

# Cartografía geológica y reconocimiento de áreas de alteración hidrotermal con imágenes LANDSAT-TM en el área de La Manchuria, Macizo del Deseado, Patagonia Argentina.

Daniela Marchionni<sup>1</sup>  
Mario Tessone<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Recursos Minerales – INREMI (UNLP-CIC).  
Calle 64 e/ 119 y 120 s/n, La Plata (1900) Argentina. Tel/Fax: 54-221-4225648  
dmarchi@inremi.unlp.edu.ar, mtessone@inremi.unlp.edu.ar

**Abstract.** During the last years, the Deseado Massif has been strongly studied, in order to locate precious metals (Au, Ag) bearing mineralization, spatially and temporally associated to the Jurassic acid volcanism of Chon Aike Formation. Within this morphostructural unit, in the La Manchuria area, mineralised vein type structures and disseminated bodies with probable economic significance have been recognised. These ones are related to the main fracture systems and to hydrothermal alteration zones. In this paper we present the results of an investigation based on the analysis and interpretation of LANDSAT-TM multispectral images, which contribute to the geological and structural analysis of this area and to the recognition of hydrothermal alteration zones. Several images processing strategies for mineral exploration have been applied (color compositions, band ratios, density slicing) and a complete geological and structural cartography of the whole area was obtained from remote sensing data and detailed field works. Several areas characterised by the presence of mineral concentrations and hydrothermal alterations have been identified and then characterized by field observations and laboratory analysis. The employed methodology allowed us to confirm again the potential of LANDSAT-TM images for geological mapping and for hydrothermal alteration zones identification in the Deseado Massif and to establish prospecting guides that will facilitate the search of other mineralised areas in the nearness or in similar geological environments.

**Key-words:** remote sensing, image processing, mineral prospection, Deseado Massif.

**Palabras clave:** sensores remotos, procesamiento de imágenes, prospección minera, Macizo del Deseado.

## 1. Introducción

La provincia geológica Macizo del Deseado, ubicada en el sector austral de la República Argentina, constituye una vasta región en donde se registraron, a lo largo de toda su historia geológica, importantes episodios volcanogénicos que generaron un extenso plateau de rocas piroclásticas y volcánicas de composición ácida a intermedia, de edad jurásica y amplios mantos y mesetas de basaltos cenozoicos. Los episodios efusivos póstumos del volcanismo jurásico, marcados por la presencia de lavas y cuerpos dómicos riolíticos a riodacíticos, fueron acompañados de una intensa actividad hidrotermal, caracterizada por la circulación de fluidos hidrotermales silíceos, los cuales favorecieron la concentración de mineralizaciones de oro y plata. En las últimas décadas, esta región ha sido motivo de diversos estudios e investigaciones orientados a la búsqueda de concentraciones de metales preciosos de interés económico, las cuales se asocian espacial y temporalmente a la actividad volcánica jurásica.

Dentro de esta provincia geológica, una de las comarcas de interés, está representada por el área de La Manchuria, dado su potencialidad para albergar depósitos epitermales como los señalados (Tessone, 1996 y 1999). En esta contribución se presentan los resultados de un estudio geológico-estructural realizado en esta zona, en donde se integra la información proveniente del análisis e interpretación de las imágenes LANDSAT-TM con la generada a partir de trabajos de campo de detalle y análisis de laboratorio (petrológicos, mineralógicos y geoquímicos). Esta investigación hizo posible la elaboración de una cartografía geológico-estructural completa del área de estudio a escala local y la identificación de varios sectores de interés con presencia de alteraciones de tipo hidrotermal y mineralizaciones asociadas.

La metodología seguida nos ha permitido establecer algunas guías de prospección que pueden facilitar la búsqueda de áreas mineralizadas en zonas aledañas a la estudiada o en otras zonas de características geológicas similares.

## 2. Área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en el sector central del Macizo del Deseado entre los 48°00' y 48°30' de latitud sur y 69°45' y 70°45' de longitud oeste, aproximadamente, cubriendo una superficie de cerca de 200 Km<sup>2</sup> (Figura 1). El clima de la región es continental riguroso, con escasa pluviosidad y con precipitaciones nivales durante los meses de invierno. Los vientos son constantes e intensos y provienen principalmente de los cuadrantes oeste y sur. Estas condiciones climáticas han determinado la formación de una vegetación xerófila, típica de ambientes semidesérticos, salvo en reducidos sectores donde existen vertientes y manantiales. Predominan los suelos esqueléticos y pedregosos. La altura promedio de esta región oscila entre los 500 y 850 metros s.n.m.m y, como procesos modeladores del paisaje, dominan la acción eólica y fluvial y, en menor medida, los procesos de remoción en masa.

