

EXPLORACIÓN INICIAL MEDIANTE TELEDETECCIÓN DE LA MINERALOGÍA EN UN SECTOR DE LA SIERRA DE CARTAGENA

I. MELÉNDEZ-PASTOR, J. NAVARRO-PEDREÑO, M.M. JORDÁN E I. GÓMEZ

Grupo de Edafología Ambiental (GEA). Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente. Universidad Miguel Hernández de Elche. Av/ Universidad, s/n. Edificio Alcuía. 03202 Elche (Alicante). E-mail: jonavar@umh.es

INTRODUCCIÓN

La caracterización de la superficie terrestre mediante sensores remotos ha posibilitado, entre otras aplicaciones geológicas, la localización de áreas de potencial minero (Bustillo y López, 1996). La teledetección aplicada para la observación de la Tierra es considerada como la interpretación y comprensión de medidas realizadas por instrumentos remotos de la radiación electromagnética reflejada desde o emitida por objetos en las superficies terrestres, oceánicas o glaciares de la Tierra o de la propia atmósfera (Mather, 2004). La teledetección comprende un amplio conjunto de técnicas para el estudio de materiales utilizando la radiación electromagnética, siendo la espectroscopía de imágenes una de sus herramientas más poderosas respecto a la capacidad de extracción de información. La espectroscopía de imágenes permite mediante el análisis de los patrones espectrales asociados a cada uno de los píxeles de una imagen, y para los enlaces químicos específicos de los materiales, determinar espacialmente donde se presentan tales enlaces y permitir cartografiar tales materiales (Clark, 1999). Requiere un conocimiento previo muy intenso sobre los posibles patrones espectrales generados por los enlaces químicos de los materiales a estudiar. El desarrollo de estas técnicas es relativamente moderno, pero son numerosas sus aplicaciones en cartografía de minerales (p.e. Rowan y Mars, 2003). Una de las principales limitaciones en las exploraciones mediante teledetección de la mineralogía de una determinada área, es la presencia de una cubierta vegetal densa, además de la capacidad de penetración de la radiación electromagnética en el sustrato geológico, que queda limitada a una fina capa superficial que no suele ir más allá de los primeros milímetros o centímetros (Jensen, 2000). En cualquier caso, la gran capacidad de la teledetección para explorar grandes áreas con un esfuerzo razonable y eficientemente, avala su utilización en un análisis exploratorio inicial sobre la mineralogía de una determinada área con cubierta vegetal laxa o dispersa.

La Sierra de Cartagena (Murcia) ha sido tradicionalmente desde tiempos de los romanos un área de gran valor minero. Sus minas de galena y blenda alcanzaron su máximo esplendor a partir de 1850 y tras variados altibajos, su declive se remonta al último cuarto del siglo XX, debido a la competencia con otros países, siendo las primeras minas en abandonarse las de piritas y después las de galena argentífera (Morales, 2004).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron datos procedentes del sensor japonés ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) montado en la plataforma TERRA del Earth Observing System de la NASA. Se trata de un sensor multiespectral con 3 bandas en el espectro visible-infrarrojo cercano (15 m resolución espacial), 6 en el infrarrojo de onda corta (30 m resolución espacial) y 5 bandas en el térmico (90 m resolución espacial). Para los análisis se utilizaron únicamente las primeras nueve bandas del sensor (VNIR-SWIR). Se utilizó un producto de alto nivel de procesamiento en origen (AST_07) que aporta medidas de reflectividad en superficie. La imagen analizada fue obtenida el 10/08/2003 bajo condiciones atmosféricas óptimas. La figura 1 muestra una composición en falso color RGB:231 de la zona de estudio. Para los análisis de las imágenes se empleó el software ENVI 4.2 (*Research Systems Inc.*, Boulder (CO), USA). Se procedió a la generación de una librería espectral re-muestreada según las bandas de sensor ASTER, tomando como origen de datos la librería espectral ASTER (ASTER, 1998), cuyos espectros seleccionados cubren el rango en continuo de 0,4 a 2,5 micrómetros. Un paso adicional en la secuencia del procesamiento digital de la imagen fue la generación de una máscara de vegetación, mediante el cálculo del índice espectral NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (Jensen, 2000) y ajuste del umbral para la discriminación de suelo desnudo o vegetación laxa al NDVI < 0,3. Adicionalmente se generó una máscara para el área correspondiente al mar, mediante el ajuste de un umbral por identificación visual para la banda 8.

