

Mapeo geológico con datos ASTER y ETM en Sierra de Umango (29°00'S) Sierras Pampeanas Occidentales, provincia de La Rioja, Argentina

Daniel José Pérez ¹,
Diego Fernando Ducart ²
Alvaro Penteado Crósta ²

¹Laboratorio de Tectónica Andina, Universidad de Buenos Aires,
Ciudad Universitaria, Pabellón II (1428), Buenos Aires, Argentina;
daniel@gl.fcen.uba.ar

²Instituto de Geociencias, Universidad de Campinas,
PO Box 6152, Campinas, SP, Brasil

Abstract. The study region is located at 29°00' LS and 68°34' LW in the Sierras Pampeanas of La Rioja Province, Argentina. The stratigraphy is composed of a Precambrian metamorphic basement, Paleozoic, mesozoic and cenozoic rocks, and form the Umango Complex. Digital image processing techniques were used with Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) and Enhanced Thematic Mapper (ETM) data to enhance lithologies and to make a geological map. ASTER and ETM imagery was combined into a geographic information system; and was integrated in order to establish the relationship with a geological and structural map. The ASTER and ETM imagery of Sierra de Umango shows that several important lithological groups can be mapped in well exposed areas by using several spectral-matching techniques. Granites, amphibolites and marbles were distinguished in the Umango Complex.

Palabras-chave: Aster; Remote Sensing; Geologic Mapping; Umango, Sierras Pampeanas, Aster, sensoriamiento remoto, mapeo geológico, Umango, Sierras Pampeanas.

1. Introducción

El sensor ASTER a bordo del satélite TERRA presenta una órbita heliosincrónica a una distancia de 705 kilómetros, con un ciclo de repetición de 16 días, un ancho de barrido de 60 kilómetros y una distancia entre orbitas de 172 Km. ASTER esta compuesto por 3 subsistemas: visible e infrarrojo cercano (VNIR), infrarrojo de onda corta (SWIR), y infrarrojo térmico (TIR). El VNIR consta de 3 bandas con una resolución espacial de 15 metros: el SWIR con 6 bandas con una resolución espacial de 30 metros; y 5 bandas en el TIR con una resolución espacial de 90 metros (ERSDAC, 2001). También presenta un telescopio con visual hacia atrás que escanea en la región espectral de la banda 3B, lo que permite realizar modelos digitales de terreno (MDT) por pares estereoscópicos (**Tabla 1**). Por su parte el sistema Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper-Plus (ETM+) posee las bandas 1-5 y 7 en el VNIR y SWIR con 28.5 metros de resolución, una band (b6) en el TIR con una resolución de 60 metros, y una banda pancromática con 15 metros de resolución (**Tabla 1**).

El área de estudio se localiza en el sector noroccidental de las Sierras Pampeanas Occidentales, límite con la provincia geológica de Precordillera (29°LS), provincia de La Rioja, Argentina (**Figura 1**). La región presenta un clima árido con poca cobertura vegetal y suelos poco desarrollados, permitiendo que las rocas y minerales tengan su composición química original preservada y bien expuesta en superficie, lo cual no siempre ocurre en otras regiones.

Geológicamente, la Sierra de Umango junto con las Sierras de Maz, Espinal, Las Ramaditas forma parte de Sierras Pampeanas Occidentales en la provincia de La Rioja, y corresponde a las exposiciones de basamento ígneo-metamórfico mas noroccidentales del terreno compuesto de Cuyania (Ramos, 2004). El mismo se extiende aproximadamente por 1.000 km a lo largo del margen Este de la Cordillera de los Andes, incluyendo las provincias geológicas de Precordillera, Sierras Pampeadas Occidentales y los bloques de Las Mahuidas y

San Rafael (Ramos, 2004). El límite Oeste del terreno está definido por ofiolitas ordovícicas con afinidades oceánicas, separándolo del terreno Chilena (Ramos, 2004), mientras que el límite Este coincide con el lineamiento Desaguadero-Valle Fértil-Bermejo, separándolo del terreno de Pampia (Ramos, 2004). La identificación de diferentes litologías mediante datos ASTER es parte de un proyecto multidisciplinario focalizado en la localización y caracterización del límite noroeste del terreno compuesto de Cuyania; el cual junto con su sutura, no están aún bien conocidos y definidos. Asumiendo que el límite se encuentra en algún lugar de las sierras de Umango, Maz y Espinal (**Figura 2**), los datos ASTER fueron utilizados para identificar y mapear diferentes litologías características de la región.

