

## Discriminación Litológica con ASTER

Castro Godoy, Silvia

Unidad Sensores Remotos y SIG, Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR),  
Av. Julio A. Roca N°651, C1067ABB, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

### RESUMEN

La observación multibanda de ASTER en el rango termal permite la discriminación litológica debido a que los principales minerales formadores de rocas de la corteza presentan patrones espectrales característicos en este rango. El objetivo del trabajo es la discriminación de litologías a partir del estudio de las respuestas espectrales de rocas principalmente en el TIR, se presentan los resultados de las mediciones de emisividad en el campo y en laboratorio con el radiómetro microFTIR y su comparación con los datos ASTER. Se aplicaron cocientes de bandas para diferenciar las unidades litológicas en los tres subsistemas.

Palabras clave: ASTER, termal, discriminación litológica

### ABSTRACT

ASTER is the first sensor with multi band observation in thermal infrared region (8–12  $\mu$ m) with 90m of spatial resolution and 5 spectral bands specially designed to discriminate rocks from earth crust. Two main geological environments, sedimentary and igneous, there were selected to show results. Laboratory and field measurements of rocks were made with microFTIR in order to analyze the emissivity spectra and to make a comparison with ASTER data. Different geological units were differentiated by using not only thermal infrared bands but also visible and near infrared.

Keywords: ASTER, thermal infrared, lithologic discrimination

### Introducción

El sensor ASTER fue especialmente diseñado para aplicaciones geológicas y de medio ambiente, se encuentra a bordo del satélite TERRA y tiene la capacidad de realizar mediciones multiespectrales en los rangos: visible-infrarrojo cercano (VNIR) con 3 bandas entre 0.5 y 0.9  $\mu$ m y 15 m de resolución espacial; infrarrojo de onda corta (SWIR) con 6 bandas entre 1.6 y 2.5  $\mu$ m y 30 m de resolución; y en el infrarrojo térmico (TIR) con 5 bandas entre 8.125 y 11.65  $\mu$ m y 90m de resolución.

Esta capacidad multiespectral permite la discriminación de unidades de rocas con contenidos variables en sílice, silicatos y carbonatos, principales elementos formadores de corteza, cuyas características espectrales están relacionadas a las vibraciones fundamentales de las

uniones Si-O, C-O y a la estructura mineralógica.

### Objetivo

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados del análisis espectral y de la aplicación de una técnica sencilla como es el cociente de bandas para la discriminación litológica en los ambientes sedimentario, piroclástico e ígneo, focalizando principalmente en los datos del TIR pero complementando con el subsistema VNIR. Estos resultados forman parte de un estudio donde se integran el procesamiento de imágenes ASTER con el análisis espectral, químico y mineralógico (Castro Godoy S., en prensa).

### Ubicación del área

Se presentan los resultados del estudio de 2 áreas. La primera (zona 1) está ubicada en la sierra de Aguilar en el límite de Puna y Cordillera Oriental en el centro de la provincia de Jujuy, Argentina, entre las coordenadas 23°-23°20' S y 65°30'-66°O. El clima es semidesértico y el área se encuentra entre los 4000 y 5000 msnm.

El basamento de la región, está integrado por metagrauvas y metapelitas de la Formación Puncoviscana depositada en un ambiente de abanico turbidítico intermedio. Luego, entre el Cámbrico medio y el Devónico tardío, se inició el depósito de las sedimentitas de plataforma somera del Grupo Mesón. El Ordovícico está representado por sedimentitas marinas del grupo Santa Victoria las que fueron posteriormente deformadas y plegadas. En el Cretácico se emplazaron los cuerpos graníticos de Aguilar y Abra Laité. Con posterioridad se depositaron los sedimentos fluviales cretácidos del Subgrupo Pirgúa y continúan luego las facies proximales fluviales y facies carbonáticas marinas del Subgrupo Balbuena. Durante el paleógeno se desarrollaron cuencas formadas por depósitos lacustres de las formaciones Mealla y Maíz Gordo. Las secuencias fluviales de la Formación Lumbrera constituyen la primera expresión del inicio de la tectónica compresiva andina en la región continuando las secuencias de areniscas rojas grano y estratocrecientes de las formaciones Casa Grande y Río Grande.

