

# VARIABILIDAD ESPECTRAL VIS-SWIR DE OBJETOS LÍTICOS DE CARÁCTER CULTUAL EN EL YACIMIENTO CALCOLÍTICO DE LA PIJOTILLA

## VIS-SWIR SPECTRAL VARIABILITY OF LITHIC CULTURAL OBJECTS OF THE LA PIJOTILLA CALCHOLITIC SITE

Ángel Polvorinos del Río (1) / M.<sup>a</sup> Jesús Hernández Arnedo (1) / Víctor Hurtado Pérez (2) /  
Javier Almarza López (1) / Matilde Forteza González (1) / Rocío Gómez (1)

(1) Dpto. de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Universidad de Sevilla

(2) Dpto. de Prehistoria y Arqueología, Universidad de Sevilla

**RESUMEN:** En este trabajo se analiza la diversidad mineralógica y tipológica de los objetos realizados en materiales calcáreos pertenecientes al yacimiento calcolítico de La Pijotilla (Badajoz). Los objetos analizados incluyen las diversas representaciones idólicas, así como un conjunto de muestras de materiales calizos localizados en afloramientos y canteras del entorno del yacimiento arqueológico.

Con el objeto de localizar las posibles fuentes de aprovisionamiento de los materiales utilizados, se ha utilizado el análisis espectral de la reflectancia difusa en el rango VIS-SWIR (400-2500nm) dada la rapidez, portabilidad y carácter no destructivo de esta técnica. De las canteras estudiadas hasta el momento se considera que la de Alconera es probablemente la fuente principal de los mármoles con que se elaboraron la mayoría de los objetos estudiados.

**SUMMARY:** The analysis of 101 cultural calcareous objects recovered in La Pijotilla (Badajoz) calcholithic site has been carried out for their mineralogical and typological characterization. The set of studied objects includes different idolic representations and samples of calcareous quarries in the environment of the archaeological site.

Fast, reliable, portable and non-destructive spectral reflectance VIS-SWIR (400-2500nm) measurements has been applied in order to identify the possible origin of the used resources. Of the six prospected areas of marbles, Alconera area has been identified as the main as potential sources for idol manufacture.

**PALABRAS CLAVE:** La Pijotilla, calcolítico, ídolos, reflectancia difusa.

**KEY WORDS:** La Pijotilla, calcholithic, idols, spectral reflectance

## I. INTRODUCCIÓN

Los mármoles, en su sentido más amplio, constituyen materiales ampliamente utilizados a lo largo de la historia y son objeto de un intensivo y extensivo análisis. El elevado interés que suscita el estudio de estos materiales se debe a la continuidad de su uso en el tiempo y en el espacio, y su reutilización por las distintas culturas.

Los propósitos de estos estudios son diversos y van desde la determinación de procedencias al análisis de los mecanismos de su alteración y la propuesta de medias correctoras para su conservación. La identificación de la procedencia de mármoles ha provocado la realización de múltiples

trabajos de caracterización de rocas marmóreas en numerosos yacimientos y afloramientos, así como el análisis de numerosos objetos del patrimonio realizados en estos materiales. Los métodos de análisis utilizados son diversos, destacando los de caracterización mineralógica, tales como la difracción de rayos X, petrografía de láminas delgadas, catodoluminiscencia, etc., y los de análisis químico por absorción atómica, FRX, ICP, activación neutrónica o de análisis isotópicos. Todos estos métodos convencionales requieren la toma de muestra y por tanto se pueden considerar destructivos, si bien este calificativo no es de aplicar al caso de las muestras de canteras o afloramientos por la abundante disponibilidad de material; sin embargo son numerosos los casos de objetos del patrimonio en

que su análisis requiere la aplicación de métodos no destructivos ya que el valor cultural del bien prohíbe su modificación.

Con frecuencia es necesaria la aplicación de dos o más métodos convencionales de análisis para la obtención de parámetros discriminantes que permitan resolver de una forma concluyente la determinación de la procedencia de los recursos utilizados.

