos para la obtención de la materia colorante (García Borja *et alii*, 2004, p. 36), pero eso sería en el caso de que se trataran de ocre, no de minerales como es el caso.

Al moler las muestras se pudo observar como cada uno rompía de una manera diferente, rompiendo el hematites (Fig. 3) y la goethita de una manera astillosa formándose esquirlas, mientras que la limonita lo hacía de una manera más redondeada.

La molienda se realizó de una manera concienzuda hasta que los minerales quedaron reducidos a polvo para poder someterles al tratamiento térmico. Una duda que surgió durante la operación fue si esta fase se realizaría antes o después del tratamiento térmico, pero en este caso, para poder meter las muestras en la mufla y controlar mejor las cantidades era necesario que el mineral estuviera ya molido.



Figura. 3. Cuarcita con Hematites molturado. Se puede apreciar como en la cuarcita ha quedado impregnada de colorante y como quedan en ella huellas de uso al golpearla contra los minerales.

Tratamiento térmico.

Se trata de una parte fundamental del proyecto, ya que se quería demostrar cómo los hidróxidos de hierro (goethita y limonita) que son de colores parduzcos y amarillos tornaban hacia el color rojo en el momento en el que se los sometía a una fuente de calor, cosa que como queda registrado en el registro arqueológico, en el Paleolítico ya sabían que se producía.

Según García Borja *et alii* (2004, p. 37) “la escasez de colorante rojo en determinadas áreas llevó al desarrollo, desde fechas tempranas, de una técnica compleja de manipulación de óxidos de hierro amarillos para la obtención de rojos que consiste en la deshidratación de esos óxidos mediante su sometimiento a una temperatura igual o superior a 260°C que da como resultado una hematites desordenada, ausente en estado natural”

El tratamiento térmico de las muestras se realizó en el Centro de Química Orgánica Manuel Lora – Tamayo del CSIC, con la ayuda de Nicolás Seclén Hidalgo del Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros.

Con los tres tipos de minerales ya en polvo se hicieron 12 muestras de 10 gramos cada una (Fig. 4). En tandas de tres (una muestra de cada óxido e hidróxido) se les sometieron introduciéndolas en una mufla (Fig. 5) a temperaturas de 200 °C, durante 30 minutos y una hora, y a temperaturas de 300°C durante los mismos tiempos, para ver como el color iba variando en función al tiempo y a la temperatura de exposición.

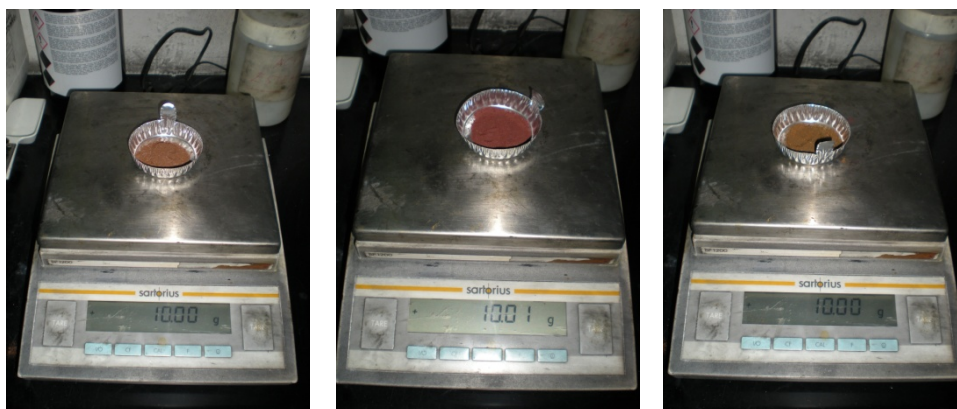


Figura 4. Materia colorante antes de ser expuesta a la fuente



Figura 5. Mufla usada para el tratamiento térmico.

En la tabla en la que se presentan los resultados de los distintos colores obtenidos se ve como el hematites, la goethita y la limonita, a medida que se les somete a más temperatura durante más tiempo van tornando su color hacia tonalidades más rojizas (Fig. 6).

Añadido de aglutinantes.

Los aglutinantes desempeñan un papel importante en los pigmentos, ya que les proporcionan gran parte de las propiedades necesarias para su perdurabilidad. En este momento es cuando se convierten en productos manufacturados cuya elaboración se llevaba a cabo a partir de materias primas naturales.