Para la identificación de aquellas áreas que presentan una elevada probabilidad de presencia de alguna de las especies minerales bajo estudio, se procedió a analizar las imágenes mediante la aplicación secuencial de las técnicas «Eliminación del continuo» (*Continuum removal*) y «Fijación a los Rasgos Espectrales» (*Spectral Feature Fitting*).

La absorción en un espectro posee dos componentes: los rasgos individuales y los rasgos del continuo, correspondiéndose estos últimos con la «absorción de fondo» sobre la que otros rasgos de absorción están superpuestos (Clark y Roush, 1984; Clark, 1999). El continuo puede ser definido como una función matemática utilizada para aislar un rasgo de absorción espectral de interés para ser analizado e identificado con un determinado enlace químico (Clark y Roush, 1984). Mediante el cálculo de la función matemática del continuo para un espectro dado, es posible normalizar ese y otros espectros a una referencia común que

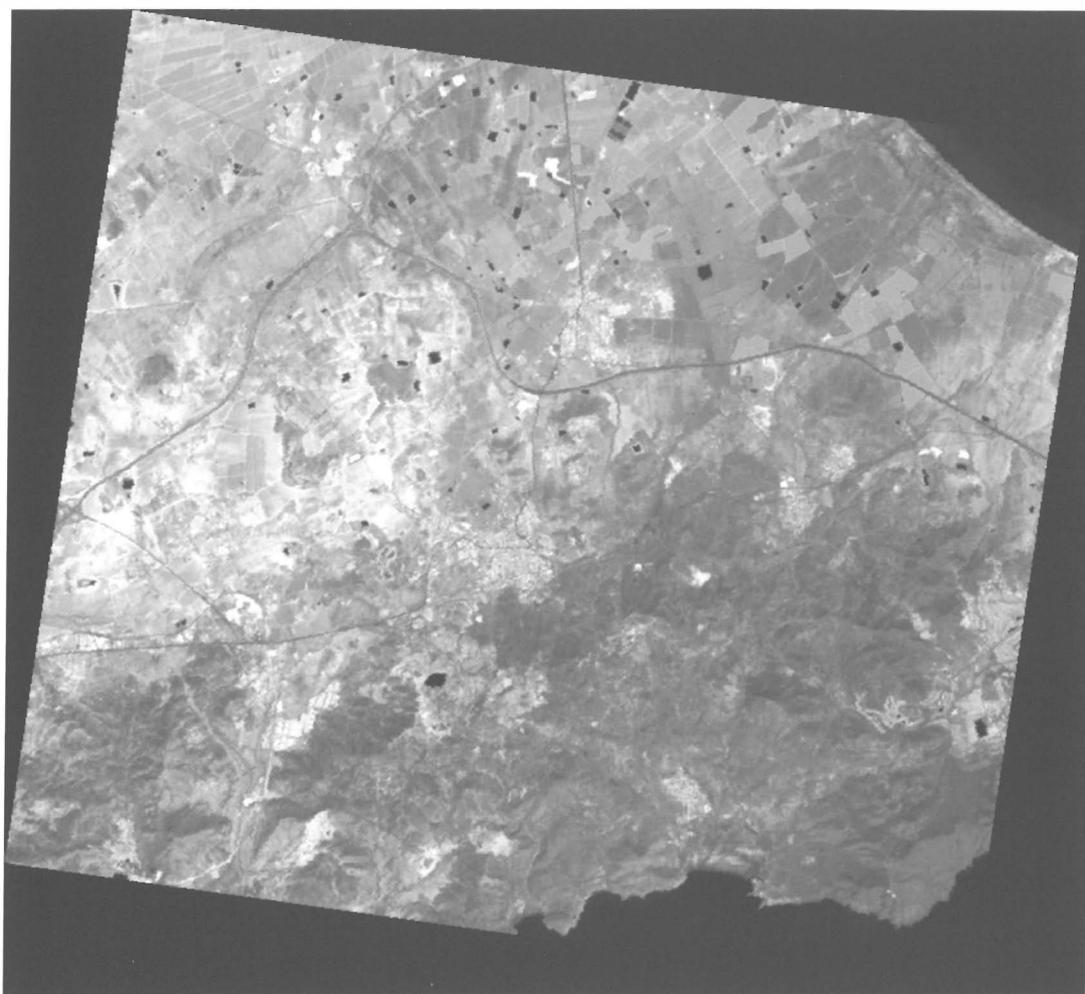


Figura 1: Composición en falso color RGB:231 del ASTER, del área estudio.

permita comparar los patrones de absorción característicos o individuales de cada espectro. Esto se realiza mediante la definición de máximos locales en el espectro (los «hombros» del rasgo de absorción individual) y la fijación de un segmento de línea recta entre tales puntos que acotan el rasgo de absorción (RSI, 2005). El continuo es eliminado mediante la división del mismo respecto al espectro original, obteniéndose reflectancia escalada del 0 al 1, siendo tanto más intensos los rasgos de absorción individuales cuanto más se alejan del valor del continuo ($r = 1$).

