

Cocientes de bandas espectrales ASTER para la diferenciación litológica en formas del relieve de baja pendiente (NW de la Cuenca del Duero, León, España)

ASTER spectral bands ratios for lithological differentiation in low relief landforms (NW Duero Basin, León, Spain)

Eduardo García-Meléndez¹, Arturo Bascónes¹, Montserrat Ferrer-Julà¹, Mercedes Suárez², Elena Colmenero-Hidalgo¹, Juncal A. Cruz^{1,3} e Inés Pereira¹

¹ Grupo de Investigación Geología Ambiental, Cuaternario y Geodiversidad (Q-GEO), Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales. Universidad de León. Campus de Vegazana, s/n, 24071, León. egarm@unileon.es, abasl@unileon.es, mferj@unileon.es, e.colmenero@unileon.es, iperr@unileon.es.

² Dpto de Geología. Universidad de Salamanca. Plaza de la Merced s/n 37008, Salamanca. msuarez@usal.es.

³ Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, C/ Jose Antonio Novais 12, 28041, Madrid. jacruzmartinez@ucm.es.

ABSTRACT

In this study ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) images are used for mapping purposes associated with mineral compositions in flat and gently sloping free crop cultivated areas in the northwestern Duero Basin. Several image band ratios have been applied to the ASTER multispectral dataset corresponding to the visible and near-infrared (VNIR) and to the short-wave infrared (SWIR) wavelengths. These band ratios enhance the absorption features related to both electronic and vibrational processes corresponding to iron oxides minerals and phyllosilicates minerals respectively. The results obtained show that in the northern and westernmost areas with Paleozoic basement, Neogene and Plio-Quaternary sediments, iron oxides minerals are more frequent. On the other hand, in the easternmost area, characterized by the Quaternary Tuerto and Órbigo river terraces, extensive areas show the existence of Al-bearing phyllosilicates. These results add information for geological, lithological and mineral prospection mapping in almost flat areas, where outcrops are scarce.

Key-words: Remote Sensing, spectroscopy, image ratios, digital image processing, mineralogy, geological mapping, ASTER.

Geogaceta, 73 (2023), 79-82

<https://doi.org/10.55407/geogaceta95486>

ISSN (versión impresa): 0213-683X

ISSN (Internet): 2173-6545

RESUMEN

En este estudio se utilizan imágenes ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) para proporcionar información sobre la composición mineral en zonas de cultivo sin vegetación en un sector del noroeste de la cuenca del Duero. Se han aplicado distintos cocientes de bandas al conjunto de imágenes multispectrales correspondientes a longitudes de onda del visible e infrarrojo cercano (VNIR, visible and near-infrared) y del infrarrojo de onda corta (SWIR, short-wave infrared), para realizar la presencia de óxidos de hierro y de filosilicatos principalmente. Los resultados obtenidos permiten reconocer que en las zonas caracterizadas por rocas del sustrato paleozoico, sedimentos neógenos y pliocuaternarios, los minerales con contenido en hierro están más representados. Por otra parte, en las zonas caracterizadas por sistemas de terrazas fluviales es más patente la presencia de filosilicatos aluminicos. Estos resultados añaden información a la cartografía geológica y, fundamentalmente, litológica y de prospección mineral de extensas áreas con formas del relieve suaves en donde los afloramientos son muy escasos.

Palabras clave: Teledetección, espectroscopía, cociente de bandas, tratamiento digital de imágenes, mineralogía, cartografía geológica, ASTER.

Fecha de recepción: 08/07/2022

Fecha de revisión: 28/10/2022

Fecha de aceptación: 02/12/2022

Introducción

En este estudio se muestra el potencial cartográfico de las imágenes ASTER para proporcionar información sobre la composición mineral en áreas cultivadas de una zona en el noroeste de la cuenca del Duero. La utilidad de esta información es fundamental para suministrar la distribución espacial de grupos minerales dentro de unidades geológicas y geomorfológicas cartografiadas en los mapas oficiales. La cartografía composicional generada a partir de las imágenes satelitales y, en concreto, de las de ASTER, puede suponer una información precisa para completar y/o actualizar la información cartográfica

geológica con el fin de evaluar la fortaleza de la capacidad de ASTER en entornos geomorfológicos de bajas pendientes, con elevada proporción de cultivos.