El intenso volcanismo que caracteriza la historia geológica de esta región y la ocurrencia de diversos episodios tectónicos y erosivos, imprimieron a esta comarca una morfología particular. Su relieve es dominado por un paisaje serrano de morfología muy irregular labrado en las unidades volcánicas jurásicas, que presenta desniveles topográficos pronunciados, generados por la acción fluvial. En los sectores donde dominan las coladas basálticas de edad terciaria, el paisaje es mesetiforme, con contornos irregulares y laderas escalonadas. Se destaca también un paisaje de amplias planicies cubiertas por extensos mantos y escoriales de basaltos cuaternarios, cuya continuidad es interrumpida por la presencia de conos volcánicos.

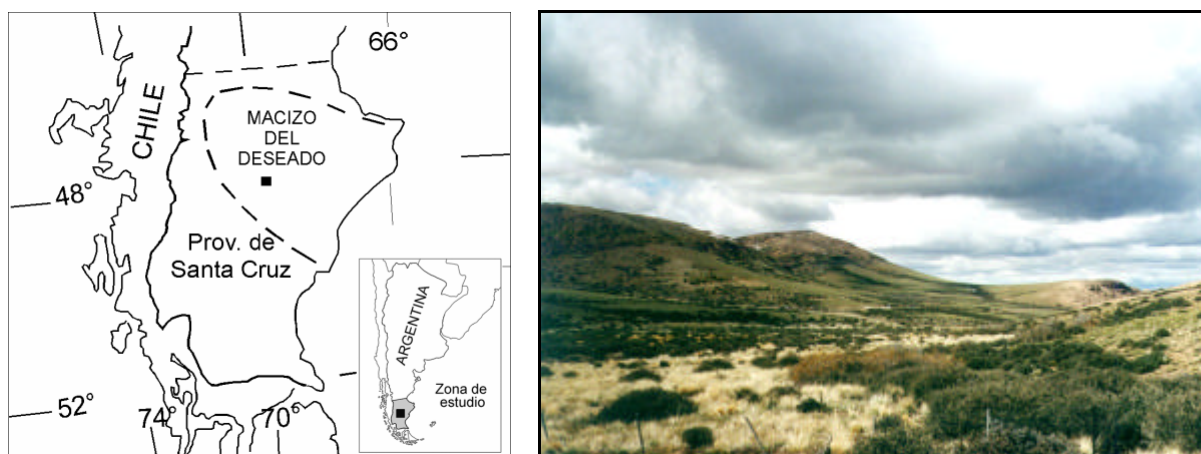


Figura 1. Ubicación del área de estudio y vista general del paisaje característico de la zona.

### 2.1. Geología local

Las rocas más antiguas presentes en el área corresponden al complejo volcánico-piroclástico-sedimentario del Grupo Bahía Laura (Lesta y Ferello, 1972) del Jurásico medio a superior, representado por las formaciones Bajo Pobre, Chon Aike y La Matilde. La primera de ellas, integrada por andesitas, dacitas y basaltos, constituye lomadas bajas redondeadas, que se distribuyen en el sector central y norte del área. Estos afloramientos se intercalan con la Formación Chon Aike (Stipanovic y Reig, 1957), de gran desarrollo superficial. Esta última está constituida principalmente por ignimbritas, acompañadas por facies lávicas y algunos cuerpos subvolcánicos de composición riolítica. Se presentan también en esta zona brechas, lapillitas y tobas asociadas, de Formación La Matilde. El Terciario está representado por el Basalto Cerro del Doce (Panza 1982) del Eoceno, cuyos afloramientos se circunscriben al sector centro-norte del área, ocupando los altos topográficos. La Formación Santa Cruz (Ameghino, 1889), del Mioceno inferior, aflora en el sector noroeste, formando barrancas de una decena de metros de altura. Consisten en areniscas y limolitas de color blanco grisáceo,

con estructuras planares y entrecruzadas. El Basalto Cerro Tejedor (Sacomani, 1984), del Plioceno inferior, aflora en el extremo noroeste del área, con un espesor cercano al metro. Sobre esta secuencia se dispone el Basalto La Angelita (Panza, 1982) del Plioceno superior-Pleistoceno. Estos basaltos, de gran extensión areal, ocupan posiciones topográficas bajas y aparecen salpicados por numerosos conos volcánicos bien preservados. Depósitos aluviales y coluviales recientes aparecen cubriendo los bajos topográficos y los cauces de los arroyos.

