

***INFORME DE VIGILANCIA
TECNOLÓGICA
SEGUNDO TRIMESTRE 2017***

*ESPECTROSCOPIA DE IMÁGENES DE SENSORES
ESPACIALES, AEROTRANSPORTADOS Y
TERRESTRES EN LA EXPLORACIÓN
GEOMORFOLÓGICA DE MATERIAS PRIMAS*

Cehegín, Murcia, 18 de julio de 2017

ÍNDICE

OBJETIVO DEL INFORME	3
PERFIL DE BÚSQUEDA.....	3
BASES DE DATOS DE PATENTES	3
BASES DE DATOS DE REVISTAS Y ARTÍCULOS CIENTÍFICOS	4
PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN.....	4
OFERTAS Y DEMANDAS TECNOLÓGICAS	4
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
REFERENCIAS.....	11

En Cehegín, Murcia, a 18 de julio de 2017

1. OBJETIVO DEL INFORME

El presente informe tiene como finalidad informar a las empresas del sector del mármol, piedra y materiales de las últimas novedades científico-tecnológicas que han sido desarrolladas en el ámbito temático de **las metodologías de espectroscopía de imágenes de sensores espaciales, aerotransportados y terrestres en la exploración geomorfológica de materias primas**. Se trata de identificar y extraer la información publicada en las distintas bases de datos y fuentes de información consultadas en el período comprendido entre abril y junio de 2017.

2. PERFIL DE BÚSQUEDA

- BASES DE DATOS DE PATENTES

INVENES: base de datos de invenciones en español de la Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM). Con el objetivo de difundir la información tecnológica contenida en los documentos de patentes y una cobertura nacional, INVENES contiene información sobre patentes y modelos de utilidad españoles y latinoamericanos así como sobre diseños industriales españoles.

ESPACENET: Base de datos de la Oficina Europea de Patentes que proporciona acceso gratuito a más de 80 millones de documentos de patente (solicitudes, patentes concedidas, traducciones, modelos de utilidad, etc.) publicados desde 1836, en más de 90 países.

- 3 de 13 -

- BASES DE DATOS DE REVISTAS Y ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

ScienceDirect: Science Direct es una colección multidisciplinar que ofrece acceso al texto completo de más de 12 millones de artículos y a más de 59 millones de resúmenes de artículos de todos los campos de la ciencia.

ICYT: base de datos del CSIC que recoge la literatura científica contenida en publicaciones españolas de ciencia y tecnología.

- PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

TESEO: tesis doctorales leídas en las universidades españolas.

Tesis en Red: tesis doctorales de treinta universidades españolas a texto completo.

Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes: ofrece acceso a aquellas tesis o sobre lenguas hispánicas defendidas con éxito en cualquier país del mundo.

DART-Europe: acceso global a las tesis doctorales europeas.

OPENTHESIS

OATD: open access theses and dissertations.

CDTI: <https://www.cdti.es/index.asp?MP=7&MS=25&MN=3&IDR>

CORDIS: constituye el principal portal y repositorio público de la Comisión Europea para difundir información sobre todos los proyectos de investigación financiados por la Unión Europea y sus resultados de toda clase.

- OFERTAS Y DEMANDAS TECNOLÓGICAS

SEIMED: es la parte de la Red Enterprise Europe Network que ofrece sus servicios a las pequeñas y medianas empresas de la Comunidad Valenciana y la Región de Murcia.

Su objetivo es ayudar a las PYME a desarrollar su pleno potencial y su capacidad innovadora a través de la internacionalización, la transferencia de tecnología y el acceso a financiación.

- RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

La espectroscopía de imágenes, también conocida como imágenes hiperespectrales, o espectrometría de imágenes se ha consolidado como una robusta tecnología para cartografiar mediante Teledetección la distribución de minerales espectralmente activos en la superficie terrestre. Hasta el momento, la mayor parte de los estudios se han centrado en la cartografía de minerales a través de análisis hiperespectrales en los que la presencia de la geomorfología estaba reducida al uso de Modelos Digitales de Elevaciones de alta resolución, morfología del relieve y medidas topográficas, o bien ausente. Otra alternativa novedosa es la aplicación de técnicas de espectroscopía de imágenes basada en el desarrollo de formas del relieve (teniendo en cuenta entre otros datos la morfogénesis y la morfocronología), para la exploración en la superficie terrestre de materias primas de interés económico, como es el caso de minerales de arcilla y de óxidos de hierro de interés industrial, cubriendo un rango de exploración a distintas escalas, desde el espacio al subsuelo. Existen procedimientos de tratamiento de imágenes con el fin de detectar asociaciones de minerales relacionadas con formas del relieve específicas en imágenes hiperespectrales, por lo que el empleo de Infraestructuras Científico Técnicas Singulares (ICTS) como son las Plataformas Aéreas de Investigación (PAI) del INTA (Instituto Nacional de Técnicas Aeroespaciales) para la adquisición de imágenes con los sensores AHS y CASI es fundamental. Además, la combinación de la información extraída de las imágenes con otros datos como mapas geomorfológicos y geológicos, y de la aplicación de técnicas geofísicas de exploración del subsuelo, mediante el empleo de Sistemas de Información Geográfica tendrá un especial interés para la evaluación de los resultados. Simultáneamente, las medidas puntuales de espectros, junto con la información suministrada por las imágenes de superficie y de afloramientos y excavaciones verticales, se combinarán para el establecimiento de nuevos procedimientos en la espectroscopía de imágenes. La interdisciplinariedad de los científicos participantes en los equipos de investigación y de trabajo facilitará un análisis completo de los resultados, de tal forma que darán pie para la elaboración de guías y protocolos para el uso de la geomorfología en la cartografía de cambios mineralógicos con esta tecnología. Por otra parte, el uso de imágenes hiperespectrales aerotransportadas incrementará la capacidad de interpretación en comparación con las imágenes multispectrales de baja resolución espectral disponibles (ASTER,

Sentinel-2), estableciendo comparaciones y recomendaciones de uso. Así, la combinación de imágenes de diferente resolución espacial AHS y CASI, e Hyperion permitirá evaluar los efectos de la resolución espacial en la detección de los minerales de interés en distintas superficies. Los resultados obtenidos proporcionarán mapas de distribución de minerales para su aplicación en futuros planes de recursos y organización de áreas con presencia de minerales de arcilla y de minerales de óxidos de hierro de interés económico. Finalmente, los procedimientos propuestos para el análisis de afloramientos y excavaciones verticales, incrementará el valor de los métodos espectroscópicos con la ampliación de sus aplicaciones, y en la calidad e importancia de la tecnología de espectrometría de imágenes.

La Teledetección es la ciencia de la adquisición, tratamiento e interpretación de imágenes y otros datos relacionados, adquiridos por sensores embarcados en aviones y satélites que registran la interacción entre la energía electromagnética y la materia. La alta resolución espectral proporcionada por los espectrofotómetros en aviones y satélites ha ampliado la capacidad de reconocimiento, localización y cartografía de los datos de Teledetección, especialmente desarrollada con la utilización de los datos del sensor AVIRIS de la NASA desde 1988. Los avances en la calibración y en el desarrollo de algoritmos capaces de extraer información a partir de un gran número de datos espectrales de la superficie terrestre basados en espectros de campo, promocionó de forma espectacular las aplicaciones en estudios geológicos y ambientales.