La segunda región (zona 2) está ubicada en la Región de Antofagasta al norte de Chile, cerca del límite con Argentina, a los 23° 22' S y 67° 41' O. Se trata de un ambiente eminentemente volcánico, donde la unidad más antigua aflorante en el área corresponde a la Ignimbrita La Pacana del Mioceno superior-Plioceno, la suprayacen las unidades ignimbríticas Toconao y Atana. Contemporáneamente se producen intrusiones dacíticas y riolíticas (cerros Saltar y Corona). Luego se forma la Ignimbrita Patao de edad pliocena y posteriormente, en el Plioceno-Pleistoceno, se forman los estratovolcanes de composición andesítica con el volcán Chilikues como principal exponente. Continúa la formación de ignimbritas dacíticas Cajón y Tuyaito del Pleistoceno-Holoceno y de nuevos estrato-volcanes, representados en el área de estudio por el volcán Láscar, también de composición andesítica.

### Metodología

Se generaron imágenes ortorrectificadas con el programa *ASTER Geocoded Ortho Image*

*Generation*, luego se aplicó el programa TES (*Temperature and Emissivity Separation Algorithm*) sobre las bandas térmicas para realizar la corrección atmosférica y obtener las 5 bandas de emisividad. Se realizaron mediciones de la emisividad de las muestras colectadas en ambas áreas, con el espectrómetro FTIR *Portable Fourier transform infrared spectroradiometer M102F* en el rango de 8 a 14 μm. Las mediciones fueron remuestreadas a las 5 bandas termales de ASTER y se compararon las respuestas espectrales de las imágenes con las obtenidas con espectrómetro.

Para la discriminación litológica se aplicaron índices sugeridos por otros autores y cocientes de bandas que surgieron de la observación espectral de las rocas presentes en las áreas.

Las bandas del subsistema VNIR fueron utilizadas para identificar la presencia de óxidos de hierro, los que presentan alta respuesta en banda 2 (0.63-0.69 μm) y 3 (0.76-0.86 μm) y absorción en banda 1 (banda 1: 0.5-0.6 μm). Se debe tener en cuenta que esta respuesta es similar a la de la vegetación en banda 3, por ello se realiza el cociente 2/1. Se asume que el efecto atmosférico es mínimo debido a que la altura snm es muy elevada, el espesor atmosférico está reducido y como se trata de un área semidesértica el contenido de vapor de agua y aerosoles es escaso.

### Resultados

#### Zona 1. Sierra de Aguilar

Se presentan, a través de gráficos, los patrones espectrales de los diferentes tipos de rocas obtenidos de las mediciones directas. En el eje de abscisas se representan los valores de longitudes de ondas en micrómetros mientras que en el eje de ordenadas se encuentran los valores de emisividad (valores entre 0 y 1).

Los rangos espectrales del subsistema TIR son los siguientes:

Banda 10: 8.124-8.475 μm

Banda 11: 8.475-8.825 μm

Banda 12: 8.925-9.275 μm

Banda 13: 10.25-10.95 μm

Banda 14: 10.95-11.65 μm

En la fig. 1 se observa que los granitos poseen mayor emisividad en banda 10 que en banda 11 y 12 y solo 2 muestras poseen emisividad algo mayor en banda 11 (granito Abralaité, color amarillo y granito Aguilar en rojo). Las emisividades en bandas 13 y 14 son mayores que las anteriores pero la variación de los valores en estas 2 bandas son pequeñas.

La sienita (fig.2) presenta mayor absorción en banda 11 con respecto a los granitos y menor contraste de emisividad entre bandas.

