

UTILIZACIÓN DE DATOS ASTER PARA EL MONITOREO DE VOLCANES Y LA IDENTIFICACIÓN DE PRODUCTOS VOLCÁNICOS

SILVIA E. CASTRO GODOY⁽¹⁾

M. URAI⁽²⁾

M. KAKU⁽¹⁾

I. KOHNO⁽¹⁾

⁽¹⁾ Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR)

Av. Julio A. Roca N° 651, 8° piso, sector 1 (1322) Buenos Aires, Argentina

scaastro@geosatar.gov.ar

⁽²⁾ Geological Survey of Japan

Abstract. Volcanic monitoring by remote sensing techniques allows to predict volcano behavior in large areas as the Andean Range between Argentina and Chile. Surface temperatures, digital elevation model for topographic and geomorphologic analysis, volcanic products mapping, estimation of SO₂ contents, drift velocity and altitude of volcanic plumes could be estimated using ASTER data.

Brightness temperature was calculated by processing L1B (radiance at sensor) SWIR and TIR nighttime images from april 2000. Emissivity and absolute temperature images was obtained by processing L1A (raw data) TIR daytime data using Temperature and Emissivity Separation Algorithm. VNIR and SWIR bands was used for spectral classification (Spectral Angle Mapper) of volcanic products. TIR bands allows rock discrimination and qualitative analysis of SO₂ by using spectral ratios developed by the ASTER Science Team.

At the end of the first stage of the project development, the brightness temperature of Lascar volcano, which has an exogenous dome, was calculated and some of it volcanic products were mapped. Also there were obtained absolute temperature and emissivity images of Putana, Láscar, Chiliques, Lastarria (Chile) and Copahue (Argentina) volcanoes.

Keywords: Remote sensing, Multispectral images, ASTER, Volcano monitoring, Volcanic products mapping

INTRODUCCIÓN

ASTER es utilizado para monitoreo volcánico ya que permite realizar el mapeo de la temperatura de la superficie, generar modelos de elevación digital, mapeo de productos volcánicos, análisis topográfico y geológico, estimar contenido de SO₂ y calcular la velocidad y altura de las plumas volcánicas. ASTER permite medir la temperatura en el rango de temperatura ambiente a 460°C y desde 670° a 910°C (Urai M. 2002).

El comité científico de ASTER propuso un Plan de Monitoreo Volcánico global (Urai et al., 1999) y actualmente están siendo observados alrededor de 900 volcanes.

Los volcanes son seleccionados en función de su actividad; hay 3 clases A, B y C. Los de tipo A son los que presentaron muchos eventos eruptivos en los últimos 10 años y son observados en forma diurna cada 48 días y cada 32 días por la noche. Los de la clase B son los que registraron actividad en los últimos 100 años y son observados cada tres meses en forma diurna y nocturna. Los demás son observados cada 6 meses de día y de noche.

El subsistema VNIR (3 bandas en el visible e infrarrojo cercano) permite la visión estéreo, bandas 3N y 3B, con las que puede estimarse la velocidad de desplazamiento y cálculo de altura de las plumas volcánicas.

El subsistema SWIR (6 bandas en el infrarrojo de onda corta) permite la observación de áreas con alta temperatura como flujos de lava y fumarolas debido a la posibilidad de seteo de un bajo valor de ganancia "Low Gain 2".

El subsistema TIR (5 bandas en el infrarrojo termal) es utilizado principalmente para discriminación de rocas y observación de temperatura de superficie de más de 300°K. Sin embargo las altas temperaturas de productos volcánicos pueden saturar los detectores del sensor, por eso para altas temperaturas de lavas y fumarolas es utilizado el subsistema SWIR. El cálculo de contenido de SO₂ se realiza con las bandas del térmico debido a que presenta un espectro de absorción característico en estas bandas (Urai M., 2002).

Los tres subsistemas cubren un ancho de terreno de 60 km y el mismo punto tiene una revisita cada 16 días. Sin embargo VNIR tiene la posibilidad de aumentar su visión lateral en más de 24° de manera de poder acortar los tiempos en el caso de observación de emergencias (Yamaguchi et al., 1998).

La ubicación de los volcanes desde el norte hacia el sur es la siguiente

●	PUTANA	22°34'LS, 67°52'LO
●	LASCAR	23°21'LS, 67°43'LO
●	CHILIQUES	23°35'LS, 67°40'LO
●	LASTARRIA	25°10'LS, 68°31'LO
●	COPAHUE	37°50'LS, 71°10'LO



Figura N°1: Mapa de ubicación de los volcanes andinos

EL VOLCÁN LÁSCAR

El sistema volcánico del Láscar de 5592m de altura, se encuentra ubicado en el eje magmático de los Andes Centrales y constituye uno de los focos más activos del área. Se ubica unos 80 km al sureste de San Pedro de Atacama, provincia de Antofagasta, Chile, en los 67°44' LO y 23°22' LS (Fig.N°1).