Es en este contexto de limitaciones en el que se plantea este trabajo, en el que se estudian un conjunto de ídolos recuperados en el yacimiento calcolítico de la Pijotilla (Badajoz) que mayoritariamente se realizaron en mármoles, y cuya procedencia material interesa conocer con el objeto de contribuir a la interpretación del desarrollo socio-cultural durante el calcolítico del SO de la Península Ibérica. Este yacimiento es especialmente significativo ya que acumula más del 90% de los objetos realizados en mármol recuperados en excavaciones arqueológicas en el SO de la península, si excluimos de este cálculo el menos abundante conjunto de objetos realizados en hueso y marfil. Todos los objetos estudiados forman parte del depósito del Museo Arqueológico de Badajoz y se han descrito desde el punto de vista macroscópico y estilístico, si bien no se ha realizado su estudio arqueométrico por métodos convencionales dado su valor. Este hecho, junto con la dificultad inherente al desplazamiento de objetos fuera del museo, justifica la utilización del método de reflectancia espectral VIS-NIR en el rango 350-2500nm, dado su carácter no destructivo y su portabilidad.

El interés de la utilización de esta técnica, rápida, portátil y no destructiva ya ha sido objeto de estudio para la caracterización y discriminación de carbonatos a partir de los parámetros de ajuste de las bandas de absorción que presentan en el rango 1600-2500nm (Gaffey 1986 y 1987). Otros trabajos previos justifican los patrones de absorción en los espectros de reflectancia de los carbonatos como debidos a procesos electrónicos en el rango visible, así como a los modos internos y vibracionales en el rango NIR debidos a los grupos  $\text{CO}_3^{=}$  (Hunt y Salisbury 1971 y 1976; Adams 1974; Crowley 1986 ).

El objeto de este trabajo es determinar información sobre la mineralogía y la química de los mármoles utilizados en la realización del conjunto idólico de la Pijotilla a través del análisis de las propiedades espectrales de sus respuestas de reflectancia. La localización de posibles procedencias de estos materiales se realiza a través del análisis espectral de un conjunto de muestras de canteras y afloramientos locales caracterizados además por petrografía y difracción de rayos-X.

## II. DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES DE ESTUDIO

El conjunto de objetos estudiados se ha dividido en tres grupos siguiendo los criterios estilísticos y macroscópicos adoptados a raíz de su estudio arqueológico, y en adelante nos referiremos a ellos como ídolos antropomorfos, betilos y oculados, que incluyen un total de 18, 40 y 43 objetos respectivamente. Un elemento representativo de cada tipo se muestra en la Figura 1.



Fig. 1. Tipologías de ídolos del yacimiento de la Pijotilla depositados en el Museo Arqueológico de Badajoz, de los cuales 18 son antropomorfos, 40 betilos y 43 oculados.

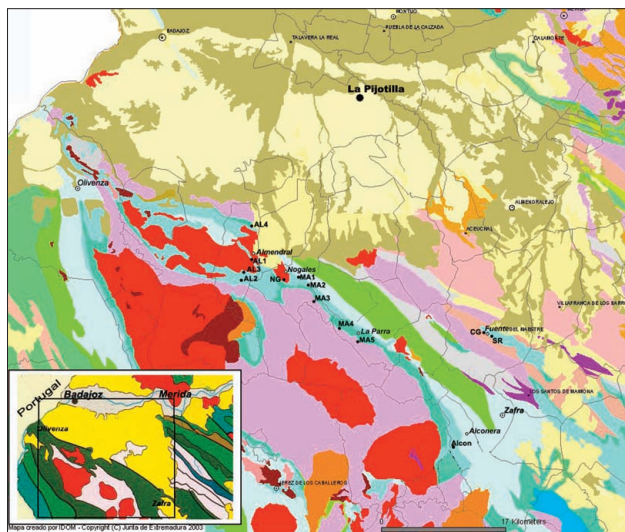


Fig. 2. Localización de canteras y afloramientos estudiados.

Por otra parte, tras la evaluación de las características geológicas de la región se ha efectuado la prospección y toma de muestras georeferenciadas de distintos materiales de naturaleza calcárea, calizas mármoreas y mármoles, en un entorno que cubre desde el yacimiento de la Pijotilla, hasta los afloramientos del sector de Jerez de los Caballeros, destacando los macizos de Cuesta Gorda y Sierra del Rubio en las proximidades de Fuente de Cantos (Magna 1:50000 n° 829); Sierra de María Andrés, afloramientos de Nogales y Almendrál (Magna 1:50000 n° 828) y Sierra de Alconera (Magna 1:50000 n° 854), cuya localización se indica en la Figura 2.