Tabla 1. Características de los sensores ASTER y ETM para las bandas y subsistemas.

Sensor	Subsistema	Banda No.	Rango Espectral μm (micrometro)	Resolución Especial	Resolución Radiométrica
ASTER	VNIR	1	0.52 - 0.60	15 m	8 bits
		2	0.63 - 0.69		
		3N	0.78 - 0.86		
		3B	0.78 - 0.86		
	SWIR	4	1.600 - 1.700	30 m	8 bits
		5	2.145 - 2.185		
		6	2.185 - 2.225		
		7	2.235 - 2.285		
		8	2.295 - 2.365		
		9	2.360 - 2.430		
	TIR	10	8.125 - 8.475	90 m	12 bits
		11	8.475 - 8.825		
		12	8.925 - 9.275		
		13	10.25 - 10.95		
14		10.95 - 11.65			
ETM	VNIR	1 (Blue)	0.45-0.52 μm	28.5 m	8 bits
		2 (Green)	0.53-0.61 μm		
		3 (Red)	0.63-0.69 μm		
		4 (Near IR)	0.78-0.90 μm		
	SWIR	5 (Middle IR)	1.55-1.75 μm	28.5 m	8 bits
		7 (Middle IR)	2.09-2.35 μm		
	TIR	6 (Thermal IR)	10.4-12.5 μm	60 m	8 bits
	Pan	8 (Panchromatic)	0.52-0.90 μm	15 m	8 bits

2. Geología

En la Sierra de Umango, dentro de sector estudiado (**Figura 2**), se reconoce el Ortogneis Juchi (Varela et al. 1996), en parte coincidente con el Complejo Umango (Vujovich et al. 2001) y la Metamorfita Tambillo (Varela et al. 2003a). Además se reconocieron cuerpos intrusivos de composición intermedia a ácida de edad paleozoica (Cingolani et al. 1993; Varela et al. 1996, 2000, 2002); correspondientes a los Granitos Guandacolinos.

El Ortogneis Juchi (Varela et al., 1996) comprende gneises tonalíticos a graníticos y rocas máficas con metamorfismo en facies de granulita a eclogita. Esta unidad se correspondería con las meta-tonalitas, granodioritas y diques máficos y metagabros del Complejo Umango (Porcher et al. 2004; Vujovich et al. 2005). En el Cerro El Cordobés, un poco al sur del área de estudio, los meta-gabros son abundantes, presentan bandeo composicional y están intruidos por diques básicos (anfíbolitas homogéneas). En sectores se observa inyección cuarzo-feldespática y zonas de mezcla entre ambas unidades, las que son

atribuidas a deformación. Los gneises tonalítico-granodioríticos hasta graníticos presentan en general pasajes transicionales de un tipo de roca a otro, marcado principalmente por la mayor o menor abundancia de félsicos y máficos, así como el contenido en feldespatos y cuarzo. El anfíbol es hornblenda y la biotita muestra proporciones variables. El granate es bastante común.