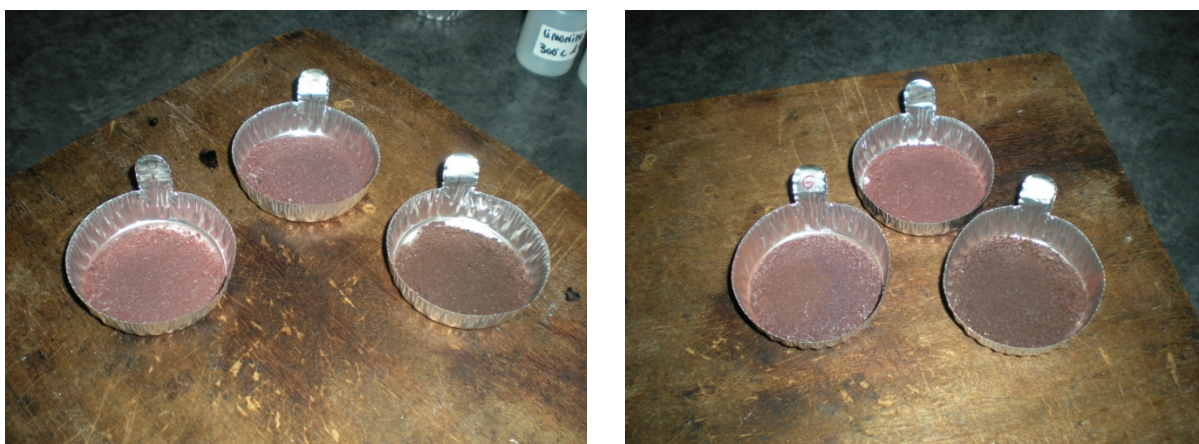


Figura 6. Colorantes después de haber sido sometidos a un tratamiento térmico de 300°C durante 30 minutos y una hora respectivamente. Como se puede observar han cambiado la tonalidad, principalmente la goethita y la limonita tornando hacia tonos rojos.

SUBSTANCIAS DE ORIGEN ANIMAL.		
Tradicionalmente usadas como aglutinantes.	Propuestas aglutinantes de arte rupestre.	Identificadas en muestras reales.
Proteínas.		
Huevo. Colágeno y colas animales. Leche.	Sangre. Huevo. Orina.	Sangre. Huevo.
Polisacáridos.		
Gomas vegetales y mucílagos.	Gomas vegetales y mucílagos.	Gomas vegetales y mucílagos.
Lípidos.		
Aceites vegetales secantes. Ceras.	Grasas animales.	Grasas animales.
Resinas terpénicas.		
Resinas diterpénicas. Resinas triterpénicas.	Resinas diterpénicas. Resinas triterpénicas.	Resinas diterpénicas. Resinas triterpénicas.

Figura 7. Tabla de sustancias de origen natural, según M.T. DomenechCarbó.

La tabla (Fig. 7) expone los productos orgánicos naturales más usados en el arte como aglutinantes, los cuales aparecen clasificados de acuerdo a su composición química. Las sustancias proteicas tales como cola animal, huevo y caseína se han utilizado en la antigüedad como aglutinantes (DomenechCarbó, 2010, p. 49).

La incorporación de un aglutinante de naturaleza orgánica va a facilitar la aplicación del pigmento al soporte aportando la fluidez necesaria para que se pueda aplicar con ayuda de los dedos o brochas y pinceles rudimentarios.

La identificación de aglutinantes en pintura rupestre está condicionada por dos aspectos: la baja concentración de la sustancia a identificar y el posible deterioro o alteración que el aglutinante pueda haber sufrido. Además hay que añadir el máximo respeto al bien cultural y arqueológico, ya que muchos de los estudios necesarios para la caracterización son invasivos o destructivos. Todo esto hace que sean un número reducido los trabajos publicados que hablan sobre la presencia de materia orgánica en las pinturas rupestres, y un número más escaso los que reportan una identificación positiva del aglutinante orgánico (DomenechCarbó, 2010, p. 53).

Para el proyecto experimental se decidió utilizar un tipo de aglutinante proteínico, la clara de huevo y otro lípido, la grasa animal.

La clara de huevo tiene una composición compleja en términos de proteínas individuales, siendo las más importantes las glicoproteínas, ovoalbúmina y lysozima. Esta proteína ha sido constatada en yacimientos como SosFurrighesos (Italia), Domus de Janas (Italia) o los abrigos prehistóricos de Lancusi rock TadrartAcaus (Libia) (DomenechCarbó, 2010, p. 59).

En la experimentación se pudo comprobar que al aglutinar la materia colorante con la clara del huevo se producía un oscurecimiento de ésta, formándose una mezcla pastosa. Los resultados de las tonalidades obtenidas con la clara de huevo se pueden apreciar en la tabla que se incluye en el apartado de “Colorimetría”.

