

PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE IMAGENES ASTER PARA EL ESTUDIO METALOGENETICO DE MALIMAN, SAN JUAN, ARGENTINA

MARQUETTI, CINTIA

MARÍN, GRACIELA

KAKU, MANABU

KOHNO, ITOSHI

YOKOKAWA, KATSUMI

SEGEMAR, Julio A. Roca 651, piso 8, cmarqu@geosatar.gov.ar

Abstract Malimán region is one of the GEOSAT-AR Project study area. The main objective is to obtain the metallogenetic map of the area located between S29° to S30° and W69° to W70°30', in the NW of San Juan Province, Argentina. Taking advantages of high spatial resolution and the wide spectral range of ASTER data, alteration zones are identified, also its distribution and gold epithermal mineralization relationships. Tertiary volcanism of Valle del Cura region belongs to the physical continuity of Chilean tertiary stratigraphy and volcanism, which include the Cerro Tórtolas Formation and the Tilito and Escabroso formations from Doña Ana Group. These units form the El Indio-Maricunga Belt, which overlaid the basement integrated with Permian Triassic volcanic rocks and granitoids and other carboniferous rocks. There are three main structural systems: NS, WNW and NNE. In the intersection of these lineaments with WNW structures, are located the regional eruptive-explosive complexes like Cerro Veladero, Cerro Colorado and Cerro Pelado.

It was extracted the digital elevation model (DEM) from 25 ASTER stereo data to orthorectify the images, then they were mosaiked. VNIR, SWIR and TIR ASTER data were processed to determine the distribution of hydrothermal alteration zones. which are different kinds of silicification affecting breccias, argillic and propylitic alterations. The steam-heated alteration includes: residual silica and sulphur, opal silica, crystalline silica and vuggy silica. The advanced argillic alteration presents the silica-alunite and alunite-kaolinite associations. The argillic alteration presents illite-kaolinite-illite association. The propylic alteration affects rocks of porphyric texture, andesitic composition, with much pyrite and includes the chlorite-magnetite-pyrite association and epidote into faults. Some images sites processing and results, as Vicuña, Las Minitas, Precordillera, Valle del Cura and La Ollita Formation, are described.

Keywords: ASTER, VNIR, SWIR, TIR, DEM, Geology, Hydrothermal Alteration, Remote Sensing, Malimán, San Juan-Argentina

Introducción

La Hoja 2969 III Malimán a escala 1:250.000 es una de las áreas de estudio del Proyecto GEOSAT-AR. Este es un convenio de cooperación técnica entre el Servicio Geológico Minero Argentino - SEGEMAR y la Agencia de Cooperación Internacional de Japón - JICA. El objetivo es obtener el mapa metalogenético de Malimán, con identificación de zonas de alteración alunítica, potásica y argílica y zonas de silicificación, su

distribución y vinculación con la mineralización epitermal aurífera mediante la extracción de información espectral del procesamiento de datos ASTER.

En este trabajo se presentan algunos resultados del procesamiento digital de las imágenes ASTER de la Hoja Malimán que se encuentra en el sector noroccidental de la provincia de San Juan entre 29°00' - 30°00' de latitud sur y entre 69°00' - 70°30' de longitud oeste.

La región más destacada por su potencial minero es el Valle del Cura, ubicado en el borde occidental de la hoja. Se han definido varios proyectos, siendo los más importantes Veladero Norte Au (Ag) y Lama Au-Ag-Cu, ambos emplazados en la Formación Cerro Las Tórtolas de edad terciaria. Sin embargo existen numerosas áreas con manifestaciones hidrotermales que pueden ser identificadas en las imágenes ASTER, como por ejemplo Jagüelito (Au-Ag), Vicuña (Cu-Au), Difunta Correa (Sb), Los Des poblados (Au-Ag), Cerro Alumbre (Au-Ag), La Ortiga (Au-Ag), Veladero Sur (Au-Ag), Guanaco Zonzo (Au-Ag), entre otros.

También hay áreas que son analizadas desde el punto de vista estratigráfico, como es la identificación de las capas de yeso de la Formación La Ollita o la diferenciación entre las rocas volcánicas de la Formación Doña Ana y la Formación Cerro las Tórtolas, ambas portadoras de los depósitos más importantes de oro y plata.

Contexto geológico

Dentro del territorio argentino, el área de estudio está representada por dos provincias geológicas: Precordillera en el este y Cordillera Frontal en el oeste, incluyendo la Cordillera de Colangüil, el Valle del Cura y la Cordillera del Límite (figura 1). La estratigrafía de Precordillera presenta unidades del Paleozoico inferior, Formación Río Blanco (Ord), Grupo Chinguillos (Dev), del Paleozoico superior, Formación Angualasto (Carb.inf), Formación Quebrada Larga y Formación Punilla (Carb.sup), y del Terciario. La Cordillera de Colangüil está constituida por granitos de edades entre el Paleozoico y Terciario. Hacia el oeste se afloran rocas efusivas del Grupo Choiyoi (Pm-Tr), las unidades clásticas y volcanoclásticas de la Formación Río de la Sal (Paleoc), las Tobas Multicolores Valle del Cura (Eoc), Formación La Ollita, Formación Doña Ana y Formación Cerro Tórtolas (Eoc-Mio), Ignimbritas Vacas Heladas y Formación Los Bañitos (Plio), (Cardó et.al, 2001).