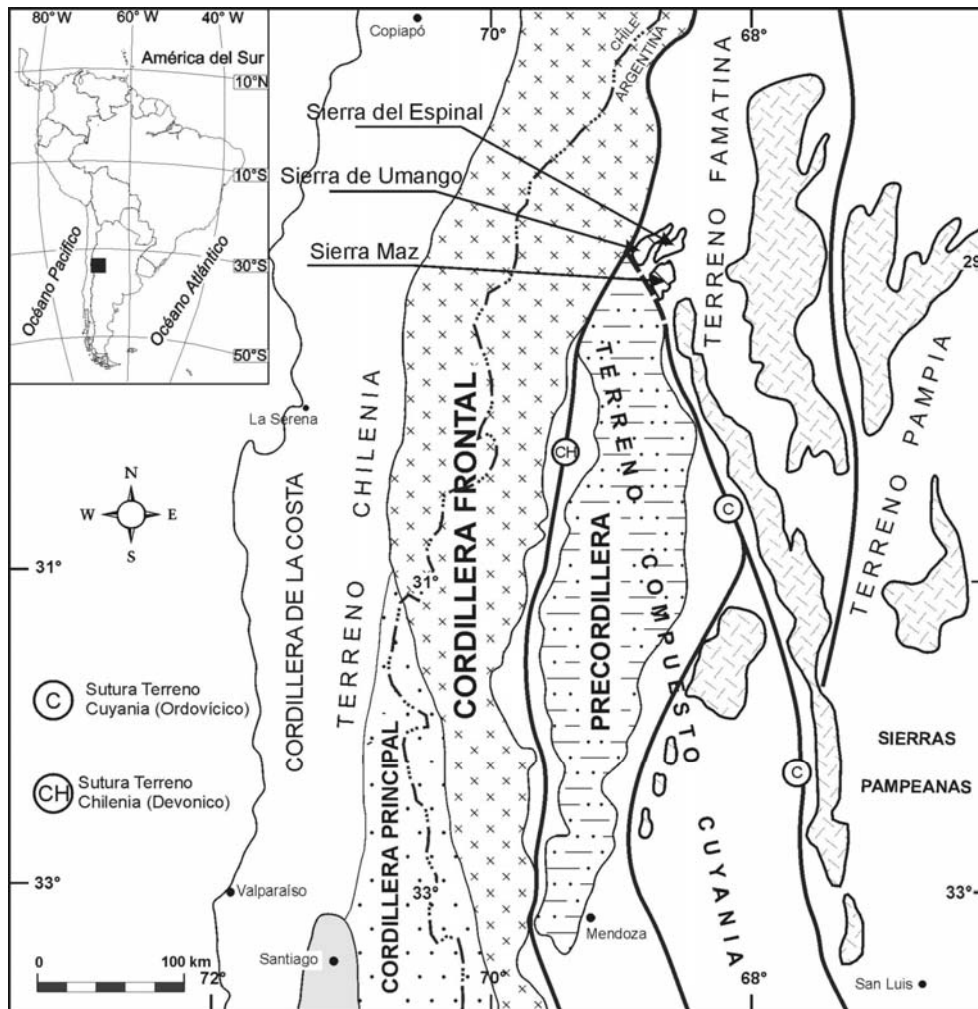


Figura 1: ubicación de la region de estudio con las provincias geológicas y límites de los terrenos (Modozis & Kay, 1992; Ramos et al. 1998; Ramos, 2004).

La Metamorfitita Tambillo reúne metasedimentos siliciclásticos y calcáreos, ortoanfibolitas, escasos gneises y pegmatitas que afloran en las Sierras de Cacho, Umango, Tambillito; fueron interpretadas como una plataforma neoproterozoica cubriendo el basamento cratónico mesoproterozoico (Varela et al. 2001, 2003a). En el sector centro-oriental de la sierra de Umango, Quebrada del Cordobés, muestran relaciones tectónicas, con el complejo ortogneisico de Umango (Vujovich et al. 2001; Fernandes et al. 2002). Dentro de los cuerpos intrusivos más importantes reconocidos en el área se encuentra el Granito El Peñón (Varela et al. 2000), el cual es un cuerpo granítico deformado que intruye a metasedimentos y anfibolitas de bajo grado (Metamorfitita Tambillo) en la Sierra de Umango y comprende ortogneises graníticos, pegmatoides graníticos y granodioríticos, y granodioritas deformadas. Se le asignó una edad de cristalización ordovícica media, 473 ± 17 Ma (U/Pb convencional en circones - Varela et al. 2003b), y una edad de metamorfismo y deformación de 469 ± 9 Ma (isocrona Rb/Sr roca total) con relación inicial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,7110 \pm 0,0002$ que afecta tanto a la caja como al granito (Varela et al. 2000).

Granito Los Guandacolinos: aflora en el flanco sudoccidental del Cerro Cacho y comprende granodioritas y monzogranito en parte deformados dúctilmente, y concordantes con la roca de caja metamórfica (Varela et al. 1996). Presenta bajas relaciones isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ iniciales ($0,7039 \pm 0,0003$) y una edad de 352 ± 14 Ma (isocrona Rb/Sr sobre roca total) interpretada como la edad de emplazamiento asociado a esfuerzos compresivos vinculados con la fase Chánica (Acádica) del ciclo Famatiniano (Varela et al. 1996).