Spectral Feature Fitting (SFF) es un método basado en rasgos de absorción para el ajuste del espectro resultante para cada píxel de una imagen con respecto a los espectros de referencia o *end-members* (RSI, 2005). El producto resultante de la aplicación del SFF a una imagen y espectros de referencia para los que previamente se ha aplicado el *Continuum removal*, es una imagen reescalada para cada *end-member*, por la sustracción del espectro al que se le ha eliminado el continuo, y posterior inversión de la misma para conseguir que el continuo sea igual a cero. Un simple factor de escala multiplicativo es determinado posteriormente y hace que el espectro de referencia se ajuste el espectro desconocido. Un gran factor de escala es equivalente a un rasgo espectral profundo.

RESULTADOS

En la Figura 2 se muestran los resultados de la aplicación de la eliminación del continuo y el SFF a los datos del

ASTER. El nivel de oscuridad en la escala de grises con la que se presentan los resultados es indicador de la probabilidad de presencia de la especie mineral para la que se presenta su imagen correspondiente. A la vista de los resultados presentados, tanto la goethita como la pirita quedan localizadas principalmente en torno a una línea diagonal NE-SW en la mitad inferior de sus respectivas imágenes. Cotejando estas imágenes de probabilidad de abundancia con respecto a la figura 1, se identifica claramente como tales áreas oscuras se corresponden con las explotaciones mineras que se destacaban con colores violáceos en la composición en falso color. La imagen resultante del análisis de la blenda se muestra como un parcheado de áreas de gran probabilidad de ocurrencia, correspondiéndose con algunas minas en el sector más meridional del área de estudio, ciertos campos de cultivo sin vegetación, y la bahía de Portman en el cuadrante inferior derecho. Los análisis revelan una elevada probabilidad de aparición de galena en torno a un barranco que vierte sus aguas al Mar Menor (cuadrante superior derecho) debido al arrastre de sedimentos desde la sierra, y a los acantilados de la costa sur de la sierra de Cartagena, así como también en la ya citada bahía de Portman. Elevadas probabilidades de presencia de hematites aparecen en las mismas zonas que se han indicado para goethita y pirita, y adicionalmente se observan zonas muy oscuras que se corresponden con campos de cultivo de tonalidad verde amarillenta en la Figura 1, donde aparece como mineral producto de la meteorización en los suelos. Respec-