Se trata de un estrato volcán de composición andesítica que presenta 5 cráteres y la actividad actual se concentra en el cráter central (Fig.N°2).

El volcán Láscar tiene un comportamiento que se ha repetido en su historia eruptiva y que consiste en el sucesivo crecimiento, colapso y explosión de un domo andesítico exógeno de unos 200 - 300 m de diámetro, localizado en el fondo del cráter activo, de 800 m de diámetro y 300 m de profundidad (Viramonte et al., 1995). Es común en este volcán la formación de columnas eruptivas plinianias con la posterior formación de flujos piroclásticos, depósitos de piroclastos de caída y emisión de lavas en menor proporción. El período de recurrencia es de 2 a 4 años

Según Viramonte et al. (1995), los mayores riesgos se deben a la acción de los flujos piroclásticos, laminares y turbulentos, calientes y de alta velocidad que pueden afectar a las áreas de Talabré al oeste, la toma de agua y la ruta internacional Antofagasta-Salta por el paso de Huaytiquina.

Otro peligro es el de la acumulación de cenizas, sobre todo en los sectores al este del volcán, teniendo en cuenta la dirección predominante de los vientos.

En territorio argentino existen grandes asentamientos urbanos que ya han sido afectados por las cenizas así como explotaciones de salares y zonas de cultivos.

Otros peligros indirectos son los relacionados con el derretimiento de la nieve que puede producir la formación de lahares.

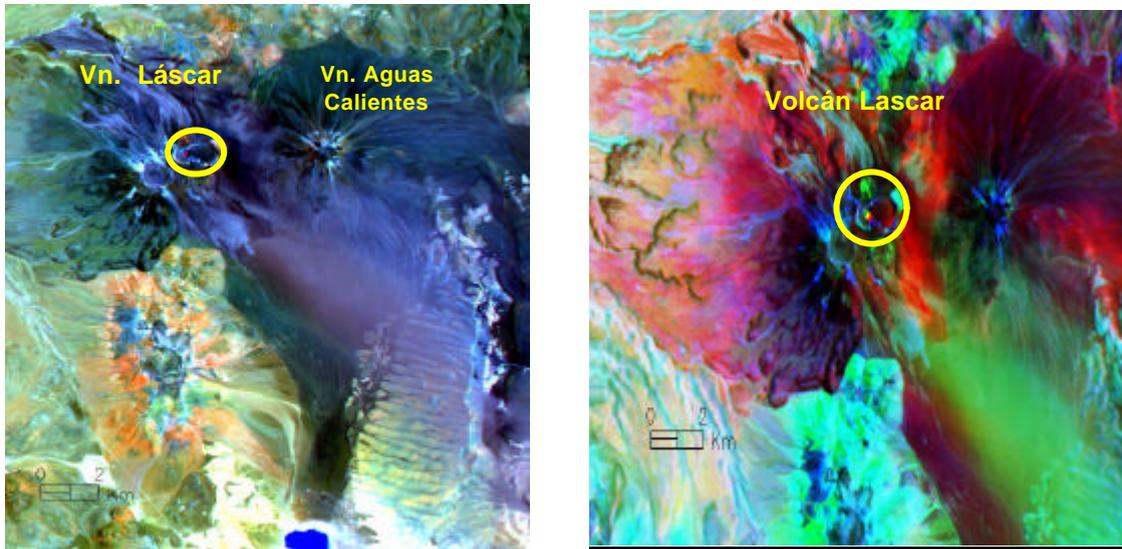


Figura N°2: Volcán Láscar. Combinación de bandas RGB: 4, 3, 1 (izq.) y RGB: 12, 6, 2 (der.)

CÁLCULO DE LA TEMPERATURA DE SUPERFICIE (tomado de Urai M. 2002)

Un emisor térmico ideal, llamado Cuerpo Negro, es aquél que transforma energía calórica en energía radiante de acuerdo a la función de Planck. La capacidad de emitir radiación debido a esta conversión se expresa como el cociente entre la radiancia de un material determinado y la radiancia del cuerpo negro a la misma temperatura. A esto se denomina "Emisividad Espectral".

