

Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

journal homepage: www.sgp.org.pe

ISSN 0079-1091

Discriminación litológica utilizando imágenes ASTER y espectroscopia térmica en el área de Chaparra, departamento de Arequipa

Moisés Cutipa, Yngrid Orozco, Hugo Zárate, Katherine Gonzales, Juan Casas, y Alan Santos

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Av. Canadá 1470, San Borja, Lima 33, Perú (<u>mcutipa@ingemmet.gob.pe</u>, <u>yorozco@ingemmet.gob.pe</u>, <u>hzarate@ingemmet.gob.pe</u>, <u>kgonzales@ingemmet.gob.pe</u>, <u>jucasas@ingemmet.gob.pe</u>, <u>asantos@ingemmet.gob.pe</u>)

RESUMEN

En el cuadrángulo de Chaparra (provincia de Caravelí, departamento de Arequipa) afloran rocas metamórficas, volcánicas, y sedimentarias de origen tanto marino como continental. Las diferentes litologías de esta área han podido ser discriminadas por métodos de teledetección. Se utilizaron 3 imágenes satelitales obtenidas por el sensor ASTER (subsistemas SWIR y TIR) para discriminar litologías. Las composiciones RGB [11, 6, 2] y de ratios [8/5, 5/4, 7/8], así como índices de sílice, carbonatos, y máficos, muestran una correlación de tonalidades que han permitido discriminar en su mayoría las grandes

1. Introducción

El sensor ASTER posee 14 bandas, cuyo rango espectral va desde 0.5-0.9 μ m a 1.5 μ m: 3 bandas en el espectro visible (VNIR) con 15 m de resolución espacial, 6 bandas en el infrarrojo de onda corta SWIR (entre 1.6 y 2.5 μ m) a 30 m, y 5 bandas en el rango infrarrojo térmico TIR (entre 8.1 y 11.6 μ m) a 90 m.

Una de las aplicaciones de estas imágenes es la discriminación entre unidades litológicas por el contenido variable de sílice, silicatos, minerales félsicos, y carbonatos, que son principales minerales formadores de la corteza terrestre; sus características espectrales están relacionadas a las vibraciones fundamentales de los aniones SiO_4^{4-} ([SiO₄]) y CO_3^{2-} ([CO₃]), y a la estructura

unidades litológicas. Asimismo se obtuvo una buena correlación entre las firmas espectrales (emisividad) de las muestras de campo, medidas en laboratorio con el espectrómetro FTIR-102 (D&P Instruments), y las firmas espectrales del *Jet Propulsion Laboratory* (JPL). Se logró identificar intrusivos félsicos (monzogranitos) no descritos anteriormente en los mapas geológicos. Estos productos satelitales ASTER

vienen siendo usados para los trabajos pre- y postcampo en la actualización de la Carta Geológica Nacional, en particular en el área de Chaparra donde vienen trabajando varios proyectos del INGEMMET.

mineralógica. El aporte de los datos ASTER permite ampliar el conocimiento de la distribución de los cuerpos intrusivos, la discriminación de unidades litológicas, y el cartografiado geológico en general.

El objetivo de nuestra investigación es hallar la relación entre las unidades litológicas y la respuesta espectral obtenida por el sensor ASTER mediante composiciones RGB y cociente de bandas, para asociar las tonalidades de color a los diferentes tipos de litología, y complementarlo con medidas de emisividad tomadas con el espectrómetro FT-IR 102 de las muestras colectadas en campo para validar los resultados.

2. Ubicación y marco geológico

El área se encuentra ubicada en la faja costera de la provincia de Caravelí, departamento de Areguipa. Limita por el norte con el paralelo 16 de latitud Sur, y por el sur, con la línea litoral del Oceáno Pacífico; por el Este y Oeste con los meridianos 73°30' y 74°00' de longitud Oeste. Esta región corresponde a una vasta extensión que va desde la ribera del mar hasta 1,800 m.s.n.m. de la vertiente del Pacífico. El área está conformada por 3 unidades geomorfológicas: la Cordillera de la Costa, la planicie costera, y el flanco oeste de la Cordillera Occidental.