Las imágenes ASTER

Las imágenes empleadas en este estudio fueron obtenidas a partir del sensor satelital multispectral *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER), desarrollado por el Ministerio japonés de Economía, Comercio e Industria, y lanzado por la NASA (Yamaguchi *et al.*, 2001) a bordo del satélite TERRA. Las imágenes fueron descargadas de la base de datos EarthData (s.f).

Las escenas de las imágenes ASTER abarcan un área de 60 x 60 km, con 14 bandas espectrales diferentes y resoluciones espaciales que van desde los 15 m para las obtenidas por el sensor operativo en la región del visible e infrarrojo cercano (VNIR, *Visible and Near Infrared*), 30 m para las obtenidas por el sensor operativo en el infrarrojo de onda corta (SWIR, *Short-wave Infrared*), y 90 m para las comprendidas dentro del intervalo correspondiente al infrarrojo térmico (TIR, *Thermal Infrared*) (Yamaguchi *et al.*, 2001). Si bien las imágenes ASTER, comparadas con las de los sensores de la serie LANDSAT, tienen una trayectoria orbital y una altitud similar, la gran diferencia viene dada por la

mayor resolución espectral de ASTER, que presenta cinco bandas en la región SWIR frente a solo una de LANDSAT, así como en la región TIR, con cinco bandas frente a una o dos de la serie LANDSAT.

En este trabajo se utilizarán las imágenes correspondientes al VNIR y SWIR para detectar la presencia de filosilicatos y óxidos de hierro, principalmente. El uso de las imágenes ASTER en la exploración geológica se basa en los trabajos previos sobre espectroscopía de reflectancia de laboratorio, principalmente en el VNIR y SWIR, para el comportamiento de los distintos minerales y sus grupos, en particular el grupo de los óxidos de hierro, el grupo de los minerales portadores de OH⁻ (entre ellos, arcillas y micas), el grupo de los carbonatos, etc. (Clark *et al.*, 1990). Concretamente, en ASTER los óxidos de hierro muestran diferencias espectrales en las bandas 1 y 3 (550 y 805 nm respectivamente). Los minerales Al-OH (grupo de los filosilicatos aluminicos) como la moscovita y la caolinita presentan rasgos de absorción diagnósticos (entre 2100 y 2250 nm) en la región del SWIR, que pueden ser discriminados con ASTER en las bandas 5 y 6. Los minerales con enlaces Mg-OH (arcillas magnésicas y clorita) y el grupo de los carbonatos tienen rasgos de absorción diagnósticos entre los 2250 y los 2400 nm (bandas 7, 8 y 9). Como es de esperar, debido a la resolución espectral de ASTER estos rasgos de absorción que puedan ser extraídos de las imágenes nunca serán tan precisos como las medidas de laboratorio tomadas con espectrorradiómetros (Fig.1). Sí pueden aportar información mineral cualitativa y semicuantitativa, de forma que los sensores VNIR y SWIR de ASTER pueden permitir la discriminación e identificación de

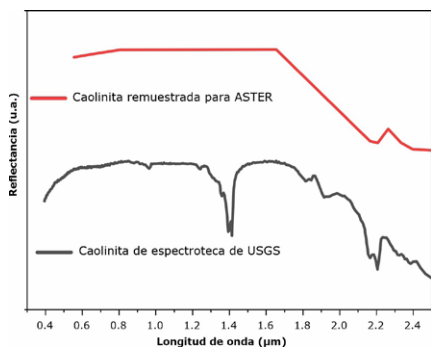


Fig. 1.- Comparación de la curva espectral de la caolinita según la resolución de ASTER y de laboratorio, separados verticalmente para una mejor visualización.