La radiancia detectada por el sensor es el producto de la transmitancia atmosférica, la emisividad de la superficie y de la función de Planck, de la temperatura de la superficie y la radiancia atmosférica.

$$R_{\tilde{\epsilon}} = \hat{\alpha}_{\tilde{\epsilon}} \hat{\omega}_{\tilde{\epsilon}} B(\tilde{\epsilon}, T) + R_{atm, \tilde{\epsilon}}$$

$R_{\tilde{\epsilon}}$ = radiancia al sensor ($W m^{-3} sr^{-1}$)

$\hat{\omega}_{\tilde{\epsilon}}$ = transmitancia atmosférica

$\hat{\alpha}_{\tilde{\epsilon}}$ = emisividad de la superficie radiante

$$B(\tilde{\epsilon}, T) = \text{Función de Planck } (Wm^{-3}) = \frac{c_1 \tilde{\epsilon}^{-5}}{\exp\left[\frac{c_2}{\tilde{\epsilon}}\right]} \quad -1$$

$\tilde{\epsilon}$ = longitud de onda (m)

T = temperatura de la superficie (K)

$c_1 = 3,742 \times 10^{-16} (Wm^2) = 2 \tilde{\epsilon} hc_2$ (h constante de Planck y c velocidad de la luz)

$c_2 = 0.0144 (m K) = hc/k$ (k constante de Boltzmann)

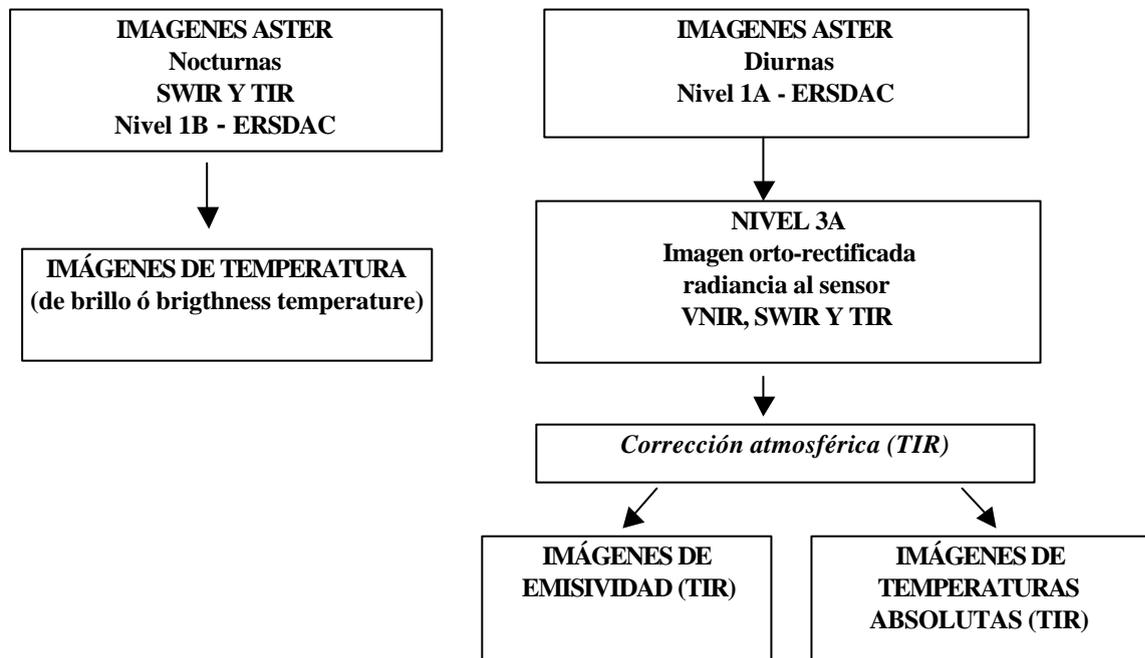
$R_{atm, \tilde{\epsilon}}$ = radiancia atmosférica

De la fórmula se puede despejar temperatura en superficie si se tiene la transmitancia atmosférica, radiancia y emisividad de la superficie.

La transmitancia y radiancia atmosférica se puede obtener mediante la utilización de un software como MODTRAN ó FASCODE basados en "radiative transfer codes" el cual incorpora como input el dato de un perfil atmosférico tomado con radiosonda y devuelve la radiancia y transmitancia atmosférica. El dato de emisividad de la superficie se puede obtener mediante el espectrómetro microFTIR ó de una librería espectral.

METODOLOGÍA

Se han procesado imágenes nivel 1B, nocturnas, bandas SWIR y TIR correspondiente a 16 fechas que cubren el rango desde abril del 2000 a abril del 2002. Para el caso del volcán Láscar se realiza el cálculo de "Brightness Temperature" o temperatura de brillo donde se asume que la emisividad de la superficie es 1, la trasmisión atmosférica es 1, el valor mínimo de DN para cálculo de temperatura es 5.0 y el de saturación es de 255, para imágenes de 8bits.



