ANÁLISIS ESPECTRAL DE DATOS ASTER DE LA REGIÓN DE GASTRE, CHUBUT, ARGENTINA: APLICACIÓN AL MAPEO DE ROCAS GRANÍTICAS

Cecilia Cabana[1*], Claudia Zaffarana[1,2], Darío Orts[1,2], Rubén Somoza[2,3]

[1] Universidad Nacional de Río Negro, Sede Alto Valle-Valle Medio. Av. Julio A. Roca 1242 General Roca (8332), Pcia. de Río Negro, Argentina. * mccabana@unrn.edu.ar

[2] Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

[3] Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados preliminares del procesamiento de datos ASTER del Batolito Patagónico Central, una suite de plutones calcoalcalinos aflorante en la región de Gastre, pcia de Chubut. Se encontró que cada unidad estudiada presenta un patrón espectral característico, el cual es reflejo de su composición mineralógica. Dicho patrón puede utilizarse para refinar el mapeo de las facies de granitos aflorantes.

ABSTRACT

Spectral analysis of ASTER spectral data from Gastre, Chubut, Argentina. This work presents preliminar results from ASTER data processing from calc-alkaline granites of the Gastre region, Chubut Province. Each unit has a special spectral sign which reflects its mineralogical composition. This characterization of the units is useful to refine geological mapping in the area.

PALABRAS CLAVE

ASTER, Análisis Espectral, Plutones, Mapeo geológico

KEYWORDS

ASTER, Spectral Analysis, Plutons, Geological Mapping

INTRODUCCIÓN

Este trabajo presenta los resultados preliminares del procesamiento de datos ASTER del Batolito Patagónico Central (BPC), aflorante en la región de Gastre, Pcia de Chubut (Figura 1). El BPC, en esta zona, está formado principalmente plutones de edad triásica tardía que contienen diferente contenido de sílice (Rapela et al. 1991, 1992; Zaffarana et al., 2014). Por otra parte, el BPC se encuentra generalmente fresco y la cubierta vegetal en la región es muy escasa. Es por todo esto que la región donde aflora el BPC es interesante para probar el poder del sensor ASTER para mapear sus diferentes unidades graníticas, así como para explorar la diferente respuesta que ellas presentan entre sí y con respecto a las rocas volcánicas y metamórficas que las circundan. El sensor ASTER, a bordo del satélite Terra y diseñado para el estudio de los recursos minerales terrestres, está conformado por tres susbistemas: 1. VNIR (*visible and near infrared*), 2. SWIR (*short wave infrared*), 3. TIR (*thermal infrared*), con resoluciones espaciales de 15 m, 30 m y 90 m respectivamente. Los minerales formadores de roca como el cuarzo y el feldespato se caracterizan por presentar patrones típicos de absorción en su firma espectral en el subsistema TIR y no así en los VNIR y SWIR. Esta sensibilidad a la estructura de los silicatos del subsistema TIR ha sido frecuentemente utilizada para refinar el mapeo geológico de rocas ígneas y metamórficas (Guha y Vinod Kumar 2016).

MARCO GEOLÓGICO

En el área de Gastre aflora el Batolito de la Patagonia Central (BPC) que es una suite de plutones calcoalcalinos tipo I del Triásico Tardío que se encuentran en el área de Gastre, en la región centro-norte de la Provincia de Chubut (Rapela et al. 1991, 1992; Zaffarana et al. 2014). El BPC está constituido por la Superunidad Gastre (edad de cristalización: 221-222 Ma y edad de

enfriamiento 213 Ma, Rapela et al. 1992, 2005, Zaffarana et al. 2014) y la Superunidad Lipetrén (edad de cristalización: 215 Ma, Lagorio et al. 2015). La Superunidad Gastre está compuesta por granodioritas equigranulares con biotita y hornblenda, granitos porfíricos con biotita y hornblenda, granitos equigranulares biotíticos y stocks y diques de composición diorítica a monzodiorítica. La Superunidad Lipetrén está compuesta por sieno y monzogranitos biotíticos equigranulares y por granodioritas biotíticas equigranulares (Granodiorita Horqueta, Rapela et al. 1991, 1992).

El BPC intruye a las rocas metamórficas de las formaciones Calcatapul (Proserpio 1978) y Cushamen (Volkheimer, 1964) y a rocas ígneas paleozoicas pertenecientes a un ciclo orogénico previo (Granito Yancamil, von Gosen y Loske, 2004). La Formación Calcatapul está constituída por metavolcanitas de composición básica a intermedia interestratificadas con metasedimentitas. Esta sucesión volcano sedimentaria está afectada por metamorfismo dinámico que define planos de foliación de actitud subvertical y rumbo NO-SE a NNO-SSE.

