

Identificación mineralógica de piezas arqueológicas elaboradas en talco mediante espectroscopía de reflectancia de laboratorio

Ferrer-Julià, M.⁽¹⁾, Herrero, D.⁽²⁾, García-Meléndez, E.⁽¹⁾, González, E.⁽²⁾, Colmenero-Hidalgo, E.⁽¹⁾

⁽¹⁾ Departamento de Geografía y Geología, Universidad de León. Facultad de CC. Biológicas y Ambientales, Campus de Vegazana, 24071-León, España. mferj@unileon.es

⁽²⁾ Departamento de Historia, Universidad de León. Facultad de Filosofía y Letras, Campus de Vegazana, 24071-León, España.

Resumen: El talco es un mineral blando que permite trabajarlo fácilmente, por lo que ha sido utilizado desde la Prehistoria. Sin embargo, no es el único mineral blando y a veces, bajo este nombre, se clasifican piezas que han sido trabajadas por grupos humanos sobre minerales de características físicas similares, pero químicamente distintos. El análisis espectroscópico de las muestras permite identificar su mineralogía de manera no destructiva. En el presente estudio se han analizado 30 muestras, tanto de procedencia arqueológica como geológica. De las 27 muestras de talco, se han diferenciado 4 tipos de curvas espectrales, poseyendo todas el rasgo de absorción definido en los 2320 nm correspondiente al talco. El uso de las técnicas *continuum remove* y *Spectral Feature Fitting* ha demostrado ser de gran ayuda tanto para la discriminación de grupos de talco de diferentes características como para la identificación de minerales distintos. Se espera que en un futuro estas diferencias permitan también conocer la localización geográfica de donde provienen las muestras y con ello facilitar la labor investigadora de los arqueólogos, abriendo así una nueva vía de aplicaciones de la espectrorradiometría.

Palabras clave: curvas espectrales, mineralogía, Península Ibérica, Edad del Hierro.

Mineralogical identification of archaeological pieces elaborated with talc through Laboratory Reflectance Spectroscopy

Abstract: Due to the fact that talc is a soft mineral easy to carve, it was used since prehistoric times. Nevertheless, because talc is not the only soft mineral easy to work, sometimes its name has been ascribed to archaeological pieces worked by different human groups with minerals with similar physical properties but different chemical composition. The spectroscopic analysis of 30 samples from both archaeological pieces and geological samples allowed the identification of 27 of them made of talc. This talc samples can be divided into 4 groups according to their spectral curves, all of them with the presence of the absorption feature at 2320 nm characteristic of talc. The samples were grouped based on the use of the continuum removal and the Spectral Feature Fitting techniques, allowing the talc identification and the presence of other similar minerals. Laboratory reflectance spectroscopy is a non-destructive technique that will allow in future studies the identification of the geographical location of the minerals helping to deduce the movement of prehistoric human groups.

Keywords: spectral curves, mineralogy, Iberian Peninsula, Iron Age.

1. INTRODUCCIÓN

La espectroscopía de reflectancia de laboratorio en el visible-infrarrojo cercano-VNIR (400-1400 nm) y en el infrarrojo de onda corta-SWIR (1400-2500 nm) ha demostrado ser una herramienta muy útil para determinar aspectos importantes de la composición química y mineralógica de la superficie terrestre (Hunt y Salisbury, 1970). Los espectros de reflectancia de la región comprendida entre 400 y 2500 nm son de gran importancia en los estudios de Teledetección por la variedad de mecanismos que pueden producir absorciones fotónicas dentro de este intervalo de longitudes de onda. Esta técnica ha sido ampliamente utilizada en el estudio de suelos, de vegetación, y de Geología, entre otros. También en estudios arqueológicos principalmente relacionados con el análisis de suelos y en la prospección de yacimientos con distintos tipos de imágenes, y también para el estudio de pigmentos, especialmente con la espectroscopía Raman (Vandenabeele et al., 2007). Sin embargo, el estudio de piezas elaboradas es más escaso. En este trabajo se realiza la comparación

de espectros continuos de reflectancia en la región de longitudes de onda del espectro de energía electromagnética correspondientes al intervalo comprendido entre 400 y 2500 nm.

