

1- Introducción

El área de estudio se ubica al oeste de la Cordillera del Viento, sobre ambas márgenes del Río Neuquén, entre los paralelos 37° 15' y 37° 03' (Fig. 1a), donde afloran las rocas carboníferas y permotriásicas (Fig. 1b). Numerosos pórfidos riolíticos y dacíticos las intruyen. Estas rocas hospedan numerosas vetas Au-Ag, Pb, Zn, y Cu de tipo epitermal y conforman el distrito minero más importante de la provincia del Neuquén. Las vetas se ubican en sistemas de fallas normales que fueron posteriormente reactivadas durante la etapa compresiva cretáceo superior (Giacosa, 2011).

2-Objetivos y metodología

La teledetección es una herramienta muy útil para detectar litologías y alteraciones hidrotermales en áreas poco conocidas. Este trabajo tiene como objetivos mostrar el uso del tratamiento de imágenes satelitales (Landsat 8, Aster) en la exploración mineral aplicada al distrito Minero Andacollo. El trabajo fue realizado en dos etapas: 1°) la creación de un mapa geológico a partir de publicaciones preexistentes (Fig 1b) el uso de las imágenes Landsat 8 (Fig. 2) y datos de control de campo y 2°) el uso de las imágenes Aster (Figs. 5 y 6) para poder identificar las áreas con alteración hidrotermal y diferenciar tipos de alteración.

3-Gegología

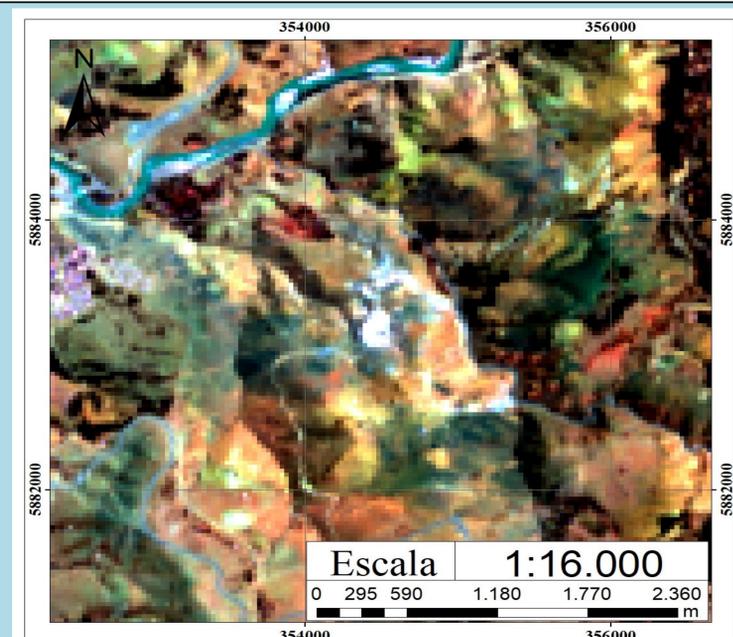
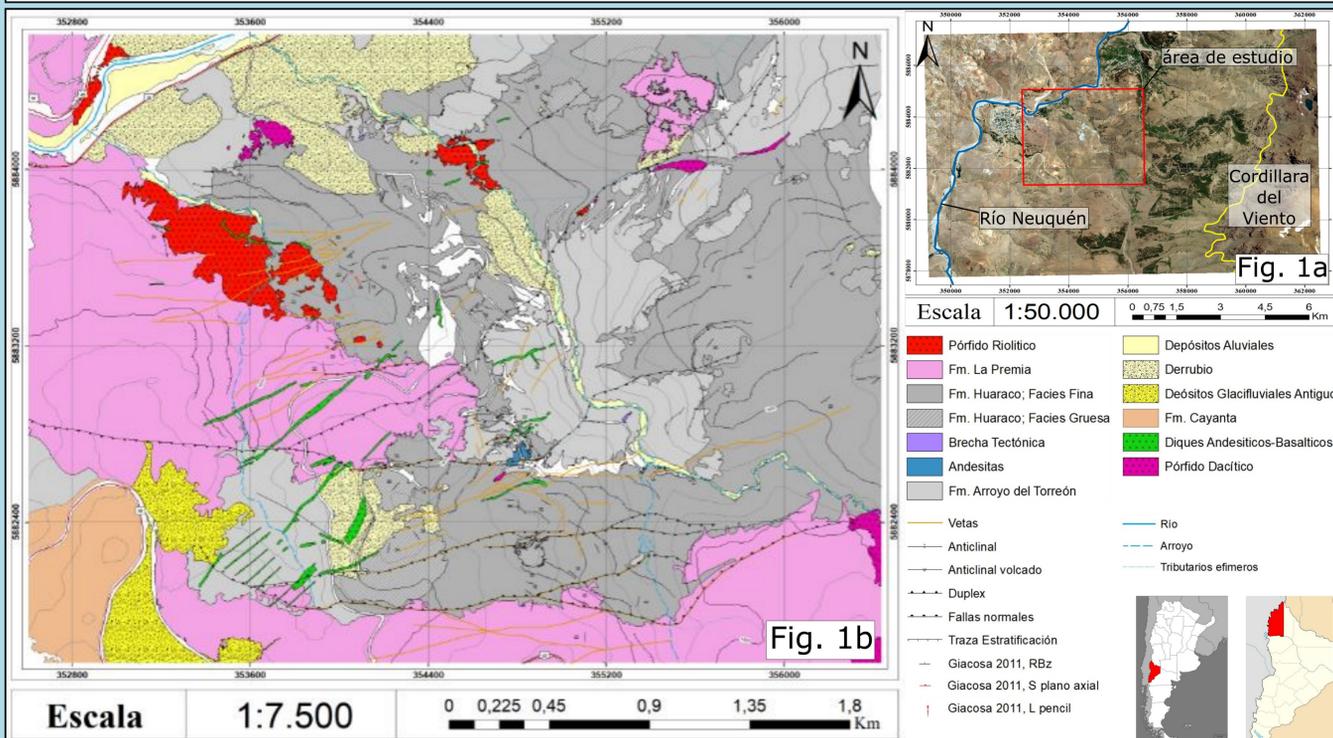