En el esquema regional se observan el desarrollo de tres sistemas estructurales predominantes: NS, WNW y NNE. Cambios en las velocidades de convergencia y en los ángulos de subducción de las placas tectónicas durante el Terciario afectaron a los tres sistemas, propiciando movimiento de rumbo horizontales en las estructuras norte-sur y produciendo distensión de las estructuras NNE. Las intersecciones de estas estructuras con estructuras WNW tienden a localizar los complejos eruptivos-explosivos regionales tales como Veladero, Cerro Colorado y Cerro Pelado, (Jones et al., 1999). Regionalmente las estructuras WNW reactivadas marginan el límite norte del Batolito de Colangüil.

Los yacimientos minerales de la región están agrupados en dos fajas bien definidas: 1) los depósitos volcánicos terciarios auríferos (faja NS a NE) en Valle del Cura, que corresponde a la continuidad física del volcanismo y estratigrafía del Terciario chileno (Cinturón El Indio-Maricunga), y 2) intrusivos terciarios (PbAgZn) en Cordillera del Colangüil y otros más pequeños en Precordillera (Cardó et al., 2001).

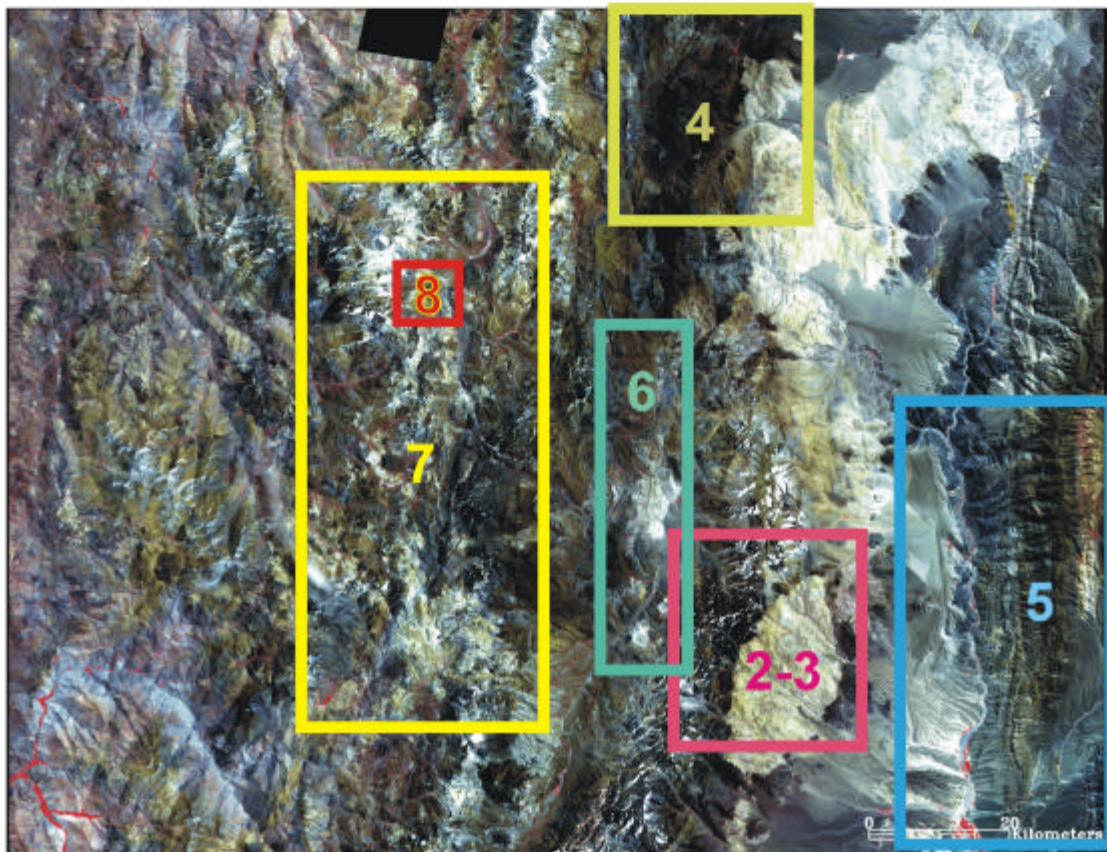
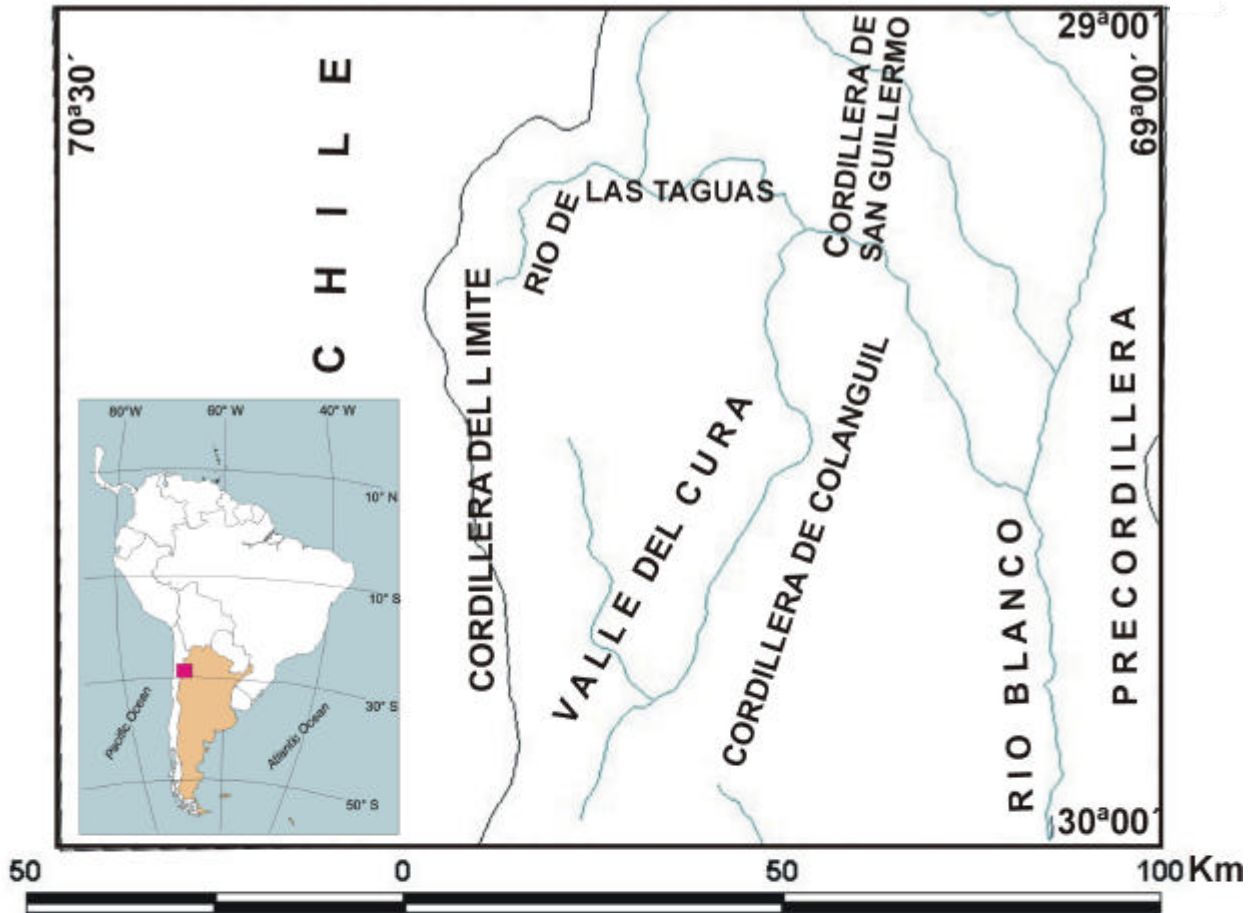