El software utilizado para el calculo de temperatura de brillo se denomina IDEA, Image Data Processing System for Experimental Image Analysis y fué desarrollado por el Servicio Geológico de Japón. Consiste en más de 80 comandos que corren sobre plataforma Unix . Para cada una de las imágenes se obtuvieron las estadísticas de las 6 bandas del SWIR y de las 5 bandas del TIR ya sea para imágenes diurnas o nocturnas. Estos datos fueron representados gráficamente mediante planillas excel para realizar el seguimiento de la variación de la temperatura máxima de cada banda a través del tiempo (Fig N°3 y 5). Es importante tener en cuenta al observar los resultados que el Láscar hizo erupción el 20 de julio del 2000.

Los valores de ganancia de las imágenes procesadas en bandas SWIR nocturnas son los siguientes:

Fecha	BANDA 4	BANDA 5	BANDA 6	BANDA 7	BANDA 8	BANDA 9
27-Dec-00	LOW2	LOW2	LOW2	LOW2	LOW2	LOW2
4-May-01	LOW2	HIGH	LOW2	HIGH	LOW2	HIGH
21-Jun-01	LOW2	HIGH	LOW2	HIGH	LOW2	HIGH
6-Jan-02	LOW2	HIGH	LOW2	HIGH	LOW2	HIGH
5-Apr-02	LOW2	HIGH	LOW2	HIGH	LOW2	HIGH

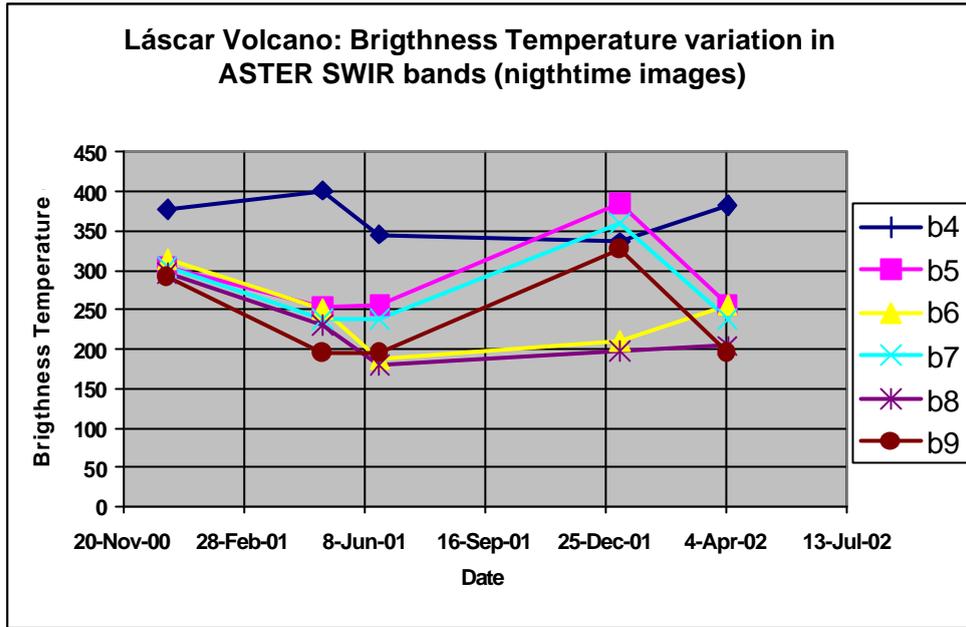


Figura N° 3: Variación de la temperatura de brillo en las bandas SWIR de imágenes nocturnas