El talco es un mineral que ha sido utilizado en diferentes contextos arqueológicos durante la Prehistoria debido a su escasa dureza, facilitando la elaboración de elementos decorativos de pequeño tamaño (centimétricos normalmente) como cuentas de collar y otras piezas perforadas tradicionalmente clasificadas como fusayolas. Su uso se ha identificado en algunos yacimientos arqueológicos del norte peninsular, pero en algunos casos existen dudas sobre si realmente todo lo que se almacena en los museos bajo el nombre de “talco” se corresponde con dicho mineral, ya que en realidad pueden ser otros minerales con características similares, lo que implicaría una procedencia totalmente distinta, afectando a las interpretaciones y pudiendo establecer los desplazamientos realizados por los grupos humanos. El talco pertenece a la clase silicatos, subclase filosilicatos, de fórmula $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$. Se

caracteriza por su escasa dureza, su brillo perlado o sedoso, y por aparecer generalmente en masas de grano fino de color blanco, gris y verde formando la roca metamórfica esteatita, asociado a otros minerales como el grupo de las cloritas. Estas son también filosilicatos, de composición variada, colores verdosos y dureza baja –aunque más duras que el talco– que también han podido ser usadas para elaborar piezas prehistóricas, al igual que otros filosilicatos como la dickita y el caolín ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) o la saponita. Todos estos minerales tienen en común su baja dureza, lo que permite que sean tallados fácilmente.

Dado que las piezas arqueológicas no pueden ser, normalmente, alteradas una vez depositadas en los museos, la aplicación de técnicas no destructivas como la utilizada en este estudio para realizar su identificación mineralógica es fundamental. El objetivo de este trabajo es determinar la mineralogía de 30 muestras correspondientes a rocas y a piezas arqueológicas para, sobre la base de los resultados obtenidos, poder caracterizar las diferentes variedades de talco u otros minerales similares que afloran en diversas áreas de la Península Ibérica. Este trabajo, serviría de base para en un futuro poder establecer la procedencia de la materia prima utilizada en la elaboración de estas piezas. La utilización de técnicas no destructivas, supone un gran avance en la investigación arqueológica, ya que facilitaría el estudio de objetos únicos, depositados en muchas ocasiones en museos.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Las muestras con las que se ha trabajado se localizan en el noroeste de la Península, agrupándose en dos tipos. El primero son muestras arqueológicas, procedentes de los yacimientos de La Peña del Castro (La Ercina) (González-Gómez de Agüero et al., 2015) y de Castiltejón (Puebla de Lillo) (González-Ruibal et al., 2011). Ambos yacimientos se encuentran en la provincia de León y están adscritos cronológicamente a la Edad del Hierro (Figura 1). El segundo tipo de muestras son geológicas, obtenidas en minas y afloramientos localizados en Moalde y Noia (ambas en la provincia de Pontevedra), Valderrodero (Asturias) y en el Pico Tres Provincias, Respina y San Andrés (estas tres en la provincia de León). De las 30 muestras analizadas, 3 corresponden a muestras arqueológicas de la Edad del Hierro, otras 3 son muestras de roca no molida y las 26 restantes corresponden a muestras geológicas que han sido molidas para el presente estudio.

Para el análisis espectrorradiométrico se ha utilizado un espectrorradiómetro ASD FieldSpec4 que mide un rango espectral entre 350 nm hasta 2500 nm. En dicho proceso, se ha utilizado la sonda de contacto, que dispone de su propia fuente de iluminación halógena, evitándose la entrada de iluminación externa al estar directamente en contacto la sonda con la muestra. Tanto el sensor como la sonda se pre-calentaron durante 30 minutos antes de la toma de muestras.

El protocolo de medición ha consistido, en el caso de las 24 muestras molidas debido a su homogeneidad y escasez de material, en una única medición, aunque internamente se programó el sensor para que realizase un promedio de 15 mediciones internas.

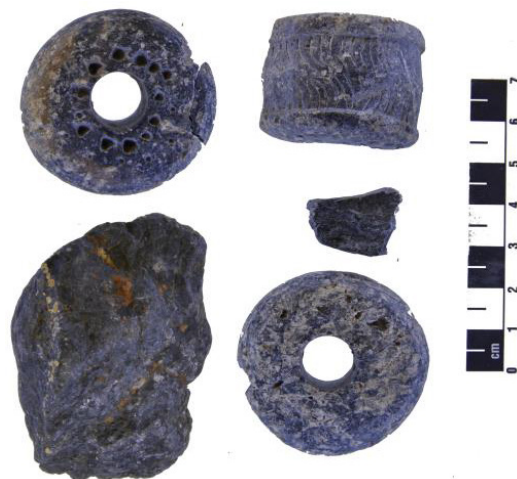


Figura 1. Piezas arqueológicas de La Ercina y Castiltejón (solo la inferior izquierda).