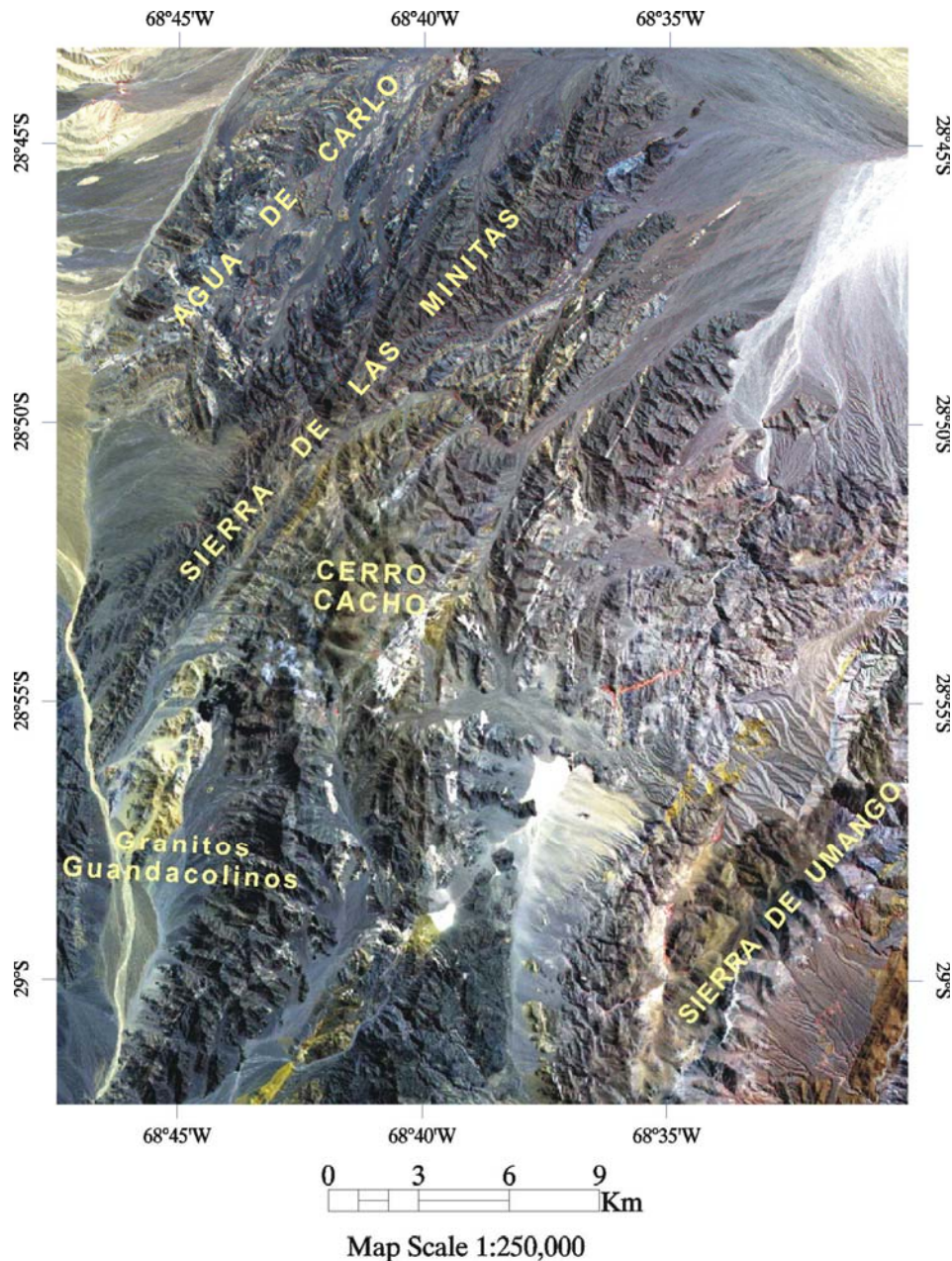


Figura 2. Ubicación del área de estudio, imagen ASTER 321 RGB.

3. Sensores Remotos, Procesamiento y metodología

En el presente trabajo se aplicaron técnicas de procesamiento de datos satelitales con la finalidad de mapear diferentes unidades geológicas en un sector, aun poco explorado. Se utilizaron imágenes ASTER L1B y ETM, a las cuales se le aplicó la corrección atmosférica. Luego se realizó un recorte (**Figura 2**) de la zona de interés y se realizaron los siguientes procesamientos: combinación de bandas RGB, cocientes de banda, y clasificación espectral SAM.

a. Combinaciones de bandas

Se combinaron bandas a fin de realizar una primera interpretación fotogeológica de la región. Las combinaciones 321 y 631 (RGB-ASTER) permitieron identificar y correlacionar diferentes litologías con mapas preexistentes, además de brindar una primera identificación regional de posibles litologías a diferenciar (**Figuras 3 y 4**). Debido a que las respuestas espectrales de las rocas en muchos casos son similares, no siempre es posible discriminar litologías con interpretación fotogeológica a partir de composiciones coloridas.