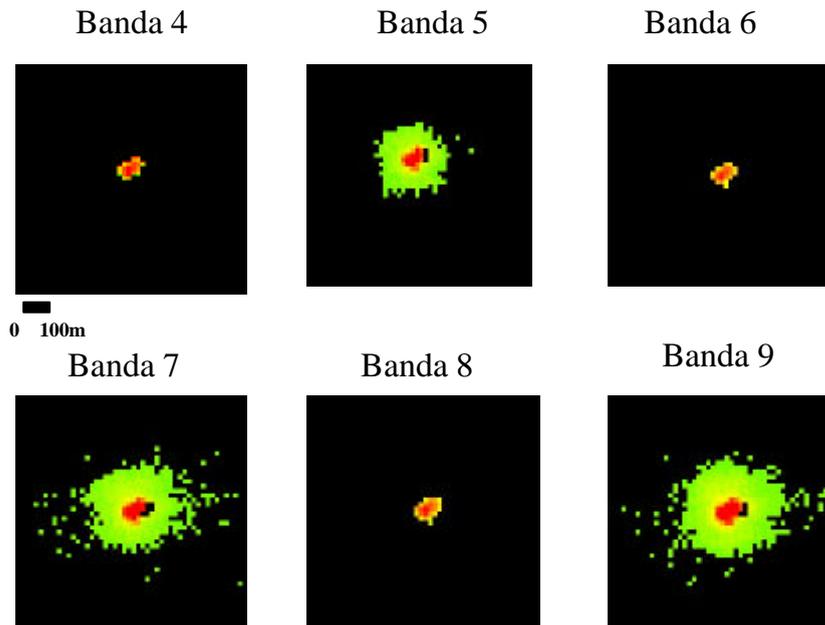


Figura N° 4: Temperatura de brillo en subescenas de las bandas SWIR imagen nocturna del 6-1-2002

El subsistema TIR no tiene seteada la función "gain" por ser un sistema 12 bits

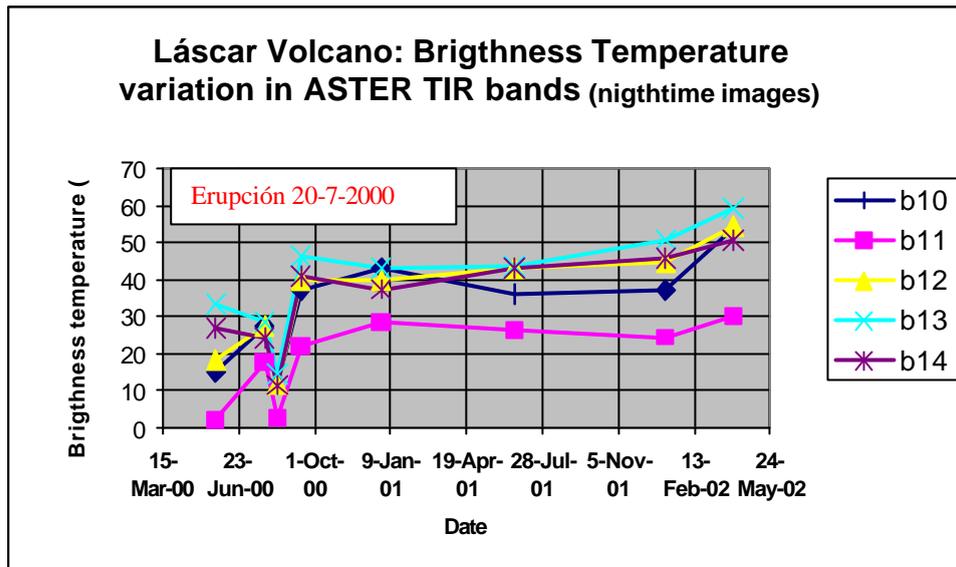


Figura N°5: Temperatura de brillo en las bandas TIR de imágenes nocturnas



Figura N°6: Imagen TIR nocturna del Volcán Láscar RGB: 13, 14, 12

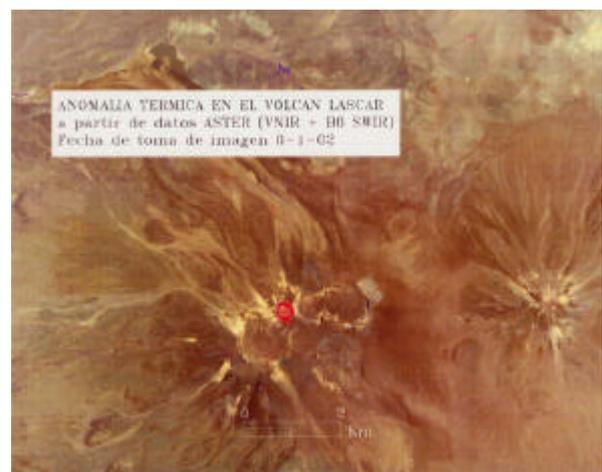


Figura N° 7: Anomalia térmica en el Volcán Láscar. Superposición de la banda 6 del SWIR, imagen nocturna L 1B y la imagen orto-rectificada VNIR

En la Figura N° 7 se observa el desplazamiento de la anomalía calórica (punto de color rojo) hacia el oeste con respecto a su real ubicación. Esta diferencia en el posicionamiento del punto caliente entre las bandas VNIR de la imagen orto-rectificada diurna y la banda 6 del SWIR de la imagen nocturna se debe que esta última no presenta corrección por paralaje.

En las bandas del térmico se aplicaron los índices para identificar cuarzo, carbonato y contenido en sílice (Ninomiya and Fu, 2001) y Ninomiya Y. (2002). En la Figura 8 el círculo rojo indica la ubicación del volcán Láscar. Los tonos rojos resaltan las áreas donde el índice da la mayor respuesta

Índice de Cuarzo $QI = B11/B10 * B11/B12$ B_i ($i = 10,11,...14$) donde i corresponde a las bandas de ASTER.