La muestra de cuarcita (Fig.3 en color amarillo) presenta el típico perfil espectral del cuarzo con absorción en banda 10 y más fuerte en banda 12 y pico de emisividad en banda 11. Las muestras de pelitas (Fig.3, color rojo, verde, azul y blanco) poseen absorción en banda 10 y banda 12 con un pico de emisividad en banda 11 indicando presencia de cuarzo en su composición. El incremento de la magnitud de emisividad puede deberse al menor tamaño de grano de pelitas con respecto a la cuarcita.

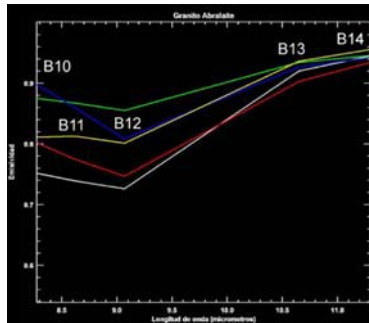


Fig. 1. Espectros de granito

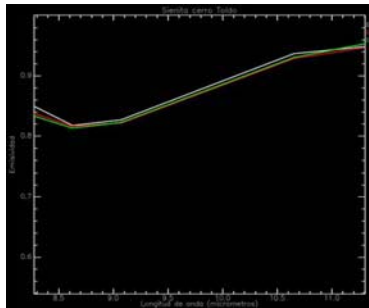


Fig. 2. Espectros de Sienita

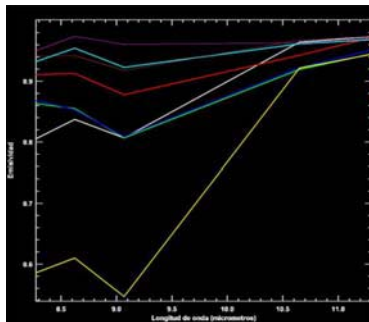


Fig. 3. Cuarcita (amarillo) y pelitas

Las areniscas cuarzosas de la fig.4 muestran un perfil espectral con valores de emisividad intermedios entre la cuarcita y las pelitas. Se mantiene el perfil espectral con pico de emisividad en banda 11 con respecto a banda 10 y 12 del cuarzo y varía la magnitud de la emisividad.

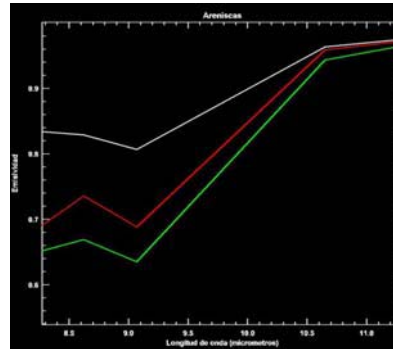


Fig. 4. Espectros de areniscas cuarzosas.

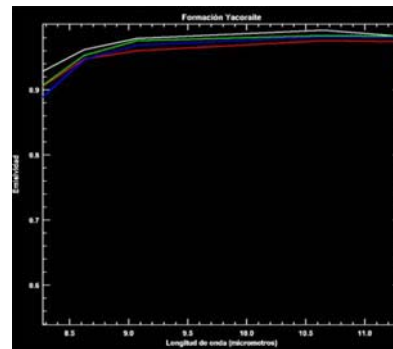


Fig. 5. Areniscas carbonáticas

En el perfil espectral de las areniscas carbonáticas de plataforma (Fm Yacoraita) se observa absorción en banda 10 y luego alta emisividad en las restantes bandas, con disminución en banda 14 con respecto a banda 13.