Figura 2: Imagen satelital Landsat 8 en combinación RGB 7_4_2, procesada con un filtro lineal del 2% en el Software ENVI 4.5.

El producto obtenido del Landsat 8 (Fig. 2) permitió discriminar con mayor detalle las distintas formaciones, mostrando la Formación A. del Torreón-FAT- (verde claro/ amarillo anaranjado), Formación Huaraco-FH- (verde oscuro para facies de lutitas y castaño apagado para facies más gruesas), Formación La Premia (tonos de azul), cuerpos sub-volcánicos (tonalidades claras de amarillo/naranja) y Cayanta (verde grisáceo).

Figura 1: Ubicación del área de estudio. a) Imagen satelital Bing-Maps de alta resolución donde el recuadro rojo marca el área de estudio. b) Mapa geológico y estructural de detalle de un sector del distrito minero Andacollo, resultado de la integración de mapas geológicos previos de Stoll, W. 1975, Rovere, E. et al. 2000, Llambías, E. J. et al. 2007; Strazzer, 2010; Giacosa, R. 2011, 2014; de la imagen Landsat 8 (Fig. 2) y de nuevos mapeos realizados por la Dra. J. Pons.

4-Depositos Epitermales

Los depósitos epitermales de Andacollo contienen metales preciosos (Au-Ag), con metales base (Zn, Pb, Cu), formados en sistemas hidrotermales (agua caliente) someros (<1 Km bajo el nivel freático) relacionados a magmas (fuente de calor y metales) emplazados hasta 6 km de profundidad, generalmente están asociados a rocas volcánicas subaéreas (Fig. 3). Se forman a bajas T (50-300°C) y P (50 a 200 bares) por la mezcla de fluidos meteóricos y magmáticos (Simmons et al., 2005).

El fluido reacciona con la roca de caja y genera nuevas asociaciones de minerales "minerales de alteración" (Tabla 1), que varían según las condiciones fisicoquímicas del medio en el que circulan (temperatura, ph, Eh, y presión).