La Formación Cushamen está muy poco representada en la zona de estudio, y solamente se la reconoce por pequeños septos de tamaño decamétrico (Zaffarana et al. 2012) no siendo detectable a la resolución de estas imágenes.

El BPC está cubierto por la Formación Lonco Trapial (Proserpio, 1978) la cual está constituida predominantemente por lavas y brechas volcánicas de composición andesítica. Dicha formación también presenta ignimbritas y domos riolíticos e intercalaciones volcanosedimentarias (Proserpio 1978). En la región de Gastre la Formación Lonco Trapial tiene una edad de 185 ma (Zaffarana y Somoza 2012).

METODOLOGÍA

Se utilizó una imagen ASTER nivel L1T de acceso libre y gratuito en el servidor de la USGS (L1T_00311052003144123_20150501212749_4156, cortesía del Centro de Archivos Activos

Distribuidos (LP DAAC) de la NASA, Centro de Observación y Ciencia de Recursos Terrestres (EROS), Sioux Falls, Dakota del Sur, (https://lpdaac.usgs.gov/data_access/data_pool).

Las bandas del VNIR y del SWIR, se corrigieron a radiancia y las bandas del TIR a reflectancia. Se realizó un *layerstacking* de las bandas corregidas de los tres subsistemas (VNIR, SWIR y TIR) a 30 m de resolución espacial. Tomando como base la composición de las rocas presentes en la zona de estudio y sus respuestas espectrales en las diferentes porciones del espectro electromagnético (figura 2), se generaron las composiciones color compuesto RGB:321, RGB:431, RGB:461 y RGB:468, los índices (Figura 3) de Fe, de SI, OHI_a (Ninomiya, 2004) y MRI (Mafic-bearing rock index de Guha y Kumar, 2016) (Figura 4) y la composición de cocientes RGB: QRI-FRI-MRI (Guha y Kumar, 2016) (Figura 5).

RESULTADOS

Composiciones color (Figura 3, Cuadro 1): En la composición color RGB: 321 se observa que la Superunidad Lipetrén responde en color amarillo-anaranjado, la Superunidad Gastre se observa en azul grisáceo, la Formación Lonco Trapial en gris oscuro-azulado y la Formación Calcatapul en azul verdoso. En la composición color RGB: 431 la Superunidad Lipetrén se observa en color rosa - magenta, la Superunidad Gastre en violáceo-lila, la Fm Lonco Trapial en gris oscuro y la Fm Calcatapul en negro. En la composición color RGB: 461 la Superunidad Lipetrén se presenta en color amarillo verdoso, la Superunidad Gastre en verde azulado, la Fm Lonco Trapial en azul violáceo, y la Fm Calcatapul en violeta azulado. En la composición color RGB: 468 la Superunidad Lipetrén responde en color blanco-cian, la Superunidad Gastre en verde seco, las Formaciones Lonco Trapial y Calcatapul en azul.

Índices (Figura 4, Cuadro 2)**:** En el índice de Fe (Fe=b2/b1), la Superunidad Lipetrén se observa en tonos de gris claro, la Superunidad Gastre en tonos de gris intermedio, la Fm Lonco Trapial y la Fm Calcatapul en tonos de gris oscuro - negro. En el índice de Sílice (SI=b13/b12) la

Superunidad Lipetrén se observa en tonos de blanco y gris muy claro, la Superunidad Gastre en gris medio-claro, la Fm Lonco Trapial y la Fm Calcatapul se observan en tonos de gris claro e intermedio. En el índice MRI (MRI= (b12/b13)*(b14/b13)) la Superunidad Lipetrén se observa en tonos de gris, la Superunidad Gastre se observa en tonos de gris medio, la Fm Lonco Trapial en blanco y gris claro indicando el carácter máfico de estas rocas y la Fm Calcatapul en gris medio. En el índice OHI_a: (b4*b7) / (b6*b6), la Superunidad Lipetrén junto con las Formaciones Calcatapul y Lonco Trapial no presentan una respuesta destacable, se observan en tonos de gris intermedios y uniformes, mientras que la Superunidad Gastre es distinguible en tonos de gris medio a oscuro.

Composición RGB de cocientes (Figura 5, Cuadro 3)**:** En la composición de cocientes RGB: QRI-FRI-MRI, donde QRI:(b10/b12)*(b13/b12), FRI:(b10/b11)*(b12/b11) y MRI:(b12/b13)*(b14/b13) (Guja y Kumar 2016), la Superunidad Lipetrén se observa en colores rojos y amarillos. La Superunidad Gastre se observa en tonos azul, la Formación Lonco Trapial en colores azul y celeste indicando también respuesta en el índice MRI y la Formación Calcatapul en una mezcla de azules y naranjas (no se destaca).

