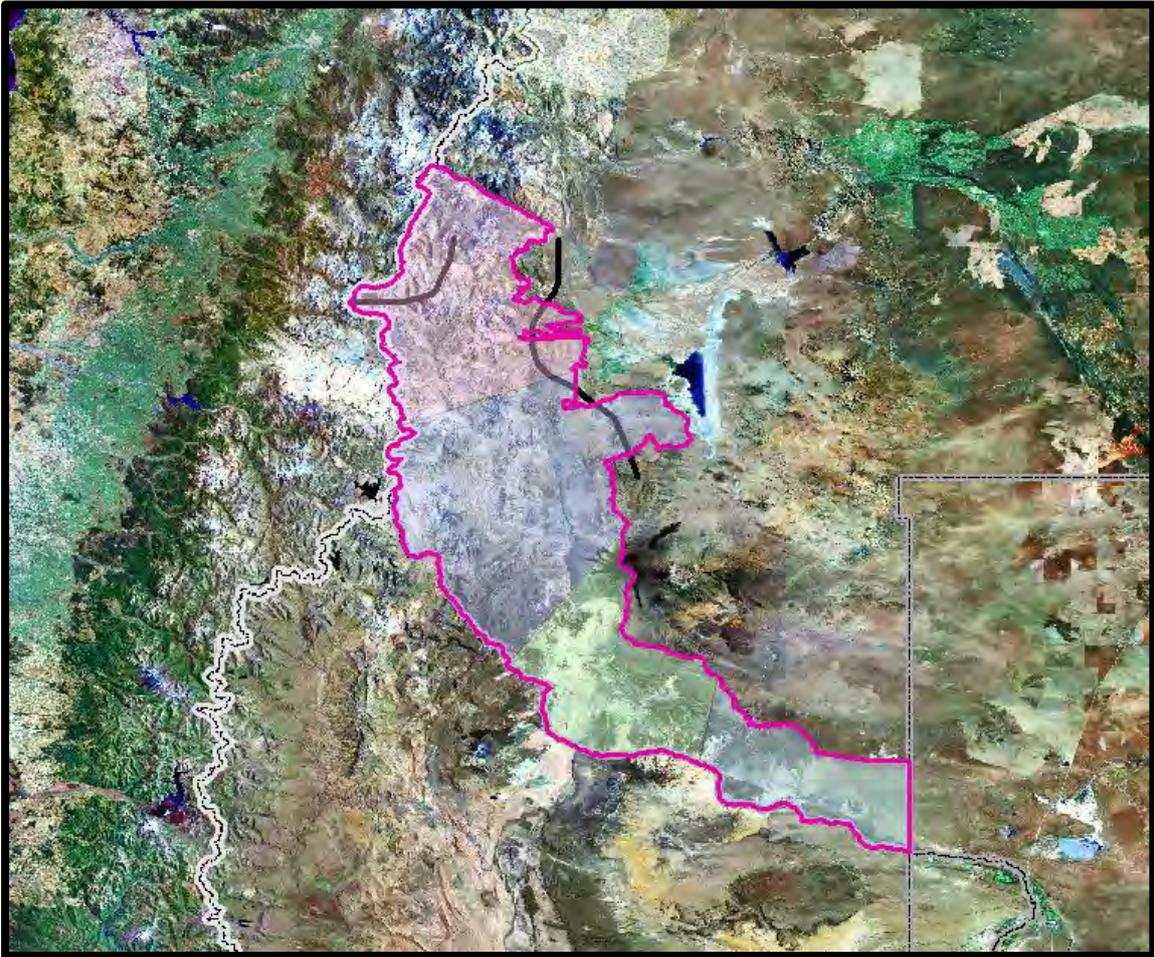


INFORME TÉCNICO

IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE INTERÉS
CON POTENCIAL MINERO

DEPARTAMENTO DE MALARGÜE
PROVINCIA DE MENDOZA



Preparado para

IMPULSA MENDOZA S.A.

Por

HYTEC ALTO AMERICAS S.A.

Diciembre de 2023

INFORME TÉCNICO

IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE INTERÉS
CON POTENCIAL MINERO

DEPARTAMENTO DE MALARGÜE
PROVINCIA DE MENDOZA

Preparado para

IMPULSA MENDOZA S.A.

Por

HYTEC ALTO AMERICAS S.A.

Diciembre de 2023

INFORME

IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE INTERÉS CON POTENCIAL MINERO

Departamento de Malargüe, Provincia de Mendoza
República Argentina

RESUMEN EJECUTIVO

- El sector estudiado del Departamento de Malargüe, Provincia de Mendoza, cubre aproximadamente 22.000 km² y cuenta con un ambiente geológico y tectónico favorable para la existencia de depósitos minerales de interés.
- A partir del procesamiento, análisis e interpretación de imágenes satelitales provistas por diversos sensores remotos, así como de la evaluación de la información geológica y minera disponible, se identificaron área de interés con potencial minero.
- Se utilizaron tres (3) imágenes correspondientes al satélite LandSat 8, dieciséis (16) al sensor ASTER y nueve (9) imágenes radar SRTM.
- La identificación de las áreas de interés minero se basó en el análisis espectral que permitió detectar e identificar zonas de alteración mineralógica - arcillas, óxidos de hierro y carbonatos, entre otros –, de suelos y de vegetación; del análisis estructural, que permitió la identificación de patrones tectónicos y estructurales y del análisis geomorfológico a través del modelo de elevación digital generado a partir de las imágenes radar.

- Las áreas prospectivas corresponden principalmente a tres modelos deposicionales: Pórfidos de Cobre, Cobre en Sedimentos y Skarns Polimetálicos.
- Se identificaron un total de ochenta y seis (86) áreas de interés:
 - Veintiséis (26) áreas con potencial mineralización relacionada a Pórfidos de Cobre,
 - Veintiocho (28) correspondientes a Cobre –asociado a otros elementos- en Sedimentos y
 - Treinta y dos (32) con potencial mineralización asociada a Skarns Polimetálicos.
- De este total de áreas, considerando la mayor concordancia de las respuestas espectrales con la geología, las estructuras y la geoquímica de los afloramientos en las mismas, se priorizaron:
 - Once (11) de las correspondientes a los Pórfidos de Cobre,
 - Doce (12) al Cobre en Sedimentos y
 - Catorce (14) a los Skarns Polimetálicos.
- Las áreas seleccionadas fueron también categorizadas por sus condiciones logísticas y su situación ante su licencia social en la provincia.

INFORME

IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE INTERÉS CON POTENCIAL MINERO

Departamento de Malargüe, Provincia de Mendoza
República Argentina

ÍNDICE

▪	RESUMEN EJECUTIVO	
▪	ÍNDICE	Pág. 1
I.	INTRODUCCIÓN	Pág. 3
II.	ÁREA DE ESTUDIO	Pág. 7
	• UBICACIÓN	Pág. 7
III.	GEOLOGÍA REGIONAL	Pág. 9
	III.1. ESTRATIGRAFÍA	Pág. 9
	III.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL y EVOLUCIÓN GEOLÓGICA	Pág. 29
IV.	MODELOS DE DEPÓSITOS MINERALES	Pág. 32
	IV.1. DEPÓSITOS METALÍFEROS EN MALARGÜE	Pág. 32
	IV.2. PÓRFIDOS DE COBRE	Pág. 32
	IV.2.1. FAJA METALOGENÉTICA DEL MIOCENO	Pág. 34
	IV.3. COBRE EN SEDIMENTOS	Pág. 36
	IV.3.1 GÉNESIS DE LOS DEPÓSITOS DE COBRE ALOJADOS EN SEDIMENTOS	Pág. 37
	IV.3.1.1 COBRES EXÓTICOS	Pág. 37
	IV.3.1.2. COBRES SEDIMENTARIOS	Pág. 38
	IV.4. SKARN DE HIERRO	Pág. 38

V.	SENSORES REMOTOS	Pág. 39
V.1.	SELECCIÓN Y ADQUISICIÓN DE IMÁGENES SATELITALES	Pág. 49
	●LANDSAT 8	Pág. 49
	●ASTER	Pág. 51
	●SRTM	Pág. 54
V.2.	PROCESAMIENTO DE DATOS	Pág. 56
	●LANDSAT 8	Pág. 56
	●ASTER	Pág. 59
	●SRTM	Pág. 61
V.3.	INTEGRACIÓN E INTERPRETACIÓN DE DATOS	Pág. 63
	●PRODUCTOS	Pág. 63
VI.	IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE INTERÉS CON POTENCIAL MINERO	Pág. 72
VII.	REFERENCIAS	Pág. 80
<input type="checkbox"/>	ANEXOS	
	● ANEXO I: Áreas de Interés - Pórfidos de Cobre	
	● ANEXO II: Áreas de Interés - Cobre Sedimentario	
	● ANEXO III: Áreas de Interés - Skarns Polimetálicos	
<input type="checkbox"/>	BASE DE DATOS GIS	

1. INTRODUCCIÓN

Las tareas y resultados descritos en el presente informe corresponden al requerimiento por parte de la empresa IMPULSA MENDOZA de proceder con la identificación de áreas con potencial minero en el sector occidental del Departamento de Malargüe, Provincia de Mendoza, a partir del procesamiento, análisis e interpretación de imágenes satelitales provistas por diversos sensores remotos, así como de la evaluación de la información geológica y minera disponible.

El área de trabajo, de aproximadamente 22.000 km², abarca principalmente el sector oeste del Departamento de Malargüe y se extiende siguiendo el contorno del límite sur del departamento.

El sector estudiado cuenta con un ambiente geológico y tectónico favorable para la existencia de depósitos minerales de interés. Dichas condiciones geológicas crean un entorno propicio para la existencia de depósitos hidrotermales de alta y baja sulfuración, muchos relacionados a pórfidos de cobre, depósitos de metales base – plata, plomo y cinc-, depósitos de metasomatismo de contacto –skarns- de hierro, depósitos de tipo sedimentario de cobre y cobre y uranio en areniscas, entre otros.

Las tareas fueron realizadas en gabinete, comenzando con una fase inicial de búsqueda y recolección de antecedentes bibliográficos en organismos y publicaciones científicas varias, tanto nacionales como extranjeras. Se puso especial énfasis en la información disponible de proyectos mineros en la región y áreas circundantes, en particular en los identificados en la vecina República de Chile.

La primera fase de las tareas también incluyó la selección y adquisición de imágenes de sensores remotos multiespectrales diurnas y nocturnas y de radar para la totalidad del área de estudio, con diversas resoluciones espaciales y espectrales.

En el caso de las imágenes multiespectrales, se utilizaron tres (3) adquiridas por el satélite LandSat 8 y dieciséis (16) por el sensor ASTER, este último a bordo del satélite TERRA. Por otro lado, se adquirieron un total de nueve (9) imágenes SRTM obtenidas por la Misión Topográfica de Radar, volada en el Transbordador Espacial Endeavour.

La siguiente etapa correspondió a La Fase de Procesamiento, la que constó de dos partes: una inicial de pre- procesamiento, donde se corrigieron los datos satelitales y una posterior de procesamiento, en sentido estricto. El procesamiento consiste en el tratamiento digital de los datos mediante la aplicación de realces, algebra de bandas, análisis estadísticos, transformaciones espectrales y técnicas de clasificación.

Se procedió entonces a la interpretación de todos los datos procesados, aplicando el análisis espectral, con el objetivo de detectar e identificar zonas de alteración mineralógica - arcillas, óxidos de hierro y carbonatos, entre otros –, de suelos y de vegetación; del análisis estructural, que permitió la identificación de patrones tectónicos y estructurales y del análisis geomorfológico a través del modelo de elevación digital generado a partir de las imágenes radar.

A partir del análisis e interpretación de los diversos productos obtenidos de imágenes satelitales, tanto del satélite LandSat 8, del sensor ASTER del satélite Terra y de los datos SRTM, se reconocieron un cierto número de áreas de interés minero dentro del área de estudio, principalmente correspondientes a tres modelos deposicionales:

- Pórfidos de Cobre
- Cobre en Sedimentos
- Skarns Polimetálicos

Una vez definidas las áreas de interés en base a las imágenes satelitales, se integraron los resultados espectrales obtenidos con la información geológica recolectada en distintas publicaciones, la información geoquímica y la información geológica disponible en el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR).

En la región estudiada se identificaron un total de ochenta y seis (86) áreas prospectivas:

- Veintiséis (26) objetivos con potencial mineralización relacionada a Pórfidos de Cobre,
- Veintiocho (28) correspondientes a Cobre –asociado a otros elementos- en Sedimentos y
- Treinta y dos (32) sectores con potencial mineralización asociada a Skarns Polimetálicos.

De este total de áreas, considerando la mayor concordancia de las respuestas espectrales con la geología, las estructuras y la geoquímica de los afloramientos en las mismas, se priorizaron:

- Once (11) de las correspondientes a los Pórfidos de Cobre,
- Doce (12) al Cobre en Sedimentos y
- Catorce (14) a los Skarns Polimetálicos.

En forma adicional, estas áreas seleccionadas fueron también categorizadas por sus condiciones logísticas y su situación ante su licencia social en la provincia.

Todas las imágenes y datos obtenidos en las fases de procesamiento, análisis e interpretación fueron incorporados en una base de datos en formato GIS.

II. ÁREA DE ESTUDIO

- UBICACIÓN Y ACCESOS

El área de trabajo se encuentra localizada en el sur de la Provincia de Mendoza, en el departamento de Malargüe, abarca principalmente el sector oeste de Malargüe y se extiende siguiendo el contorno del límite sur del departamento. Su superficie es de 21.068,81 km² (Fig. II.1).

El centro poblado más importante es la ciudad de Malargüe, que dista 326 km de la ciudad capital de Mendoza. Su población alcanza los 32.775 habitantes y cuenta con la infraestructura y en gran medida, con la disponibilidad de los servicios necesarios para desarrollar un proyecto minero en la región.

El departamento de Malargüe limita al Norte con el departamento de San Rafael, también en la provincia de Mendoza. Al Este con la Provincia de la Pampa. Al Sur con la provincia de Neuquén y al Oeste limita con la República de Chile. La cordillera de los Andes marca la frontera natural entre Malargüe y Chile.

Se puede acceder al departamento de Malargüe por la Ruta Nacional 40, ésta es una de las principales carreteras de Argentina que recorre el país de norte a sur, por esta ruta se ingresa tanto si se viaja desde Mendoza capital por el norte, o si se ingresa desde el sur desde la ciudad de Neuquén. Otra ruta común para llegar a Malargüe es a través de la Ruta Nacional 144, que conecta San Rafael con Malargüe. Por el Este se puede ingresar a Malargüe por la Ruta Provincial 186 que es de tierra.

Desde Chile se puede ingresar a través del paso internacional Pehuenche. Desde Talca en Chile, se accede por la Ruta CH-115, que se convierte en la Ruta Nacional 145 en Argentina.

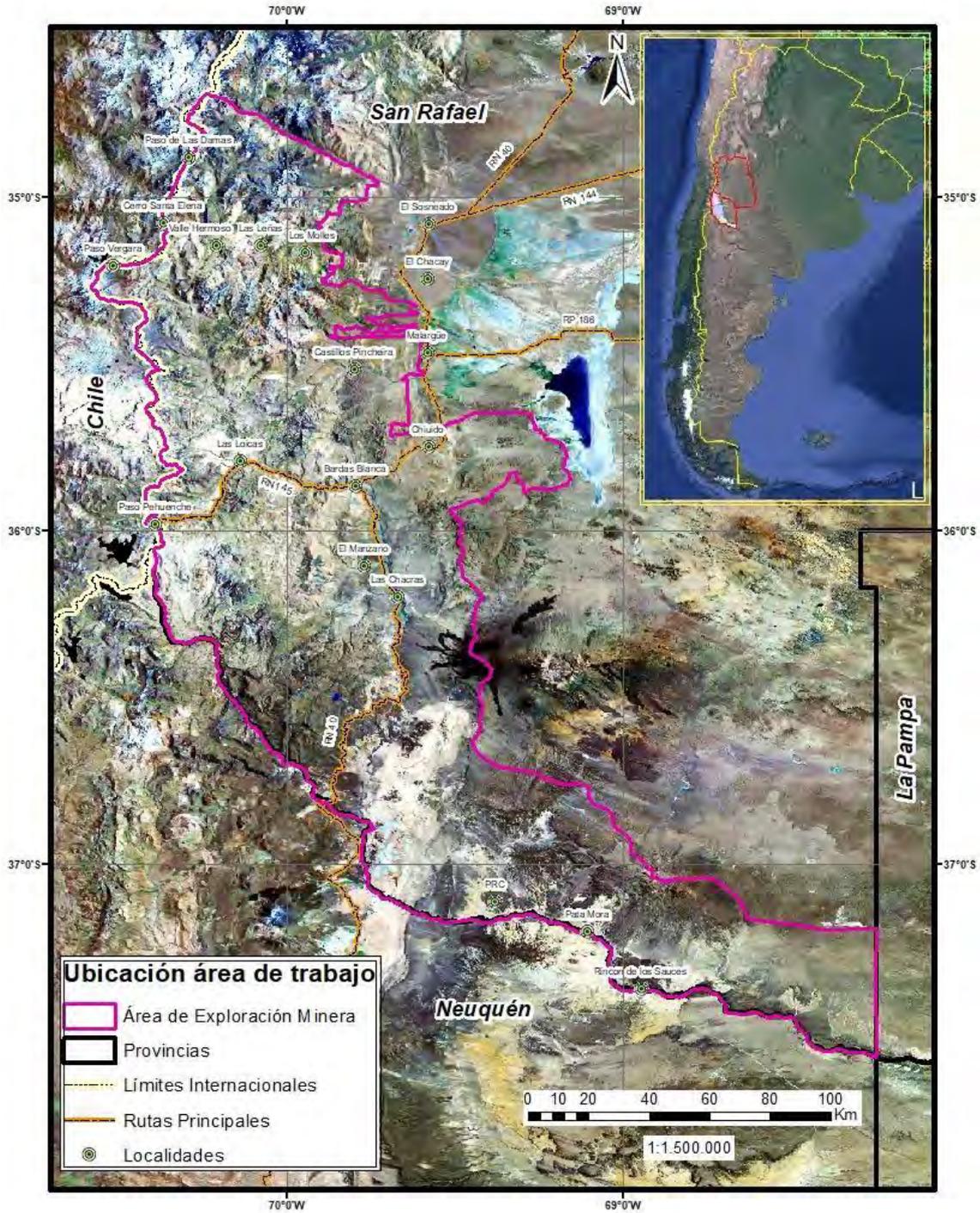


Figura II.1. Ubicación del área de trabajo.

III. Geología Regional

III.1- Estratigrafía

El área de estudio se encuentra cubierta las Hojas Geológicas 3569-I Volcán Maipo, Hoja Geológica 3569-III Malargüe, Hoja 3569-IV Embalse El Nihuil, Hoja 3769-I Barrancas, Hoja 3769-II Agua Escondida, Hoja 3769-III Chos Malal y 3769-IV Catriel. La geología del área es compleja y abarca gran cantidad de unidades litológicas, que van desde el paleozoico superior hasta la actualidad, donde todavía se desarrolla un volcanismo activo y una importante dinámica erosiva. La entidad geológica - geomorfológica más importante en el área seleccionada es la Cordillera Principal representada por la faja corrida y plegada de Malargüe. A continuación se hará una breve descripción de las principales unidades geológicas presentes en el área de trabajo (Cuadro III.1.).

Arroyo Mendino (Carbonífero- Pérmico 358 a 298 Ma.)

Las rocas más antiguas conocidas hasta el momento son los depósitos metamórficos del paleozoico superior representado por la formación **Arroyo Mendino**, estos afloramientos están próximos al complejo de esquí Las Leñas, son metasedimentos que están intruidos por rocas ígneas del magmatismo del grupo Choiyoi, de edad Permo - Triásica. Estos metasedimentos serían el basamento de toda la región.

Grupo Choiyoi (Pérmico Sup.-Triásico infer. 286 a 247 Ma.)

El Grupo Choiyoi, consta de un magmatismo bimodal (ácido-básico), se extiende desde el sur de la provincia de Neuquén hasta el centro de la provincia de San Juan, en Malargüe estas rocas ígneas se encuentran a lo largo de toda la cordillera principal y suelen encontrarse en los núcleos de anticlinales, estas Rocas Ígneas son el basamento de toda la cuenca Neuquina.