El otro aglutinante usado en el proyecto fue la grasa animal. En los análisis realizados sobre pinturas rupestres francesas han sido los más habituales en las cuevas, y en la bibliografía especializada son los que más veces aparecen identificados (Navarro Gascón y Gómez González, 2003, p. 171; García Borja *et alii*, 2004, p. 37; DomenechCarbó, 2010, p. 61).

Con la grasa mineral se obtuvieron pigmentos más homogéneos que con la clara de huevo, y los colores también variaron aunque de una manera menos evidente que con la clara de huevo. Las tonalidades obtenidas también se pueden encontrar en la tabla citada anteriormente.

La mezcla de los aglutinantes con los pigmentos fue mucho más sencilla y queda de una manera más homogénea al ser realizada con hematites y goethita que son minerales más puros, que con limonita, que su composición tiene más impurezas y no termina de aglutinar bien.

Colorimetría.

Una parte importante de la experimentación es el estudio de las diferentes mezclas colorantes con los aglutinantes y en bruto, y las diferencias tonales que se producen al someterlos a diferentes temperaturas.

Es importante el término *color*, según la RAE, es una sensación producida por los rayos luminosos que impresionan los órganos visuales y que depende de la longitud de onda, teniendo en cuenta que esta característica puede variar de un observador a otro.

Es necesario el hecho de intentar cuantificarlo de una manera lo más objetiva posible, y para ello se utiliza la colorimetría, una técnica de medida del color gracias a la cual se puede, incluso, llegar a caracterizar los pigmentos. Se tienen en cuenta tres factores: la luz incidente, la superficie del objeto iluminado y el órgano receptor que puede corresponder o al ojo humano o a un aparato de medida (colorimetría visual o instrumental respectivamente.) (Wright, 2010, p. 306).






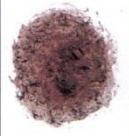
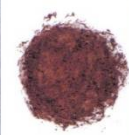

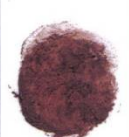


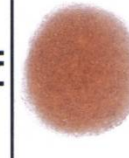
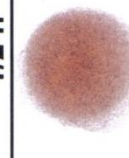
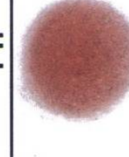




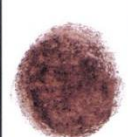







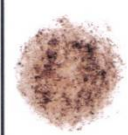

























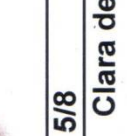

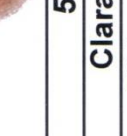


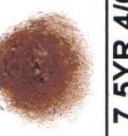


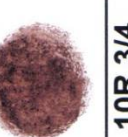


Figura 8. Referenciación de los pigmentos obtenidos en la experimentación.

En este caso, como no se ha podido tener acceso al análisis de colorimetría instrumental (espectro colorímetro), se ha utilizado la observación humana, comparando las distintas tonalidades obtenidas en la fabricación de los pigmentos con un Atlas Munsell (Fig. 8), pero este método depende de cada persona y su precisión no es óptima.

A continuación se presentan todos los datos obtenidos en el proyecto experimental en una tabla en la que debajo de cada muestra de color hay una casilla con la notación Munsell correspondiente.

Se ha elegido un elemento blanco para presentar los resultados finales para que afectara lo menos posible al pigmento, ya que el blanco es el elemento neutro y es lo más adecuado para que el color del soporte no afectara al color de las muestras.

	200 °C			300 °C		
	1/2 h		1 h	1/2 h		1 h
HEMATITES Fe_2O_3						
	7.5R 4/8		7.5R 4/4	7.5R 4/6		7.5R 4/6
	Grasa animal	Clara de huevo	Grasa animal		Clara de huevo	
			1/2 h	1/2 h	1 h	1 h
						
	10R 3/6	7.5R 2.5/3	10R 3/4	10R 3/4	7.5R 4/4	7.5R 3/2
						
	7.5YR 5/8		5YR 4/6	10R 4/6		10R 3/4
	Grasa animal	Clara de huevo	Grasa animal		Clara de huevo	
			1/2 h	1/2 h	1 h	1 h
GOETHITA $\alpha\text{-Fe}(\text{OH})$						
	7.5YR 4/6	7.5YR 4/6	5YR 4/4	5YR 3/2	10R 4/4	5YR 2.5/2
						