En la fig.6 se pueden observar comparativamente los perfiles espectrales de las areniscas carbonáticas, pelitas, areniscas y cuarcitas. Las primeras son las que poseen valores de emisividad mas elevados, luego se encuentran las pelitas con altos valores de emisividad en comparación con las restantes y donde las absorciones (b10 y b12) y emisividades (b11) del cuarzo ponen de manifiesto la composición. Las areniscas también tienen composición cuarzosa con valores intermedios de emisividad y por último la cuarcita con su típico espectro (Fig.6 color

anaranjado). Las diferencias de magnitud en las emisividades pueden estar relacionadas con el tamaño de grano, ya que al disminuir el tamaño de grano aumenta la emisividad espectral (Salisbury y Wald, 1992).

Por lo tanto las mayores diferencias espectrales se presentan en banda 10 (8.124-8.475 $\mu$ ), banda 11 (8.475-8.825 $\mu$ ) y banda 12 (8.925-9.275 $\mu$ ). Las rocas más silíceas como las cuarcitas y areniscas presentan un pico de mayor emisividad en 8.65 $\mu$ m (banda 11) y absorción en 8.3 $\mu$ m (banda 10) y 9.1 $\mu$ m (banda 12). Todas estas rocas presentan poca variación de emisividad en las bandas 13 y 14 donde los valores son mayores que en el resto de las bandas, con excepción de los carbonatos.

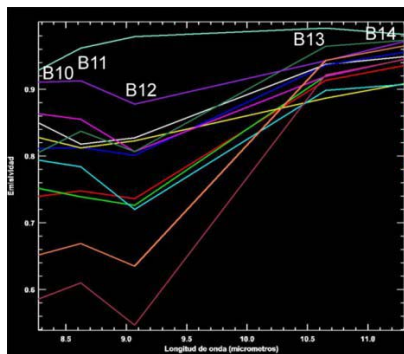


Fig.6. Base de datos espectral de la zona 1

En base a las características espectrales de los distintos materiales se definieron índices para detectar cuarzo, rocas ígneas félsicas y máficas (según el contenido en sílice) y carbonatos (Ninomiya y Fu, 2001; Ninomiya 2002a y b; Ninomiya 2004). Para definir dichos índices el autor trabaja con valores de radiancia al sensor y determina que los índices de sílice y cuarzo son estables con las variaciones de temperatura mientras que no así los carbonatos. Por este motivo se deberá aplicar una corrección que consiste en normalizar la radiancia de las bandas 13 y 14, se establece que la temperatura de brillo es de 300°k, se asume emisividad = 1 y se reemplaza en la ecuación de Planck (Ninomiya 2002b).

Índice de cuarzo:  $Q_i = b_{11} \times b_{11} / b_{10} \times b_{12}$   
(1)

Índice de carbonatos:  $C_i = b_{13} / b_{14}$  (2)

Índice de sílice :  
 $SI^{-3} = b_{12} / (b_{13} \times C_i^{-3}) = (b_{12} \times b_{14}^3) / b_{13}^4$   
(3)

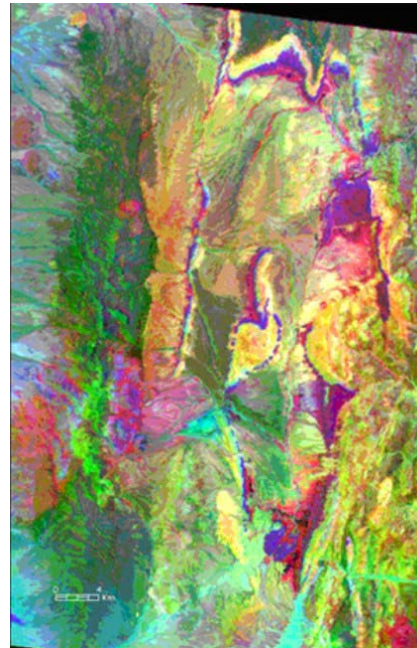


Fig. 7. RGB: 2/1, SI, B2

En este trabajo se aplicaron dichos índices y se combinaron en composición color con el cociente 2/1 que permite detectar óxidos de hierro y se obtuvieron los siguientes resultados: en la fig.7 se colocó en el canal rojo el cociente de óxidos de hierro, en el canal verde el índice de sílice y en el azul la banda 2. En color rojizo se pueden observar los cuerpos ígneos (debido a la desferrización de la biotita), en amarillo (rojo + verde) las rocas con óxidos de hierro y sílice (areniscas rojas continentales cretácicas y terciarias) y en verde las areniscas silíceas marinas (Grupo Mesón y Santa Victoria).