La espectrometría de imágenes, también conocida como imágenes hiperespectrales (*Hyperspectral imaging – HSI*) o espectroscopía de imágenes, ha conseguido establecerse como una robusta tecnología para cartografiar a distancia la distribución de materiales espectralmente activos sobre la superficie terrestre y de otros planetas, por lo que existe una amplia y demostrada variedad de aplicaciones en Geología y otras disciplinas tales como en medidas atmosféricas, cartografía de vegetación, caracterización de zonas glaciares, cartografía de zonas litorales, y muchas otras. De esta forma, la espectrometría de imágenes, que consiste en la medida simultánea de espectros e imágenes en centenares de canales o bandas espectrales, es una tecnología útil para la identificación y cartografía de minerales sobre la base de sus firmas espectrales de reflectancia y/o emisividad (Goetz et al., 1985). El análisis de los datos de la espectrometría de imágenes permite la extracción de una curva espectral o espectro detallado de cada elemento espacial de la imagen o *pixel*. Estos espectros de reflectancia de alta resolución espectral reconstruidos a partir de las imágenes proporcionadas por

los espectrofotómetros, permiten la identificación directa e incluso, en algunos casos, la determinación de abundancias de distintos materiales sobre la base de sus características de reflectancia, incluyendo minerales.

Los espectros de reflectancia de los minerales están dominados en la porción del espectro electromagnético correspondiente a longitudes de onda del visible e infrarrojo cercano (VNIR), por la presencia o ausencia de iones metálicos de transición (como Fe, Cr, Co, Ni) que generan rasgos de absorción debidos a procesos electrónicos. Por otra parte, la presencia o ausencia de agua e ión hidroxilo, carbonato y sulfato, determina rasgos de absorción en longitudes de onda correspondientes al infrarrojo de onda corta (SWIR) debido a procesos vibracionales moleculares. Las pequeñas diferencias en la posición y la forma de dichos rasgos de absorción en el VNIR-SWIR (o emisividad en el infrarrojo de onda larga – LWIR) están correlacionados con diferencias y variabilidad en la composición de los minerales. Estas importantes firmas espectrales permiten la identificación directa de los minerales de hierro como hematites, goetita, jarosita, etc. en el VNIR, de arcillas, carbonatos, micas, sulfatos y otros minerales en el SWIR, y silicatos y carbonatos en el LWIR. La capacidad única por parte de la espectrometría de imágenes de producir mapas detallados con la distribución espacial de minerales específicos, asociaciones y variabilidad de minerales en la superficie de la Tierra, puede hacer de ella una herramienta ideal en el realce de la cartografía geomorfológica (Kruse, 2012).

No obstante, hasta la fecha, no se ha estudiado de forma suficiente la relación existente entre unidades geomorfológicas y respuesta espectral de las mismas, ni cómo las formas del relieve pueden ayudar en los métodos de cartografía mineral y su determinación en las imágenes hiperespectrales, así como en el problema inverso: cómo la cartografía mineral se puede relacionar con formas del relieve en esta tecnología (Riaza et al., 2005; 2012; 2015). La mayor parte de los estudios hasta ahora han estado centrados en la cartografía de unidades minerales a través del análisis hiperespectral, habiendo estado los parámetros geomorfológicos reducidos al uso de modelos digitales de elevación (MDE) de alta resolución, morfología del relieve, medidas topográficas, etc. (Kruse, 2012; Van der Meer et al., 2012), o incluso ausentes. Sin embargo, el conocimiento geomorfológico puede ser utilizado como una herramienta de exploración mineral como por ejemplo: a) algunas concentraciones de minerales y rocas industriales presentan una expresión superficial en formas del relieve características (extracción de áridos en morrenas, terrazas, etc.); b) las características del relieve en muchas áreas pueden ser la llave de la estructura geológica que ha favorecido la concentración de ciertos minerales

(por ejemplo la presencia de skarns alrededor de intrusiones ígneas); c) además, la evolución geomorfológica de un área puede proporcionar información acerca de las condiciones de enriquecimiento o formación de ciertos minerales (presencia de distintas proporciones de óxidos de hierro y carbonatos en superficies de terrazas fluviales, o bien de minerales con elementos de tierras raras en coluviones y en terrazas de distinta edad, etc.). Seguidamente se resumen los usos de la espectrometría de imágenes para la exploración de los minerales de arcilla y de óxidos de hierro.