	10YR 6/8		10YR 4/6	2.5YR 5/6		2.5YR 4/6
	Grasa animal	Clara de huevo	Grasa animal		Clara de huevo	
			1/2 h	1/2 h	1 h	1 h
						
	7.5YR 5/8	7.5YR 6/8	7.5YR 4/3	7.5YR 3/4	5YR 3/4	7.5YR 2.5/2
						
	7.5YR 5/8	7.5YR 6/8	7.5YR 4/3	7.5YR 3/4	5YR 3/4	7.5YR 2.5/2
LIMONITA $\text{Fe}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$						
	7.5YR 5/8	7.5YR 6/8	7.5YR 4/3	7.5YR 3/4	5YR 3/4	7.5YR 2.5/2
						
	7.5YR 5/8	7.5YR 6/8	7.5YR 4/3	7.5YR 3/4	5YR 3/4	7.5YR 2.5/2
						
	7.5YR 5/8	7.5YR 6/8	7.5YR 4/3	7.5YR 3/4	5YR 3/4	7.5YR 2.5/2
						
	7.5YR 5/8	7.5YR 6/8	7.5YR 4/3	7.5YR 3/4	5YR 3/4	7.5YR 2.5/2
						
	7.5YR 5/8	7.5YR 6/8	7.5YR 4/3	7.5YR 3/4	5YR 3/4	7.5YR 2.5/2

CONSIDERACIONES FINALES

La primera de las cosas a subrayar del trabajo es que no todos los colorantes que se encuentran en los estratos arqueológicos corresponden a “ocres”, tierra natural con alto contenido en sílice y otras impurezas que toman su coloración por el óxido de hierro que contienen, sino que la tecnología de estas sociedades en este momento también permitía la transformación de minerales de óxido e hidróxido de hierro en materia colorante.

Si la comunidad científica e investigadora continúa con su labor respecto a éste tema se podrán realizar nuevas aproximaciones sobre la tecnología y los conocimientos de estas sociedades, además de movimientos, desplazamientos, comercio e intercambios que se podrían dar con otros grupos, el valor simbólico que podrían llegar a tener las diferentes materias, etc.

Es necesario un estudio en profundidad, no únicamente una mera descripción visual de la materia colorante encontrada o de las representaciones realizadas. Su conocimiento nos puede ayudar a saber cómo se degradan estos materiales y como han de conservarse para que no se produzca su pérdida total. Hay muchas líneas de investigación abiertas de las que se puede obtener mucha información de diversos campos de aplicación.

Para obtener datos concluyentes sería necesaria la realización de muchas más analíticas, en muchos casos inverosímiles, ya que muchas de ellas son destructivas o invasivas y por encima del conocimiento debe de prevalecer la conservación.

Con este proyecto experimental se ha intentado demostrar cómo al someter los óxidos, y principalmente los hidróxidos de hierro a temperaturas superiores a los 260°C se produce un cambio en la tonalidad de estos minerales tornando hacia el rojo, objetivo conseguido con éxito.

Los aglutinantes también ayudan a que se produzca un cambio en la coloración de los pigmentos, dándoles, por lo general, una coloración más viva. En este caso la clara de huevo hace que se oscurezca notablemente, mientras que con las grasas animales se consiguen colores más homogéneos.

Cada aglutinante actúa de una manera diferente con la materia colorante siendo, en esta comparativa, la grasa de animal el que le da un aspecto más compacto y uniforme y haciendo que su aplicación sea más sencilla que el pigmento obtenido mezclando con clara de huevo.

BIBLIOGRAFÍA

Atlas Munsell. Soil – Color Charts.