En dos de las muestras arqueológicas se han tomado dos mediciones, una en la zona con presencia de decoración y otra en la zona sin decorar. En la muestra que no había decoración, pero sí había un corte fresco de la pieza, se realizó una medición en la parte fresca y otra en la parte trabajada sin decoración. Para las 3 muestras de roca no molida (procedentes de las minas de San Andrés y La Respina, León), en dos de ellas, se tomó una medición en corte fresco y otra en la zona expuesta. Finalmente, en la tercera muestra de roca, procedente de la misma mina de San Andrés, se tomó únicamente una medición en una zona de alteración. En total, se realizaron 39 mediciones.

Una vez obtenidas las mediciones se realizó la agrupación de curvas espectrales según sus similitudes. Dado que los rasgos de absorción más característicos del talco se encuentran alrededor de los 2320 nm (Hunt et al., 1973), la comparación entre las distintas curvas espectrales se ha centrado en el intervalo de longitud de onda que va desde los 1800 nm a los 2500 nm. Dicha comparación se ha realizado mediante la normalización de las curvas espectrales utilizando la técnica *continuum removal*. Esta técnica permite comparar las variaciones en las posiciones del espectro electromagnético de cada uno de los rasgos de absorción, su amplitud y su profundidad, que aparecen en las distintas curvas que se analizan. De esta forma, se elimina el ruido de fondo de cada muestra (Van der Meer, 2004).

Posteriormente, se escogió un perfil tipo de cada uno de los grupos diferenciados y se comparó con las librerías espectrales del Servicio Geológico de EE.UU-USGS (Kokaly et al., 2017) y del *Jet Propulsion Laboratory-JPL* (Grove et al., 1992), con el objetivo de identificar su mineralogía. De las distintas técnicas disponibles para realizar este análisis se aplicó la conocida como *Spectral Feature Fitting* debido a que es la que mejor funciona cuando existen rasgos de absorción muy claros (ENVI, 2019). En este método desarrollado por Clark et al. (1991) en primer lugar se utiliza la técnica *continuum removal* comparando la curva de la muestra con las curvas existentes en una librería espectral, y posteriormente, se utiliza el método de los mínimos cuadrados para determinar a qué curva de todas las de la librería se parece más la curva analizada (Pan et al., 2013).

3. RESULTADOS

El análisis espectral de las 30 muestras analizadas permite la identificación de talco en 27 de ellas. Una vez agrupadas, se ha observado que existen pequeñas diferencias que afectan a la amplitud y profundidad de los rasgos de absorción de sus curvas espectrales (Figura 3). En concreto se han encontrado 4 tipos de curvas espectrales que permiten su agrupación.

A pesar de ello, todas tienen en común el rasgo en 2320 nm, correspondiente a la presencia de magnesio (Hunt et al., 1973).

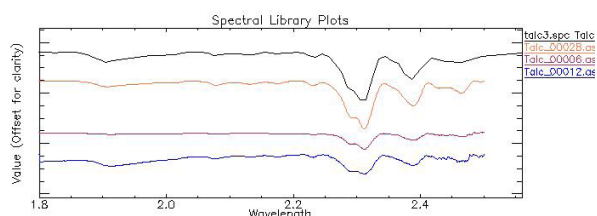


Figura 3. Comparación de la respuesta espectral entre 1800 y 2500 nm de los distintos grupos de muestras identificadas como talco. El eje y se refiere a reflectividad, existiendo un desplazamiento (offset) para posibilitar la comparación de las curvas.

Así mismo, de las 30 muestras analizadas se ha detectado que existen 3 muestras que originariamente se clasificaron de visu como talco cuando no lo son, como se comprueba a continuación a partir de los resultados del Spectral Feature Fitting que se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados del Spectral Feature Fitting para aquellas muestras cuyas curvas espectrales no se ajustaban a las del talco.

Muestra	Descripción espectroteca USGS	Puntuación Spectral Feature Fitting
35	Dickite1	0,901
	Nacrite	0,713
	Cchlore1	0,711
44	Chlorit3	0,708
	Cchlore3	0,703
	Chlorit4	0,699
54	Saponit2	0,66
	Vermicu4	0,623
	Hedenbe2	0,612
	Saponit1	0,611

Una vez vistos los posibles minerales coincidentes, se realizó un análisis de sus curvas espectrales para asegurarse de su ajuste, a partir del cual se identificaron los siguientes minerales:

Dickita. La curva espectral de este material se corresponde con un doble rasgo de absorción en la longitud de onda 1370 y 1410 nm y otro doble rasgo en rasgo de absorción en la 2175 y 2205 nm (Figura 4).