Mesozoico

Durante el Mesozoico que duró casi 185 millones de años y que abarca los periodos Triásico-Jurásico y Cretácico, se desarrollaron las unidades sedimentarias más importantes de Malargüe (desde el punto de vista económico).

Grupo Tronquimalal-Arroyo Malo (Triásico medio-superior 247 a 203 Ma.)

Esta secuencia comienza con las rocas sedimentarias continentales de la **Grupo Tronquimalal-Arroyo Malo**, que apoyan en discordancia sobre las rocas ígneas de Choiyoi y sobre la **Formación Chihuido**, se trata de conglomerados mal seleccionados con clastos angulosos que principalmente corresponden a las vulcanitas de Choiyoi, luego pasan en transición a areniscas fluviales de la **Formación Llantenes**. La Formación Arroyo Malo son un banco de pelitas laminadas con intercalaciones de areniscas que serían de un sistema fluvial deltaico pasando a lacustre, en ambiente tectónico distensivo.

Granito del Chihuido, este intrusivo y sus rocas volcánicas asociadas son de edad Triásico superior y sus afloramientos son escasos, pero se encuentran desde Las Leñas hasta Valle Noble, encontrando sus mejores exponentes en la cuesta del Chihuido.

Grupo Cuyo (Jurásico 200 a 145 Ma.)

Este grupo está conformado por diferentes Formaciones: Remoredo-El Freno, Puesto Araya, Tres Esquinas y Tábanos, las cuales fueron denominadas Ciclo Cuyano (Groeber, 1947) y Grupo Cuyo o Mesosecuencia Cuyo. En la zona de estudio estas rocas afloran al norte del río Atuel, inmediatamente al oeste del arroyo Blanco y hacia el sur, en la zona de unión del río Grande con el arroyo Poti Malal, siguiendo los márgenes de este último y en el arroyo La Vaina.

A partir de aquí se describirán las formaciones geológicas individualmente dado la importancia que tienen cada una en el cuadro estratigráfico de Malargüe.

Formaciones Remoredo – El Freno (200 Ma.)

En el Jurásico inferior (200 millones de años) para el sector de Malargüe se empezaron a acumular potentes espesores de conglomerados con intercalaciones de areniscas, estos materiales están representados por las Formaciones Remoredo – El Freno, ambos términos serían iguales para estos materiales. Estas secuencias que son la base del grupo Cuyo se apoyan en discordancia sobre los materiales del Grupo el Choiyoi y la Formación Llantenes.

Formación Puesto Araya (190 Ma.)

Sobre los depósitos antes mencionados se depositaron los materiales de la Formación Puesto Araya, estos corresponden a areniscas finas a gruesas con intercalaciones de bancos de tobas y materiales epiclásticos, hacia el tope de la formación se integran materiales finos de ambiente litoral marino somero representados por lutitas oscura. Estos materiales afloran en el Valle de las Leñas, al norte del río Atuel y en el Arroyo Blanco. Esta formación Puesto Araya también es conocida en la bibliografía como Formación Las Chilcas o Formación El Cholo y en Neuquén con la Formación Sierra Chacaicó.

En el campo la parte basal de Puesto Araya es difícil de distinguir de la Formación El Freno. Ambas unidades forman grandes anticlinales y sinclinales. Desde el punto de vista paleo-ambiental aparecen los primeros fósiles marinos (amonites) que muestran el primer ingreso de agua de mar en esta cuenca.

Formación Tres Esquinas (176 Ma)

La Formación Tres Esquinas está constituida por lutitas oscuras con intercalaciones de calizas gris-azuladas, portadoras de amonites. Estos materiales se depositaron en ambiente marino profundo y de plataforma y tienen un alto contenido de materia orgánica. Ambientalmente representa un aumento en el nivel del mar para este período.

Formación Tábanos (165 Ma)

Esta unidad fue definida por Stipanovic (1965), anteriormente se conocía como Yeso inferior. Los afloramientos no superan los 30 metros de espesor. Afloran en el codo del arroyo Blanco, en el cerro Chivato y hacia el sur, en el arroyo La Vaina. La unidad está compuesta mayormente por bancos de yeso de color gris-blancuecino con intercalaciones de calizas oscuras que indican una importante caída del nivel medio del mar. En la zona del cerro Chivato se observan pequeñas fallas en el yeso, las cuales causan una intensa fracturación y plegamiento del mismo. Esta unidad se apoya concordantemente sobre la Formación Tres Esquinas y la cubren, en discordancia erosiva, areniscas de la Formación Lotena. Se le asignó una edad Calloviano medio, en base a las relaciones estratigráficas y edades con las unidades infra y suprayacentes, ya que no tiene fósiles. Con esta unidad termina el grupo Cuyo, ambientalmente muestra un descenso del nivel del Mar.

Grupo Lotena

Este grupo está conformado por tres unidades sedimentarias: Fm. Lotena, Fm. La Manga y los yesos de la Fm. Auquilco. Este grupo abarca el límite entre el jurásico medio al jurásico superior 161.5 Ma.

Formación Lotena y Formación La Manga (165 a 154 Ma.)

Estas unidades se tratan en conjunto ya que varios autores consideran a la Formación Lotena como la parte basal de la Formación La Manga, además en el campo es muy difícil diferenciarlas. Estas unidades afloran en el codo del arroyo Blanco y se distinguen mejor en el cerro Chivato próximo a Hierro Indio, donde se pueden reconocer los límites de ambas unidades. En la base se encuentran areniscas de colores amarillentos con estratificación paralela y entrecruzada que indican un ambiente continental (Formación Lotena), y pasan a la sección superior que está integrada por calcarenitas, lutitas gris oscuras, niveles pequeños de chert y calizas gris azuladas conocidas como “Calizas azules con fósiles de *Gryphaea*”.

La Formación La Manga presenta gran cantidad de fósiles marinos como amonites que indican un cambio hacia un ambiente netamente marino de plataforma con aguas poco profundas. Debido al contenido fosilífero y a las relaciones estratigráficas las formaciones Lotena-La Manga son asignadas al Jurásico medio a superior.

Formación Auquilco (154,5 Ma.)

Esta unidad está muy bien representada en toda la cordillera Principal de Malargüe y en casi toda la cordillera de Mendoza. También es conocida como “Yeso Principal”, la Formación Auquilco compuestos principalmente por yesos, es una de las formaciones más importantes ya que por estos yesos se resuelven la mayoría de las deformaciones de la cordillera y es la superficie de despegue de varias fallas principales que la siguen elevando. Los principales afloramientos en Malargüe se sitúan en el frente este del cerro Chivato y en el codo del arroyo Blanco, hacia el sur se encuentran afloramientos a lo largo del arroyo La Vaina y en la margen izquierda del arroyo Poti Malal. Esta unidad presenta un espesor aproximado de 200 metros de yeso casi puro blanquecino-grisáceo, que en algunos sectores se encuentra incrementado por duplicación tectónica.

Estos depósitos se caracterizan por un ambiente marino poco profundo y restringido que pasa transicionalmente a un ambiente continental. La edad del yeso es Jurásico medio y la unidad infrayacente es la Formación La Manga. Con los yesos Auquilco termina el grupo Lotena.

Grupo Mendoza

Este Grupo se divide en cuatro Formaciones: Tordillo, Vaca Muerta, Chachao y Agrío, en Mendoza también se conoce como Ciclo Mendociano. Este grupo es uno de los más importantes de la provincia, ya que genera y alberga hidrocarburos. Este grupo presenta una edad que incluye desde el Jurásico superior (Formación Tordillo) hasta el Cretácico inferior (Formación Agrío). Presenta grandes variaciones litológicas, que caracterizan desde un ambiente continental (Formación Tordillo) a marino de aguas calmas, evidenciado por la transgresión marina de la Formación Vaca Muerta, y las rocas calcáreas de las Formaciones Chachao y Agrío.

Este grupo a su vez es muy estudiado en superficie como en subsuelo ya que la Formación Vaca Muerta presenta un gran interés por ser generadora de hidrocarburos.

Formación Tordillo (154,8 a 149,2 Ma.)

La Formación Tordillo está formada por alternancia de conglomerados, areniscas de coloración marrón-rojiza, con estratificación planar y entrecruzada y algunos niveles de arcilitas verdosos-amarillentos. El ambiente es netamente continental, con cursos fluviales y abanicos aluviales conectados a depresiones de tipo *playa-lake*. Estos sedimentos presentan un espesor que varía entre los 500 a 600 metros, cubren discordantemente al yeso de la Formación Auquilco y por encima se encuentran los depósitos marinos de la Formación Vaca Muerta.

Antiguamente fue designada como “Areniscas Coloradas y Conglomerados del Malm”, los afloramientos se distribuyen en forma muy amplia, como fajas alargadas de dirección norte-sur, se encuentran muy tectonizados, acompañando a los despegues y deformaciones del yeso de la Formación Auquilco. Esta unidad se acuña hacia el este e incrementa su espesor hacia el oeste (Chile), donde se interdigita lateralmente con rocas de origen volcánico como coladas y brechas de composiciones básicas a intermedias, correspondientes a la Formación Río Damas, de ambiente distensivo. En el área al oeste del valle de Las Leñas, los afloramientos inclinan suavemente al oeste.

La edad asignada a la Formación Tordillo por correlación estratigráfica es Jurásico superior (Kimmeridgiano).

Formación Vaca Muerta (139 a 149 Ma.)

Esta unidad está compuesta por un conjunto de estratos pelíticos y calizas de colores oscuros portadores de una rica fauna de amonites, de amplia distribución areal y junto con las otras formaciones que conforman el Grupo Mendoza generan grandes estructuras sinclinales y anticlinales. Los principales afloramientos en la zona de interés se centran en una faja de orientación norte-sur al norte del río Atuel, entre el arroyo Blanco y el arroyo La Manga; al sur del arroyo Paulino, sector oeste del cerro Chivato, a lo largo del río Salado y sobre la Cuesta del Chihuido. Está conformada por lutitas gris-azuladas a negras y calizas micríticas que contiene una gran variedad de fósiles marinos como los amonites. El estudio detallado de estos fósiles ha sido de mucha utilidad para determinar la edad de dicha formación como Jurásica Superior Cretácica inferior. El ambiente de depositación varía desde uno fluvial, que se encuentra al este con facies proximales a un ambiente marino con variaciones periódicas en la profundidad que se encuentra al oeste.

Formación Chachao (139,8 a 132,6 Ma.) Cretácico

Se les denominó Formación Chachao a los bancos calcáreos con abundantes coquinas y pelecípodos, la localidad tipo de esta unidad se encuentra en el cerro Chachao, al sur del cerro Chihuido, también aflora en la cercanías al río Atuel y al oeste del cerro Chivato. El espesor general de los niveles carbonáticos es de 20 a 45 metros y se adelgazan hacia el centro de la cuenca. Está conformada por calizas y coquinas de colores castaño amarillento portadoras de una amplia fauna de bivalvos (*Exogyra couloni*) y amonites que adjudican a la unidad edad Cretácico Inferior y denotan un ambiente marino poco profundo, de baja energía relativa. La Formación Chachao apoya en concordancia a la Formación Vaca Muerta y es cubierta por la Formación Agrío.

Algunos autores equiparan a la Formación Chachao con las Formaciones Quintuco y Mulichinco que se encuentran por arriba de Vaca Muerta en la cuenca neuquina.

Formación Agrio (132,6 a 125,7 Ma) Cretácico

La Formación Agrio representa la culminación de la sedimentación marina del Grupo Mendoza. Los afloramientos presentan una distribución similar a los de la Formación Vaca Muerta, afloran en cercanías al río Atuel, al oeste del cerro Chivato y a lo largo del río Salado. Está constituida por facies proximales y distales, son principalmente limolitas, pelitas calcáreas y calizas que corresponden a un ambiente marino somero, de aguas agitadas para las facies proximales y un medio de aguas calmas con ocasionales variaciones en la profundidad para las distales (Legarreta *et al.* 1981). Es cubierta mediante discordancia por la Formación Huitrín y la edad asignada es Hauteriviano-Barremiano.

Grupo Rayoso

El Grupo Rayoso fue dividido en dos unidades, Formación Huitrín y Formación Rayoso. Este Grupo aflora en la zona del río Atuel, entre los arroyos Blanco y La Manga, al oeste del cerro Chivato y en pequeños asomos a lo largo del río Salado, sus espesores aumentan hacia Neuquén, sus equivalentes en la cuenca Neuquina es el Grupo Bajada del Agrio.

Formación Huitrín (125,7 a 113)

La Formación Huitrín anteriormente se conocía como Huitriniano o "Yeso de Transición", más tarde fue reemplazada por Formación Huitrín compuesta por tres miembros: Chorreado, Troncoso y La Tosca.

Esta unidad está integrada por depósitos de yeso y delgados bancos de calizas y areniscas calcáreas que denotan un medio marino somero, de salinidad anormal que cambia a un ambiente hipersalino a continental (Fig. 2.2.17) de edad barremiano- aptiana.

Formación Rayoso (113 a 100,5 Ma.)

Por su parte la Formación Rayoso está compuesta por limolitas y areniscas rojizas, la cual representa la regresión de los mares mesozoicos. Volkheimer (1978) optó por conservar la denominación " Formación Salas" y le asigna un espesor de 500 metros en el arroyo Paulino al oeste del cerro Chivato. Las capas de la Formación Rayoso registran una marcada expansión de la cuenca hacia el antepaís y tienen una edad albiana. Todo el Grupo se encuentra discordante sobre sedimentitas del Grupo Mendoza y es cubierto por las capas rojas de la Formación Diamante.

Formación. Diamante (100,5 a 72,1 Ma)

Un conjunto de sedimentos continentales dispuestos en discordancia angular sobre la Formación Huitrín-Rayoso, fue denominado "Diamantino" y otros autores lo comparan con el Grupo Neuquén. El nombre formacional fue asignado por Dessanti (1973) en la hoja geológica de Bardas Blancas en el sur de Malargüe. En el norte, afloran al sur del intrusivo de laguna Amarga, entre los arroyos La Manga y Blanco y en la margen sur del río Salado, cerca de Los Molles. Se trata de areniscas y conglomerados de coloración rojiza con gran variedad de estructuras que denotan un ambiente aluvial. La edad de esta unidad, establecida en base a las edades determinadas para las unidades infra y suprayacentes, se ubica en el Cretácico Superior.

Grupo Malargüe

Se denomina Formación Malargüe a un conjunto de calizas y margas fosilíferas ampliamente distribuidas en el sur mendocino. El Grupo Malargüe tiene cuatro unidades formacionales: Loncoche, Roca, Pircala y Coihueco. Este grupo se encuentra bien expuesto en la zona del cerro Alquitrán donde presenta espesores de 280 m y en el río Salado (Los Molles). Los perfiles más completos se encuentran en la zona de laguna Amarga y a lo largo del arroyo Las Aucas, en la margen norte del río Atuel. La edad del Grupo Malargüe va desde el Maastrichtiano al Paleoceno.

Formación Loncoche (72,1 Ma.)

La Formación Loncoche está integrada por una secuencia grano decreciente de areniscas conglomerádicas, areniscas verdosas y limoarcilitas amarillentas y rojizas. El espesor de esta unidad medido al sur de la Cuchilla de La Tristeza es de 150 metros. Se trata de un ambiente alternante entre sistemas fluviales y lacustres de aguas salobres.

Formación Roca (63 a 58 Ma.)

La Formación Roca, está compuesta por calizas esqueléticas y limolitas calcáreas, posee un abundante contenido fosilífero rico en bivalvos, corales, foraminíferos, etc. El espesor de esta unidad en la zona del arroyo de Las Aucas es de 30 metros y corresponde a una plataforma carbonática externa desarrollada en un margen pasivo. En base a la fauna marina y a la datación del material volcánico presente en la parte superior de la Formación Roca (63 a 58 Ma) se le asignó una edad Maastrichtiano superior- Daniano.

Formación Pircala y la Formación Coihueco (de 61 a 41 Ma.)

Se da este nombre a las capas cenozoicas por arriba de la Formación Malargüe. En general, ambas unidades se tratan en conjunto ya que es difícil reconocer en el campo un límite neto entre las mismas. En la actualidad se estudian estas unidades por separado ya que existe una pseudoconcordancia entre ambas unidades, por lo cual las separaron con nombres diferentes. La formación Pircala está constituida por limolitas y areniscas finas con gran contenido piroclástico y la Formación Coihueco está integrada por margas y limoarcilitas de color verdosas. Ambas unidades, en conjunto, tienen espesores de aproximadamente 340 metros en el arroyo de Las Aucas y solo 50 metros en Tres Esquinas. El ambiente de depositación está dominado por planicies aluviales, llanuras de inundación y sistemas fluviales de baja a moderada sinuosidad que pasan a un régimen de mayor energía como consecuencia del ascenso de las cuencas que alimentaban dicho sistema. Las Formaciones Pircala y Coihueco tienen una edad Paleocena, debido a que se disponen por encima de la Formación Roca y debajo del prisma sinorogénico, el cual se generó en el Eoceno debido al inicio del levantamiento de este sector cordillerano.

Formación Agua de la Piedra (14.2–12.2 Ma.)

A los depósitos sedimentarios rojizos que se encuentran por encima del Grupo Malargüe y por debajo de la Formación Loma Fiera, se denominan "Estratos de Agua de la Piedra". Buenas exposiciones de la Formación Agua de la Piedra se encuentran en las zonas de laguna Amarga, cerro Alquitrán y Los Buitres.

La unidad comienza en su base con conglomerados de aspecto lustroso, los cuales engloban clastos pulidos y facetados de tamaños variables, conocidos como "Rodados Lustrosos". Continúa con una secuencia granocreciente de areniscas finas rojizas que hacia arriba pasan a conglomerados amarillentos matriz sostén con clastos subangulosos a redondeados andesíticos y de rocas sedimentarias. Esta variación en el tamaño de grano se observa bien en la zona de laguna Amarga.

Los espesores de la Formación Agua de la Piedra son muy variables probablemente debido a la erosión. El paleoambiente es de abanicos aluviales desarrollados bajo clima semiárido asociado al ascenso de la Cordillera de los Andes, algo importante de mencionar es que estos materiales son contemporáneos con el Ciclo Eruptivo Huincán.

Los depósitos sinorogénicos de la Formación Agua de la Piedra son de edad Mioceno Medio (14.2–12.2 Ma.).

Secuencias Volcánicas Neógenas (desde los 23 a los 2,5 Ma.)

La evolución del arco volcánico durante el Neógeno en el sur mendocino está caracterizada por una intensa actividad magmática cuyos productos corresponden principalmente a lacolitos, diques, filones capas, pórfidos y efusiones basálticas de edades y composiciones variables. De acuerdo a las edades radiométricas, la actividad tuvo sus primeras manifestaciones a los 17 Ma, haciéndose más intensa entre los 14 Ma y los 5 Ma.

Las primeras secuencias volcánicas de retroarco son las del Ciclo Eruptivo Molle asignado al Oligoceno a Mioceno Temprano. Más tarde, durante el Mioceno Temprano al Mioceno Tardío-Plioceno, se produjo la actividad de un arco volcánico sobreimpuesto a la estructuración de la faja plegada y corrida que se lo denominó Ciclo Eruptivo Huincán.

Ciclo Eruptivo Huincán

En el área de estudio se reconocen diversos cuerpos subvolcánicos de composición principalmente andesítica a basandesítica, con formas de diques, filones capa y lacolitos que intruyen a la secuencia mesozoica. Anteriormente, varios de estos cuerpos fueron mapeados como Mollelitense o Grupo Molle de edad oligocena superior. Posteriormente, dataciones radiométricas $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ arrojaron edades desde 13,94 Ma en el cerro Chivato, 10,56 Ma en el cerro laguna Amarga, 10,42 Ma en el cerro Alquitrán y hasta 5,97 Ma en el cerro la Brea. Baldauf (1997) denominó Huincán I, a la suite más antigua, la que parece haber sido emplazada en las fases finales de la deformación del cinturón plegado y corrido entre 13,88 y 12,47 Ma y Huincán II a los intrusivos más jóvenes (desde 10,56 hasta 5,58 Ma). Otros autores proponen que el Ciclo Eruptivo Huincán está constituido por dos pulsos magmáticos denominados Andesita Huincán (entre los 17 Ma a los 10 Ma) y Andesita La Brea (10 a 4,5 Ma) ambas separadas por el ciclo orogénico Quechua.

Andesita Huincán (entre 13 y 7 Ma.)