### 3. Metodología de trabajo

Para esta investigación fue utilizada una imagen TM del satélite LANDSAT-5 (WRS: 229/094) adquirida el 16 de enero de 1986 (Figura 2). Para su análisis se recurrió tanto a distintas técnicas de procesamiento digital como a la interpretación visual tradicional. Las tareas realizadas estuvieron orientadas principalmente a la discriminación litológica de las distintas facies del volcanismo ácido jurásico y del magmatismo cenozoico, a la cartografía estructural y a la detección de áreas con evidencias de alteración hidrotermal.

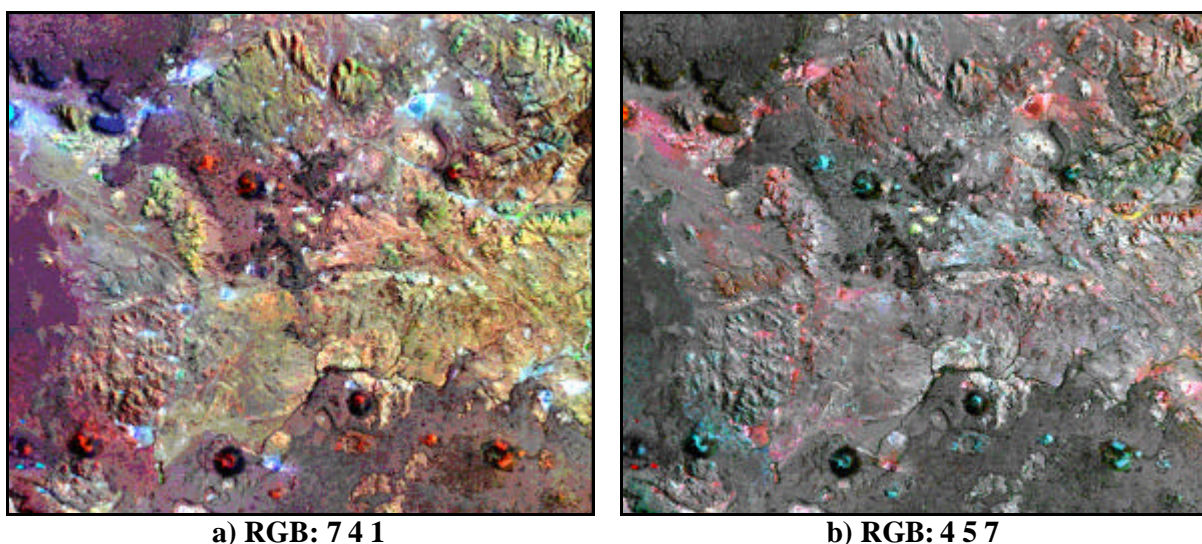


Figura 2. Composiciones color de la imagen LANDSAT-TM cubriendo el área de estudio.

#### 3.1. Aspectos generales

La imagen LANDSAT-TM utilizada fue rectificadas geométricamente y georreferenciada con apoyo de la cartografía del I.G.M. a escala 1:100.000 y con puntos de control de campo tomados con GPS. La calibración radiométrica y corrección atmosférica de la misma fue realizada con el programa REFLECT (Cavayas, 2001). A partir de esta imagen se generaron varias composiciones color (RGB: 741, 541, 457 y 731), sobre las que se realizó una interpretación geológica preliminar. En ellas fue posible reconocer las principales unidades geológicas y los lineamientos estructurales más importantes. Se identificaron y caracterizaron los principales grupos litológicos presentes en el área, fundamentalmente las diversas facies de la Formación Chon Aike y los basaltos terciarios y cuaternarios. Sobre una salida gráfica a escala 1:50.000 de la composición color RGB: 741 se realizó la interpretación estructural. Los lineamientos reconocidos fueron ponderados por su longitud y agrupados para la confección de diagramas de orientaciones. Estos diagramas se realizaron por separado para cada una de las unidades geológicas identificadas así como para toda el área en general. Las observaciones de campo consistieron en un reconocimiento geológico acompañado de un muestreo para análisis petrológico, mineralógico y geoquímico de las unidades aflorantes y sus alteraciones. Estas observaciones fueron acompañadas por un reconocimiento estructural del área, en el cual se midió la orientación de los principales sistemas de fracturación identificados.