En el área de estudio afloran rocas metamórficas proterozoicas, de alto grado (gneis, migmatitas), pertenecientes al Complejo Basal de la Costa. En la parte media occidental del cuadrángulo, afloran rocas plutónicas de la superunidad Tiabaya, de composición diorítica, tonalítica, y monzonítica, y de edad Cretácico superior. Los estratos volcano-sedimentarios de la Formación Chocolate, del Jurásico, presentan algo de metamorfismo. El Grupo Moquegua suprayace a estas unidades en discordancia, siendo conformado por conglomerados eocenos y depósitos piroclásticos del Oligoceno superior y Mioceno.

3. Metodología

El procesamiento consistió en generar combinaciones en colores RGB de bandas del subsistema SWIR y TIR de las imágenes ASTER para la interpretación de la litología y su correlación con el mapa geológico del INGEMMET disponible a escala 1:100,000. Luego se realizó el análisis espectral de las firmas espectrales de emisividad adquiridas con el espectrómetro FT-IR 102 de las muestras colectadas en campo. En este análisis se comparó las firmas espectrales de campo con las disponibles en la base de datos del Jet Propulsion Laboratory (JPL).

3.1. Procesamiento de los datos ASTER

Se procesaron 3 imágenes satelitales del sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) en nivel L1A, subsistemas SWIR (bandas de 4 a 9) TIR (bandas de 10 a 14), usando el software ENVI 5.0 de EXELIS. Las bandas del TIR fueron calibradas a radiancia usando los parámetros propios del sensor (ASTER).

Debido al paso del tiempo y a la degradación del sensor, se efectuó una recalibración de las bandas de radiancia en función de la fecha de toma y la versión radiométrica de la escena, para así obtener la radiancia corregida de la imagen y llegar a obtener la emisividad.

La última corrección realizada fue debido a la saturación de la banda 13 (Ninomiya et al., 2005), que se apoya en el principio de emisión de un cuerpo negro (ley de Planck).

Se aplicaron los índices de cuarzo, carbonatos, y contenido de sílice, respectivamente:

QI (quartz index – índice de cuarzo) $MI = \frac{b12 \times b14^3}{b13^4}$ MI (mafic index – índice máfico)





Figura 1. Comparación de las firmas espectrales de la imagen ASTER (negro), los espectros de emisividad colectados con espectrómetro FT-IR modelo 102 (rojo), y remuestreados a la resolución ASTER (verde).

Después de corregir la imagen, se realizó las siguientes combinaciones de bandas para la interpretación litológica: • Composición color de los índices de contenido RGB: QI,

CI, MI. • Composición color RGB: 11, 6, 2

• Composición color de ratios RGB: 8/5, 5/4, 7/8.

3.2. Medidas con espectrómetro FT-IR modelo 102

Con el espectrómetro FT-IR modelo 102 (el cual mide emisividades en el rango 7–14 μ m), se realizaron, en el Laboratorio de Teledetección del INGEMMET, mediciones de emisividad sobre las muestras colectadas en campo con el objetivo de crear una librería espectral de emisividades para la zona de estudio, y correlacionarlas con las firmas obtenidas de las imágenes ASTER (Fig. 1).

3.3. Análisis de datos espectrales de campo

Las firmas espectrales de las tres muestras colectadas en el campo presentan mínimos de emisividad amplios, llamadas bandas de absorción, que son asociadas al contenido de sílice (Sabins, 1999).

Estas firmas espectrales de emisividad de las muestras de campo fueron correlacionadas con las firmas del JPL que vienen incluidas en las librerías del software ENVI 5.1, tal como se muestra en las figuras 2-A, 2-B, y 2-C.



Figura 2. Izquierda: Composición color de los índices RGB QI, CI, y MI (ASTER). Derecha: En A, B, y C se muestran firmas espectrales de emisividad obtenidas con espectrómetro FT-IR 102 sobre las muestras de campo (ver texto).

• La firma espectral de la muestra GR18-13-581 (Fig. 2-A), presenta bajas emisividades en las bandas 10 (8.125 μ m) y 12 (8.925 μ m), un máximo relativo en la banda 11 (8.475 μ m) y altas emisividades en la banda 13 (10.25 μ m) y 14 (10.95 μ m), lo cual es típico de rocas con alto contenido de sílice (Ninomiya et al., 2005). En la Figura 2-A se muestra la correlación de esta muestra con la firma de una arenisca arcósica obtenida de la base de datos del *Jet Propulsion Laboratory* (JPL).