- BAENA PREYSLER, J. (1997): “Arqueología experimental, algo más que un juego”. *Boletín de Arqueología Experimental*, 1. Pp. 2 – 5. Recuperado de <http://www.uam.es/otros/baex/baex1.pdf>
- BELLO, J. M^a. y CARRERA, F. (1997): “Las pinturas del monumento megalítico de Dombate: estilo, técnica y composición”, en Rodríguez Casal, A.A. (Ed.), *O Neolítico Atlántico e as orixes do megalitismo*, Santiago de Compostela. Pp. 819 – 828.
- BERRY, L.G. y MASON, B. (1966): *Mineralogía*. Ed. Aguilar, Valencia.
- BETEJTIN, A. (1979): *Curso de Mineralogía*. Ed. Paz, Moscú.
- CALVO MANUEL, A. (2003): *Conservación y restauración. Materiales, técnicas y procedimientos. De la A a la Z*. Ediciones del Serbal, Barcelona.
- DOMENECH CARBÓ, M.T. (2010): “Caracterización de aglutinantes orgánicos de las pinturas rupestres y problemas asociados a su conservación”, en VV.AA., *Ponencias de los seminarios de arte prehistórico desde 2003 – 2009. Serie Arqueológica*, n. 23. Pp. 47 – 67.
- KLEIN, C. y HURLBUT, C.S. (2002): *Manual de mineralogía. Volumen II*. Editorial Reverté, S.A., Barcelona.
- LEROI – GOURHAN, A. (1983): *Los primeros artistas de Europa*. Encuentro Ediciones, Madrid.
- MARTÍNEZ, C. (1997): “El dolmen de Alberite (Villamartín). Excavación, analítica y su aportación al conocimiento de las sociedades del Vº milenio a.n.e. de Cádiz” en Rodríguez Casal, A.A. (Ed.), *O Neolítico Atlántico e as orixes do megalitismo*, Santiago de Compostela. Pp. 839 – 854.
- MOLLFULLEDA, J. (1996): *Minerales. Descripción y clasificación*. Ediciones Omega, S.A., Barcelona.
- MUSIC, S. y POPOVIC, S. (1987): “Mössbauer spectroscopic and X – Ray diffraction study of the thermal decomposition of natural siderite and goethite”. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 1, Vol. 111. Pp. 27 – 41.
- NAVARRO GASCÓN, J.V. y GÓMEZ GONZÁLEZ, M^a. L. (2003): “Resultados analíticos obtenidos en el estudio de pigmentos y posibles materiales colorantes de las pinturas de la Cueva de Tito Bustillo”, en Balbín Behrmann, R. y Bueno Ramírez, P., *Primer Symposium Internacional de Arte Prehistórico de Ribadesella. El Arte Prehistórico desde los inicios del siglo XXI*, Ribadesella. Pp. 161 – 172.

- PIETSCH, E. (1964): *Altamira y la Prehistoria de la Tecnología Química*. Patronato de investigación científica y técnica “Juan de la Cierva” (CSIC), Madrid.
- SAN ANDRÉS, M., SANCHE, N. y De la ROJA, J. M. (2010): “Alquimia: pigmentos y colorantes históricos”. *Anales de la Real Sociedad Española de Química*, 1. Pp. 58 – 65. Recuperado de dialnet.unirioja.es/servlet/fichero_articulo?codigo=3184831
- SAN JUAN, C. (1991):” El estudio de las materias colorantes prehistóricas: últimas aportaciones y normas prácticas de conservación”, en *XX Congreso Nacional de Arqueología*, Zaragoza. Pp. 105 – 112.
- SÁNCHEZ GÓMEZ, J.L. (1983): “Acerca de la coloración en las pinturas rupestres prehistóricas”. *Zephyrus. Revista de Prehistoria y Arqueología*, 36. Pp. 245 – 253. Recuperado de http://campus.usal.es/~revistas_trabajo/index.php/0514-7336/article/viewFile/433/607
- SANCHIDRIÁN, J.L. (2001): *Manual de arte prehistórico*. Ed. Ariel Prehistoria, Barcelona.
- VV. AA. (1997): “La plaqueta pintada del yacimiento epipaleolítico de Picamoixons (Alt Camp, Tarragona): aproximación al estudio de la cadena operativa”. *Pyrenae: revista de prehistòria i antiguitat de la Mediterrània Occidental*, 28. Pp. 25 – 40. Recuperado de <http://www.raco.cat/index.php/Pyrenae/article/viewFile/165140/243016>
- VV.AA. (2004): “Aproximación al uso de la materia colorante en la Cova de l’Or”. *Recerques del Museu d’Alcoi*, 13. Pp. 35 – 52. Recuperado de <http://www.raco.cat/index.php/RecerquesMuseuAlcoi/article/viewFile/175372/227723>
- VV.AA. (2011): “Kinetic study of the thermal transformation of limonite to hematite by X-ray diffraction, μ – Raman and Mössbauer spectroscopy”. *HyperfineInteract*, 203. Pp. 113 – 118. Recuperado de <http://adsabs.harvard.edu/abs/2011HyInt.203..113P>
- WRIGHT, V. (2010): “Pigmentos y tecnología artística mochicas: una nueva aproximación en la comprensión de la organización social”. *Bulletin de l’Institut François d’Etudes Andines*, 39 (2). Pp. 299 – 330. Recuperado de [http://www.ifeanet.org/publicaciones/boletines/39\(2\)/299.pdf](http://www.ifeanet.org/publicaciones/boletines/39(2)/299.pdf)