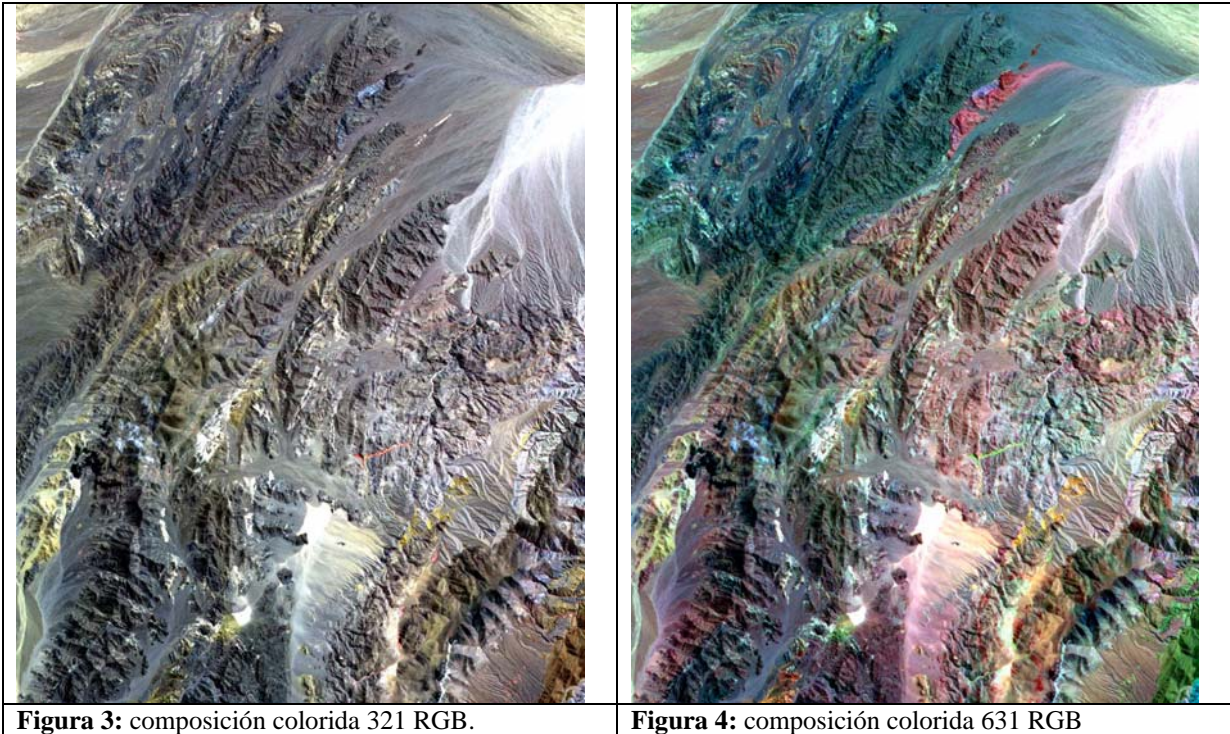


Figura 3: composición colorida 321 RGB.

Figura 4: composición colorida 631 RGB

b. Cocientes de bandas

Se utilizaron cocientes de bandas del SWIR para discriminar y diferenciar litologías ya que muchos minerales formadores de rocas ya sea sedimentarias o magmáticas, presentan picos de absorción y de reflectancia característicos en las regiones del espectro electromagnético (Sultan et al., 1987; Yamaguchi, 1987). La combinación del cociente 4/8 de datos ASTER permitió identificar rocas como mármoles y calizas en base a minerales como calcita y/o dolomitas (**Figura 5**). Esto permitió diferenciar las metamorfitas de Tambillos de las secuencias sedimentarias. También se aplicaron cocientes de bandas sobre los datos ETM: 5/7 (estima abundancia de minerales portadores de hidroxilo; 5/1 para contenidos de magnetita; y 5/4 x 3/4 para ver abundancia de minerales aluminosilicatos portadores de Fe (Sultan et al., 2003). Esta combinación permitió identificar y ampliar el área con rocas portadoras de pillow lavas ordovícicas (Fouque, 1999) (sector Agua de Carlo) y los sectores ultramáficos del Complejo de Umango (**Figura 6**).

c. Clasificación espectral de minerales de alteración con SAM

Se realizó la clasificación supervisada por el método *Spectral Angle Mapper* (SAM), el cual consiste en la determinación de similitud entre dos espectros, uno el del píxel de la imagen y otro el patrón espectral de referencia del mineral de interés (Kruse et al. 1993). El algoritmo determina la similitud espectral calculando el ángulo de mejor aproximación y considerando a ambos vectores. Esta técnica, cuando es utilizada con datos calibrados a reflectancia, es relativamente insensible a efectos de iluminación y albedo. Se utilizó una base de datos espectrales del Servicio Geológico de los Estados Unidos (speclib4).