Los afloramientos se distribuyen al sur del río Atuel, atravesando el río Salado hasta llegar al río Grande. Uno de los cuerpos pertenecientes a estos afloramientos exhibe una forma subcircular, lacolítica, que se extiende 2 kilómetros de ancho por 4 kilómetros de largo ubicado en el cerro Chivato. Se trata de una dacita de textura seriada, compuesta por fenocristales de anfíbol, feldespatos y cuarzo. Un dique que aflora al oeste del cuerpo central, cerca del arroyo Paulino al oeste de Hierro Indio, fue datado $13,94 \pm 0,08$ Ma.

Otro cuerpo subvolcánico perteneciente a esta unidad es el que aflora en el puesto de Gendarmería de Las Leñas, está integrado por rocas de composición andesítica, de color verde oscuro a gris, con gran cantidad de plagioclasa y hornblenda. Este cuerpo fue descrito inicialmente por Llambías y Palacios (1979) y más tarde fue datado por Baldauf (1993) quien obtuvo un valor de $12,4 \pm 0,7$ Ma.

La Andesita Huincán se correlaciona temporalmente con los depósitos de la Formación Agua de La Piedra, es decir, Mioceno medio.

NEÓGENO - CUATERNARIO

Formación Coyocho Superior (2,5 a 2 Ma.)

Se denomina Fm. Coyocho Superior a las coladas basálticas y efusiones de andesitas y basandesitas emitidos por los cerros Risco Plateado y cerro El Sosneado, con edad Plioceno superior. Esta unidad, dentro de la zona de estudio, aflora en la parte septentrional de la Cuchilla de la Tristeza y en cercanía a Los Morros (río Salado). Los depósitos volcánicos se apoyan mediante discordancia angular sobre la secuencia mesozoica plegada y sobre la Andesita Huincán y está cubierta por fanglomerados de la Formación Los Mesones.

Formación Chapúa (3,6 a 1,7 Ma.)

Se denomina Formación Chapúa a un conjunto de mantos y coladas de composición basáltica con olivinos, que afloran principalmente en el sector occidental de Malargüe. Las coladas afloran en el denominado campo de Llancanelo. Constituyen conos volcánicos, en parte piroclásticos, sobre los que se observan múltiples eventos lávicos. Las rocas que integran esta unidad son de color oscuro a gris oscuro, masivas, con un marcado diaclasamiento que corta el manto lávico en algunas exposiciones. Se observan fenocristales de plagioclasa y cristales de olivino. En algunas coladas se observan vesículas, rellenas por ceolitas o un material blanquecino pulverulento.

CUATERNARIO

Formación El Puente - Formación Loma Seca (0,77 a 0,15 Ma.)

Con la denominación Formación El Puente se identifica a un conjunto de emisiones basálticas. Se trata de mantos y coladas estratificadas de composición basáltica, de color negro, gris oscuro y castaño oscuro, en menor proporción. En algunas exposiciones se intercalan depósitos piroclásticos de 2 a 4 m de potencia, principalmente ignimbríticos. Una roca típica de esta unidad muestra textura porfírica y pasta integranular integrada por plagioclasa, en parte alteradas y pequeños fenocristales de clinopiroxeno y olivinos. La edad asignada a esta Formación es Pleistoceno Medio.

La Formación Loma Seca son Tobas e Ignimbritas volcánicas de un complejo de caldera y flujos piroclásticos localizados en el sector andino. Desde el portezuelo del Pehuenche por el sur hasta el arroyo Fierro por el norte, reconociendo una secuencia caracterizada por tobas de composición basáltica en la base y una superior más espesa, compuesta por tobas andesíticas con tendencia a dacíticas, con abundantes tramos vítreos.

De acuerdo con las dataciones radimétricas determinadas por Hildreth et al. (1984), los depósitos de la Formación Loma Seca se asocian a las efusiones de la caldera Calabozo variando su entre 0.8, 0.3 y 0.15 Ma, lo que permite ubicarla en el Pleistoceno superior.

HOLOCENO

Basalto Cerro Campanario

El cerro Campanario está ubicado al sur de la comarca, formando parte del límite internacional con la República de Chile. Desde este cerro bajan coladas basálticas que se disponen periféricamente a la boca del cono, las que se adjudican a esta unidad. Los sectores más altos se presentan muy erosionados y parte del sector occidental del cono se encuentra desmantelado. Por su morfología se considera que estos basaltos poseen edad holocena, pero no se dispone de dataciones radimétricas que lo confirmen.

Basalto Peteroa

El volcán Peteroa se dispone en el sector medio de la Hoja, sobre el límite internacional con Chile. En la parte más elevada se dispone el cono volcánico o caldera, el cual ha estado en actividad histórica entre 1660 - 1991 en 13 oportunidades. Sobre el faldeo oriental se disponen sucesivas coladas basálticas. Parte de éstas se han mapeado independientemente, observándose distalmente, que se asientan sobre piroclastitas de la Formación Loma Seca. Por sus características geomorfológicas el aparato volcánico tuvo diferentes etapas de actividad. Las lavas más jóvenes, por su aspecto, se pueden asimilar al Holoceno, sin que se disponga de dataciones radimétricas que lo confirmen.

Formación Tromen

Esta unidad está caracterizada por coladas basálticas, escoria, lapillis y cenizas volcánicas, de color negro oscuro o rojizo. Las acumulaciones se muestran casi como si recién se hubieran producido. Sobre la superficie de las coladas de lava se ven los detalles del fluir, como los escapes de gases, se observan claramente.

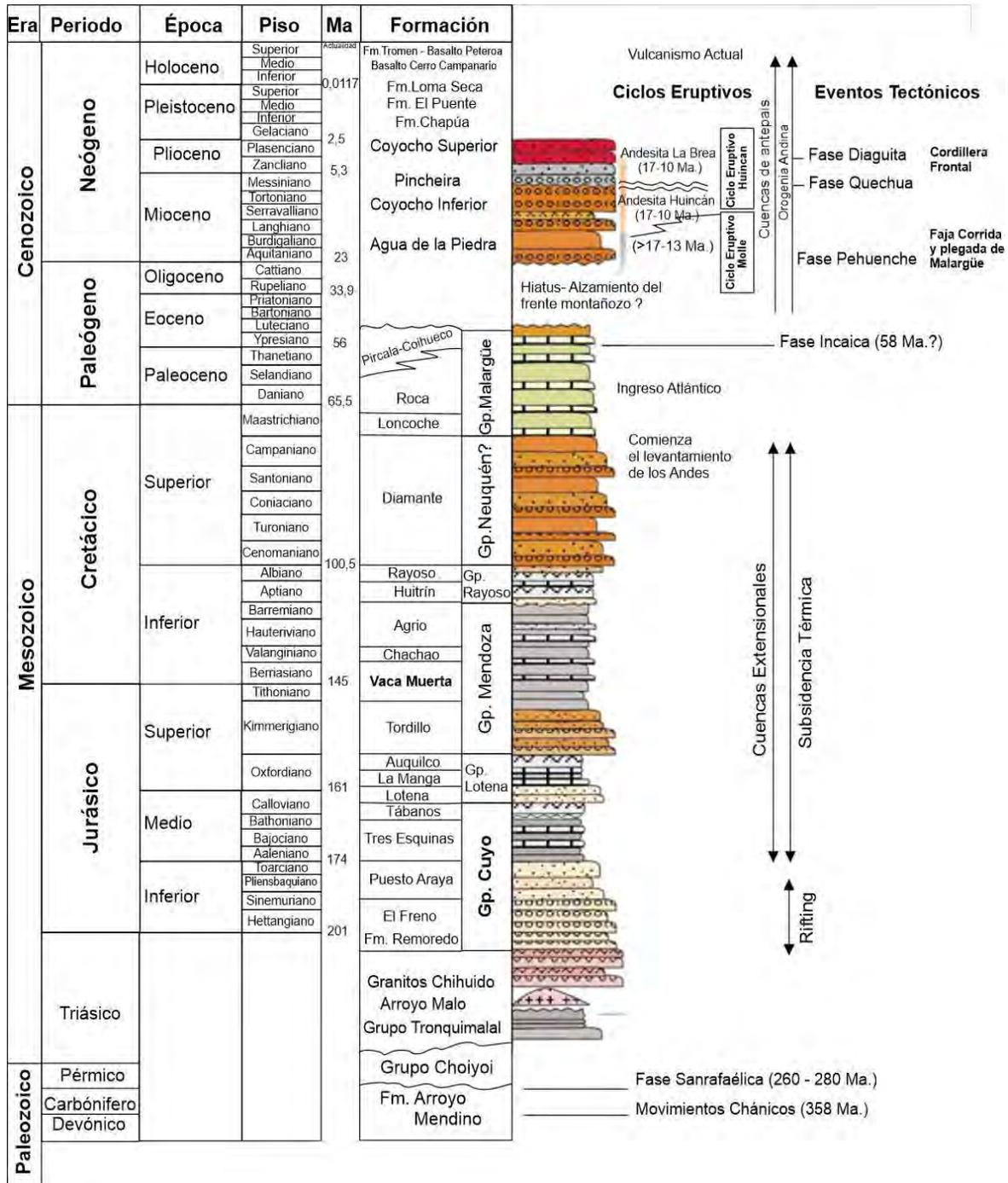
Una de las coladas más espectaculares de esta unidad, es la que cortó y endicó el río Salado, al este del paraje de Los Molles. Allí se observa que hubo la disposición de un espejo de agua, el que desarrolló un sistema de terrazas al oeste del endicamiento, hasta que finalmente pudo cortar nuevamente su cauce. La laguna de la Niña Encantada está asociada a este fenómeno lávico. Otras coladas de similares características morfológicas se disponen en el sector oriental de Malargüe, como las de los conos de Piedras Blancas o las del cerro Jarilloso, algo más al norte. La superficie está marcada por una intensa aspereza, que hace dificultoso el desplazamiento a través de ella. Se trata de basaltos escoreáceos, muy porosos y con las amígdalas rellenas de ceolitas. La roca es de color gris oscuro a negro, con abundante cantidad de vesículas pequeñas, redondeadas o estiradas por el peso de coladas sucesivas en el momento del enfriamiento. La textura es porfírica, con pasta pilotáxica a hialopilítica, con tablillas de plagioclasa, corroídas y alteradas, con cierta orientación. Posee fenocristales de olivino, clinopiroxeno y opacos.

Depósitos Modernos.

Se han observado depósitos morrénicos de origen glaciario en varios sectores cordilleranos, con fanglomerados gruesos dispuestos principalmente a modo de morenas laterales retrabajadas. Se manifiestan principalmente en el valle del río del Cajón y en las serranías al sur de la laguna Manguira. También afloran en otros sectores cordilleranos, como en las terrazas laterales de la desembocadura de los ríos Salado ó Atuel, donde se han reconocido numerosos rodados estriados.

En casi todos los casos están caracterizadas por rodados poco seleccionados, subangulosos a redondeados, compuestos por rocas volcánicas entre las que prevalecen las correspondientes al Ciclo Eruptivo Huincán. En otras ocasiones, en valles más pequeños, como el Montañes y el Montañesito, las acumulaciones son muy pequeñas, y se conservan en el fondo de las quebradas en parte retrabajadas por la posterior acción fluvial, que generan conglomerados y areniscas fluviales.

Por sobre estos materiales podemos encontrar depósitos eólicos actuales que forman dunas y médanos. Los materiales que constituyen los médanos son arenas de tamaño fino a muy fino, de gran selección y alta movilidad. En el caso de los médanos del oeste de la comarca, gran parte de los clastos están constituidos por vidrio volcánico, producto de las emisiones volcánicas históricas o del retrabajo de las tobas o ignimbritas de la Formación Loma Seca.



Cuadro III.1. Cuadro estratigráfico del área de estudio.

III.2 - Geología Estructural y Evolución Geológica

La historia geológica post-paleozoica de la Cordillera Principal mendocina reconoce dos grandes eventos, la formación de una cuenca marina de retroarco durante el Mesozoico y el desarrollo del ciclo ándico durante el Cenozoico.

La cuenca de retroarco, extendida en el oeste de Neuquén y sudoeste de Mendoza, estuvo asociada a un arco volcánico occidental de tipo insular (islas volcánicas). El relleno sedimentario de esta cuenca marina abarca casi todo el Mesozoico, desde el Triásico superior hasta el Cretácico superior, duro unos 155 Ma. A lo largo de la mayor parte del Mesozoico la cuenca estuvo sometida a las oscilaciones eustáticas globales (subidas y bajadas del nivel del mar), cuyo carácter cíclico dio lugar a una sucesión alternada de eventos transgresivos y regresivos y sus sedimentos asociados.

Las unidades más antiguas corresponden a las sedimentitas marinas del Grupo Cuyo, las calizas de la Formación La Manga y los depósitos evaporíticos de la Formación Auquilco. Por encima se disponen los depósitos fluviales de la Formación Tordillo, los cuáles conforman una secuencia integrada por areniscas rojas y conglomerados verdosos, con frecuente intercalación de filones capa de la Formación Río Damas, los cuáles evidencian la actividad de un persistente arco volcánico al oeste de la cuenca. Estas rocas constituyen las facies de engranaje lateral entre la Formación Tordillo y la Formación Río Damas. La columna local culmina con sedimentitas marinas, con restos indeterminables de amonites, pertenecientes al Grupo Mendoza.

A escala regional, el desarrollo del ciclo ándico está caracterizado por la estructuración del basamento y de las secuencias mesozoicas, la acumulación de depósitos sinorogénicos hacia el este y el emplazamiento de magmas calcoalcalinos vinculados a las sucesivas fases de deformación orogénica.

A partir del Mioceno, en este sector se reconocen evidencias de la instalación de un arco volcánico, el cual experimentó migración y expansión durante los últimos 20 millones de años.

En el área de estudio, las unidades estratigráficas afectadas por la fase principal de deformación del Mesozoico de la Cuenca Neuquina están atravesadas por dos suites de intrusivos. La suite más antigua, denominada Huincán I, parece haber sido emplazada en las fases finales de la deformación del cinturón plegado y corrido entre 13,88 y 12,47 Ma., sobre la base de dataciones Ar-Ar. Las edades de emplazamiento de los intrusivos post-tectónicos más jóvenes, denominados suite Huincán II, van desde 10,56 hasta 5,58 Ma. Estos intrusivos también cortan las estructuras principales de la fase principal de la faja plegada y corrida de Malargüe y su exposición sugiere levantamiento continuado y exhumación de dicha zona.

Durante el Neógeno, se producen sucesivos eventos magmáticos a partir de la evolución del arco y retroarco, los cuales pueden ser divididos en dos ciclos eruptivos: Ciclo Eruptivo Molle (19 a 13 Ma.) y Ciclo Eruptivo Huincán (17 a 4,5 Ma.), este último está integrado por dos pulsos magmáticos, el más antiguo denominado Andesita Huincán, abarca desde los 17 a 10 Ma., con mayor intensidad en los 14 Ma. y el más joven, Andesita La Brea que comprende desde los 10,7 a 4,5 Ma. El ciclo Eruptivo Molle, está compuesto por rocas de composición básica (basaltos), mientras que el segundo, el Ciclo Eruptivo Huincán comprende rocas de composiciones principalmente andesíticas.

Desde los últimos 5 Ma. a la actualidad el arco volcánico se ha mantenido estable en su posición y los volcanes están activos hasta el día de hoy, el ascenso de la Cordillera de los Andes no ha cesado durante todo este tiempo llegando algunos de sus picos a superar los 6.000 metros de altura (Cerro Aconcagua 6.961 m.s.n.m), este desnivel mantiene muy activos los agentes erosivos principalmente los arroyos y ríos. Los materiales sedimentarios fluviales y eólicos modernos se interdigitan con depósitos productos de las erupciones volcánicas.

IV- Modelos de Depósitos Minerales

IV.1 Depósitos Metalíferos en el Departamento de Malargüe

Malargüe cuenta con el ambiente geológico y tectónico favorable para la existencia de depósitos minerales de interés. El ambiente de subducción de *flat slab* variable, las zonas de distensión tras arco, cuencas marinas y continentales, sumado al magmatismo bimodal emplazado en rocas calizas y areniscas rojas permeables, crean un entorno propicio para la existencia de depósitos hidrotermales de alta y baja sulfuración, muchos relacionados a pórfidos de cobres, depósitos de metales base (Ag, Pb y Zn), depósitos de skarn, cobre en areniscas, depósitos de flúor en vetas, azufre, baritina, manganeso, uranio y hierro, minerales de níquel y cobalto. Además en las cuencas marinas mesozoicas hay depósitos de cloruro de potasio, carbón, gas e hidrocarburos.

IV.2 Pórfidos de Cobre

El sector de la cordillera Principal de Malargüe, reúne muy buenas condiciones para albergar depósitos de pórfidos cobre, cuenta con una potente acumulación de rocas sedimentarias mesozoicas que son deformadas por la tectónica andina y a su vez intruidas por cuerpos ígneos. Sumado a esto, a partir de los 23 Ma. comienza un ciclo magmático denominado en Malargüe Ciclo Eruptivo Molle - Huincan, producido por la zona de subducción de los Andes, ya con una corteza continental engrosada, que favoreció que los magmas en su ascenso asimilen las rocas de caja y se enriquecieran en elementos metalíferos.

Los pórfidos cupríferos son esencialmente depósitos minerales de baja ley y gran tonelaje. Se denominan pórfidos porque frecuentemente, pero no exclusivamente, se asocian con rocas ígneas intrusivas con fenocristales de feldespatos en una masa fundamental cristalina de grano más fino.

La textura porfírica indica que los magmas intruyeron y cristalizaron cerca de la superficie y debido a su naturaleza relativamente poco profunda se denominan intrusivos epizonales.

Los depósitos de pórfido se pueden subdividir en distintos tipos considerando su contenido metálico. Estos tipos incluyen Cu-Mo, Cu-Au, Cu, Au y Mo. En general los pórfidos ricos en Cu o Au se asocian a intrusivos derivados por cristalización fraccionada de magmas máficos originados en fusión parcial del manto en zonas de subducción (márgenes continentales activos y arcos de islas). Los pórfidos de molibdeno se asocian a intrusiones con una composición química félsicas derivadas de magmas con una importante componente de corteza continental refundida.

Por lo general existen varios cuerpos de rocas intrusivas, emplazadas en varios pulsos y los pórfidos cupríferos se asocian frecuentemente con enjambres de diques y brechas. Las rocas de caja intruidas por los pórfidos pueden ser de cualquier tipo, pero si son calcáreas pueden generar depósitos de tipo skarn.

IV.2.1. Faja Metalogenética del Mioceno

En el Mioceno se dieron condiciones geológicas excepcionales, que por ejemplo en Chile, generó dos Fajas de mineralización, una en el Mioceno Inferior (23 a 17 Ma.) y otra desde el Mioceno Medio al Plioceno (17 a 4 Ma.). Este período generó la mayoría de los depósitos de clase mundial que se encuentran en la Franja Metalogenética del Mioceno, que incluye a las conocidas franjas de Maricunga y de El Indio – Pascua en Chile. Los principales depósitos de la faja Miocena Inferior son: El Indio, Pascua-Lama, el pórfido aurífero Cerro Casale, La Coipa, Caspiche, Pimentón y el pórfido aurífero Lobo-Marte. En Argentina está el depósito de Veladero asociado a esta faja.

La Faja metalogenética del Mioceno Superior, una de la más importante en Chile, está desarrollada casi en el límite con Argentina. Presenta pórfidos de Cu-Mo de clase mundial como los son El Teniente, Los Bronces-Rio Blanco y Los Pelambres. Las edades de estos depósitos van desde los 13 a 10 Ma en Los Pelambres y posteriormente los depósitos de El Teniente y Rio Blanco-Los Bronces entre 6,46 y 4,37 Ma. En Argentina se asocia a esta faja al proyecto El Pachón en San Juan. Todos estos depósitos están ubicados al norte del área de estudio correspondiente al presente trabajo.

Muchos autores chilenos consideran que estas fajas no tienen continuidad hacia el sur, principalmente en el lado chileno y otros consideran que es poco probable que se encuentre un pórfido de cobre económico hacia el sur de la faja del lado argentino, por debajo de los 35° de latitud. Sin embargo, los estudios realizados por distintas empresas desde el 2005 hasta la fecha, demuestran que existen distintos proyectos con características de depósitos de cobre porfídico en Malargüe, tanto en alteración como en anomalías geoquímicas y geofísicas.