Petrográficamente se trata de un grupo de muestras que oscilan, según el grado de cristalinidad, entre las calizas cristalinas, calizas mármóreas y mármoles. Presentan texturas granoblásticas homométricas o heterométricas, con bordes entre los granos suturados y el característico aspecto en mosaico. Composicionalmente varían entre los términos muy puros con más 95% de carbonatos y prácticamente ningún accesorio, y la mayor o menor abundancia de cuarzo debido a silicificaciones posteriores. En algunos casos se observa la presencia de dolomita en cristales idiomorfos. En todas las muestras encontramos óxidos de hierro asociados a microfracturas y/o diseminados entre los granos. La presencia de opacos es variable y en algunos casos muy significativa. Se encuentran algunas muestras con textura bande-

ada debida bien a la presencia de filosilicatos (principalmente mica blanca), a la existencia de filoncillos de óxidos de hierro o, incluso, a la variabilidad de tamaños en la calcita. Se trata de rocas bastante tectonizadas, con abundancia de microfracturas, y maclas deformadas, estinciones ondulantes, así como orientación de cristales en algunos casos. También se observan grietas de disolución y posterior relleno con calcitas de gran tamaño. La mayoría de las muestras presentan alteración por ferruginización y sericitización dando un aspecto sucio a los cristales.

### III. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Este estudio se ha centrado en la aplicación de los métodos de análisis espectral de reflectancia difusa para la caracterización tanto de los objetos culturales como de las muestras de cantera, así como los de difracción de rayos X y petrografía en este último caso.

Los espectros de reflectancia difusa de los ídolos y las muestras de campo se midieron directamente, es decir sin pulir o someter la muestra a ningún tratamiento, evitando zonas en que se observan posibles contaminaciones superficiales. El espectrofotómetro utilizado es un equipo portátil Terraspec de ASD que incorpora un detector de fotodiodos de Si de 512 elementos para el rango 350-1000nm y dos de InGaAs enfriados por efecto Peltier de 1000 a 2500nm; la sonda de contacto utilizada incorpora una luz halógena para la iluminación y una fibra óptica múltiple, que con una posición fija permite la reproducibilidad de las medidas y cubre una superficie de 10mm de diámetro. La posición relativa entre el iluminante y la fibra es de 45° lo que reduce la posible contribución de la reflexión especular de las superficies pulidas. Los espectros se han medido sobre superficies homogéneas, utilizando un promedio de 30 adquisiciones tanto en la medida del patrón de referencia (Spectralon) como de cada muestra asegurando en todo caso la estabilidad de la medida. La reflectancia, definida como el cociente entre la luminancia de la muestra y la luminancia de un reflector difuso perfecto, se mide en las mismas condiciones experimentales en la muestra y en el patrón de referencia. Los ejes verticales de



los espectros se indican como reflectancias e indican sus valores absolutos entre 0 y 1; en los espectros con substracción del continuo o aquellas gráficas que incluyen espectros desplazados para su comparación se entiende que son valores relativos de reflectancia.

El método de análisis de datos se basa en la modelización de las bandas de absorción presentes en los espectros de reflectancia utilizando el Modelo Gaussiano Modificado (MGM). Este método desarrollado inicialmente por Sunshine *et al.* (1990) permite el ajuste de cada espectro de reflectancia a través de la suma de las distintas bandas de absorción presentes; el ajuste se realiza de forma simultánea por funciones gaussianas de todas y cada una de las bandas de absorción así como del espectro continuo. La posición, anchura y profundidad de cada gaussiana son los parámetros que describen cada banda de absorción; el modelo de espectro continuo, que en energías se ajusta a una línea recta se describe por su pendiente y valor en el origen. El ajuste tanto de las bandas de absorción como del espectro continuo se realiza en unidades físicas de absorbancia aparente, es decir en logaritmos naturales de la reflectancia y en unidades de energía (Sunshine y Pieters 1992), y a diferencia de otros métodos durante el ajuste se incluyen todos los parámetros de cada banda así como del continuo.

En la Figura 3 se indican los espectros típicos de calcita y dolomita. A longitudes de onda menores de 1600nm el espectro es prácticamente plano para las fases puras; a partir de 1600nm en el espectro, tras la eliminación del espectro continuo se localizan siete bandas de absorción debidos a modos vibracionales del grupo carbonato; en ambos minerales se observan las mismas bandas, si bien la dolomita presenta las bandas desplazadas a longitudes de onda menores respecto a la calcita. Este desplazamiento así como la anchura de las bandas más intensas (Figura 3) se ha demostrado que son características de la mineralogía y que no están afectadas por el tamaño de las partículas o empaquetamiento (Gaffey 1986) lo que permite su aplicación como criterio de identificación.