Figura 1. Mapa de ubicación y composición ASTER 321 de la Hoja Malimán, con ubicación de las figuras.

Datos y metodología

ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) es un sensor de última generación que se encuentra a bordo del satélite TERRA, en órbita desde fines de 1999. Este sensor tiene un ancho de barrido de 60 Km y cubre una amplia región espectral con 14 bandas, desde el visible al infrarrojo térmico, con una alta resolución espacial, espectral y radiométrica. El satélite opera en una órbita casi polar y a una altitud de 705 km, cruzando el Ecuador a las 10:30 hora local y con un periodo de revisita de 16 días.

ASTER posee tres subsistemas de sensores: VNIR, SWIR y TIR. El subsistema VNIR cuenta con dos telescopios, uno con visión nadir y el otro con visión hacia atrás, mientras que los sensores SWIR y TIR tienen un solo telescopio cada uno.

El subsistema VNIR obtiene imágenes del visible e infrarrojo cercano (0.52-0.86 μm) en tres bandas con una resolución espacial de 15 metros, además tiene una banda adicional que permite visión estereoscópica y la generación del Modelo Digital de Terreno de cada escena. El subsistema SWIR registra la información en 6 bandas del infrarrojo de onda corta (1.600-2.430 μm) con una resolución espacial de 30 metros. El subsistema TIR obtiene datos en 5 bandas en la región del infrarrojo térmico (8.125-11.65 μm) con una resolución espacial de 90 metros.

El logro de ASTER es la adquisición de datos espectrales cuantitativos de radiación reflejada y emitida desde la superficie terrestre con una resolución espacial y espectral apropiada para varios objetivos científicos (Fujisada, 1998) . Las bandas del VNIR pueden ser utilizadas para la detección de vegetación y de óxidos de hierro presentes en rocas y en suelos. El rango espectral que presentan las bandas del SWIR abarca la zona de absorción característica de filosilicatos, carbonatos y minerales de alteración lo que permite una discriminación más detallada de éstos (Yamaguchi, 1998). Los patrones de emisividad de las 5 bandas del TIR son utilizados para estimar el contenido de sílice presente en las rocas.

En el área Maliman, se han procesado datos ASTER nivel 1A de 25 escenas completas con softwares diseñados bajo UNIX por investigadores japoneses, para la generación del modelo digital del terreno y la ortorrectificación de los datos. Luego se han confeccionado los mosaicos del área completa, incluyendo el territorio chileno, en los tres subsistemas del sensor ASTER: VNIR, SWIR y TIR.