Lamentablemente, casi ninguno de los proyectos caracterizados como posible depósito de cobres porfídico ha podido ser perforado, ya que toda la prospección y exploración minera se detuvo en la provincia de Mendoza a partir del 2007, debido a la legislación poco favorable para la actividad minera que se dictó a partir de dicho año.

IV.3 Cobre en Sedimentos

La geología de Malargüe favorece el desarrollo de este tipo de depósitos, ya que cuenta en su columna estratigráfica con varias unidades sedimentarias de distintas edades y características y que además, muchas de ellas tienen cemento carbonático que favorecen la precipitación de minerales metálicos. Muchos de los depósitos de edad Mesozoica están conformados por conglomerados continentales del tipo abanicos aluviales y areniscas de distintos ambientes, predominando las fluviales, eólicas y de ambiente de playa.

Varias son las formaciones geológicas que presentan litologías de areniscas y conglomerados. Las principales son: en el Triásico, la Fm. Tronquimalal, en el Jurásico Inferior la Fm. Remoredo, El Freno y Puesto Araya del Grupo Cuyo, son materiales sedimentarios que se acumularon por un periodo de 27 Ma. En el Jurásico superior se encuentran los materiales de la Fm. Lotena del grupo del mismo nombre y las areniscas y conglomerados de la Fm. Tordillo del Grupo Mendoza. En el Cretácico superior se depositaron durante 28 Ma. los materiales de la Fm. Diamante equivalente al grupo Neuquén.

Estos tipos de depósitos de cobre se caracterizan por estar alojados en rocas sedimentarias porosas y permeables como areniscas y conglomerados principalmente con cemento calcáreo. Estos depósitos se dividen en dos tipos; uno denominado en la bibliografía como Cobre Exótico y otros, como Cobre Sedimentario.

IV.3.1 Génesis de los Depósitos de Cobre alojados en Sedimentos

IV.3.1.1 Cobres Exóticos

La génesis de los **Cobres Exóticos** se relaciona directamente con la meteorización, alteración y erosión de un cobre porfírico, donde los minerales de cobre son principalmente sulfuros, tales como calcopirita (CuFeS_2), bornita (Cu_5FeS_4), calcosina (Cu_2S), covelina (CuS), etc. Estos sulfuros, cuando interactúan con el agua y la intemperie, se descomponen, formando principalmente óxidos de cobre, sulfatos y carbonatos. El azufre liberado ayuda a acidificar las aguas meteóricas que se infiltran en el subsuelo, lo que favorece que se aceleren los procesos de alteración de más sulfuros y ayuda a mantener al cobre en solución.

El cobre es removilizado por estas aguas meteóricas ácidas y logra migrar lateralmente por rocas sedimentarias permeables. La distancia que puede migrar el cobre en solución es variable y según la bibliografía, no supera los 10 kilómetros desde la fuente. Si los sedimentos tienen cemento carbonático, este reacciona con la aguas ácidas neutralizando su pH y haciendo precipitar el cobre.

IV.3.1.2. Cobres Sedimentarios

Estos se generan cuando fluidos hidrotermales calientes, ácidos y salobres, con abundante cobre disuelto, asciende por fracturas y fallas hasta encontrar rocas sedimentarias porosas y permeables, las cuales empiezan a impregnar lentamente hasta que las condiciones físico – químicas son favorables para la depositación de los minerales de cobre.

Otros autores sugieren que cuando hay areniscas rojas en una cuenca sedimentaria extensional que adquiere temperatura por subsidencia, cuando se genere una inversión tectónica, el agua presente en los poros de las rocas es forzada a migrar a zonas de menor presión. Si la cuenca tiene rocas evaporíticas, estas aguas van a generar una salmuera caliente que puede removilizar elementos como el cobre, que viajara en solución hasta encontrar condiciones propicias para depositarse.

IV.4. Skarn de Hierro

Este tipo de mineralización se genera en el contacto entre roca fundida (magma), en contacto con rocas carbonáticas muy reactivas. Los fluidos hidrotermales que se forman generan un intercambio químico denominado metasomatismo, que altera las rocas y precipita los minerales. En el caso de los depósitos de Malargüe, las rocas ígneas del Grupo Huincán que se intruyeron en el Mioceno Medio, representadas por rocas dioríticas y andesíticas, cuando estos materiales ígneos se alojan en rocas carbonáticas como las de la formación geológica Tres Esquinas del Grupo Cuyo, Vaca Muerta, Chachao y Agrio del Grupo Mendoza o rocas carbonáticas del Grupo Malargüe, se dan las condiciones favorables para que se genere un depósito del tipo Skarn. Estos tipos de depósitos pueden ser de hierro o cobre y hierro.

V. SENSORES REMOTOS

V.1 - Principios

Cuando la radiación solar alcanza el planeta Tierra, parte de esa energía electromagnética es reflejada y parte es absorbida (y luego puede ser re-emitida). Los sensores remotos poseen la capacidad de medir esa interacción entre las ondas electromagnéticas y los distintos materiales sobre la superficie terrestre, registrando información con dispositivos de diferente tipo. La energía captada por el sensor es convertida en una señal eléctrica que luego es digitalizada. En el caso de una imagen digital, la señal queda subdividida en áreas discretas denominadas píxeles (de picture elements). Cada píxel aporta datos esenciales para identificar los materiales existentes dentro de la superficie que representa.

La interacción entre la radiación y la superficie puede ser registrada de diversas maneras, de acuerdo al objetivo y alcance particulares del estudio espectral. Por ejemplo, pueden utilizarse sensores satelitales, aerotransportados o terrestres (Fig. V.1 & V.2).

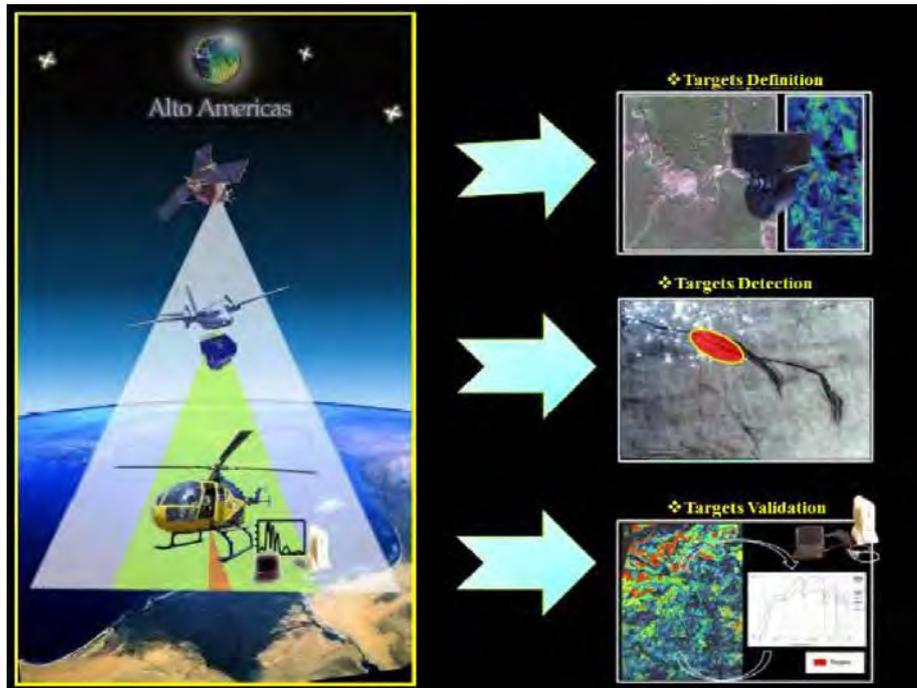


Figura V.1. Exploración con sensores remotos.

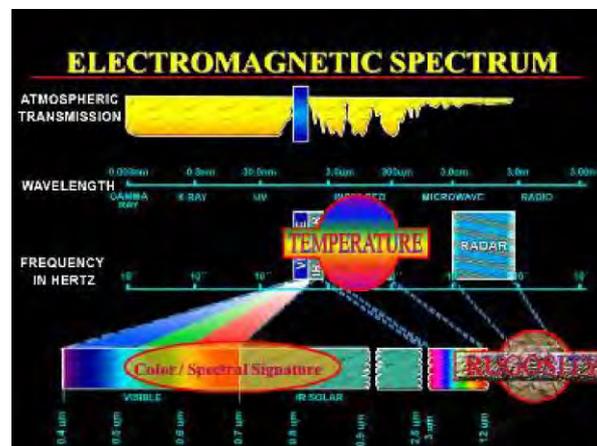


Figura V.2. Espectro electromagnético

En general, la cantidad de información que puede extraerse a partir de la interpretación de imágenes digitales se encuentra limitada por las características propias del instrumento elegido para la adquisición de las mismas.

Estas características son:

- **Resolución Espacial**

Está determinada por las dimensiones del píxel. Define el tamaño de los elementos que pueden ser detectados en la imagen. Por ejemplo, si el píxel es de 30 x 30 metros no permitirá distinguir con claridad objetos mucho menores a esa distancia. La Figura V.3 muestra las diferencias entre una imagen con una resolución espacial de un metro y otra con resolución espacial de treinta metros.



Figura V.3. Diferentes resoluciones.

El Cuadro V.1 muestra la cantidad de píxeles que proveerían información sobre una superficie equivalente a una hectárea según diferentes resoluciones espaciales.

	Resolución espacial			
	30 m	15 m	4 m	1 m
1 ha	11 píxeles	44 píxeles	625 píxeles	10000 píxeles

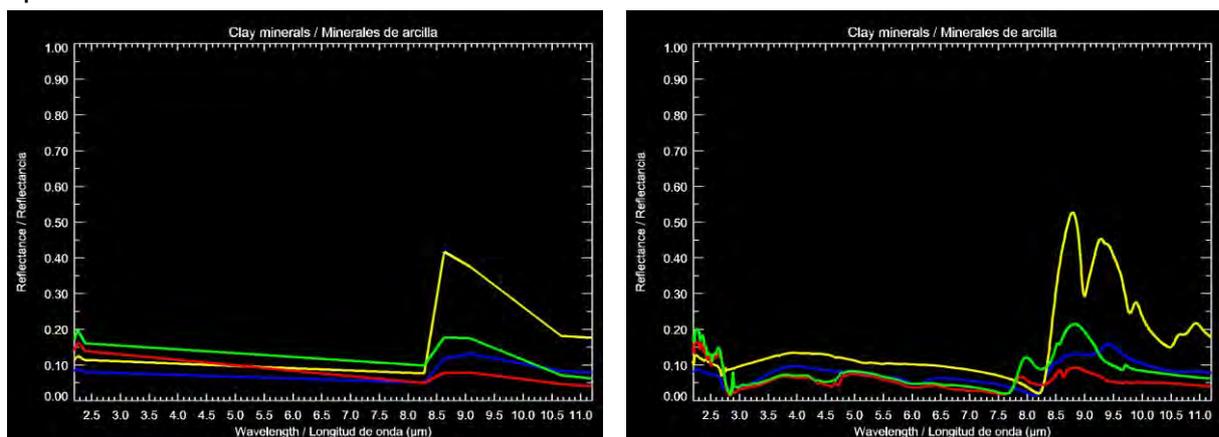
Cuadro V.1. Cantidad de píxeles equivalentes a una hectárea en diferentes resoluciones.

- **Resolución Espectral**

La resolución espectral hace referencia a la cantidad y al ancho de las bandas o canales recolectados por el sensor. La energía electromagnética es capturada en segmentos discretos del espectro electromagnético. O sea que un sensor registra longitudes de onda específicas, determinadas por el tipo y cantidad de detectores que lo componen. Esta propiedad deriva en la importante distinción entre sensores multispectrales e hiperspectrales. Los primeros tienen generalmente entre cuatro y veinte canales anchos, ubicados en el espectro de manera dispersa, mientras que los hiperspectrales poseen más de cien bandas angostas ubicadas de manera secuencial.

Cuando los valores que son registrados en los distintos canales se expresan gráficamente contra sus respectivas longitudes de onda, la forma resultante es llamada firma espectral. Cada material en la superficie terrestre posee una firma espectral distintiva. Esta verdadera huella digital se presenta con mayor detalle al aumentar la resolución espectral.

En las Figuras V.4.a y V.4.b se puede observar la diferencia entre firmas multispectrales e hiperspectrales, en este caso para minerales arcillosos típicos.



Figuras V.4.a y V.4.b. Comparación entre firmas multispectrales (izquierda) e hiperspectrales (derecha).

- **Resolución Temporal**

Está definida como el período de tiempo en cual un sensor vuelve a registrar datos sobre una misma zona.

Por ejemplo, para un satélite que tiene órbita fija, es el tiempo que tarda en pasar sobre un mismo punto de la superficie terrestre. El Cuadro V.2 muestra la resolución temporal de diversos satélites.

Satélite	Tiempo de revisita
Ikonos	3 días (*)
LandSat	16 días
QuickBird	7 días (*)
Spot	23 días
TERRA (ASTER)	16 días

Cuadro V.2. Períodos de diferentes satélites

(* a 40 ° de latitud y con ángulo de captura de hasta 26°).

- **Plataforma**

Otro parámetro importante a tener en cuenta es el tipo de plataforma sobre la cual puede montarse un sensor. Básicamente, existen tres tipos:

- **Satelitales:**

Los sensores están acoplados a satélites con órbitas polares sincrónicas con respecto al Sol, generalmente entre los 400 km y los 800 km de altitud nominal.

- **Aerotransportados:**

Los sensores a bordo de aviones se denominan sensores aerotransportados. Registran información durante un vuelo planificado, dependiendo su realización de las condiciones meteorológicas existentes en la zona a sobrevolar.

- **Terrestres:**

Son los denominados espectrómetros terrestres portátiles; sus dimensiones reducidas permiten realizar relevamientos de campo, registrando datos en el terreno con una elevada resolución espectral (más de 1000 bandas).

Para este trabajo se planificó la adquisición de imágenes obtenidas por dos tipos de sensores satelitales: LandSat-8 OLI y ASTER. El Figura V.5 resume comparativamente las características básicas de los mismos.

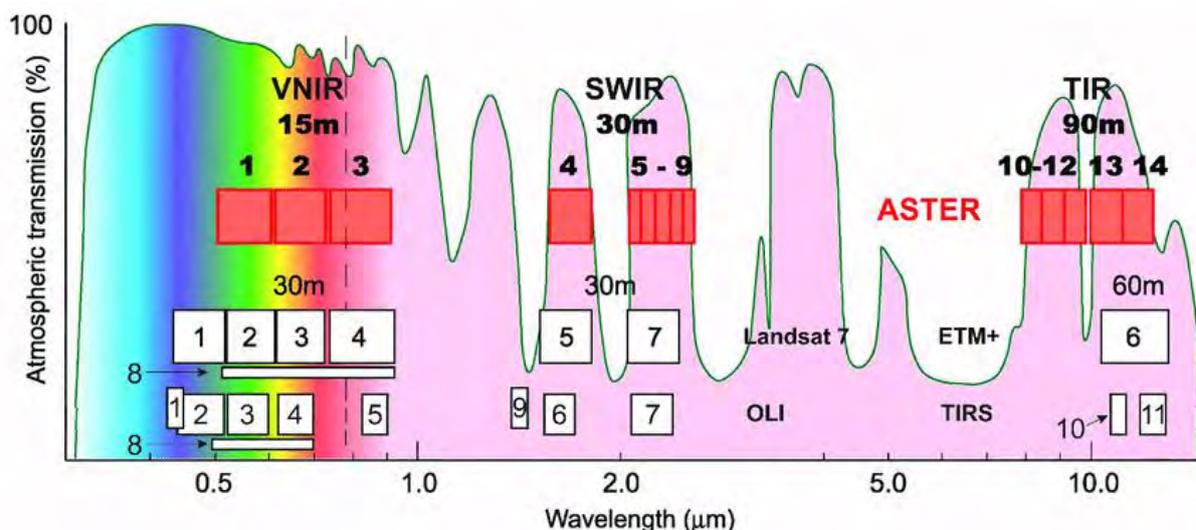


Figura V.5. Comparación entre las características básicas de los sensores satelitales LandSat-8 y ASTER.

La serie de sensores LandSat ha estado adquiriendo imágenes alrededor del mundo por más de 40 años. De la mencionada serie, aún están operativos LandSat-7 y LandSat-8. LandSat-8 agregó dos nuevos instrumentos: el Operational Land Imager (OLI) y el Thermal Infrared Sensor (TIRS).

Las imágenes LandSat-8 consisten en 9 bandas con una resolución especial de 30 metros para las Bandas 1-7 & 9. La resolución de la Banda 8 (pancromática) es de 15 metros. Las bandas Térmicas 10 & 11 son útiles para obtener datos más precisos de temperatura en superficie y tienen una resolución de 100 metros. (Cuadro. V.3).

	Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) Launched February 11, 2013	Band 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
	Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
	Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30
	Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30
	Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Band 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	Band 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
	Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
	Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

Cuadro V.3. Características LandSat 8 OLI

Cada imagen LandSat 8 cubre un área de 185 x 180 km. La altitud nominal es de 705 km. La exactitud cartográfica para los productos LandSat 8 es de 12 m o mejor (incluyendo la compensación por efectos del terreno). Debido a que la serie LandSat 8 incluye bandas adicionales, las combinaciones utilizadas para crear las composiciones RGB difieren de las anteriores LandSat (Fig V.6)

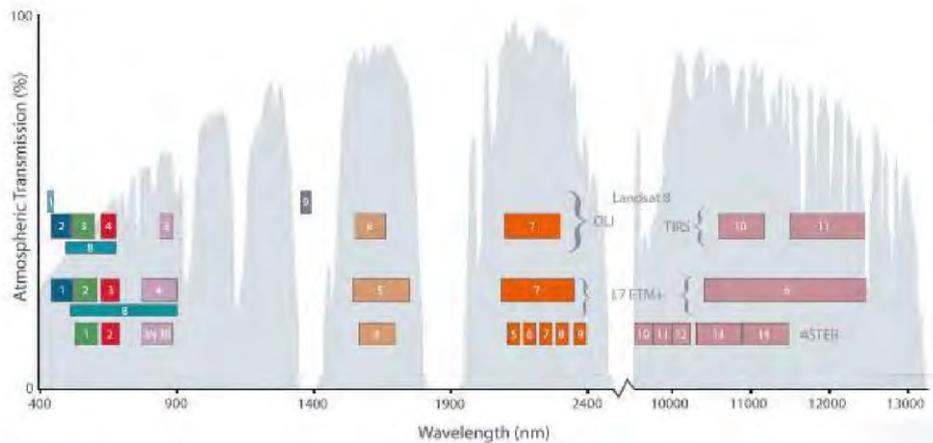


Figura V.6. Comparacion de bandas entre LandSat 7, LandSat 8 y Aster

El sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) fue lanzado junto a otros instrumentos a bordo del satélite TERRA satélite a fines de 1999. Desde 2001, estos datos han sido ampliamente utilizados para la exploración minera. Manteniendo la resolución espacial similar a la del sensor LandSat-7 ETM+, los 3 subsistemas de sensor ASTER producen información de mayor resolución espectral. Además, las características de los canales de ASTER fueron especificadas teniendo en cuenta estudios geológicos y de suelos, por lo cual permiten una mayor discriminación mineralógica. Por ejemplo, ASTER posee bandas sobre los segmentos espectrales de absorción característicos de los oxhidrilos, para diferenciar minerales arcillosos y óxidos de hierro.

Resolución Espectral	Región Electromagnética		Centro de Banda (nm)	Ancho de Banda (nm)	Resolución Espacial (m)	Rango Dinámico
Banda 1	Visible	Verde	0,556	0,09	15	8-bit
Banda 2		Rojo	0,661	0,06		
Banda 3N/B	Infrarrojo cercano		0,807/0,804	0,10/0,11		
Banda 4	Infrarrojo de onda corta		1.656	0,092	30	
Banda 5			2.167	0,035		
Banda 6			2.209	0,040		
Banda 7			2.262	0,047		
Banda 8			2.336	0,070		
Banda 9			2.400	0,068		
Banda 10	Infrarrojo térmico		8.291	0,344	90	
Banda 11			8.634	0,347		
Banda 12			9.075	0,361		
Banda 13			10.657	0,667		
Banda 14			11.318	0,593		

Cuadro V.4. Resolución espacial y espectral del satélite ASTER

Adicionalmente, fueron adquiridos los datos de elevación digital obtenidos por la Misión de Topografía por Radar del Transbordador Espacial Endeavour (SRTM) correspondientes al área de estudio. Esta misión despegó el 11 de febrero del 2000, y utilizó los mismos instrumentos de radar que los de la misión SIR-C/X-SAR, la cual viajó dos veces en el transbordador Endeavor en 1994 (Cuadro V.5). La misión fue diseñada para recoger datos tri-dimensionales de la superficie terrestre para cual se añadió un mástil de 60 metros de largo (200 pies), una antena adicional de radar en las bandas C y X, y demás sistemas de navegación de alta precisión espacial.