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Cada unidad estudiada con datos ASTER presenta un patrón espectral característico, el cual es reflejo de su composición mineralógica. La **Superunidad Lipetrén** presenta una firma espectral característica con alta reflectancia en las bandas 3, 4, 6 y 8. La alta absorción en las bandas 1 y 2 se evidencia en los colores amarillos-anaranjados en la composición RGB: 321. Esto, junto al color claro que presenta el índice de Fe, sugiere la presencia de óxidos de Fe. La alta reflectancia en banda 4, característica de rocas félsicas (Figura 2), está dada por su color rosa-magenta en la composición RGB: 431. La alta reflectancia en la banda 6 (además de la banda 4), provoca el color amarillo verdoso de la composición RGB: 461. La composición RGB: 468 además evidencia que la Superunidad Lipetrén presenta alta reflectancia en la banda

8, dado su color blanco-cian en esa composición (ese color es debido a una alta reflectancia en las tres bandas, pero principalmente en las bandas 6 y 8). En el subsistema TIR, la Superunidad Lipetrén se destaca en el índice MRI, observándose en tonos de gris oscuro, lo cual es coherente con el hecho de tratarse de rocas graníticas félsicas. En el SI la Superunidad Lipetrén se observa en tonos de blanco y gris muy claro, indicando la presencia de sílice en su composición.

La **Superunidad Gastre**, en cambio, presenta una firma espectral distinta, con alta reflectancia en las bandas 1 y 6, y absorción en las bandas 4 y 8. La alta reflectancia en la banda 1 se evidencia por el color azul grisáceo en la composición RGB: 321 y la alta respuesta en la banda 6 y la absorción en las bandas 4 y 8 se evidencian en el color verde seco en la composición RGB: 468, en los colores violeta y lila en la composición RGB: 431 y por el color verde azulado en la composición RGB: 461. La reflectancia en la banda 1 se destaca más en la signatura espectral de las rocas ígneas intermedias a máficas que en las rocas félsicas (Figura 2), al igual que la alta reflectancia en la banda 6, que es más típica de rocas ricas en biotita y hornblenda. En el índice de Fe la Superunidad Gastre se observa en gris intermedio, sugiriendo que las rocas de esta superunidad poseen un contenido moderado de hierro en forma de óxido. Con respecto a los índices elaborados con el subsistema TIR, La Superunidad Gastre se diferencia de la Superunidad Lipetrén por su color más oscuro en el índice SI y más claro en el índice MI (gris medio-claro en el índice SI y gris medio en el índice MI), evidenciando su menor contenido de sílice. En el índice OHI_a la Superuniad Gastre es la única unidad que se destaca, dando colores gris medio a oscuro, más oscuro que el resto de las unidades.

Con respecto a la diferenciación de rocas graníticas con diferente contenido de sílice, cabe destacar que la composición RGB de índices QRI-FRI-MRI de Guha y Vinod Kumar (2016) resultó útil para diferenciarlos. La Superunidad Lipetrén, por su mayor contenido de cuarzo y feldespato, se destaca en colores rojos y amarillos, indicando una alta respuesta en los índices QRI y FRI (que permiten identificar la presencia de estos minerales), mientras que el mayor

contenido de hierro de la Superunidad Gastre la hace responder en tonos azules. Otra forma interesante de diferenciar los diferentes tipos de granitos tiene que ver con la utilización de su respuesta contrastante en las bandas 4 y 8 del subsistema SWIR, ya que en esas bandas los granitos félsicos de la Superunidad Lipetrén presentan alta respuesta, mientras que allí las rocas más máficas de la Superunidad Gastre presentan picos de absorción.

La **Formación Lonco Trapial,** por su parte, presenta alta respuesta en la banda 1, lo que se ve por su tono de gris oscuro-azulado en la composición RGB: 321. También tiene alta respuesta en la banda 4 (además de la banda 1) por los tonos gris oscuro en la composición RGB: 431 y azul violáceo en la RGB: 461. Además, esta formación tiene alta reflectancia en las bandas 6 y 8, dado por su color azul verdoso en la RGB: 468. Las volcanitas de la Formación Lonco Trapial se ven oscuras en el índice de Fe, pero claras en el índice MRI, sugiriendo que tiene un alto contenido de hierro pero que no se encuentra en forma de óxido. En el índice SI presenta tonos gris claro a intermedio que están indicando una moderada presencia de sílice.