• La firma espectral de la cuarzo-monzonita GR18-13-579 (Fig. 2-B) presenta un menor contraste de emisividad de las bandas 10, 11, y 12 (de 8.125 μ m a 8.925 μ m), lo que indica un menor contenido de sílice debido a una disminución en la absorción de [SiO₄]. • La firma espectral de la riolita GR18-14-35 (Fig. 2-C) indica también presencia de sílice.

• Las diferencias de amplitud en los rasgos de absorción se deben a un efecto de tamaño de grano de la muestra, donde una amplitud mayor está asociada a un tamaño de grano más fino.

4. Resultados

Las secuencias volcano-sedimentarias de la Formación Chocolate se muestran en tonalidades de color rojo a guinda (a) en la composición RGB [11, 6, 2] (Fig. 3-I).

Los flujos piroclásticos atribuidos a la Formación

Huaylillas se muestran en colores verdes claros (b) en la composición RGB [11, 6, 2] (Fig. 3-I), y en color naranja (b) en la composición RGB [8/5, 5/4, 7/8] (Fig. 3-II), siendo esta última composición donde mejor se definen sus límites.

En la composición RGB [8/5, 5/4, 7/8], las rocas intrusivas de la superunidad Tiabaya resaltan en tonalidades azules a moradas (c) (Fig. 3-II). En cambio, en

la composición RGB [11, 6, 2] (Fig. 3-I), los monzogranitos se diferencian en tonalidades rosáceos (c), en contraste con los que se encuentran en la parte norte, los cuales muestran tonalidades rojos claros (d) y corresponden a dioritas y tonalitas.

Se han identificado también nuevos afloramientos (c) (Fig. 3-II), que no fueron cartografiadas previamente en el mapa geológico disponible (Fig. 3-III).



Figura 3. I: Composición RGB de las bandas ASTER [11, 6, 2]. II: Composición RGB de las razones de bandas ASTER [8/5, 5/4, 7/8]. III: Mapa geológico del INGEMMET a escala: 1/100,000.

5. Conclusiones

Las composiciones color RGB de las bandas de las imágenes ASTER (subsistemas SWIR y TIR) proporcionan una herramienta útil para la discriminación de grandes unidades litológicas, sedimentarias, volcánicas, V plutónicas. En particular, las composiciones RGB que resultan de la combinación de las bandas de los subsistemas SWIR y TIR permiten evidenciar diferencias evidentes en cuanto a contenido de sílice de los afloramientos, como es el caso de las cuarzo-monzonitas observadas en las composiciones de color RGB [11, 6, 2] y [8/5, 5/4, 7/8], evidenciando asimismo la existencia de una unidad que no ha sido previamente cartografiada.

Apoyándose en los datos de espectrometría de las muestras de campo, ha sido posible identificar diferentes propiedades de rocas por su contenido mineral, así como encontrar relaciones espaciales y espectrales entre las diferentes tonalidades de las imágenes ASTER con las muestras de campo.

Referencias

- Abrams, M., Hook, S., Ramachandran, B. 2002. ASTER user handbook, version 2. Jet Propulsion Laboratory, 135 p. https://asterweb.jpl.nasa.gov/content/03_data/04_Doc uments/aster_user_guide_v2.pdf
- Corrie, R.K., Ninomiya, Y., Aitchison, J.C. 2010. Applying Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) spectral indices for geological mapping and mineral identification on the Tibetan Plateau. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing, and Spatial Information Science, v. 38, p. 464-469
- Gupta, R. 2002. Remote Sensing Geology. Springer-Verlag, Berlin–Heidelberg, 656 p.
- Ninomiya, Y., Fu, B., Cudahy, T.J. 2005. Detecting lithology with Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) multispectral thermal infrared "radiance-at-sensor" data. Remote Sensing of Environment, v. 99, p. 127–139.
- Olchauski, E. 1980. Geología de los cuadrángulos de Jaqui, Coracora, Chala, y Chaparra. Boletín del INGEMMET, Serie A: Carta Geológica Nacional, v. 34.
- Sabins, F.F. 1999. Remote sensing for mineral exploration. Ore Geology Reviews, v. 14, p. 157–183.