SISTEMA		FRECUENCIA Ghz	LONGITUD cm	RESOLUCIÓN m		ANCHO DE BARRIDO Km
				H	V	
SRTM	SIR- C	5,3	5,8	30	16	225
	X- SAR	9,6	5,7	30	16	50

Cuadro V.5. Detalle del sistema SRTM

V.2 SELECCIÓN Y ADQUISICIÓN DE IMÁGENES SATELITALES

V.2.1. LANDSAT 8 OLI

La totalidad del área del Proyecto se cubre espacialmente con tres (3) imágenes. Sin embargo, para la selección final de las óptimas se obtuvieron y evaluaron un gran número de imágenes obtenidas en diversos años, debido al grado de nubosidad presente en la región. El mismo se encuentra entre el 30% y el 50%. Luego de inspeccionar extensas bases de datos, tales como las pertenecientes al USGS y al ESDI, se seleccionaron las imágenes con mejor calidad espectral. (Fig. V.7) (Cuadro V.6)

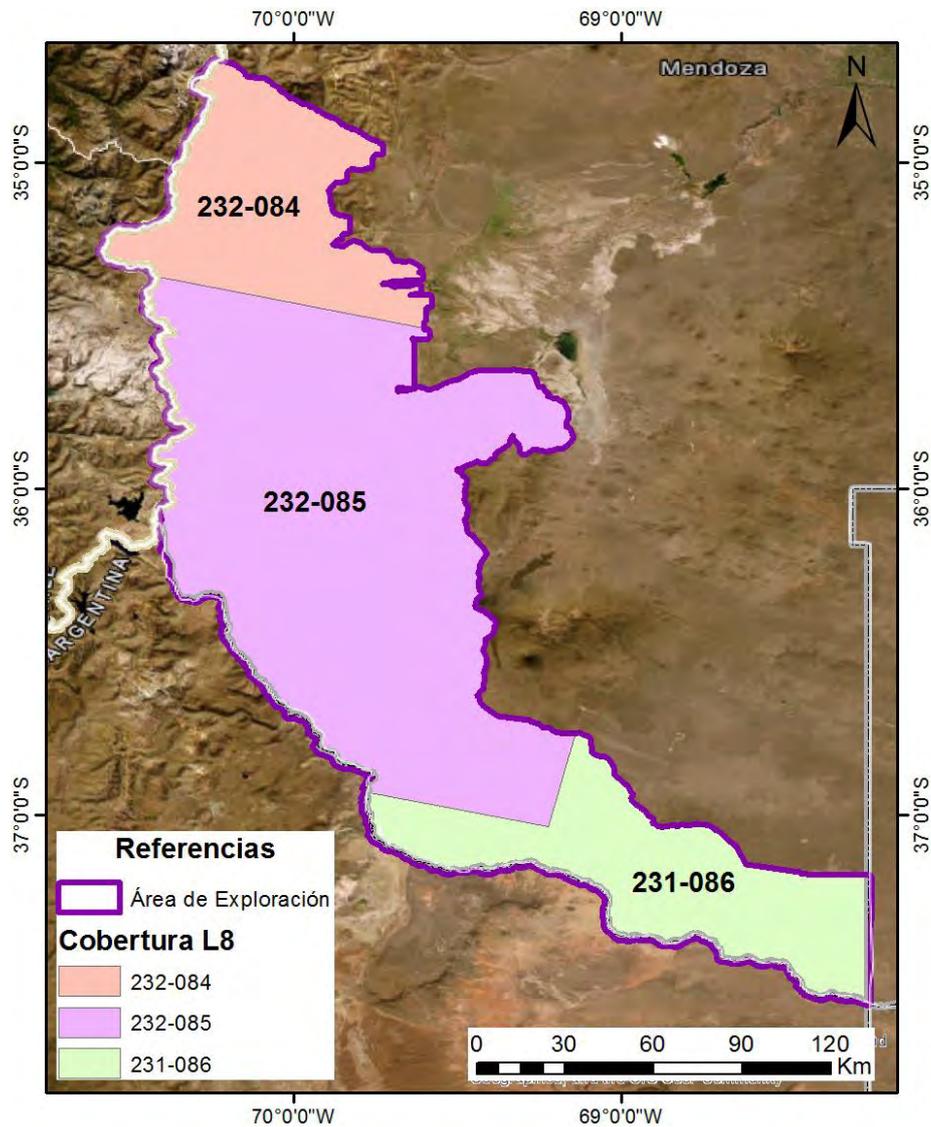


Figura V.7. Cobertura LandSat 8

COBERTURA LandSat 8			
ID	Path	Row	Fecha de Adquisición
LC08_L2SP_231086_20230221_20230228_02_T1	231	86	21/02/2023
LC08_L2SP_232084_20230228_20230315_02_T1	232	84	28/02/2023
LC08_L2SP_232085_20230228_20230315_02_T1	232	85	28/02/2023

Cuadro V.6. ID LandSat 8

V.2.2. ASTER

Para el Área del Proyecto se definió una ventana de toma de información entre el primer día de enero de 2000 y el último día del mes de diciembre de 2006. Esta fecha del 2006 corresponde al último mes en el que el subsistema SWIR funcionó correctamente. En el mes de julio de 2008 la NASA emitió un informe en el cual se comunicaba un cambio en el estatus del sistema ASTER SWIR. En el mismo se detallaba que desde abril de 2008, las bandas correspondientes a dicho subsistema presentaban valores anómalos, dando como resultado, productos de menor calidad espectral. Con posterioridad, se informó que ese error también se presentaba en los datos adquiridos durante el año 2007. El área se cubre con dieciséis (16) imágenes. (Fig V.8) (Cuadro V.7)

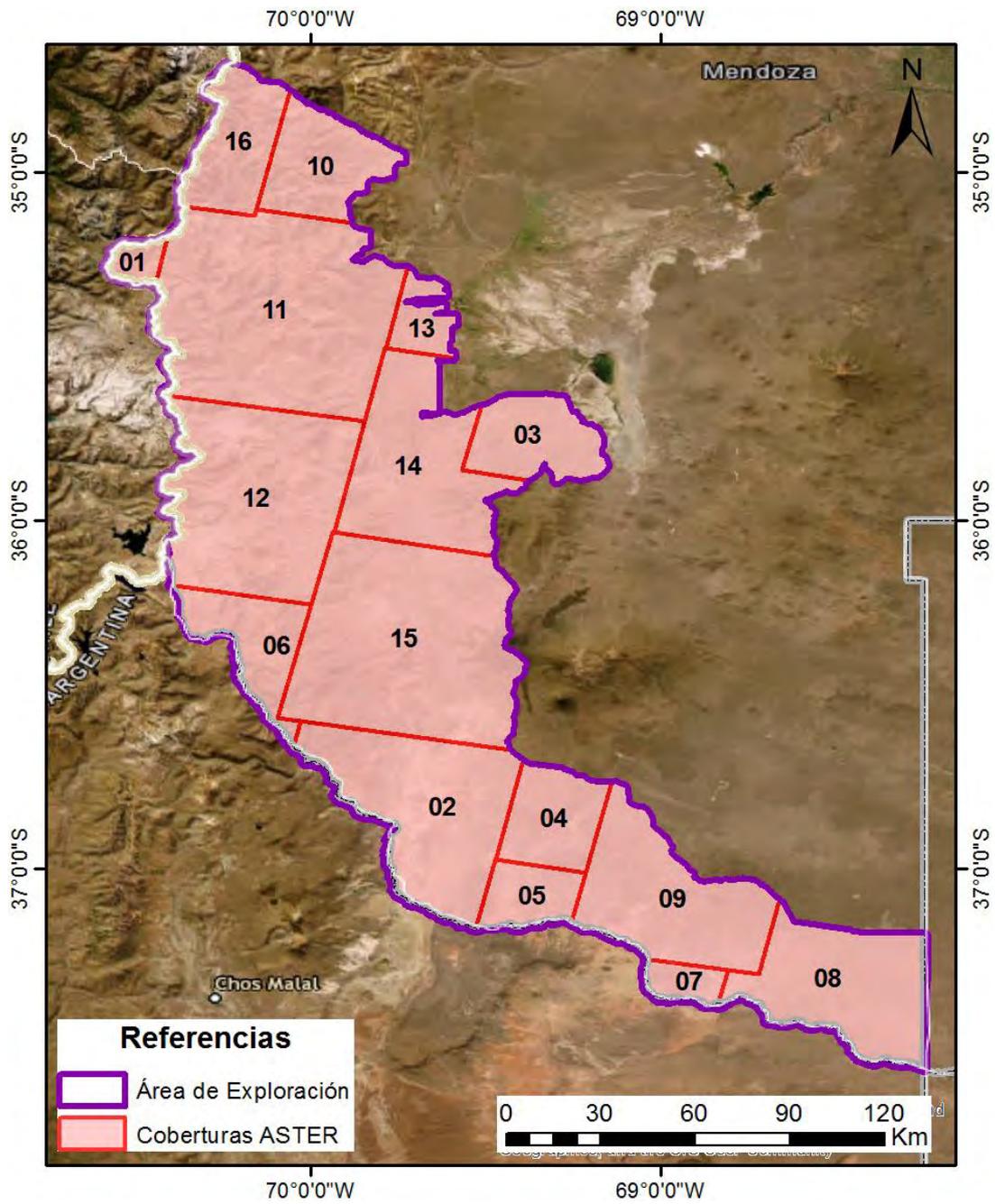


Figura V.8. Cobertura ASTER

COBERTURA ASTER		
Id	Nombre	Fecha de adquisición
AST_L1T_00304092003145220_20150427232834_24808	1	09/04/2003
AST_L1T_00301062001145818_20150414032653_118127	2	06/01/2001
AST_L1T_00302012007143940_20150518025255_61278	3	01/02/2006
AST_L1T_00302042008143952_20150522215810_51138	4	04/02/2006
AST_L1T_00302042008144000_20150522230432_53792	5	04/02/2006
AST_L1T_00303052008145153_20150523044834_7408	6	05/03/2006
AST_L1T_00303102003144031_20150427142537_106187	7	10/03/2003
AST_L1T_00310152007143954_20150521155616_28308	8	15/10/2006
AST_L1T_00312052000145819_20150413101127_110105	9	05/12/2000
AST_L1T_00312162007145131_20150522100146_6266	10	16/12/2006
AST_L1T_00312162007145140_20150522100203_8761	11	16/12/2006
AST_L1T_00312162007145149_20150522100146_6268	12	16/12/2006
AST_L1T_00312272002144643_20150426125932_24464	13	27/12/2002
AST_L1T_00312272002144651_20150426125929_54453	14	27/12/2002
AST_L1T_00312272002144700_20150426125933_86578	15	27/12/2002
AST_L1T_00302232004145209_20150503085655_59242	16	23/02/2004

Cuadro V.7. ID ASTER

V.2.3. Datos SRTM

La información topográfica utilizada para el área del Proyecto fue adquirida por la Misión Topográfica de Radar volada en el Transbordador Espacial Endeavour. El área de estudio se encuentra cubierta por un total de nueve (9) imágenes SRTM DEM en formato HGT. (Fig V.9) (Cuadro V.8)

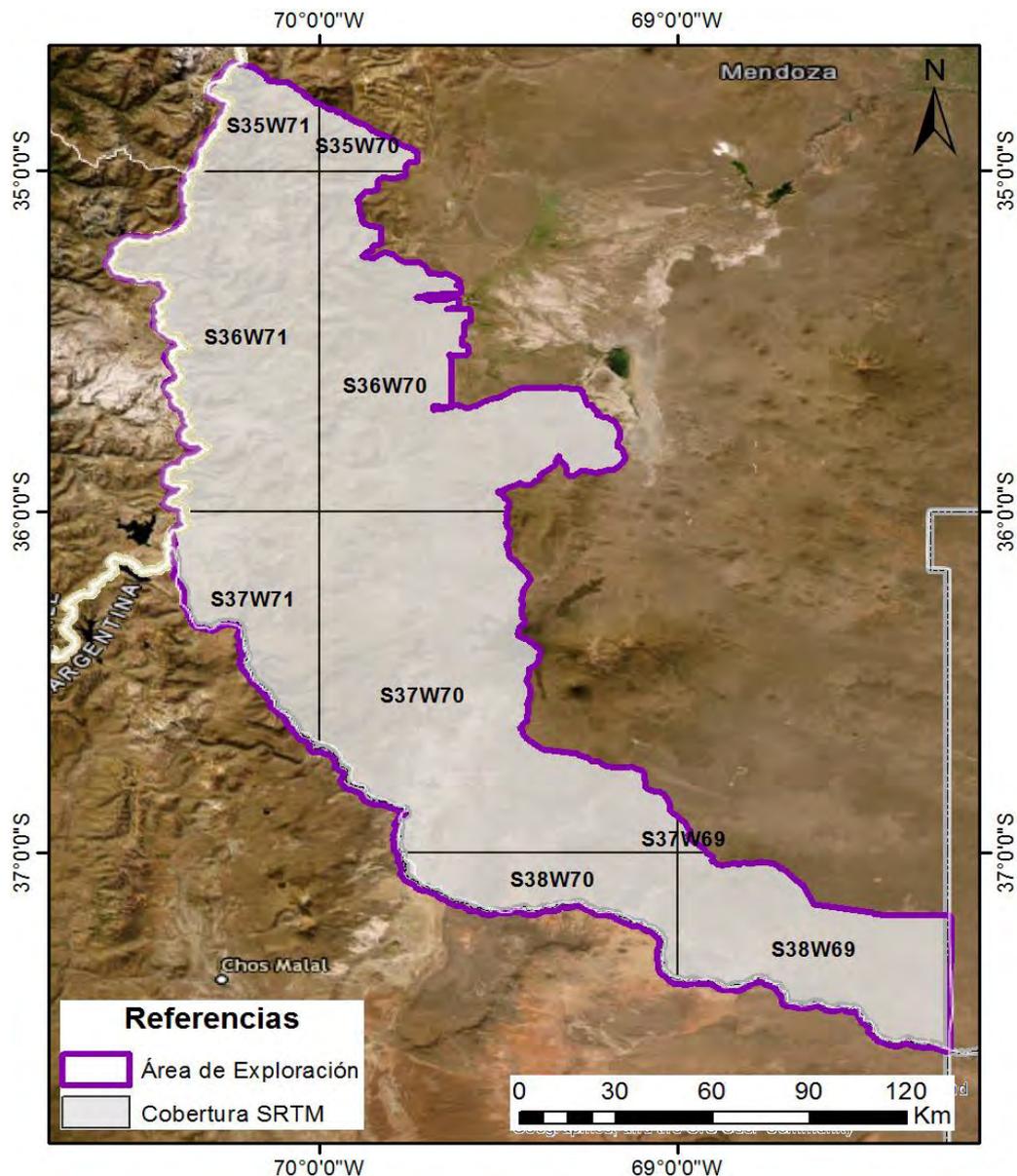


Figura V.9. Cobertura SRTM

Raw	Name
s38_w070_1arc_v3.tif	s38w70
s38_w069_1arc_v3.tif	s38w69
s37_w071_1arc_v3.tif	s37w71
s37_w070_1arc_v3.tif	s37w70
s37_w069_1arc_v3.tif	s37w69
s36_w071_1arc_v3.tif	s36w71
s36_w070_1arc_v3.tif	s36w0
s35_w071_1arc_v3.tif	s35w71
s35_w070_1arc_v3.tif	s35w70

Cuadro V.8. RAW SRTM

V.3 PRE-PROCESAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE DATOS

V.3.1 PRE-PROCESAMIENTO DE DATOS

Sensores Pasivos

Esta sección del estudio corresponde a la etapa de pre-procesamiento y procesamiento propiamente dicho de los datos satelitales adquiridos, en la cual se aplica a los mismos, una serie de correcciones, ajustes y procesos que permiten la generación de los productos a ser interpretados.

Imágenes LandSat 8

El pre-procesamiento de las imágenes LandSat 8 consistió en la aplicación de las siguientes correcciones radiométricas y ajustes geométricos:

- Ortorrectificación
- Georreferenciación
- Calibración Radiométrica
- Corrección Atmosférica
- Reproyección
- Corte de Escena
- Elaboración de Máscaras
- Mosaiqueo

Las imágenes fueron obtenidas, georeferenciadas y ortorectificadas con un error de geolocalización menor a un píxel (30 metros). Los datos originales de la imagen en números digitales (DNs) fueron convertidos a valores de radiancia en el sensor, utilizando los parámetros de ganancia y offset de LANDSAT disponibles en los header files. Los valores fueron expresados en $W / (m^2 \times \text{sr} \times \mu\text{m})$. Las bandas reflectivas fueron luego corregidas a reflectancia exo-atmosférica (reflectancia medida en la parte superior de la atmósfera) usando la herramienta DOS1 de QGIS.

Esta aplicación utiliza datos astronómicos (azimut solar y ángulo de elevación), parámetros telescópicos (ángulo de adquisición) extraídos de las efemérides del satélite LANDSAT y los datos atmosféricos obtenidos de modelos de aerosoles matemáticos avanzados (MODTRAN 4), como así también de estadísticas climáticas correspondientes a la zona geográfica, y a la fecha y hora de adquisición.

Las imágenes son adquiridas en sistema de coordenadas planas y proyección UTM, por lo que posteriormente es necesario re proyectarlas a coordenadas geográficas con Datum WGS-84.

La aplicación de máscaras elimina la información espectral de baja calidad, la cual principalmente se debe a la elevada nubosidad o humedad atmosférica que impera en toda la región.

La Figura V.10 indica el diagrama de flujo para las imágenes LandSat 8.

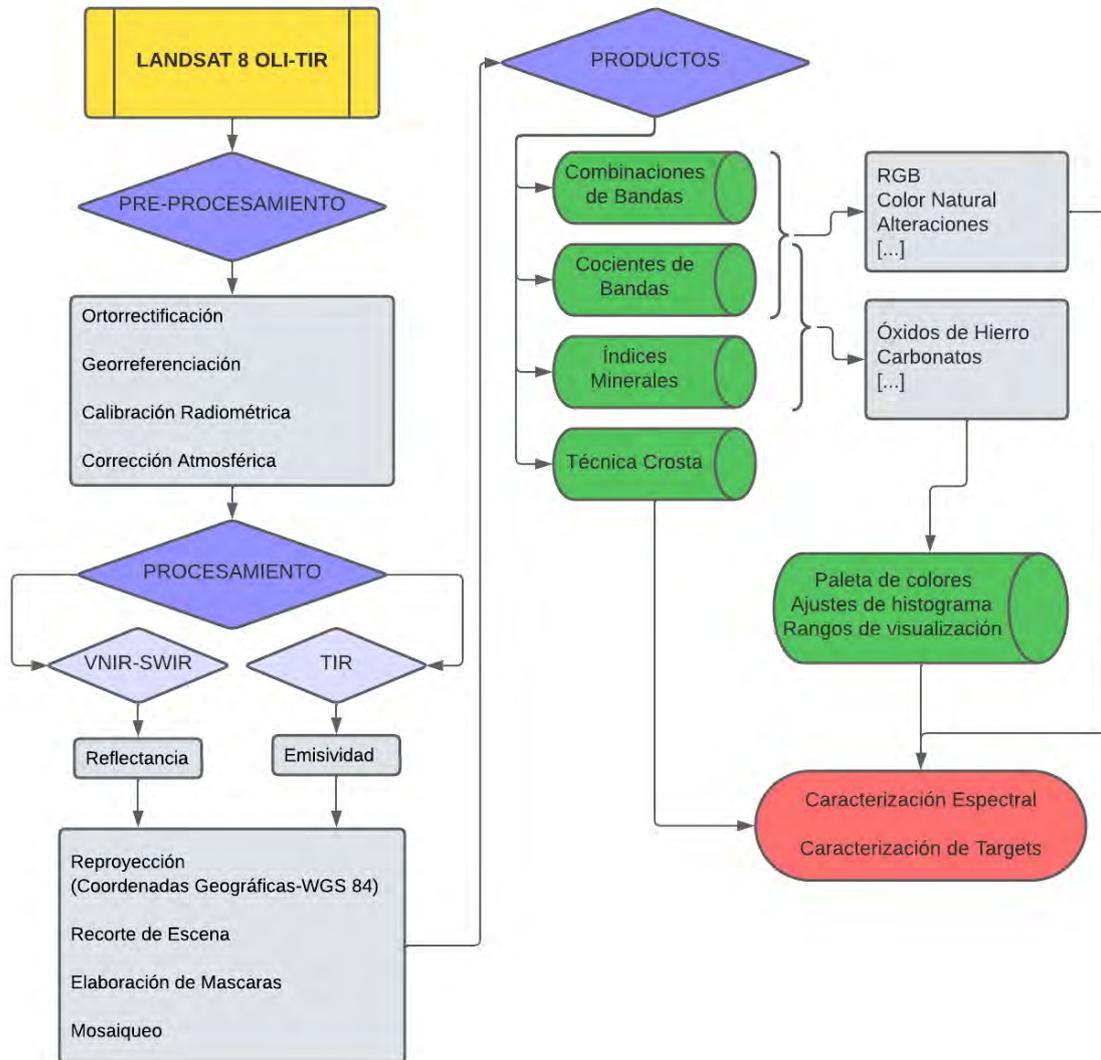


Figura V.10. Diagrama de Flujo. Imágenes LandSat.