### 3.2. Detección de alteraciones

Para caracterizar espectralmente las alteraciones y definir las composiciones color y operaciones entre bandas más adecuadas para su identificación, se realizaron mediciones de campo con espectro-radiómetro GER-SFOV, a partir de las cuales se construyeron las curvas espectrales de los principales tipos litológicos y alteraciones (Marchionni et al., 2002). De las composiciones color generadas (RGB: 741, 541 y 457), la composición color RGB: 457 fue analizada en detalle por su potencialidad de poner en evidencia algunas áreas alteradas. Sobre esta base, se realizaron varias transectas espectrales a lo largo de distintas unidades litológicas y alteraciones para las bandas del infrarrojo cercano y medio (TM4, TM5 y TM7). Asimismo, se generaron distintos cocientes entre bandas con el objeto de detectar la presencia de alteraciones hidrotermales que puedan ser puestas en evidencia por la coexistencia de minerales portadores de OH<sup>-</sup> (arcillas) y óxidos e hidróxidos de hierro (limonitas), estos últimos vinculados a la alteración supergénica de sulfuros de hierro (pirita). Se utilizaron los cocientes entre bandas TM3/TM1 y TM5/TM1 (para los óxidos e hidróxidos de hierro) y TM5/TM7 (para los minerales del grupo de las arcillas), como se ilustra en la Figura 3.

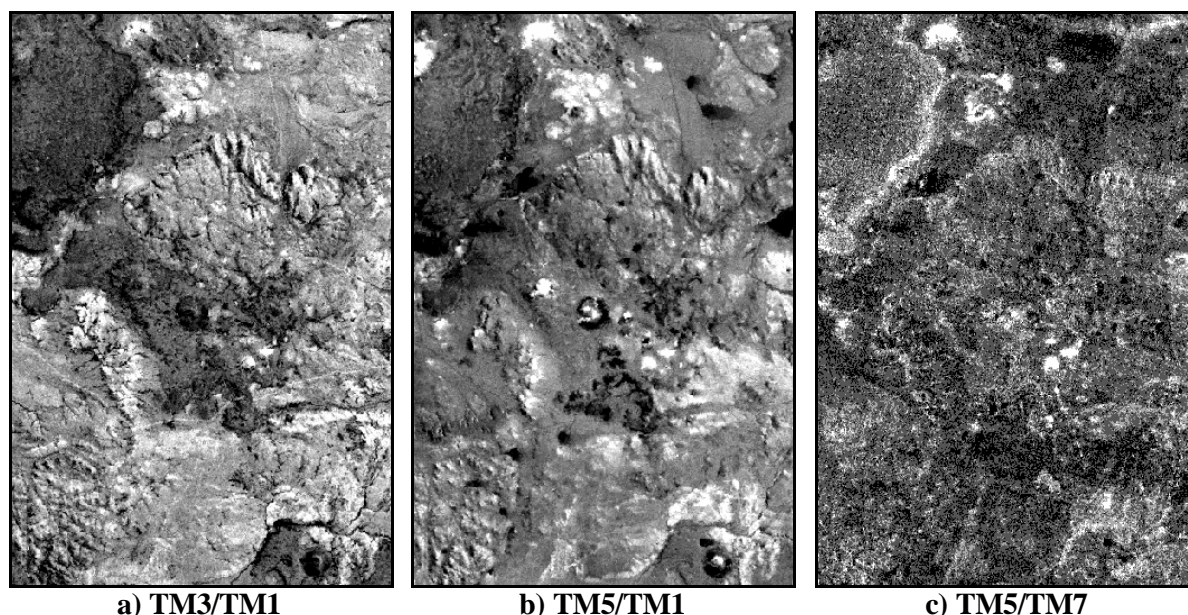
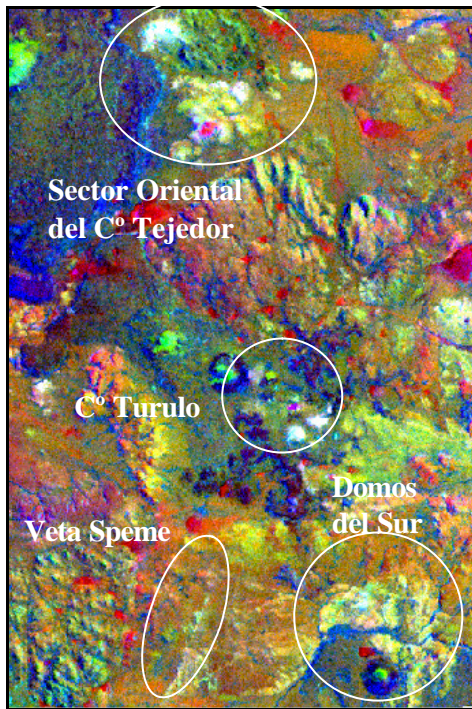


Figura 3. Imágenes de cocientes entre bandas cubriendo el sector central de La Manchuria y sector oriental del C° Tejedor. El área cubierta por la imagen es de 11,4 km x 17,1 km.