Espectrometría de imágenes en la exploración de minerales de arcilla.

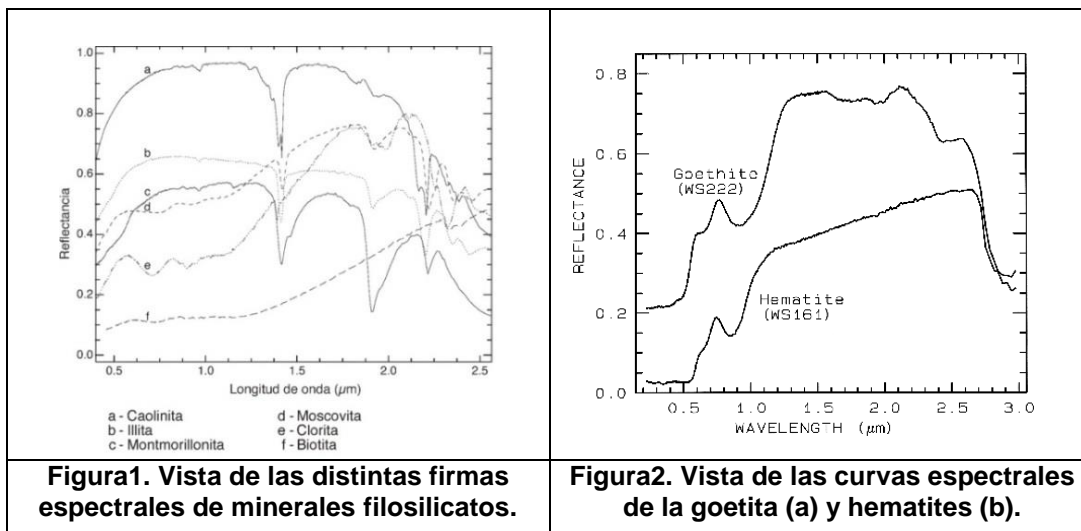
La espectrometría de imágenes aplicada a la exploración y cartografía de minerales de arcilla presenta un doble interés. Por una parte, los minerales de arcilla poseen un amplio rango de aplicaciones industriales en la fabricación de papel, cerámica, goma, plásticos, pinturas, fibras de vidrio, sustrato de mascotas, etc. España es uno de los principales países productores de arcillas absorbentes especiales (sepiolita, paligorskita y bentonita), con el mayor depósito de sepiolita en la cuenca del Tajo, y depósitos importantes de bentonitas en la provincia de Almería. Estas arcillas especiales se utilizan no solo como absorbentes industriales, sino en catálisis, en productos cosméticos y farmacéuticos, y en alimentación animal. La cartografía mineral de los minerales de arcilla a través de espectrometría de imágenes ha estado relacionada principalmente con áreas de alteración hidrotermal debido a que en dichas áreas los minerales de arcilla se encuentran entre los más abundantes en distintos entornos de alteración y mineralizaciones asociadas, con estudios de composición mineralógica de suelos, y con áreas de arcillas expansivas (Van der Meer, 1999; Chabrilat et al., 2006; Bedini et al., 2009; Kruse et al., 2012; Oluwadebi et al., 2013; Murphy et al., 2014), demostrando que la espectroscopía de los minerales de arcilla ha sido ampliamente aplicada y estudiada. Aunque su respuesta espectral es bien conocida, se han realizado muy pocas contribuciones utilizando imágenes hiperespectrales en cuanto a la relación entre los minerales de arcilla y las unidades de relieve en las que se encuentran, así como entre dichos minerales y otros entornos geológicos tales como unidades sedimentarias cenozoicas, en las que se encuentra la mayor parte de la extracción mineral para fines industriales.