Índice de Carbonato $CI = B13/B14$

Inversa de Sílice $SI^- = B12/B13$

Como los carbonatos tienen una fuerte respuesta en la banda 13 utilizaremos el cociente $SI^-_m = SI^- / CI^m$ donde $m = 3$ en este caso

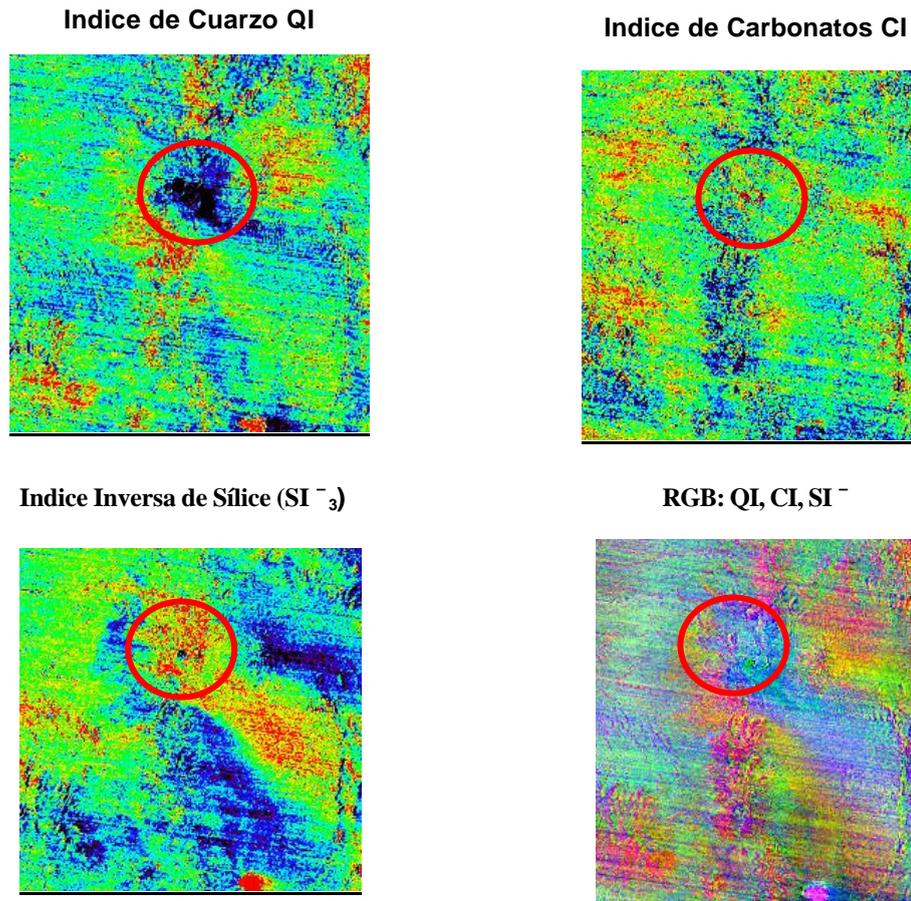


Figura N°8: Índices espectrales para identificación de minerales y rocas en el área del volcán Láscar

Se realizó la clasificación a partir de las firmas espectrales de las rocas en las bandas VNIR y SWIR a cuyas bandas se les quitó el offset y se aplicó el método de clasificación Spectral Angle Mapper . Los resultados fueron relacionados con las unidades geológicas mapeadas en la Carta Geológica Chilena Toconao (C.Ramírez y M. Gardeweg, 1982) a escala 1: 250.000 (Figura N°9)