Se realizaron distintas combinaciones de bandas para el mapeo de unidades geológicas y cocientes de bandas , componentes principales y *decorrelation stretch* para la discriminación de áreas de alteración hidrotermal vinculadas a los depósitos minerales.

Los minerales alunita, yeso, caolinita, sericita y muscovita fueron clasificados en las imágenes ASTER utilizando los patrones espectrales del USGS, disponibles en las bases de datos de ENVI, vinculando los resultados con el tipo de manifestación hidrotermal existente en las zonas clasificadas.

A continuación se describen en algunas localidades, sus características particulares, procesamiento y resultados de los datos ASTER.

Pórfido Vicuña

Vicuña es un pórfido cuprífero localizado a los 29° 49' 35" S y 69° 25' 28" W, donde la mineralización se encuentra diseminada en un pórfido dacítico que intruye al granito Los Puentes de edad permotriásica. Las

zonas de alteración están distribuidas en forma de anillo: el núcleo es de composición potásica con magnetita, intermedia potásica con hematita y hacia afuera cuarzo sericítica. Se puede observar claramente el anillo de alteración en la composición RGB 4, 5,9 y mas notoriamente en el *decorrelation stretch* de las bandas 4, 5 y 9 (figura 2).

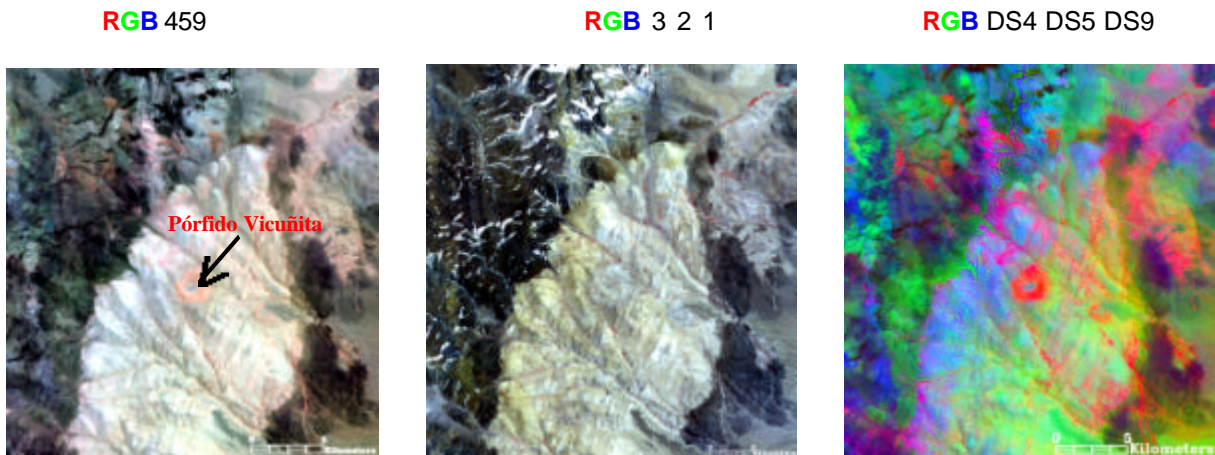


Figura 2. Composición ASTER RGB: 459, 321 y 459 con *decorrelation stretch* del Pórfido Vicuña.

En la figura 3 se presentan tres imágenes de área del Pórfido Vicuña, según la composición RGB de los principales componentes 2,3,5 de las bandas ASTER del SWIR, y las clasificaciones o mapeo por ángulo espectral (Spectral Angle Mapper – SAM) de montmorillonita y sericita, respectivamente.

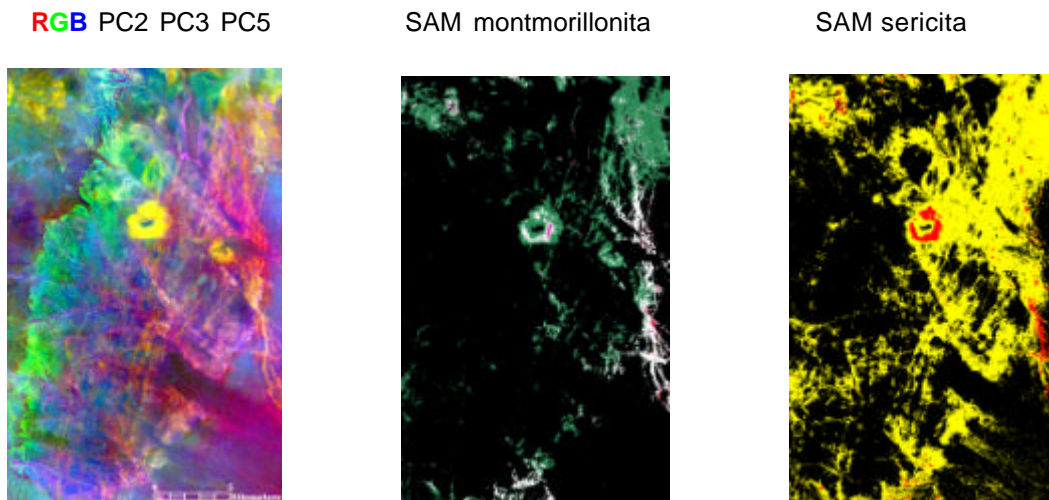


Figura 3. Área del Pórfido Vicuña: Componentes principales SWIR PC235, mapeo SAM de montmorillonita y sericita.