Los minerales de arcilla son espectralmente activos, proporcionando información composicional superficial para la exploración mineral. Los fuertes rasgos de absorción presentes en 1400 y 1900 nm son debidos a la presencia de agua estructural, típica de la montmorillonita, mientras que los rasgos pronunciados del

grupo OH en 1400 y 2200 nm son típicos de la caolinita. La presencia del rasgo en 1900 nm es clave para el potencial expansivo, ya que es un indicador de agua molecular, mientras que su ausencia y presencia del rasgo en 1400 nm indica la presencia únicamente del grupo OH. El rasgo o banda de absorción correspondiente a la combinación de sobretonos Al-OH alrededor de 2200 – 2300 nm es un rasgo diagnóstico de todas las arcillas. La porción del espectro electromagnético correspondiente al infrarrojo de onda corta (SWIR), entre 1400 y 2500 nm y, especialmente, el intervalo 1900-2500 nm es la parte más útil para la identificación de las arcillas (figura 1).

Espectrometría de imágenes en la exploración de óxidos de hierro

El interés en la exploración de los minerales de óxidos de hierro mediante esta tecnología radica en que el hierro constituye el metal más comúnmente utilizado, siendo en la fabricación del acero el ingrediente fundamental, representando casi el 95% de todo el metal utilizado al año. Sus aplicaciones son extensas, como en la construcción (30%), transporte (25%), maquinaria (20%), etc., siendo las principales menas la magnetita y hematites. Se utilizan en la fabricación de pigmentos, en cosmética, biotecnología, medicina, como catalizadores, en nanotecnología, etc., son también de una gran importancia como constituyentes de los suelos, afectando al color, agregación de partículas, retención de iones en las superficies de las partículas, etc., siendo un indicador de fertilidad del suelo, por lo que la exploración de su localización es de gran importancia para la economía. El hierro en sus formas de ión ferroso e ión férrico aparece como sustituto de otros elementos en la estructura cristalina de un gran número de minerales, modificando las características espectrales de éstos y, en algunos casos, debido a lo frecuente de dicha sustitución, imprimiendo el carácter específico de los espectros de ciertos minerales. El ión férrico produce un rasgo de absorción cerca de los 900nm y una caída de reflectancia en el entorno de 550 nm debido a la presencia de una banda de conducción con un eje de absorción muy marcado que es típica de los óxidos de hierro opacos. El hematite es espectralmente similar a la goetita (figura 2) en la característica del cambio de comportamiento opaco a transparente cerca de 550 nm, presentando también el rasgo en 900 nm y una caída de reflectancia en el azul. En el caso de la magnetita, que es espectralmente inexpresiva, debido a su íntima asociación con el hematite en algunos casos, es fácil su distinción en las imágenes, siempre que esté acompañada de trabajo de campo. El ión ferroso produce una ancha banda de absorción típica cerca de 1000nm y bandas más pequeñas centradas en 550, 510, 450, y 430 nm.



Referencias

Bedini, E., Van Der Meer, F., & Van Ruitenbeek, F. (2009). Use of HyMap imagingspectrometer data to map mineralogy in the Rodalquilar caldera, southeast Spain. *International Journal of Remote Sensing*, 30(2), 327-348.

Boesche, N. K., Rogass, C., Lubitz, C., Brell, M., Herrmann, S., Mielke, C. & Kaufmann, H. (2015). Hyperspectral REE (Rare Earth Element) Mapping of Outcrops. Applications for Neodymium Detection. *Remote Sensing*, 7(5), 5160-5186.

Chabrilat, S., Goetz, A.F.H., Olsen, H.W. & Krosley, L. (2006). Field and imaging spectrometry for identification and mapping of expansive soils. In: F.D. van der Meer and S.M. de Jong (eds.), *Imaging spectrometry*, 87-109, Springer, The Netherlands.