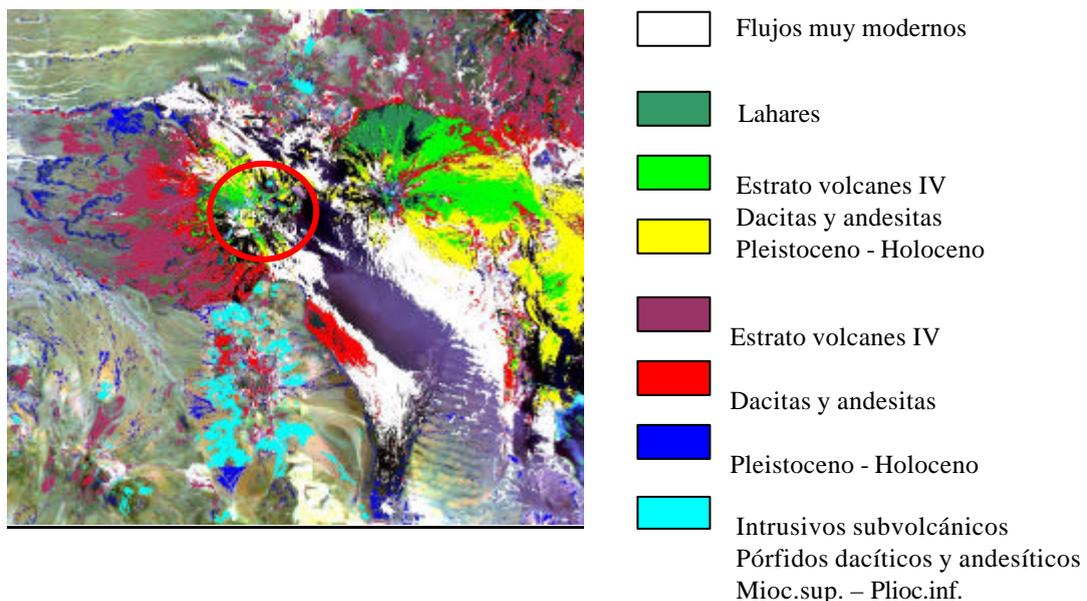


Figura N° 9: Clasificación spectral de rocas a partir del Spectral Angle Mapper (SAM)

También se aplicó el cociente de bandas B11 / (B10 + B12) (Fig. N°10) utilizado por el Dr. Urai para la detección cualitativa del SO2 en la pluma gaseosa del Volcán Miyakejima en Japón. Pero se debe aclarar que el ambiente de este volcán es muy distinto al del volcán Láscar ya que se trata de una isla volcánica rodeada de mar, mientras que el Láscar se encuentra en un medio terrestre rodeado de materiales heterogéneos. Por lo tanto estos resultados deben ser confrontados con mediciones directas.

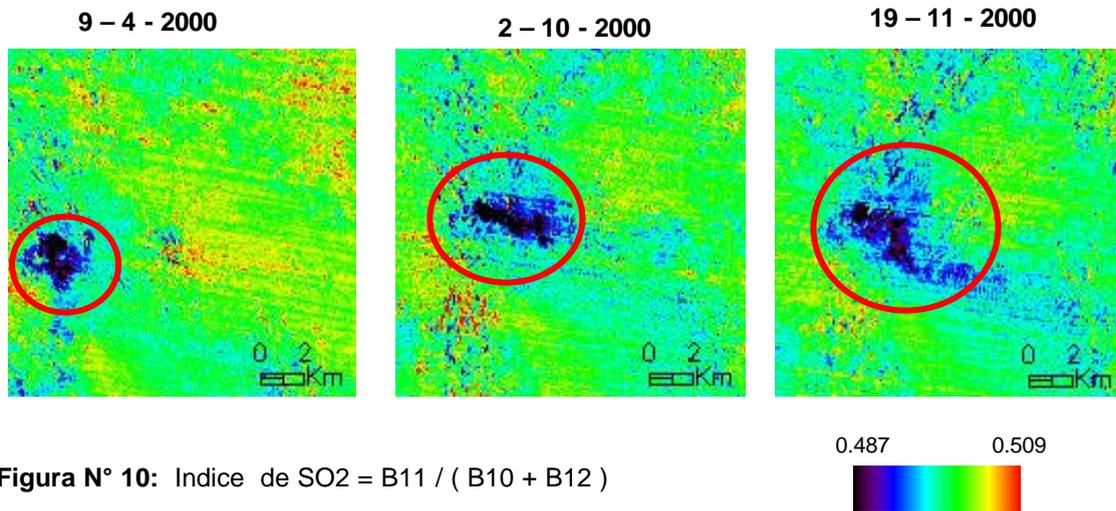


Figura N° 10: Índice de SO2 = B11 / (B10 + B12)

A partir de datos ASTER nivel 1A (datos crudos) y mediante la utilización de los softwares ASTER DEM Data Generation Software y ASTER GEOCODE ORTHO IMAGE Generation Software se obtuvieron imágenes nivel 3A orto-rectificadas (radiancia al sensor) y mediante la utilización del software TEMPERATURE AND EMISIVITY Separation (TES) se realizó la corrección atmosférica y se obtuvieron las imágenes de emisividad y temperatura absoluta en superficie.