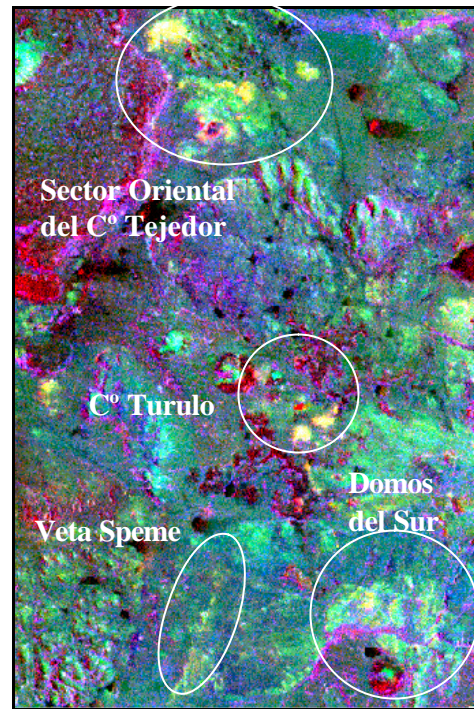
Las imágenes de cociente fueron combinadas para la generación de composiciones color (Figura 4). Se seleccionaron las que mostraron mejor capacidad de discriminación entre las áreas alteradas y no alteradas. Los mejores resultados se observaron en las composiciones color entre cocientes R: TM3/TM1, G: TM5/TM1, B: TM5/TM7 y R: TM5/TM7, G: TM5/TM1, B: TM4/TM3. Como alternativa para la identificación de las áreas con presencia de alteración argílica, se generó una transformación en el espacio de color (RGB-IHS-RGB), en la cual se utilizó la composición color RGB 741 como imagen de entrada y el cociente TM5/TM7 como canal de intensidad. De esta manera se conserva el color de la imagen de referencia (RGB: 741) y las áreas alteradas se destacan con tonalidades más claras (Figura 5).

Para diferenciar zonas con distinta intensidad de alteración, se aplicó una segmentación de densidades sobre algunos de los cocientes (TM5/TM1 y TM5/TM7), utilizando los valores estadísticos de media y desvío estándar para la definición de los intervalos de segmentación.



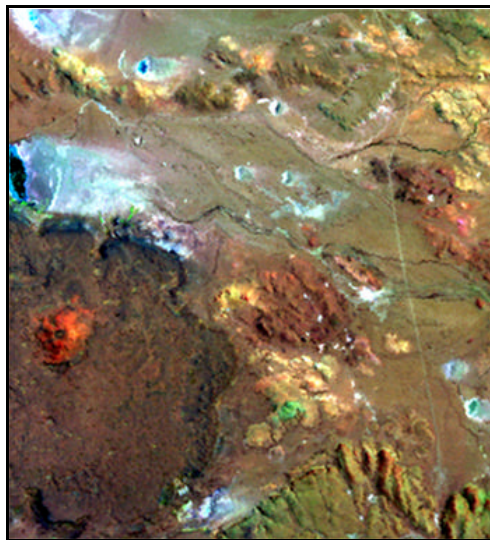


R:TM3/TM1 G:TM5/TM1 B:TM5/TM7

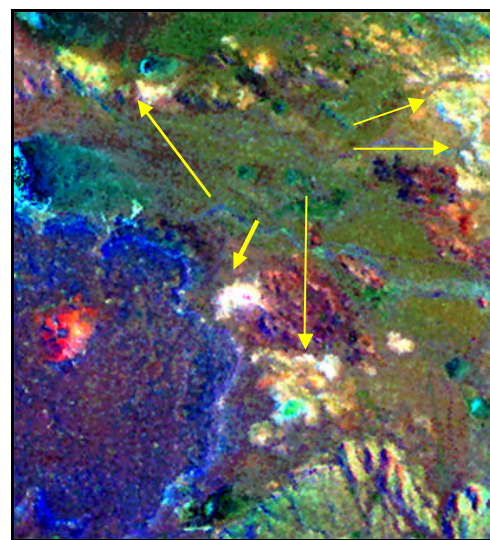


R:TM5/TM7 G:TM5/TM1 B:TM4/TM3

Figura 4. Composiciones color de cocientes entre bandas: En la primera de las composiciones las áreas de alteración se visualizan en tonos blanquecinos y en la segunda en amarillo.



a) RGB:741



b) RGB:741 + TM5/TM7

Figura 5. Transformación RGB-IHS-RGB para el sector oriental del C° Tejedor (10 x 10 km): a) Imagen de entrada, b) incorporación del cociente TM5/TM7 como canal de intensidad.

#### 4. Resultados

A partir de la integración de la información proveniente del análisis e interpretación de la imagen LANDSAT-TM y de las observaciones de campo fue realizada una cartografía geológica de síntesis cubriendo toda el área de estudio, la cual fue complementada con los datos provenientes del relevamiento de campo de detalle realizado a escala 1:20.000.