Los parámetros de los modelos de absorción

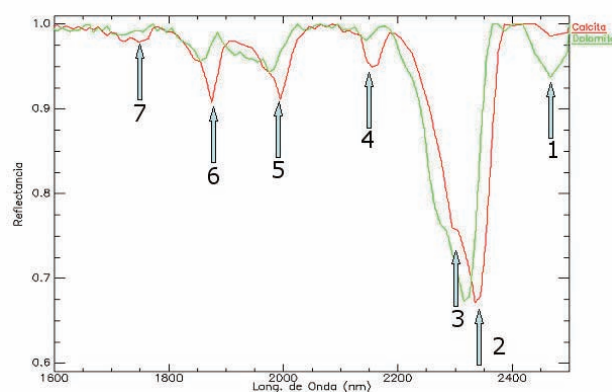


Fig. 3. Posición y desplazamiento relativo de bandas de absorción de calcita y dolomita entre 1600 y 2500nm con substracción del espectro continuo.

obtenidos con el algoritmo gaussiano modificado de los espectros de reflectancia de las muestras de cantera se indican en la tabla 1. Las posiciones de las bandas de absorción 2 y 3 de las muestras de cantera permiten identificar dos agrupamientos (Figura 4.a); en primer lugar la posición de las bandas de todas las muestras de la cantera MA y la muestra CG1 están a longitudes de onda menores que el resto, debido a su mineralogía dolomítica, mientras que el resto de los mármoles son calcíticos. Estos resultados determinados a partir de los espectros de reflectancia han sido corroborados por el análisis petrográfico.

Las mayores dispersiones en las posiciones de las bandas (Tabla 1), se observan en el conjunto de los mármoles calcíticos; obviando la influencia del tamaño de partícula en la dispersión de la posición de las bandas de absorción más importantes (Gaffey 1986), dichos desplazamientos pueden deberse a variaciones en el contenido en agua. Su presencia, por ejemplo en inclusiones fluidas, puede provocar el desplazamiento de algunas bandas a longitudes de onda mas corta debido a la intensa banda de absorción del agua a 1912nm (Gaffey 1986). Las bandas 1, 3 y 4 son las que presenta la mayor dispersión de los valores de sus posiciones, llegando en el caso de los mármoles calcíticos a solaparse con los valores más bajos observados en los mármoles dolomíticos. Dicha dispersión se ilustra en la figura 4.b en la que se observa que la posición de la banda 1 de los mármoles calcíticos llegan a valores próximos a los de los mármoles dolomíticos.

	<b>Centro 7</b>	<b>Centro 6</b>	<b>Centro 5</b>	<b>Centro 4</b>	<b>Centro 3</b>	<b>Centro 2</b>	<b>Centro 1</b>
<b>AL1_1</b>	1751	1872	1984	2180	2319	2343	2506
<b>AL1_3</b>	1755	1867	1981	2172	2314	2343	2511
<b>AL1_4</b>	1767	1873	1984	2176	2318	2342	2505
<b>AL2_1</b>	1782	1873	1972	2175	2312	2340	2541
<b>AL2_3</b>	1766	1911	1954	2220	2324	2338	2547
<b>AL3_1</b>	1765	1874	1976	2179	2319	2342	2515
<b>AL3_2</b>	1781	1909	1965	2181	2316	2339	2551
<b>ALCON1</b>	1772	1877	1964	2185	2319	2343	2508
<b>ALCON2</b>	1773	1877	1967	2205	2323	2342	2516
<b>ALCON3</b>	1781	1868	1979	2184	2322	2341	2518
<b>ALCON4</b>	1765	1907	1962	2239	2332	2342	2528
<b>ALCON5</b>	1778	1869	1971	2183	2321	2342	2510
<b>ALCON6</b>	1763	1874	1962	2199	2321	2342	2518
<b>ALCON7A</b>	1773	1865	1976	2224	2327	2343	2508
<b>ALCON7B</b>	1765	1909	1961	2240	2330	2342	2535
<b>CG1</b>	1763	1930	1967	2245	2313	2327	2508
<b>CG2</b>	1777	1877	1978	2219	2325	2340	2536
<b>MA1</b>	1781	1867	1960	2161	2297	2328	2526
<b>MA2</b>	1756	1861	1956	2188	2294	2327	2502
<b>MA3</b>	1764	1922	1956	2176	2296	2326	2502
<b>MA4</b>	1814	1922	1953	2181	2295	2325	2500
<b>MA5</b>	1817	1921	1959	2179	2294	2325	2503
<b>NG2</b>	1765	1912	1965	2188	2316	2341	2535
<b>NG3</b>	1758	1880	1974	2179	2318	2340	2534
<b>NG5</b>	1773	1867	1971	2171	2283	2342	2517
<b>SR2</b>	1775	1845	1953	2203	2301	2326	2500