Fig. 1.- Kaolinite spectral response according to the ASTER and laboratory spectral bands. The spectra are vertically displaced for a better visualization.

grupos minerales en general, tales como óxidos, carbonatos y minerales hidratados con enlaces Al-OH y Mg-OH, como los filosilicatos (Hewson *et al.*, 2017). Desde su disponibilidad en 1999, las imágenes ASTER se han venido utilizando en distintos estudios geológicos en zonas áridas y semiáridas discriminando tanto grandes unidades litológicas como áreas de alteración (Rowan y Mars, 2003; Hewson *et al.*, 2005).

La zona de estudio

El área de estudio se localiza al NW de la Cuenca del Duero (Fig. 2), enmarcada por los relieves de la Cordillera Cantábrica de orientación E-W en su sector norte y por los relieves más orientales de los Montes Galaico-Leoneses en su sector occidental. Las rocas que forman estos relieves en la zona de estudio incluyen una variedad litológica de edad paleozoica con distintos grados de me-

tamorfismo de rocas siliciclásticas y rocas carbonatadas, todas ellas deformadas durante la Orogenia Varisca (Pérez-Estaún y Bea, 2004). Discordantes sobre el basamento paleozoico se localizan sedimentos del Neógeno formados por facies aluviales correspondientes a los aportes procedentes de los relieves paleozoicos (Alonso-Gavilán *et al.*, 2004), y llanuras de inundación y terrazas fluviales cuaternarias correspondientes a los ríos Órbigo, Tuerto, Duerna y Eria. Estos materiales cenozoicos consisten en gravas con distintos grados de cementación, arenas, limos y arcillas. La respuesta espectral de materiales similares ha sido estudiada mediante espectroscopía de reflectancia de laboratorio en el SW de la cuenca del Duero y validada mediante difracción de rayos X (DRX) en trabajos previos (García-Meléndez *et al.*, 2004a) y comparando con la respuesta espectral en imágenes LANDSAT 5-TM (García-Meléndez *et al.*, 2004b).