Imágenes ASTER

El nivel de los datos ASTER utilizados fue L1B, es decir, ya en unidades de radiancia. Todas las escenas fueron revisadas con el objeto de identificar posibles errores de alineamiento de las bandas –un problema recurrente en las imágenes ASTER–. Cuando este defecto fue detectado, el mismo fue corregido para lograr la coincidencia espacial de todas las bandas, para cada píxel de cada escena. Las imágenes ASTER fueron ortorectificadas utilizando un modelo digital de elevación grueso y los datos correspondientes de las efemérides del satélite TERRA. La proyección de salida es UTM en sistema de coordenadas planas, por lo que posteriormente es necesario re proyectarlas a coordenadas geográficas con Datum WGS-84.

Cada imagen ASTER original fue dividida en dos sets de datos, uno con las bandas de las regiones del visible (V), infrarrojo cercano (NIR) y de onda corta (SWIR) y otro con las bandas del infrarrojo térmico (TIR). Las bandas SWIR fueron llevadas de un píxel de 30 m a uno de 15 m con el propósito de que fueran compatibles con las bandas VNIR. La banda 3B (diseñada para procesamiento estereoscópico) fue descartada. Se utilizó el método de resamplado de “nearest neighbor”.

Se construyeron mosaicos de acuerdo a las imágenes seleccionadas. Todos los mosaicos poseen todas las bandas VNIR y SWIR. El método de resamplado adoptado fue el de nearest neighbor y el suavizamiento fue limitado a 20 píxeles.

Al igual que en el caso de las imágenes LandSat, la aplicación de máscaras elimina la información espectral de baja calidad, la cual principalmente se debe a la elevada nubosidad o humedad atmosférica que impera en toda la región.

La Figura V.11 indica el diagrama de flujo para las imágenes ASTER.

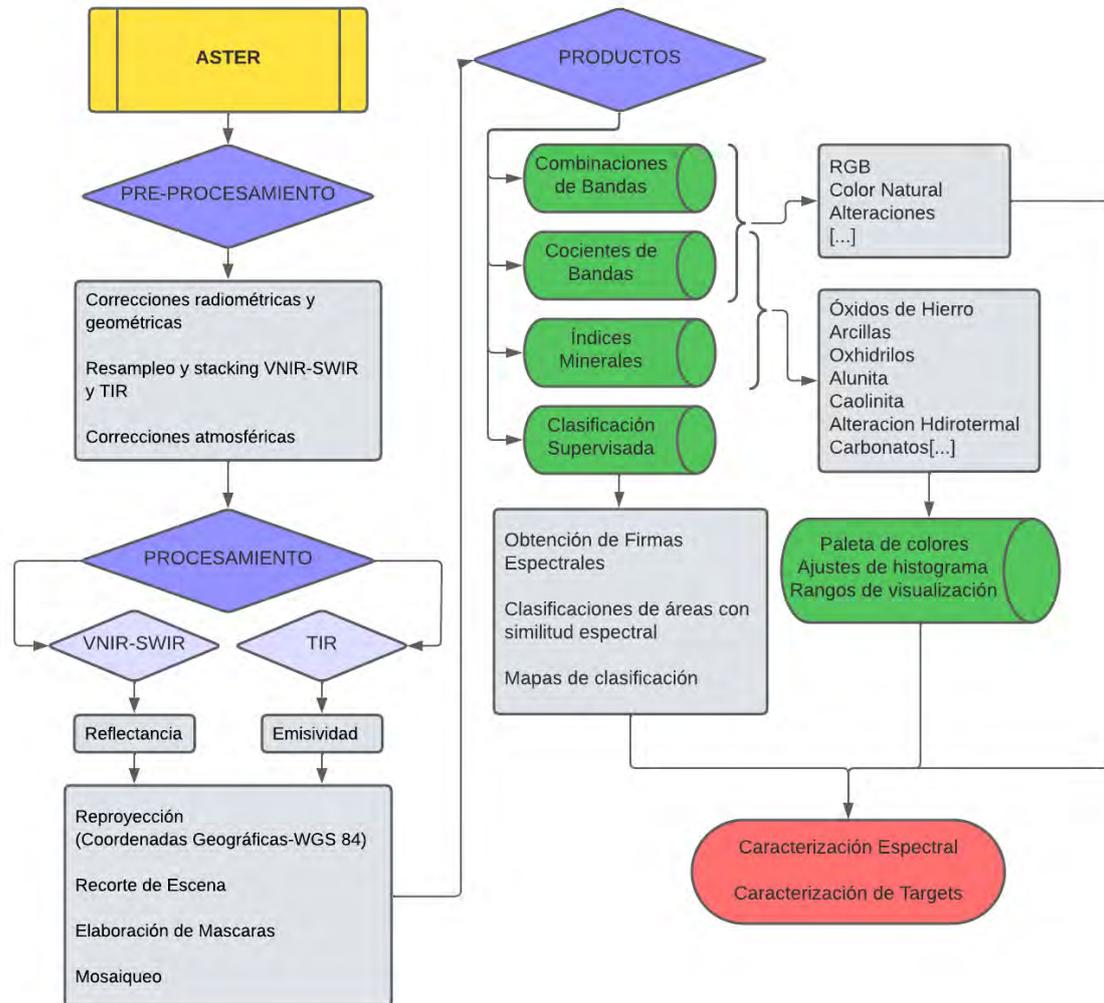


Figura V.11. Diagrama de Flujo. Imágenes ASTER

Sensores Activos

Datos SRTM

Los datos SRTM fueron adquiridos en formato "RAW" (sin las cabeceras), 16 bits enteros, la elevación expresada en metros sobre el nivel del mar y Proyección "geográfica" (latitud y longitud). El área es de 3-arco-segundos y los archivos contienen 1.201 columnas y 1.201 filas de datos, cuyo tamaño total de 2.884.802 bytes.

La misión SRTM como cualquier relevamiento SAR, cuenta con píxeles de tipo "NO DATA". Durante el pre – procesamiento, estos píxeles (< 0,2% del total de la imagen) son corregidos mediante el proceso de interpolación.

A continuación se detalla el procedimiento de apertura de datos Radar SRTM mediante el ejemplo de un archivo comprimido:

En primera instancia, los archivos deben ser descomprimidos y renombrados con las coordenadas del esquinero inferior izquierdo de la imagen, dado que al abrir la imagen en el software ENVI, el programa interpreta que la extensión hgt hace referencia directa a una imagen SRTM (Fig. V.12).

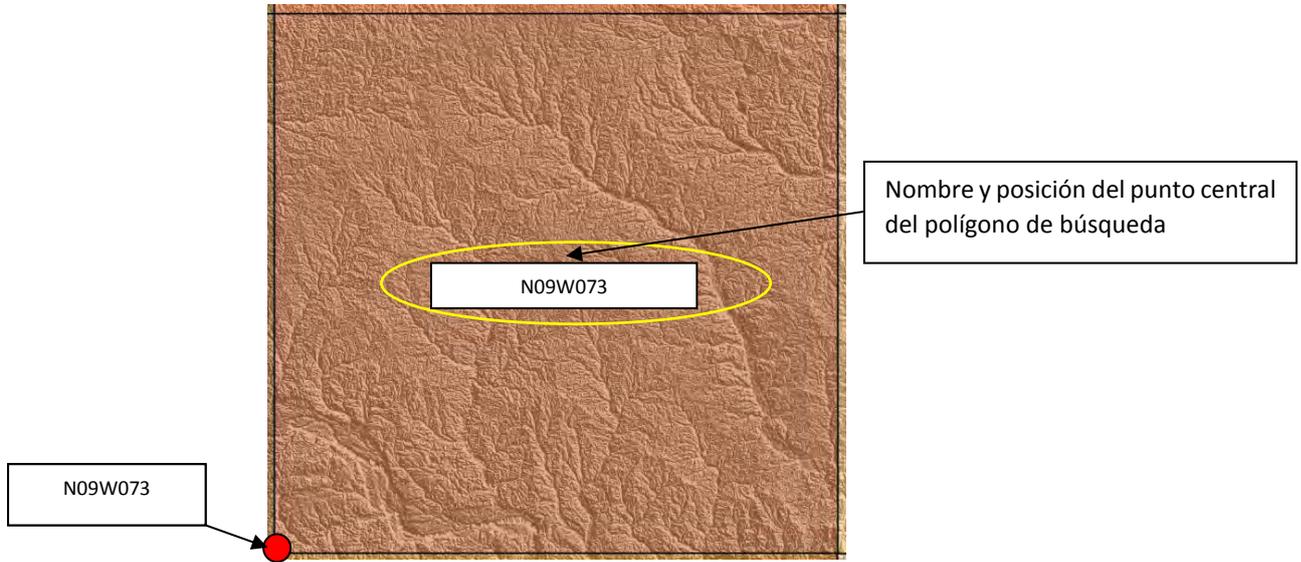


Figura V.12. Datos SRTM

De esta manera, el archivo N09W073.ZIP al ser descomprimido y renombrado, quedará como N09W073.hdr, la cual es la información de geo-localización que será leída en el proceso de apertura de la imagen SRTM (Figura V.13).

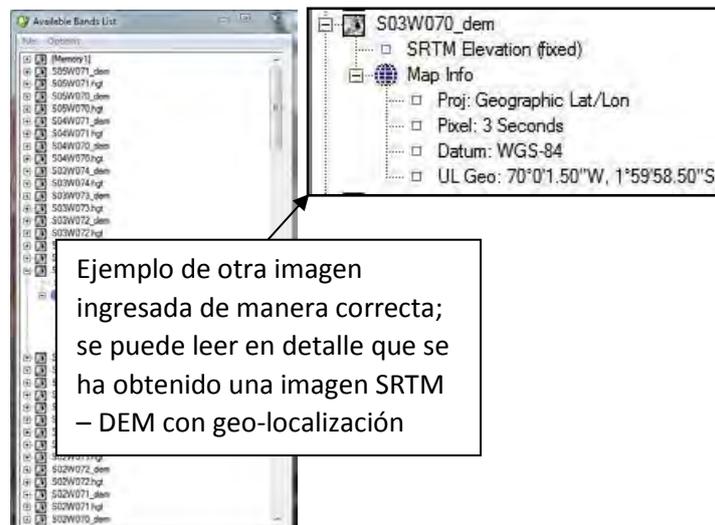


Figura V.13. Ejemplo SRTM – DEM con geo-localización precisa.

V.4 INTEGRACIÓN E INTERPRETACIÓN DE DATOS

PRODUCTOS

- **SRTM**

Los productos finales del sensor SRTM involucran Modelos de Elevación Digital (DEM por sus siglas en inglés), y todos los extractos topográficos que se generan a partir del mismo. Dichos productos incluyen productos tanto raster como vectoriales (Fig. V.14):

- **Productos Vectoriales**

- Escorrentía superficial
- Curvas de nivel
- Cauces Fluviales
- Microcuencas hídricas

- **Productos Raster**

- Mapa de sombreado
- Mapas de dirección de pendientes
- Mapas de intensidad de pendientes

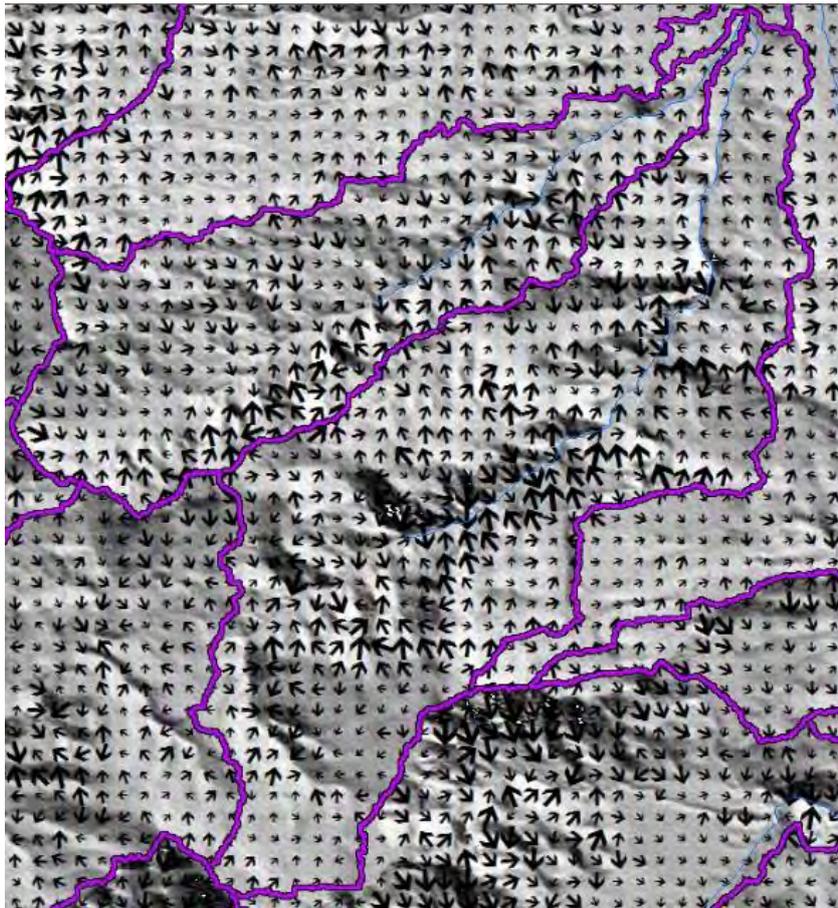


Figura V.14. Ejemplo de delimitación de microcuencas con puntos de escorrentía superficial y cauces fluviales con mapa base de relieve sombreado.

- **LANDSAT 8**

Los productos finales del procesamiento de imágenes LandSat 8 incluyen diversos tipos de rasters, entre combinaciones de banda e índices. Estos productos han sido extensivamente investigados y existen diversos repositorios de los mismos. Uno de los repositorios de referencia y que fue utilizado en este proyecto se encuentra en el siguiente link:

<https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/LandSat-8/indexdb/>

Índices Minerales

Implican los cocientes y álgebra de bandas para resaltar patrones o picos de absorción característicos de ciertos minerales, grupos minerales o tipos de alteraciones. A continuación se indica el nombre del índice y entre paréntesis su fórmula de álgebra de bandas:

- Óxido Férrico (B4/B3)
- Óxido Ferroso (B7/B5 + B3/B4)
- Gossan (B6/B4)
- Laterita (B6/B7)
- Carbonatos (B10/B11)

Técnica Crosta

La transformación de componentes principales es una técnica estadística multivariada que selecciona combinaciones lineales no correlacionadas (autovectores) de variables de tal manera que cada combinación lineal extraída sucesivamente, o componente principal (CP), tenga una varianza menor. El objetivo principal del análisis de CPs es eliminar la redundancia en datos multiespectrales. El análisis de componentes principales se utiliza ampliamente para mapear la alteración en provincias metalogénicas (Ranjbar *et al.*, 2003).

La técnica Crosta también se conoce como selección de componentes principales orientada a características espectrales. A través del análisis de los autovectores y autovalores permite identificar los componentes principales que contienen información espectral sobre minerales específicos, así como la contribución de cada una de las bandas originales a los componentes en relación con la respuesta espectral de los materiales de interés.

Los minerales que contienen hidroxilos constituyen el producto de alteración más extendido. La abundancia de arcillas, que contienen minerales e hidróxidos que contienen Al-OH- y Mg-OH- en las zonas de alteración, implica que las bandas de absorción en el rango de 2,1 a 2,4 μm (Banda 7) debido a procesos de vibración molecular se vuelven muy prominente. El óxido de hierro también es un componente bastante común de las zonas de alteración asociadas con depósitos de sulfuros hidrotermales. Los minerales que contienen óxido de hierro se pueden detectar mediante la relación del CP de B4. Esta relación daría valores muy altos para las zonas que contienen óxido de hierro.

Combinaciones de bandas (R-G-B)

Corresponde a la generación de rasters en color, donde en cada canal rojo (red, "R"), verde (green, "G"), y azul (blue, "B") se asigna una banda o índice en particular para resaltar en distintos colores las zonas de interés. A continuación se indican las bandas o índices utilizados en cada canal R, G y B: (Fig. V.15).

- Color natural (B4-B3-B2)
- Infrarojo (B5-B4-B3)
- Falso Color (B7-B6-B2)
- Alteración (B4/B2 - B6/B7 - B10)

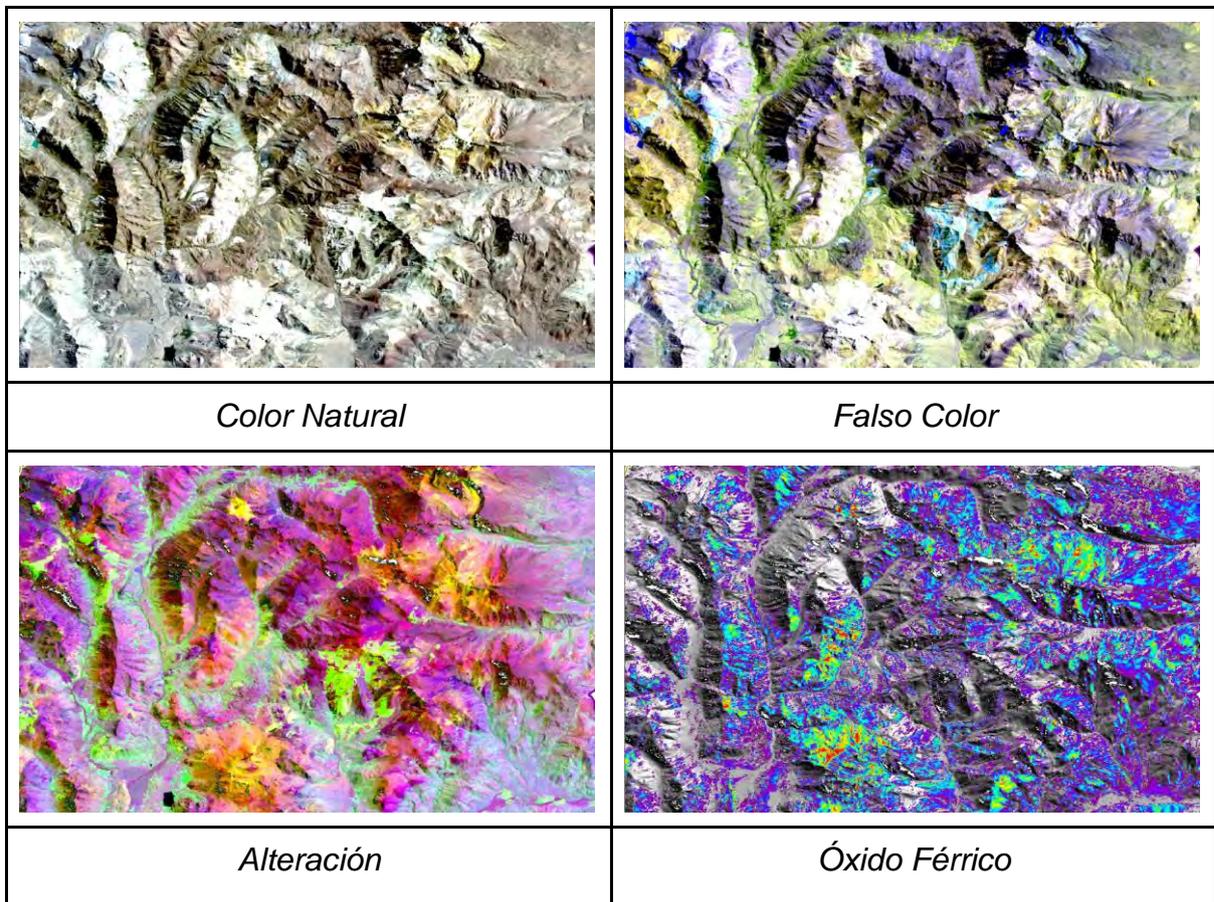


Figura. V.15. Productos LandSat 8

- **ASTER**

Los productos finales del procesamiento de imágenes ASTER incluyen diversos tipos de rasters, entre combinaciones de banda e índices. Estos productos han sido extensivamente investigados y existen diversos repositorios de los mismos, siendo los productos ASTER la referencia para el mapeo de alteraciones minerales y prospección minera a nivel mundial. Uno de los repositorios de referencia y que fue utilizado en este proyecto se encuentra en el siguiente link:

https://www.scribd.com/document/535228885/IMP-GA7833?utm_medium=cpc&utm_source=google_search&utm_campaign=3Q_Google_DSA_NB_RoW_P1_UGC&utm_adgroup=Documents&utm_term=&utm_matchtype=&utm_device=c&utm_network=g&gclid=CjwKCAjw1t2pBhAFEiwA -ANG8WUDy9uuRH88ScF5vOK6v5zSVaL7zMsn2cP44iRbDND--7FvsoXxoCZasQAvD_BwE

Particularmente, los índices de Ninomiya (Pérez *et al.* 2007) han sido de amplia aplicación en la detección de alteraciones hidrotermales y la cuantificación cualitativa de minerales arcillosos.