La observación de las distintas composiciones color generadas permitió la caracterización de las diversas unidades litológicas del área, principalmente las facies volcanoclásticas de la Formación Chon Aike, los basaltos terciarios y cuaternarios (Basalto C° del Doce y Basalto La Angelita). Del área cubierta por la imagen, un 50% corresponde a los basaltos cuaternarios y el 50% restante a las distintas unidades de la Formación Chon Aike, basaltos terciarios y depósitos modernos (Figura 6). Se reconocieron las distintas facies de la Formación Chon Aike, siendo posible identificar coladas ignimbríticas, cuerpos lávicos y tobas de caída. Se pudieron diferenciar ignimbritas con distinta expresión morfológica en respuesta a un distinto grado de soldamiento e ignimbritas de distinto color que responde a características texturales y composicionales diversas. También se pudo observar la distribución areal de los afloramientos de lavas riolíticas, algunos de los cuales forman cuerpos dómicos.

En la composición color RGB: 741 de la imagen LANDSAT-TM fueron reconocidos fácilmente los lineamientos de escala regional, de difícil reconocimiento en el terreno (Figura 7). La mayor densidad de lineamientos se ha detectado en los sectores centro-sur, noreste y sudeste del área estudiada. Algunos de ellos tienen carácter regional (principales), mientras que otros están circunscriptos a algunas unidades de mapeo (secundarios). Sobre la base de las evidencias de campo, algunos de los lineamientos reconocidos fueron definidos como fracturas, algunas de las cuales se encuentran mineralizadas. Los lineamientos principales se ubican en la región central donde se destaca un lineamiento de rumbo variable, de forma circular a subcircular con un diámetro de unos 5 km y otros dos lineamientos de rumbo N 10°E con longitudes de hasta 5 km, uno de los cuales se manifiesta en el campo como pequeños crestones silicificados discontinuos, ligeramente inclinados al oeste. Esta estructura fue definida como una brecha tectónica mineralizada (Veta Speme, Tessone et al., 1996).

La correspondencia entre las direcciones principales de los lineamientos observados en la imagen y las direcciones de fracturación medidas en el campo, confirma que la dirección preponderante de los esfuerzos es del sector noroeste ( $\sigma_1$ : N 330° a N 300°), coincidente con la propuesta por Panza (1982, 1997) para este sector del Macizo del Deseado. Es de destacar un sistema con dirección preponderante E-W (que varía de N 80° a N 100°E) que se relaciona con fallas directas, las que imprimieron al área una morfología característica de pilares y fosas. La misma dirección muestra la alineación de centros efusivos cuaternarios al sur del área.

Sobre la composición color RGB: 457 y las composiciones color entre cocientes (Figura 4), pudieron ser reconocidas las alteraciones hidrotermales presentes. En el sector oriental del C° Tejedor se presenta una ignimbrita fracturada con muy intensa alteración argílica y parcialmente silicificada, con abundantes venillas de cuarzo, formando crestones. Esta roca presenta una importante tinción limonítica que le confiere tonalidades anaranjadas a rojizas y es frecuente la presencia de limonitas en boxworks, reemplazando a cristales de pirita. En el sector norte de La Manchuria (C° Turulo) se reconoció propilitización, argilización (caolinita-illita) y silicificación que afectan a un cuerpo dómico de composición dacítica y se extienden en una área de unas 10 has. La característica más conspicua es la intensa silicificación localizada en la zona de intersección de las fracturas de rumbo N 30°O y N 60°O, donde se observan lavas autobrechadas, totalmente reemplazadas por sílice que fueron brechadas hidrotermalmente, con mineralización de oro y plata. En el sector central se ha identificado una estructura vetiforme mineralizada (Au, Ag), discontinua, de unos 3 km de corrida (Veta Speme). En este sector se observaron: silicificación como reemplazo de la ignimbrita y como relleno de una brecha tectónica, y argilización (illita-esmectita) de los fragmentos pumíceos y feldespatos de la ignimbrita. En el sector meridional (Domos del Sur) las alteraciones más importantes son argilización (illita-caolinita) y oxidación y se extienden en unas 20 has de superficie. Estos domos riolíticos presentan mineralización de galena, esfalerita, oro y plata. La piritización de este sector es conspicua mientras que la silicificación aparece subordinada.