Tabla 1. Posición del centro de las siete bandas de absorción calculadas por ajuste con el Modelo Gausiano Modificado de las muestras de cantera.

El mismo efecto de dispersión de las posiciones de las bandas de absorción también se observa en los valores calculados para las muestras de ídolos. Las posiciones de las bandas de absorción de los ídolos se localizan en el rango correspondiente a los mármoles calcíticos, no detectándose en ningún caso la utilización de mármoles dolomíticos para su realización.

La sustitución de  $\text{Fe}^{2+}$  en la estructura de la calcita y dolomita presenta bandas de absorción específicas entre 1200 y 1300nm cuya profundidad aumenta a medida que el contenido en hierro se incrementa. La posición y la forma del patrón de reflectancia debido al  $\text{Fe}^{2+}$  es diferente para la calcita y dolomita; en ambos casos se manifiesta por una banda doble y ancha centrada alrededor de 1300nm para la calcita y 1200nm en la dolomita.

Dicha diferencia se ilustra para las muestra AL1\_1 y MA2, la primera calcítica y la segunda dolomítica, en la Figura 5.

En la cantera Maria Andrés todas las muestras son dolomíticas con importantes contenidos en  $\text{Fe}^{2+}$  lo cual se ha corroborado por microscopía óptica; la muestra CG1 también es dolomítica con intensas bandas de absorción en el rango 1200-1300nm. Respecto a la presencia de  $\text{Fe}^{2+}$  en las muestras calcíticas, las de las canteras de sierra de Almendrales, Nogales y Fuente del Maestre presentan bandas de absorción bien definidas; en la cantera de Alconera la profundidad de estas bandas de absorción son bajas o nulas. La ausencia de estas bandas de absorción es característica de la mayor parte de los espectros de reflectancia de los ídolos antropomorfos y betilos ya que solo las

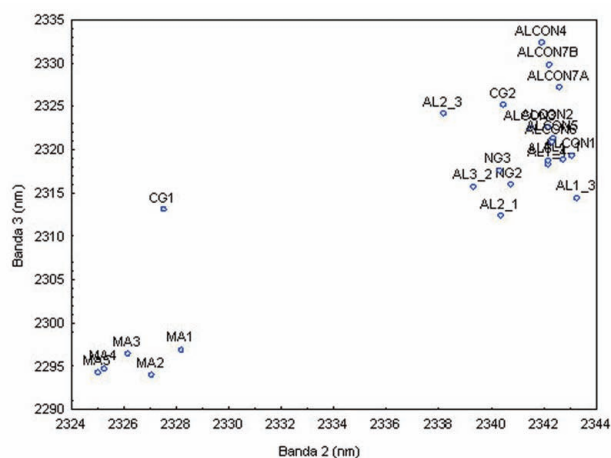


Fig. 4.a. Posición relativa de las bandas de absorción 2 y 3 en muestras de cantera

muestras Ant10, Bet11 y Bet31 presentan bandas de absorción características de sustitución de  $\text{Fe}^{2+}$ . En el conjunto de ídolos oculados en cambio son 18 las muestras de un total de 43 las que presentan dicha sustitución.

Con el objeto de proponer posibles procedencias de los mármoles utilizados para realizar los ídolos se ha determinado el nivel de proximidad del espectro de reflectancia de cada objeto cultural con el conjunto de muestras de campo. Se han aplicado los algoritmos SAM (Spectral Angle Mapping) y SFF (Spectral Feature Fitting) implementados en ENVI (Environment for Visualizing Image, RSI© utilizando la base de datos espectrales de canteras (endmembers) para la clasificación espectral de los objetos culturales. El algoritmo SAM (Kruse y col.