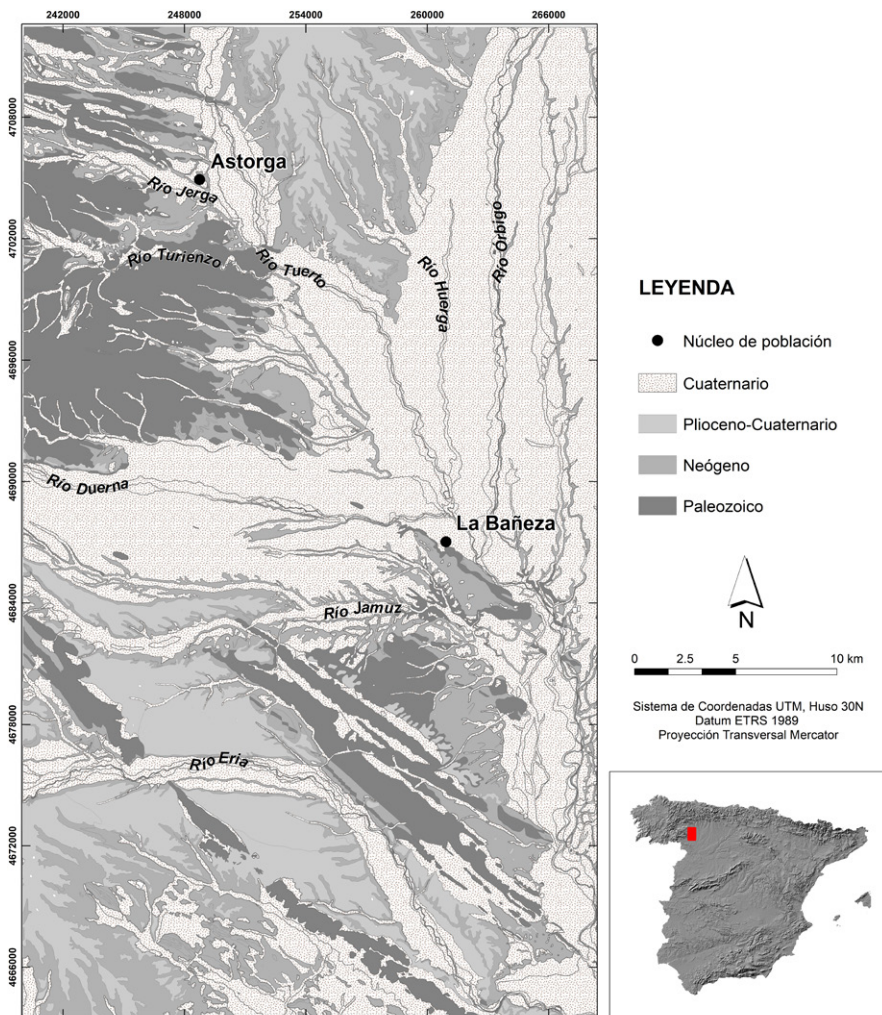


Fig. 2.- Mapa geológico esquemático de la zona de estudio y localización. Mapa modificado de González Menéndez *et al.* (2021).

*Fig. 2.- Schematic geological map of the study area and its location. Modified from González Menéndez *et al.* (2021).*

Método

La imagen utilizada es una imagen ASTER con nivel de procesamiento 1B tomada el 8 de junio de 2005. El tratamiento y análisis de los datos de radiancia espectral contenidos en las 9 bandas VNIR-SWIR siguió el siguiente procedimiento: 1) se realizó la corrección del efecto *cross-talk* en las bandas del SWIR mediante el software específico desarrollado por Iwasaki y Tonooka (2005); 2) se realizaron las siguientes operaciones de tratamiento con el software ENVI 5.2: remuestreo (*resampling*) para ajustar la resolución espacial de las bandas del VNIR y SWIR a 30 m y, a continuación, conversión a radiancia de los valores iniciales de números digitales (ND) mediante calibración radiométrica, para terminar el tratamiento realizando la corrección atmosférica para obtener los valores de reflectancia mediante el método FLAASH (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*); 3) finalmente se calculó el índice de vegetación normalizado (NDVI, *Normalized Difference Vegetation Index*) con el fin de enmascarar las zonas de vegetación para no generar confusión en la discriminación mineralógica en los análisis posteriores.

Básicamente este trabajo se basa en el algoritmo de cociente *Relative Band Depth* (profundidad relativa de banda) descrito por Crowley *et al.* (1989), en el cual el contenido o abundancia de un mineral (o grupo mineral) se basa en la profundidad relativa de sus rasgos de absorción con respecto a las hombreras que lo enmarcan. Si bien existe un gran número de cocientes posibles utilizando las distintas bandas con distintos índices y diferente complejidad dependiendo de las características geológicas de las zonas de estudio, en este trabajo se utilizan cocientes simples que demuestran su utilidad para la diferenciación mineralógica de óxidos de Fe con el cociente B4/B2, grupo de las arcillas aluminicas (B4/B6) y grupo de arcillas magnésicas y carbonatos (B4/B8). Para la interpretación y validación de los resultados se utilizaron composiciones en color de los cocientes anteriores e información composicional a partir de DRX de muestras de campo y su respuesta espectral en laboratorio mediante un espectrorradiómetro ASD (Báscones *et al.*, 2020).

Resultados

La observación de los cocientes de bandas y de la composición en color de la zona de estudio generada a partir de

éstos permite diferenciar claramente la respuesta espectral tipo correspondiente a píxeles de la imagen con los tres principales grupos de minerales diferenciados (Fig. 3), en 2 sectores (Fig. 4).

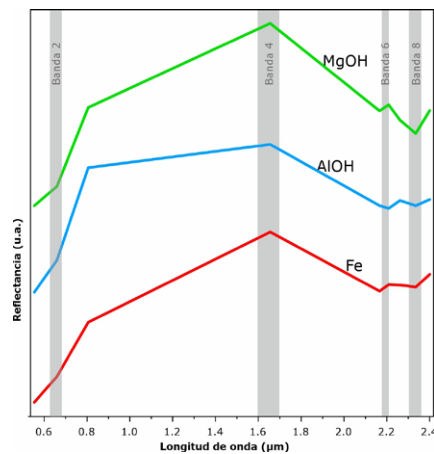


Fig. 3.- Respuesta espectral en ASTER de los grupos minerales diferenciados.