Junta Las Minitas

En la figura 4 se presentan dos imágenes ASTER correspondientes al área de Junta Las Minitas en RGB 4/5, 4/6 y 4/8 y *decorrelation stretch* RGB 4, 5, 9. En la primera se pueden detectar las áreas de alteración hidrotermal en colores blanquecinos denotando una alta respuesta espectral en los tres cocientes de bandas, coincidiendo con las zonas de color rojo en la imagen de *decorrelation stretch*. En el sector SE de la imagen se observa el contacto entre dos cuerpos intrusivos: el granito Los Puentes y la granodiorita Tabaquito.

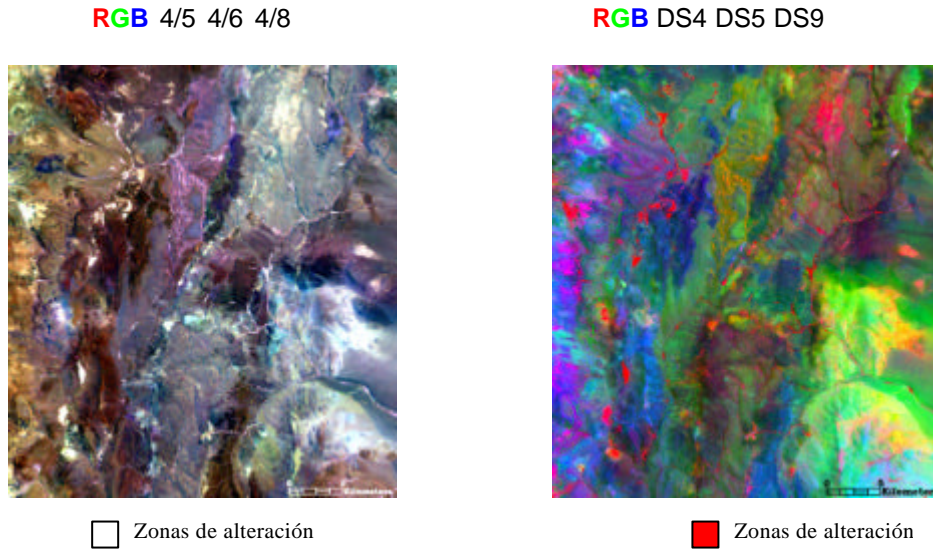


Figura 4. Junta Las Minitas, sector NE de la Hoja Maliman: bandas ASTER SWIR en composición RGB de cocientes 4/5 4/6 4/8 y bandas 459 con *decorrelation stretch*.

Precordillera

Otro de los sitios de interés en la Hoja Maliman es la Precordillera, donde es necesario identificar y separar diferentes unidades geológicas. En la figura 5, la imagen RGB 4/5, b3, PC4 está compuesta por el cociente 4/5 del SWIR, la banda 3 del VNIR y el componente principal 4 de las bandas del TIR. En esta combinación se puede identificar la Formación Las Trancas en color azul, el intrusivo riolítico de la Formación Río Blanco y la mina de antimonio Difunta Correa, además de otras características geológicas.

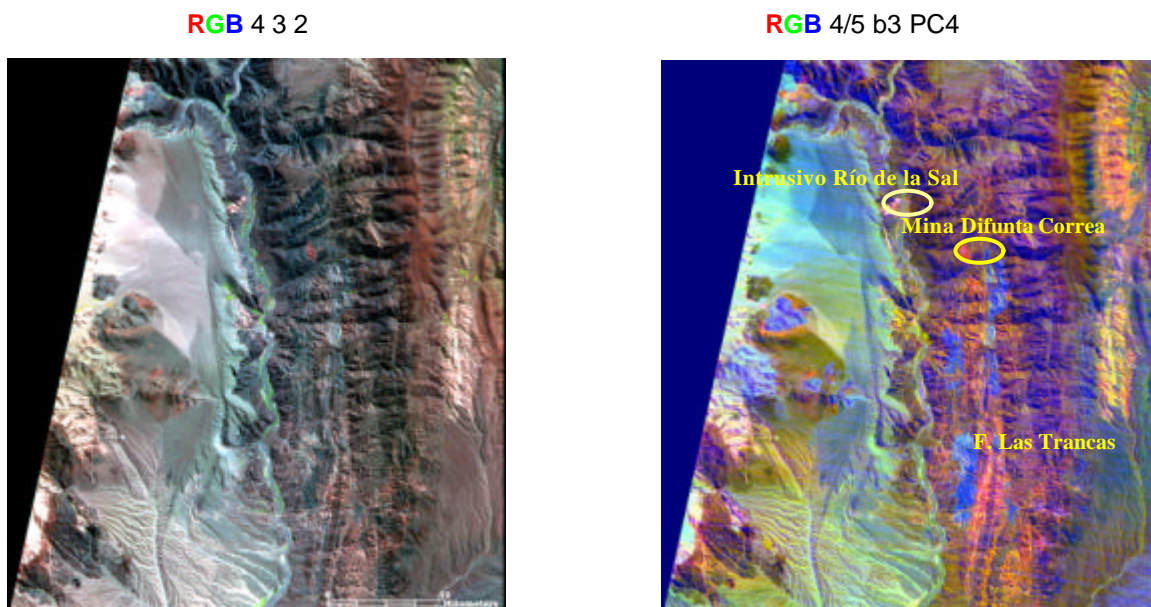


Figura 5. Precordillera, sector E de la Hoja Maliman: composición RGB 432 y composición RGB del cociente 4/5 del SWIR, la banda 3 del VNIR y el componente principal 4 de las bandas del TIR.