Índices Minerales

Implican los cocientes y álgebra de bandas para resaltar patrones o picos de absorción característicos de ciertos minerales, grupos minerales o tipos de alteraciones. A continuación se indica el nombre del índice y entre paréntesis su fórmula de álgebra de bandas:

- Alunita/Caolinita/Pirofilita: $(B4+B6)/B5$
- Oxhidrilos: $B4/B5$
- Alunita - B: $(B4+B7)/B5$
- Alunita - AL: $(B7*B7)/(B5*B8)$
- OH1a: $(B4*B7)/(B6*B6)$
- OH1b: $(B4*B7)/(B5*B5)$
- Biotita/Clorita/Anfibolita: $B5/B4$
- Caolinita: $(B4+B7)/B6$
- Óxido Ferroso: $B5/B3 + B1/B2$
- Óxido Férrico: $B2/B1$
- Muscovita: $B7/B6$
- Carbonato/Clorita/Epidoto: $(B7+B9)/B8$
- Arcillas (5): $(B5*B7)/(B6*B6)$
- Arcillas (6): $B4/B6$
- Fengita: $B5/B6$
- Sericita/Muscovita/Ililita/Esmectita: $(B5+B7)/B6$
- Epidoto/Clorita/Anfibolita: $(B6+B9)/(B7+B8)$

Para visualizarlos, estos índices son editados mediante ajuste de histogramas. De esta forma, a partir de cierto umbral se resaltan los valores más altos de cada uno, y dejando transparentes todos los valores por debajo de dicho umbral. Así, se distribuye la paleta de arco iris completa en los valores representativos, y el resto queda transparente.

Combinaciones de bandas (R-G-B)

Corresponde a la generación de rasters en color, donde en cada canal rojo (red, "R"), verde (green, "G"), y azul (blue, "B") se asigna una banda o índice en particular para resaltar en distintos colores las zonas de interés. A continuación se indican las bandas o índices utilizados en cada canal R, G y B: (Fig. V.16).

- Pseudo Color Natural (B3 - B2 - B1)
- Argílica (Fengita - Muscovita - Caolinita)
- Hidrotermal A ((B4+B7)/B5 - (B4+B7)/B6 - (B5+B7)/B8)
- Hidrotermal B (B4/B5 - B4/B6 - B4/B7)
- Hidrotermal - Ninomiya (OH1a - OH1b - ALI)
- Skarn Hierro (Férrico - Ferroso - Carbonatos/Clorita/Epidoto)

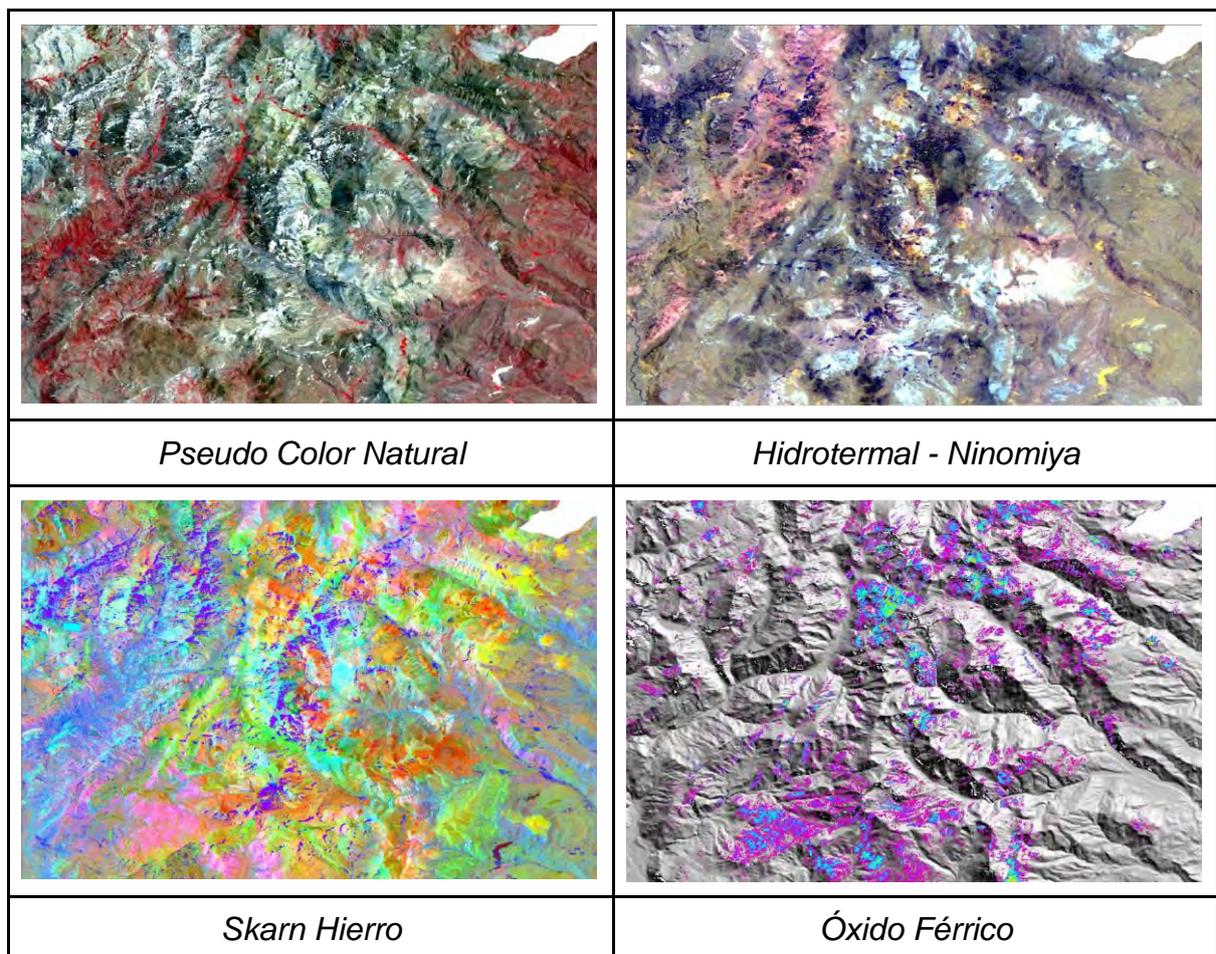


Figura. V.16. Productos ASTER

A su vez, existen áreas de potencial minero conocido próximos a la zona investigada en el vecino país de Chile. Estos incluyen diversas zonas de pórfidos de cobre, cobre-molibdeno, etc. (Fig. V.17).

En base a esta información conocida, se extrajeron las firmas espectrales de 3 de ellos (Vista (cobre), Romeral Norte (cobre), y Pellejo Norte (cobre y molibdeno) y se las utilizaron como end members para clasificaciones supervisadas utilizando la técnica Spectral Angle Mapper. Este método busca detectar dentro de cada imagen píxeles con una firma espectral similar a la de cada end member, y así hallar con las mismas características que la zona de referencia.

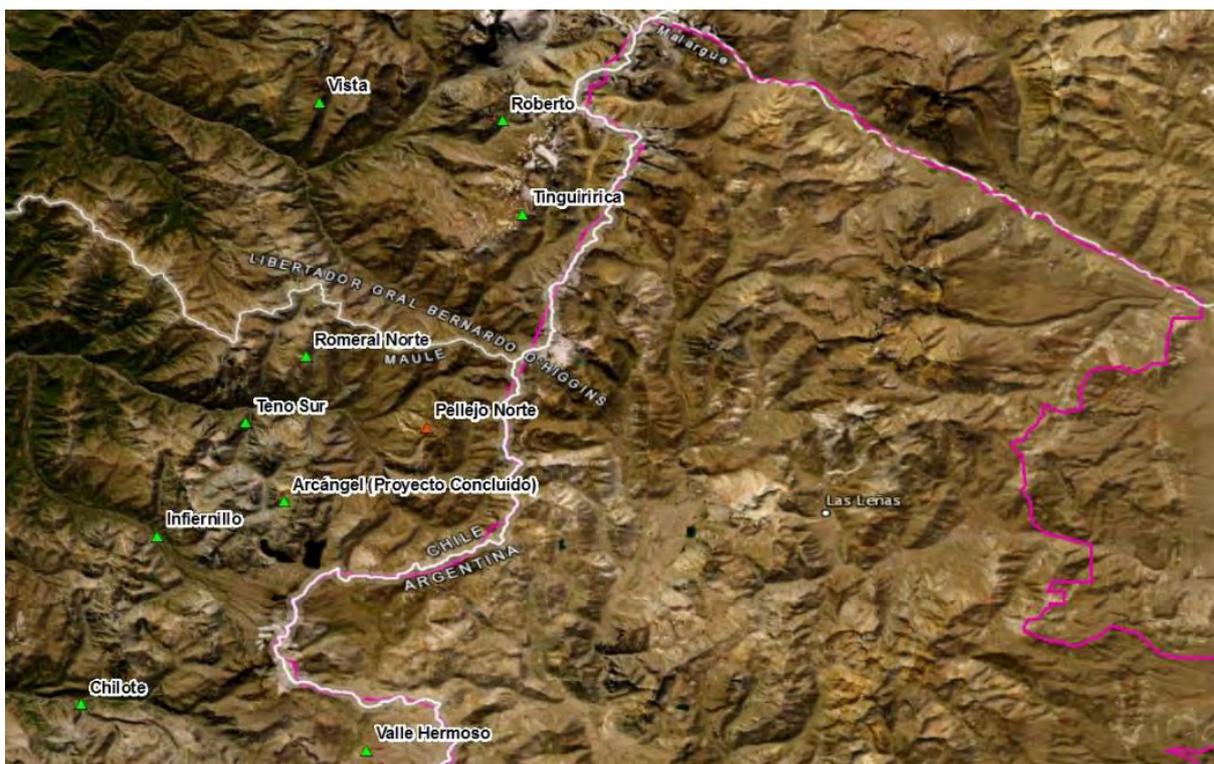


Figura. V.17. Proyectos conocidos en el sector chileno. Los utilizados en este proyecto fueron Vista, Romeral Norte y Pellejo Norte.

VI - IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE INTERÉS CON POTENCIAL MINERO

• Áreas de Interés Minero

A partir del análisis de los diversos productos obtenidos de imágenes satelitales, tanto del satélite LandSat 8, del sensor ASTER del satélite Terra y de los datos SRTM, se reconocieron tres tipos de objetivos de interés minero:

- Pórfidos de Cobre
- Cobre en Sedimentos
- Skarns Polimetálicos

Una vez definidas las áreas de interés en base a las imágenes satelitales, se integraron los resultados espectrales obtenidos con la información geológica recolectada en distintas publicaciones, la información geoquímica y la información geológica disponible en el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR).

En la región estudiada se identificaron un total de ochenta y seis (86) áreas prospectivas:

- Veintiséis (26) objetivos con potencial mineralización relacionada a Pórfidos de Cobre,
- Veintiocho (28) correspondientes a Cobre –asociado a otros elementos- en Sedimentos y
- Treinta y dos (32) sectores con potencial mineralización asociada a Skarns Polimetálicos.

Las áreas de interés fueron agrupadas de acuerdo a las Hojas Geológicas definidas por el SEGEMAR correspondientes a la región estudiada, de norte a sur:

- Volcán Maipo,
- Malargüe,
- Hoja Barrancas y
- Chos Malal.

- **Áreas con Potenciales Pórfidos de Cobre**

Estas áreas de interés se identificaron principalmente interpretando los productos “Óxido Férrico” y “Técnica Crosta” obtenidos a partir de la información del satélite LandSat 8 y los productos “Alunita-Caolinita-Pirofilita”, “Caolinita”, “Arcillas”, “Muscovitas”, “Alunita-Caolinita-Sericita”, “Hidrotermal – Ninomiya”, “CS-Pórfido de Cu”, “Óxido Férrico” y “Phengita” del sensor ASTER del satélite Terra (Cuadro VI.1).

Los productos que resaltan los minerales de arcillas, sumado a los productos que muestran los óxidos férricos, permiten reconocer con buena precisión las posibles zonas con mineralización de tipo cobre porfídico. Estos productos presentaron una concordancia con la información provista por los obtenidos a partir de la aplicación de la Técnica Crosta, la Hidrotermal – Ninomiya y la de CS-Pórfido de Cu para el mismo tipo de mineralización.

PRODUCTOS SATELITALES	
LandSat 8	ASTER
Óxido Férrico	Alunita-Caolinita-Pirofilita
Técnica Crosta	Caolinita
	Arcillas
	Muscovitas
	Alunita-Caolinita-Sericita
	Hidrotermal - Ninomiya
	CS- Pórfidos de Cu

Cuadro VI.1. Productos satelitales usados en la identificación de áreas con potenciales depósitos de pórfidos de cobre.

Se identificaron un total de veintiséis (26) áreas de interés con posible mineralización de cobre tipo porfídico:

- Seis (6) en la Hoja Volcán Maipo,
- Quince (15) en la Hoja Malargüe y
- Cinco (5) en la Hoja Barrancas.

Los parámetros aplicados al reconocimiento de estas áreas de interés se encuentran detallados en el Anexo 1.

Del total de estas áreas se priorizaron once (11), considerando la mayor concordancia de las respuestas espectrales con la geología, la estructuras y la geoquímica de los afloramientos en las mismas. Adicionalmente, estas áreas seleccionadas fueron categorizadas por sus ventajas geológicas, logísticas y su situación ante su licencia social (Cuadro VI.2.).

PÓRFIDOS DE COBRE - ÁREAS DE INTERÉS PRIORIZADAS				
Hojas Geológicas	Nombre del Área	Geología	Logística	Licencia Social
Hoja Volcán Maipo	Florida	Verde	Rojo	Verde
	Las Choicas	Verde	Verde	Verde
Hoja Malargüe	Cerro Amarillo	Verde	Amarillo	Verde
	El Seguro	Verde	Rojo	Verde
	Paso Trolón	Verde	Rojo	Verde
	Arroyo Turbio	Verde	Rojo	Verde
	Cerro Campanario	Verde	Amarillo	Verde
	Cerro Chacaico	Verde	Amarillo	Verde
Hoja Barrancas	Rucamileo	Verde	Rojo	Verde
	Mary	Verde	Rojo	Verde
	Mayan	Verde	Rojo	Verde

Cuadro VI.2. Áreas de Interés priorizadas: Verde, condición óptima; Amarillo, intermedia; Roja: desfavorable.

- **Áreas con Potenciales Depósitos de Cobre en Sedimentos**

Estas áreas de interés se identificaron principalmente interpretando los productos “Óxido Férrico”, “Técnica Crosta”, “Alteración Hidrotermal” y “Óxido Ferroso” obtenidos a partir de la información del satélite LandSat 8 y los productos “Arcillas- 5”, “Hidrotermal- B”, “Skarn de Hierro”, “Óxido Férrico” del sensor ASTER del satélite Terra (Cuadro VI.3.).

PRODUCTOS SATELITALES	
LandSat 8	ASTER
Óxido Férrico	Arcillas (5)
Técnica Crosta	Skarn de Hierro
Alteración Hidrotermal	Hidrotermal B
Óxido Ferroso	Óxido Férrico

Cuadro VI.3. Productos satelitales usados para definir potenciales depósitos de cobre en sedimentos.

Se identificaron un total de veintiocho (28) áreas de interés con posible mineralización de cobre en sedimentos:

- Uno (1) en la Hoja Volcán Maipo,
- Seis (6) en la Hoja Malargüe,
- Dieciocho (18) en la Hoja Barrancas y
- Tres (3) en la Hoja Chos Malal.

Los parámetros aplicados al reconocimiento de estas áreas de interés se encuentran detallados en el Anexo 1.

Del total de estas áreas se priorizaron doce (12), considerando la mayor concordancia de las respuestas espectrales con la geología, la estructuras y la geoquímica de los afloramientos en las mismas. Adicionalmente, estas áreas seleccionadas fueron categorizadas por sus ventajas geológicas, logísticas y su situación ante su licencia social (Cuadro VI.4).

COBRE EN SEDIMENTOS - ÁREAS DE INTERÉS PRIORIZADAS				
Hojas Geológicas	Nombre del área	Geología	Logística	Licencia Social
Hoja Volcán Maipo	El Burrero			
Hoja Malargüe	Huemul			
	Mirano			
	Pampa Amarilla			
Hoja Barrancas	El Manzano			
	Mechanquil			
	Calmuco			
	La Isla			
	Los Huincales			
	Puesto El Relincho Norte			
	Puesto El Relincho Sur			
	San Romeleo			

Cuadro VI.4. Áreas de Interés priorizadas: Verde, condición óptima; Amarillo, intermedia; Roja: desfavorable.

- **Áreas con Potenciales Depósitos de Skarns Polimetálicos**

Estas áreas de interés se identificaron principalmente interpretando los productos “Óxido Férrico”, “Carbonatos”, “Alteración Hidrotermal” y “Óxido Ferroso” obtenidos a partir de la información del satélite LandSat 8 y los productos “Arcillas”, “Hidrotermal – B”, “Skarn de Hierro”, “Óxido Férrico” e “Hidrotermal – Ninomiya” del sensor ASTER del satélite Terra (Cuadro VI.5).

PRODUCTOS SATELITALES	
LandSat 8	ASTER
Óxido Férrico	Arcillas
Carbonatos	Skarn de Hierro
	Hidrotermal - B
	Óxido Férrico
	Hidrotermal - Ninomiya

Cuadro VI.5. Productos satelitales usados para definir Skarns Polimetálicos.

Se identificaron un total de treinta y dos (32) áreas de interés con posible mineralización de skarns polimetálicos:

- Cinco (5) en la Hoja Volcán Maipo,
- Veinticinco (25) en la Hoja Malargüe y
- Dos (2) en la Hoja Barrancas.

Los parámetros aplicados al reconocimiento de estas áreas de interés se encuentran detallados en el Anexo 1.

Del total de estas áreas se priorizaron catorce (14), considerando la mayor concordancia de las respuestas espectrales con la geología, la estructuras y la geoquímica de los afloramientos en las mismas. Adicionalmente, estas áreas seleccionadas fueron categorizadas por sus ventajas geológicas, logísticas y su situación ante su licencia social (Cuadro VI.6.).

SKARNS POLIMETÁLICOS - ÁREAS DE INTERÉS PRIORIZADAS				
Hojas Geológicas	Nombre del área	Geología	Logística	Licencia Social
Hoja Volcán Maipo	Choicas Sur	Verde	Verde	Verde
	Hierro Indio	Verde	Verde	Verde
	Arroyo Felipe	Verde	Amarillo	Verde
Hoja Malargüe	Rincón de Hierro	Verde	Amarillo	Amarillo
	Cerro Los Blancos	Verde	Verde	Amarillo
	Cajón de las Lágrimas	Verde	Amarillo	Amarillo
	Cajón Chico	Verde	Amarillo	Verde
	Río Montañez	Verde	Verde	Verde
	Cabecera del Yeso	Verde	Rojo	Verde
	Arroyo Los Ángeles	Verde	Rojo	Verde
	Cajón Grande	Verde	Rojo	Verde
	Cerro Estación	Verde	Amarillo	Verde
	Chacayco	Verde	Rojo	Verde
Hoja Barrancas	Piedra Parada	Verde	Rojo	Verde

Cuadro VI.6. Áreas de Interés priorizadas: Verde, condición óptima; Amarillo, intermedia; Roja: desfavorable.