Fig. 3.- ASTER spectral response of the studied mineral groups.

El primer sector está asociado con las llanuras de inundación y sistemas de terrazas de los ríos de la zona. Destaca el dispositivo de terrazas de dirección N-S del río Órbigo en su margen izquierda, que presenta tonos magenta a rojizos que denotan la presencia dominante de minerales de filosilicatos aluminicos (Al-OH, illita, moscovita, caolinita) debido a la mayor presencia de silicatos aluminicos en el área fuente, mezclados con la presencia de óxidos de hierro. Esto indica procesos postsedimentarios de edafización y enriquecimiento en óxidos de hierro, en comparación con las llanuras de inundación, que presentan colores azulados de los minerales con grupo Al-OH y ausencia de óxidos de hierro. En este sector se aprecian distintas tonalidades, que parecen estar directamente relacionadas con la edad de las terrazas, de tal manera que las situadas más al E (las más antiguas) tienen un contenido mayor en óxidos de hierro. Esta señal se observa igualmente en los valles de los otros ríos de la zona, cuyas llanuras de inundación y terrazas más bajas estarían marcadas por el predominio de los minerales con grupo Al-OH, diferenciándose entre ellas por la distinta presencia de óxidos de hierro y filosilicatos magnésicos/carbonatos y sus mezclas.

El segundo sector, correspondiente a los afloramientos del sustrato paleozoico y de los sedimentos neógenos y pliocuaternarios, se caracteriza por una respuesta espectral mixta en cuanto a los compo-

nes estudiados. Las áreas con mayores contenidos en óxidos de hierro se sitúan al SW y N de la zona de estudio, y coinciden con afloramientos de superficies altas pliocuaternarias interpretadas como abanicos y rañas (Suárez Rodríguez *et al.*, 1994), y con arenas y arcillas arenosas del Neógeno. Por otra parte, en las zonas en las que aflora el sustrato paleozoico (pizarras y cuarcitas) dominan los óxidos de hierro junto con filosilicatos magnésicos (clorita), dando distintos tonos de color naranja.