Formación La Ollita

La identificación de la Formación La Ollita es sumamente importante para poder localizar las capas de despegue estructural, ya que la misma está compuesta por bancos de yeso que facilitan los corrimientos. Para la detección de yeso se analizaron los cocientes de bandas 4/5 y 7/5 de ASTER, como así también se realizó la clasificación de yeso teniendo en cuenta la respuesta espectral del mismo. En un cociente 4/5 varios minerales dan una alta respuesta espectral por ejemplo alunita, sericita, caolinita, montmorillonita e incluso yeso, por ello se analizó el cociente 7/5 en el cual el yeso no responde ya que su curva espectral es plana entre las bandas 5 y 7 de ASTER, mientras que el resto de los minerales mencionados dan un cociente mayor a 1. Los resultados se observan en la figura 6.

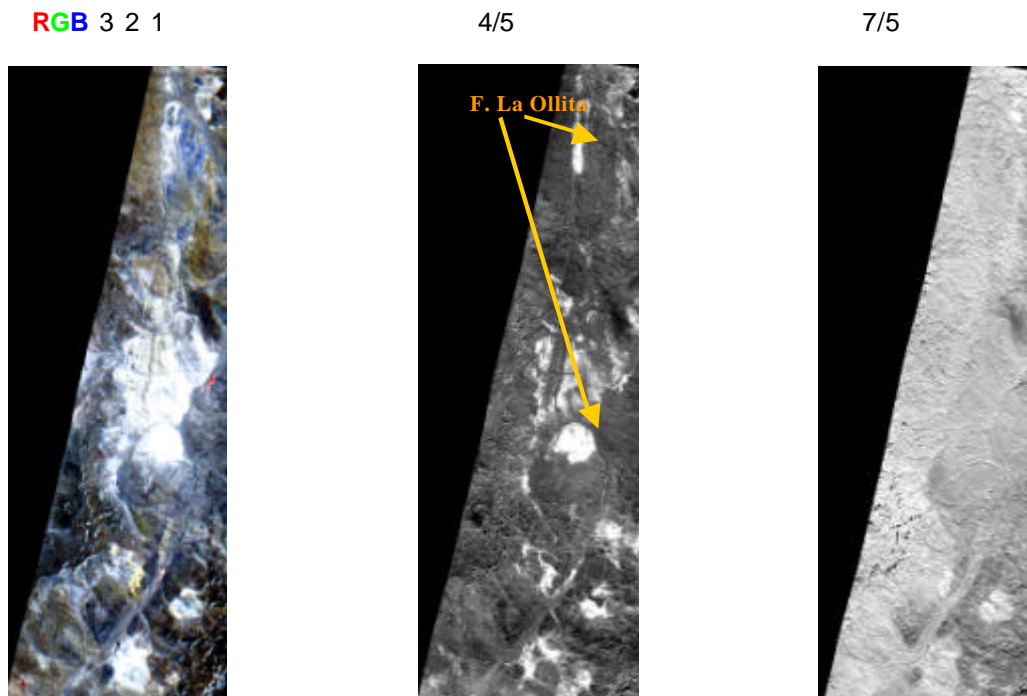


Figura 6. Sector oriental del Valle del Cura, centro de la Hoja Maliman: composición de datos VNIR RGB 321 y cocientes de bandas SWIR 4/5 y 7/5.

Valle del Cura

La mineralización epitermal del Valle del Cura es asociada al vulcanismo terciario de edad miocena de las formaciones Cerro las Tórtolas y Doña Ana. En la figura 7 se observan tres imágenes ASTER RGB 321, RGB 4 5 9 y RGB *decorrelation stretch* de las bandas 4, 5 y 9 respectivamente, en las que se destacan áreas de alteración hidrotermal, como Veladero Norte, Veladero Sur, La Ortiga, Guanaco Zonzo, Despoblados, entre otros. Es de suma utilidad detectar dichas áreas y sus minerales característicos para vincularlas con los yacimientos y así extrapolar la interpretación a otras áreas de interés para la prospección minera. En el área de Veladero Norte, se han clasificado varios minerales de alteración. En la figura 8 se ejemplifica la distribución de alunita clasificada con *spectral angle mapper*. Si bien aún no hay datos tomados en el terreno las clasificaciones se ajustan a lo descrito en la bibliografía disponible del área.