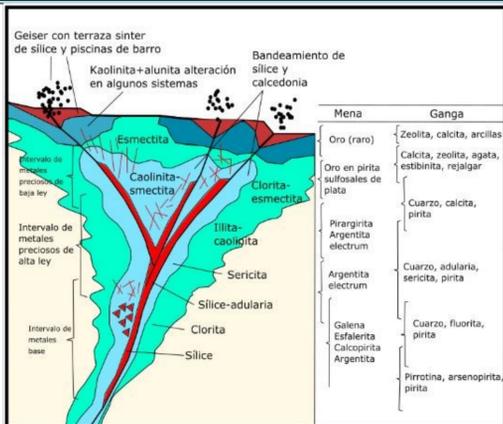


Figura 3: Sección transversal esquemática de un sistema epitermal de baja sulfuración de Buchanan 1981.

5-Alteraciones

Tipo de alteración	Mineralogía	Condiciones de formación
Silicificación	Cuarzo-Calcedonia (SiO ₂)	
Argílica	Illita-sericita (K _{0,65} Al ₂ [Al _{0,65} Si _{3,35} O ₁₀](OH) ₂), >> esmectita ((Na,Ca) _{0,33} (Al,Mg) ₂ (Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ · nH ₂ O), calcita (CaCO ₃), siderita (FeCO ₃), cuarzo, calcedonia (SiO ₂)	<250°C; pH 4-6; proximales
Propilitica	Cuarzo (SiO ₂), Feldespato-K (KAlSi ₃ O ₈), Albita (NaAlSi ₃ O ₈), Clorita Mg ₅ Al (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₈ , Calcita (CaCO ₃), Epidoto {Ca ₂ } {Al ₂ Fe ³⁺ } (Si ₂ O ₇)(SiO ₄)O(OH)	>280-300°C; fluidos neutros pH~7; distales
Argílica avanzada	Alunita (KAl ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆), Caolinita, Halloicita Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄ , Jarosita KFe ³⁺ 3(SO ₄) ₂ (OH) ₆ , Óxidos hidróxidos de hierro	<40°C; pH<4; superficiales

Tabla 1. Tipos de alteración definidas en el área de estudio, con su asociación mineral y condiciones de formación.

6-Resultados imágenes Aster

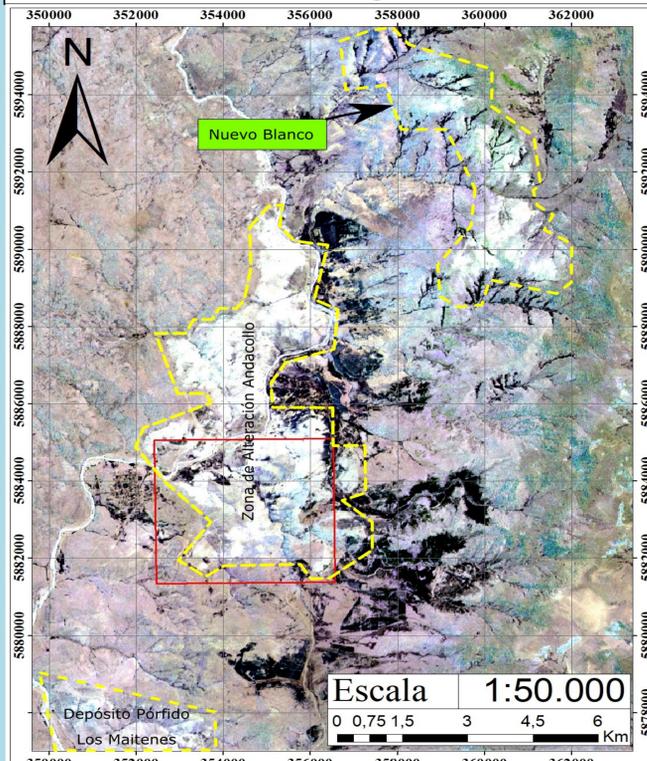


Figura 5: Imagen satelital Aster en combinación RGB (4/5)/(3/2)_ (4/6)/(3/2)_ (4/8)/(3/2). Se muestra el área de estudio en rojo, y amarillo punteado los depósitos "Pórfido Los Maitenes", "Andacollo" y "Huinahco NE", siendo este ultimo identificado como un nuevo target para hacer exploración.