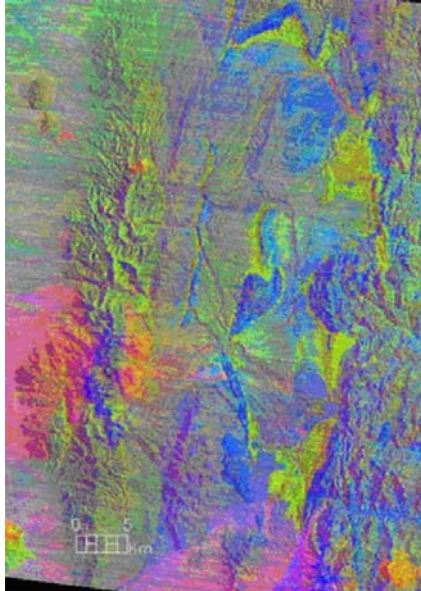


Fig. 8. RGB: InQi, C, SI

En la Fig.8 se observa la composición color que permite identificar unidades por su litología: en el canal rojo, los cuerpos ígneos que dan alta respuesta en la inversa del índice de cuarzo (detecta feldespato potásico), en el canal verde se colocó el índice de carbonatos (alta respuesta en los carbonatos de la Fm Yacoraité) y en el azul al índice de sílice (areniscas silíceas). Los cuerpos ígneos como granitos tienen baja respuesta en el índice de cuarzo debido a que la presencia de feldespatos enmascara el pico de emisividad típico del cuarzo en banda 11. Por este motivo se utilizó la inversa del índice de cuarzo para realzar los cuerpos ígneos como granitos y sienitas ricos en feldespato potásico.

#### Zona 2. Volcán Láscar

Las unidades aflorantes en el área del volcán Láscar son cuerpos lávicos, domos e ignimbritas de composición andesítica (Fig.9), dacítica (Fig.10) y riolítica (Fig.11). Se presentan a continuación las características espectrales medidas en campo y laboratorio y los valores de contenido en sílice para cada muestra extraídas de análisis químicos.

En líneas generales todos los espectros de estas rocas presentan mayor variación de emisividad en las bandas 10, 11 y 12 que en 13 y 14 donde presentan valores más cercanos al cuerpo negro (emisividad = 1).