La dickita es un mineral polimorfo de la caolinita, tiene la misma composición química, pero difiere en su estructura.

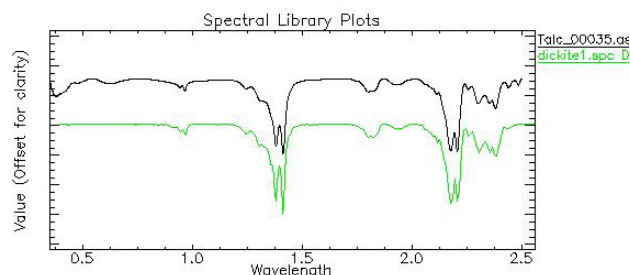


Figura 4. En verde aparece la curva espectral de la dickita extraída de la librería espectral del USGS y en negro la medida a partir de la muestra recogida en el presente estudio. El eje y se refiere a reflectividad, existiendo un desplazamiento (offset) para posibilitar la comparación de las curvas.

Clorita. Como puede observarse en la figura 5 esta muestra presenta una cantidad elevada de iones de hierro responsables del rasgo de absorción en la longitud de onda de los 1000 nm. Este rasgo se caracteriza por ser ancho. Los contenidos de óxidos de hierro son característicos de la clorita al ser un mineral que se forma típicamente como resultado de la alteración de silicatos ferromagnesianos (Hunt y Salisbury, 1970). Además, se observa en los 1400 y 1900 nm de la curva espectral un rasgo débil pero diferenciado correspondiente a la presencia de agua en la muestra. La curva espectral del mineral también muestra en las longitudes de onda de 2250 y 2335 nm unos rasgos de absorción correspondientes al contenido Al-OH y Mg-OH, respectivamente. Por último, se observa un rasgo en los 2345 nm correspondiente a la presencia de Fe-OH

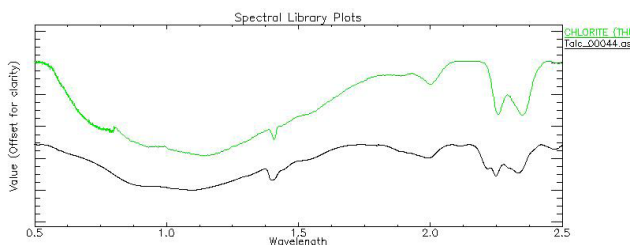


Figura 5. En negro aparece la curva espectral de la muestra medida; en verde aparece la curva correspondiente a la clorita en la librería espectral del JPL. El eje y se refiere a reflectividad, existiendo un desplazamiento (offset) para posibilitar la comparación de las curvas.

Saponita. La muestra está representada por una curva que a partir de los 1400 nm tiene una gran similitud con la de la saponita (Figura 6). Presenta un doble rasgo de absorción en 1396 y 1910 nm debido a la existencia de agua y grupos OH, además del correspondiente al Mg-OH en los 2330 nm. La diferencia que presenta la muestra estudiada respecto a las curvas de saponita de las librerías espectrales consultadas (USGS y JPL) es el rasgo de absorción que aparece en los 2200 nm de la muestra, que se corresponde con el rasgo de absorción del aluminio (Al-OH).

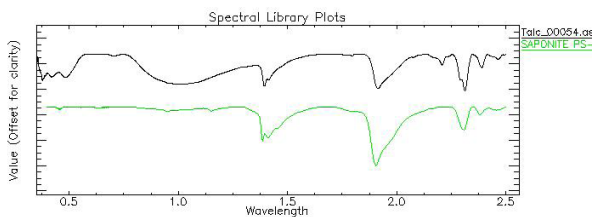


Figura 6. En negro aparece la curva espectral de la muestra medida; en verde aparece la curva correspondiente a la saponita en la librería espectral del JPL. El eje y se refiere a reflectividad, existiendo un desplazamiento (offset) para posibilitar la comparación de las curvas.