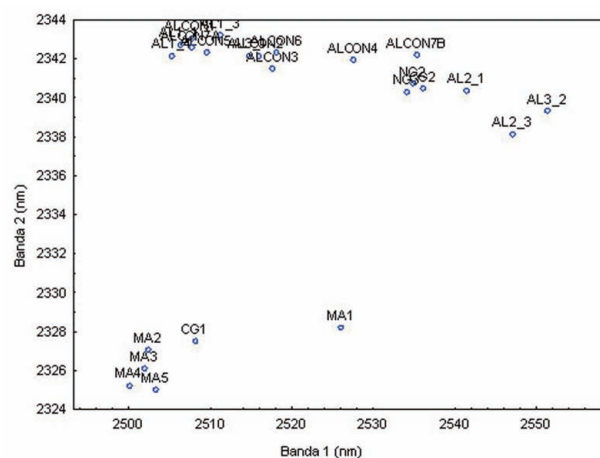


Fig. 4.b. Posición relativa de las bandas de absorción 1 y 2 en muestras de cantera.

1993) utiliza el ángulo multidimensional, igual al número de bandas, entre el espectro de reflectancia del ídolo a clasificar y cada uno de los espectros de las muestras de cantera; el grado de similitud espectral medido es relativamente insensible a posibles efectos de iluminación y de albedo. El método SFF se basa en la medida de ajuste entre las bandas de absorción tras la eliminación del espectro continuo del espectro a identificar y de los espectros de la base de datos, utilizando la profundidad y la forma de las bandas de absorción utilizando el método de mínimos cuadrados.

Estos métodos se han aplicado de forma independiente y de forma simultánea utilizando el rango espectral 1100nm-2500nm.

Tras el análisis de resultados, en la tabla 2 se resume la clasificación de posibles procedencias de los materiales en que se han realizado los objetos culturales agrupados por las tipologías de materiales identificados en las canteras; para cada tipología se indica el número de objetos cuya respuesta espectral es la más próxima a la muestra de cantera correspondiente. De todos los ídolos más del 50% se clasifican como muy similares a los mármoles de Alconera, e incluye 28 oculados de un total de 43, 28 betilos de un total de 43 y 4 antropomorfos de un total de 14.

Se sugiere la utilización de mármoles de Sierra de Almendral en la realización de ídolos antropomorfos ya que nueve objetos están adscritos por

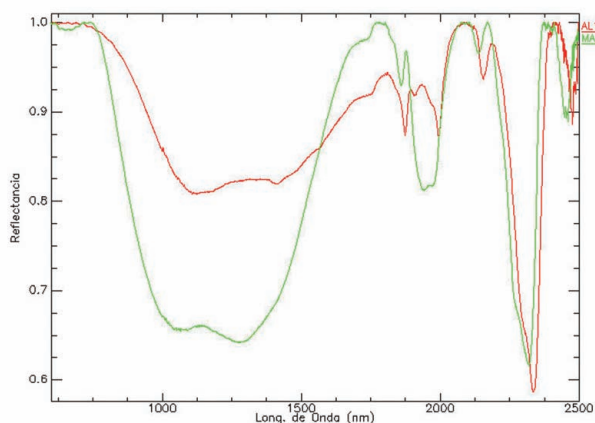


Fig. 5. Bandas de absorción debidas a la sustitución de  $\text{Fe}^{2+}$  en mármoles calcíticos (AL1.1) y dolomíticos (MA2).

	Sierra del Almendral (AL)			Nogales (NG)	F. del Maestre (CG)	Alconera (ALCON)						Total	S.C
	1.4	2.3	3.1	2	CG2	1	2	4	5	6	7a		
<b>Antropom.</b>	4		5						3	1		13	1
<b>Betilos</b>		2		7		2	2	2	4	18		37	2
<b>Oculados</b>	12			2	1		1	1	14	9	3	43	0
<b>T.muestra</b>	16	2	5	9	1	2	3	3	21	28	3		
<b>T.cantera</b>	23			9	1	60						93	3

Tabla 2. Clasificación del número de objetos culturales identificados como similares a las muestras de las canteras correspondientes; estas muestras se identifican por la sigla de la primera fila (nombre de la cantera) seguida de la segunda fila (número de muestra de la cantera correspondiente). En la fila T. muestra y T.cantera se acumulan por muestras y canteras respectivamente. En la columna Total se indica en número total de cada tipo de objeto y en la columna S.C. en número de objetos sin asignar.