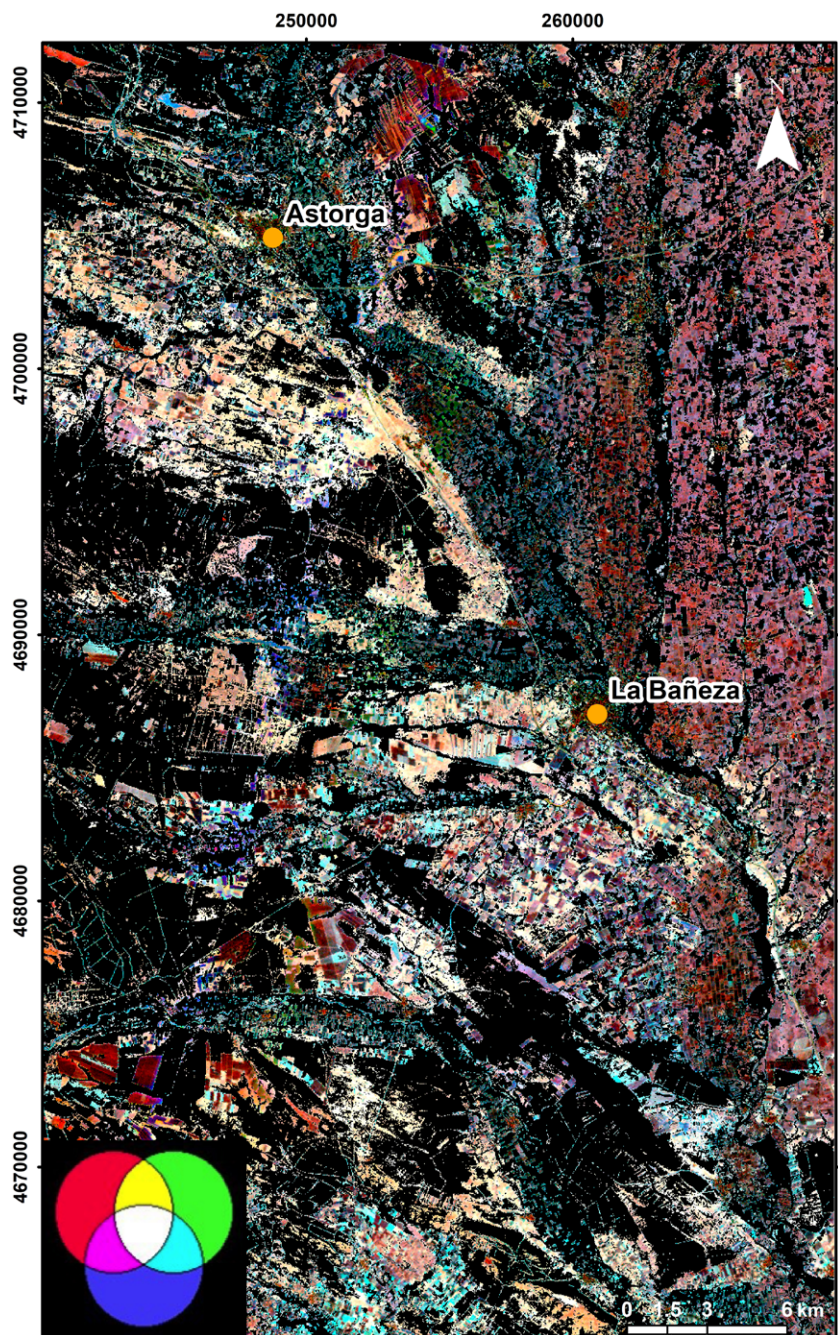
Finalmente, las zonas con presencia de filosilicatos magnésicos/carbonatos están reflejadas por distintos tonos de azul claro, siendo más abundantes en afloramientos de materiales neógenos y pliocuaternarios. La figura 4 muestra la respuesta espectral tipo correspondiente a píxeles de la imagen con los tres principales grupos de minerales diferenciados.

Conclusiones

La resolución espectral de ASTER aporta valiosa información mineral cualitativa y semicuantitativa. Los resultados obtenidos permiten reconocer la presencia de los tres componentes tratados en mezclas de distintas proporciones, que se manifiestan en las tonalidades de los distintos colores, relacionados con la abundancia relativa en un píxel de los óxidos de hierro y de los filosilicatos, tanto aluminicos como magnésicos. En términos generales, los óxidos de hierro y filosilicatos magnésicos son más frecuentes en el sustrato paleozoico, y en los materiales neógenos y pliocuaternarios, así como en las terrazas más antiguas. Los filosilicatos aluminicos predominan en las llanuras de inundación y terrazas, mezclados en éstas con óxidos de hierro, en distintas proporciones según la edad. La información suministrada puede aportar datos útiles para la cartografía geológica, geomorfológica, edafológica y de prospección mineral de extensas áreas con formas del relieve de bajas pendientes, en donde la escasez de afloramientos y la presencia de cultivos impiden una observación óptima en campo.

Contribución de los autores

EGM: estructura del trabajo, coordinación, investigación y análisis, metodología. AB: análisis, adquisición de datos. MFJ: metodología, adquisición de datos, figuras. MS: análisis, revisión. ECH: edición, adquisición de datos, revisión. JAC: figuras, revisión. IP: figuras, revisión.