4. DISCUSIÓN

Los resultados muestran que todas las piezas arqueológicas analizadas corresponden con talco, sin embargo, hemos podido comprobar la existencia de otros minerales que son susceptibles de ser utilizados para la elaboración de diferentes objetos, por sus similares propiedades físicas con el talco (blandos, de brillo sedoso y colores blanquecinos, grises y verdes). La espectrorradiometría, mediante el análisis de las curvas espectrales, ha permitido en primer lugar diferenciar estos otros minerales “similares” al talco y posteriormente identificarlos como dickita, clorita y saponita mediante comparación de sus espectros con librerías espectrales de referencia. Sin embargo, a pesar de los avances, la identificación final no puede dejarse a un proceso automático. Es necesario que el investigador, sobre la base de la información aportada por los programas informáticos, analice si realmente las diferencias existentes entre las curvas espectrales no eliminan algún rasgo de absorción pequeño pero básico en la identificación de minerales. A la coincidencia de características físicas entre estos minerales se le puede sumar la coincidencia geográfica. La saponita, la clorita y el talco son minerales que pueden aparecer asociados, de tal manera que en bibliografía no especializada es fácil encontrar como sinónimos la esteatita (roca metamórfica formada principalmente por talco) y la saponita, lo que puede haber llevado a catalogar todas las piezas arqueológicas de una misma zona como talco. La confusión entre el talco y la dickita, en cambio, sí que se centra únicamente en las características físicas, ya que son dos minerales que no aparecen juntos.

5. CONCLUSIONES

La espectrorradiometría es una técnica no destructiva que permite de una manera eficaz y rápida diferenciar aquellas piezas arqueológicas que se han elaborado con talco de las que se han elaborado con otros minerales de características físicas similares. Esto abre una nueva vía de aplicaciones en la espectrorradiometría para análisis de piezas arqueológicas localizadas en los museos, en donde se encuentran a menudo tallas realizadas en minerales blandos, que han sido llamados talco. Por otro lado, se espera que la identificación de grupos de distintas curvas espectrales dentro del talco permita identificar distintas áreas fuentes, facilitando el estudio del origen de las piezas arqueológicas.

6. AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por los Proyectos ESP2017-89045-R del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, y LE169G18 de la Junta de Castilla y León. Al Museo de Historia Natural de la Universidad de Santiago de Compostela por las muestras de Galicia utilizadas en este trabajo.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Clark, R.N., Swayze, G.A., Gallagher, A., Gorelick, N., Kruse, F.A. 1991. Mapping with imaging spectrometer data using the complete band shape least-squares algorithm simultaneously fit to multiple spectral features from multiple materials. In: Proceedings, 2nd Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) workshop, Ed. by R.O. Green, JPL Publication, 94-54, pp. 176–187.
- ENVI. 2019. Spectral Feature Fitting. Exelis Visual Information Solutions, Boulder, CO.
- González-Gómez de Agüero, E., Bejega-García, V., Muñoz-Villarejo, F. 2015. El poblamiento castreño en la montaña leonesa: el caso de la Peña del Castro (La Ercina, León). *Férvedes*, 8, 191-200.
- González-Ruibal, A., Bejega-García, V., González-Gómez de Agüero, E. 2011. Intervención arqueológica en los restos de la Guerra Civil del Término Municipal de Puebla de Lillo (León). Informe inédito. Servicio de Cultura y Patrimonio. Junta de Castilla y León.
- Grove, C.I., Hook, S.J., Paylor II, E.D. 1992. Laboratory Reflectance Spectra of 160 Minerals, 0.4 to 2.5 Micrometers: Jet Propulsion Laboratory Pub. 92-2
- Hunt, G.R., Salisbury, J.W. 1970. Visible and near infrared spectra of minerals and rocks. I. Silicate minerals. *Modern Geology*, 1, 283-300
- Hunt, G.R., Salisbury, J.W., Lenhoff, C.J. 1973. Visible and near infrared spectra of minerals and rocks. VI. Additional silicates. *Modern Geology*, 4, 85-106
- Kokaly, R.F., Clark, R.N., Swayze, G.A., Livo, K.E., Hoefen, T.M., Pearson, N.C., Wise, R.A., Benzell, W.M., Lowers, H.A., Driscoll, R.L., Klein, A.J. 2017. USGS Spectral Library Version 7: U.S. Geological Survey Data Series 1035, 61 p.
- Pan, Z., Huang, J.F., Wang, F. 2013. Multi range spectral feature fitting for hyperspectral imagery in extracting oilseed rape planting area. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 25, 21–29.
- Van der Meer F. 2004. Analysis of spectral absorption features in hyperspectral imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5, 55-68.
- Vandenabeele, P., Edwards, H.G.M., Moens, L. 2007. A decade of Raman Spectroscopy in Art and Archaeology. *Chemical reviews*, 107 (3), 675-686.