Las metavolcanitas y metasedimentitas de la **Formación Calcatapul** presentan alta respuesta en bandas 1 y 2, dado su color azul verdoso en la composición RGB: 321. Además, presentan alta respuesta en la banda 4 (además de la banda 1) dado su color negro en la composición RGB: 431 y su color violeta azulado en la composición RGB: 461. La Formación Calcatapul presenta, además, un pico de reflectancia en la banda 8, por su color azul en la RGB: 468. En el índice Fe se observa en color gris oscuro – negro, evidenciando un bajo contenido de óxido de hierro. Por último, tanto el índice SI en tonos de gris claro e intermedio, como el MRI en color gris intermedio están indicando una moderada presencia de sílice en esta unidad.

Al momento del presente trabajo se está trabajando en la discriminación de las superunidades dentro de afloramientos mapeados como granitos no diferenciados de la Figura 1, teniendo en la respuesta espectral de las diferentes unidades aquí determinadas, y al mismo tiempo poder ajustar los límites entre ellas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los proyectos ANPCYT PICT REDES 283 (2004-2007), CONICET PIP 5658 (2005-2008), UBACYT X220 (2007-2010) y CONICET PIP 112-200801-02828 (2009-2011).

LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Guha, A., y Vinod Kumar, K., 2016. New ASTER derived thermal indices to delineate mineralogy of different granitoids of an Archaean Craton and analysis of their potentials with reference to Ninomiya's indices for delineating quartz and mafic minerals of granitoids-Ananalysis in Dharwar Craton. Ore Geology Reviews 74: 76–87.

Lagorio, S., Busteros, A., Silva, D. y Giacosa, R., 2015. Nuevas edades U-Pb SHRIMP en granitoides del Batolito de la Patagonia Central, Gastre, Provincia del Chubut (República Argentina). XIV Congreso Geológico Chileno, Actas: 874–877, La Serena.

Ninomiya Yoshiki, 2004. Lithologic mapping with multispectral ASTER TIR and SWIR data. Geological Survey of Japan, AIST.

Proserpio, C.A., 1978. Descripción Geológica de la Hoja 42d, Gastre, Provincia del Chubut: Secretaría del Estado de Minería, Ministerio de Economía, Boletín Nº 159, 1-75.

Rapela, C.W., Pankhurst y R.J., Harrison, S.M., 1992. Triassic "Gondwana" granites of the Gastre district, North Patagonian Massif. Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Earth Sciences, 83: 291–304.

Rapela, C.W., Dias, G.F., Franzese, J.R., Alonso, G.A. y Benvenuto, A.R., 1991. El Batolito de la Patagonia Central: evidencias de un magmatismo triásico-jurásico asociado a fallas transcurrentes. Revista Geológica de Chile 18: 121–138.

von Gosen, W. y Loske, W., 2004. Tectonic history of the Calcatapul Formation, Chubut province, Argentina, and the "Gastre fault system". Journal of South American Earth Sciences, 18: 73–88.

Zaffarana, C.B., Montenegro, T. y Somoza, R., 2012. The host rock of the Central Patagonian Batholith in Gastre: further insights on the Late Triassic to Early Jurassic deformation in the region. Revista de la Asociación Geológica Argentina 69: 106-126.

Zaffarana, C. B. y Somoza, R., 2012. Paleomagnetism and 40Ar/39Ar dating from Lower Jurassic rocks in Gastre, central Patagonia: further data to explore tectonomagmatic events associated to Gondwana breakup. Journal of the Geological Society of London 169: 371-379.

Zaffarana, C.B., Somoza, R., y López de Luchi, M., 2014. The Late Triassic Central Patagonian Batholith: Magma hybridization, 40Ar/39Ar ages and thermobarometry: Journal of South American Earth Sciences 55: 94–122.

LEYENDAS DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación

Figura 2: Respuestas espectrales en las diferentes porciones del espectro electromagnético (firmas espectrales) de las rocas presentes en la zona de estudio en modo continuo del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) mostrando dónde caen las bandas ASTER.

Figura 3: Composiciones color compuesto RGB: 321, RGB: 431, RGB: 461 y RGB: 468 del BCP en la zona de Gastre.

Figura 4: Índices de Fe, SI, MRI (Guha y Kumar, 2016) y OHI_a (Ninomiya, 2005) del BCP en la zona de estudio.

Figura 5: Composición de cocientes RGB: QRI-FRI-MRI (Guha y Kumar, 2016).

Cuadro 1: Respuesta espectral de las unidades aflorantes del BPC en la zona de Gastre según las composiciones RGB 321, 431, 461 y 468

Cuadro 2: Respuesta espectral de las unidades aflorantes del BPC en la zona de Gastre según los indices de Fe, SI, MRI y OHI_a (Ninomiya, 2005).