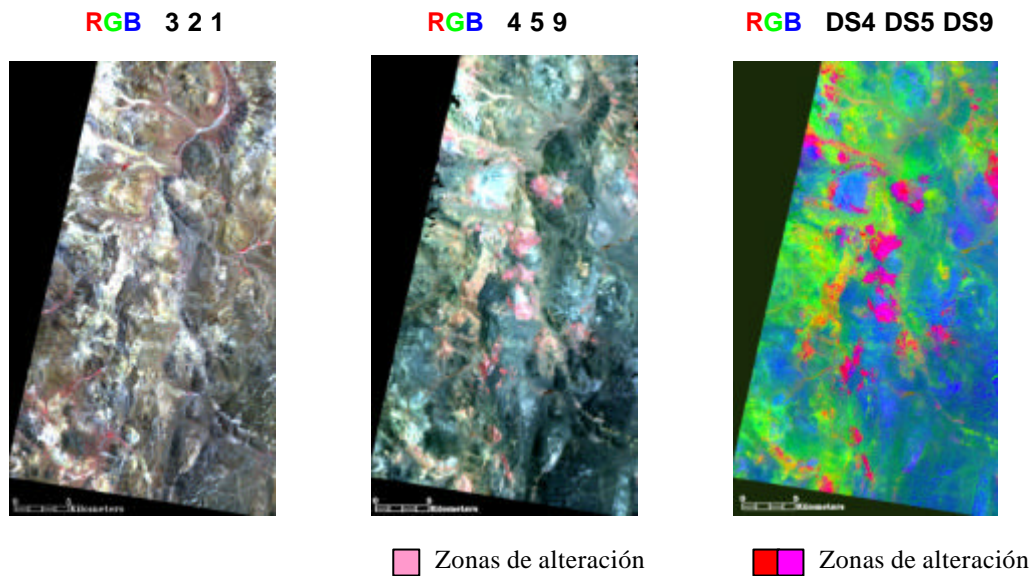


Figura 7. Valle del Cura occidental: composición RGB 321, 459 y 459 con *decorrelation stretch*.

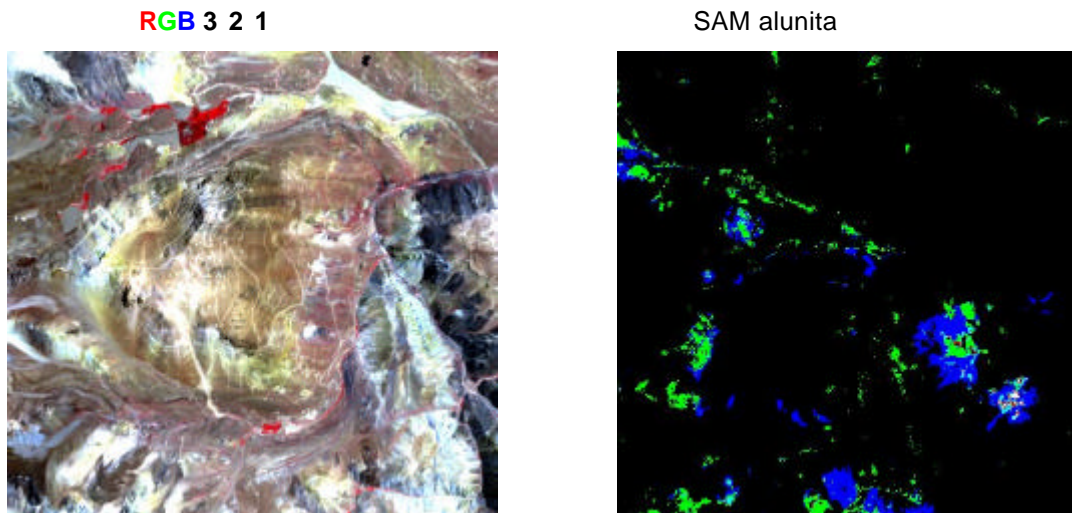


Figura 8. Veladero Norte: composición RGB 321 y mapeo espectral SAM de alunite

Modelos digitales del terreno

Se realizaron los modelos digitales del terreno de todas las escenas que cubren Hoja Maliman. Los mismos son confeccionados a partir de las bandas 3N (nadir) y 3B (backward) infrarrojo cercano del sistema VNIR de ASTER (Fujisada, 2001).

Los MDT o DEM (*digital elevation model*) son productos sistemáticos de ASTER, tienen un error de 50 metros en X e Y y de 15 metros en Z, validados hasta los 3000 metros de altura. Esta precisión se obtiene directamente de la geolocalización del satélite.

Estos productos son una herramienta imprescindible para aquellos lugares en los cuales no hay mapas topográficos, permitiendo generar vistas en tres dimensiones facilitando la comprensión de las geoformas, relaciones estratigráficas y estructurales, entre otros aspectos. En la figura 10 se muestra un MDT o DEM en escala de grises del sector sur de la cordillera del Colangüil, donde las máximas alturas están representadas en color blanco y la representación 3D de mismo sector mostrando las relaciones del granito Los Puentes.