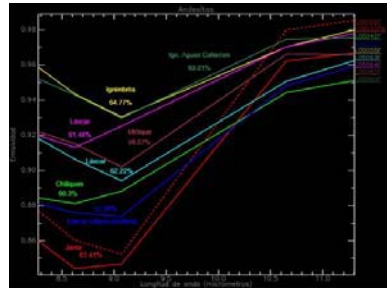


Fig. 9. Coladas e ignimbritas andesíticas

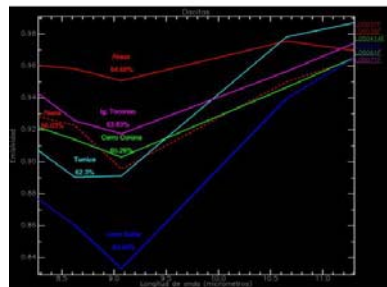


Fig. 10. Domos e ignimbritas dacíticas

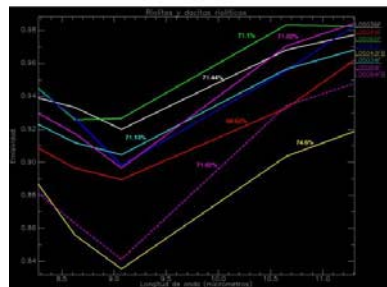


Fig. 11. Ignimbritas riolíticas y dacitas riolíticas

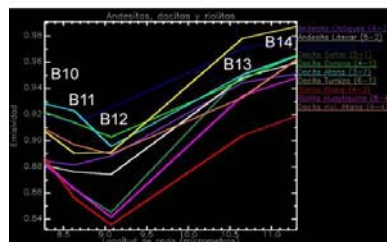


Fig. 12. Andesitas, dacitas y riolitas

De la observación de los espectros surge que las rocas andesíticas (Fig.12, color violeta y azul) presentan formas más pandadas es decir con menor diferencias de emisividad entre bandas y absorciones menos profundas en banda 12.

Las rocas riolíticas (Fig.12, color rojo y fucsia) presentan absorción en banda 11 y muy marcada en banda 12 y los valores de emisividad son menores en esas bandas con respecto a las andesíticas.

Las dacitas (Fig.12, cian, verde y naranja) tienen comportamientos intermedios entre ambas y en algunos casos no son claras las diferencias. Sin embargo, se puede observar que en las dacitas las diferencias de emisividad entre b11 y b12 son menores lo que se traduce en una menor pendiente espectral para dacitas con respecto a riolitas.

La selección de bandas 11, 12 y 13 para la diferenciación de unidades se basó en la observación de las diferencias en los valores de emisividad y en las pendientes de los patrones espectrales que presentan las rocas del área.

En la fig.13 se presenta la composición color RGB 12/11, 12/13, 12 de cocientes y bandas: se destacan en color rojizo las unidades de ignimbritas riolíticas, en color castaño rojizo las unidades dacíticas, en color castaño grisáceo las unidades andesíticas y en color cian las cenizas volcánicas modernas con un alto valor de radiación debido al pequeño tamaño de las partículas.

El color rojizo de las unidades riolíticas indica que estas unidades presentan los valores más altos en el cociente 12/11 debido a la absorción observada en banda 11.

Los valores de las unidades dacíticas en este cociente son inferiores ya que presentan menor diferencia espectral entre las bandas 12 y 11 y esto se manifiesta en un color castaño rojizo oscuro en la composición color.

Las unidades andesíticas se observan en un color grisáceo debido a que la respuesta es baja en los tres canales. Como se indicó anteriormente los patrones espectrales de estas rocas son más suaves con menor diferencia de emisividad entre bandas.

Los valores espectrales de emisividad extraídos de ASTER (fig.14, color blanco) presentan siempre mayores valores que los medidos en campo (verde) y en laboratorio (rojo) y se atribuyen diversas fuentes de error que podrían motivar estas diferencias. Una podría ser la calibración radiométrica de las bandas térmicas especialmente de la banda 12. La corrección atmosférica introduce errores debido a la apli-

cación de modelos generalizados y no locales. Otro aspecto es la contribución de la energía absorbida por la atmósfera y re-emitida (*downwelling radiance*) lo que incrementa el valor de radiancia recibida por el sensor en el rango termal y contribuye al incremento en el valor de emisividad.

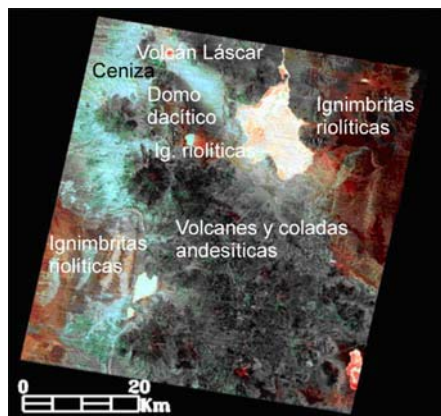


Fig.13. RGB: 12 /11, 12/13, 12

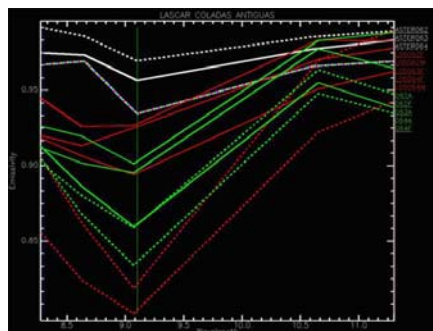


Fig. 14. Comparación de mediciones de campo, (verde) laboratorio (rojo) y datos ASTER (blanco).