Cuadro 3: Respuesta espectral de las unidades aflorantes del BPC en la zona de Gastre segun las composiciones de cocientes RGB: QRI-FRI-MRI (Guha y Kumar, 2016).

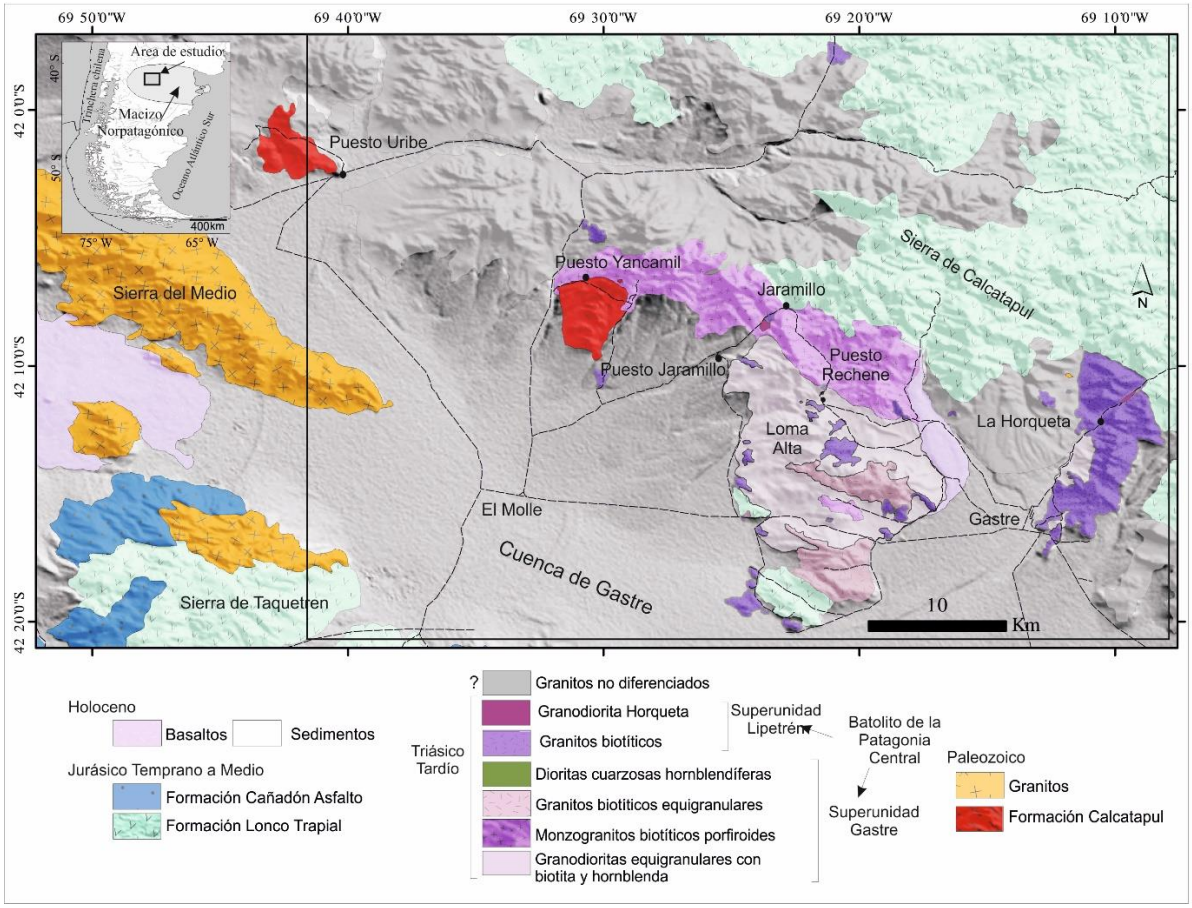

Figura 1

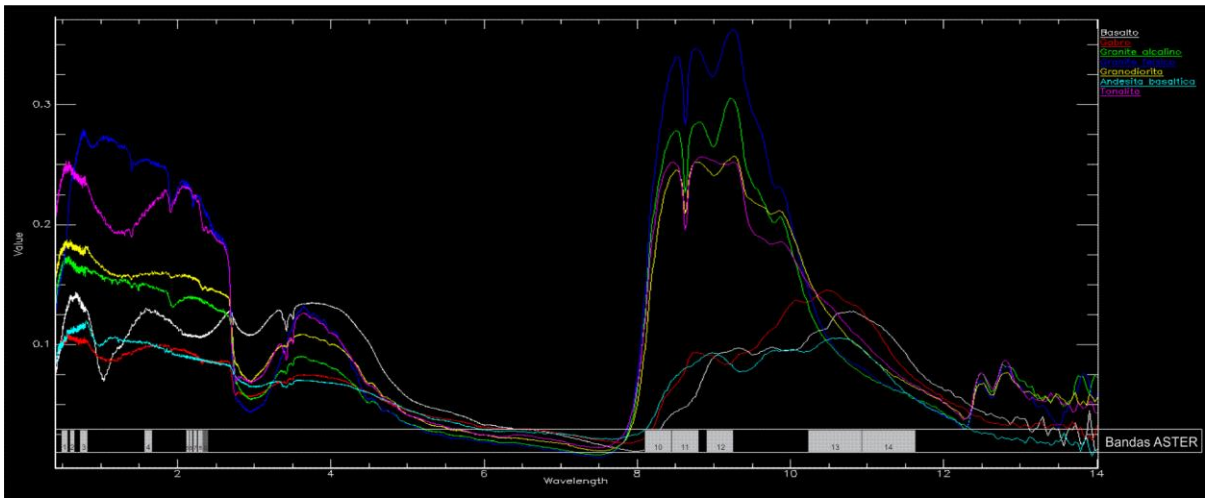

Figura 2

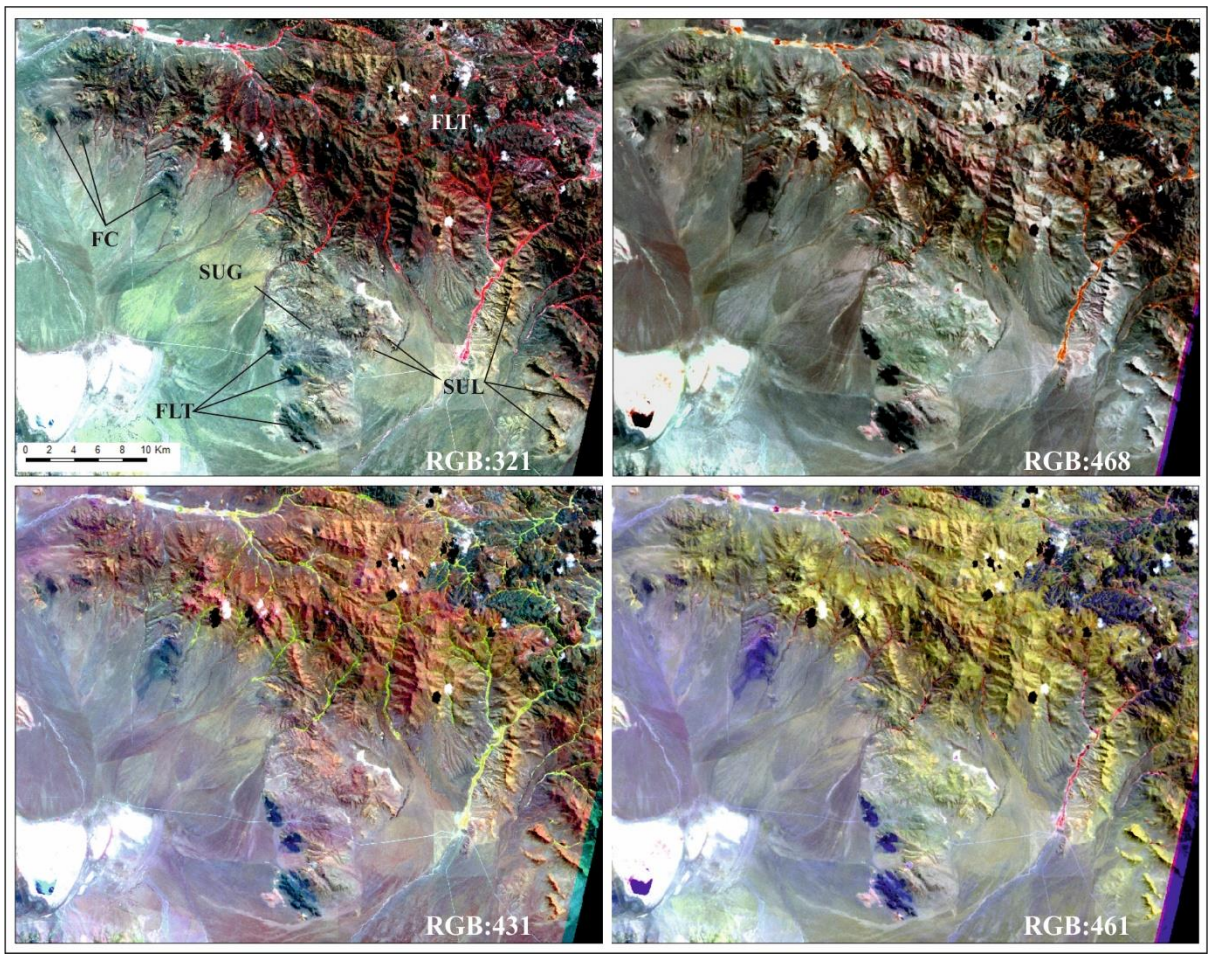

Figura 3

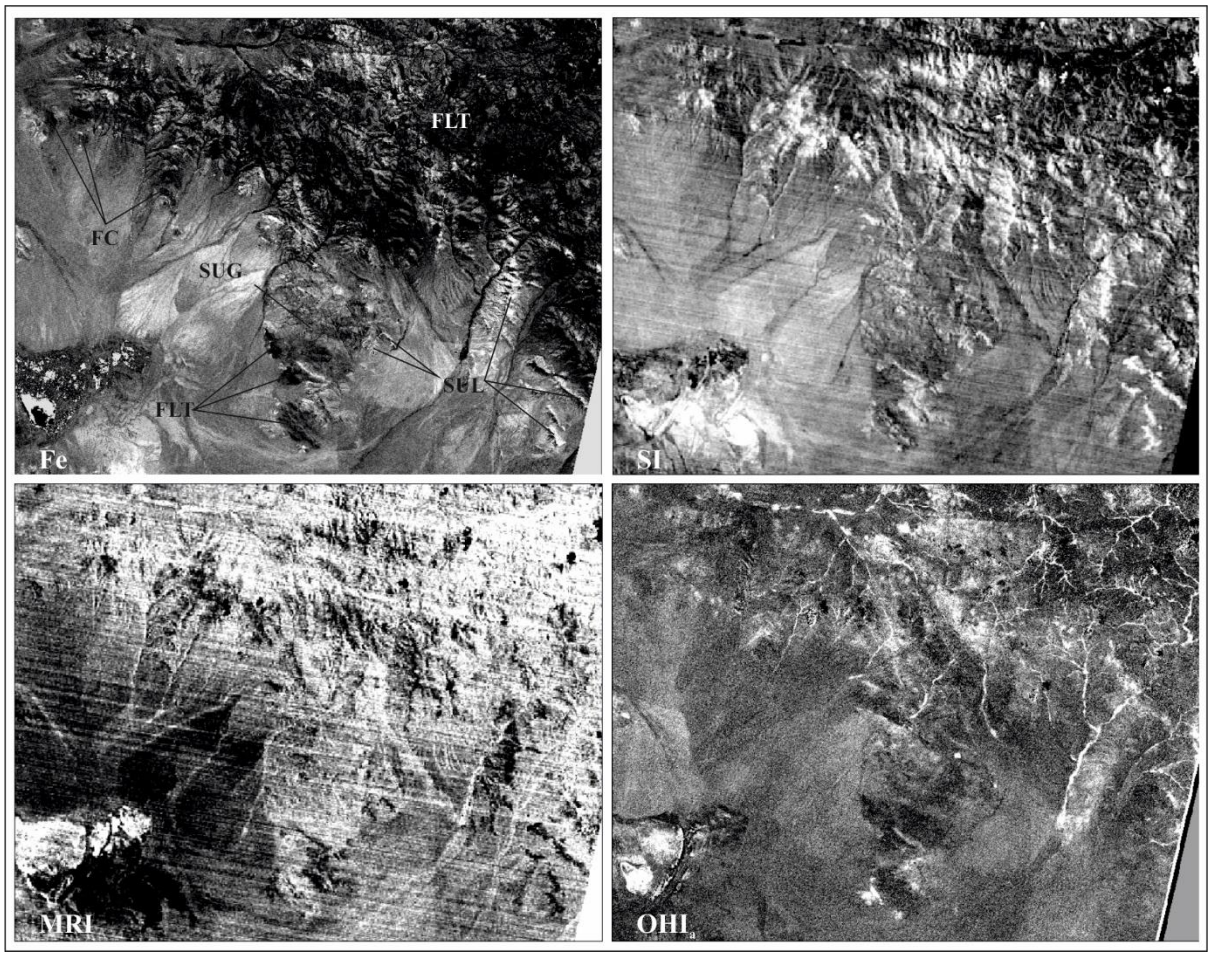
FLT
FC
SUG
SUL
FLT
Fe
SI
MRI
OHI

Figura 4

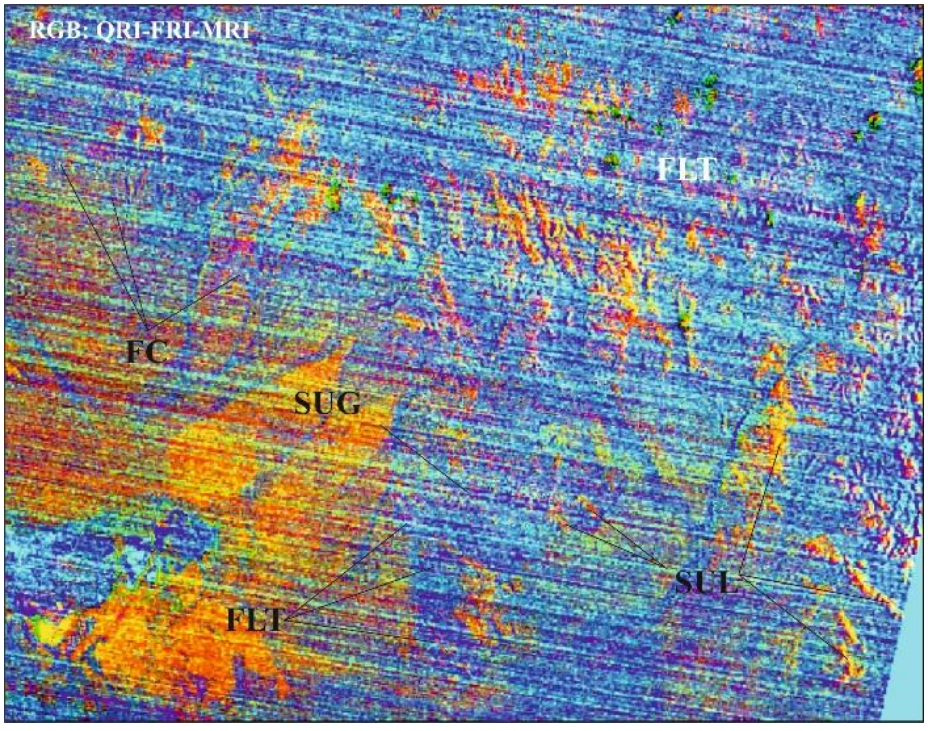
RGB: QRI-FRI-MRI
FLT
FC
SUG
SUL
FLT

Figura 5

Unidad formacional	Litología	Respuesta espectral			
		RGB 321	RGB 431	RGB 461	RGB 468