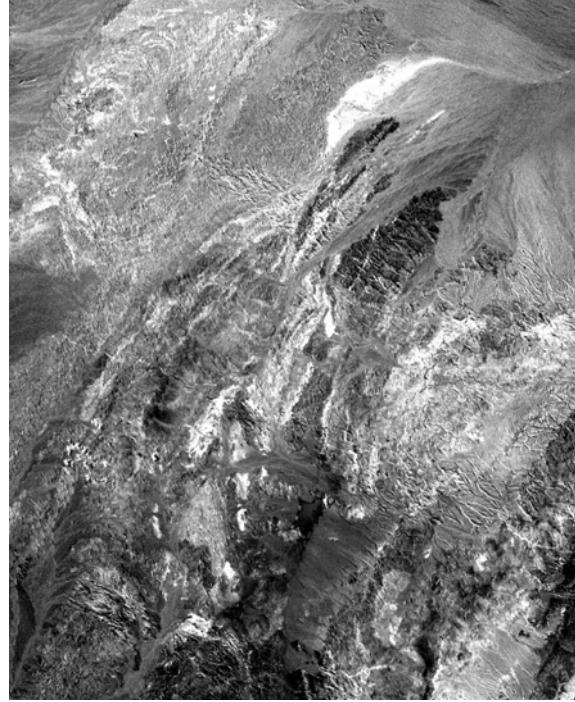


Figura 5: cociente 4/8, los valores de reflectanci más altos (blancos) corresponderian a calcita y/o dolomitas

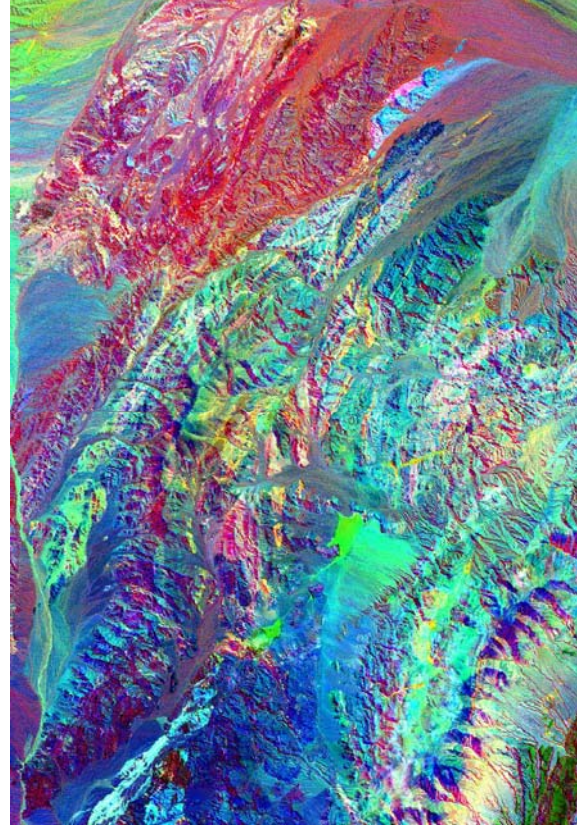


Figura 6: RGB 5/7, 5/1, 5/4x3/4, rocas ultramáficas en rojo; y rocas máficas en azul.

Por este método se pudo identificar calcita, dolomita, (**Figuras 7 y 8**). Este proceso permitió identificar minerales dentro de las regiones de la Sierra de Umango y diferenciarlos de la región de Agua de Carlo, la cual seria uno de los extremos más septentrionales del terreno compuesto de Cuyania.