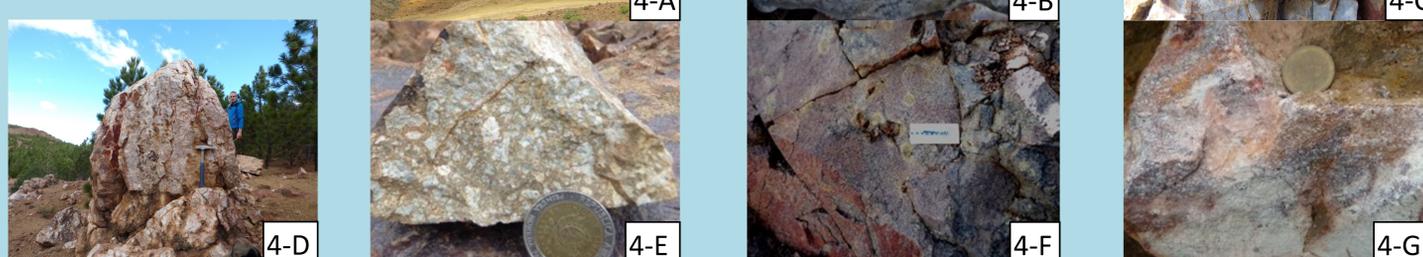


Figura 4: A) Foto panorámica de las vetas del Cerro San Pedro, Andacollo. B) Detalle de veta de cuarzo mineralizada con sulfuros y sulfosales de plata (color gris). C) Silicificación de la roca de caja adyacente a las vetas. D) Veta Karina. E) Alteración argílica (blanca) y supergénica (castaño rojiza) superpuesta a una brecha. F) Alteración propilitica (verde) más distal afectando a la Formación La Premia. G) Alteración supergénica (castaño rojiza) afectando a la Formación Arroyo del Torreón.

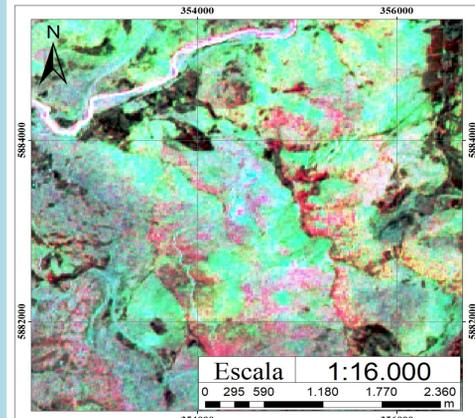


Figura 6: Imagen satelital Aster en composición RGB ((6.6/8.8).(8/5)/(3/2)_ ((4.7)/(6.6)/(3/2)_ ((11.11)/(10.12)/(3/2), de el área de estudio, mostrándose en verde la alteración argílica, en rojo la propilitica y en azul silicificación.

Para identificar las zonas con alteración hidrotermal se aplicó la imagen Aster en combinación RGB (4/5)/(3/2)_ (4/6)/(3/2)_ (4/8)/(3/2), esta combinación se eligió porque los minerales asociados a alteración tienen reflectancia alta en la banda 4 y picos característicos en las bandas 5 6 7 y 8 (Castro Godoy, S. y Marín G. 2016). En la imagen las zonas con alteración se muestran en tonalidades de blanco, resaltando las zonas de alteración de Pórfidos Los Maitenes, Andacollo y el nuevo blanco en la figura 5.

Finalmente se caracterizó la distribución de los distintos tipos de alteración a partir de la imagen Aster en composición RGB ((6.6/8.8).(8/5)/(3/2)_ ((4.7)/(6.6)/(3/2)_ ((11.11)/(10.12)/(3/2). La banda puesta en el canal rojo permite identificar los minerales de calcita (Castro Godoy, S. y Marín G. 2016) y clorita (Marquetti, C. 2005) asociados a la alteración propilitica, el canal verde los minerales de caolinita y esmectitas de las alteración argílica y argílica intermedia (Marquetti, C. 2005, Ninomiya, Y. 2004) y el canal azul contiene el coeficiente del cuarzo logrando discriminar las zonas con silicificación (Marquetti, C. 2005)(Fig. 6).