García Meléndez, E. (2000). Geomorfología y Neotectónica del Cuaternario de la Cuenca de Huércal- Overa y Corredor del Almanzora (Cordilleras Béticas). *Análisis y cartografías mediante teledetección y SIG. Tesis Doctoral, Universidad de Salamanca*, 528 pp.

Goetz, A.F.H., Vane, G., Solomon, J.E. & Rock, B.N. (1985). *Imaging spectrometry for earth remote sensing. Science*, 228, 1147-1453.

Kruse, F.A. (2012). Mapping surface mineralogy using imaging spectrometry. *Geomorphology*, 137, 41-56.

Kruse, F.A., Bedell, R.L., Taranik, J.V., Peppin, W.A., Weatherbee, O. & Calvin, W.M. (2012). Mapping alteration minerals at prospect, outcrop and drill core scales using imaging spectrometry. *International Journal of Remote Sensing Vol. 33(6)*, 1780-1798.

Murphy, R., Schneider, S. & Monteiro, S.T. (2014). Mapping Layers of Clay in a Vertical Geological Surface Using Hyperspectral Imagery: Variability in Parameters of SWIR Absorption Features under Different Conditions of Illumination. *Remote Sensing*, 6(9): 9104-9129.

Oluwadabi, A.G., Hecker, C.A., Van der Meer, F.D. & Ferrier, G. (2013). Mapping of Hydrothermal Alteration in Mount Berecha Area of Main Ethiopian Rift using Hyperspectral Data. *Journal of Environment and Earth Science*, vol. 3(12), 115-124.

Othman, A.A., Gloaguen, R. (2014). Improving Lithological Mapping by SVM Classification of Spectral and Morphological Features: The Discovery of a New Chromite Body in the Mawat

Ophiolite Complex (Kurdistan, NE Iraq). Remote Sensing, 6, 6867-6896.

Riaza, A., Buzzi, J., García-Meléndez, E., Carrère, V., Sarmiento, A. & Müller, A. (2015). Monitoring acidic water in a polluted river with hyperspectral remote sensing (Hymap), *Hydrological Sciences Journal*, 60, pp.

Riaza, A., Buzzi, J., García-Meléndez, E., Carrère, V., Sarmiento, A. & Müller, A. (2012). River acid mine drainage sink by coastal tides: sediment and water mapping through hyperspectral Hymap data. *International Journal of Remote Sensing*. 33 - 19, pp. 6163 - 6185.

Riaza, A., García-Meléndez, E., Suárez, M., Haushold, A.; Beisl, U. & Van der Werff, H. (2006). Mapping of semi-arid iron bearing red sands on emerged areas around lake marshes (Tablas de Daimiel, Spain) using Hyperspectral DAIS 7915 Spectrometer data. *Annals of Geophysics*, 49-1: 245 - 252.

Suárez, M. & García-Romero, E. (2012). Variability of the surface properties of sepiolite. *Applied Clay Sciences*, 67-68: 72-82.

Van Der Meer, F. D. (1999). Can we map swelling clays with remote sensing? *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 1(1), 27-35.

Van der Meer, F. D., Van der Werff, H. M., van Ruitenbeek, F. J., Hecker, C. A., Bakker, W. H., Noomen, M. F., & Woldai, T. (2012). Multi and hyperspectral geologic remote sensing: A review. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 14(1), 112-128.

Van der Meer, F. D., Van der Werff, H. M., van Ruitenbeek, F. J. (2014). Potential of ESA's Sentinel-2 for geological applications. *Remote Sensing of the Environment*, 148: 124-133.

Van del Werff, H.M.; Van del Meer, F.D. (2015). Sentinel-2 for mapping iron absorption feature parameters. Remote Sensing 7: 12635-12653.

Zimmermann, R., Brandmeier, M., Andreani, L., Mhopjeni, K.; Gloaguen, R. (2016). Remote Sensing Exploration of Nb-Ta-LREE-Enriched Carbonatite (Epembe/Namibia). Remote Sensing, 8, 620: 20 pp.