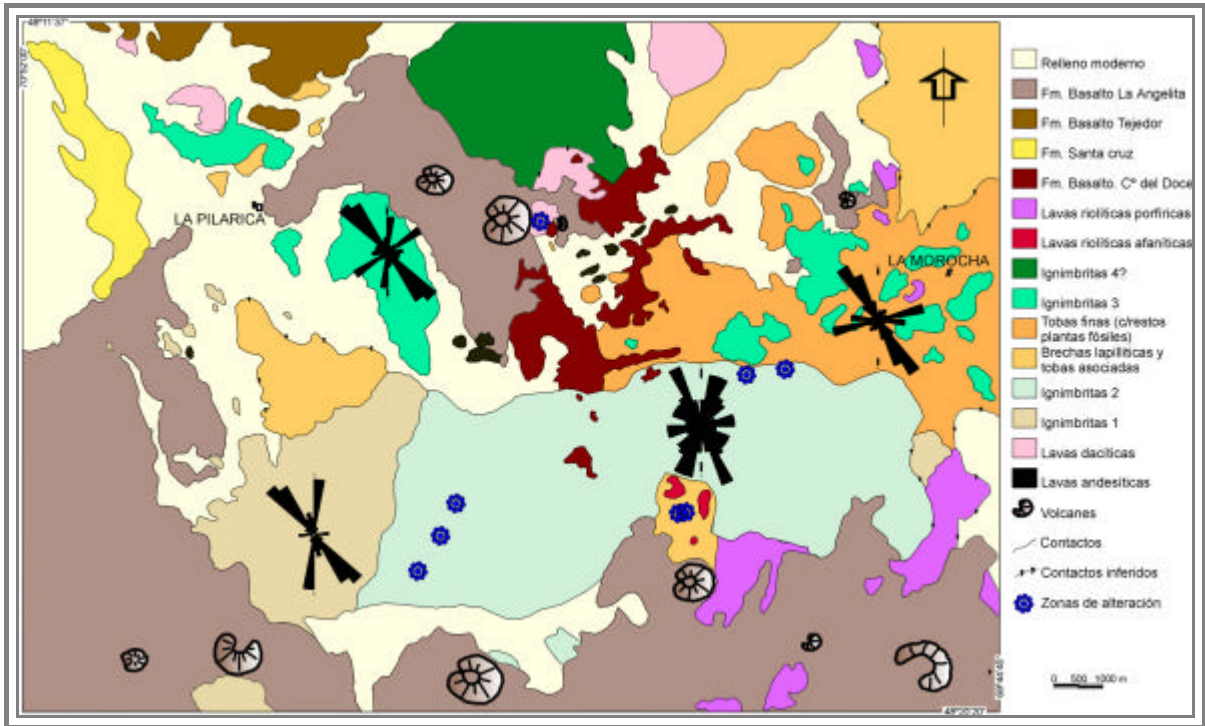


Figura 6: Mapa geológico simplificado del área mostrando los diagramas de orientaciones de las distintas unidades de Chon Aike y la ubicación de las áreas de alteración reconocidas.