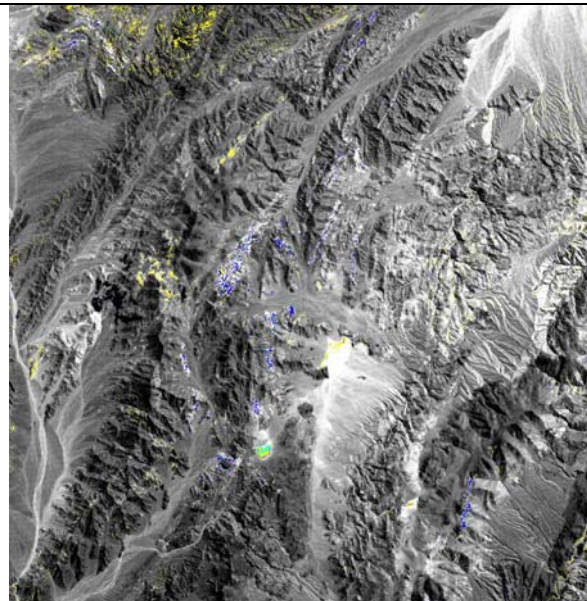


Figura 7: clasificación SAM. Calcita, dolomita.

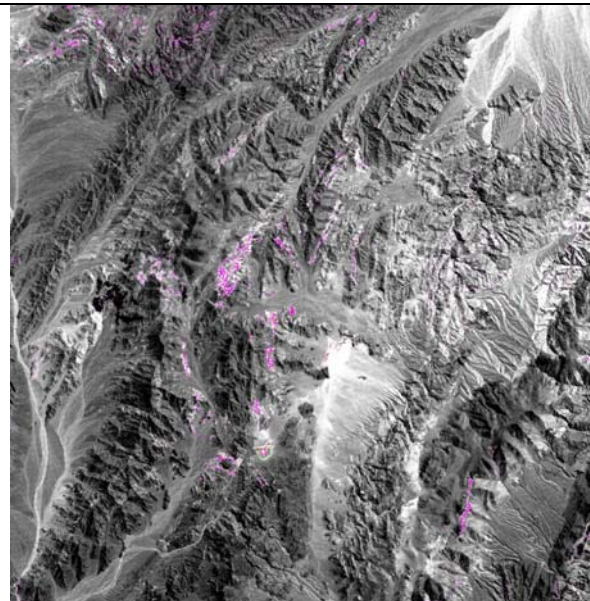


Figura 8: clasificación SAM: calcita, dolomita.

4. Conclusiones

- a. Se procesaron imágenes de datos ASTER L1B y ETM, los cuales fueron corregidos a reflectancia.
- b. Se identificaron y diferenciaron minerales y litologías en la región de la Sierra de Umango, Agua de Carlo y Las Minitas.
- c. Las combinaciones de color RGB, dieron una primera separación en litologías y en grandes sectores como Sierra de Umango y Agua de Carlo.
- d. Los cocientes de Bandas diferenciaron calcita y dolomita permitiendo identificar mármoles y calizas en la región de Umango.
- e. La clasificación SAM permitió diferenciar calcita, y dolomita, lo cual llevó a interpretar y posteriormente identificar mármoles, calizas y dolomitas.
- f. En base al conocimiento de estas litologías y la información disponible, el extremo más septentrional de la región de estudio podría corresponder al extremo norte del terreno compuesto de Cuyania. Por su parte el sector de la sierra de Umango podría corresponder al extremo noroeste de Sierras Pampeanas Occidentales.

Agradecimiento

Los autores desean agradecer a la Universidad de Buenos Aires y el Instituto de Geociencias de la Universidad de Campinas. Al SEGEMAR por el apoyo y financiación en los trabajos de campo. Trabajo financiado en parte por UBACYT-X160.