BIBLIOGRAFÍA - MATERIAL CONSULTADO

- ANDRADA DE PALOMERA R. P., 2003. Application of remote sensing and geographic information system for mineral predictive mapping, Deseado Massif, Southern Argentina. Thesis, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation. Netherlands.
- ANGELELLI V. (1950). Recursos Minerales de la República Argentina. Revista del Instituto Nacional de las Ciencias Naturales, Ciencias Geológicas II. Buenos Aires.
- ANGELELLI V., FERNANDEZ LIMA J.C, HERRERA A. y ARISTARAIN L. (1970). Descripción del mapa metalogénico de la República Argentina. Minerales Metalíferos. SEM, anales XV. Buenos Aires.
- ANGELELLI V., SCHALAMUK I.B. y FERNANDEZ R. (1980). Los yacimientos de minerales no metalíferos y rocas de aplicación de la región Centro-Cuyo. SEM, Anales XIX. Buenos Aires.
- ANGELELLI V., BRODTKORB M.K., GORDILLO C.E. y GAY H.D. (1983). Las especies minerales de la República Argentina. SSM, Serv. Min. Nac., Publicación especial. Buenos Aires.
- ANGELELLI V. (1984). Yacimientos Metalíferos de la República Argentina. CIC. La Plata.
- BOLOKI M. y POORMIRZAEI R., 2009. Using ASTER Image Processing for Hydrothermal Alteration and Key Alteration Minerals Mapping in Siyahrud area, IRAN. International Journal of Geology, Issue 2, Volume 3.
- BONHAM-CARTER, G.F., ROGERS, P.J. Y WRIGHT D.F. 1988. Integration of Geological Datasets for Gold Exploration in Nova Scotia. Photogrammetric Engineering and Remote sensing, v. 54, n 77, pp. 1585-1592
- CAMUS, F. 2003. Geología de los sistemas porfíricos en los Andes de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería: 267 p.Chile.
- CARPIO F., MALLIMACCI H., RUBINSTEIN N., SALVARREDI J., SEPÚLVEDA E., FUSARI C., CENTENO R., ROSAS M. y VARGAS D. (2001). Metalogénia del Bloque de San Rafael, Mendoza. Serie Contribuciones Técnicas. Recursos Minerales 20. Instituto de Geología y Recursos Minerales. SEGEMAR. Buenos Aires.
- CENTENO R., ROSAS M. y RUBINSTEIN N. (2009). Carta Minero Metalogénica 3569-IV. Embalse El Nihuil. Provincia de Mendoza. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 299, 71 p. Buenos Aires.

- CRÓSTA A. P., SOUZA FILHO C. R., AZEVEDO F. y BRODIE C., 2003. Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal components analysis. *International Journal of Remote Sensing* 24 (21): 4233-4240.
- CROSTA S. y PALACIO M. de B. (2015). Carta Minero-Metalogenética 3569-III, Malargüe. Provincia de Mendoza. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 407: 89 pp. Buenos Aires.
- CROSTA S. (2015). Carta Minero-Metalogenética 3769-I, Barrancas. Provincias de Mendoza y Neuquén. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 406: 47pp. Buenos Aires.
- DESSANTI R.N. (1956). Descripción geológica de la Hoja 27c, Cerro Diamante, Provincia de Mendoza. Dirección Nacional de Minería, Boletín 85. Buenos Aires.
- DESSANTI R.N. (1973). Descripción geológica de la Hoja 29b, Bardas Blancas, Provincia de Mendoza, SSM, Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín 139, Buenos Aires.
- DESSANTI R.N. (1978). Descripción geológica de la hoja 28b, Malargüe, Provincia de Mendoza. SEM, Boletín 149, Buenos Aires.
- EKNELIGODA T. C. y HENKEL H. 2010. Interactive spatial analysis of lineaments. *Computers & Geosciences* 36: 1081-1090.
- FERPOZZI L. y TUREL A., 1998. Carta Geoquímica de la República Argentina: Un Instrumento de apoyo para la Exploración Minera. En: Simposio Geofísica Aérea y Geoquímica en la Prospección Geológica-Minera – X Congreso Latinoamericano de Geología VI Congreso Nacional de Geología Económica, pp 171-183. Buenos Aires.
- FERPOZZI L., TUREL A., CENTENO R., ROSAS M., JARA A., SIEHANKIEWICZ D. y VARGAS D., 2000a. Datos geoquímicos multielemento y ubicación de sedimentos de corriente. Hoja 3569-IV, Embalse El Nihuil Mendoza. República Argentina. Serie Contribuciones Técnicas. Geoquímica N° 26. Instituto de Geología y Recursos Minerales. SEGEMAR. Buenos Aires.
- FERPOZZI L., TUREL A., CENTENO R., ROSAS M., JARA A., SIEHANKIEWICZ D. y VARGAS D., 2000b. Datos geoquímicos multielemento y ubicación de sitios de muestreo de sedimentos de corriente. Hoja 3769-II Agua Escondida, Mendoza, República Argentina. Serie Contribuciones Técnicas 28, Geoquímica. Servicio Geológico Minero Argentino. 74 pág. Buenos Aires.

- FERPOZZI L., TUREL A., VARGAS D., BUTRÓN ASCONA F., JARA A., SIEHANKIEWSKI D. y CASA A., 2001a. Datos geoquímicos multielemento y ubicación de sitios de muestreo de sedimentos de corriente de los Planes Cordillerano y Perforaciones. Hoja 3769-I Barrancas, provincias de Neuquén y Mendoza, República Argentina. IGRM, SEGEMAR. Serie Contribuciones Técnicas Geoquímica 50/D. Buenos Aires.
- FERPOZZI L., TUREL A., VARGAS D., BUTRÓN ASCONA F., JARA A., SIEHANKIEWICZ D. y CASA A., 2001b. Datos Geoquímicos Multielemento y Ubicación de Sitios de Muestreo de Sedimentos de Corriente de los Planes Cordillerano y Perforaciones. Hoja 3769-III Chos Malal. Provincias de Neuquén y Mendoza. República Argentina. Serie Contribuciones Técnicas; Geoquímica 54. Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Buenos Aires.
- FERPOZZI L., TUREL A., VARGAS D., BUTRÓN ASCONA F., JARA A., SIEHANKIEWICZ D., CASA A., 2001c. Datos Geoquímicos Cu, Pb y Zn y Ubicación de Sitios de Muestreo de Sedimentos de Corriente de los Planes Cordillerano y Perforaciones, Hoja 3769-III Chos Malal, Provincias de Neuquén y Mendoza. República Argentina. Serie Contribuciones Técnicas; Geoquímica 53. Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Buenos Aires.
- FERPOZZI L., TUREL A., VARGAS D., BUTRÓN ASCONA F., JARA A., SIEHANKIEWICZ D., CASA A., 2001d. Datos Geoquímicos Cu, Pb y Zn y Ubicación de Sitios de Muestreo de Sedimentos de Corriente de los Planes Cordillerano y Perforaciones, Hoja 3769-I Barrancas, Provincias de Neuquén y Mendoza. República Argentina. Serie Contribuciones Técnicas; Geoquímica 49. Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Buenos Aires.
- FRANCHINI, M. B., DE BARRIO, R. E., RÍOS, F. J., SCHALAMUK, I. B., LANFRANCHINI, M., PONS, M.J.2005. Petrología, química mineral y paragénesis del depósito Hierro Indio, Mendoza. Guías para la exploración de Fe. En Cabaleri N.,Cingolani , C.A., Linares, E., López de Luchi,M.G ., Oстера , H.A . y Panarello, H.O.(eds.) 15º Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 303-310.
- FRANJAS METALOGÉNICAS DE LOS ANDES CENTRALES: blancos clave para la exploración minera- Dirección de Estudios y políticas públicas - Comisión Chilena del Cobre - DEPP 05/2016.
- GALARZA, B. J., ZAMORA VALCARCE, G., FOLGUERA, A. y BOTTESI, G. L., 2009. Geología y evolución tectónica del frente cordillerano a los 36°30'S: bloques de Yihuin-Huaca y Puntilla de Huincán. Mendoza. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 65 (1): 171-191.

-GEOLOGÍA ARGENTINA -Subsecretaría de Minería de la Nación Servicio Geológico Minero Argentino Instituto de Geología y Recursos Minerales - Buenos Aires – 1999.

- GIAMBIAGI L., MESCUA J., BECHIS. F., TASSARA A. y HOKE, G., 2012. Thrust belts of the southern Central Andes: Alongstrike variations in shortening, topography, crustal geometry, and denudation. Geological Society of America Bulletin 124 (7-8): 1339-1351.

- GIAMBIAGI L., MESCUA J., BECHIS F., HOKE G., SURIANO J., SPAGNOTTO S., MOREIRAS S.M., LOSSADA A., MAZZITELLI M., TOURAL DAPOZA R., FOLGUERA A., MARDONEZ D. y PAGANO D.S., 2016. Cenozoic Orogenic Evolution of the Southern Central Andes (32°-36° S). En: A. Folguera *et al.* (eds.), Growth of the Southern Andes, Springer Earth System Sciences: 63-99.

- GILLESPIE A.R., 1985. Lithologic mapping of silicate rocks using TIMS, The TIMS Data User's Workshop, JPL Pub. 86-38, pp. 29-44.

- GIUSIANO A., FRANCHINI M., IMPICCIN, A. y O'LEARY S., 2006. Mineralización de Cu asociada a bitumen en las areniscas cretácicas, prospecto Barda González, Neuquén, Argentina. XI Congreso Geológico Chileno, Actas 2: 255-258.

- GIUSIANO A., FRANCHINI M.B., IMPICCINI A. y PONS M.J., 2008. Mineralización de Cu en sedimentitas Mesozoicas del Grupo Neuquén y hábitat de los hidrocarburos en la Dorsal de Huincul, Neuquén. XVII Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 769-770. San Salvador de Jujuy.

- GONZALEZ DÍAZ E. (1972). Descripción geológica de la Hoja 30d, Payún Matrú. Provincia de Mendoza. SEM, Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 130. Buenos Aires.

- GUSTARSONL, B., 1978, Some major factors of porphyry copper genesis: ECONOMIC GEOLOGY, v. 73, p. 600-607.

- GUSTAFSONL, B., AND HUNT, J.P., 1975, The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile: ECONOMIC GEOLOGY, v. 70, p. 875-912.

- HEDENQUIST J.W., AND SHINOHARA, H., 1997, K-silicate to sericite-stage transition in porphyry Cu deposits: Collapse of magmatic plume, or overprint by meteoric water? [abs.]: Geological Society of America, Abstracts with Programs, v. 29, A-359.

- LITVAK V.D., POMA S., JONES R.E., FERNÁNDEZ PAZ L., IANELLI S.B., SPAGNUOLO M., KIRSTEIN L.A., FOLGUERA A. y RAMOS V.A., 2018. The Late Paleogene to Neogene Volcanic Arc in the Southern Central Andes (28°-37° S). En: Folguera *et al.* (eds.) The Evolution of the Chilean-Argentinean Andes. Springer Earth System Sciences: 503-536.

- LLAMBÍAS, E. J., 2003. Geología de los cuerpos ígneos. Asociación Geológica Argentina, Serie B, Didáctica y Complementaria N° 27, Instituto Superior de Correlación Geológica, Serie Correlación Geológica 15: 182 pp., Buenos Aires.
- LLAMBÍAS E.J., BERTOTTO G.W., RISSO C. y HERNANDO I., 2010. El volcanismo cuaternario en el retroarco de Payenia: una revisión. Revista de la Asociación Geológica Argentina 67(2): 278-300.
- MALLIMACCI H., CARPIO F. y RUBINSTEIN N. (2010). Carta Minero Metalogenética 3769-II Agua Escondida. Provincias de Mendoza y La Pampa. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 387, 57 p. Buenos Aires.
- MARCHANT TATE N. (2014). NI 43-101 Technical Report on the Cerro Amarillo Project, Mendoza Province, Argentina. Meryllion Resources Co. 188 p. <http://meryllionresources.com>.
- MÉNDEZ V., ZANETTINI J.C. y ZAPPETTINI E.O. (1995). Geología y Metalogénesis del Orógeno Andino Central. Dirección Nacional del Servicio Geológico, Anales 23: 190 pp. Buenos Aires.
- MUGAS LOBOS A.C., MÁRQUEZ-ZAVALÍA M.F., GALLISKI M.A. y WÄLLE M. (2018). The Permian-Triassic low sulfidation epithermal Au deposit of Don Sixto, Mendoza. Revista de la Asociación Geológica Argentina 75 (3): 441-456.
- NACIONES UNIDAS (1970). Investigación sobre mineral de cobre porfídico en las Provincias de Mendoza, Neuquén y San Juan, Argentina. Nueva York.
- NARCISO V., SANTAMARÍA G. y ZANETTINI J. (2001). Hoja Geológica 3769-I, Barrancas. Provincias de Mendoza y Neuquén. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 253. Buenos Aires.
- NULLO F.E., STEPHENS G., COMBINA A., DIMIERI L., BALDAUF P., BOUZA P. y ZANETTINI J.C.M. (2005). Hoja Geológica 3569-III/IV, Malargüe, provincia de Mendoza, Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Boletín 346, 85p. Buenos Aires.
- PÉREZ, D.J.; AZCURRA, D.; D´ODORICO, P.; SEQUEIRA, N. "Mapeo de alteración hidrotermal con datos ASTER, en la región de La Coipa, Cordillera Frontal (31°45´S), Provincia de San Juan, Argentina". Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis. 21-26 Abril 2007.
- RABBIA OM, HERNÁNDEZ LB, TOWNLEY B, KING RW, AYERS JC (2003) Anatase-bearing veins in the El Teniente Cu-Mo porphyry system. Special Symposium on Supergiant Andean Porphyry Copper Deposits. 10° Congreso Geológico Chileno. October 6-10, Concepción, Chile.

- RANJBAR, H.; HONARMAND, M.; MOEZIFAR, Z. "Application of the Crosta technique for porphyry copper alteration mapping, using ETM+ data in the southern part of the Iranian volcanic sedimentary belt". Journal of Asian Earth Sciences. 2003.
- RECURSOS MINERALES DE LA REPÚBLICA ARGENTINA – Volumen 1 y 2 – Subsecretaría de Minería de la Nación-Servicio Geológico Minero Argentino – Instituto de Geología y Recursos Minerales – Bs. As. 1999.
- SARUDIANSKI R. y DEL CARRIL F.C. (1984). Los yacimientos de baritina y celestina de la Provincia de Mendoza. IX Congreso Geológico Argentino, Actas V: 452-472. San Carlos de Bariloche.
- SEGEMAR, 1995. Programa Nacional de Cartas Geológicas y Temáticas de la República Argentina. Normativa para las cartas Minero-Metalogenéticas de la República Argentina. 92 pp. Buenos Aires.
- SEGEMAR, 1997. Relevamiento magnético del área Cordillera Principal, provincia de Mendoza.
- SEGEMAR, 1998. Relevamiento magnético y gammaespectrométrico del área San Rafael, provincias de Mendoza y La Pampa.
- SEGEMAR - Hoja Geológica 3569-III/3572-IV Malargüe - Francisco E. Nullo, George Stephens, Ana Combina, Luis Dimieri, Paul Baldauf y Pablo Bouza – 2005.
- SEPÚLVEDA E., BERMÚDEZ A., BORDONARO O. y DELPINO D., 2007. Hoja Geológica 3569 IV Embalse El Nihuil, provincia de Mendoza. Instituto de Geología y Recursos Naturales, Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 2689: 52pp., Buenos Aires.
- SIGISMONDI M.E., 2015. Estudio de la geodinámica de la Cuenca Neuquina a partir de observaciones geofísicas. En: S.A. Casadío *et al.* (eds.) Geología de la Cuenca Neuquina y sus sistemas petroleros: una Mirada integradora desde los afloramientos al subsuelo. CABA, Fundación YPF; Viedma, Universidad Nacional de Río Negro. pp: 36-47.
- SILLITOE, R.H., 1993, Gold-rich porphyry copper deposits: Geological model and exploration implications, in Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I., and Duke, J.M., eds., Mineral deposit modeling: Geological Association of Canada, Special Paper 40, p. 465-478.
- SILLITOE, R.H., 1994, Erosion and collapse of volcanoes: Causes of telescoping in intrusion-centered ore deposits: Geology, v. 22, p. 945-948.

- SILLITOE, R.H., 1995, Exploration of porphyry copper lithocaps, in Mauk, J.L., and St. George, J.D., eds., Proceedings Pan American Conference on Research on Fluid Inclusions Congress 1995: Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Publication Series No. 9/95, p. 527-532.
- SILLITOE, R.H., AND HEDENQUIST, J.W., 2003, Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits, in Simmons, S.F., and Graham, I., eds., Volcanic, geothermal, and ore-forming fluids: Rulers and witnesses of processes within the Earth: Society of Economic Geologists Special Publication 10, p. 315–343.
- SILLITOE, R.H. y PERELLÓ, J., 2005, Andean copper province: Tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery. Economic Geology 100th Anniversary Volume, p. 845–890.
- SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOAMBIENTAL MINERA (SIGAM) (2018). Base de datos de depósitos minerales. Servicio Geológico Minero Argentino. Buenos Aires. <https://sigam.segemar.gov.ar/>.
- SPAGNUOLO M.G., FOLGUERA A., LITVAK V., ROJAS VERA E.A. y RAMOS V.A., 2012a. Late Cretaceous arc rocks in the Andean retroarc region at 36.5°S: Evidence supporting a Late Cretaceous slab shallowing. Journal of South American Earth Sciences, 38: 44-56.
- SPAGNUOLO, M. G., LITVAK, V. D., FOLGUERA, A., BOTTESI, G. y RAMOS, V. A., 2012b. Neogene magmatic expansión and mountain building processes in the southern Central Andes, 36-37°S, Argentina. Journal of Geodynamics, 53: 81-94.
- SRUOGA P., ETCHEVERRÍA M., FOLGUERA A. y REPOL D., 2005. Hoja Geológica 3569 I Volcán Maipo, provincial de Mendoza. Instituto de Geología y Recursos Naturales, Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 290: 116 pp., Buenos Aires.
- SRUOGA P., RUBINSTEIN N.A., ETCHEVERRÍA M.P. y CEGARRA M., 2009. Volcanismo neógeno y mineralización asociada, Cordillera Principal, Mendoza (35°S). Actas del 12° Congreso Geológico de Chile: p 4. Santiago de Chile.
- VANESA ARAUJO, 2013- Tesis Doctoral. Emplazamiento de cuerpos ígneos cenozoicos en el frente montañoso de la Cordillera Principal: mecanismos y relación espacial-temporal con las estructuras tectónicas andinas. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR.
- VIVALLO W.P., ZANETTINI J.C.M., GARDEWEG, M.C., MÁRQUEZ M.J., TASSARA A.H. Y GONZÁLEZ R.A. (1999). Mapa de recursos minerales del área fronteriza argentino-chilena entre los 34° y 56°S. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, N° 1, 62 p., 1 mapa escala 1:1000000 en 2 hojas. Santiago de Chile.

- ZANETTINI J.C. Y CAROTTI M. (1993). Yacimientos metalíferos y metalogénesis. En: V.A. Ramos (ed.), Geología y recursos naturales de Mendoza, Relatorio del XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas IV (1): 485-504. Mendoza.

- ZAPPETTINI, E. O., 1999a. Evolución geotectónica y metalogénesis de Argentina. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 51-73, Buenos Aires.

- ZAPPETTINI E.O., CROSTA S., RUBINSTEIN N. y SEGAL, S., 2015. Revisión de modelos de mineralización asociados a rifting; Implicancias metalogenéticas relacionadas al rifting mesozoico en Argentina. Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires.

- ZAPPETTINI E.O., RUBINSTEIN N., CROSTA S. y SEGAL S.J., 2017. Intracontinental rift-related deposits: A review of key models. Ore Geology Reviews 89: 594-608.