Sistema de coordenadas UTM, Huso 30N. Datum ETRS 1989. Proyección Transversal Mercator

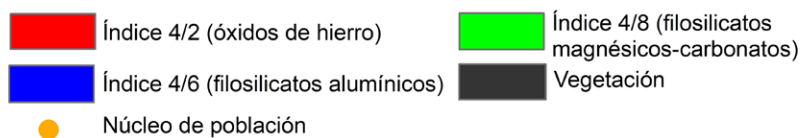


Fig. 4.- Composición en color con los cocientes de imágenes utilizados RGB (4/2, 4/8, 4/6).
Fig. 4.- Colour composition with band ratios RGB (4/2, 4/8, 4/6).

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada los Proyectos ESP2017-89045-R y PID2019-106504RB-I00 (FEDER/Ministerio de Ciencia e Innovación-Agencia Estatal de Investigación) y por el proyecto PDC2021-121352-100, financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por

la Unión Europea "NextGenerationEU"/PRTR. La participación de I. Pereira ha sido posible gracias a un contrato predoctoral de la U. de León. Agradecemos a Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) de la NASA el acceso a las imágenes ASTER, y a dos revisores anónimos sus comentarios y correcciones de este artículo.

Referencias

- Alonso-Gavilán, G., Armenteros, I. (coord.), Carballeira, J., Corrochano, A., Huerta, P. y Rodríguez, J.M. (2004). En: *Geología de España* (J.A. Vera, Ed.). SGE-IGME, Madrid, 550-556.
- Báscones, A., Suárez, M., Ferrer-Julà, M., García-Meléndez, E., Colmenero-Hidalgo, E. y Quirós, A. (2020). *Revista de Teledetección* 55, 49-57. DOI: <https://doi.org/h4gz>
- Clark, R.N., King, T.V.V., Kleiwa, M., Swayze, G.A. y Vergo, N. (1990). *Journal of Geophysical Research* 95, 12653-12680. DOI: <https://doi.org/dkcp8d>
- Crowley, J.K., Brickey, D.W. y Rowan, L.C. (1989). *Remote Sensing of Environment* 29(2), 121-134. DOI: <https://doi.org/d6t32w>
- EarthData. Disponible en línea: <https://earthdata.nasa.gov/> (último acceso, septiembre de 2022).
- García Meléndez, E., Ferrer Julià, M., Bermejo, A. y Suárez, M. (2004a). *Revista de la Sociedad Geológica de España* 17(1-2), 39-47.
- García Meléndez, E., Suárez, M. y Goy, J.L. (2004b). *Revista de Teledetección* 21, 35-39.
- González Menéndez, L., Heredia, N. y Marcos, A. (consultado en junio de 2021). GEODE Mapa Geológico Digital continuo E. 1: 50.000, Zona Asturoccidental-Leonesa (Zona-1100).
- Hewson, R.D., Cudahy, T.J., Mizuhiko, S., Ueda, K. y Mauger, A.J. (2005). *Remote Sensing of Environment* 99(1-2), 159-172. DOI: <https://doi.org/cd4gs6>
- Hewson, R., Robson, D., Carlton, A. y Gilmore, P. (2017). *Cogent Geoscience* 3, 1319259. DOI: <https://doi.org/h4dz>.
- Iwasaki, A. y Tonooka, H. (2005). *IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing* 43(12), 2747-2751. DOI: <https://doi.org/b9wzsk>
- Pérez-Estaún, A. y Bea, F. (Eds.), (2004). En: *Geología de España* (J.A. Vera, Ed.). SGE-IGME, Madrid, 19-230.
- Rowan, L.C. y Mars, J.C. (2003). *Remote Sensing of Environment* 84(3), 350-366. DOI: <https://doi.org/d4r6cn>
- Suárez Rodríguez, A., Barba, P., Heredia, N., Rodríguez Fernández, L.R., Fernández, L.P. y Herrero, A. (1994). *Mapa Geológico de la provincia de León 1:200.000 y memoria*. ITGE-Diputación de León, Madrid, 166 p.
- Yamaguchi, Y., Fujisada, H., Tsu, H., Sato, I., Watanabe, H., Kato, M., Kudoh, M., Kahle, A.B. y Pniel, M. (2001). *Advances in Space Research* 28(1), 69-76. DOI: <https://doi.org/dc7xh2>