SU Lipetrén Félsico	Granitos y pórfidos graníticos con Bt, Qz y FK>Pl.	Amarillo anaranjado	Rosa - magenta	Amarillo verdoso	Blanco-Cian
SU Gastre Mafico	Granodioritas y granitos con Hb y Bt, Pl> FK y Qz	Azul grisáceo (acero)	Violáceo-lila	Verde azulado	Verde seco (apagado)
Fm Lonco Trapial	Andesitas c/fenos de Plg y Hb, Dacitas c/fenos de Qz, Plg. Hb y Bt. Menor prop. de domos e ignim. riolíticas.	Gris oscuro-azulado	Gris oscuro	Azul violáceo	Azul verdoso
Fm Calcatapul	Metavolcanitas basálticas y metasedimentitas.	Azul verdoso	Negro	Violeta azulado	Azul

Cuadro 1

Unidad formacional	Respuesta espectral			
	Fe b2/b1	SI b13/b12	MRI (b12/b13)*(b14/b13)	OHI_a (b4*b7)/(b6*b6)
SU Lipetrén	Tonos claros (highemissivity in B1 and highabsortion in b1)	Blanco y gris muy claro	Gris oscuro	No se destaca, grises intermedios uniformes
SU Gastre	Tonos de gris intermedios (Radiancia e/ 0.945-0.975)	Gris medio (más claro que en Fe)	Gris medio	Gris medio a oscuro
Fm Lonco Trapial	Gris oscuro - negro	Gris claro e intermedio	Blanco y gris claro	No se destaca, grises intermedios uniformes
Fm Calcatapul	Gris oscuro - negro	Gris claro e intermedio	Gris medio	No se destaca, grises intermedios uniformes

Cuadro 2

Unidad formacional	Respuesta espectral
	RGB: QRI-FRI-MRI QRI:(b10/b12)*(b13/b12), FRI:(b10/b11)*(b12/b11) y MRI:(b12/b13)*(b14/b13)
SU Lipetrén	Rojos y amarillos (alta respuesta en QRI y FRI, al cuarzo y al feldespato. En realidad el QRI da mejor que el FRI, cuando se ven los índices por separado. El MRI da en negro donde el cuarzo da en blanco).

SU Gastre	Tonos de azul (responde la hornblenda y la biotita)
Fm Lonco Trapial	Azul y celeste
Fm Calcatapul	No da una respuesta definida, se observa una mezcla de azules y naranjas

Cuadro 3