

# Estudio espectroscópico (VNIR-SWIR) de sondeos del yacimiento de uranio de Villavieja (Salamanca)

Javier García-Rivas (1\*), Arely Leal, (2), Ángel Santamaría (2), Enrique Martínez, (3) Emilia García-Romero (1, 4), Mercedes Suárez (2)

(1) Departamento de Mineralogía y Petrología. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid, 28040, Madrid (España)

(2) Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Salamanca, 37008, Salamanca (España)

(3) Berkeley Minera España, S. L.

(4) Instituto de Geociencias. Consejo Superior de Investigaciones Científicas - Universidad Complutense de Madrid, 28040, Madrid (España).

\* corresponding author: [javier.garcia.rivas@ucm.es](mailto:javier.garcia.rivas@ucm.es)

**Palabras Clave:** espectroscopía VNIR-SWIR, espectrorradiometría portátil, Yacimiento de Villavieja, exploración de Uranio.

**Key Words:** VNIR-SWIR spectroscopy, portable spectrorradiometry, Villavieja deposit, Uranium exploration

## INTRODUCCIÓN

Las técnicas espectroscópicas se han utilizado desde hace décadas en la caracterización mineralógica, así como con fines de prospección de yacimientos, si bien en tiempos recientes han cobrado especial relevancia debido a la aparición de equipos portátiles de alta resolución y a la utilización de imágenes hiperespectrales obtenidas mediante sensores remotos. Los espectrorradiómetros portátiles permiten la adquisición de espectros en el campo, pudiendo medir un gran número de muestras en muy poco tiempo y en su contexto original. Así mismo, pueden ser utilizados en explotaciones mineras para guiar la explotación, habiendo obtenido previamente la respectiva firma espectral del yacimiento.

En este trabajo se estudia el yacimiento de uranio de Villavieja mediante espectroscopía VNIR-SWIR. Este yacimiento se localiza al oeste de la provincia de Salamanca, encontrándose albergado en filitas bandeadas del Complejo Esquisto-grauváquico de edad Cámbrico a Precámbrico, con orientación NE-SW y subparalelo al contacto con el granito de Villavieja-Cipérez en el NW. Las menas de uranio que dan lugar a la mineralización son uraninita y coffinita, a diferencia del cercano yacimiento de Retortillo-Santidad en pizarras del Ordovício donde también aparece autunita (Huertas y Gervilla, 2014). La finalidad de este trabajo es obtener una firma espectral del yacimiento, de tal manera que, mediante espectroscopía de reflectancia VNIR-SWIR, se puedan identificar las zonas con mayores probabilidades de encontrar altos contenidos en uranio.

## MATERIALES Y METODOLOGÍA

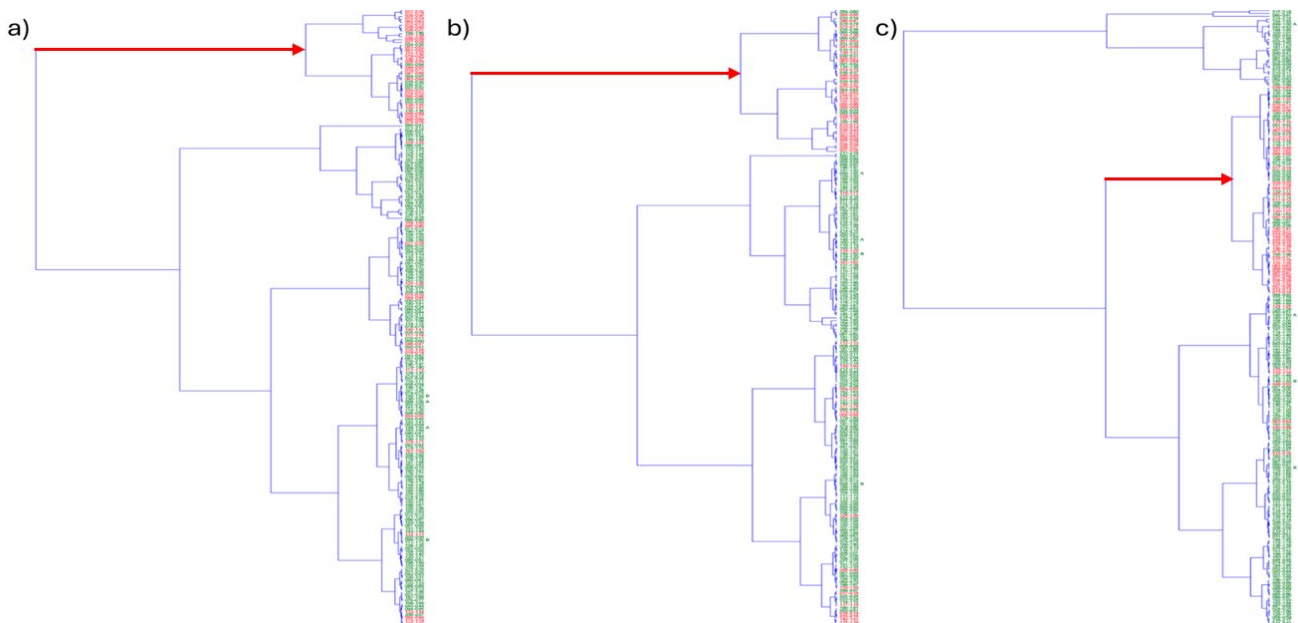
Se han estudiado un total de 222 muestras provenientes de un sondeo (Z7R-347) en la denominada Zona 7 del yacimiento de Villavieja mediante espectroscopía de reflectancia VNIR-SWIR. Las muestras corresponden al *todo uno* de secciones de 1 metro de sondeo, así como a dos duplicados de las secciones a 099-100 y 149-150 metros. Cada sección de 1 metro fue molida y homogeneizada, analizando el contenido en  $U_3O_8$ , comenzando por la sección localizada a 008-009 metros de profundidad. Los análisis químicos se realizaron mediante Fluorescencia de Rayos-X (U-XRF05 de ALS). Los espectros infrarrojos en el rango Visible– Infrarrojo Cercano – Infrarrojo de Onda Corta (VNIR-SWIR) (350 – 2.500 nm) se obtuvieron utilizando un espectrorradiómetro de campo ASD FieldSpec 4 Hi-Res promediando 25 espectros por muestra. La visualización y extracción de los espectros se realizó mediante el software ViewSpecPro.