7. Referencias

- Cingolani, C.A., Varela, R., Dalla Salda, L. y Kawashita, K., 1993. Los granitoides del cerro Veladero, río de La Troya, provincia de La Rioja: estudio geocronológico e implicancias tectónicas. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 4: 68-74.
- Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., Boardman, J. B., Heidebrecht, K. B., Shapiro, A. T., Barloon, P. J., and Goetz, A. F. H., (1993), "The Spectral Image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging spectrometer Data". *Remote Sensing of the Environment*, v. 44, p. 145 - 163.
- Fernandes, L.A.D., Porcher, C.C., Vujovich, G.I., Silva, A.M.O., Escosteguy, L.D., Fauqué, L. y Morales, L.F.G., 2002. Geología estructural e termobarometría dos gnaisses das Serras Pampeanas do NW e suas implicações na evolução tectônica da Precordilheira argentina. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 188-192.
- Fauqué, L., Limarino, O., Cingolani, C., Varela, R., 1999. Los movimientos intracarboníferos en la Precordillera riojana. 14° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 421-424.
- Mpodozis, C. y S.M.Kay, 1992. Late Paleozoic to Triassic evolution of the Gondwana margin: Evidence from Chilean Frontal Cordillera batholiths (28°S to 31°S). *Geological Society of America, Bulletin* 104: 999-1014, Boulder.
- Porcher, C.C., Fernandes, L.A.D., Vujovich, G.I. y Chernicoff, C.J., 2004. Thermobarometry, Sm/Nd ages and geophysical evidence for the location of the suture zone between Cuyania and Pampean terranes. *Gondwana Research*, 7(4): 1009-1026.
- Ramos, V.A., 2004. Cuyania, an Exotic Block to Gondwana: Review of a Historical Success and the Present Problems. *Gondwana Research*, 7(4): 1057-1076.
- Ramos V.A., Dallmeyer, D. y Vujovich, G.I., 1998. Ar/Ar constraints in the age of deformation of the Pie de Palo basement: Implications for the docking of Precordillera and Chilenia. En: Pankhurst, R.J. y Rapela, C.W. (Eds.) *The Proto-Andean Margin of Gondwana*. Geological Society of London, Special Publication 142: 143-158.
- Sultan, M., Arvidson, R.E., Sturchio, N.C. and Guinness, E.A. (1987). Lithological mapping in arid region with Landsat thematic mapper data: Meatiq dome, Egypt. *Geological Society American Bulletin*, v.99, p.748-762.

Sultan, M., Arvidson, R.E. and Sturchio, N.C. 1986. Mapping of serpentinites in the eastern desert of Egypt by using Landsat thematic mapper data. *Geology*, v.14, p. 995-999.

Sultan, M., Becker, R., Arvidson, R.E., Shore, P., Stern, R.J., El Alfy, Z., and Attia, R.I., 1993, New constraints on Red Sea rifting from correlations of Arabian and Nubian Neoproterozoic outcrops, *Tectonics*, v. 12, p. 1303-1319.

Varela, R., M. López de Luchi, C. Cingolani y L. Dalla Salda, 1996. Geocronología de gneises y granitoides de la Sierra de Umango, La Rioja. *Implicancias Tectónicas. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas III: 519-527.*

Varela, R., Basei, M.A.S., Sato, A.M., González, P.D., Siga Jr., O., Campos Neto, M.C., y Cingolani C., 2003 a. Grenvillian basement and Famatinian events of the Sierra de Umango (29°S): A review and new geochronological data. IV South American Symposium on Isotope Geology, Salvador, Brasil. Short Papers, pp. 304-306.

Vujovich, G.I., Porcher, C.C., Chernicoff, C.J., Fernandes, L.A.D., Perez, D.J., 2005. Extremo norte del basamento del terreno Cuyania : nuevos aportes multidisciplinarios para su identificación. En: Dahlquist, J., Baldo, E.G., Alasino, P.H. (Eds.) *Geología de la provincia de la Rioja, Precámbrico-Paleozoico Inferior. Asociación Geológica Argentina, Serie D Publicación Especial N° 8: 15-38.*

Vujovich, G.I., Fernandes, L.A.D., Porcher, C.C. y Fauque, L., 2001. Sierras Pampeanas Noroccidentales, La Rioja, Argentina: su integración regional. XI Congreso Latinoamericano de Geología. Montevideo. CD, 6 pp.

Varela, R., López de Luchi, M., Cingolani, C. y Dalla Salda, L., 1996. Geocronología de gneises y granitoides de la Sierra de Umango, La Rioja. *Implicancias Tectónicas. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas III: 519-527*

Varela, R., Roverano, D. y Sato, A.M., 2000. Granito El Peñón, sierra de Umango: descripción, edad Rb/Sr e implicancias geotectónicas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 55(4): 407-413.

Varela, R., Sato, A.M., y González, P.D., 2002. Metamorfismo y deformación devónicos en la sierra de Umango, Sierras Pampeanas

Varela, R., Valencio, S.A., Ramos, A.M., Sato, K., González, P.D., Panarello, H.O. y Roverano, D.R., 2001. Isotopic Strontium, Carbon and Oxygen study on Neoproterozoic marbles from sierra de Umango, Andean foreland, Argentina. III South American Symposium on Isotopic Geology, Pucón, Chile. *Revista Comunicaciones*, 52:121. Santiago.

Yamaguchi, Y. 1987. Possible techniques for lithologic discrimination using the short wavelength infrared bands of the Japanese ERS-1.

* * *