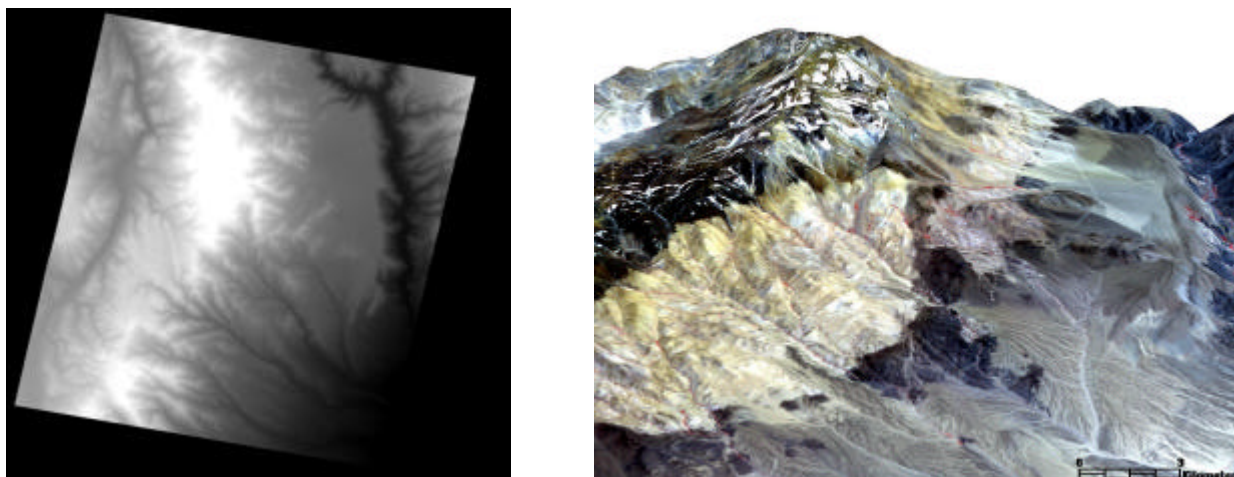


Figura 9. Modelo digital de terreno en escala de grises (alturas mayores en color blanco y las menores en negro), y vista tridimensional del plutón Los Puentes por fusión del MDT y la imagen ASTER RGB 321.

Conclusiones

Se ha realizado el preprocesamiento de un total de 25 imágenes ASTER con softwares desarrollados en Japón para la obtención de los modelos digitales del terreno y la ortorrectificación de las imágenes.

Fueron utilizadas 15 imágenes correspondientes al territorio argentino de la Hoja Malimán, para la confección de los mosaicos en el visible e infrarrojo cercano (VNIR), infrarrojo de onda corta (SWIR) e infrarrojo termal (TIR) útiles para la identificación de las distintas unidades geológicas.

Se presentaron los resultados de algunas de las áreas de interés seleccionadas como el Valle del Cura, el pórfido Vicuña en el batolito de Colangüil, la zona de Las Minitas, afloramientos de la Formación La Ollita y la parte este de la hoja geológica representada por la Precordillera sanjuanina. Estos resultados muestran que los datos ASTER son una herramienta importante para la identificación de áreas de alteración hidrotermal como también para el reconocimiento de diferentes unidades litológicas y sus relaciones estratigráficas.

Se realizaron combinaciones y cocientes de bandas, componentes principales y *decorrelation stretch* y clasificaciones de minerales típicos de alteración hidrotermal: caolinita, montmorillonita, sericita y alunita.

Los resultados mostrados corresponden a la primera etapa de trabajo, validada con informes previos.

En la siguiente etapa se hará la validación en campo y se realizarán mediciones espectrales con el espectroradiómetro GER 3700 (rango espectral entre 350 nm y 2500nm). Se recolectarán muestras de rocas para ser medidas en el laboratorio de GEOSAT-AR con el espectroradiómetro FTIR que abarca el área del infrarrojo termal. Todos los sitios de muestreo serán localizados con GPS diferencial.

Las mediciones obtenidas servirán para crear una base de datos espectrales propia de Malimán y se utilizará para realizar mapas de clasificación de rocas y minerales de alteración.

Agradecimientos

Los autores agradecen a SEGEMAR y JICA por permitir la realización y publicación del trabajo y a ERSDAC de Japón por la provisión de imágenes ASTER en el marco del ARO AP-0161.

Bibliografía

- Cardó, R., I. Díaz, S. Poma, V. Litvak, G. Santamaría y O. Limarino, 2001. Hoja Geológica 2969-III Malimán, Provincia de San Juan, a escala 1: 250.000. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Inf. Inédito: 65 pág., Buenos Aires.
- Fujisada H., 1998. ASTER Level – 1 Data Processing Algorithm. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 36, No. 4.
- Fujisada, 2001. ASTER stereo system performance. SPIE Proc. Vol. 4540.
- Jones J. P., R. D. Martínez, A.O. Vitaller, I.Chavez, M. M. Carrizo, M.G. La Motte y S. E. Riveros, 1999. El depósito epitermal aurífero Veladero, San Juan. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales 35: 1673-1648, Buenos Aires.
- Sato A. M., E. J. Llambías, S. E. Shaw y C. E. Castro, 1990. El batolito de Colangüil: modelo del magmatismo neopaleozoico de la provincia de San Juan. Relatorio de Geología y Recursos Naturales de la Provincia de San Juan, 1: 100-122. San Juan.
- Yamaguchi, Y., A. B Kahle, H. Tsu, T. Kawakami y M. Pniel, 1998. Overview of Advance Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 36, No. 4.