Por otra parte, un total de 27 muestras fueron estudiadas mediante difracción de Rayos-X siguiendo la metodología habitual: polvo desorientado de roca total y agregados orientados de la fracción menor de 2  $\mu m$  (ambiente normal, solvatados con etilén glicol y calcinados durante 2h a 550°C). El equipo utilizado fue un difractor Bruker D8 Advance ECO del Servicio General de Difracción de rayos-X de la Universidad de Salamanca, trabajando a 40kV y 30mA con una velocidad de 0.05° de 2theta por segundo.

## RESULTADOS

Los difractogramas de las muestras estudiadas permitieron identificar su mineralogía, consistente fundamentalmente en cuarzo, plagioclasa, mica y clorita, minerales comunes a todas ellas. Así mismo, también se identificó esmectita en un porcentaje muy elevado de las muestras, a profundidades mayores a las que cabría esperar (superiores a 200 metros), y otros minerales minoritarios entre los que destacan cordierita, yeso, feldespato potásico y caolinita. Con los datos de DRX se realizó un análisis estadístico, sin llegar a obtener ninguna correlación significativa entre mineralogía y contenido en  $U_3O_8$ . Los espectros infrarrojos muestran unos rasgos de absorción comunes a todas las muestras localizados a 1410, 1910 y 2200 nm, característicos de filosilicatos dioctaédricos, lo cual se corresponde con la mineralogía identificada. En algunas muestras, además, se identifican rasgos de absorción localizados a 2250 y 2350 nm, los cuales se correlacionan también con filosilicatos, especialmente con la clorita. En el rango visible es posible observar diferentes bandas de absorción con centros localizados a aproximadamente 700 y 900 nm, originadas probablemente por las transiciones electrónicas del Fe contenido en los filosilicatos. Los espectros se clasificaron en función de su morfología, tanto en el rango NIR-SWIR como en el visible, estableciendo diferentes grupos espectrales. Sin embargo, dichos grupos no muestran una correlación con el contenido en uranio.

A partir del tratamiento estadístico de los datos obtenidos de los espectros, el *continuum removal* y de la primera y segunda derivada de los espectros junto con el contenido en uranio, se obtuvieron una serie de parámetros que se correlacionan significativamente. A la hora de observar el grado de segregación entre muestras con contenidos en U superiores e inferiores a un valor de corte (400 ppm  $U_3O_8$ ), algunos de estos parámetros proveen de datos discriminativos. En la Figura 1 se pueden observar los clusters que mejor segregan las muestras en función de su contenido en U, de modo que aquellos clusters con mayor número de etiquetas en rojo son los que agrupan más muestras con  $> 400$  ppm  $U_3O_8$ . Utilizando la posición del pico a 816 nm en la primera derivada del espectro, se obtiene un grupo que contiene el 59% del total de muestras con  $> 400$  ppm  $U_3O_8$ , mientras que la intensidad del pico a 806 nm en la primera derivada agrupa el 63% del total de muestras con contenidos de U superiores al corte. Finalmente, utilizando la profundidad del rasgo a 805 nm del *continuum removal*, se obtiene un grupo que contiene el 86% del total de muestras con  $> 400$  ppm  $U_3O_8$ .



**Fig 1.** a) Cluster obtenido con el valor de 816 nm en la primera derivada. b) Cluster multivariado con el valor de 806 nm en la primera derivada. c) Cluster multivariado con el valor de 805 nm en el *continuum removal*. Rojo: muestras  $> 400$  ppm  $U_3O_8$ ; Verde: muestras  $< 400$  ppm  $U_3O_8$ .

## REFERENCIAS

Huertas, F.J. y Gervilla, F. (2014): Alteración inducida por percolación de soluciones ácidas de las pizarras negras del área Retortillo-Santidad (Salamanca). *Macla*, **19**.