Otras fuentes que introducen error son el comportamiento no-isotérmico de la superficie cubierta por un píxel de 90m (sombras, zonas con altas temperaturas, vegetación, etc.). Por otra parte, los barnices del desierto, suelos, regolito y la dispersión debido a la rugosidad de las superficies suma energía a la proveniente de los minerales que componen la roca. Estas causas pueden producir el incremento de emisividad en las bandas de ASTER con respecto a las mediciones directas sobre la roca.

## Conclusiones

Se presentan los resultados de las mediciones espectrales en el rango termal de rocas sedimentarias (areniscas y pelitas), ígneas intrusivas (granitos y sienitas), rocas volcánicas (andesitas y dacitas) y piroclásticas (ignimbritas riolíticas, dacíticas y andesíticas).

Se compararon estas mediciones con los datos ASTER y se observó que los datos provenientes de las imágenes presentan formas espectrales similares aunque con menor profundidad de absorción y con un incremento en los valores de emisividad en las 5 bandas.

Se interpreta que estas diferencias pueden deberse a fuentes de diversa índole como mezcla de materiales (roca meteorizada, vegetación, suelo), en el píxel de 90m del termal, errores en la calibración radiométrica especialmente en banda 12 y variación espacial de la dispersión.

La utilización de índices y cocientes de bandas en el rango termal permitieron discriminar unidades según sus características espectrales, composicionales y litológicas de un modo rápido y sencillo.

La combinación con cocientes de bandas del VNIR permitieron la diferenciación de ambientes de sedimentación continental (cemento ferruginoso) y marino (cemento carbonático).

## Agradecimientos

Agradezco al Servicio Geológico Minero Argentino por permitir la publicación de este trabajo.

## Referencias

Castro Godoy S. En Prensa. Discriminación Litológica con Datos ASTER en Distintos Ambientes Geológicos. Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Teledetección y SIG Aplicados al estudio del Medio ambiente, Universidad Nacional de Luján.

Fujisada H., A. Iwasaki y S. Hara. 2001. ASTER stereo system performance. International Society for Optical Engineering SPIE Proc. Vol. 4540. Toulouse, Francia.

Ninomiya Y. y B. Fu. 2001a. Spectral Indices for Lithologic Mapping with ASTER Thermal Infrared Data Applying to a Part of Beishan Mountains, Gansu, China. Institute of Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, Australia.

Ninomiya Y. 2002a. Mapping quartz, carbonate minerals and mafic-ultramafic rocks using remotely sensed multispectral thermal infrared ASTER data. International Society for Optical Engineering SPIE, vol. 4710, pp. 191-202.

Ninomiya Y. 2002b. Rock type mapping with indices defined for multispectral thermal infrared ASTER data. Proceedings of SPIE, vol. 4886.

Ninomiya Y. 2004. Lithologic mapping with multispectral ASTER TIR and SWIR data. Proceedings of SPIE vol. 5234.

Salisbury, J.W. y A. Wald. 1992. The role of volume scattering in reducing spectral contrast of reststrahlen bands in spectra of powdered minerals. Icarus 96, 121-128.

Tonooka H. 2001. An Atmospheric Correction Algorithm for Thermal Infrared Multispectral Data over Land - A Water Vapor Scaling Method. Institute of Electrical and Electronic Engineers IEEE, Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 39, N°3.