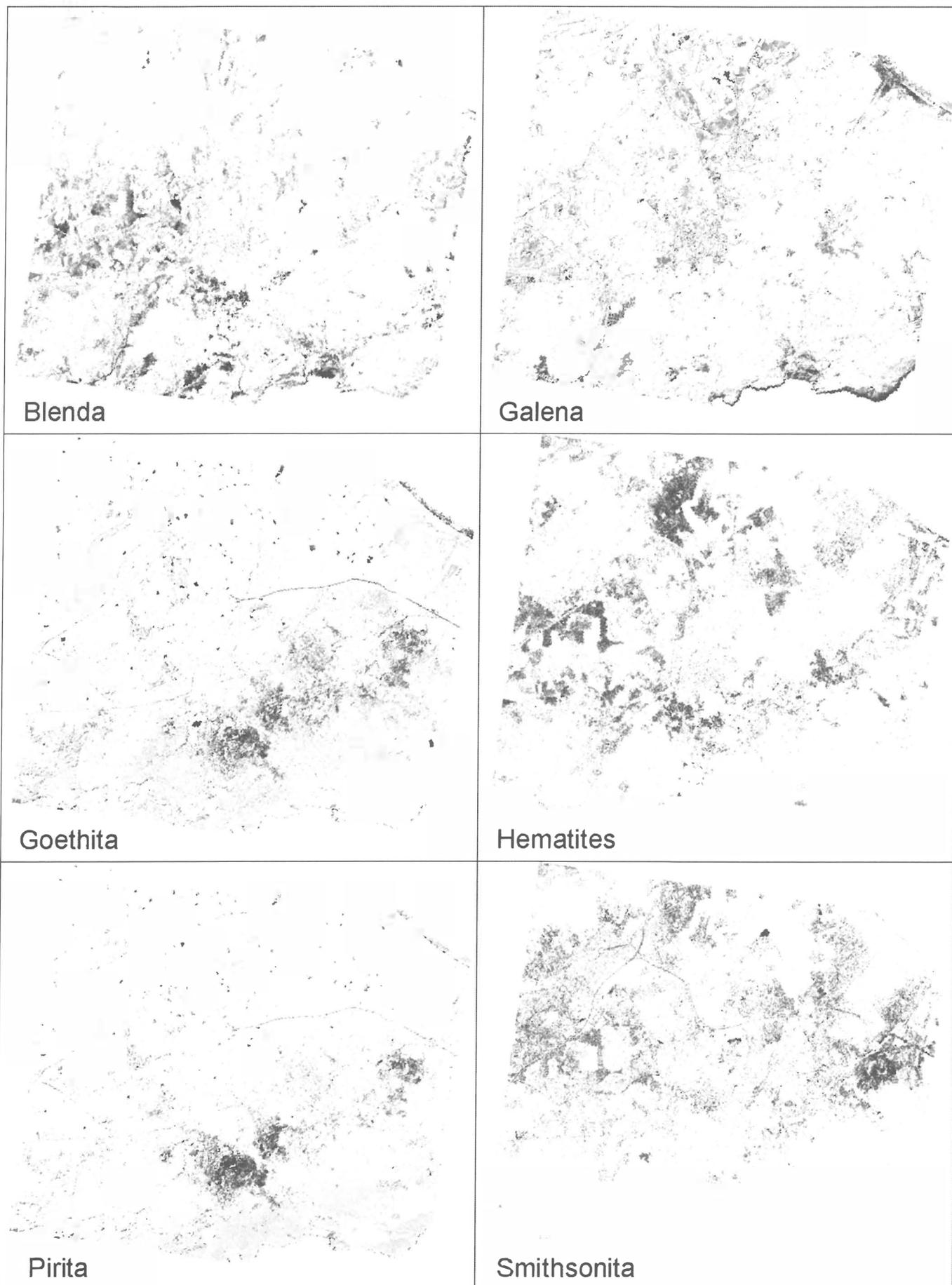


Figura 2: Probabilidad de presencia de las especies minerales analizadas mediante teledetección.

to a la última de las especies minerales analizadas, la imagen de probabilidad de presencia de smithsonita revelan un claro foco que se corresponde con unas minas en el sector más oriental del área de estudio, así como patrón de presencia relativamente laxo por toda el área de estudio, que podría ser indicador de su presencia generalizada como mineral de alteración de la blenda (ZnS) en los suelos del área de estudio.

CONCLUSIONES

En este análisis exploratorio inicial de la mineralogía de la Sierra y Campo de Cartagena, puede constatarse la potencialidad para la extracción de información cuantitativa y cualitativa mediante teledetección, destacando su capacidad para cubrir grandes áreas de estudio con un esfuerzo humano y económico moderado. La combinación de la información obtenida en campo mediante radiometría y las analíticas en laboratorio de muestras de campo, pueden suponer una confirmación y mejora de los resultados del procesamiento digital de imágenes, para la identificación de especies minerales e incluso para la cuantificación precisa de su abundancia. Los datos preliminares obtenidos también pueden aplicarse a estudios de contaminación de los suelos por metales pesados tales como Pb, Zn, etc., en el área de estudio.

REFERENCIAS

- ASTER. (1998). ASTER Spectral Library Version 1.2. Jet Propulsion Lab (JPL)-NASA. <http://speclib.jpl.nasa.gov>
- Bustillo, M. y López, C. (1996). Recursos minerales: tipología, prospección, evaluación, explotación, mineralurgia, impacto ambiental. Entorno Gráfico, Madrid. 372 pp.
- Clark, R.N. (1999): Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy. In: «Manual of Remote Sensing, Volume 3, Remote Sensing for the Earth Sciences», A.N.Rencz, ed. John Wiley & Sons, New York, 3-58.
- Clark, R.N. y Roush, T.L. (1984). Journal of Geophysical Research, 89, 6329-6340.
- Jensen, J.R. (2000). Remote Sensing of Environment. An Earth resource perspective. Prentice Hall, Upper Saddle River (NJ), USA. 544 pp.
- Mather, P.M. (2004). Computer Processing of Remotely-Sensed Images. An Introduction. Third Edition. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, West Sussex, UK. 324 pp.
- Morales, A. (2004). Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles., 38, 71-84
- Rowan, L.C. y Mars, J.C. (2003). Remote Sensing of Environment, 84, 350-366.
- RSI. (2005). ENVI 4.2 Tutorials. Research Systems Inc., Boulder (CO), USA. www.rsinc.com/envi