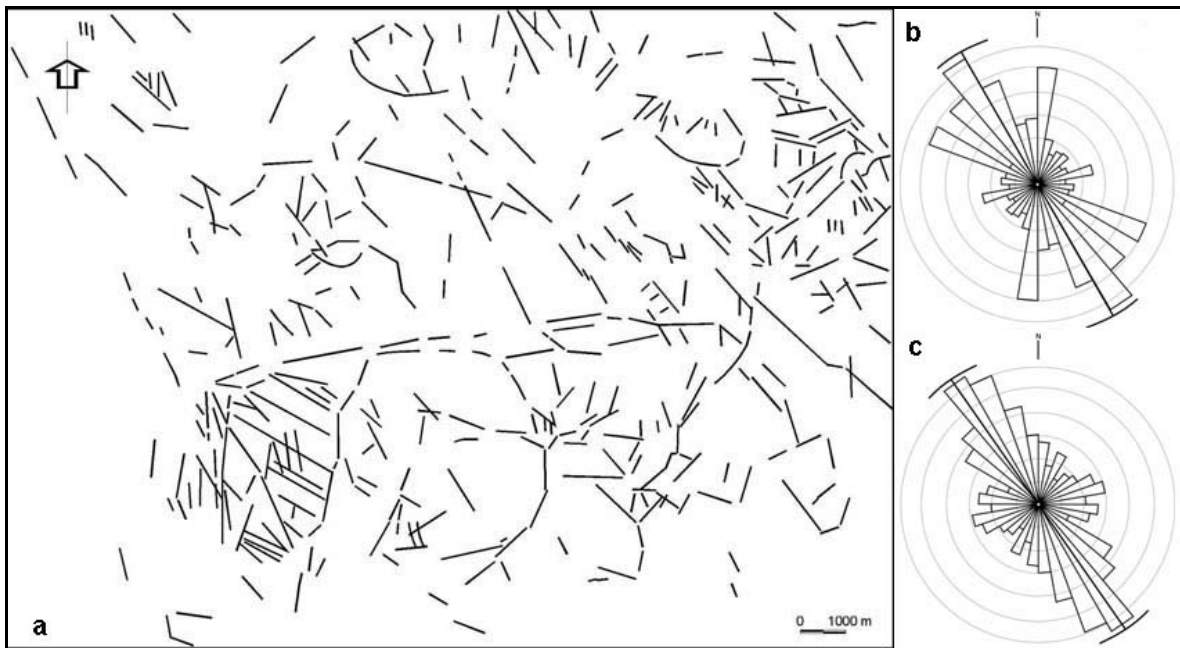


Figura 7: Lineamientos interpretados en la imagen LANDSAT-TM (a) y su diagrama de orientaciones (b) mostrando su similitud con las direcciones de las diaclasas (c).

## 5. Conclusiones

De la integración de los resultados obtenidos a partir del análisis e interpretación de la imagen LANDSAT-TM con los mapeos de detalle realizados en la región de La Manchuria se puede concluir que la información aportada por estas imágenes destaca la importancia de su

utilización como herramienta para el análisis geológico con fines prospectivos. En esta zona, la presencia de zonas fracturadas y las áreas de alteración asociadas a las mismas son rasgos distintivos que sirven como guías prospectivas para la búsqueda de potenciales zonas mineralizadas. Las metodologías de análisis utilizadas -generación de composiciones color, cocientes entre bandas- fueron muy eficientes para la búsqueda expeditiva de blancos prospectivos, observándose una gran coincidencia entre las anomalías espectrales detectadas y las áreas de alteración hidrotermal reconocidas. La metodología empleada para estimar la intensidad de alteración -segmentación de densidades de las imágenes de cociente- fue también muy efectiva, observándose una correspondencia entre las áreas señaladas como de mayor intensidad de alteración y aquellas que se presentan como más prometedoras desde el punto de vista prospectivo. Dadas las características de las alteraciones hidrotermales del área, donde las alteraciones argílicas y silíceas están ínfimamente relacionadas y las pátinas limoníticas son frecuentes y, en virtud de la cobertura espectral de las imágenes utilizadas, no ha sido posible “a priori” discriminar y/o especificar las alteraciones encontradas. Sin embargo, se puede decir que, para esta región, donde los depósitos epitermales hallados se asocian a los niveles más superficiales del sistema geotermal, las áreas argilizadas se han manifestado como los blancos más prospectivos, con las imágenes y metodologías utilizadas.

## 6. Referencias bibliográficas

- Ameghino, F., 1889. Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina. Coni e hijos Eds., Buenos Aires. pp: 1-1027.
- Cavayas, F., 2001. REFLECT. Département de Géographie de l'Université de Montréal.
- Lesta, P. J. y Ferello, R. 1972. Región extrandina del Chubut y norte de Santa Cruz. En: Geología Regional Argentina.
- Marchionni, D, Ibañez, G. and Del Blanco, M., 2002. Field radiometry data generation for the detection of geologic targets in Patagonia Extraandina, Argentina. 29° Simposio ISRSE, Buenos Aires. Pp: 1-4.
- Panza, J. L. 1982. Descripción Geológica de las Hoja 53 d, Gobernador Moyano y 54 e, Cerro Vanguardia, Provincia de Santa Cruz. Servicio Geológico Nacional, Secretaría de Minería, Buenos Aires (inédito).
- Panza, J. L., Marín, G., Zubia, M. 1997. Descripción Geológica de la Hoja 4969-1, Gobernador Gregores, Provincia de Santa Cruz. Subsecretaría de Minería de La Nación, Servicio Geológico Minero, Instituto de Geología y Recursos Minerales. Boletín N 239.
- Sacomani, L. 1984. Informe preliminar – Ciclos basálticos cenozoicos del sector Centro occidental del Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz. Servicio Geológico Nacional Sp (inédito).
- Stipanovic, P. y Reig, A.O. 1957. El complejo porfirico de la Patagonia Extrandina y su fauna de anuros. Acta Geológica Lilloana, Tucumán 1: 185-297.
- Tessone, M. O., 1996. Informe geológico-minero preliminar del área La Manchuria, provincia de Santa Cruz, para FOMICRUZ S. E. (inédito).
- Tessone, M. O., Del Blanco, M., Marchioni, D. S., 1996. Mineralización epitermal de veta Speme, Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz, en III Reunión de Mineralogía y Metalogenia INREMI, Publicación N 5, La Plata, Actas 231-235.
- Tessone, M. O., 1999. Mineralizaciones epitermales en el área La Manchuria, Santa Cruz. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini) Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1225-1230, Buenos Aires.