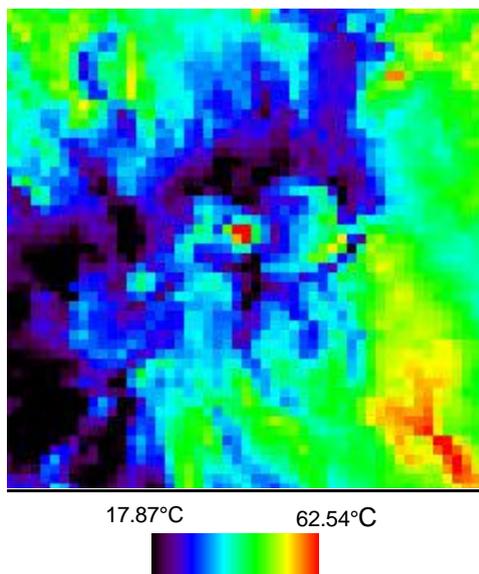


Fig. N°11 Imagen de Temperatura absoluta. Gradación de colores de Envi color table. El volcán Láscar tiene una temperatura de saturación de 90°C en el TIR.

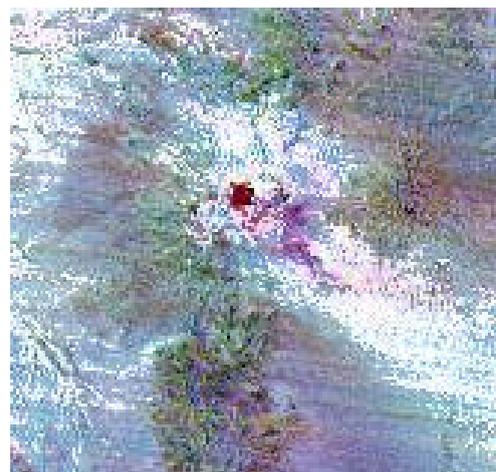


Fig. N°12 Imagen de Emisividad
RGB: 13,11,10

CONCLUSIONES

En esta primera etapa de procesamiento de datos se realizó el monitoreo de temperaturas del Volcán Láscar desde el mes de abril de 2000 hasta abril de 2002 tomando en cuenta temperatura de brillo calculada a partir de bandas de SWIR y TIR de ASTER.

Se aplicaron índices que permiten identificar rocas con contenido en carbonatos, cuarzo y contenido en sílice.

Se realizó la clasificación espectral en el área del Volcán Láscar para identificar los productos volcánicos y se realizó una comparación con las unidades mapeadas en la Carta Geológica Chilena a escala 1:250.000

Se aplicó el índice cualitativo de contenido de SO₂ para el análisis multitemporal en el área del volcán Láscar.

Se procesaron datos L1A y se obtuvieron los DEM y las imágenes orto-rectificadas en los tres subsistemas así como imágenes de emisividad y temperatura absoluta a partir del TIR para los volcanes Chilikues, Lastarria, Putana y Copahue .

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Servicio Geológico Minero Argentino por permitir la publicación del presente trabajo. A JICA por permitirme la capacitación en el Servicio Geológico del Japón. Al Dr. Urai con quién comencé el estudio del monitoreo de volcanes y a los expertos japoneses que día a día apoyan y colaboran para que el grupo GEOSAT continúe creciendo.

BIBLIOGRAFÍA

- Ninomiya, Y. and B. Fu. 2001. 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, Sydney, Australia.
- Ninomiya, Y. 2002. 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.
- Ramírez C. y M. Gardeweg, (1982). Hoja Toconao, Región de Antofagasta. Carta Geológica de Chile N°54, escala 1:250.000. Servicio Nacional de Geología y Minería
- Urai, M., Fukui, K., Yamaguchi, Y. and Pieri, D.C. (1999). Volcano Observation Potential and Global Volcano Monitoring Plan with ASTER. Bulletin of the Volcanological Society of Japan, 44, N°3, 131-141.
- Urai, M. (2000). Volcano Monitoring with Landsat TM shortwave infrared bands: The 1990 –1994 eruption of Unzen Volcano, Japan. International Journal of Remote Sensing, 21, 861-872
- Urai, M. (2002) Sulfure dioxide (SO₂) flux estimation from volcanoes using ASTER. A case study of Oyama volcano in Miyakejima, Japan. Bulletin of Volcanology, submitted.
- Urai, M. (2002). Surface temperature analysis of volcanoes with ASTER. IDEA manual. Geological Survey of Japan
- Urai M., (2002). Global volcano observation plan and a volcano image database with ASTER. ASTER Science Team Meeting. ASTER Workshop. 23 May, 2002, Aoyama TEPIA, Tokyo, Japan.
- Viramonte, J.G., Becchio R., Bolli M.I., Petrinovic I., Seggiaro R., Tejedo A.(1995). Actividad eruptiva del Volcán Láscar. Erupción 18/24 - Abril - 1993.