su semejanza espectral a las muestras AL1.4 y AL3.1, así como de 12 oculados de un total de 43 (Tabla 2). También se apunta a la posible utilización la cantera Nogales, situada cerca de la Sierra de Almendral para la realización de betilos. Los resultados de esta clasificación, evidentemente, son de carácter provisional pendientes de la adquisición de datos espectrales de otros afloramientos no muestreados durante la realización de este trabajo y que pudieran ser susceptibles de ser utilizados. En todo caso la proximidad de los afloramientos estudiados al yacimiento arqueológico de la Pijotilla les hace potencialmente susceptibles de haber sido utilizados, como se desprende de los análisis realizados.

#### IV. CONCLUSIONES

Los materiales utilizados para realizar los objetos culturales aquí estudiados son fundamentalmente mármoles.

Tanto las rocas de cantera muestreadas como los objetos culturales son mayoritariamente mármoles calcíticos; solo la cantera Maria Andrés (muestras MA) es dolomítica, no detectándose ídolos con esta composición.

La sustitución de Fe<sup>2+</sup> en la estructura de los

carbonatos se ha identificado tanto en mármoles calcíticos como dolomíticos. Solo las muestras de Alconera presentan bajas o nulas sustituciones, al igual que los ídolos antropomorfos y betilos; únicamente las muestras Ant10 y Bet11 y Bet 31 tienen concentraciones de Fe<sup>2+</sup> apreciables, así como un conjunto de 18 ídolos oculados.

Respecto a la procedencia de los materiales se descarta la utilización de la cantera de Maria Andrés, y se considera que la de Alconera es probablemente la fuente principal de los mármoles con que se elaboraron los objetos estudiados. No se descarta el uso de los mármoles de Sierra de Almendral para elaborar parte de los ídolos oculados y la de Nogales para la producción de algunos betilos.

El análisis de los espectros de reflectancia difusa es un método rápido, portátil y no destructivo, que se ha demostrado eficaz para la caracterización mineralógica y química de materiales calcáreos, así como su utilización para asignar posibles procedencias.

#### AGRADECIMIENTOS

Al personal del Museo Arqueológico de Badajoz por las facilidades de acceso y disponibilidad para la realización de este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- ADAMS, J. B. 1974: "Visible and near-infrared diffuse reflectance spectra of pyroxenes as applied to remote sensing of solid objects in the solar system". *Journal of Geophysical Research* 9: 4829-4836.
- CROWLEY, J. K. 1986: "Visible and near-infrared spectra of carbonate rocks: Reflectance variations related to petrographic texture and impurities". *Journal of Geophysical Research* 91 (B5): 5001-5012.
- GAFFEY, S.J. 1986: "Spectral reflectance of carbonate minerals in the visible and near infrared (0.35-2.55  $\mu\text{m}$ ): Calcite, aragonite and dolomite", *American Mineralogist* 71: 151-162.
- GAFFEY, S.J. 1987: "Spectral reflectance of carbonate minerals in the visible and near infrared (0.35-2.55  $\mu\text{m}$ ): Anhydrous carbonate minerals", *Journal of Geophysical Research* 92: 1429-1440.
- HUNT, G. R. Y SALISBURY, J. W. 1971: "Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks, II. Carbonates". *Modern Geology* 2: 23-30,
- HUNT, G. R. Y SALISBURY, J. W., 1976: "Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks, XII. Metamorphic rocks". *Modern Geology* 5: 219-228,
- KRUSE, F. A., LEFKOFF, A. B., BOARDMAN, J. B., HEIDEBRECHT, K. B., SHAPIRO, A. T., BARLOON, P. J., AND GOETZ, A. F. H., 1993: "The Spectral Image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging spectrometer Data". *Remote Sensing of Environment* 44: 145-163.
- SUNSHINE, J.M., PIETERS, C.M. Y PRATT, S.F., 1990: "Deconvolution of mineral absorption bands—An improved approach". *Journal of Geophysical Research: Solid Earth and Planets* 95: 6955-6966.
- SUNSHINE, J.M. Y PIETERS, C.M. 1992: "The modified Gaussian approach to quantifying compositional information in reflectance spectra". *EOS, Transactions of the American Geophysical Union*: 187.